Tampereen yliopisto

Harri Vehmaanperä

# RAKENNUKSEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET JA HIILIJALANJÄLJEN MÄÄRITTÄMINEN

Diplomityö
Rakennustekniikan laitos
Tarkastaja: prof. Matti Pentti
Tarkastaja: TkT Toni Pakkala
Maaliskuu 2021

# TIIVISTELMÄ

Harri Vehmaanperä: Rakennuksen ympäristövaikutukset ja hiilijalanjäljen määrittäminen
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Rakennustekniikan DI-ohjelma
Maaliskuu 2021

---

Ihmisten toiminnan aiheuttamat ilmastopäästöt ovat aiheuttaneet ilmaston lämpenemisen, jolla on laaja-alaisia vaikutuksia koko maapallon ilmastoon ja ekosysteemeihin. Rakennukset ja rakentaminen tuottavat suuren osan näistä päästöistä. Rakennetun ympäristön ohjaus laein ja määräyksin on Suomessa keskittynyt tähän asti käytön aikaisten päästöjen rajoittamiseen rakennusten energiatehokkuudelle asetettujen raja-arvojen avulla. Nyt ympäristöministeriössä ollaan kuitenkin kehittämässä rakennuksen koko elinkaaren aikaisia päästöjä koskevia määräyksiä. Kaupallisia rakennusten ympäristöluokitusjärjestelmiä, jotka ottavat huomioon rakennuksen elinkaaren aikaiset päästöt sekä mahdollisia yhteiskunnallisia vaikutuksia on kuitenkin ollut käytössä ympäri maailmaa jo useita vuosia.

Tutkimuksessa määritetään hirsirunkoisen omakotitalon elinkaaren hiilijalanjälki. Tuloksen vertailukohdiksi määritetään lisäksi kahdesta muusta pientaloissa yleisesti käytetystä ulkoseinän runkomateriaalista valmistettujen, tutkimuskohdetta vastaavien kohteiden hiilijalanjälki. Näiden lisäksi määritetään vielä tuulensuojalevytyksen ja ulkoverhouksen lisäämisen vaikutus hirsirunkoisen talon hiilijalanjälkeen. Saatuja tuloksia vertaillaan toisiinsa, sekä pohditaan syitä kohteiden välillä syntyviin eroihin. Tutkimuksessa keskitytään keräämään tietoutta hiilijalanjäljen laskennasta ja siihen liittyvistä tekijöistä, sekä lisäksi perehdytään hiilijalanjälkeä koskeviin määräyksiin ja standardeihin.

Tutkimuksessa tutkittujen kohteiden elinkaaren aikaisiin päästöihin vaikuttaa eniten rakennusten käyttövaiheen energiankulutus ja toiseksi suurimmat päästöt aiheutuvat rakennusmateriaaleista. Näiden kahden suurimman päästölähteen suhteellinen ero tulee kuitenkin kaventumaan energiantuotannon päästöjen pienentyessä. Hiilijalanjälkilaskennan sisällyttäminen rakennuslupavaiheeseen edellyttää kuitenkin vielä paljon eri rakennusmateriaalien ympäristöselosteita sekä ohjeistuksen, miten käyttövaiheen energiankulutuksen päästöt huomioidaan, jotta eri vuosina rakennuslupaa hakeneiden kohteiden hiilijalanjälkilaskelman tulokset säilyvät vertailukelpoisina. Kaupallisten ympäristöluokitusjärjestelmien hyödyntämistä rakentamista ohjaavissa kannustinjärjestelmissä voitaisiin kuntatasolla pohtia rakennusmääräyksin ohjattavan hiilijalanjälkilaskennan rinnalle.

Avainsanat: Hirsirakennus, pientalo, hiilijalanjälki, ympäristöluokitusjärjestelmät

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# ABSTRACT

Harri Vehmaanperä: Building environmental impacts and determination of carbon footprint
Master of Science Thesis
Tampere University
Master's Programme in Civil Engineering
March 2021

---

Human action inflicted climate emissions have caused global warming which has widespread influence on whole globes climate and ecosystem. Buildings and construction work produces a great deal of these emissions. Since today, guiding built-up environment with laws and regulations have focused in Finland to limit use-phase emissions by giving limit values to buildings energy efficiency. Now the Ministry of the Environment is developing the regulations to deal with buildings lifecycle emissions. Commercial building environmental classification systems that take account of life cycle emissions and possible societal impacts have been used around the world for many years.

This thesis determines the carbon footprint of a log-framed detached house. For the reference line of the result, the carbon footprint is also determined of two other similar houses with different frame materials which are commonly used in detached houses. In addition, it is determined how adding a wind-protective panel and facade board to the log-framed house affects to its carbon footprint. The results are compared to each other and the reasons for the differences are considered. Thesis focuses on gathering information about carbon footprint calculation and in addition is acquainted with carbon footprint regulations and standards.

Lifecycle emissions from research subjects are most affected by use phase energy consumption and the second highest emissions are caused by building materials. The gap between these two emission sources will diminish as the emissions from energy production decreases. However, to include the carbon footprint calculation in the construction permit phase still requires a lot of environmental declarations for different building materials, as well as a guideline how the use-phase energy consumptions are considered so that the carbon footprint calculations for buildings that have applied construction permit in different years remain comparable. At municipal level, the use of commercial environmental classification systems in incentive schemes to guide construction could be considered alongside the carbon footprint calculation controlled by building codes.

Keywords: Log building, detached house, carbon footprint, environmental classification systems

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

# ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Ollikaisen Hirsirakenne Oy:lle.

Haluan kiittää työn ohjaajaa ja tarkastajaa professori Matti Penttiä antamastaan ohjauksesta diplomityöhön liittyen, sekä lisäksi tekniikan tohtori Toni Pakkalaa työn tarkastuksesta. Lisäksi kiitos kuuluu työn tilaajalle, Ollikaisen Hirsirakenne Oy:n Tero Ollikaiselle, sekä työtovereilleni, joille on aiheutunut suurempi työtaakka opinnäytetyön loppuvaiheessa, kun vihdoin keskityin saattamaan opintoni loppuun.

Erityisen suuri kiitos opiskelutovereilleni, perheelleni sekä avopuolisolleni, joka on tukenut ja kannustanut koko pitkäksi venyneen diplomityöprosessin ajan.

Tampereella, 19.3.2021

Harri Vehmaanperä

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO ..... 1
1.1 Työn tausta ..... 1
1.2 Työn tavoitteet ..... 2
1.3 Tutkimusmenetelmät ..... 2
1.4 Työn rakenne ..... 2
2. RAKENNUKSEN ELINKAAREN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET ..... 4
2.1 Rakennusten energiatehokkuuteen liittyvät määräykset Suomessa ja Euroopassa 7
2.1.1 Määräykset Euroopassa ..... 8
2.1.2 Määräykset ja näiden kehitys Suomessa ..... 8
2.2 Elinkaariarviointia ohjaavat laskentastandardit ja -menetelmät ..... 18
2.2.1 Tekniset komiteat ISO/TC 207 ja CEN/TC 350 ..... 19
2.2.2 SFS-EN ISO 14040 ..... 20
2.2.3 SFS-EN ISO 14044 ..... 21
2.2.4 SFS-EN 15804 ..... 22
2.2.5 SFS-EN ISO 14067 ..... 24
2.3 Rakennuksen elinkaaren ympäristöluokitusjärjestelmät ..... 24
2.3.1 BREEAM ..... 25
2.3.2 LEED ..... 28
2.3.3 RTS-ympäristöluokitus ..... 35
2.3.4 Joutsenmerkki ..... 35
2.3.5 Promise ..... 36
3. TUTKIMUSKOHTEEN HIILIJALANJÄLJEN LASKENTA ..... 38
3.1 Tutkimuskohteen esittely ..... 38
3.1.1 Rakenteet ja materiaalimenekit ..... 38
3.1.2 Energiatehokkuus ..... 47
3.2 Hiilijalanjäljen laskenta ..... 47
4. VERTAILUKOHTEIDEN HIILIJALANJÄLJEN LASKENTA ..... 50
4.1 Vertailukohde 1, kivirunko eristemuottiharkosta ..... 51
4.2 Vertailukohde 2, puu-rankarunko ..... 52
4.3 Vertailukohde 3, hirsirunko tuulensuojalevyllä ja puuverhouksella ..... 54
5. TULOSTEN ANALYSOINTI ..... 56
5.1 Tulosten käsittely ja vertailu ..... 56
5.2 Epävarmuustekijät ..... 63
6. JOHTOPÄÄTÖKSET ..... 68
LÄHTEET ..... 70

LIITE A: TUTKIMUSKOHTEEN PIIRUSTUKSET
LIITE B: TUTKIMUSKOHTEEN ENERGIASELVITYS

LIITE C: VERTAILUKOHTEEN 1 (KIVIRUNKO) ENERGIASELVITYS
LIITE D: VERTAILUKOHTEEN 2 (PUURUNKO) ENERGIASELVITYS
LIITE E: VERTAILUKOHTEEN 3 (HIRSIRUNKO TUULENSUOJALEVYTYKSELLÄ) ENERGIASELVITYS

# LYHENTEET JA KÄSITTEET

| | |
|---|---|
| ARA | Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus |
| BRE Global Ltd | engl. Building Research Establishment Global Limited, itsenäinen, kolmannen osapuolen hyväksyntiä tarjoava toimija |
| BREEAM | engl. Building Research Establishment Environmental Assessment Method, ympäristöluokitusjärjestelmä |
| BSI | engl. The British Standards Institution, Ison Britannian standardisointiviranomainen |
| CEN | ransk. Comité Européen de Normalisation, eurooppalainen standardisointijärjestö |
| E-luku | energiamuotojen kertoimilla painotettu rakennuksen laskennallinen vuotuinen ostoenergiankulutus lämmitettyä nettoalaa kohden |
| E-luokka | E-lukuun perustuva luokitus |
| EED | engl. Energy efficiency directive, EU:n energiatehokkuusdirektiivi |
| EPBD | engl. Energy performance of buildings directive, EU:n rakennusten energiatehokkuusdirektiivi |
| EPD | engl. Environmental Product Declarement, ympäristöseloste |
| EU | Euroopan unioni |
| FInZEB | suomalainen lähes nollaenergiarakentamiseen keskittyvä tutkimushanke |
| GBCF | engl. Green Building Council Finland, kansallinen kestävän rakentamisen yhteistyöverkosto |
| ISO | engl. International Organization for Standardization, kansainvälinen standardisointijärjestö |
| LEED | engl. Leadership in Energy and Environmental Design, ympäristöluokitusjärjestelmä |
| LCA | engl. Life cycle assessment, elinkaariarviointi |
| LCI | engl. Life cycle inventory, inventaarioanalyysi |
| LCIA | engl. Life cycle impact assessment, vaikutusarviointi |
| NZEB | engl. nearly zero-energy building, lähes nollaenergiarakennus |
| PAS | engl. Publicly Available Specification, standardinomainen julkaisu |
| RES | engl. Renewable energy sources, EU:n uusiutuvan energian direktiivi |
| RTS | Rakennustietosäätiö |
| SFS | Suomen Standardisoimisliitto |
| USGBC | engl. U. S. Green Building Council, kansallinen kestävän rakentamisen yhteistyöverkosto |

| | |
|---|---|
| $CO_2e$ | hiilidioksidiekvivalentti, vertailuyksikkö, joka kuvaa kasvihuonekaasujen ilmastovaikutusta |
| k-arvo | poistunut lämmönläpäisykertoimen suure, nykyisin käytössä U-arvo |
| $n_{50}$ | rakennuksen ilmatiiveyden mittari, kertoo rakennuksen vuotoilman tietyllä paine-erolla tunnissa rakennuksen ilmatilavuutta kohti |
| $q_{50}$ | rakennuksen ilmatiiveyden mittari, kertoo vuotoilman määrän kuutioina rakennusvaipan neliötä kohden tietyllä paine-erolla tunnissa |
| U-arvo | lämmönläpäisykerroin, kuvaa lämpövirran tiheyttä, joka jatkuvuustilassa läpäisee rakennusosan yksikön suuruisessa lämpötilaerossa |

| | |
|---|---|
| asetus | Suomi: Suomen lakia täsmentävä tai täydentävä säädös.<br>EU: EU:n määräyksistä vahvin ja tulee voimaan kaikissa jäsenmaissa sellaisenaan. |
| biogeeninen hiili | Ilmakehästä eloperäiseen materiaaliin yhteyttämisen kautta sitoutunut hiili. |
| direktiivi | EU:n jäsenvaltioilleen antama ohje, jonka mukainen laki jokaisen jäsenmaan on tehtävä. |
| elinkaariarviointi | Tuotteen tai palvelun koko elinkaaren ympäristövaikutusten analysointia ja arviointia materiaalien hankinnasta tuotteen hylkäämiseen asti. |
| energiatodistus | Rakennuksen laskennallisen energiatehokkuuden osoittava dokumentti. |
| hiilijalanjälki | Tuotteen tai palvelun elinkaaren aikaisten ilmastovaikutusten summa muunnettuna hiilidioksidiekvivalentiksi. |
| hiilikädenjälki | Tuotteesta tai palvelusta syntyvien ilmastohyötyjen summa muunnettuna hiilidioksidiekvivalentiksi, joita ei syntyisi ilman tuotteen valmistusta tai palvelua. |
| huoneistoala | Huoneiston pinta-ala, joka mitataan ulkoseinien sisäpinnan rajoittaman tilan mukaan, josta on vähennetty kantavat ja osastoivat seinät, hormit, porrasaukot sekä alle 1600 mm korkeat tilat. |
| kasvihuonekaasu | Ilmakehässä esiintyvät kaasut, jotka päästävät auringon säteilyn maan pinnalle, mutta estävät lämmön palautumista takaisin avaruuteen. Tärkeimpiä kasvihuonekaasuja ovat vesihöyry, hiilidioksidi, metaani, otsoni ja typpioksiduuli. |
| kerrosala | Rakennuksen pinta-ala, joka määritetään jokaisesta kerroksesta rakennuksen ulkoseinien ulkopinnan mukaan. Kerrosalaan ei lasketa ullakolta tai kellarista muita kuin rakennuksen pääasiallisen käyttötarkoituksen mukaisia tiloja. |
| kuivaketju10-toimintamalli | Rakentamisen toimintamalli, jolla pyritään estämään kosteusvaurioiden syntyminen kaikissa rakennusprosessin eri vaiheissa. |
| lähes nollaenergiarakennus | Rakennus, jonka energiatehokkuus on erittäin korkea ja jonka tarvitsema erittäin vähäinen energia tulee laajalti uusiutuvista lähteistä. |
| lämpöhäviö | Lämpöenergian hukka, joka muodostuu lämmön johtumisesta rakennuksen vaipan läpi, vaipan ilmavuodoista ja ilmanvaihdon lämpöhukasta. |
| lämpösaarekeilmiö | Ilmiö, jossa kaupungin keskustan lämpötila on korkeampi kuin ympäröivillä alueilla. Ilmiö johtuu rakennusten, liikenteen ja teollisuuden tuottamasta hukkalämmöstä sekä kaupungin rakenteisiin varastoituneen auringon lämpösäteilyn vapautumisesta. |
| M1-päästöluokitus | Rakennusmateriaalien päästöluokitus, joka tähtää rakennusten hyvään sisäilman laatuun. |

| | |
|---|---|
| Suomen rakentamismääräyskokoelma | Sisältää maankäyttö- ja rakennuslakia täydentäviä, kaikkia osapuolia sitovia määräyksiä, sekä ohjeita määräysten täyttämiseen. |
| sisäilmastoluokitus | Luokitus, joka on tarkoitettu käytettäväksi rakennus- ja taloteknisen suunnittelun ja urakoinnin sekä rakennustarviketeollisuuden apuna, kun tavoitteena on rakentaa entistä terveellisempiä ja viihtyisämpiä rakennuksia. |
| standardi | Kirjallinen julkaisu, jossa määritetään esimerkiksi tuotteen tai palvelun ominaisuuksia ja vaatimuksia tai järjestelmien toimintaa. |
| säteilypakote | Säteilypakote [W/m$^2$] kuvaa sitä energiaepätasapainoa, jonka päästöt ovat ilmastojärjestelmässä saaneet aikaan. |
| valosaaste | Keinovalo, josta aiheutuu haittaa ekosysteemeille tai ihmisten terveydelle ja viihtyvyydelle. |
| viherkerroin-menetelmä | Työkalu, joka kuvaa miten paljon tontilla tai korttelilla on erilaisia kasvillisuuspintoja ja sadevesiä viivyttäviä ratkaisuja suhteessa tontin tai korttelin pinta-alaan. |
| vihreä rakentaminen | Yleiskäsite, jolla tarkoitetaan energiatehokasta ja vähän ympäristöä kuormittavaa rakentamista. |
| ympäristöluokitusjärjestelmä | Rakennuksien ja rakentamisen ympäristövaikutusten arviointiin ja mittaamiseen kehitetty järjestelmä. |

# 1. JOHDANTO

## 1.1 Työn tausta

Suomi on kansainvälisten ilmastosopimusten ja EU:n kautta sitoutunut merkittäviin kasvihuonekaasupäästövähennyksiin. Rakennukset vastaavat lähteestä riippuen n. 30–40 % globaaleista ilmastopäästöistä elinkaarensa aikana (Heljo et al. 2010, Bruce et al. 2013, Kuittinen 2017), mutta tällä hetkellä rakennusten elinkaaren aikaisia päästöjä ohjataan pääasiassa vapaaehtoisilla ympäristöluokitusjärjestelmillä. Toistaiseksi rakennusten päästöjen ohjaamisessa on määräystasolla pyritty pienentämään rakennusten käyttövaiheen energiankulutusta keskittymällä rakenteiden lämmönläpäisykertoimiin sekä rakennusten energiankulutuksen laskentaan. Nyt ollaan siirtymässä rakennuksen koko elinkaaren päästöjen vähentämiseen, ja ympäristöministeriön tavoitteena on ohjata rakennusten elinkaaren aikaista hiilijalanjälkeä lainsäädännöllä vuoteen 2025 mennessä (Kuittinen 2017).

Rakennuksen elinkaaren aikaisista päästöistä yksi suuri kokonaisuus on rakennusmateriaalien päästöt. Niiden osuus rakennuksen elinkaaren aikaisista kasvihuonekaasupäästöistä on jo nyt merkittävä ja se tulee kasvamaan entisestään käytönaikaisen hiilijalanjäljen pienentyessä rakennusten energiatehokkuuden parantumisen ja energiantuotannon päästöjen pienentymisen seurauksena. Pääosa rakennusmateriaalien ja -tuotteiden aiheuttamista päästöistä syntyy valmistusvaiheessa, mutta päästöjä syntyy myös rakennusvaiheessa, rakennuksen elinkaaren aikaisten korjausten aikana sekä kun rakennusmateriaali tulee käyttöikänsä päähän ja se poistetaan käytöstä.

Lainsäädännön lisäksi ihmisten lisääntynyt kiinnostus ympäristön tilasta ohjaa rakennusyritysten sekä tuotevalmistajien toimintaa ympäristöystävällisempään suuntaan, ja ympäristöystävällisillä ratkaisuilla ja toiminnalla pyritään saavuttamaan kilpailuetua muihin toimijoihin nähden. Ympäristötietoisuuden lisääntyessä tuotteiden ympäristöystävällisyyden todentamisella voidaan saavuttaa huomattavaa etua tuotteiden markkinoinnissa. Rakennusten ja rakennustuotteiden ympäristövaikutusten todentaminen vaatii kuitenkin yhtenäistettyjä, vertailukelpoisia ja läpinäkyviä menetelmiä, joilla esitetyt ympäristöväittämät pystytään todentamaan. Tutkimus on tehty Ollikaisen Hirsirakenne Oy:lle edistämään yrityksen tietoutta hiilijalanjälkilaskennasta sekä tulevista rakennusmääräyksistä.

## 1.2 Työn tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena ja päätutkimuskysymyksenä on teollisesti tuotetun hirsirakenteisen omakotitalon elinkaaren aikaisen hiilijalanjäljen selvittäminen. Saadun tuloksen vertailukohdiksi määritetään eri runkomateriaalein toteutettujen verrokkikohteiden hiilijalanjälki ja verrataan saatuja tuloksia toisiinsa. Tavoitteena on saada ennakkotietoa hirsirakenteisen pientalon elinkaaren hiilijalanjäljen suhteutumisesta muilla runkomateriaaleilla toteutettuihin vastaaviin rakennuksiin, ennen kuin hiilijalanjäljen märittäminen tulee pakolliseksi rakennuslupaa haettaessa.

Tutkimuksen päätavoitteen lisäksi selvitetään kaupallisten ympäristöluokitusjärjestelmien sisältöä ja kriteeristöjä sekä Suomen rakentamisen ympäristötehokkuutta ohjaavien määräysten kehitystä menneinä vuosina ja lähitulevaisuudessa. Lisäksi perehdytään rakennusten hiilijalanjäljen määrittämistä käsittelevään stardardistoon.

## 1.3 Tutkimusmenetelmät

Tutkimusmenetelmänä on kirjallisuusselvitys rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkeen liittyviin määräyksiin, standardeihin ja ympäristöluokitusjärjestelmiin. Tietolähteinä on käytetty eurooppalaisia standardeja, ympäristöministeriön julkaisuja ja vihreän rakentamisen kanavia kuten Green Building Council Finlandin verkkosivuja sekä eri ympäristöluokitusjärjestelmien verkkosivuja sekä julkaisuja.

Tämän lisäksi suoritetaan tutkimuskohteen ja vertailukohteiden hiilijalanjäljen määrittäminen laskentaohjelmistoa käyttämällä. Määrälaskennat hiilijalanjälkilaskentoja varten on suoritettu rakennesuunnitelmia, rahtikirjoja ja tuotannon dokumentteja tutkimalla.

## 1.4 Työn rakenne

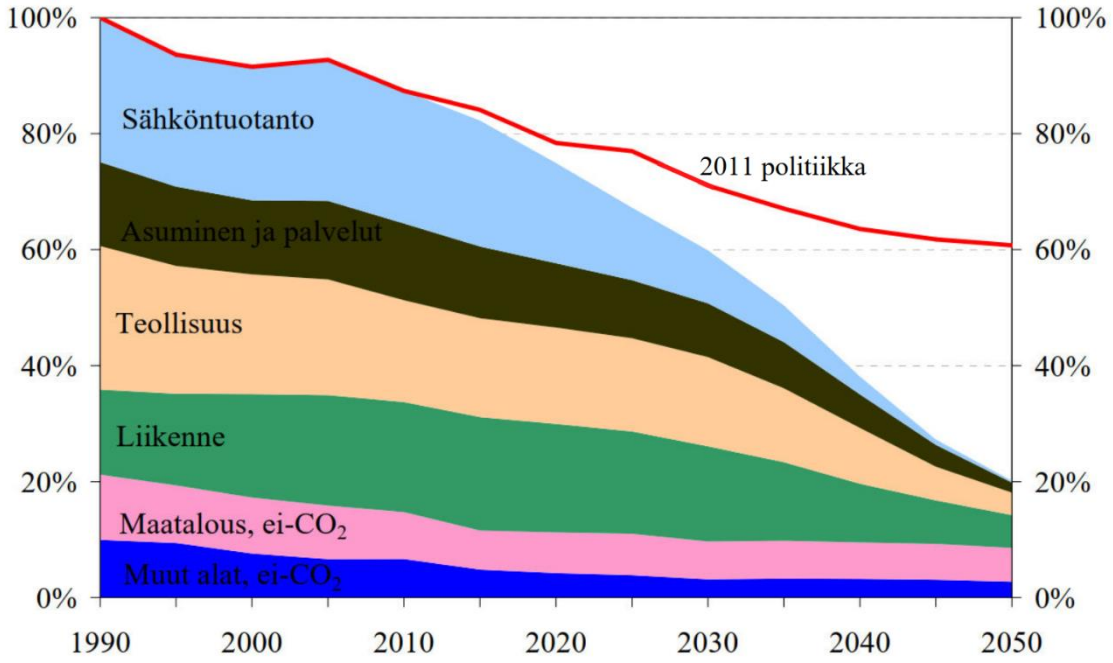
Työ jakautuu kuuteen osaan. Ensimmäisenä on johdanto, jossa esitellään työn taustaa, tavoitteita, tutkimusmenetelmiä ja työn rakennetta. Toisessa luvussa perehdytään tutkimuksen teoriaan. Luvussa käydään läpi Euroopan ja Suomen rakentamisen energiankäyttöön ja päästöihin liittyvät määräykset sekä näiden kehitystä. Lisäksi luvussa tutkitaan rakennusten hiilijalanjälkeä käsittelevää standardistoa ja standardisointia sekä perehdytään Suomessa yleisimmin vaikuttaviin rakennusten ympäristöluokitusjärjestelmiin.

Kolmas ja neljäs luku sisältävät tutkimuskohteen ja vertailukohteiden hiilijalanjälkilaskennan. Kolmannessa luvussa esitellään tutkimuskohde, sen rakenteet, rakennusmateriaalit ja energiankulutukseen liittyvät ominaisuudet. Lisäksi esitetään tutkimuskohteen hiilijalanjälkilaskennan tulos. Neljännessä luvussa käydään läpi kolmen vertailukohteen rakenneratkaisut, rakennusmateriaalit sekä energiankulutustiedot sekä esitetään näiden hiilijalanjälki.

Viidennessä luvussa käsitellään tarkemmin hiilijalanjälkilaskennasta saatuja tuloksia. Eri kohteiden tuloksia verrataan toisiinsa, ja pohditaan syitä tulosten erojen takana. Lisäksi käydään läpi työn tulosten epävarmuustekijöitä. Viimeisessä luvussa esitetään tutkimuksen johtopäätökset.

# 2. RAKENNUKSEN ELINKAAREN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

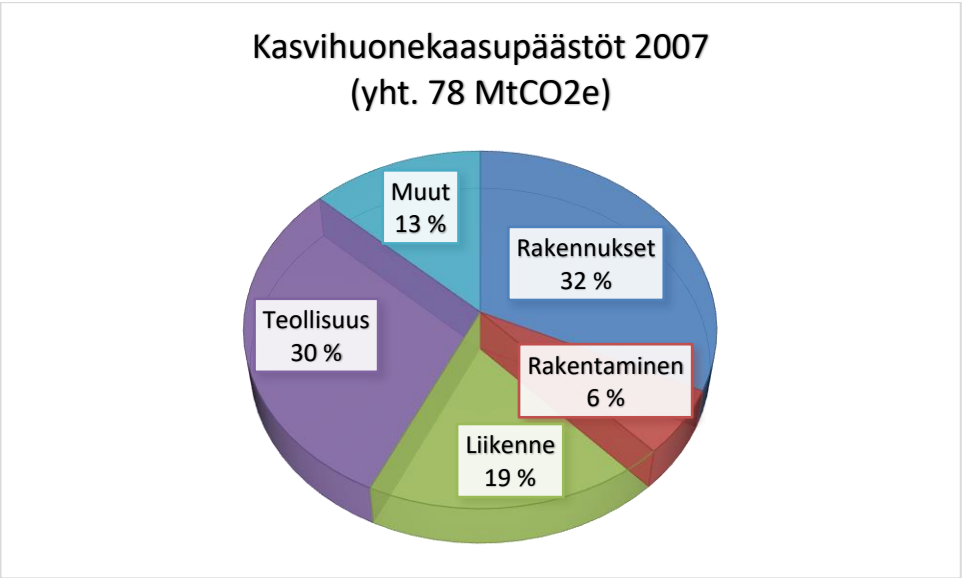
Ihmisten toiminnallaan aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt ovat aiheuttaneet ilmaston lämpenemisen, jolla on laaja-alaisia vaikutuksia maapallolle ja sen eliöstölle. Suomi on sitoutunut osana eurooppalaista ilmasto- ja energiapolitiikkaa vähentämään päästöjä 80 % vuoden 1990 päästöistä vuoteen 2050 mennessä, jolla pyritään pitämään ilmaston lämpeneminen alle 2 °C:ssa. Yhtenä välitavoitteena on ollut vuoteen 2020 mennessä vähentää kasvihuonekaasupäästöjä 20 %, kasvattaa uusiutuvan energian osuus EU:n kokonaisenergiasta 20 %:iin ja saavuttaa 20 %:n parannus energiatehokkuuteen. Tavoitekuvaaja kasvihuonekaasupäästöjen pienentämiseen tavoitetasolle on esitetty kuvassa 1. (Euroopan komissio 2011)




***Kuva 1.*** *Kasvihuonekaasupäästöjen tavoitekehitys (muokattu lähteestä Euroopan komissio 2011)*

Kuvassa 1 on lisäksi esitetty punaisella käyrä, joka kuvaa päästökehitystä vuoden 2011 politiikkaa jatkamalla, ilman tehostettuja ilmastotoimia. Kuvasta nähdään eriteltynä asumisen, teollisuuden, liikenteen ja sähköntuotannon päästöjen jakauma ja näiden tavoitekehitys. Ei-$CO_2$:lla tarkoitetaan muita päästöjä kuin hiilidioksidia, eli esimerkiksi metaani- ja dityppioksidipäästöjä. (Euroopan komissio 2011)

Sitran selvityksen mukaan Suomessa tuotetut kasvihuonekaasupäästöt olivat vuonna 2007 noin 78 $MtCO_2e$. Yksikkö $CO_2e$ tarkoittaa hiilidioksidiekvivalenttia, jolla verrataan kasvihuonekaasun tai -kaasujen säteilypakotetta hiilidioksidin säteilypakotteeseen, eli kasvihuonekaasun aiheuttamaa maailmanlaajuisen pintalämpötilan keskiarvon muutosta verrataan hiilidioksidin aiheuttamaan vastaavaan muutokseen (SFS-EN ISO 14067:2018 2019). Yksiköllä helpotetaan eri tuotteiden tai tapahtumien ympäristökuormituksien vertailua keskenään. Kasvihuonekaasupäästöjen jakauma sektoreittain on esitetty kuvassa 2. (Heljo et al. 2010)



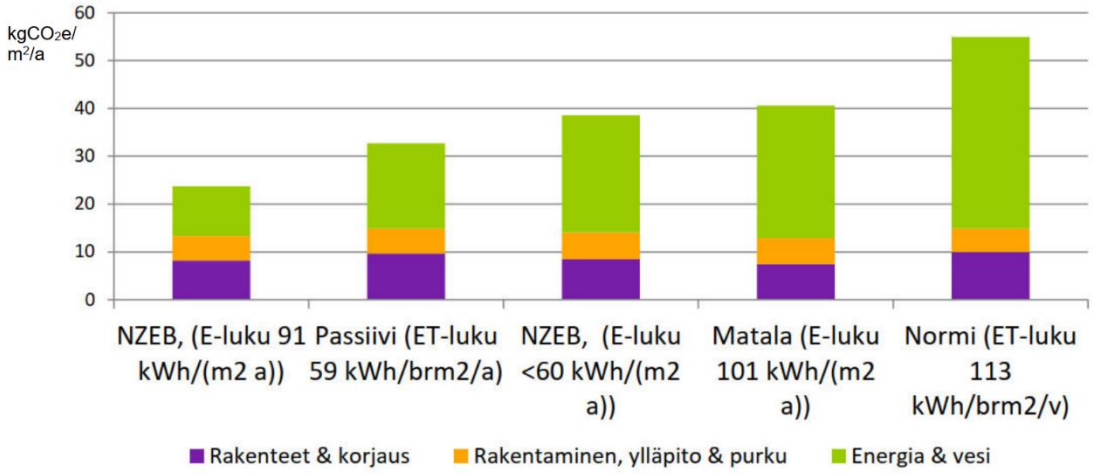

***Kuva 2.*** *Kasvihuonekaasupäästöjen jakauma Suomessa 2007 (muokattu lähteestä: Heljo et al. 2010)*

Kuvasta nähdään, että vuonna 2007 Suomessa rakennusten ja rakentamisen yhteispäästöt olivat 38 % kaikista Suomen kasvihuonekaasupäästöistä. Rakennusten päästöt näistä ovat 32 %, joka käsittää rakennusten käyttövaiheen energiankulutuksen päästöt, ja rakentamisen päästöt, 6 %, koostuvat rakennusmateriaalien valmistuksesta ja rakennusvaiheesta. Jakaumassa on huomioitu kategorioittain sähköntuotannon päästöt sähkön loppukäytön suhteessa, toisin kuin kuvassa 1, jossa sähköntuotanto on esitetty omana osionaan.

Suomalainen rakennuskanta käsittää 2000 miljoonaa kuutiota kasvaen vuosittain 10–20 miljoonalla kuutiolla (Bruce et al. 2013). Rakennusten päästövaikutus on siis todella merkittävä ja rakennusmassan jatkuvasti kasvaessa rakennusten päästöjen vaikutuksella on edellytykset nousta vieläkin suuremmaksi.

Rakennukset rakennetaan pääosin moneksi kymmeneksi vuodeksi, joten käytönaikaisten päästöjen merkitys rakennuksen elinkaaren aikaisista päästöistä muodostuu tavallisesti suureksi.

1970-luvun öljykriisin seurauksena energian hinnat ja rakennusten lämmityskustannukset nousivat merkittävästi ja pian tämän jälkeen Suomen rakentamismääräyskokoelmassa asetettiin ensimmäiset vaatimukset rakenteiden lämmöneristävyydelle (Raksystems 2019). Myöhemmin rakennusten energiankulutuksen ohjaaminen on muotoutunut nykyiseen muotoonsa, eli rakennusten energiatodistuksiin. Uusien rakennusten energiatehokkuutta onkin saatu parannettua eristemääriä lisäämällä ja taloteknisiä laitteistoja tehostamalla. Rakennusten muuttuessa energiatehokkaammiksi rakennusten käytönaikaisen energiankulutuksen suhde rakentamisen ja rakennusmateriaalien osuuteen pienenee. Samaa ilmiötä tukee myös tulevaisuuden oletettavasti vähäpäästöisempi energia, jota rakennukset käyttövaiheen ajan kuluttavat (Häkkinen & Vares 2018). Lisäksi rakennusten energiatehokkuuden parantaminen vielä nykytasoa paremmaksi lämmöneritystä lisäämällä heikentää rakenteiden vikasietoisuutta sekä lisäeristykseen tehdyn investoinnin takaisinmaksuaika muodostuu jo hyvin pitkäksi (Aaltonen et al. 2013). Alla oleva kuva havainnollistaa rakennusmateriaalien ja rakentamisen suhteellisen päästövaikutuksen kasvamista rakennusten energiatehokkuuden parantuessa ARA-kohteissa.




***Kuva 3.*** *Kasvihuonekaasupäästöjen jakaumat rakennuksen elinkaaren eri vaiheille ARA-kohteissa (Bruce et al. 2017)*

Kuvasta 3 nähdään, että käyttövaiheen energiankulutuksen hiilijalanjälki voi muodostua yhtä suureksi kuin rakennusmateriaalien, rakentamisen ja korjaamisen hiilijalanjälki, kun rakennus on riittävän energiatehokas. Rakentamisen normiohjaukseen onkin nyt tulossa rakennuksen elinkaaren aikaisten kasvihuonekaasupäästöjen, eli hiilijalanjäljen laskenta. Rakennuksen elinkaaren aikaiset päästöt käsittävät rakennusmateriaalien valmistuksen ja kuljetuksen, rakennuksen rakentamisen, korjaamisen ja osien vaihtamisen, rakennuksen käyttövaiheen ja purkamisen sekä purkujätteiden käsittelyn. Rakennuksen elinkaaren vaiheet on esitetty taulukossa 1. (Kuittinen 2017)

***Taulukko 1.*** *Rakennuksen elinkaaren vaiheet ja näihin kuuluvat toiminnot (muokattu lähteestä: Kuittinen 2017)*

| RAKENNUKSEN ELINKAARI | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **A1-A3** | **A4-A5** | **B** | **C** | **D** |
| **TUOTEVAIHE** | **RAKENTAMINEN** | **KÄYTTÖVAIHE** | **PURKUVAIHE** | **LISÄTIEDOT** |
| A1 Raaka-aineen hankinta | A4 Kuljetus työmaalle | B1 Tuotteen käyttö rakennuksessa | C1 Purkaminen | Rakennuksen elinkaaren ulkopuolelle jäävät hyödyt tai haitat |
| A2 Kuljetus valmistukseen | A5 Työmaatoiminnot | B2 Kunnossapito | C2 Kuljetukset | |
| A3 Tuotteen valmistus | | B3 Korjaus | C3 Purkujätteen käsittely | |
| | | B4 Osien vaihto | C4 Purkujätteen loppusijoitus | |
| | | B5 Laajamittaisen korjaukset | | |
| | | B6 Energian käyttö | | |
| | | B7 Veden käyttö | | |

Lainsäädäntö rakennusten elinkaaren ympäristövaikutusten laskennasta on tarkoitus ottaa käyttöön vaiheittain. Ensin menetelmiä kehitetään ja testataan julkisissa rakennushankkeissa sekä yksityisellä sektorilla, sekä laaditaan ohjausjärjestelmä. Tarkoituksenmukaisten raja-arvojen asettamiseksi eri rakennustyypeille sopiviksi tarvitaan lisäksi laajahko otanta eri rakennuksille määritettyjä elinkaaren päästölaskelmia. Tavoitteena on saada ohjaus käyttöön vuoteen 2025 mennessä, jolloin todennäköisesti ensin tulee käyttöön ilmoitusvelvollisuus ennen sitovia raja-arvoja. (Kuittinen 2017)

## 2.1 Rakennusten energiatehokkuuteen liittyvät määräykset Suomessa ja Euroopassa

Suomi kuuluu Euroopan unioniin, ja on näin EU:n lainsäädännön alainen. Jäsenvaltiot ovat tietyillä aloilla antaneet päätöksentekovaltaansa unionille, jolloin vallanjaon perusperiaate on niin kutsuttu annetun toimivallan periaate. EU:n antamat määräykset ovat neljänlaisia: asetus, direktiivi, päätös ja suositus. Asetus on näistä vahvin ja tulee voimaan sellaisenaan, direktiivi on ohje, jonka mukainen laki jokaisen jäsenmaan on tehtävä. Päätöksillä täydennetään asetuksia ja direktiivejä ja ovat sitovia niille osoitetuille tahoille. Päätökset voivat koskea yhtä tai useampaa jäsenmaata, yritystä tai yksityishenkilöä. Suositus on lievin määräys, jota jäsenmaiden ei ole pakko noudattaa. EU:n asetukset, direktiivit ja päätökset ovat vahvempia kuin jäsenmaiden omat päätökset ja lait. (Euroopan Komissio n.d.)

### 2.1.1 Määräykset Euroopassa

Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi (2002/91/EY) tuli voimaan 4.1.2003 ja se koostui energiatehokkuuden vähimmäisvaatimusten asettamisesta, energiatehokkuustodistusten käyttöönotosta ja määräaikaistarkistusten käyttöönotosta. Tämän seurauksena Suomessa käynnistettiin projekti, jossa kehitettiin kokonaisenergiatehokkuuden laskentamenetelmä, kun vanha D5 vuodelta 1985 ei sellaisenaan täyttänyt direktiivin vaatimuksia. (Haakana n.d.)

Uusiutuvan energian direktiivi (RES 2009) edellyttää jäsenmailta uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian vähimmäistasoa (38 % loppukulutuksesta) uusissa ja perusteellisesti kunnostettavissa rakennuksissa. Lisäksi jäsenmaiden on sallittava mainittujen vähimmäistasojen saavuttaminen mm. kaukolämmöllä ja -jäähdytyksellä, joka tuotetaan käyttämällä merkittävää uusiutuvien energialähteiden määrää. Lisäksi on annettu tuotetiedon esitysmuotoa säätävä rakennustuoteasetus ja merkintöjä säätävä ekosuunnittelu- ja tuotemerkintädirektiivi. (RIL 249-2015 2015)

Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi (EPBD 2010, 2010/31/EU) edellyttää jäsenmailtaan, että 31.12.2020 jälkeen kaikki uudet rakennukset ovat lähes nollaenergiarakennuksia ja että 31.12.2018 jälkeen uudet rakennukset, jotka ovat viranomaisten käytössä ja omistuksessa, ovat lähes nollaenergiarakennuksia. Myös olemassa olevien rakennusten energiatehokkuutta on parannettava energiakorjauksin (RIL 249-2015 2015). EPBD direktiivin pohjalta käynnistettiin Suomessa FInZEB -tutkimushanke, joka tutki ja kehitti suomalaisiin oloihin sopivan lähes nollaenergiarakentamisen vaatimustason, huomioiden rakennusalan lyhyehkön valmistautumisajan suhteessa tulevien määräysten merkittävyyteen. Tutkimuksen tuloksena esitettiin ehdotukset rakennuksille asetettaville E-lukujen vaatimustasoille, joiden pohjalta asetettiin vuonna 2018 voimaan tulleet E-lukuvaatimukset (Loisa et al. 2015).

Energiatehokkuusdirektiivi (EED 2012) edellyttää yleisemmin mm. rakennusten energiatehokkuuden parantamiseen pitkän aikavälin strategiaa, koskien erityisesti rakennusten peruskorjausta. Se velvoittaa laatimaan kansallisen energiatehokkuuden toimintasuunnitelman kolmen vuoden välein sekä vuosiraportin, jossa seurataan ja arvioidaan energiankäytön ja energiatehokkuuden kehittymistä. (RIL 249-2015 2015)

### 2.1.2 Määräykset ja näiden kehitys Suomessa

Suomessa rakentamiseen ja rakennusten energiatehokkuuteen liittyvien lakien ja määräyksien säätämisestä ja toimeenpanosta vastaa ympäristöministeriö. Rakennuksiin liittyvää energiankäyttöä on alettu ohjaamaan 1970-luvun puolessa välissä, josta on edetty nykyisiin energiatodistuksiin. Hallitusohjelman 2019 tavoitteena on, että Suomi on hiilineutraali vuoteen 2035

mennessä (Ympäristöministeriö n.d.). Tätä tukee seuraavana suurena uudistuksena rakennusten ympäristöystävällisyyden näkökulmasta rakennuksen hiilijalanjäljen ohjaaminen, jonka on tarkoitus tulla käyttöön vuonna 2025 (Ympäristöministeriö 2019).

Seuraavana on esitetty tähän mennessä voimaan tulleet rakennusten energiatehokkuuteen liittyvät määräykset voimaantulovuosittain. Tässä ei ole esitetty taloteknisten laitteistojen vaatimuksia muuten kuin osana energiatodistusta.

1. heinäkuuta 1976 tulivat voimaan Suomen rakentamismääräyskokoelmaan kuuluvat määräykset C1 ääneneristys, C2 veden- ja kosteudeneristys, C3 lämmöneristys ja ohje C4 lämmönläpäisykertoimen määritys ja eristystyön suoritus. Osassa C3 määrättiin: ”Kylmänä vuodenaikana jatkuvaan käyttöön tarkoitettua lämmitettävää tilaa rajoittavien ulkoilmaa tai kylmää tilaa vasten olevien rakennusosien tulee olla lämpöteknillisiltä ominaisuuksiltaan kuten eristävyydeltään sellaisia, että tässä tilassa voidaan saavuttaa sen käyttötarkoituksen vaatimat lämpöolosuhteet eikä haitallista kosteuden tiivistymistä tapahdu.” Rakennusvaipan lämmönläpäisykertoimille asetettiin enimmäisarvot, jotka on esitetty taulukossa 2.

***Taulukko 2.*** *Rakenneosien lämmönläpäisykertoimien vaatimukset 1976. (Muokattu lähteestä C 1–4 1976)*

| Rakenneosa | Lämmönläpäisykerroin k [W/m2°C] |
|---|---|
| **Seinä ulkoilmaa tai lämmittämätöntä ilmaa vasten** | |
| yksinomaan muurauskivestä tehty seinä | 0.9 |
| muu seinä, jonka massa > 100 kg/m$^2$ | 0.7 |
| seinä, jonka massa ≤100 kg/m$^2$ | 0.4 |
| **Seinä osittain lämmitettyä tilaa vasten** | |
| asuinhuoneen ja sellaisen tilan välinen seinä, jossa lämpötila on +2 °C - +10 °C | 1.6 |
| **Yläpohja ulkoilmaa tai lämmittämätöntä tilaa vasten** | 0.35 |
| **Väli- tai alapohja** | |
| osittain lämmitettyä tilaa vasten [1)] | 0.6 |
| lämmittämätöntä tilaa vasten [2)] | 0.4 |
| lämmittämätön, maanvarainen [3)] | 0.4 |
| ulkoilmaa vasten | 0.35 |
| **Ikkunan ja oven lasipinta** | |
| Ikkunapinta/ seinäpinta [4)] < 0.6 | 3.1 |
| Ikkunapinta/ seinäpinta [4)] ≥ 0.6 | 2.1 |

*1) osittain lämmitetyksi tilaksi katsotaan normaalisti rakennettu kellaritila, jossa sijaitsevat keskuslämmitysputkistot sekä alustatila, joka saa jossain määrin lämpöä esim. lämpöjohdoista, ja jonka tuuletusaukkojen yhteinen pinta-ala on enintään 10 cm$^2$/alapohja-m$^2$*

*2) Lämmittämättömäksi tilaksi katsotaan kylmä kellaritila sekä lämmittämätön alustatila, jonka tuuletusaukkojen yhteinen pinta-ala on enintään 20 cm$^2$/alapohja-m$^2$*

*3) Arvo koskee alapohjan 6 metrin levyistä reuna-aluetta. Lämmönvastusta laskettaessa saa maapohjan lämmönvastuksen ottaa huomioon. Yli 6 metrin etäisyydellä lähimmästä ulkoseinästä oleva maanvarainen alapohja saa olla eristämätön*

*4) Lasketaan erikseen jokaiselle huoneen ulkoseinälle. Ikkunapinta tarkoittaa ikkunan karmin ja oven ikkunaosan ulkoreunan rajoittamaa pintaa ja seinäpinta ulkoseinän sisäpintaa. Viimeksi mainittuun lasketaan siis mukaan ikkunoiden ja ovien pinta-alat sekä komeroiden peittämien ulkoseinäosien pinta-alat.*

Kuten taulukosta 2 nähdään, lämmönläpäisykertoimen tunnuksena oli k (nykyisin U) ja yksikkönä [W/m$^2$°C] (nykyisin [W/m$^2$K]). Uudet ja vanhat lämmönläpäisykertoimet ovat siis keskenään suoraan vertailtavissa. (C 1–4 1976)

1. heinäkuuta 1979 ja 31.joulukuuta 1979 tulivat voimaan uudet C3 ja C4, jotka korvasivat 1976 voimaan tulleet määräykset. Niissä selvennettiin muun muassa lämpimän ja puolilämpimän tilan määritelmiä sekä asetettiin uudet lämmönläpäisykertoimien maksimiarvot. Taulukossa 3 on esitetty päivitetyt lämmönläpäisykertoimien vaatimukset rakennusosittain. Taulukosta 3 nähdään, että suurin tiukennus rakennusosien lämmönläpäisykertoimissa on tullut ulkoseiniin. (C 1–4 1979)

***Taulukko 3.*** *Rakennusosien lämmönläpäisykertoimien vaatimukset 1979. (Muokattu lähteestä C 1–4 1979)*

| Rakennusosa | Lämmönläpäisykerroin k [W/m²K] Lämmin [1)] | Puoli-lämmin |
|---|---|---|
| **Ulkoilmaa tai lämmittämätöntä tilaa vastaan olevat rakennusosat** | | |
| kevyet seinärakenteet enintään 100 kg/m² | 0.29 | 0.6 |
| raskaat seinärakenteet yli 100 kg/m² [2)] | 0.35 | 0.6 |
| kevyet yläpohjat enintään 100 kg/m² | 0.23 | 0.6 |
| raskaat yläpohjat yli 100 kg/m² [2)] | 0.29 | 0.6 |
| kevyet alapohjat enintään 100 kg/m² | 0.23 | 0.6 |
| raskaat alapohjat yli 100 kg/m² [2)] | 0.29 | 0.6 |
| **Maata vastaan olevan rakennusosan lämmönläpäisykerroin** | | |
| alapohja [3)] | 0.4 | 0.6 |
| seinä | 0.4 | 0.6 |
| **Ikkunan ja oven osat:** | | |
| valoaukko | 2.1 | 3.1 |
| oven umpiosa, tuuletusluukku | 0.7 | 2.0 |
| näyteikkuna | 3.1 | - |

*1) Keskiraskaaseen tai raskaaseen työhön tarkoitetun työtilan tai varaston mitoittavan lämpötilan ollessa lämmityskaudella vähintään +17 °C mutta alle +20 °C saavat lämpimien tilojen ulkoseinien arvot olla enintään 0.5 W/m²K*

*2) Rakennusosan massasta tulee vähintään 50 % sijaita lämmöneristeen lämpimällä puolella*

*3) Alapohjan arvo koskee 6 metrin levyistä reuna-aluetta. Lämmönvastusta laskettaessa saa maapohjan lämmönvastuksen ottaa huomioon. Yli 6 metrin etäisyydellä lähimmästä ulkoseinästä oleva maanvarainen alapohja saa olla eristämätön.*

Samalla voimaan tuli myös Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D3, Rakennusten energiatalous, Määräykset ja ohjeet. D3 edellytti, että rakennuslupaa haettaessa tai rakentamisen aikana tulee esittää rakennuksen energiataloutta koskeva selvitys, jonka tuli sisältää vähintään rakennuksen tehontarpeen määrittävät tekijät, tehontarvelaskelman rakennuskohtaisena sekä rakennuksen kuutiometriä kohden ja selvityksen siitä, kuinka yksittäisesti lämmitetyn rakennuksen lämpöhuolto järjestetään ulkomaisen polttoaineen saannin estyessä. Raja-arvoja tehontarpeille ei esitetty. (D3 1978)

1. tammikuuta 1985 tuli voimaan päivitetty C 3 kumoten -79 voimaan tulleen C 3:n. Lämpöteknisesti suurin eroavaisuus suhteessa kumottuun versioon oli, että rakenteiden lämmönläpäisykertoimen vaatimusta ei ollut jaoteltu enää erikseen raskaalle ja kevyelle rakenteelle. Päivitetyt vaatimukset on esitetty taulukossa 4. Kuten taulukosta 4 nähdään, muiden rakennusosien kuin ikkunoiden ja ovien lämmönläpäisykertoimien vaatimusta kiristettiin myös kevyesti. (C 3 1985)

***Taulukko 4.*** *Rakennusosien lämmönläpäisykertoimien vaatimukset 1985. (Muokattu lähteestä C 3 1985)*

| Rakennusosa | Lämmönläpäisykerroin k [W/m²K] Lämmin [1)] | Puoli-lämmin |
|---|---|---|
| **Ulkoilmaa tai lämmittämätöntä tilaa vastaan olevat rakennusosat** | | |
| seinä | 0.28 | 0.45 [2)] |
| yläpohja ja alapohja | 0.22 | 0.45 [2)] |
| **Maata vastaan olevan rakennusosan lämmönläpäisykerroin** | | |
| alapohja [3)] ja seinä | 0.36 | 0.45 [2)] |
| **Ikkunan ja oven osat:** | | |
| valoaukko | 2.1 | 3.1 |
| oven umpiosa, tuuletusluukku [4)] | 0.7 | 2.0 |
| näyteikkuna | 3.1 | - |

*1) Teollisuusrakennuksessa ja varastossa saa seinärakenteen arvo olla kuitenkin enintään 0.45 W/m²K ja yläpohjan enintään 0.36 W/m²K.*

*2) Teollisuusrakennuksessa ja varastossa kuitenkin enintään 0.65 W/m²K.*

*3) Alapohjan arvo koskee 6 metrin levyistä reuna-aluetta. Lämmönvastusta laskettaessa saa maapohjan lämmönvastuksen ottaa huomioon. Yli 6 metrin etäisyydellä lähimmästä ulkoseinästä oleva maanvarainen alapohja saa olla eristämätön.*

*4) Vaatimus koskee eristetyn osan lämmönläpäisykerrointa.*

1. lokakuuta 2003 tuli voimaan päivitetty Suomen rakentamismääräyskokoelman osa C3, joka samalla kumosi vanhan, vuonna -85 voimaan tulleen C3:n. Uusissa määräyksissä tuotiin esille rakennuksen vaipan ilmatiiveyden tärkeys, etenkin ilmanvaihtojärjestelmän suunnitellun toiminnan varmistamiseksi. Lämmöneristysvaatimusten täyttyminen voitiin osoittaa suoraan käyttämällä korkeintaan annettuja rakennusosakohtaisia lämmönläpäisykertoimien arvoja. Mikäli arvoja ei täytetty, tuli osoittaa vaipan lämpöhäviölaskelma, jolla osoitettiin, että rakennuksen kokonaislämpöhäviö on korkeintaan yhtä suuri kuin rakennusosakohtaisilla vaatimusten arvoilla lasketun rakennuksen vertailutaso. Kuitenkin rakennusosille oli lisäksi asetettu maksimiarvoja, joita ei saanut ylittää, vaikka kokonaislämpöhäviö olisi sallitun rajoissa. Mikäli vaipan lämpöhäviön laskelma ei täyttänyt vaatimuksia, tuli osoittaa laskelmin, että rakennuksen lämpöenergian tarve ei ylitä tietyin arvoin laskettua vertailutasoa. Lämmönläpäisykertoimen tunnukseksi tuli U entisen k:n tilalle [W/m²K]. Lisäksi päivitettiin rakenneosien lämmönläpäisykertoimien arvoja. Päivitetyt arvot on esitetty taulukossa 5. Jäähdytetyn kylmän tilan ja lämpimän tilan välisten rakenteiden lämmönläpäisykertoimet eivät myöskään saaneet ylittää lämpimän tilan lämmönläpäisykertoimien arvoja. (C3 2003)

1. tammikuuta 2008 tuli voimaan päivitetty C3 kumoten 2003 voimaan tulleet määräykset. Uusissa määräyksissä lämmöneristyksen täyttämisen menetelmiin tuli muutoksia. Rakennuksen

vaipan lämpöhäviö sai olla enintään 20 % suurempi kuin vertailuarvoilla laskettu lämpöhäviö, jos lämpöhäviön ylitys kompensoitiin parantamalla ilmanvaihtojärjestelmän poistoilman lämmöntalteenottoa tai rakennuksen vaipan ilmanpitävyyttä. Lisäksi rakenneosien lämmönläpäisykertoimien vertailuarvot päivitettiin. Päivitetyt arvot on esitetty taulukossa 5. Jäähdytettävän kylmän tilan ja muiden tilojen välisen seinän ja välipohjan lämmönläpäisykertoimeksi määritettiin enintään 0,38 $W/m^2K$ ja oven lämmönläpäisykertoimeksi enintään 1,8 $W/m^2K$. (C3 2007)

C3:n lisäksi 1. tammikuuta 2008 tuli voimaan D3 Rakennusten energiatehokkuus, joka samalla kumosi vuoden 1978 D3:n, Rakennusten energiatalous. Siinä määrättiin, että rakennuksen laskennallinen lämpöhäviö saa olla enintään yhtä suuri kuin rakennukselle määritetty vertailulämpöhäviö. Määräystenmukaisuus osoitetaan tasauslaskelmalla, joka tulee tehdä erikseen lämpimille ja puolilämpimille tiloille. Rakennuksen vertailulämpöhäviön laskelmassa ilmanvuotolukuna käytettiin vertailuarvona lukua $n_{50}$ = 4,0 1/h. Lisäksi rakennuslupaa haettaessa tulee esittää rakennuksen energiaselvitys, joka tulee lisäksi päivittää ennen rakennuksen käyttöönottoa. (D3 2007)

Samalla tuli voimaan laki rakennuksen energiatodistuksesta (487/2007) sekä ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta (765/2007). Energiatodistuksessa on ilmoitettava rakennuksen tarkoitustaan vastaavaan käyttöön tarvittava energiamäärä energiatehokkuuden arvioimiseksi ja vertaamisen mahdollistamiseksi muihin samaa tarkoitusta palveleviin rakennuksiin. Rakennukset jaetaan käyttötarkoituksen mukaan ryhmiin, joilla kullakin on energiatehokkuutta ilmaiseva asteikko. Energiamäärä ilmoitetaan suhteessa rakennuksen pinta-alaan. Rakennuksen käyttämään energiamäärään sisältyy rakennuksen lämpöominaisuudet, lämmityslaitteet, lämmin käyttövesi, ilmanvaihto ja sähkön kulutus. Rakennukset luokiteltiin energiatehokkuuden mukaan käyttötarkoitusluokittain energiatehokkuusluokkiin A-G. E-luvulle ei ollut vielä raja-arvoa joka uudisrakennuksissa tulee alittaa, eikä eri ostoenergiamuodoilla ollut painokertoimia. (487/2007 2007, 765/2007 2007)

***Taulukko 5.*** *Rakennusosien lämmönläpäisykertoimien vaatimukset vuosilta 2003, 2008, 2010 ja 2012. (Muokattu lähteistä C3 2003, C3 2007, C3 2010, D3 2012)*

| | Lämmönläpäisykerroin U [W/m²K] | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Rakennusosa** | **2003** | **2008** | **2010** | **2012** |
| **Lämmin tila** | | | | |
| seinä | 0.25 | 0.24 | 0.17 | |
| hirsiseinä [2)] | | | 0.4 | |
| yläpohja, ulkoilmaan rajoittuva alapohja | 0.16 | 0.15 | 0.09 | |
| ryömintätilaan rajoittuva alapohja [1)] | 0.20 | 0.19 | 0.17 | |
| maata vastaan oleva rakennusosa | 0.25 | 0.24 | 0.16 | |
| ikkuna, ovi | 1.4 | 1.4 | 1.0 | |
| kattoikkuna | 1.5 | 1.5 | 1.0 | |
| **Puolilämmin tila** | | | | |
| seinä | 0.4 | 0.38 | 0.26 | |
| hirsiseinä [2)] | | | 0.6 | |
| yläpohja, alapohja | 0.3 | | | |
| yläpohja, ulkoilmaan rajoittuva alapohja | | 0.28 | 0.14 | |
| ryömintätilaan rajoittuva alapohja [1)] | | 0.28 | 0.26 | |
| maata vastaan oleva rakennusosa | 0.36 | 0.34 | 0.24 | |
| ikkuna, ovi | 1.8 | 1.8 | 1.4 | |
| kattoikkuna | | 1.8 | 1.4 | |
| **Lämmin tila rajoittuu puolilämpimään** | | | | |
| seinä | 0.45 | 0.6 | 0.6 | |
| välipohja | 0.45 | 0.6 | 0.6 | |
| ikkuna, ovi | 2.8 | 2.8 | 2.8 | |
| **Jäähdytettävä kylmä tila rajoittuu muuhun tilaan** | | | | |
| seinä ja välipohja | | 0.38 | 0.27 | |
| ovi | | 1.8 | 1.4 | |
| **Loma-asunto** | | | | |
| seinä | | | | 0.24 |
| hirsiseinä [2)] | | | | 0.8 |
| yläpohja, ulkoilmaan rajoittuva alapohja | | | | 0.15 |
| ryömintätilaan rajoittuva alapohja [1)] | | | | 0.19 |
| maata vastaan oleva rakennusosa | | | | 0.24 |
| ikkuna, kattoikkuna, ovi | | | | 1.4 |

*1) tuuletusaukkojen määrä enintään 8 promillea alapohjan pinta-alasta*
*2) hirsirakenteen keskimääräinen paksuus vähintään 180 mm*

1.1.2010 astuivat voimaan päivitetyt C3 Rakennusten lämmöneristys ja D3 Rakennusten energiatehokkuus, jotka kumosivat vanhat versiot. C3:ssa rakennuksen vaipan lämpöhäviön sallittu ylitys suhteessa vertailuarvoon muuttui 30 %:iin, jos lämpöhäviön ylitys tasataan pienentämällä rakennuksen vuotoilman tai ilmanvaihdon lämpöhäviötä. Rakennusosien vertailuarvoihin on lisätty hirsiseinä, joksi tulkitaan vähintään 180 mm paksu hirsirakenne. Rakenneosien lämmönlä-

päisykertoimien vertailuarvoja lisäksi kiristettiin, päivitetyt arvot on esitetty taulukossa 5. Taulukosta 5 nähdään, että rakennusosien lämmönläpäisykertoimien kiristys oli suhteellisesti suurin kerralla tehty kiristys rakennusosien lämmönläpäisykertoimien vaatimusten historiassa. D3:ssa kiristettiin vertailulämpöhäviön laskennassa käytettävän ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde 45 %:iin aiemmasta 30 %:sta ja ilmanvuotoluvun arvoksi päivitettiin $n_{50}$ = 2,0 1/h. (C3 2010, D3 2010)

1. heinäkuuta 2012 tuli voimaan päivitetty D3 Rakennusten energiatehokkuus (2/11), joka kumosi aiemman D3:n sekä C3:n. Asetuksessa esitettiin energiamuotojen kertoimet, joilla rakennuksessa käytetyn ostoenergian kulutukset lasketaan painotettuna energiamuodoittain. Energiamuotojen kertoimet on esitetty taulukossa 6. Eri käyttötarkoitusluokkien rakennuksille esitettiin myös E-luvun raja-arvot, jotka uusien rakennusten tulee alittaa. E-luvun raja-arvot käyttötarkoitusluokittain on esitetty taulukossa 7. Minimivaatimukseksi asetettiin E-luokka C. Lisäksi E-luokkien tasojen vaatimukset päivitettiin, ja pienten rakennusten luokitus tuli riippuvaisemmaksi pinta-alasta. Kokovuotiseen käyttöön tarkoitetulla lämmitysjärjestelmällä varustetuille loma-asunnoille asetettiin vaatimukseksi täyttää vaipan lämpöhäviön vaatimukset suhteessa osoitettuihin vertailuarvoihin. Loma-asuntojen rakennusosien lämmönläpäisykertoimien vaatimukset on esitetty taulukossa 5. Rakennuksen ilmanvuotolukua kuvaavaksi suureeksi muutettiin rakennusvaipan ilmanvuotoluku $q_{50}$ [$m^3/h*m^2$], jossa ilmanvuotoluku on suhteutettu rakennusvaipan pinta-alaan ja tilavuuteen. Vertailuarvon suuruus pysyi entisellään, mutta yksikkö muuttui. Ilmanvuotoluvun vertailuarvoksi asetettiin siis $q_{50}$ = 2,0 $m^3/h*m^2$. (D3 2012)

1. kesäkuuta 2013 tuli voimaan uusi laki rakennuksen energiatodistuksesta (50/2013), joka samalla kumosi vuonna 2007 tulleen lain. Lisäksi tuli voimaan ympäristöministeriön asetukset rakennuksen energiatodistuksen laatijan pätevyydestä ja kevennetyn energiatodistusmenettelyn edellytyksistä (170/2013) sekä asetus rakennuksen energiatodistuksesta (176/2013). Uudessa laissa oli laajemmin esitetty koko lain sisältö, ja pykäliä oli vanhaan lakiin verrattuna lähes kolminkertainen määrä. (50/2013 2013)

25. elokuuta 2014 tuli voimaan asetuksen D3 lisäykset (1/14), joissa esitettiin lähes nollaenergiarakennuksen käsite, sekä määräykset lähes nollaenergiarakennuksista. Lähes nollaenergiarakennukseksi määritettiin rakennus, jolla on erittäin korkea energiatehokkuus sellaisena, kuin se on määriteltynä Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2010/31/EU liitteen 1 mukaisesti. Käytännössä direktiivin mukainen määritysmenetelmä vastaa sisällöltään energiatodistuksen määritystä. Lisäksi rakennuksessa tarvittava lähes olematon tai erittäin vähäinen energian

määrä tulee kattaa hyvin laajalti uusiutuvista lähteistä peräisin olevalla energialla, mukaan lukien paikan päällä tai rakennusten lähellä tuotettava uusiutuvista lähteistä peräisin oleva energia. Lisäksi määrättiin, että vuoden 2018 joulukuun 21. päivän jälkeen viranomaisten käytössä ja omistuksessa olevien uusien rakennusten tulee olla lähes nollaenergiarakennuksia, ja vuoden 2020 joulukuun 31. päivään mennessä kaikkien uusien rakennusten tulee olla lähes nollaenergiarakennuksia. (1/14 2014)

1. tammikuuta 2018 tuli voimaan uudet asetukset uuden rakennuksen energiatehokkuudesta (1010/2017) ja rakennuksen energiatodistuksesta (1048/2017). Näissä esitettiin uudet energiamuotojen kertoimet sekä uudet energiatehokkuuden vaatimustasot käyttötarkoitusluokittain. Energiamuotojen kertoimet on esitetty taulukossa 6. Taulukosta 6 nähdään, että 2018 pienennettiin sähkön, kaukolämmön ja kaukojäähdytyksen energiamuotojen kertoimia, ja polttoaineiden kertoimet pysyivät ennallaan.

***Taulukko 6.*** *Energiamuotojen kertoimet vuosina 2012 ja 2018. (Muokattu lähteistä D3 2012 ja 1048/2017 2017)*

| **Energiamuotojen kertoimet** | **2012** | **2018** |
|---|---|---|
| sähkö | 1.7 | 1.2 |
| kaukolämpö | 0.7 | 0.5 |
| kaukojäähdytys | 0.4 | 0.28 |
| fossiiliset polttoaineet | 1 | 1 |
| rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet | 0.5 | 0.5 |

Päivitetyt energiatehokkuuden vaatimustasot eivät enää noudattaneet tiettyä energiatehokkuusluokkaa. Päivitetyt E-lukujen raja-arvot on esitetty taulukossa 7. Taulukosta 7 nähdään, että lisäksi E-luokkien raja-arvoja sekä pienten rakennusten pinta-alariippuvaisuutta päivitettiin. Lisäksi vertailuratkaisun ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeksi tuli 55 %. Hirsiseinien lämmönläpäisykertoimen vertailuarvo laajennettiin koskemaan myös muita massiivipuuseiniä. (1010/2017 2017 ja 1048/2017 2017)

***Taulukko 7.*** *Rakennusten E-lukujen raja-arvot 2012 ja 2018. (Muokattu lähteistä D3 2012 ja 1010/2017 2017)*

| | | E-luvun raja-arvo | |
|---|---|---|---|
| **Käyttötarkoitusluokka** | | **2012 (kWh/m²a)** | **2018 ($kWh_E/(m^2a)$)** |
| **Luokka 1)** Pienet asuinrakennukset | | | |
| Pientalo | $A_{netto} < 120\ m^2$ | 204 | |
| | $120\ m^2 \leq A_{netto} \leq 150\ m^2$ | $374 - 1.4 * A_{netto}$ | |
| | $150\ m^2 \leq A_{netto} \leq 600\ m^2$ | $173 - 0.07 * A_{netto}$ | |
| | $A_{netto} > 600\ m^2$ | 130 | |
| Hirsitalo | $A_{netto} < 120\ m^2$ | 229 | |
| | $120\ m^2 \leq A_{netto} \leq 150\ m^2$ | $397 - 1.4 * A_{netto}$ | |
| | $150\ m^2 \leq A_{netto} \leq 600\ m^2$ | $198 - 0.07 * A_{netto}$ | |
| | $A_{netto} > 600\ m^2$ | 155 | |
| **a)** Erillinen pientalo ja ketjutalon osana oleva rakennus, joiden lämmitetty nettoala ($A_{netto}$) on 50–150 m² | | | $200 - 0.6 * A_{netto}$ (170-110) |
| **b)** Erillinen pientalo ja ketjutalon osana oleva rakennus, joiden lämmitetty nettoala ($A_{netto}$) on enemmän kuin 150 m² kuitenkin enintään 600 m² | | | $116 - 0.04 * A_{netto}$ (110-92) |
| **c)** Erillinen pientalo ja ketjutalon osana oleva rakennus, joiden lämmitetty nettoala ($A_{netto}$) on enemmän kuin 600 m² | | | 92 |
| **d)** Rivitalo ja asuinkerrostalo, jossa on asuinkerroksia enintään kahdessa kerroksessa | | | 105 |
| **Luokka 2)** Asuinkerrostalo, jossa on asuinkerroksia vähintään kolmessa kerroksessa | | 130 | 90 |
| **Luokka 3)** Toimistorakennus, terveyskeskus | | 170 | 100 |
| **Luokka 4)** Liikerakennus, tavaratalo, kauppakeskus, myymälärakennus lukuun ottamatta päivittäiskaupan alle 2000 m² yksikköä, myymälähalli, teatteri, ooppera-, konsertti- ja kongressitalo, elokuvateatteri, kirjasto, arkisto, museo, taidegalleria, näyttelyhalli | | 240 | 135 |
| **Luokka 5)** Majoitusliikerakennus, hotelli, asuntola, palvelutalo, vanhainkoti, hoitolaitos | | 240 | 160 |
| **Luokka 6)** Opetusrakennus ja päiväkoti | | 170 | 100 |
| **Luokka 7)** Liikuntahalli lukuun ottamatta uimahallia ja jäähallia | | 170 | 100 |
| **Luokka 8)** Sairaala | | 450 | 320 |
| **Luokka 9)** Muu rakennus, varastorakennus, liikenteen rakennus, uimahalli, jäähalli, päivittäistavarakaupan alle 2000 m² yksikkö, siirtokelpoinen rakennus | | ei raja-arvoa | ei raja-arvoa |

## 2.2 Elinkaariarviointia ohjaavat laskentastandardit ja -menetelmät

Rakennusten elinkaaren aikaisiin päästöihin liittyviä standardeja on julkaistu hyvin paljon, ja niitä kehitetään ja päivitetään jatkuvasti. Kyseinen kokonaisuus on hyvin laaja, ja käsittääkin aihealueita mm. eri rakennusmateriaalien päästöjen määrittymisestä ja jakautumisesta rakennuksissa käytettävän energian tuotannon päästöihin.

Ison-Britannian standardisointiviranomainen (BSI) ja Carbon Trust julkaisi vuonna 2008 hiilijalanjäljen laskentadokumentin PAS 2050:2008. PAS tulee sanoista Publicly Available Specification ja julkaisun tavoitteena oli saada kavennettua eri hiilijalanjälkilaskureiden suurta vaihteluväliä. Julkaisu ei ole virallinen standardi, vaikka sisällöltään muistuttaakin standardeja. PAS 2050 perustuu elinkaariarviointiin ja tämän pohjalla oleviin ISO-standardeihin, kuten ISO 14040 ja ISO 14044. (Antikainen 2010)

Ympäristöministeriö julkaisi vuonna 2017 vähähiilisen rakentamisen tiekartan, jonka mukaan rakennusten elinkaaren vähähiilisyys tulee osaksi rakennusmääräyksiä 2020-luvun puolen väliin mennessä. Vähähiilisen arvioinnin Suomessa käytettävän menetelmän ensimmäinen versio on esitetty ympäristöministeriön vuonna 2019 julkaisemassa ”Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä” -julkaisussa. Esitelty menetelmä perustuu Euroopan komission Level(s)-menetelmään sekä EN-standardeihin, ja se on tarkoitettu käytettäväksi hiilijalanjäljen ja -kädenjäljen arviointiin vuonna 2019 alkaneella testausjaksolla. Kyseinen menetelmä on tarkoitettu vain pilotointivaihetta varten, jonka aikana kerätään palautetta menetelmän käytöstä. Menetelmä päivitetään saadun palautteen ja kokemusten pohjalta. (Ympäristöministeriö 2019)

Level(s) on yhteiseurooppalainen, rakennusten kestävyyden viestintään ja määrittämiseen kehitetty menetelmä. Menetelmä keskittyy elinkaaren kasvihuonekaasupäästöihin, resurssitehokkuuteen ja kiertotalouteen, veden käyttöön, terveellisiin ja viihtyisiin tiloihin, ilmastonmuutokseen sopeutumiseen ja elinkaarikustannuksiin (European Commission 2017). Level(s) on jaettu kolmeen osioon, jotka keskittyvät omaan alueeseensa ja tuottavat näiltä osa-alueilta toivotun muotoisen tuloksen. Nämä osa-alueet ovat resurssien käyttö ja energiatehokkuus rakennuksen elinkaaren aikana (hiilijalanjälki), terveellisyys ja viihtyvyys sekä kustannukset, arvo ja riski (European Commission n.d.).

Biogeenisen hiilen huomioimiseksi hiilijalanjälkilaskennassa on esitetty eri menetelmiä. Näitä menetelmiä ja niiden eroja esittävät Dias et al. Zurichin yliopiston julkaisemassa artikkelissa. Artikkelin tavoitteena oli nostaa yleistä tietoisuutta aihepiiriin liittyen ja esittää edellytyksiä EPD-ympäristöselosteisiin ehdotettaville lisätiedoille metsäpohjaisille tuotteille. EPD (Environmental

Product Declaration) on tyypin III ympäristöseloste (SFS-EN 15804 + A1 2015). Artikkelin loppupäätelmä on, että eri tutkitut menetelmät antavat eri tuloksia ja menetelmät voivat olla aikaa vieviä. Lisäksi vielä ei ole olemassa tieteellistä konsensusta mikä menetelmistä on sopivin ja soveltuu EPD-pohjaiseen elinkaarilaskentaan. (Dias et al. 2017)

Standardeja julkaisevat pääasiassa kansainvälinen standardisointijärjestö ISO (International Organization for Standardization) ja eurooppalainen standardisointijärjestö CEN (European Committee for Standardization), ja lisäksi näitä Suomessa kansallisesti vahvistaa Suomen Standardisoimisliitto SFS ry (SFS ry n.d.). Seuraavissa kappaleissa on esitetty lyhyesti rakennusten elinkaaren aikaisia päästöjä käsittelevien, oleellisimpien standardien oleellisin sisältö tutkimuksen kannalta.

### 2.2.1 Tekniset komiteat ISO/TC 207 ja CEN/TC 350

ISO/TC 207 on kansainvälisen standardisointijärjestön tekninen komitea, joka keskittyy ympäristöasioiden hallintaan. Komitean tarkoituksena on käsitellä kestävän kehityksen tueksi ympäristöllisiä ja ilmastollisia vaikutuksia, mukaan lukien niihin liittyviä sosiaalisia ja taloudellisia näkökulmia. Komitealla on alakomiteoita mm. ympäristöasioiden hallinnalle, ympäristömerkeille ja -selosteille ja kasvihuonekaasuille. (ISO n.d.)

Eurooppalaisen standardisointijärjestö CEN:n tekninen komitea TC 350 (CEN/TC 350) Sustainability of construction works on laatinut standardipaketin yhdenmukaistamaan eurooppalaisia rakennusalan elinkaariarvioinnin pelisääntöjä. Standardipaketti on kehitetty rakennustuotteiden ympäristöselosteiden laadintaa varten, sekä palvelemaan näitä lähtötietoina käyttävää rakennusten ympäristövaikutusten arviointia. Standardipaketti on myöhemmin laajentunut käsittämään myös kestävän rakentamisen muiden näkökohtien arvioinnin sekä infrarakentamisen vaikutusarvioinnin. Standardipaketti sisältää kymmenkunta julkistettua standardia sekä useita, yhä työn alla olevia standardeja. Standardisointityön tavoitteena on ollut yhteisten, läpinäkyvien ja uskottavien pelisääntöjen luominen rakennusten elinkaaripohjaiseen ympäristövaikutusarviointiin, joka pohjautuu elinkaariarvioinnin ISO 14040-standardisarjaan sekä määrittää yhteiset kansainväliset pelisäännöt rakennustuotteiden ympäristöselosteiden laadintaan. Tällä on tarkoitus mahdollistaa ylitse valtiorajojen tapahtuva rakennustarvikkeiden ja rakennusten vertailu keskenään. (Rakennusteollisuus n.d.)

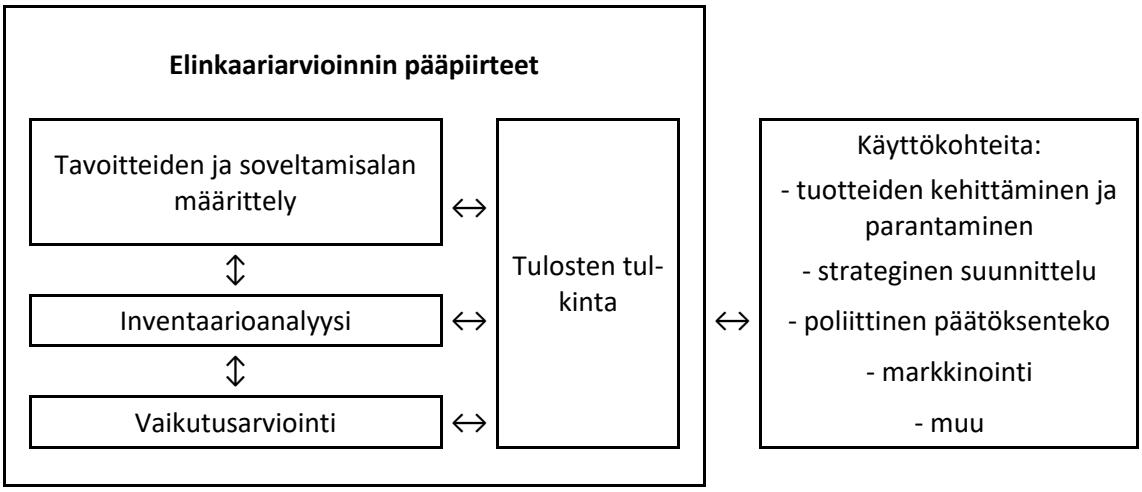
### 2.2.2 SFS-EN ISO 14040

Elinkaariarvioinnin pääpiirteet ja periaatteet on määritetty ja esitetty kansainvälisessä standardissa SFS-EN ISO 14040 (Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet.). Standardi on kansainvälisen standardisointijärjestö ISO:n teknisen komitean ISO/TC 207 Environmental management laatima, jonka eurooppalainen standardisointijärjestö CEN ja Suomen Standardisoimisliitto SFS ry on vahvistanut. (SFS-EN ISO 14040 2006)

Elinkaariarviointi LCA (Life Cycle Assessment) käsittelee tuotteen aiheuttaman ympäristökuorman sekä sen päästöjen vaikutuksia koko sen elinkaaren ajalta raaka-aineen hankinnasta tuotantoon, käyttöön, käytöstä poistoon, kierrätykseen ja jätteiden loppusijoitukseen. Elinkaariarviointiselvitys muodostuu neljästä vaiheesta, joita ovat:

1. tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyvaihe
2. inventaarioanalyysivaihe
3. vaikutusarviointivaihe
4. tulkintavaihe. (SFS-EN ISO 14040 2006)

Elinkaariarvioinnin vaiheet on esitetty kuvassa 4.




***Kuva 4.*** *Elinkaariarvioinnin pääpiirteet. (Muokattu lähteestä SFS-EN ISO 14040 2006)*

Tavoitteiden määrittelyvaihe on hyvin riippuvainen selvityksen päämäärästä ja tavoitteista riippuen. Sen laajuus sekä tarkkuus voivat elää hyvin suurellakin välillä tekijän tai teettäjän tarpeiden ja käyttötarkoituksen mukaan. Tavoitteita voivat olla esimerkiksi tuotteiden vähäpäästöisyyden todentaminen ja kilpailuedun saavuttaminen saman alan yrityksiin nähden. (SFS-EN ISO 14040 2006)

Inventaarioanalyysivaiheessa (LCI-vaihe) selvitetään ja kirjataan ylös selvitettävän järjestelmän syöte- ja tuotostiedot. Selvityksen tulosten kannalta tämä on hyvin merkittävä vaihe, joka määrittelee kuinka tarkkoja tuloksia selvityksestä voi saada tulokseksi. Lähtötietojen kerääminen on haasteellinen prosessi, jota tehdessä pitäisi myös varmistua lähtötietojen tarkkuudesta ja paikkansapitävyydestä. Inventaarioanalyysiä esimerkiksi pientalosta tehtäessä hyviä tietolähteitä ovat rakennusmateriaaleista julkaistut EPD:t eli ympäristöselosteet. (SFS-EN ISO 14040 2006)

Vaikutusarviointivaiheessa (LCIA) arvioidaan potentiaalisten ympäristövaikutusten merkittävyyttä inventaarioanalyysin avulla. Siinä voidaan arvioida eri päästöjen aiheuttamia vaikutuksia ympäristölle ja vertailla näiden vaikutuksia. Eri päästöt aiheuttavat eri vaikutuksia ilmakehään ja ympäristöön, joista toiset voivat olla haitallisempia kuin toiset. (SFS-EN ISO 14040 2006)

Tulkintavaiheessa yhdistetään inventaarioanalyysin ja vaikutusarviointivaiheen tulokset. Tuloksia hyödynnetään tavoitteiden määrittelyvaiheessa esitettyjen tavoitteiden mukaisella tavalla. (SFS-EN ISO 14040 2006)

LCI-selvityksessä (elinkaari-inventaarioselvitys) suoritetaan ainoastaan inventaarioanalyysivaihe sekä tulkinta. Tapauksesta ja tavoitteista riippuen LCI-selvitys voi olla yhtä käyttökelpoinen kuin LCA-selvityskin, mutta LCI-selvityksen tuloksia ei voi käyttää julkisesti esitettävissä vertailuväitteissä. (SFS-EN ISO 14040 2006)

### 2.2.3 SFS-EN ISO 14044

Standardissa SFS-EN ISO 14044:2006 + A1:2018 (Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja suuntaviivoja.) esitetään elinkaariarvioinnin tekemisen vaatimukset elinkaariarviointiselvityksen tekijöitä varten. Sen on laatinut ISO:n tekninen komitea ISO/TC 207 Environmental management yhdessä CEN:n teknisen komitean CEN/SS S26 Environmental management kanssa. Standardi esittää vaatimukset elinkaariarvioinnin neljälle eri vaiheelle: tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, inventaarioanalyysi, vaikutusarviointi ja tulosten tulkinta, jotka esitettiin standardissa 14040. Elinkaariarviointiselvitysten (LCA-selvitysten) lisäksi standardi sisältää elinkaari-inventaarioselvitykset (LCI-selvitykset). (SFS-EN ISO 14044:2006 + A1:2018 2018)

Tärkeää elinkaariarvioinnin suorittamisen jokaisessa vaiheessa on, että kaikki tiedot ovat läpinäkyviä, ja kaikki tulokset ja selvityksen vaiheet on kirjattu ylös. Lisäksi mikäli elinkaariarviointia on tarkoitus käyttää julkisesti esitettävän vertailuväitteen tukena, sisältyy elinkaariarvioinnin tekemiseen ja tuotoksiin paikoitellen lisävaatimuksia. (SFS-EN ISO 14044:2006 + A1:2018 2018)

Standardin liitteessä C esitetään huomioita jalanjälkien (esim. hiilijalanjälki) laskemiseen ja viestintään liittyen. Huomionarvoista on, että jalanjäljet koskevat vain yhtä ympäristönäkökohtaa

tai rajoitettua vaikutusluokkaindikaattoreiden joukkoa. Yhden näkökohdan tarkastelu voi olla ristiriidassa elinkaariarvioinnin kattavuusperiaatteen kanssa, ja tämän vuoksi jalanjäljen laskentaraportissa on esitettävä läpinäkyvästi valittuihin ympäristövaikutusluokkiin liittyvät rajoitukset. Elinkaariarvioinnin tavoite on mahdollistaa tietoon perustuvat päätökset, joissa potentiaaliset ympäristövaikutukset huomioidaan kattavasti. Tämän vuoksi jalanjälkiä ei saa käyttää julkisesti esitettävissä vertailuväitteissä, sillä tuotteen ympäristösuoritustason tai organisaation ympäristösuojelun tason kattavaa arviointia ei voida saada aikaan analyysilla, joka huomioi vain yhden tarkasteltavan näkökohdan tai ei-kattavan potentiaalisten ympäristövaikutusten tai -näkökohtien joukon. (SFS-EN ISO 14044:2006 + A1:2018 2018)

### 2.2.4 SFS-EN 15804

Standardi SFS-EN 15804 (Kestävä rakentaminen. Rakennustuotteiden ympäristöselosteet. Laadinnan yleissäännöt) esittää kaikkien rakennustuotteiden ja palveluiden tyypin III ympäristöselosteiden laadinnan yleissäännöt. Kyseisillä ympäristöselosteilla annetaan varmennettavissa olevaa, tarkkaa, todenmukaista tuotteiden ympäristötietoa muodossa, joka mahdollistaa niiden mukauttamisen ja yhteen laskennan kattamaan koko rakennuksen elinkaaren. Niiden tavoitteena on antaa lähtökohdat tunnistaa vaihtoehtoja, jotka aiheuttavat vähemmän ympäristökuormitusta. Kyseinen standardi ei kata tuotteiden sosiaalisen ja taloudellisen suoritustason arviointia. (SFS-EN 15804 + A1 2015)

Tyypin III ympäristöselosteiden laadinnan yleissäännöt määrittelevät ilmoitettavat indikaattorit ja tavan, jolla ne järjestellään ja raportoidaan, mitkä tuotteen elinkaaren vaiheet katetaan ympäristöselosteessa ja mitkä prosessit on sisällytettävä kuhunkin elinkaaren vaiheeseen, yleissäännöt skenaarioiden laatimiseksi ja ehdot, joiden mukaan rakennustuotteita voidaan vertailla ympäristöselosteen antaman tiedon pohjalta. Lisäksi yleissäännöt sisältävät säännöt ympäristöselosteen perustana olevan inventaarioanalyysin ja vaikutusarvioinnin laskentaan ja laskennassa käytettävän tiedon laadun määrittelyn, sekä säännöt lisätiedoista, jotka koskevat rakennustuotteen käytönaikaisia vaarallisten aineiden päästöjä sisäilmaan, maaperään ja veteen ja joita ympäristövaikutuksiin liittyvät indikaattorit eivät kata. Näiden yleissääntöjen tavoitteena on varmistaa todennettavissa olevien, yhdenmukaisten, elinkaariarviointiin perustuvien tietojen tuottamisen ympäristöselostetta varten lisäksi mm. varmistaa rakennustuotteiden ympäristötietojen viestintä yritysten välillä, sekä myös kuluttajille. (SFS-EN 15804 + A1 2015)

Tyypin III ympäristöselosteet voivat erota toisistaan suuresti laajuudeltaan. Ympäristötiedot ympäristöselosteessa voivat kattaa:

- Tuotteen valmistusvaiheen, eli informaatiomoduulit A1-A3. Tällöin ympäristöseloste sisältää tiedot tuotteen raaka-aineiden hankinnasta, kuljetuksista, valmistuksesta ja siihen liittyvistä prosesseista. Tällaisen ympäristöselosteen sanotaan olevan ”kehdosta tehtaan portille”.
- Tuotteen valmistusvaiheen ja valitut myöhemmät elinkaaren vaiheet, eli informaatiomoduulit A1-A3 ja valinnaisia muita moduuleita rakennusvaiheesta käytöstä poistoon, lisäksi tuotteen elinkaaren ulkopuolisia lisätietoja voidaan esittää informaatiomoduulissa D. Kyseisiä ympäristöselosteita voidaan kutsua ”kehdosta tehtaan portille optioin”.
- Tuotteen järjestelmärajojen mukaisen elinkaaren, eli informaatiomoduulit A1-C4. Lisäksi tuotteen elinkaaren ulkopuolisia lisätietoja voidaan esittää informaatiomoduulissa D. Tällöin ympäristöselosteen sisältöä kuvataan ”kehdosta hautaan” -termillä.

Ympäristöselosteen pakolliset informaatiomoduulit ovat A1-A3. Standardissa avataan lisäksi seikkaperäisesti mitä elinkaaren vaiheista mikäkin informaatiomoduuli sisältää. (SFS-EN 15804 + A1 2015)

Ympäristöselosteiden laskenta perustuu toiminnalliseen yksikköön ja ilmoitettuun yksikköön, joilla tuotteen ominaisuudet esitetään yhteismitallisessa muodossa. Toiminnallinen yksikkö perustuu tuotteen toiminnalliseen käyttöön tai suoritustaso-ominaisuuteen, esimerkiksi parkettilauta normalisoidaan lattiapinta-alaa kohden. Ilmoitettua yksikköä on käytettävä, mikäli ympäristöseloste ei kata elinkaaren kaikkia vaiheita, ja yksikkönä voi olla esimerkiksi massa (kg), tilavuus (m3) tai pinta-ala (m2). (SFS-EN 15804 + A1 2015)

Ympäristöselosteen sisältäessä minkä tahansa käyttövaiheen moduulin, tulee ilmoittaa tuotteen referenssikäyttöikätieto. Sillä viitataan tuotteen ilmoitettuun tekniseen ja toiminnalliseen suoritustasoon rakennuksessa referenssikäyttöolosuhteissa, eli tarkoitetaan käyttöikää, joka oletetaan saavutettavan tietyissä käyttöolosuhteissa. Käyttöikään vaikuttavat tuotteen ominaisuuksien kautta tuotteen suoritustason minimitaso sekä huollettavuus ja korjaukset. Referenssikäyttöiän määrittäminen voi perustua kokemusperäiseen, todennäköisyyteen perustuvaan, tilastolliseen, ”yhteiseen sopimukseen perustuvaan” tietoon tai tutkimustietoon. (SFS-EN 15804 + A1 2015)

Standardissa esitetään lisäksi, mitä tietoja ympäristöselosteessa on ilmoitettava, ja standardin liitteessä C esitetään karakterisointikertoimet mm. kasvihuonekaasupäästöille (kg$CO_2$ ekvivalentti) ja yläilmakehän otsonikerrosta tuhoavien aineiden päästöille (kgCFC-11 ekvivalentti). (SFS-EN 15804 + A1 2015)

### 2.2.5 SFS-EN ISO 14067

Standardi SFS-EN ISO 14067:2018 (Kasvihuonekaasut. Tuotteiden hiilijalanjälki. Hiilijalanjäljen laskemista koskevat vaatimukset ja ohjeet) määrittelee tuotteiden hiilijalanjäljen laskemista koskevat periaatteet, vaatimukset ja ohjeet, ja tarkoituksena on auttaa tuotteen elinkaareen liittyvien kasvihuonekaasupäästöjen laskennassa tuotteen koko elinkaaren ajalta. Standardi käsittelee vain yhtä vaikutusluokkaa, ilmastonmuutosta. Ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi tulee pienentää kasvihuonekaasupäästöjä ja jotta tähän pystytään, tulee tähän pyrkivien hankkeiden perustua kasvihuonekaasupäästöjen laskentaan, seurantaan, raportointiin ja todentamiseen. Standardin tavoitteena on parantaa laskennan yhtenäisyyttä ympäristötavoitteiden kannalta, sekä parantaa näiden laskelmien uskottavuutta, johdonmukaisuutta ja läpinäkyvyyttä. (SFS-EN ISO 14067:2018 2019)

Standardissa käydään läpi tuotteen hiilijalanjälki sekä tuotteen osittainen hiilijalanjälki, joka käsittää tuotejärjestelmän yhden tai useamman valitun prosessin. Hiilijalanjälkiselvitys on luotu toiminnallisen yksikön (hiilijalanjälki) ja ilmoitetun yksikön (osittainen hiilijalanjälki) ympärille, joiden tulokset lasketaan suhteessa kyseiseen yksikköön. Hiilijalanjälkiselvityksen tulee sisältää samat neljä vaihetta kuin elinkaariarvioinninkin, eli tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, elinkaari-inventaarioanalyysi, vaikutusarviointi ja tulosten tulkinta. Tuotteeseen kohdistuvat kasvihuonekaasupäästöt ja -poistumat tulee osoittaa siihen elinkaaren vaiheeseen, jossa nämä -päästöt tai -poistumat tapahtuvat. Fossiiliset ja eloperäiset kasvihuonekaasupäästöt ja -poistumat tulee esittää erikseen nettotuloksena. Jos tuotteen eloperäinen (biogeeninen) hiilipitoisuus lasketaan, tulee se dokumentoida erikseen, mutta sitä ei saa sisällyttää hiilijalanjälkeen. Kasvihuonekaasupäästöjen ja -poistumien summa ilmoitetaan hiilidioksidiekvivalenttina ($CO_2e$), jolla verrataan kasvihuonekaasun säteilypakotetta hiilidioksidin säteilypakotteeseen, eli kasvihuonekaasun ilmaston lämmityspotentiaali muutetaan vastaamaan hiilidioksidin ilmaston lämmityspotentiaalia. (SFS-EN ISO 14067:2018 2019)

## 2.3 Rakennuksen elinkaaren ympäristöluokitusjärjestelmät

Kansainvälisesti käytössä on useita ympäristövaikutusmittareita tai ympäristöluokitusjärjestelmiä, joilla voidaan mitata ja vertailla eri kohteiden vaikutuksia ympäristölle. Mittarit voivat erota toisistaan sisällöiltään ja laajuudeltaan, riippuen siitä mihin tarkoitukseen mittari on lähtökohtaisesti laadittu. Mittareita lisäksi kehitetään jatkuvasti vastaamaan nykyhetken edellytyksiä, vaatimuksia ja tarpeita.

Kansainvälisesti suurimmat ja laajimmin käytetyt ympäristöluokitusjärjestelmät ovat BREEAM ja LEED. Pohjoismaiden tunnetuin ja arvostetuin ympäristömerkki on Joutsenmerkki, jonka kriteerit ovat yhteneväiset kaikissa Pohjoismaissa. Suomessa yksinomaan suomalaisiin vaatimuksiin kehitettyjä ympäristömittareita ovat RTS-ympäristöluokitus, sekä jo käytöstä poistunut Promise. Seuraavissa luvuissa on avattu tarkemmin eri ympäristöluokitusjärjestelmiä ja näiden sisältöä. (GBCF 2018 ja Hakaste n.d.)

### 2.3.1 BREEAM

BREEAM (Building Research Establishment's Environmeltal Assessment Method) on Yhdistyneiden Kansakuntien rakentamisen tutkimuslaitoksen vuonna 1990 julkaisema luokitusjärjestelmä, jonka tavoitteena on vähentää rakentamisen kehittymisen haitallisia vaikutuksia ympäristölle. BREEAM on maailman ensimmäinen rakennetulle ympäristölle kehitetty ympäristöluokitusjärjestelmä. Se on myötävaikuttanut suuresti etenkin YK:ssa rakennetun ympäristön suunnittelun, rakentamisen ja käytön ekologisuuteen. BREEAM on nykyisin maailmalaajuinen järjestelmä, joka on sovitettu toimimaan paikallisesti ja jota hallinnoidaan laajan operaattori-, arvioija- ja teollisuusammattilaisten verkon avulla. Järjestelmä auttaa asiakkaita mittaamaan ja vähentämään rakennustensa ympäristövaikutuksia, ja nämä todentamalla ja tuloksista markkinoimalla voidaan nostaa rakennusten arvoa ja madaltaa sijoitusten riskiä. BREEAM on käytössä 81 maassa ja sillä on määritetty yli 560 000 todistusta (4.4.2019). (BRE Global Ltd 2017)

Nykyisin järjestelmässä on omat osionsa infralle, yhteisöille, uudisrakennuksille, olemassa oleville rakennuksille ja remontoitaville kohteille. Näiden lisäksi on myös vain YK:ssa käytössä oleva *Home Quality Mark*-merkintä, jonka tarkoituksena on palvella rakennuttajia ja vuokranantajia. Merkinnällä pyritään todentamaan kohteen korkeaa laatutasoa sekä pieniä ylläpitokuluja ja näin lisäämään kohteen markkinavetoisuutta. (BRE Global Ltd 2017)

BREEAM-järjestelmä perustuu teknisesti eurooppalaiseen CEN/TC 350 standardisarjaan. Luokitus voidaan suorittaa jo rakennuksen suunnitteluvaiheessa, jolloin tulos on rakentamista ohjaava, mutta tulos tulee vahvistaa vielä rakennuksen valmistuttua. BREEAM luokitus uudelle rakennukselle sisältää taulukon 8 esittämien kymmenen kategorian tarkastelun ja pisteytyksen.

***Taulukko 8.*** *BREEAM luokituksen arviointikategoriat ja arviointikohteet. (Muokattu lähteestä BRE Global Ltd 2017)*

| | |
|---|---|
| ***1 Management - johtaminen*** | ***2 Health and wellbeing - terveys ja hyvinvointi*** |
| *- Projektin perehdytys ja suunnittelu*<br>*- Elinkaarikustannusten ja käyttöiän määritys*<br>*- Vastuullisen rakentamisen käytännöt*<br>*- Käyttöönotto ja luovutus*<br>*- Jälkihoito* | *- Visuaalinen viihtyvyys*<br>*- Sisäilman laatu*<br>*- Laboratorioiden turvavarusteet*<br>*- Lämpöviihtyvyys*<br>*- Akustiikka*<br>*- Esteettömyys*<br>*- Vaarat, riskit*<br>*- Henkilökohtainen tila*<br>*- Veden laatu* |
| ***3 Energy - energia*** | ***4 Transport - liikenne*** |
| *- Energian kulutuksen ja hiilipäästöjen vähentäminen*<br>*- Energiankäytön seuranta*<br>*- Luonnonvalo*<br>*- Vähähiilinen suunnittelu*<br>*- Energiatehokas kylmävarasto*<br>*- Energiatehokkaat liikennejärjestelmät*<br>*- Energiatehokkaat laboratoriojärjestelmät*<br>*- Energiatehokkaat laitteet*<br>*- Kuivaustila* | *- Julkisen liikenteen saavutettavuus*<br>*- Palveluiden läheisyys*<br>*- Vaihtoehtoiset liikennemuodot*<br>*- Maksimi paikoitustilat autoille*<br>*- Matkasuunnitelma* |
| ***5 Water - vesi*** | ***6 Materials - materiaalit*** |
| *- Veden kulutus*<br>*- Veden kulutuksen seuranta*<br>*- Vesivuotojen havainnointi*<br>*- Vesitehokkaat laitteet* | *- Elinkaaren vaikutukset*<br>*- Kova maisemointi ja rajasuojaus*<br>*- Vastuullinen materiaalien hankinta*<br>*- Lämpöeristys*<br>*- Kestävyyden ja muunneltavuuden suunnittelu*<br>*- Materiaalitehokkuus* |
| ***7 Waste - jätteet*** | ***8 Land use and ecology - maankäyttö ja ekologia*** |
| *- Rakennusjätteen hallinta*<br>*- Kierrätetyt runkoaineet (betoni)*<br>*- Käyttökelpoinen jäte*<br>*- Spekulatiiviset lattian ja katon pintakäsittelyt*<br>*- Ilmastonmuutokseen sopeutuminen*<br>*- Käytännöllinen muuntautumiskyky* | *- Rakennuspaikan valinta*<br>*- Rakennuspaikan ekologinen arvo, ja -piirteiden säilyttämi nen*<br>*- Rakennuspaikan ekologiaan vaikuttamisen minimointi*<br>*- Ekologian edistäminen rakennuspaikalla*<br>*- Pitkän ajan vaikutus biodiversiteettiin* |
| ***9 Pollution - saasteet*** | ***10 Innovation - innovaatio*** |
| *- Kylmäaineiden vaikutus*<br>*- $NO_x$ päästöt*<br>*- Pintavesien valuma*<br>*- Yöaikaisen valosaasteen vähentäminen*<br>*- Melun vähentäminen* | *- Innovaatio* |

BREEAM:issa arviointikategorioiden pisteytykset painotetaan kohdemaittain eri rakennustyypeille. Pisteytysten painotukset muodostetaan paikallisten asiantuntijoiden informaation pohjalta, ja painotukset eroavat hieman eri alueilla vallitsevien ympäristöllisten ja sosiaalisten olosuhteiden vuoksi. Ilmastollisten vaikutusten arvioinnin pohjana on käytetty Köppen-Geiger ilmastoluokitusta, joka jaottelee maapallon alueisiin sademäärän ja lämpötilan sekä näiden vaihteluiden perusteella (BRE Global Ltd 2017). Kategorioiden maksimipisteet ja esimerkki näiden painotuksesta on esitetty taulukossa 9.

***Taulukko 9.*** *BREEAM pisteet kategorioittain sekä pisteytyksen painotukset Suomessa uudelle toimistorakennukselle. (Muokattu lähteestä Hiltunen et al. 2017)*

| ***Arviointikategoria*** | ***Mahdolliset pisteet (toimisto)*** | ***Painotus (Suomi)*** |
|---|---|---|
| *Management* | 21 | 11.11 % |
| *Health and wellbeing* | 17 | 17.09 % |
| *Energy* | 29 | 18.46 % |
| *Transport* | 9 | 6.15 % |
| *Water* | 10 | 4.10 % |
| *Materials* | 11 | 17.78 % |
| *advanced good practice Waste* | 7 | 8.21 % |
| *Land use and ecology* | 10 | 10.26 % |
| *Pollution* | 13 | 6.48 % |
| *Innovation* | 10 | 10 % |
| *Yhteensä* | | 110 % |

Taulukosta 9 nähdään, että energia -kategoriasta on jaossa suurin määrä pisteitä ja lisäksi sen painotusprosentti on suurin. Tämän jälkeen suurimpia pistemääriä on saatavilla johtamisen sekä terveellisyyden ja hyvinvoinnin kategorioista ja suurimmat painotukset ovat materiaalien sekä terveellisyyden ja hyvinvoinnin kategorioissa.

Pisteytyksen lopputulemana on prosenttiluku, joka määrittää mihin BREEAM luokkaan kohde kuuluu. Kohteen tulee lisäksi täyttää saavuttamansa luokan minimivaatimukset, jotta luokitus on pätevä. Uuden rakennuksen BREEAM-luokat ja näiden vaatimat prosenttiosuudet pisteistä on esitetty taulukossa 10. (BRE Global Ltd 2017)

***Taulukko 10.*** *BREEAM luokat sekä näiden vaatima pistemäärä. (Muokattu lähteestä BRE Global Ltd 2017)*

| *BREEAM-luokka* | *% pisteistä* |
|---|---|
| *1 Outstanding (erinomainen)* | ≥ 85 |
| *2 Excellent (kiitettävä)* | ≥ 70 |
| *3 Very good (erittäin hyvä)* | ≥ 55 |
| *4 Good (hyvä)* | ≥ 45 |
| *5 Pass (läpäisty)* | ≥ 30 |
| *6 Unclassified (luokittelematon)* | < 30 |

BREEAM luokituksen tasot mahdollistavat tilaajan ja muiden osallisten vertailla rakennusten tehokkuutta suhteessa muihin BREEAM luokiteltuihin saman tyyppisiin rakennuksiin. Luokituksen asteikko on suunniteltu jakamaan rakennukset ympäristötehokkuutensa puolesta niin, että tietty prosenttiosuus rakennuksista läpäisisi tietyn tasoisen luokituksen. Luokat jakaantuvat suhteessa toisiinsa seuraavasti:

1. Outstanding: alle 1 % rakennuksista (innovator - kehittäjä)

2. Excellent: 10 % rakennuksista (best practice - paras käytäntö)
3. Very good: 25 % rakennuksista (advanced good practice – edistynyt, hyvä käytäntö)
4. Good: 50 % rakennuksista (intermediate good practice - keskitason hyvä käytäntö)
5. Pass: 75 % rakennuksista (standard good practice – tavallinen, hyvä käytäntö)
6. Unclassified: rakennus ei täytä minimivaatimuksia tai pisteytys ei riitä Pass -luokkaan. (BRE Global Ltd 2017)

Sertifioituja kohteita Suomessa on 470, joista osan tulos on vielä vahvistamatta (3.3.2021). Näistä kohteista uuden rakennuksen arvioinnin piiriin kuuluu 96 kohdetta. Suomessa parhaimman uuden rakennuksen lopullisen BREEAM luokituksen on saanut 1.4.2019 Inex Partnersin logistiikkakeskus 75,5 %:n pisteillä, joilla saavutetaan BREEAM-luokka Excellent. Parhaimman uuden rakennuksen lopullisen tuloksen kansainvälisesti on saanut Bloombergin päämaja Lontoossa. Pisteitä se sai 99,1 %, joka vastaa BREEAM-luokkaa Outstanding. (BREEAM n.d.)

### 2.3.2 LEED

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) on yhdysvaltalainen, maailman käytetyin globaali rakennusten ympäristöluokitusjärjestelmä (GBCF 2018). Sen kehittämien alkoi 1990-luvun alkupuolella ja ensimmäinen versio julkaistiin vuonna 2000, nykyisin käytössä on vuonna 2015 käyttöön otettu LEED v4. Järjestelmän on kehittänyt ja sitä ylläpitää U.S. Green Building Council (USGBC). (USGBC 2021a)

Leed tarjoaa omat arviointijärjestelmät erilaisille hankkeille. Näitä ovat rakennuksen rakentaminen ja suunnittelu (BD + C), sisätilojen suunnittelu ja rakentaminen (ID + C), rakentamisen käyttö ja huolto (O + M), naapuruston kehittäminen (LEED ND), asuinrakennukset (Homes) ja kaupungit ja yhteisöt (Cities and Communities) (USGBC 2021b). Arviointijärjestelmät koostuvat kahdeksasta pisteytyskategoriasta, joita ovat:

- LT - The Location and Transportation (sijainti ja liikenne)
- SS - The Sustainable Sites (kestävä rakennuspaikka)
- WE - The Water Efficiency (vesitehokkuus)
- EA - The Energy and Atmosphere (energia ja ilmakehä)
- MR - The Materials and Resources (materiaalit ja resurssit)
- EQ – The Indoor Environmental Quality (sisäilmaston laatu)
- IN - Innovation in Design (innovaatiot suunnittelussa)
- RP - Regional Priority (alueellinen prioriteetti) (USGBC 2021c)

Kategorioiden pisteytykset on jaettu vielä eli rakennustyypeille, joita ovat esimerkiksi koulut, myymälät, palvelinkeskukset ja logistiikka. Seuraavaksi on esitetty tarkemmin kunkin pisteytyskategorian sisältöä. (USGBC 2021c)

*LT (The Location and Transport)*

Kategoria palkitsee rakennuksen sijaintiin liittyvistä seikoista ja kannustaa tiiviiseen rakentamiseen, vaihtoehtoisiin liikennemuotoihin sekä palvelujen yhdistämiseen. Kategoria huomioi olemassa olevan ympäröivän yhteiskunnan, ja miten sen infrastruktuuri vaikuttaa rakennuksen käyttäjien käytökseen ja ekotehokkuuteen. Hyvän sijainnin omaavat rakennukset hyötyvät olemassa olevasta infrastruktuurista, kuten julkisesta liikenteestä, katuverkostosta, jalkakäytävistä, pyöräilyreiteistä, vesi-, lämpö- ja viemäriverkosta sekä ympäristön palveluista. Tiivis kaupunkirakenne edistää ja suosii vaihtoehtoisten liikennemuotojen käyttöä yksityisautoilun sijasta, kuten pyöräilyä, kimppakyytejä ja julkista liikennettä. Ympäristöystävällistä liikkumista voidaan edistää esimerkiksi rajoittamalla pysäköintiä, tarjoamalla polkupyörien säilytystilaa ja tarjoamalla etuoikeutettuja pysäköintipaikkoja pienipäästöisille ajoneuvoille. (USGBC 2021c)

*SS (The Sustainable Sites)*

Kategoria palkitsee ympäröivää luontoa koskevista valinnoista pisteillä, jotka korostavat elintärkeää suhdetta rakennuksen, ekosysteemin ja ekosysteemipalveluiden välillä. Kategoria keskittyy palauttamaan rakennuspaikan luonnollisuuden ennalleen ja integroimaan sen paikalliseen ekosysteemiin sekä edistämään biodiversiteettiä, josta luonnon järjestelmät ovat riippuvaisia. Kestämätön rakentaminen aiheuttaa metsien tuhoutumista, maan eroosiota, pohjavedenpinnan laskua ja lajien sukupuuttoa. Lisäksi hulevedet vettä läpäisemättömiltä pinnoitteilta kuljettavat vesistöihin saasteita kuten öljyä, sedimenttejä, kemikaaleja ja lannoitteita. Kategorian perusedellytyksiä noudattavat ja hyvän pisteytyksen saavuttavat projektit suojelevat herkkiä ekosysteemejä rakennuspaikan suunnittelulla ja rakennusten asettelulla, jolla pyritään välttämään elinympäristön vahingoittaminen. Tarkoituksena on pyrkiä minimoimaan rakentamisen saastuttava vaikutus, lämpösaarekeilmiö, valosaaste sekä pyritään käsittelemään hulevedet luonnonmukaisesti. (USGBC 2021c)

*WE (The Water Efficiency)*

Osio käsittelee vettä kokonaisvaltaisesti, sisältäen kaiken vedenkäytön sisällä ja ulkona sekä veden mittauksen. Vain 3 % maapallon vedestä on makeaa vettä, joten ympäristönsuojelu ja luova veden uusiokäyttö ovat tärkeitä. Kategoria perustuu tehokkuus ensin -lähestymistapaan vesiensuojelussa, ja kategorian perusedellytyksinä ovat vesitehokkuus ja juomaveden käytön vähentä-

minen. Näiden edellytysten täyttämisen jälkeen voi saada lisäksi pisteitä juomakelvottoman veden hyödyntämisestä tai vaihtoehtoisten vesilähteiden käytöstä. Tavallisesti suurin osa rakennuksessa käytettävästä vedestä kulkee rakennuksen läpi tullen vesiputkessa ja poistuen viemärissä. Juomavesi pumpataan kiinteistöön tuotantolaitoksesta, ja kiinteistöstä edelleen jätevedenpuhdistamoon. Veden siirtämiseen ja käsittelyyn kuluukin huomattavan suuri määrä energiaa, joka ei näy rakennuksen omassa käyttömittarissa. Kalifornialainen tutkimus vuodelta 2005 osoittaa, että karkeasti 19 % kyseisen osavaltion käytetystä energiasta kului veden käsittelyyn ja pumppaamiseen. (USGBC 2021c)

*EA (The Energy and Atmosphere)*

Kategoria käsittelee energian käytön vähentämistä, energiatehokasta suunnittelua ja uusiutuvia energianlähteitä. Nykyinen maailmanlaajuinen energiankäyttö on painottunut öljyyn, hiileen ja maakaasuun. Suurten kasvihuonekaasupäästöjen lisäksi nämä resurssit ovat uusiutumattomia, eli niiden määrä on rajallinen tai ne eivät uusiudu niin nopeasti kuin niitä kulutetaan. Rakennusten energiankulutus maailman kokonaisenergian kulutuksesta on noin 40 % ollen näin myös huomattava uusiutumattomien energianlähteiden kuluttaja ja päästöjen aiheuttaja. Energiatehokkaiden rakennusten suunnittelu alkaa keskittymällä siihen, että rakennuksen kokonaisenergiantarve olisi mahdollisimman pieni, ja jo rakennuksen sijainnilla ja sijoittelulla voidaan vaikuttaa huomattavasti rakennuksen energiantarpeeseen. Myös ympäristöystävällisillä rakennusmateriaaleilla pienennetään rakennuksen ilmastokuormitusta. Passiivisella lämmityksellä ja jäähdytyksellä ja tehokkaalla ilmanvaihtojärjestelmällä saadaan energiankäyttöä vähennettyä entisestään. Uusiutuvan energian tuotantojärjestelmien integrointi rakennukseen, tai ostamalla vähäpäästöisesti tuotettua energiaa voidaan rakennuksen vaatiman energian aiheuttamat päästöt minimoida. Käyttöönottovaihe on erityisen kriittinen rakennuksen energiankulutuksen optimoinnin näkökulmasta, etenkin energiatehokkailla rakennuksilla. Rakennuksen käyttäjien toiminta ja tottumukset, tai taloteknisten järjestelmien virheellinen käyttö ja säädöt voivat tehdä energiatehokkaat edellytykset omaavasta rakennuksesta hyvinkin paljon energiaa kuluttavan. Rakennusta käyttöönotettaessa tulisikin järjestää rakennusta käyttävälle henkilöstölle koulutus järjestelmien toiminnasta ja oikeasta käytöstä, jotta suunniteltu energiatehokkuus on mahdollista saavuttaa. (USGBC 2021c)

*MR (The Materials and Resources)*

Kategoria keskittyy minimoimaan rakennusmateriaalien tuottamiseen, käsittelyyn, kuljetukseen, huoltoon ja hävittämiseen kuluvan energian ja muut ympäristövaikutukset. Vaatimukset on suunniteltu tukemaan elinkaariajattelua, joka parantaa tehokkuutta ja edistää resurssien

hyödyntämistä. Rakennus- ja purkujäte käsittää Yhdysvalloissa noin 40 % ja EU:n alueella noin 25 % kiinteän jätteen määrästä. Jätteiden määrää pyritään vähentämään ensisijaisesti vähentämällä rakennusmateriaalien ottamista käyttöön alkulähteestä, sillä silloin pystytään välttämään kokonaisuudessaan materiaalin kulku tuotanto-, käyttö- ja käytöstä poistovaiheen läpi. Seuraavaksi pyritään jo olemassa oleva rakennusmateriaali tai -tuote käyttämään uudelleen, jolloin säästytään ympäristöä kuormittavalta uudistuotannon prosessilta. Kierrättäminen on yleisin tapa estää jätteitä päätymästä kaatopaikalle ja on uusiokäytön jälkeen seuraavaksi tehokkain tapa edistää materiaalitehokkuutta. Tehokkaan kierrätyksen edellytyksenä on toimiva rakennusjätteiden lajittelu. Käytöstä poistettuja rakennusmateriaaleja, joille ei ainakaan vielä ole uusiokäyttökohteita, voidaan käyttää hyödyksi energiantuotannossa. Näin pystytään vähentämään jätteen päätymistä kaatopaikoille ja voidaan vähentää tarvetta käyttää fossiilisia polttoaineita energiantuotannossa. Kategorian pisteytyksessä hyödynnetään materiaalien LCA-laskentaa, jolla pystytään arvioimaan kokonaisvaltaisesti käytettyjen materiaalien ympäristövaikutukset. LEED pyrkii nopeuttamaan LCA työkalujen käyttöä ja edistämään LCA pohjaista päätöksentekoa. Nämä taas edesauttavat markkinan kehittymistä vähäpäästöisempään suuntaan sekä innovatiivista tuotekehitystä. LEED:in pisteytys tukee lisäksi paikallisesti tuotettujen tuotteiden käyttöä, jonka pyrkimyksenä on edistää paikallista taloutta. (USGBC 2021c)

*EQ (The Indoor Environmental Quality)*

Kategoria käsittelee hyvää sisäilman laatua ja lämpö-, visuaalista- sekä akustista viihtyvyyttä. Hyvällä rakennusten sisäympäristön laadulla edistetään tilojen käyttäjien terveyttä sekä viihtyvyyttä. Hyvä sisäilmasto parantaa lisäksi tuottavuutta, vähentää poissaoloja ja parantaa rakennusten arvoa. Kategoria yhdistää perinteistä lähestymistapaa kuten ilmanvaihtoa ja lämpötilan hallintaa sekä uudempia suunnittelustrategioita. Näitä ovat rakennusmateriaalien päästöt sisäilmaan, käyttäjälähtöisten ilman epäpuhtauksien seuranta sekä vaatimukset tilojen valaistukselle ja akustiikalle. (USGBC 2021c)

*IN (Innovation)*

Kestävät suunnittelustrategiat ja arviointitavat muuttuvat ja kehittyvät jatkuvasti. Markkinoille tulee uusia teknologioita ja uudet tutkimustulokset vaikuttavat rakennusten suunniteluun. Ajoittain innovaation tuloksena saavutetaan rakennukselle tehokkuus, joka ylittää huomattavasti jonkin kategorian LEED pisteisiin vaaditun tason. Kategorian on tarkoitus antaa tunnustusta uusille, innovatiivisille ja kestäville rakennusratkaisuille. (USGBC 2021c)

*RP (Regional Priority)*

Koska jotkin ympäristöongelmat esiintyvät erityisen paikallisesti, on alueellisesti määritetty erityisiä ympäristö prioriteetteja ja näille pisteitä. Tällä rohkaistaan keskittymään erityisesti paikallisten ympäristöongelmien ratkaisemiseen ja huomiointiin. Alueittain on määritetty 6 RP pistettä, joista maksimissaan voi saada 4. Pisteiden vaatimukset riippuvat projektin arviointijärjestelmästä, sillä erityyppisillä projekteilla on omanlaisensa vaikutukset ympäristölle. (USGBC 2021c)

BD + C kategorian pisteytykset rakennustyyppeineen ja kategorioittain on esitetty taulukossa 11. Taulukosta 11 nähdään, että mahdollinen kokonaispistemäärä on projektityypistä riippumatta 110 pistettä. Näistä 100 on niin sanottuja peruspisteitä, jonka lisäksi voi saada yhteensä 10 lisäpistettä innovaatiosta ja paikallisesta prioriteetista. LEED-järjestelmän arvosanat ja pisterajat ovat:

- Certified 40–49 pistettä
- Silver 50–59 pistettä
- Gold 60–79 pistettä
- Platinum 80+ pistettä (USGBC 2021b).

***Taulukko 11.*** *LEED BD + C arviointijärjestelmän pisteytyskategoriat ja mahdolliset pistemäärät. (Muokattu lähteestä USGBC 2019)*

| ***LEED CREDITS BD + C*** | ***New Construction*** *Uusi rakennus* | ***Core and Shell*** *Vaippa ja runko* | ***Schools*** *Koulut* | ***Retail*** *Myymälät* | ***Data Centers*** *Palvelinkeskukset* | ***Warehouses and Distribution Centers*** *Logistiikka* | ***Hospitality*** *Majoitus* | ***Healthcare*** *Terveydenhuolto* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Integrative Process* | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| ***LT*** | | | | | | | | |
| *LEED for Neighborhood Development Location* | 8–16 | 8–20 | 8–15 | 8–16 | 8–16 | 8–16 | 8–16 | 5–9 |
| *Sensitive Land Protection* | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| *High-Priority Site* | 1–2 | 2–3 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 |
| *Surrounding Density and Diverse Uses* | 1–5 | 1–6 | 1–5 | 1–5 | 1–5 | 1–5 | 1–5 | 1 |
| *Access to Quality Transit* | 1–5 | 1–6 | 1–4 | 1–5 | 1–5 | 1–5 | 1–5 | 1–2 |
| *Bicycle Facilities* | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| *Reduced Parking Footprint* | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| *Green Vehicles* | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| *Total* | 16 | 20 | 15 | 16 | 16 | 16 | 16 | 9 |
| ***SS*** | | | | | | | | |
| *Site Assessment* | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| *Site Development- Protect or Restore Habitat* | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1 |
| *Open Space* | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| *Rainwater Management* | 2–3 | 2–3 | 2–3 | 2–3 | 2–3 | 2–3 | 2–3 | 1–2 |
| *Heat Island Reduction* | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1 |
| *Light Pollution Reduction* | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| *Site Master Plan* | | | 1 | | | | | |
| *Tenant Design and Construction Guidelines* | | 1 | | | | | | |
| *Places of Respite* | | | | | | | | 1 |
| *Direct Exterior Access* | | | | | | | | 1 |
| *Joint Use of Facilities* | | | 1 | | | | | |
| *Total* | 10 | 11 | 12 | 10 | 10 | 10 | 10 | 9 |
| ***WE*** | | | | | | | | |
| *Outdoor Water Use Reduction* | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1 |
| *Indoor Water Use Reduction* | 1–6 | 1–6 | 1–7 | 1–7 | 1–6 | 1–6 | 1–6 | 1–7 |
| *Cooling Tower Water Use* | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 |
| *Water Metering* | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| *Total* | 11 | 11 | 12 | 12 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| ***EA*** | | | | | | | | |
| *Enhanced Commissioning* | 2–6 | 2–6 | 2–6 | 2–6 | 2–6 | 2–6 | 2–6 | 2–6 |
| *Optimize Energy Performance* | 1–18 | 1–18 | 1–16 | 1–18 | 1–18 | 1–18 | 1–18 | 1–20 |
| *Advanced Energy Metering* | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| *Demand Response* | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 |
| *Renewable Energy Production* | 1–3 | 1–3 | 1–3 | 1–3 | 1–3 | 1–3 | 1–3 | 1–3 |
| *Enhanced Refrigerant Management* | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| *Green Power and Carbon Offsets* | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 |
| *Total* | 33 | 33 | 31 | 33 | 33 | 33 | 33 | 35 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ***MR*** | | | | | | | | |
| *Building Life-cycle Impact Reduction* | 2–5 | 2–6 | 2–5 | 2–5 | 2–5 | 2–5 | 2–5 | 2–5 |
| *Building Product Disclosure and Optimization Environmental Product Declarations* | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 |
| *Building Product Disclosure and Optimization Sourcing of Raw Materials* | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 |
| *Building Product Disclosure and Optimization Material Ingredients* | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 |
| *PBT Source Recuction - Mercury* | | | | | | | | 1 |
| *PBT Source Recuction - Lead, Cadmium and Copper* | | | | | | | | 2 |
| *Furniture and Medical Furnishings* | | | | | | | | 1–2 |
| *Design for Flexibility* | | | | | | | | 1 |
| *Construction and Demolition Waste Management* | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 |
| *Total* | 13 | 14 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 19 |
| ***EQ*** | | | | | | | | |
| *Enhanced Indoor Air Quality Strategies* | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 |
| *Low-Emitting Materials* | 1–3 | 1–3 | 1–3 | 1–3 | 1–3 | 1–3 | 1–3 | 1–3 |
| *Construction Indoor Air Quality Management Plan* | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| *Indoor Air Quality Assessment* | 1–2 | | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 |
| *Thermal Comfort* | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| *Interior Lighting* | 1–2 | | 1–2 | 2 | 1–2 | 1–2 | 1–2 | 1 |
| *Daylight* | 1–3 | 1–3 | 1–3 | 1–3 | 1–3 | 1–3 | 1–3 | 1–2 |
| *Quality Views* | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1–2 |
| *Acoustic Performance* | 1 | | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1–2 |
| *Total* | 16 | 10 | 16 | 15 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| ***IN*** | | | | | | | | |
| *Innovation* | 1–5 | 1–5 | 1–5 | 1–5 | 1–5 | 1–5 | 1–5 | 1–5 |
| *LEED Accredited Professional* | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| *Total* | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| ***RP*** | | | | | | | | |
| *Regional Priority* | 1–4 | 1–4 | 1–4 | 1–4 | 1–4 | 1–4 | 1–4 | 1–4 |
| *Total* | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| *Grand total* | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 |

LEED-sertifioituja projekteja Suomessa on tällä hetkellä (3.3.2021) 243, joista Certified -tasoisia on 10, Silver -tasoisia 42, Gold -tasoisia 152 ja Platinum -tason kohteita 39. Suurimman pistemäärän saavuttanut, Suomessa sijaitseva kohde on Tripla Pasila Station & Workery East, joka saavutti pistemäärän 90 arviointijärjestelmässä Core and Shell. Maailmanlaajuisesti suurimman pistemäärän 107 on saanut Dubaissa sijaitseva, vuonna 2013 valmistunut The Change Initiative TCI, joka on arvioitu Retail Commercial Interiors -järjestelmällä. (GBIG 2021)

### 2.3.3 RTS-ympäristöluokitus

RTS-ympäristöluokitus on suomalainen, suomalaisiin olosuhteisiin, lainsäädäntöön ja kiinteistökantaan sopivaksi kehitetty ympäristöluokitusjärjestelmä. Se on tarkoitettu erityisesti rakennushankkeiden tilaajille, jotka haluavat rakentaa ympäristövastuullisesti. Järjestelmä perustuu eurooppalaisiin CEN/TC 350 standardeihin, sekä lisäksi kansallisiin, yleisesti rakennusalalla käytössä oleviin menetelmiin, kuten sisäilmastoluokitukseen, M1-päästöluokitukseen, rakennusten elinkaarimittareihin, kuivaketju10-toimintamalliin ja viherkerroin-menetelmään. Luokitus on perustettu vuonna 2017 ja sitä ylläpitää ja hankkeita auditoi Rakennustieto Oy. (GBCF 2018)

RTS-ympäristöluokitusjärjestelmän arviointikriteeristö soveltuu uudisrakennus- ja peruskorjaushankkeisiin sekä käyttötarkoituksen muutoksiin. Käyttötarkoitukseltaan soveltuvia rakennuksia ovat opetus- ja päiväkotirakennukset, asuinrakennukset, toimisto- ja liikerakennukset sekä majoitusrakennukset (Sariola 2017). Kriteeristö muodostuu viidestä pääryhmästä, joita ovat prosessi, talous, ympäristö ja energia, sisäilma ja terveellisyys sekä innovaatiot. Pääryhmät koostuvat yhteensä 28 arvioitavasta kriteeristä, joista saatavilla olevia pisteitä on yhteensä 110. Saatujen pisteiden perusteella kohde saa arvosanana 1–5 tähteä, joiden pisterajat on esitetty taulukossa 12. Taulukosta nähdään, että kohde voi jäädä luokituksessa myös ilman luokitusta, mikäli se jää alle 25 pisteen. Lisäksi tietyissä tasoissa on pisteiden lisäksi pakollisia vähimmäisvaatimuksia, jotka tulee täyttää. (Sariola 2019a)

***Taulukko 12.*** *RTS-ympäristöluokituksen arvosanojen pisterajat. (Muokattu lähteestä Sariola 2019a)*

| Luokitustaso | Saavutetut pisteet | Tason kuvaus |
|---|---|---|
| Ei luokitusta | < 25 p | |
| ★ | ≥ 25 p | Tavanomainen ympäristölaadun taso |
| ★★ | ≥ 40 p | Tavanomaista parempi ympäristölaadun taso |
| ★★★ | ≥ 55 p | Hyvä ympäristölaadun taso |
| ★★★★ | ≥ 70 p | Korkea ympäristölaadun taso |
| ★★★★★ | ≥ 85 p | Erinomainen ympäristölaadun taso |

Uusin 24.10.2019 julkaistu kriteeristö oli ensimmäisenä käytössä neljässä pilottikohteessa, jotka olivat taidemuseo Ateneum, Helsingin Musiikkitalo, Hanasaaren ruotsalais-suomalainen kulttuurikeskus ja Senaattikiinteistöjen pääkonttori Sörnäisissä. Kaikkien pilottikohteiden auditointiraportit hyväksyttiin, ja kohteet saivat ensimmäisenä Suomessa RTS-ympäristöluokituksen sertifioinnin. (Sariola 2019b)

### 2.3.4 Joutsenmerkki

Joutsenmerkki on Pohjoismaiden tunnetuin ja arvostetuin ympäristömerkki. Sen kriteerit ovat yhtenevät kaikissa Pohjoismaissa, ja se soveltuukin erityisen hyvin pohjoismaisiin olosuhteisiin.

Joutsenmerkin tarkoituksena on rakennuksen terveellinen ja turvallinen käyttö sekä ympäristöystävällisyyden varmistaminen rakennuksen koko elinkaaren ajalle. Kriteeristön painopisteet ovat materiaalivalinnoissa, kemikaaleissa, kierrätyksessä, kierrätettävyydessä ja energiatehokkuudessa. Pakollisia vaatimuksia löytyy esimerkiksi materiaaleille ja energiankulutukselle. Joutsenmerkittyjen rakennustuotteiden käytöstä saa lisäpisteitä. Joutsenmerkki asettaa lisäksi vaatimuksia tuotteen (tässä yhteydessä rakennuskohteen) laadulle. Joutsenmerkki ylläpitää yhteispohjoismaista hyväksyttyjen materiaalien tietokantaa, jota hakijat ja materiaalitoimittajat voivat käyttää maksutta. (GBCF 2018)

Joutsenmerkin sertifiointielin on Ympäristömerkintä Suomi Oy. Merkintä rakennukselle voidaan myöntää rakennuksen valmistuttua, mikäli kohde täyttää merkin vaatimukset, mutta hakuprosessi tulee aloittaa jo suunnitteluvaiheessa. Järjestelmä soveltuu uudisrakentamisessa pientaloille, kerrostaloille, koulu- ja päiväkotirakennuksille sekä vapaa-ajan asunnoille sekä peruskorjauskohteissa lisäksi toimistorakennuksille. (GBCF 2018)

Joutsenmerkin saavuttamiseksi kohteen tulee täyttää vaaditut pakolliset kriteerit sekä saada vähintään vaadittu määrä pisteitä. Jokainen kriteeri tulisi kohteessa myös dokumentoida vaaditulla tavalla, jotta vaatimuksen täyttyminen voidaan todentaa. Lisäksi osan vaatimuksien täyttymisen tulee Pohjoismaisen ympäristömerkinnän valtuuttama henkilö tarkastamaan paikan päälle. Pakollisia tarkisteltavia ja näin ollen dokumentoitavia kohteita on 41 ja pisteytettäviä kohteita on 14. Mahdollinen pistemäärä ja Joutsenmerkkiin vaadittu pistemäärä on riippuvainen rakennustyypistä:

- kerrostalot: vähintään 14 pistettä 44 mahdollisesta pisteestä
- pientalot: vähintään 15 pistettä 42 mahdollisesta pisteestä
- päiväkoti- ja koulurakennukset: vähintään 14 pistettä 39 mahdollisesta pisteestä.

Joutsenmerkissä ei ole portaittaista asteikkoa, joka erittelisi kohteet ympäristötehokkuuden suhteessa toisiinsa, vaan kohde joko läpäisee vaatimukset ja saa Joutsenmerkin, tai ei läpäise ja jää ilman merkkiä. Suomessa ensimmäisenä rakennuksena Joutsenmerkin sai joulukuussa 2015 luhtitalo Auerkulman Asunnot Järvenpäässä (Ympäristömerkintä 2015). (Pohjoismainen ympäristömerkintä 2019)

### 2.3.5 Promise

Promise on suomalainen, vuosituhannen vaihteessa kehitetty ympäristöluokitusjärjestelmä, joka on poistunut käytöstä. Vapaaehtoisuuteen perustuva työkalu kehitettiin kansalliseksi ympäristömittariksi, jonka kehittämisessä hyödynnettiin aiempia ulkomaalaisia arviointivälineitä ja

suomalaisia vakiintuneita käytäntöjä. Luokitus koostui kahdesta työkalusta, jotka olivat Hanke-Promise ja Kiinteistö-Promise. Hanke-Promise kehitettiin uudisrakennuksille ja Kiinteistö-Promise olemassa oleville rakennuksille. Molemmat sisälsivät arviointikriteerit liikerakennukselle, kaupan kiinteistölle sekä asuinkerrostalolle. (Hakaste n.d.)

Promisen ydinajatuksena oli arvioida kiinteistön merkittävimpiä ympäristövaikutuksia yksinkertaisten ja luotettavien mittareiden avulla. Rakennuksen arvosana koostui neljän pääluokan ympäristövaikutusten pisteytyksestä, jotka olivat käyttäjien terveys, luonnonvarojen kulutus, ekologiset vaikutukset ja ympäristöriskien hallinta. Pääluokat oli jaettu alempiin indikaattoreihin, joilla oli oma pisteytyksensä sekä painoarvo. Lopputulemana saatiin rakennukselle ympäristöarvosana välillä A-E, josta luokka E vastasi määräysten mukaista tasoa tai ”normaalia nykytasoa” ja A tästä keskimäärin puolet parempaa tasoa. Mikäli jäi alle E-luokan vaatimustason, jäi luokituksessa ilman arvosanaa. (Hakaste n.d.)

# 3. TUTKIMUSKOHTEEN HIILIJALANJÄLJEN LASKENTA

Tutkimuksessa määritettiin hirsitalotehtaan nykyisen tuotannon yleisimmän tuotteen, kaksikerroksisen omakotitalon hiilijalanjälki. Rakennuksen rakenneratkaisut vastasivat hyvin laajasti kyseisen hirsitalotehtaan nykyisen tuotannon käytetyimpiä ratkaisuja. Tutkimuskohteena oleva kiinteistö sijaitsee Tampereella Hervannan kupeessa uudella Lintuhytin asuinalueella. Sijainniltaankin kohdetta voidaan pitää talotehtaan nykyisen tuotannon yleistuotteena, sillä talotehtaan suurin volyymi määrällisesti on Pirkanmaan alueella. Yrityksen tuotantolaitos sijaitsee Pohjois-Pirkanmaalla, jolloin tuotannon tehokkuuden näkökulmasta, kuten myös kuljetuksista aiheutuvien päästöjen kannalta on tehokasta, kun pääosa tuotannosta suuntautuu lähialueille.

## 3.1 Tutkimuskohteen esittely

Rakennus käsittää 170 $m^2$ kerrosalaa huoneistoalan ollessa 153 $m^2$. Puurakenteista terassia kohteessa on 41 $m^2$, sisäänkäynnin yhteydessä on pieni kuisti ja talon takana sijaitsee suurempi oleskeluterassi. Näiden molempien päällä on lähes kokonaan terassit peittävät katokset. Havainnekuvat kohteesta on esitetty kuvassa 5.

***Kuva 5.*** *Tutkimuskohteen havainnekuva*

Tontille tulee lisäksi erillinen talousrakennus, joka käsittää autotallin ja varaston. Tätä ei kuitenkaan ole huomioitu ympäristövaikutuslaskelmassa, sillä se ei myöskään kuulu energiatodistuksen lain piiriin, joten oletuksena on, että hiilijalanjälkilaskentakaan ei näillä näkymin tule koskemaan pieniä talousrakennuksia. Tutkimuskohteen pääpiirustukset, pois lukien asemapiirros, on esitetty liitteessä A.

### 3.1.1 Rakenteet ja materiaalimenekit

Rakennuksen hiilijalanjälkilaskennassa tärkeä, ja hyvin paljon lopputuloksen tarkkuuteen ja laatuun vaikuttava vaihe on käytettävien rakennusmateriaalien sekä näiden määrien selvittäminen.

Tutkimuksessa rakennusmateriaalien määrät selvitettiin tuotannon dokumenttien, rahtikirjojen ja rakennekuvien avulla.

*Ulkoseinä*

Tutkimuskohteen ulkoseinärakenteena on 240 mm paksu ja 260 mm korkea ristiin liimattu lamellihöylähirsi. Hirsiseinä sisältää hirsien saumoissa sisä- ja ulkopinnassa pyöreän solumuovitiivistenauhan Ø10 mm, jiirinurkkien pystyvarauksessa paisuvan vaahtotiivistenauhan paksuudeltaan 3–9 mm ja leveydeltään 60 mm, hirsikertojen vaarnatapituksen 21x27 puutapein, sekä läpipulttauksen M16 kierretangoin sisältäen aluslevyt ja mutterit. Hirsiseiniin sisältyy lisäksi aukkojen pieliin upotetut karalankut, sekä näiden kiinnitykseen käytettävät ruuvit. Hirsiin tehdään pystyvaraukset sähkövetoja varten sähkösuunnitelman mukaan, jolloin sähköjohdotus kojerasioille saadaan tehtyä piilossa. LVIS-tekniikka on huomioitu laskennassa erillisinä kokonaisuuksinaan. Hirren ja sokkelin välissä kosteuskatkona sekä ilmatiivisteenä on solupolyeteenistä valmistettu 10 mm paksu sokkelikaista. Märkätiloissa, eli alakerran pesuhuoneessa ja yläkerran kylpyhuoneessa hirsiseinä on koolattu sisäpuolelta 45x45 k400 runkopuilla ja levytetty 13 mm:n EK kipsilevyllä, jotta määräykset täyttävä vedeneristäminen saadaan suoritettua. Koolausväli on täytetty 50 mm:n kivivillalevyillä. Koolaus kiinnitetään hirsiin konenauloilla tai ruuvein, ja kipsilevytys koolaukseen kipsilevyruuvein. Kipsilevytys vedeneristetään siveltävällä vedeneristeellä ja pintamateriaalina on keraaminen laatta. Hirsirunko suojataan pystytyksen jälkeen ulkopuolelta homeenestoaineella. Maalaus suoritetaan vesiohenteisella ulkomaalilla, joka muodostaa vettä hylkivän pinnan, mutta päästää vesihöyryn läpi. Ulkoseinien materiaalimenekit on esitetty taulukossa 13.

***Taulukko 13.*** *Ulkoseinien materiaalimenekit.*

| | *pituus [m]* | *tilavuus [m³]* | *massa [kg]* |
|---|---|---|---|
| *CLL 240x260* | | 42.16 | |
| *Hirsisauman solumuovitiiviste* | 1291.69 | 0.07 | |
| *Sokkelikaista 10x200mm* | 39.04 | 0.08 | |
| *paisuvaisnauha 3–9 mm, 60 mm* | 125.41 | 0.07 | |
| *vaarnatappi 21 mm x 27 mm* | 257.40 | 0.15 | |
| *Kierretangot M16* | 87.45 | | 117.36 |
| *aluslevyt M16* | | 0.0003 | 1.95 |
| *mutterit+ jatkomutterit M16* | | | 2.93 |
| *karapuut 45x145 C24* | 66.20 | 0.43 | |
| *pilarit 200x200 C24* | | 0.67 | |
| *homeenestoaine* | | 0.034 | |
| *ulkomaali, 2x käsittely* | | 0.068 | |

*Alapohja ja perustukset*

Alapohjana on maanvarainen 100 mm:n teräsbetonilaatta. Eristeenä on käytetty 200 mm:n kerrosta EPS Platina solupolystyreenilevyjä. Raudoitusverkkona on B500K laadun 5–150 teräsverkko, johon on kiinnitetty vesikiertoisen lattialämmityksen kiertoputket. Kantavien väliseinien ja takan alla alapohjan laatta on 200 mm paksu ja alapintaan on lisätty toinen raudoitusverkko. Laatanvahvennoksen alla EPS-eriste on korvattu suuremman puristuslujuuden eristeellä. Kapillaarikatkokerroksena laatan alla, sekä perustusten alla kantavana kerroksena on käytetty kalliomursketta. Koko tontilla käytetyt maanrakennuksen materiaalimenekit on esitetty taulukossa 14.

***Taulukko 14.*** *Tontin maanrakennuksen materiaalimenekit.*

| | | *määrä [tonnia, tn]* | *kuljetusmatka [km]* |
|---|---|---|---|
| *POHJA* | 0–32 kalliomurske | 404.95 | 25 |
| | 0–150 kalliomurske | 295.85 | 25 |
| | 0–16 kalliomurske | 41.5 | 25 |
| | 8–16 kalliosepeli | 84.85 | 25 |
| *TÄYTÖT* | 0–32 kalliomurske | 276.7 | 25 |
| | 8–16 kalliosepeli | 83.4 | 25 |
| | | | |
| *YHT.* | 0–16 kalliomurske | 41.5 | 25 |
| | 0–32 kalliomurske | 681.65 | 25 |
| | 0–150 kalliomurske | 295.85 | 25 |
| | 8–16 kalliosepeli | 168.25 | 25 |

Perustus on tehty 900 mm korkeana, paikalla valettuna teräsbetonisokkelina, joka on eristetty sisäpuolelta EPS solupolystyreenilevyillä 50–170 mm paksulla kerroksella. Sokkelin ulkopinnassa valmiin maanpinnan alapuolella vedeneristeenä on perusmuurilevy, jonka yläreunassa on reunalista. Laatan ja sokkelin välin ilmatiivistys on tehty muovisella radonkaistalla. Rakennuksen alle tulevat radon-, vesi-, sähkö-, ja viemäriputkitukset, sekä sokkelin ulkopuoliset salaoja- ja sadevesijärjestelmät ja tonttikaivot on huomioitu erillisenä järjestelmänä. Sokkelia kiertää ulkopuolella 1200–1500 mm:n leveydellä 50 mm - 100 mm EPS routaeriste. Terassien perustuksena on raudoitetut betonianturat, joiden päällä on kuumasinkitystä teräksestä valmistetut putki pilarikengät joihin terassirakenteet tukeutuvat. Terassien katosta kantavien puupilareiden alla nosto betonianturasta on tehty kahdella 250x250 valettavalla, raudoitetulla pilariharkolla. Puupilarit on kiinnitetty betoniin teräksisillä, keltapassivoiduilla säätöjaloilla. Alapohjan ja perustusten materiaalimenekit on esitetty taulukossa 15.

***Taulukko 15.*** *Alapohja ja perustukset, materiaalimenekit.*

| | | *pinta-ala [m²]* | *kerrospaksuus [mm]* | *tilavuus [m³]* | *massa [kg]* |
|---|---|---|---|---|---|
| *Alapohja* | lattiamateriaali, parketti | 28.8 | 14.0 | 0.40 | |
| | lattiamateriaali, keraaminen laatta | 59.1 | 8.0 | 0.47 | |
| | lattiatasoite | 88.7 | 20.0 | 1.77 | |
| | teräsbetonilaatta C25/30 | 89.5 | 100.0 | 8.95 | |
| | laatan vahvennokset C25/30 | 20.9 | 100.0 | 2.09 | |
| | laatan raudoitus, verkko 5–150 B500K | | | | 246.2 |
| | lattiaeriste EPS Platina | 77.9 | 200.0 | 15.58 | |
| | lattiaeriste Finnfoam F-300 | 21.7 | 100.0 | 2.17 | |
| *Perustukset* | valusokkeli C30/37 | | | 7.38 | |
| | terassin perustukset C30/37 | | | 1.09 | |
| | sokkelin raudoitus A500HW | | | 0.03 | |
| | terassin perustusten raudoitus B500K | | | 0.01 | |
| | sokkelin vedeneristys, patolevy | 35.7 | | | |
| | sokkelin lämmöneriste EPS 100 | | | 3.98 | |
| | routaeriste EPS | | | 9.46 | |

Terassirakenteiden pää- ja sekundääripalkit ovat painekyllästettyä lujuusluokan C24 sahatavaraa koossa 48x173 ja 48x123. Kansilaudoituksena on 28 mm paksu painekyllästetty terassilauta. Painekyllästetyn puutavaran kiinnikkeet ovat ruostumatonta terästä. Terassien materiaalimenekit on esitetty taulukossa 16.

***Taulukko 16.*** *Terassien materiaalimenekit.*

| | *Pinta-ala [m²]* | *Määrä (pituus) [m]* | *Tilavuus [m³]* |
|---|---|---|---|
| *pääpalkit 48x173 C24 painekyllästetty* | | 44.2 | 0.4 |
| *sekundääripalkit 48x123 C24 painekyllästetty* | | 71.2 | 0.4 |
| *Terassilauta 28 mm painekyllästetty* | 42.3 | | 1.2 |

*Yläpohja ja päätykolmiot*

Yläpohja on toteutettu naulalevyristikoilla, jotka kantavat ulkoseiniltä. Kattoristikot on reivattu ja tuettu pystyyn 22x100 ja 32x100 laudoin. Ristikoiden yläpaarteen päällä on 18 mm paksu, ympäripontattu OSB-levytys, joka räystäiden osalla on korvattu 19 mm paksulla raakaponttilaudoituksella. Levytyksen päällä on kumibituminen vedeneristekermi. Räystäillä kiertää reunapelti sekä räystäslaudat. Alaräystäällä on sadevesikouru sekä syöksyputket talon molemmissa päädyissä. Yläpohjassa on eristeenä 500 mm Ekovilla-puukuitueristettä puhallettuna, jonka alla on kangasvahvisteinen ilmansulkupaperi ja rasiakoolaus ristiin 22x100 laudasta k600 jaolla sekä

pintamateriaalina puinen kattopaneeli. Yläpohjassa on lisäksi läpiviennit viemärin tuuletukselle, radonin poistolle, ilmanvaihdon poistoputkelle sekä tulisijan hormille.

Päätykolmiot on toteutettu rankarakenteisina rakennuspaikalla tehtyinä, runkopuut on katkottu hirsitalotehtaalla valmiiksi oikeisiin mittoihin. Runkona on ympärihöylätty sahatavara koossa 45x145 tolppajaolla k600. Päätykolmiot on koottu konenauloin. Rungon ulkopinnassa on 12 mm puukuituinen tuulensuojalevytys, 45x45 tuulettuva koolaus k600-jaolla sekä 19 mm paksu puinen hirsipaneeli. Ulkoverhoukselle suoritetaan vastaava pintakäsittely kuin hirsirungolle. Yläpohjan, katosten ja päätykolmioiden materiaalimenekit on esitetty taulukossa 17.

***Taulukko 17.*** *Yläpohjan, katosten ja päätykolmioiden materiaalimenekit.*

| | | *pinta-ala [m²]* | *paksuus [mm]* | *tilavuus [m³]* |
|---|---|---|---|---|
| *Pääkatto* | pintahuopa | 122.4 | | |
| | alushuopa | 122.4 | | |
| | reunapelti | 13.3 | | |
| | levytys, OSB 4, 18 mm | 98.3 | 18.0 | 1.77 |
| | raakaponttilauta 19x95 | 24.2 | 19.0 | 0.46 |
| | kattoristikot, puu osat C30, C35 | | | 1.56 |
| | kattoristikot, naulalevyt, kuumasinkitty rakenne-teräs | | | 0.03 |
| | päätyhölpät 42x148 C24 | | | 0.43 |
| | reivauslaudat | | | 0.13 |
| | räystäslauta 20x145 | | | 0.13 |
| | tuulenohjain, tulensuojalevy, puu-kuitu | 16.0 | 25.0 | |
| | eriste puhallettuna, Ekovilla | 95.3 | 500.0 | 47.64 |
| | ilmansulkupaperi | 95.3 | | |
| | rasiakoolaus C24 2x 22x100 k600 | 88.7 | 22.0 | 0.65 |
| | kattopaneeli | 88.7 | 15.0 | 1.33 |
| *Katokset* | pintahuopa | 37.6 | | |
| | alushuopa | 37.6 | | |
| | reunapelti | 7.4 | | |
| | raakaponttilauta 19x95 | 37.6 | 19.0 | 0.71 |
| | kantava vasoitus | | | 0.41 |
| | kiinnityspuut | | | 0.07 |
| | räystäslauta 20x145 | | | 0.07 |
| | liimapuupalkit GL30c | | | 0.46 |
| *Päätykolmiot, ristikon kannat* | päätykolmio runko 45x145 k600 | | | 0.50 |
| | tuulensuojalevy, puukuitu | 32.8 | 12.0 | 0.39 |
| | tuuletuskoolaus 45x45 k600 | 32.8 | | 0.11 |
| | hirsipaneeli 19x260 | 32.8 | 19.0 | 0.62 |

*Ikkunat ja ovet*

Ikkunat, ovet ja liukuovi ovat puualumiini runkoisia. Kaikissa lasitus on kolminkertainen, kiinteissä ikkunoissa sekä ovissa ja liukuovessa lasitus on toteutettu kahdella eristyslasielementillä. Avattavissa ikkunoissa puitteen sisäpinnassa on eristyslasielementti ja ulkopinnassa tasolasi. Karmin ja talon rungon välisen liittymän eristäminen toteutetaan elastisella uretaanivaahdolla, jonka lisäksi sisäpinnassa hirren ja karmin välin ilmatiivistys tehdään teippaamalla. Aukkojen pielet ja yläreuna kierretään ulkopuolelta L-mallisella pellityksellä, joka tulee hirren pään ja ikkunakarmin päälle. Ikkunoiden ja ovien alareunaan tulee tippapelti. Väliovet ovat puisia, massiivisena tai kevytrakenteisena. Ikkunoiden ja ovien materiaalimenekit on esitetty taulukossa 18.

***Taulukko 18.*** *Ikkunat ja ovet, materiaalimenekit.*

| | *pituus [m]* | *pinta-ala [m²]* | *tilavuus [m³]* |
|---|---|---|---|
| *ikkunat* | | 45.98 | |
| *ulko-ovet* | | 7.65 | |
| *liukuovet* | | 7.41 | |
| *väliovet* | | 18.60 | |
| *uretaanivaahto* | | | 0.77 |
| *pellitys* | 172.3 | 25.84 | |
| *tiivistysteippaus* | 198.10 | | |

*Välipohja*

Välipohja on toteutettu naulalevyrakenteisilla Posi-palkeilla, joissa ylä- ja alapaarteet sekä pystysauvat ovat puisia ja vinosauvat ovat ohutta metalliprofiilia. Välipohjaristikot kannatetaan päistään ulkoseiniin kiinnitettyjen lankkujen päältä, ja välituenta on toteutettu väliseinillä sekä parilla pienellä liimapuupalkilla. Ristikoiden päällä on 22 mm:n ympäripontattu lattialastulevy, jonka päällä on 50 mm paksu kuitubetonivalu ja pintamateriaalina on parkettia ja keraamista laatoitusta. Lattiavalussa on vesikiertoisen lattialämmityksen kiertoputket. Märkätiloissa pintamateriaalin alle tulee siveltävä vedeneriste. Ristikoiden välissä on ääneneristeenä 100 mm:n kivivillalevytys ja alapinnassa on ilmansulkupaperi ja kaksinkertainen rasiakoolaus 22x100 laudasta jaolla k600. Pintamateriaalina välipohjan alapinnassa on puupaneeli. Märkätiloissa on tapauskohtaisesti alas laskettu katto sekä aina höyrynsulkumuovi. Välipohjan materiaalimenekit on esitetty taulukossa 19.

***Taulukko 19.*** *Välipohjan materiaalimenekit.*

| | *pinta-ala [m2]* | *kerrospaksuus [mm]* | *tilavuus [m3]* |
|---|---|---|---|
| *lattiamateriaali, parketti* | 51.3 | 14.0 | 0.7 |
| *lattiamateriaali, keraaminen laatta* | 4.3 | 8.0 | 0.03 |
| *kuitubetonivalu C25/30* | 65.4 | 50 | 3.3 |
| *lattialastulevy 22 mm* | 65.4 | 22 | 1.4 |
| *Posi-palkiston puu osat C24* | | | 2.0 |
| *Posi-palkkien teräsosat* | | | 0.0 |
| *liimapuupalkit GL30c* | | | 0.06 |
| *kiinnityspuut* | | | 0.12 |
| *ääneneriste, kivivilla* | 65.4 | 100 | 6.5 |
| *ilmansulkupaperi* | 65.4 | | |
| *rasiakoolaus C24 2x 22x100 k600* | 65.4 | 22 | 0.5 |

*Väliseinät*

Väliseinät ovat pääasiassa puurunkoisia, mutta alakerran märkätiloissa ja takan takana väliseinissä on käytetty 85 mm paksua kalkkihiekkaharkkoa. Kantavien väliseinien runkopuuna on käytetty viilupuutolppaa (LVL-T) koossa 45x92 jaolla k600. Kevyet väliseinät ovat viilupuutolppaa koossa 39x66 k600. Laatoitettavissa väliseinissä tolppajakona on aina k400. Väliseinissä ääneneristeenä on 50–100 mm kivivillalevytys runkovahvuuden mukaan. Puurunkoisissa väliseinissä kipsilevytys on tehty normaalilujuuden kipsilevyllä, märkätiloissa käytössä on erikoiskova kipsilevy. Väliseinien alajuoksun alle tulee bitumikaista estämään kosteuden siirtymisen betonilaatasta puuhun. Kalkkihiekkaharkkoseinät tasoitetaan yli 1 mm – 5 mm kerroksella seinätasoitetta. Märkätilojen seinien vedeneristys tehdään siveltävällä vedeneristeellä, jonka päälle tulee keraaminen laatoitus. Väliseinien materiaalimenekit on esitetty taulukossa 20.

***Taulukko 20.*** *Väliseinien materiaalimenekit.*

| | *pinta-ala [$m^2$]* | *tilavuus [$m^3$]* |
|---|---|---|
| *Kahi-harkko 85* | 18.54 | 1.58 |
| *tasoite laasti* | 37.08 | 0.07 |
| *lisäkoolaus 45x45 C24* | 9.76 | 0.05 |
| *LVL-T 39x92* | 15.13 | 0.15 |
| *LVL- 39x66* | 100.05 | 0.63 |
| *kipsilevytys 12.5 mm* | 240.12 | 3.00 |
| *keraaminen laatoitus* | 63.44 | 0.51 |

*Kiinnikkeet*

Kiinnikkeinä on kohteessa käytetty pääasiassa teräksisiä kulmalevyjä, nauloja ja ruuveja. Näiden lisäksi terasseilla on käytetty putkijalkoja ja terassin katosten puupilareiden kiinnityksessä perustukseen säätöjalkoja. Kiinnikkeiden määrät on esitetty taulukossa 21.

***Taulukko 21.*** *Kiinnikkeet, määrät.*

| | | *määrä [kpl]* | *massa [kg/kpl]* | *massa [kg]* |
|---|---|---|---|---|
| *teräskiinnikkeet* | kulmaraudat | 100.0 | 0.198 | 19.8 |
| | säätöjalat | 6.0 | 3.600 | 21.6 |
| | terassin putkijalat | 7.0 | 2.500 | 17.5 |
| *naulat* | raakapontti | 7040.6 | 0.011 | 73.9 |
| | huopa | 200.0 | 0.005 | 0.9 |
| | seinärungot | 150.0 | 0.011 | 1.6 |
| | koolaukset | 400.0 | 0.011 | 4.2 |
| | ankkurinaulat | 1200.0 | 0.005 | 5.4 |
| | | | | |
| *ruuvit* | hölpät (/poikoset) | 160.0 | 0.011 | 1.7 |
| | yläpohjan levytys | 982.6 | 0.011 | 10.3 |
| | välipohjan levytys | 654.0 | 0.011 | 6.9 |
| | kipsilevyt | 3601.8 | 0.005 | 16.3 |
| | kiila-ankkurit | 62.0 | 0.040 | 2.5 |

*LVIS-laitteet*

Kohteen LVIS-kokonaisuus vastaa palvelutasoltaan tavanomaista, nykyaikaista pientaloa. Lämmitysjärjestelmänä on maalämpö kallioon poratulla putkistolla ja lämmönjakotapana on vesikiertoinen lattialämmitys. Maalämpö- ja lämmönjakojärjestelmän päästöt on laskettu käyttäen päästölaskentaohjelman keskiarvotietoja. Maalämpökaivon porauksesta aiheutuneita päästöjä ei kuitenkaan ole huomioitu päästölaskennassa. Ilmanvaihto on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto lämmöntalteenotolla. LVI-laitteistoon sisältyy lisäksi kanavat, viemärit, vesikalusteet ja hulevesilaitteistot. LVI-laitteiden materiaalimenekit on esitetty taulukossa 22.

***Taulukko 22.*** *LVI-laitteet ja tarvikkeet, materiaalimenekit.*

| | | *pituus [m]* | *määrä [kpl]* | *massa [kg]* |
|---|---|---|---|---|
| *Tonttikaivot* | perusvesikaivo PVK500/315/PPV | | | 50.0 |
| | tarkastusputki TP200/160 | | | 30.0 |
| | tarkastuskaivo TK400/315 | | | 40.0 |
| | sadevesikaivo 400/315 | | | 30.0 |
| | viivytyskaivo 2700 CARAT S | | | 120.0 |
| | rännikaivot | | | 3.0 |
| | salaojakaivot | | | 4.0 |
| *Käyttövesi* | tonttijohto, käyttövesi | 15.0 | | 1.4 |
| | käyttövesiputki | 62.5 | | 5.9 |
| | jakotukit, käyttövesi | | | 6.9 |
| | hanat, suihkut | | 8.0 | |
| *Jätevesi* | viemäriputket | 32.0 | | 22.4 |
| | tuuletusputki | | 1.0 | 1.8 |
| | lattiakaivot | | 7.0 | |
| | altaat, wc-istuimet | | 6.0 | |
| *Radon* | radonputkitus | 35.0 | | 24.5 |
| | radon-nousuputki | 8.0 | | 5.6 |
| | poistoputki | | 1.0 | 2.6 |
| *Sadevesi* | sadevesiputket | 40.0 | | 28.0 |
| *Salaojat* | salaojaputket | 50.0 | | 35.0 |
| *Lämmitys* | maalämpöpumppu | | | |
| | maalämpö, keruuputket | 300.0 | | |
| | maalämpö, siirtoputket | 36.0 | | |
| | jakotukit, lattialämmitys | | | 10.2 |
| | lämmönjakoputket | 811.2 | | |
| *Ilmanvaihto* | iv-kone | | | |
| | iv-kanavat | 79.8 | | 137.9 |
| | poistoputki | | 1.0 | 5.1 |
| | ilmanvaihdon venttiilit | | 17.0 | |

Taulukossa 23 esitetty sähköistys päädyttiin kyseisen aihepiirin ympäristöselosteiden puutteen vuoksi laskemaan päästölaskentaohjelmasta löytyneellä kootulla keskiarvotiedolla, joka huomioi koko sähköjärjestelmän tuotteet ja näiden päästöt rakennuksen huoneistoalan perusteella. Tämän vuoksi taulukossa 23 ei ole esitetty tuotteille määrätietoja.

***Taulukko 23.*** *Sähköistys, materiaalimenekit.*

| *sähköjärjestelmä* | *153 m² (huoneistoala)* |
|---|---|
| *sähköpääkeskus* | |
| *sähkökaapeloinnit* | |
| *kojerasiat* | |
| *kiinteät sähkölaitteet* | |
| *LVIS säätölaitteet* | |

### 3.1.2 Energiatehokkuus

Rakennuksen suunniteltu käyttöikä on SFS-EN 1990 standardin mukainen 50 vuotta, joten ympäristövaikutukset lasketaan 50 vuoden ajalta. Yleisesti rakennusten suurimmat päästöt aiheutuvatkin käyttövaiheen aikana, käyttövaiheiden ollessa suhteellisen pitkiä. Täten yhä suureen rooliin päästöjen määrässä nousee rakennuksen energiatehokkuus ja tähän vaikuttaa paljon rakenteiden lämmönläpäisykertoimet. Tutkimuskohteen rakenteiden U-arvot on esitetty taulukossa 24 sekä lisäksi liitteen B energiatodistuksessa. Taulukosta 24 nähdään, että ulkoseinien suunniteltu U-arvo on heikompi kuin vertailuarvo, mutta tätä on kompensoitu alapohjan ja ikkunoiden sekä ovien vertailuarvoja paremmilla U-arvoilla.

***Taulukko 24.*** *Tutkimuskohteen rakenneosien lämmönläpäisykertoimet sekä vastaavat tasauslaskelman vertailuarvot.*

| *Rakenneosa* | *Lämmönläpäisykerroin* | |
|---|---|---|
| | suunnitteluarvo U [W/m$^2$K] | vertailuarvo U [W/m$^2$K] |
| *Ulkoseinät* | 0.46 | 0.40 |
| *Yläpohja* | 0.09 | 0.09 |
| *Alapohja* | 0.12 | 0.16 |
| *Ikkunat* | 0.80 | 1.00 |
| *Ulko-ovet* | 0.80 | 1.00 |

Tasauslaskelmassa ja energiatodistuksessa ilmanvuotolukuna on käytetty 2.0 m$^3$/(m$^2$h) ja ilmanvaihtolaitteena Valloxin 110 MV, jonka lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen suunnitteluarvo on 75 %. Rakennuksen lämmitysmuotona on maalämpö ja lämmönjako on toteutettu vesikiertoisella lattialämmityksellä. Maalämpöpumppuna toimii Nibe F1255-12, jonka SPF-luku on tilojen lämmitykselle 5,09 ja lämpimälle vedelle 3,30. SPF-luvulla kuvataan laitteen tuottaman lämpöenergian määrää suhteessa sen käyttämään energiaan vuodessa (Motiva 2018).

Näillä lähtötiedoilla rakennuksen E-luvuksi tulee 74 kWh$_E$/(m$^2$vuosi) ja ostoenergiaa kuluu sähkön muodossa 9653 kWh vuodessa. Rakennus kuuluu tällä E-luvulla energiatehokkuusluokkaan A. Elinkaaren käyttövaiheen aikaiset energiankulutuksen päästöt saadaan laskettua kertomalla vuodessa kuluva energiamäärä kyseisen energian tuottamisesta aiheutuvilla päästöillä. Rakennuksen energian kulutuksen päästöt on esitetty jäljempänä seuraavassa luvussa.

## 3.2 Hiilijalanjäljen laskenta

Hiilijalanjälkilaskenta suoritettiin Bionovan One Click LCA-ohjelmalla, joka on selainpohjainen elinkaariarviointiohjelmisto. Ohjelmistossa on monia eri työkaluja rakennusten ja rakentamisen elinkaariarviointiin liittyen mm. elinkaarikustannuslaskenta ja rakentamisen kiertotalous-työkalu. Tässä tutkimuksessa käytettiin vain elinkaaren hiilijalanjälkilaskennan työkalua. Ohjelmisto

on ulkoisesti arvioitu, ja sen on todennettu noudattavan standardeja EN 15978, ISO 21931-1, ISO 21929-1, ISO 14040, ja EN 15804 (Building Research Institute 2015).

Ohjelman tietokantaan on kerätty kolmannen osapuolen varmentamia ympäristöselosteita eri rakennusmateriaaleista ja -tuotteista ympäri maailmaa. Päästölaskennassa tarvittava tekninen tieto löytyykin suurelta osin näistä ympäristöselosteiden tiedoista, hieman kunkin ympäristöselosteen sisällön laajuuden mukaan. Ympäristöselosteiden lisäksi materiaaleista on koottu keskiarvotietoja, joita voi hyödyntää, mikäli tietokannasta ei löydy päästötietoa tietystä, käytetystä tuotemerkistä.

Ohjelmaan syötetään rakennuksen pinta-ala-, materiaali- ja määrätiedot, sekä energiatodistuksesta vuotuinen energiankulutus. Lisäksi huomioidaan kunkin rakennustuotteen huolto ja vaihtotarve rakennuksen elinkaaren ajalta, sekä työmaalla rakennusvaiheessa syntyneet päästöt, kuten kulutettu energia. Lisäksi kunkin rakennustuotteen kuljetustiedot, eli miten pitkä matka tuotetta on kuljetettu työmaalle ja millä ajoneuvolla, lisätään kullekin tuotteelle.

Rakennusmateriaalien valmistukseen liittyvät kuljetukset sisältyvät tuotteiden ympäristöselosteisiin, eikä näitä kuljetusmatkoja tule siis tässä huomioida. Lisäksi joidenkin tuotteiden ympäristöselosteiden päästötiedot voivat jo sisältää elinkaaren aikaisten huoltojen päästöt, kuljetuksen työmaalle tai käytöstä poiston päästöt. Näiden kanssa tulee siis olla tarkkana, jotta kaikki elinkaaren vaiheet tulee huomioitua kullekin rakennusmateriaalille, muttei kuitenkaan kahdesti.

Laskettuun rakennusmateriaalin määrätietoon yhdistetään kyseisen tuotteen ympäristövaikutustieto. Laskennan tuloksena saadaan rakennuksen elinkaaren aikainen hiilijalanjälki sekä lisäksi tuloksesta erikseen eriteltynä esitetään eloperäinen hiilivarasto ja rakennuksen elinkaaren ulkopuoliset positiiviset vaikutukset, eli hiilikädenjälki. Hiilikädenjäljellä tarkoitetaan tuotteesta tai palvelusta syntyvien ilmastohyötyjen summaa muunnettuna hiilidioksidiekvivalentiksi, joita ei syntyisi ilman tuotteen valmistusta tai palvelua, tässä tapauksessa rakennushanketta (GBCF 2020).

Haastavaa hiilijalanjäljen laskennasta teki vielä verrattain vähäinen ympäristöselosteiden määrä etenkin suomalaisten rakennustuotteiden osalta. Tästä syystä jouduttiin usean rakennusmateriaalin, kuten sahatavaran, päästötietona käyttämään toisen maan määrittämää päästötietoa, joka löytyi laskentaohjelman tietokannasta. Tutkimuksessa käytettyjen rakennusmateriaalien osalta tietokannasta löytyi huomattavasti enemmän esimerkiksi Norjan ja Ruotsin päästötietoja verrattuna Suomen päästötietoihin. Kun käytetyn tuotteen päästötietoa ei löytynyt tietokannasta, pyrittiin valitsemaan mahdollisimman vastaavanlaisen tuotteen päästötieto, tai käyttämään mahdollisimman hyvin Suomeen verrattavissa olevan maan päästötietoa, ensisijaisesti

muita Pohjoismaita. Suomessa tyypin III RTS EPD-ympäristöselosteita myöntää Rakennustietosäätiö RTS, joka myös ylläpitää koottua materiaalipankkia myöntämistään ympäristöselosteista.

Materiaalien kuljetusmatkatietoina käytettiin pääasiassa ohjelman tietokannan koostamia Pohjoismaisten olosuhteiden keskiarvokuljetusmatkoihin perustuvia tietoja. Tämä siksi, että kyseisellä työmaalla suuri osa rakennustarvikkeista, etenkin sisävaiheessa, haettiin läheisistä rakennustarvikeliikkeistä. Kun suuri osa tuotteista ei tullut suoraan valmistajilta, niiden kuljetusketjuja mahdollisiin välivarastoihin ja myyjäliikkeisiin ei alettu arvioimaan vaan päädyttiin käyttämään ohjelman tarjoamia keskiarvotietoja. Näin arvioitiin päästävän lähimmäksi oikeaa lopputulosta. Niille tuotteille, joille tarkempi kuljetustieto oli olemassa, muutettiin kyseinen tieto ohjelmaan keskiarvotiedon tilalle. Rakennuksen käyttösähkön päästöprofiilina käytettiin laskentaohjelmasta löytynyttä Suomen verkkosähkön keskiarvokoontia vuodelta 2018.

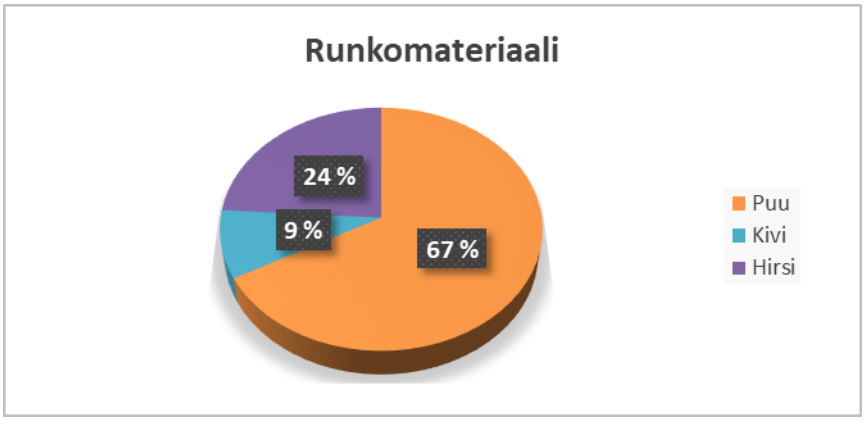
Rakennustuotteiden, sekä rakennusten päästötiedot ilmoitetaan hiilidioksidiekvivalenttina, jolloin tuotteita ja rakennuksia on helppo vertailla keskenään yhden luvun avulla. Rakennuksen elinkaaren aikaiseksi päästöksi eli hiilijalanjäljeksi saadaan 165309,99 kg$CO_2$e, joka tarkoittaa 18,78 kg$CO_2$e neliölle vuodessa ja 939,24 kg$CO_2$e neliölle koko elinkaaren aikana. Tuloksessa ei näy biogeeninen hiilivarasto eikä hiilikädenjälki, vaan nämä on esitetty hiilijalanjäljen tuloksesta eriytettynä. Rakennuksen biogeeniseksi hiilivarastoksi, eli kuinka paljon talossa käytettyihin rakennusmateriaaleihin on sitoutunut ilmakehästä hiiltä, saatiin 46976,65 kg$CO_2$e. Päästöt jakautuivat elinkaaren eri vaiheisiin taulukon 25 mukaan. Taulukossa 25 on lisäksi esitetty päästöjen ja hiilivaraston prosentuaalinen osuus elinkaaren eri vaiheissa suhteutettuna kokonaistuotokseen. Taulukon tuloksia on käsitelty tarkemmin kappaleessa 5.

***Taulukko 25.*** *Tutkimuskohteen päästöjen jakauma elinkaaren eri vaiheissa.*

| | *Osa-alue* | *Ilmaston lämpenemi-nen kg$CO_2$e* | *Päästö-jen osuus %* | *Hiilivarasto, biogeeninen kg$CO_2$e* | *Hiiliva-raston osuus %* |
|---|---|---|---|---|---|
| *A1-A3* | Tuotevaihe | 34 417.73 | 21 % | 46 976.65 | 100 % |
| *A4* | Kuljetus rakennuspaikalle | 2 669.19 | 2 % | | |
| *A5* | Rakentamisvaihe | 3 026.64 | 2 % | | |
| *B4-B5* | Osien vaihto ja peruskorjaus | 12 034.59 | 7 % | | |
| *B6* | Energian käyttö | 109 219.55 | 66 % | | |
| *C1-C4* | Purkaminen | 3 939.29 | 2 % | | |
| *(D* | Elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset (ei mukana summarivillä) | -20 716.77 | | | ) |
| | *Yhteensä* | 165 306.99 | 100 % | 46 976.65 | 100 % |

# 4. VERTAILUKOHTEIDEN HIILIJALANJÄLJEN LASKENTA

Vertailukohteiden runkomateriaaleiksi valittiin RTS:n omakotirakentajan valintaoppaan 2020–2021 mukaiset uusien talopakettiomakotitalojen suosituimmat runkoratkaisut, joihin toteutettavat kohteet jakautuvat kuvan 6 mukaan. Lähteen mukaan talotoimittajat toimittavat omakotitalojen rungon 80 %:ssa uudistuotannosta, joten talopakettien runkomateriaalin jakaumaa koko tämänhetkisessä omakotitalorakentamisessa voidaan pitää suuruusluokaltaan melko hyvin paikkaansa pitävänä. (RTS 2020)




***Kuva 6.*** *Talopakettien runkomateriaalin jakauma (tiedot lähteestä RTS 2020)*

Kuvasta 6 nähdään, että talopakettiomakotitalojen ulkoseinän runkomateriaalina 67 %:ssa käytetään puuta, 24 %:ssa hirttä ja 9 %:ssa kiveä. Omatoimirakentajien osuuden, joiden osuus ei näy talotoimittajien tilastoissa, voidaan olettaa kasvattavan näistä pääasiassa puurunkoisten osuutta kahden muun kustannuksella. Vertailukohteiden ulkoseinien runkomateriaaleiksi valittiinkin jakauman mukaiset hirren ohessa yleisimmät ulkoseinän runkomateriaalit eli kivi ja puu. Kivitalo valittiin tehtäväksi eristemuottiharkolla, joka rapataan ulkopinnasta. Puutalon rankarunko eristetään kivivillalla ja ulkoverhous on tehty puusta. Lisäksi tutkittiin esimerkkikohteen hirsirunkoista taloa tuulensuojalevytettynä, jolla saadaan hieman parannettua ulkoseinän lämmöneristävyyttä. Tuulensuojalevytetty hirsiseinä valittiin tarkasteluun, jotta saadaan konkreettista tietoa energiankulutus- ja päästövaikutuksesta, joka saadaan aikaan pienehköllä lisäyksellä rakennusmateriaaleja. Ulkoisesti rakennuksesta tulee tällöin tavallisen puuverhotun talon näköinen, mutta tekniset hirsitalon hyvinä pidetyt ominaisuudet, kuten hengittävyys, säilyy. Lisäksi suuri osa vanhoista hirsitaloista on ulkovuorattuja, joten rakennusperinteellisessä mielessä kyseessä ei ole vieras asia. Ulkoverhousta voidaan pitää paremman lämmöneristävyyden lisäksi

myös rakennusteknisessä mielessä perusteltuna, koska sillä saadaan lisättyä rakennuksen rungon pitkäikäisyyttä, kun hirsirunko on suojattu sään vaikutuksilta, sekä tuulensuojalevytys pitää hirsirungon lämpimämpänä.

Tutkimuskohteen materiaalimenekit laskettiin kattavasti, vertailukohteiden rakenteista laskettiin vain ne runkorakenteet, jotka erosivat esimerkkikohteesta. Muut rakenteet esimerkkikohteen ja vertailukohteiden välillä sekä näiden määrätiedot pysyivät samana.

## 4.1 Vertailukohde 1, kivirunko eristemuottiharkosta

Ensimmäisessä vertailukohteessa hirsirunko on korvattu 400 mm:n eristemuottiharkolla. Lisäksi päätykolmiot ja kattoristikoiden kannat on muurattu ohuemmalla harkolla tutkimuskohteen tuulensuojalevytyksen ja puupaneelin sijaan. Eristemuottiharkko koostuu ulko- ja sisäpinnassa olevista 116 mm paksuista, valuonteloilla varustetuista betonikuorista, sekä keskellä olevasta 168 mm paksusta EPS-grafiitti eristeestä. Esimerkkikohteeseen verrattuna pois on jäänyt pesuhuoneiden sisäpuolinen lisäkoolaus levytyksineen, sillä vedeneristys voidaan tässä kohteessa suorittaa ilman niitä. Taulukossa 26 on esitetty vertailukohteen 1 ulkoseinien materiaalimenekit.

***Taulukko 26.*** *Vertailukohde 1, ulkoseinien materiaalimenekit.*

| | *paksuus [m]* | *pinta-ala [m²]* | *tilavuus [m³]* |
|---|---|---|---|
| *muottiharkot, betoni C30/37* | 0.23 | 164.33 | 38.12 |
| *EPS-grafiitti* | 0.17 | 164.33 | 27.61 |
| *päätykolmiot, ristikon kannat, betoni C30/37* | 0.12 | 33.83 | 3.92 |
| *raudoitteet B500K* | | | 0.10 |

Harkkorakenteen paksuus eroaa hirsiseinästä; harkon paksuus on 400 mm ja hirren 240 mm. Laskentaa varten seinärakenteen sisäpinta pidettiin paikallaan ja rakenne paksunettiin ulospäin. Näin rakennusten lämmitetty nettoala ja sisätilavuus ovat samat ja energiatodistukset sekä tulokset paremmin vertailukelpoisia. Rakennuksen kerrosala kuitenkin kasvaa 12,92 m$^2$ esimerkkikohteesta ja jos huomioidaan vain 250 mm:n paksuus ulkoseinästä kerrosala kasvaa 0,8 m$^2$. Seinän ulkolinjojen kasvua ei ole kuitenkaan huomioitu suurentamalla samassa suhteessa perustuksia, sillä sokkeliliittymä, jonka myötä myös perustus näillä eri ulkoseinämateriaaleilla olisi hyvin erilainen. Rakennuksen omapainokin kasvaisi ulkoseinämateriaalin muutoksen myötä niin paljon, että vaikka perustukset olisi venytetty seuraamaan ulkoseinälinjaa, eivät perustukset ilman rakenteellisia muutoksia olisi toimivat eri ulkoseinämateriaalin kanssa. Näiden seikkojen vuoksi päädyttiin pitämään perustukset muuttumattomina kaikissa vertailukohteissa, koska kohdekohtaisia perustussuunnitelmia kuviteltuihin kohteisiin ei ollut saatavilla.

Vertailukohteen seinän U-arvo on 0.17 W/m$^2$K muiden rakenteiden U-arvojen pysyessä ennallaan. Eri runkomateriaalin kylmäsiltakertoimet rakennusosien sekä nurkka -liitoksissa on huomioitu energiatodistuksen laskennassa. Lisäksi rakennuksen lämpökapasiteettina on käytetty massiivisemman rakennuksen 200 Wh/m$^2$K, kun esimerkkikohteen hirsisellä ulkoseinällä varustetussa rakennuksessa kyseinen arvo oli 110 Wh/m$^2$K. Näillä lähtöarvoilla rakennuksen E-luvuksi tulee 66 kWh$_E$/(m$^2$vuosi) ja rakennus kuuluu energiatehokkuusluokkaan A. Ostoenergiaa kuluu sähkön muodossa 8602 kWh/vuosi. Kohteen energiatodistus on esitetty liitteessä C.

Nämä muutokset huomioituna, rakennuksen elinkaaren aikaisiksi päästöiksi tulee 160622,98 kg$CO_2$e, joka tarkoittaa 18,25 kg$CO_2$e neliölle vuodessa, ja koko elinkaaren aikana 912,63 kg$CO_2$e per neliö. Rakennuksen biogeeninen hiilivarasto sekä hiilikädenjälki on esitetty erillään hiilijalanjäljestä. Päästöt jakautuvat elinkaaren eri vaiheisiin taulukon 27 mukaan. Taulukon tuloksia on käsitelty tarkemmin kappaleessa 5.

***Taulukko 27.*** *Kivirunkoisen vertailukohteen päästöjen jakauma elinkaaren eri vaiheissa.*

| *Osa-alue* | | *Ilmaston lämpenemi-nen kg$CO_2$e* | *Päästö-jen osuus %* | *Hiilivarasto, biogeeninen kg$CO_2$e* | *Hiiliva-raston osuus %* |
|---|---|---|---|---|---|
| *A1-A3* | Tuotevaihe | 41 119.58 | 26 % | 18 716.20 | 100 % |
| *A4* | Kuljetus rakennuspaikalle | 2 775.71 | 2 % | | |
| *A5* | Rakentamisvaihe | 3 674.95 | 2 % | | |
| *B4-B5* | Osien vaihto ja peruskorjaus | 12 978.52 | 8 % | | |
| *B6* | Energian käyttö | 97 327.94 | 61 % | | |
| *C1-C4* | Purkaminen | 2 746.28 | 2 % | | |
| *(D* | Elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset (ei mukana summarivillä) | -12 776.87 | | | ) |
| | *Yhteensä* | 160 622.98 | 100 % | 18 716.20 | 100 % |

## 4.2 Vertailukohde 2, puu-rankarunko

Toisen vertailukohteen ulkoseinänä on rankarakenteinen puurunko. Ulkoseinän rakennekerrokset valittiin ulkoseinäelementtejä valmistavien yritysten tuotteita mukaillen niin, että ulkoseinän lämmönläpäisyarvoksi saatiin tasauslaskelman vertailuarvon kanssa yhtenevä arvo eli 0,17 W/m$^2$K. Ulkoseinärakenne on ulkoa sisäänpäin: ulkoverhouslauta 26 mm, tuuletuskoolaus 48x48 k600, tuulensuojakipsilevy 9 mm, puurunko 42x198 k600 ja tolppaväleissä kivivilla eriste 200 mm, höyrynsulkumuovi, koolaus 48x48 k600 ja koolausväleissä kivivillaeriste 50 mm, kipsilevy 12,5 mm. Seinän kokonaispaksuudeksi tulee 342 mm. Jälleen pidetään seinän sisäpinta paikallaan ja paksunnetaan seinä ulospäin, jotta huoneistoala pysyy muuttumattomana. Kokonaiskerrosala tässä tapauksessa kasvaa 8,18 m2 suhteessa esimerkkikohteeseen ja jos huomioidaan

vain 250 mm:n paksuus ulkoseinästä, kerrosala kasvaa saman 0,8 $m^2$ kuin vertailukohde 1. Seinän ulkolinjojen kasvua ei ole huomioitu tässäkään laskelmassa suurentamalla samassa suhteessa perustuksia, joka perusteltiin edellisessä kappaleessa.

Tässäkin vertailukohteessa määrälaskennasta jäi pois hirsiseinien lisäksi ulkoseiniltä märkätilojen lisäkoolaus. Ulkoseinän ulkopinnan pituuden kasvaessa päätykolmioiden ja ristikoiden kantojen verhoilun määrien kasvut on huomioitu. Ulkoseinän määrälaskenta on esitetty taulukossa 28.

***Taulukko 28.*** *Vertailukohde 2, ulkoseinien materiaalimenekit.*

| | *paksuus [m]* | *pinta-ala [$m^2$]* | *tilavuus [$m^3$]* |
|---|---|---|---|
| *ulkoverhouslauta* | 0.026 | 170.85 | 4.44 |
| *ulkoverhouslauta, ristikot* | 0.026 | 33.44 | 0.87 |
| *koolaus 48x48* | | 170.85 | 0.66 |
| *koolaus 48x48, ristikot* | | 33.44 | 0.13 |
| *tuulensuojakipsilevy* | 0.009 | 170.85 | 1.54 |
| *tuulensuojakipsilevy, ristikot* | 0.009 | 33.44 | 0.30 |
| *runko 42x198* | | 163.01 | 3.24 |
| *eriste, kivivilla* | | 158.34 | 39.59 |
| *koolaus 48x48* | | 155.18 | 0.78 |
| *höyrynsulkumuovi* | | 155.18 | |
| *kipsilevy* | 0.013 | 155.18 | 2.02 |

Rakennuksen lämpökapasiteettina energiatodistuksen laskennassa on käytetty 70 Wh/$m^2$K. Rakennuksen E-luvuksi saatiin 66 $kWh_E$/($m^2$vuosi) joka vastaa energialuokkaa A ja ostoenergiaa kuluu sähkön muodossa 8556 kWh/vuosi. Puurunkoisen vertailukohteen energiatodistus on esitetty liitteessä D.

Rakennuksen elinkaaren aikaisiksi päästöiksi, joissa ei ole huomioitu biogeenistä hiiltä eikä hiilikädenjälkeä, saadaan 149387,43 $kgCO_2e$, joka tarkoittaa 16,98 $kgCO_2e$ vuodessa neliölle ja elinkaaren aikana 848,79 $kgCO_2e$ päästöjä neliölle. Taulukossa 29 on esitetty päästöjen jakauma elinkaaren eri vaiheissa puurunkoisella vertailukohteella. Taulukon tuloksia on käsitelty tarkemmin kappaleessa 5.

***Taulukko 29.*** *Puurunkoisen vertailukohteen päästöjen jakauma elinkaaren eri vaiheissa.*

| | *Osa-alue* | *Ilmaston lämpenemi-nen kgCO₂e* | *Päästö-jen osuus %* | *Hiilivarasto, biogeeninen kgCO₂e* | *Hiiliva-raston osuus %* |
|---|---|---|---|---|---|
| *A1-A3* | Tuotevaihe | 32 285.59 | 22 % | 26 517.88 | 100 % |
| *A4* | Kuljetus rakennuspaikalle | 2 646.43 | 2 % | | |
| *A5* | Rakentamisvaihe | 3 026.64 | 2 % | | |
| *B4-B5* | Osien vaihto ja peruskorjaus | 12 258.60 | 8 % | | |
| *B6* | Energian käyttö | 96 807.47 | 65 % | | |
| *C1-C4* | Purkaminen | 2 362.70 | 2 % | | |
| *(D* | Elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset (ei mukana summarivillä) | -12 373.36 | | | ) |
| | *Yhteensä* | 149 387.43 | 100 % | 26 517.88 | 100 % |

## 4.3 Vertailukohde 3, hirsirunko tuulensuojalevyllä ja puuverhouksella

Viimeisenä vertailukohteena on tutkimuskohteen rakennus samalla hirsirungolla toteutettuna, mutta ulkopintaan on lisätty 25 mm:n tuulensuojalevytys, pystykoolaus 32x50 k600 sekä 26 mm:n ulkoverhouslauta. 25 mm:n puukuituisella tuulensuojalevyllä (Runkoleijona) eristetyn hirsiseinän U-arvo on 0,38 W/m$^2$K ja E-luvuksi tulee 71 kWh$_E$/(m$^2$vuosi) joka vastaa energialuokkaa A. Ostoenergiaa kuluu sähkön muodossa tällöin 9289 kWh/vuosi. Vertailukohteen 3 energiatodistus on esitetty liitteessä E. Ulkoseinärakenteeseen lisättyjen rakennusmateriaalien määrät on esitetty taulukossa 30.

***Taulukko 30.*** *Vertailukohde 3, lisätyt ulkoseinämateriaalit suhteessa tutkimuskohteen ulkoseinärakenteeseen.*

| | *paksuus [m]* | *pinta-ala [m²]* | *tilavuus [m³]* |
|---|---|---|---|
| *ulkoverhouslauta* | 0.026 | 166.04 | 4.32 |
| *koolaus 32x50* | | 166.04 | 0.44 |
| *tuulensuojalevy, Runkoleijona* | 0.025 | 166.04 | 4.15 |

Rakennuksen huoneistoala pysyy muuttumattomana suhteessa tutkimuskohteeseen, mutta ulkovuorauksen lisäys nostaa rakennuksen kerrosalaa 8,18 m$^2$:ä ollen siten 178 m$^2$. Kun kerrosala lasketaan rakennuslupiin huomioitavalla 250 mm:n ulkoseinäpaksuudella, tulee rakennuksen kerrosalaksi 171 m$^2$.

Muutetuilla arvoilla saadaan rakennuksen elinkaaren aikaisiksi päästöiksi 162964,09 kgCO$_2$e. Päästöiksi tulee näin ollen neliölle vuodessa 18,52 kgCO$_2$e ja elinkaaren aikana 925,93 kgCO$_2$e

neliölle. Hiilijalanjäljessä ei näy biogeeninen hiilivarasto eikä hiilikädenjälki, vaan nämä on esitetty tuloksesta eriytettynä. Taulukossa 31 on esitetty päästöjen jakauma elinkaaren eri vaiheissa. Taulukon tuloksia on käsitelty tarkemmin kappaleessa 5.

***Taulukko 31.*** *Hirsirunkoisen, tuulensuojalevytetyn vertailukohteen päästöjen jakauma elinkaaren eri vaiheissa.*

| | *Osa-alue* | *Ilmaston lämpenemi-nen kg$CO_2$e* | *Päästö-jen osuus %* | *Hiilivarasto, biogeeninen kg$CO_2$e* | *Hiiliva-raston osuus %* |
|---|---|---|---|---|---|
| *A1-A3* | Tuotevaihe | 35 460.06 | 22 % | 50 860.96 | 100 % |
| *A4* | Kuljetus rakennuspaikalle | 2 685.03 | 2 % | | |
| *A5* | Rakentamisvaihe | 3 242.34 | 2 % | | |
| *B4-B5* | Osien vaihto ja peruskorjaus | 12 205.17 | 7 % | | |
| *B6* | Energian käyttö | 105 101.05 | 64 % | | |
| *C1-C4* | Purkaminen | 4 270.43 | 3 % | | |
| *(D* | Elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset (ei mukana summarivillä) | -22 148.15 | | | ) |
| | *Yhteensä* | 162 964.09 | 100 % | 50 860.96 | 100 % |

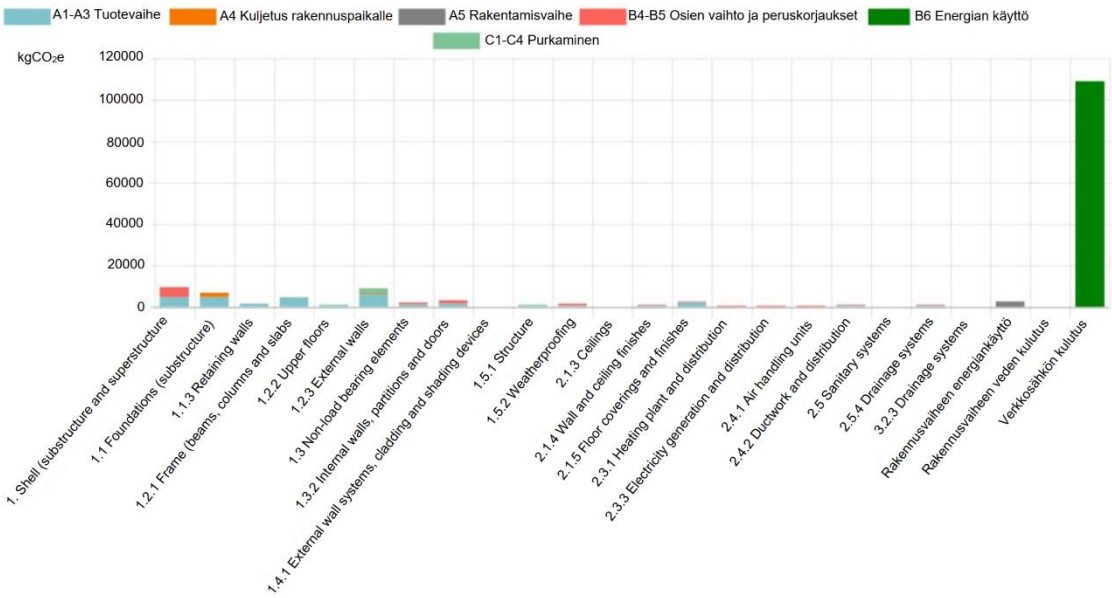
# 5. TULOSTEN ANALYSOINTI

Kappaleissa 3 ja 4 saatiin määritettyä tutkimuskohteen ja vertailukohteiden hiilijalanjäljet. Tässä kappaleessa käsitellään ja vertaillaan saatuja tuloksia. Lisäksi käydään läpi eri epävarmuus- ja virhetekijöitä, jotka vaikuttavat tulosten luotettavuuteen.

## 5.1 Tulosten käsittely ja vertailu

*Tutkimuskohde – hirsirunko*

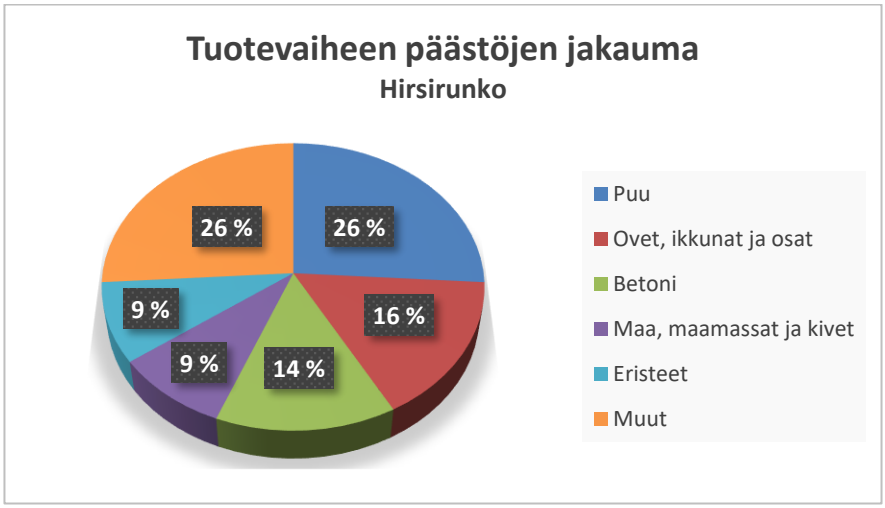
Hirsirunkoisen kohteen päästöt jakautuvat eri rakenteisiin ja elinkaaren vaiheisiin kuvan 7 mukaan. Kuvasta erottuu erittäin hyvin käyttövaiheen verkkosähkön kulutuksen päästöjen suuruus suhteessa rakennuksen materiaaleihin liittyviin ja rakentamisen aikaisiin päästöihin. Käyttövaiheen energiankulutuksen päästöjen osuus onkin kohteessa 66 % kaikista päästöistä, kuten jo taulukosta 25 nähtiin. Käyttövaiheen energiankulutuksen päästöt ovat siis merkittävät, vaikka talo kuuluu energiatehokkuusluokkaan A, kuten kaikki tutkitut vertailukohteetkin.




***Kuva 7.*** *Hirsirunkoisen kohteen päästöjen jakauma rakenteisiin ja energiankulutukseen.*

Tuotevaiheen päästöt jakautuvat eri materiaalityyppeihin kuvan 8 mukaan. Kuvasta 8 nähdään, että puun osuuden päästöt kaikista tuotevaiheen päästöistä on reilu neljännes, eli 26 % ja toiseksi suurin osuus on ikkunoilla, ovilla ja näiden osilla, 16 %. Taulukossa 25 oli esitetty kohteen tuotevaiheen päästöiksi 21 % kokonaispäästöistä, eli puun osuudeksi rakennuksen kokonaispäästöistä saadaan n. 5 % ja ikkunoiden ja ovien osuudeksi n. 3 %. Ikkunat ja ovet uusittiin kerran

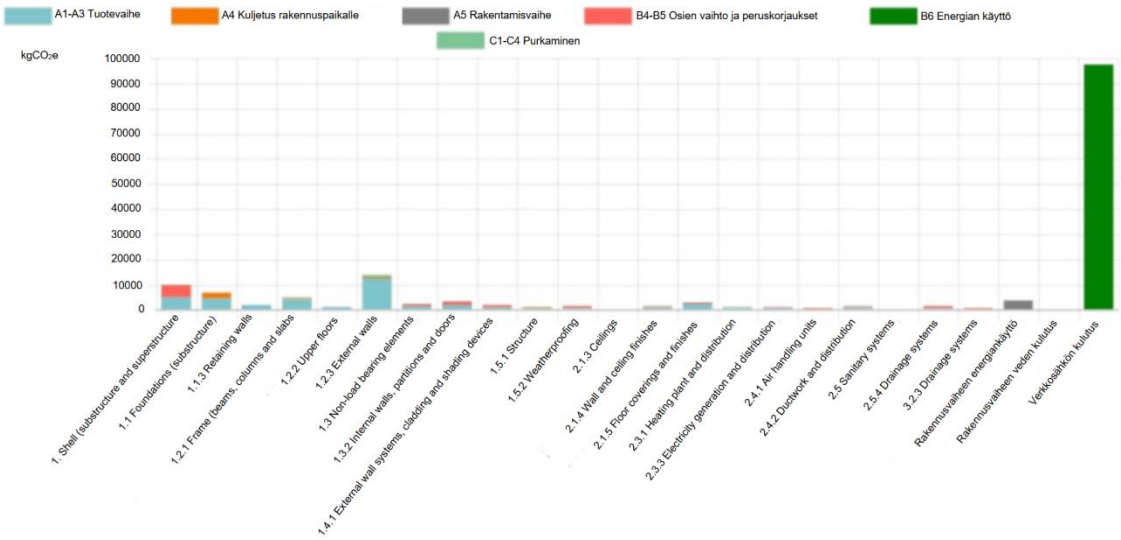
laskentajakson aikana, joka nostaa näiden osuutta päästöistä. Betonin, jota oli käytetty lattioissa ja perustuksissa, osuus kokonaispäästöistä on myös n. 3 %.




***Kuva 8.*** *Hirsirunkoisen kohteen tuotevaiheen päästöt materiaalityypeittäin.*

*Vertailukohde – kivirunko*

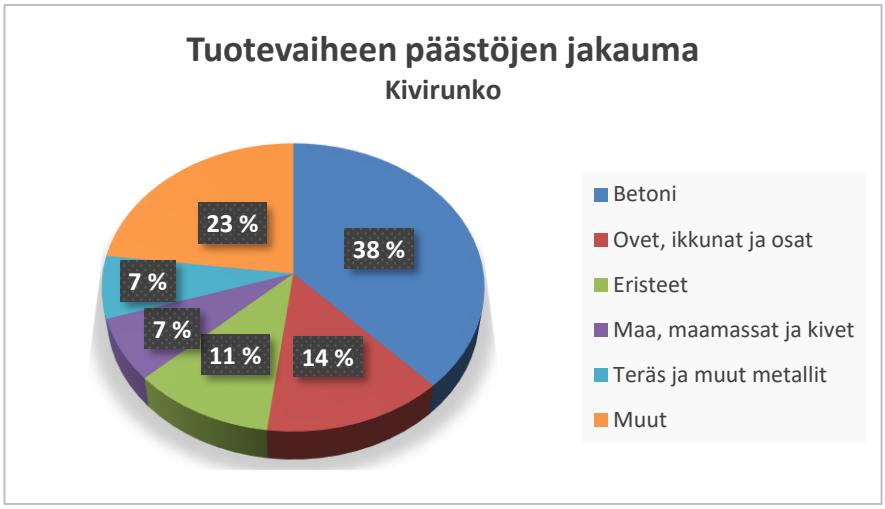
Ulkoseinät eristemuottiharkolla toteutetun kohteen päästöt jaoteltuna rakenneosiin ja elinkaaren vaiheisiin on esitetty kuvassa 9. Huomattavasti suurimpana erottuu käyttövaiheen verkkosähkön kulutus, joka käsittää kaiken käyttövaiheen energiankäytön. Tämän osuus kokonaispäästöistä onkin taulukon 27 mukaan 61 %. Seuraavaksi suurimmaksi kuvassa nousee ulkoseinien osuus, jossa muiden kuin tuotevaiheen osuudet päästöistä ovat murto-osassa.




***Kuva 9.*** *Kivirunkoisen kohteen päästöjen jakauma rakenteisiin ja energiankulutukseen.*

Tuotevaiheen päästöjen jakauma eri materiaalityyppeihin on esitetty kuvassa 10. Kivirunkoisen talon perustukset ja lattia olivat betonisia tutkimuskohteen tapaan, jonka lisäksi ulkoseinät ovat

betonia. Betonin osuus tuotevaiheen päästöistä on 38 %, ja kun tuotevaiheen päästöt ovat taulukon 27 mukaan 26 % kaikista päästöistä, tulee betonin osuudeksi kaikista päästöistä n. 10 %. Ikkunoiden ja ovien osuus on toiseksi suurin, 14 % ja kolmanneksi suurin päästölähde materiaaleista on eristeet 11 %.




***Kuva 10.*** *Kivirunkoisen kohteen tuotevaiheen päästöt materiaalityypeittäin.*

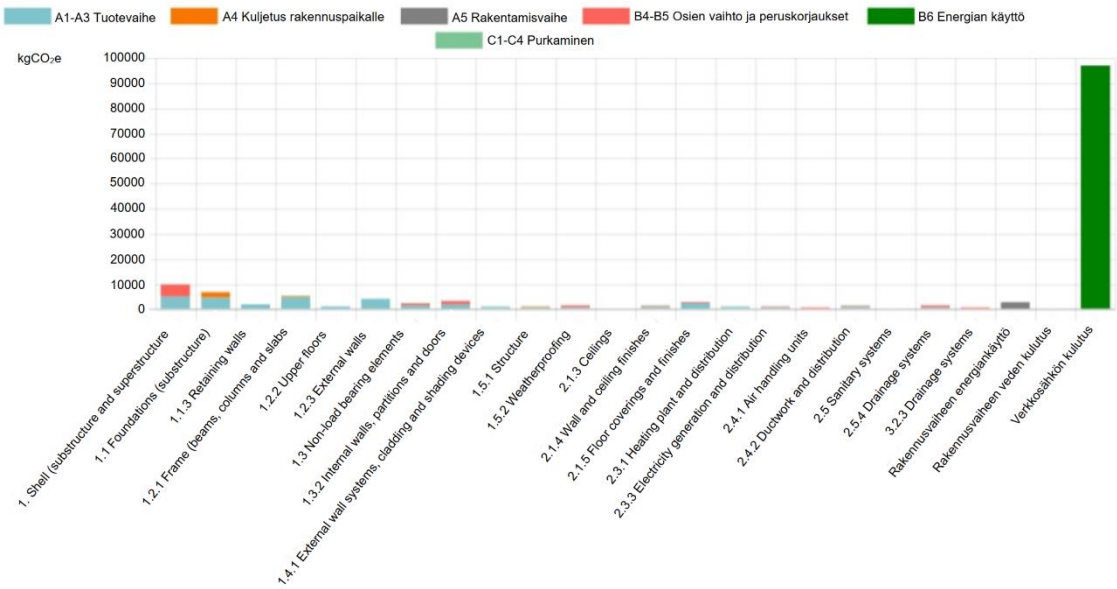
Betonin osuus erottuu kivirunkoisen talon materiaaleista selvemmin kuin puu hirsirunkoisen talon päästöistä. Tämä näkyy myös suhteutettuna kokonaispäästöihin, betoni kivitalossa 10 % ja puu hirsitalossa 5 %. Näitä selittää betonin valmistuksen vaatimat suuremmat päästöt. Lisäksi tulee muistaa, että puuta ja betonia on käytetty molemmissa rakennuksissa muissakin osissa kuin pelkästään ulkoseinässä. Terästen ja muiden metallien osuus on kivirunkoisessa 7 %, joka ei esiintynyt hirsisen kohteen jakaumassa eriteltynä. Tämä selittyy betoniharkkojen raudoituksilla. Eristeiden osuudet kokonaispäästöistä ovat hirrellä n. 2 % ja kivellä n. 4 %. Tämä ero syntyy eristemuottiharkkojen keskiosan EPS eristeestä, sillä hirsiseinää ei ole lisäeristetty.

Kokonaispäästöt olivat hirsitalolla 165 306,99 kg$CO_2$e ja kivitalolla 160 622,98 kg$CO_2$e, joiden ero on n. 3 %. Ero kivitalon hyväksi syntyy käyttövaiheen energiankäytöstä, joka kivitalolla on 97 327,94 kg$CO_2$e kun se hirsitalolla on 109 219,55 kg$CO_2$e. Näiden ero taas on lähes 11 %. Ero aiheutuu pääasiassa ulkoseinien lämmöneristävyydestä, joka kiviseinällä on 0,17 W/m$^2$K ja hirrellä 0,46 W/m$^2$K, joilla päädyttiin E-lukuihin 66 kWh/m$^2$a ja 74 kWh/m$^2$a. Kokonaispäästö kaventuu kuitenkin etenkin tuotevaiheen ja rakentamisvaiheen vaikutuksesta, joiden päästöt hirsirakennuksella ovat pienemmät.

*Vertailukohde – puurunko*

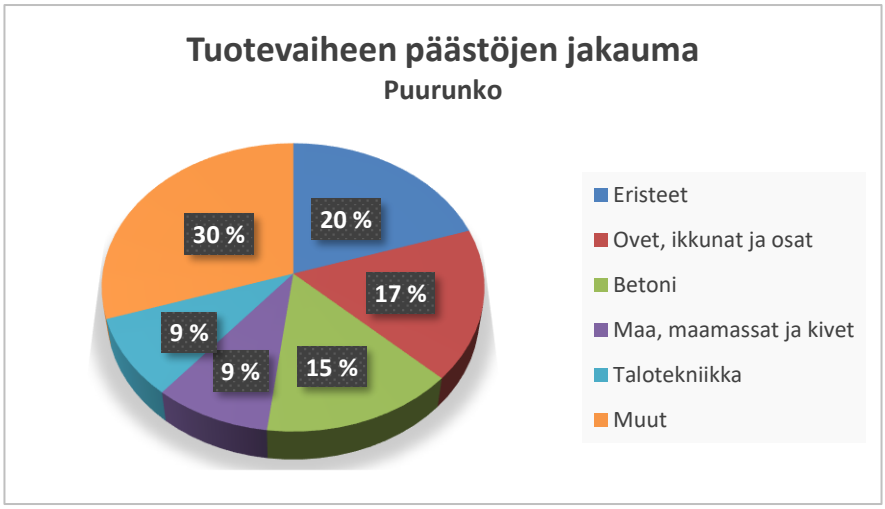
Puu-rankarunkoisen kohteen päästöjen jakauma rakenteittain ja elinkaaren vaiheittain on esitetty kuvassa 11. Kuvassa muut osiot kuin verkkosähkön kulutus esiintyvät melko tasaisina ja

matalina, ulkoseinien osuus on pienentynyt verrattuna hirsirunkoon. Käyttövaiheen aikainen energiankulutus on taulukon 29 mukainen 96 807,47 $kgCO_2e$, joka vastaa 65 % osuutta puurunkoisen kohteen kokonaispäästöistä. Hirsirakenteisen käyttövaiheen päästöt ovat n. 11 % suuremmat kuin puurunkoisessa kohteessa, joka selittyy puurunkoisen kohteen ulkoseinän U- arvosta 0,17 $W/m^2K$ ja täten E-luvusta 66 $kWh/m^2a$.




***Kuva 11.*** *Puurunkoisen kohteen päästöjen jakauma rakenteisiin ja energiankulutukseen.*

Tuotevaiheen päästöjen jakauma on esitetty kuvassa 12. Kuvasta nähdään, että toisin kuin hirsi ja kivirunkoisessa talossa, nyt suurimmat yksittäiset päästöt rakennusmateriaaleista tuottaa eristeet, kun kahdessa aiemmin mainitussa suurimman päästön aiheuttaja oli runkomateriaali. Eristeiden osuus rakennusmateriaalien päästöistä on 20 %, ja kun tuotevaiheen päästöjen osuus kokonaispäästöistä on taulukon 29 mukainen 22 %, on eristeiden osuus kokonaispäästöistä n. 4 %. Eristeiden suuri päästömäärä selittyy ulkoseinien 250 mm:n eristepaksuudesta ja suuresta eristepitoisuudesta suhteessa puisiin kantaviin rakenneosiin, eli kyseistä rakennusmateriaalia kuluu paljon. Eristeisiin sisältyy ulkoseinien lisäksi myös yläpohjan ja alapohjan eristeet, sekä routasuojaus. Toiseksi suurimpana päästölähteenä tuotevaiheessa ovat jälleen ikkunat ja ovet 17 %, jonka jälkeen tulee betoni 15 %. 9 % päästöillä nousee esiin vielä talotekniikka, joka ei aiemmissa kohteissa mahtunut viiden suurimman tuotevaiheen päästölähteen joukkoon.

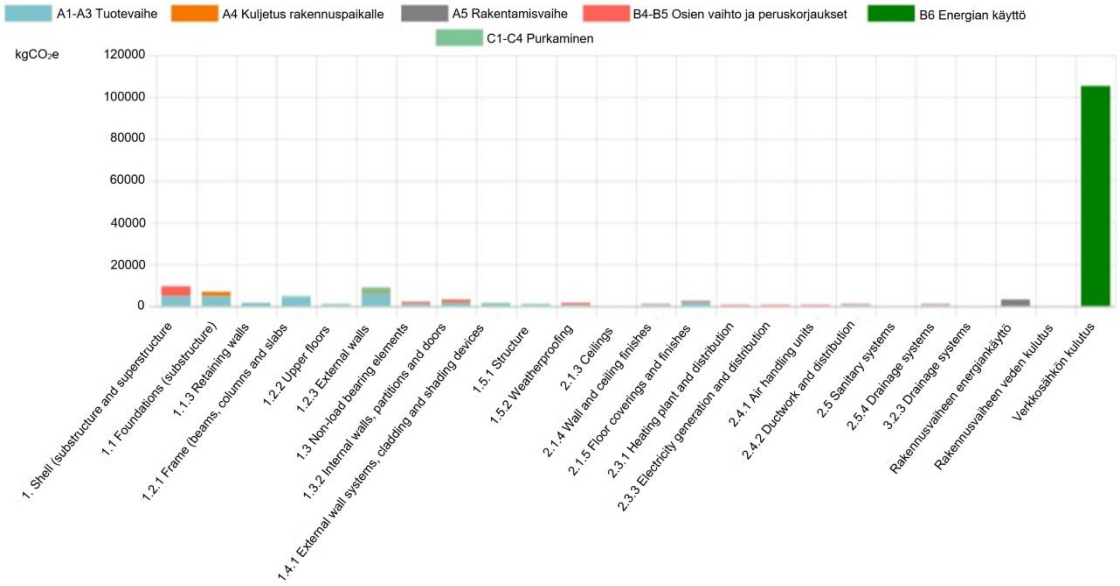



***Kuva 12.*** *Puurunkoisen kohteen tuotevaiheen päästöt materiaalityypeittäin.*

Puurunkoisen kokonaispäästöt olivat vertailun pienimmät, 149 387,36 kg$CO_2$e. Pienimmät päästöt selittyvät energiatehokkuudella ja matalan energiaintensiivisyyden rakennusmateriaaleilla. Kokonaispäästöt ovat hirsirunkoisessa lähes 10 % suuremmat kuin puurunkoisessa kohteessa.

*Vertailukohde – hirsirunko tuulensuojalevytyksellä*

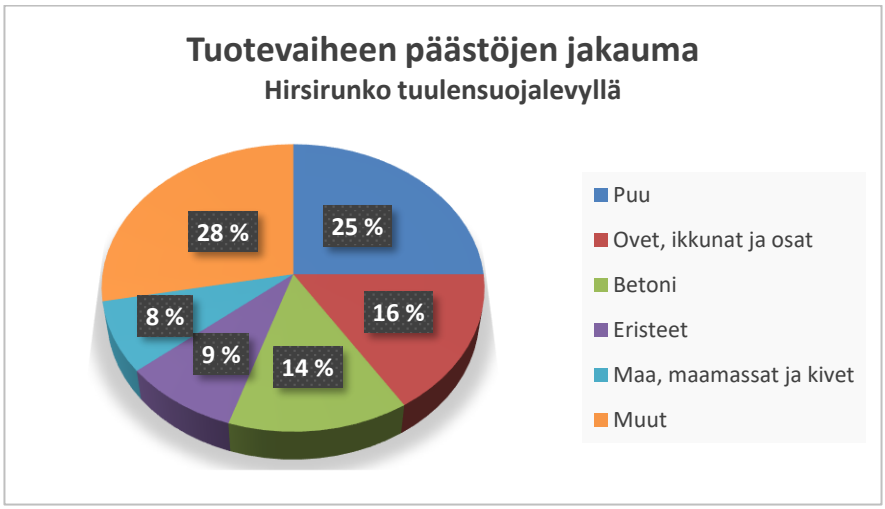
Tuulensuojalevytetyn hirsirunkoisen kohteen elinkaaren kokonaispäästöt ovat taulukon 31 mukainen 162 964,09 kg$CO_2$e. Päästöjen jakauma rakenteittain ja elinkaaren vaiheittain on esitetty kuvassa 13.




***Kuva 13.*** *Hirsirunkoisen, tuulensuojalevytetyn kohteen päästöjen jakauma rakenteisiin ja energiankulutukseen.*

Tuotevaiheen päästöt ovat taulukon 31 mukaisesti 22 % ja käyttövaiheen energiankäytön 64 % kokonaispäästöistä. Kuvassa 13 erottuukin jälleen käyttövaiheen sähkönkulutus muiden osa-alueiden jäädessä merkittävästi pienemmiksi. Kuvaajasta ei kuitenkaan juuri erota hirsirunkoisen ja tuulensuojalevytetyn hirsirungon välillä eroa ulkoseinän päästöissä. Tuulensuojalevytetyssä ja puuverhotussa versiossa tuotevaiheen päästöt ovat 1 042,33 kg$CO_2$e suuremmat kuin pelkällä hirsirungolla.

Tuotevaiheen päästöjen jakauma on esitetty kuvassa 14. Tuotteiden päästöjen jakauma on hieman erilainen verrattaessa kuvan 8 hirsirunkoisen vastaavaan jakaumaan. Puun osuus päästöistä on pienentynyt prosentin ja samalla eristeiden osuus päästöistä on noussut maa-aineksia suuremmaksi. Muiden rakennusmateriaalien suhteellinen osuus päästöissä on pari prosenttia suurempi kuin hirsirungolla. Puun 25 % osuus kokonaispäästöistä vastaa n. 5,5 % ja ikkunoiden osuus kokonaispäästöistä on n. 3,5 %. Määrällisesti hieman nousseiden eristeiden osuus kokonaispäästöistä on n. 2 %, kun se hirsirungon tapauksessa oli myös n. 2 %.



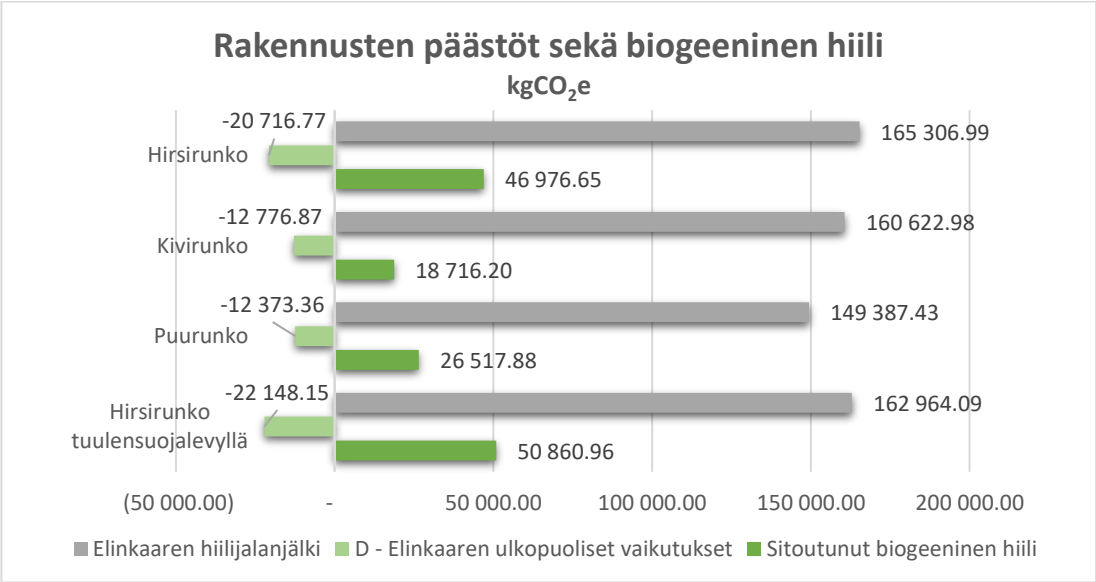

***Kuva 14.*** *Hirsirunkoisen, tuulensuojalevytetyn kohteen tuotevaiheen päästöt materiaalityypeittäin.*

Ulkoseinän U-arvo 25 mm paksulla puukuituisella tuulensuojalevyllä parani 0,46 W/$m^2$K:sta arvoon 0,37 W/$m^2$K. Tämä muutti E-luvuksi 71 kWh/$m^2$a, eli tiputusta tuli 3 yksikköä ja käyttövaiheen energian päästöt laskivat verrattuna tutkimuskohteeseen 4 118,5 kg$CO_2$e arvoon 105 101,05 kg$CO_2$e. Tämä tarkoittaa käyttövaiheen energiankäytössä 3,7 %:n eroa ja kokonaispäästöissä 2 342,9 kg$CO_2$e, joka vastaa 1,4 %:n eroa tuulensuojalevytetyn kohteen hyväksi.

*Yhteenveto*

Tutkittujen kohteiden elinkaaren aikaiset kokonaispäästöt ovat välillä 149 387 kg$CO_2$e – 165 307 kg$CO_2$e, joista hirsirunkoisen talon päästöt ovat suurimmat ja puurankarunkoisen pienimmät.

Rakennusten kokonaispäästöt sekä biogeeninen hiilivarasto on esitetty kuvassa 15. Kuvassa ”D-Elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset” kuvaa rakennuksen hiilikädenjälkeä, eli rakennuksen elinkaaren ulkopuolisia positiivisia vaikutuksia. Näitä ovat esimerkiksi rakennusmateriaalin hyödyntäminen energiana rakennuksen käytöstä poiston jälkeen. Lisäksi rakennuksen biogeeninen hiili, eli rakennuksen rakenteisiin sitoutunut eloperäinen hiili on esitetty erillisenä tuloksena jokaiselle kohteelle.




***Kuva 15.*** *Tutkimuksessa käsitellyiden rakennusten elinkaaren hiilijalanjälki, -kädenjälki sekä sitoutunut biogeeninen hiili.*

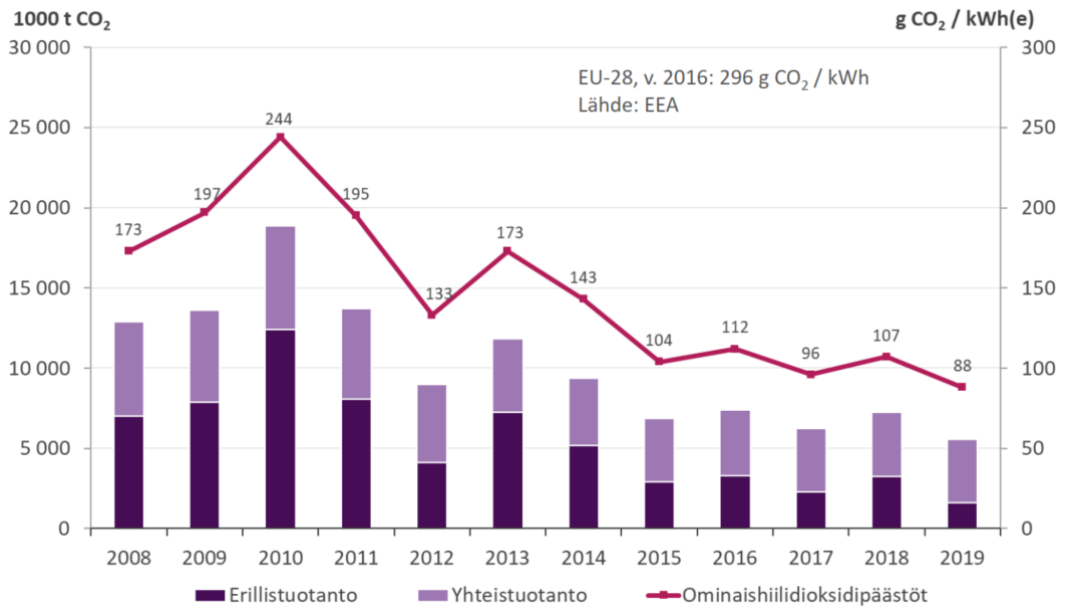
Kuvasta 15 nähdään, että kokonaispäästöjen vaihteluväli on laajuudeltaan 15 919,56 $kgCO_2e$, eli isoimmat päästöt omaavan hirsirunkoisen kohteen hiilijalanjälki on noin 10 % suurempi kuin pienimmän rankarunkoisen. Biogeenisen hiilen vaihteluväli taas on kivirunkoisesta 18716,2 $kgCO_2e$:sta tuulensuojalevytetyn hirsirungon 50 860,96 $kgCO_2e$:iin. Vaihteluvälin suuruus on siis 32 144,76 $kgCO_2e$, jolloin suurin hiilivarasto on 2,7 kertaa pienimmän kokoinen. Elinkaaren ulkopuolisten vaikutusten, eli hiilikädenjäljen suuruus on 12 373,36 $kgCO_2e$:sta 22 148,15 $kgCO_2e$:iin kädenjäljen ollessa pienin ranka talossa ja suurin tuulensuojalevytetyssä hirsitalossa. Eroa suurimman ja pienimmän välillä tulee siis 44 %. Hiilikädenjälki tutkimuskohteen ja tuulensuojalevytetyn hirsikohteen välillä on 1 431,38 $kgCO_2e$, joka tarkoittaa 6 % tuulensuojalevytetyn kohteen hyväksi. Tämä selittyy suuremmalla käytetyllä puun määrällä. Hiilijalanjälkeä ja hiilikädenjälkeä ei saa yhdistää, eli vähentää hiilikädenjälkeä hiilijalanjäljestä, vaan tulokset tulee ainakin nykyisten standardien ja ohjeistusten mukaan esittää toisistaan eriteltyinä.

Pientä etua muille kohteille suhteessa hirsirunkoiseen tulee E-todistuksen laskennassa siitä, että 240 mm:n paksuisen hirren U-arvo jää massiivipuisen ulkoseinän vertailuarvosta, jonka vuoksi

muita rakenteita on toteutettu korkeammalla energiatehokkuudella. Vertailukohteilla ulkoseinärakenteen U-arvo oli yhtä suuri kuin vertailuarvo, mutta hirsirakennukseen kompensoidut, tehokkaammat muut rakenteet pidettiin ennallaan vertailukohteissa. Vertailukohteet saavuttivat siis suhteutettuna hieman paremman E-luvun, kuin mitä olisi saavutettu, jos vertailukohteiden kaikki rakenteet olisi toteutettu vain rakentamismääräysten tasauslaskelman vertailuarvoja käyttämällä. Toteutetun ja tasauslaskelman vertailuarvon ominaislämpöhäviön välinen suhteellinen ero oli kohteilla 6–14 %. Pienin, 6 % ero oli hirsirunkoisella, 12 % alitus vaadittuun oli kivi- ja puurunkoisella ja suurin 14 % ero oli tuulensuojalevytetyllä hirsirungolla. Tuulensuojalevytetyn hirsirungon suhteellisesti suurin alitus vaadittuun tasoon selittyy tuulensuojalevytyksen tuomalla parannuksella ulkoseinän U-arvoon, ja rakennuksen geometriasta johtuvaan suhteellisen suureen ulkoseinäpinta-alaan suhteessa muihin rakennusosiin.

## 5.2 Epävarmuustekijät

Rakennuksen käyttösähkön päästöprofiilina käytettiin laskentaohjelmasta löytynyttä Suomen verkkosähkön keskiarvokoontia vuodelta 2018, jonka jälkeen Suomen sähköntuotannon päästöt ovat yhä laskeneet. Suomen sähköntuotannon päästöt vuosilta 2008–2019 on esitetty kuvassa 16.




***Kuva 16.*** *Sähköntuotannon päästöjen kehitys Suomessa (Energiateollisuus 2020).*

Kuvasta 16 nähdään, että ominaishiilidioksidipäästöt, joilla tarkoitetaan sähköntuotannon päästöjä, joihin on huomioitu tuotannon ja sähkönsiirron häviöt, ovat laskeneet tarkasteluaikana lähes puoleen. Kaikki Suomessa kulutettu sähkö ei kuitenkaan ole kotimaista tuotantoa, sillä

vuonna 2019 tuodun sähkön osuus Suomessa oli 23 % (Energiateollisuus 2020). Suoraan tältä kuvaajalta ei siis voida päätellä, että tarkastelujakson aikana sähkölämmitteisten talojen käyttövaiheen energiankulutuksen päästöt olisivat lähes puolittuneet, mutta lähellä tätä varmasti ollaan. Ajatusta tukee se, että Suomen tuontisähköstä suurin osa tulee Ruotsista, jossa sähkö tuotetaan pääasiassa ydin- ja vesivoimalla (Entso-E 2019), eli tuontienergiankin pääasiassa pitäisi olla vähäpäästöistä. Hallituksen päästötavoitteet ja maailmanpolitiikka lisäksi tukevat energiantuotannon päästöjen voimakasta leikkaamista, joten energiantuotannon päästöjen ennakoidaan jatkavan laskuaan. Elinkaaren aikaisiin päästöihin vaikuttaa siis hyvin paljon käyttöenergian päästöprofiili laskentahetkellä, etenkin jos laskelmaan ei arvioida elinkaaren ajalle käyttöenergian päästöihin esimerkiksi vuosittaista pienennystä. Tässäkin tapauksessa arvioitu päästökehitys voi erota toteutuneesta huomattavasti, jolla on vaikutusta sekä tuloksen oikeellisuuteen että vertailtavuuteen. Tämän tutkimuksen laskelmissa koko käyttövaihe on laskettu läpi samalla, tuoreimmalla saatavilla ollulla käyttöenergian päästömäärällä, eli oletettuja päästövähenemiä ei ole huomioitu.

Energian päästöjen epävarmuuden ohella tutkimuksen suurimpiin epävarmuustekijöihin kuuluu rakennusmateriaalien päästötiedot, eli käytännössä tuotteiden EPD-ympäristöselosteet. Laskentaa suoritettaessa suurelta osalta todellisuudessa käytetyistä rakennusmateriaaleista ei löytynyt vielä ympäristöselosteita. Tämän vuoksi jouduttiin turvautumaan laskentaohjelmasta löytyviin keskiarvotietoihin, muiden maiden tuotteiden päästötietoihin tai lähimpänä kyseistä tuotetta olevan toisen rakennustuotteen päästötietoihin. Jotta päästäisiin tarkkoihin tuloksiin, tulisi todennettuja, tyypin III ympäristöselosteita olla kattavasti saatavilla kaikista tuoteryhmistä, eri valmistajilta. Tällöin päästäisiin myös oikeasti laskentaa suoritettaessa kokeilemaan, miten rakennustuotteen vaihto toiseen oikeasti vaikuttaa päästöjen määriin, kun tietokannasta löytyisi kansallisesti yleisesti käytettyjä tuotteita useilta eri valmistajilta. Tämä edistäisi taas itsessään rakennustuotteiden kehittämistä vähäpäästöisemmiksi suhteessa kilpailijoiden tuotteisiin, kun tuotteiden keskinäisestä vähäpäästöisyyden vertailusta tulee entistä helpompaa.

Tulevaisuudessa sääolot tulevat muuttumaan ilmaston lämmetessä, ja sään ääri-ilmiöt lisääntymään. Ilmastotutkijat ennakoivat, että:

- vuoden keskilämpötila nousee
- talven pakkashuiput madaltuvat
- kesän hellehuippujen lämpötilat nousevat
- pilvisyys lisääntyy ja auringonsäteilyn määrä vähenee etenkin talvella ja keväällä

- talviajan suhteellinen kosteus lisääntyy
- kesän huipputilanteissa entalpia kasvaa (RIL 249-2015 2015).

Nämä seikat vaikuttavat energiatodistuksen mitoittavan ulkoilman lämpötilaan, joka pienentää lämmitysenergian nettotarvetta talvisin. Toisaalta taas kesien lämpötilojen ennustetaan nousevan, joka lisää mahdollisuutta rakennusten huoneilman ylilämpöihin, jolloin jäähdytyksen tarve lisääntyy. Kesäajan lämpötilan hallinnan tarkastelua ei nykyisin edellytetä käyttötarkoitusluokan 1 rakennuksilta, kuten pientaloilta, mutta jäähdytyslaitteiden asentaminen jo rakennusvaiheessa on lisääntynyt selvästi. Näiden kuluttama energia kesäisin ei siis näy päästölaskelmissa niin kauan kuin sisäilman lämpötilatarkastelua ei edellytetä kyseiseltä rakennustyypiltä määräyksissä, mikäli siis päästölaskenta suoritetaan sellaisena, kuin sen oletetaan otettavan käyttöön rakennuslupaa haettaessa, jolloin laskennallinen energiankulutus saadaan suoraan rakennuksen energiatodistuksesta. Lisäksi sään ääri-ilmiöt rasittavat etenkin säälle alttiita rakennusmateriaaleja enemmän, mikä taas voi lyhentää tuotteiden elinkaarta tai ainakin lisätä huollon tarvetta, joka taas vaikuttaa päästöihin.

Maanrakennuksen menekkeihin on laskettu koko tontille tuodut pohjarakentamisen maa-ainekset. Tämä pitää siis sisällään tutkimuskohteen lisäksi myös talousrakennuksen perustamista varten, sekä esimerkiksi pihatien pohjarakenteiksi ja täytöiksi tuodut maa-ainekset. Tämä siis osaltaan kasvattaa tutkimuskohteen sekä vertailukohteiden päästöjä, kun tontille tuotuja maa-aineksia ei ole tarkasti jaettu käyttötarkoituksen mukaan eri rakennuksille ja muuhun tontin parannukseen. Tällä ei kuitenkaan ole vaikutusta lopputulosten vertailtavuuteen, sillä maanrakennuksen menekit ja päästöt on laskettu jokaiselle kohteelle yhtä suurina.

Rakennustuotteiden käyttöiät aiheuttavat myös helposti vääristymiä päästölaskelmaan. Esimerkiksi 20 vuoden käyttöiän tuote tulisi uusia 50 vuoden käyttöiän rakennuksessa kahteen kertaan. Jos rakennus poistettaisiin käytöstä tasan 50 vuoden iässä, jäisi tällöin kyseisen, jo kahdesti uusitun 20 vuoden käyttöiän tuotteen elinkaaresta vielä puolet hyödyntämättä. Tätä tuotteen elinkaaresta hyödyntämättömäksi jäävää osuutta on kuitenkin ongelmallista vähentää päästöjen lopputuloksesta. Kyseisessä tilanteessa tulisi olla ennakkoon varmuus siitä, että kyseiselle tuotteelle olisi rakennuksen poistuessa käytöstä uusiokäyttöä, jotta päästövähennystä voitaisiin huomioida. Yleisesti uusiokäytettävillä materiaaleilla tai tuotteilla päästöhyöty kohdistuukin vasta seuraavassa käyttökohteessa, kun tuotevaiheen päästöt on jo kohdennettu ensimmäiseen käyttökohteeseen. Tällaisia 15–25 vuoden elinkaaren, mahdollisia uusikäytettäviä tuotteita voisivat olla esimerkiksi ikkunat, ilmanvaihtokoneet ja lämpöpumput, joista uusittaessa syntyy suuri

päästöpiikki, mutta rakennuksen elinkaaren päättyessä tuotteella voi olla vielä käyttöikää jäljellä.

Rakennusmateriaalien hävikkejä ei ole juurikaan erikseen huomioitu. Rakennusten toisiinsa vertailtavuuden kannalta tällä ei juurikaan ole kuitenkaan merkitystä, sillä olematon hävikki on yhtä suuri rakennusten kesken. Kivirunkoisessa talossa harkkohävikkiä olisi lisäksi tullut huomattavasti, jos hävikki olisi huomioitu runkomateriaaleista. Kivitaloissa aukotukset kannattaa täsmätä harkkojakoihin, jotta kivien leikkaamisilta säästyttäisiin. Leikattavista kivistä syntyy aina hävikkiä, jos jämäpaloja ei pysty hyödyntämään. Jotta rakennus olisi soveltunut paremmin kivirunkoiseksi, olisi aukotukset ja kerros- sekä huonekorkeudet pitänyt täsmätä harkkojakoihin, ja rakennusten mitat sekä ikkuna yms. pinta-alat olisivatkin muodostuneet nopeasti epävertailukelpoisiksi, eivätkä rakennukset enää olisivat olleet toivotun kaltaisesti suoraan vertailtavissa. Hirsirunko valmistetaan asennusvalmiiksi tehtaalla, ja tuotantolinja optimoi useamman talon hirret pituuksien mukaan niin, että hukkaa syntyy mahdollisimman vähän. Aukotukset olikin täsmätty sopimaan mahdollisimman hyvin hirsituotantoa sekä yrityksen vakioratkaisuja silmällä pitäen, joten hukkien huomioinnilla etua olisi muodostunut tutkimuskohteen hyväksi. Pystyrunkoisella puutalolla ei aukotusten koot ja korkoasemat ole niin ratkaisevia hukan syntymisen suhteen, sillä elementtivalmisteisessa tapauksessa hukka on tehtaalla minimissä. Paikalla rakennettaessakaan rankarunkoisen materiaalihukka ei ole suurta, eivätkä myöskään seinien rakennusmateriaalit ole päästöintensiivisiä.

Rakennusmateriaalien kuljetusmatkatiedoissakin esiintyy tiettyä epävarmuutta. Kuljetustietoina työmaille on käytetty pääasiassa laskentaohjelman tietokannan koostamia Pohjoismaisten olosuhteiden keskiarvokuljetusmatkoihin perustuvia kuljetusmatka- ja kuljetusajoneuvotietoja. Rakennustuotteiden kuljetustieto kuitenkin päivitettiin keskiarvotiedon tilalle, mikäli tarkka tieto oli saatavilla. Etenkin pienissä rakennuskohteissa, joissa rakennusmateriaalien kokonaismäärä on verrattain pieni, tehottomien kuljetusten päästöt voivat nousta nopeasti merkittäviksi, varsinkin jos rakennusmateriaalien tuotannon päästöt ovat vähäiset.

Rakennustuotteiden käytönaikaisen huoltamisen suora huomioiminen (moduulit B2 ja B3, huolto ja korjaus) hiilijalanjäljen laskentatyökalusta puuttuu, sillä kyseisiä tietoja, kuten koko käyttövaiheen (moduuli B) tietoa ei useimmissa ympäristöselosteissa ole esitetty. Näiden määrittäminen siis perustuisi enemmänkin arvioihin ja skenaarioihin, eikä niinkään todenperäiseen, määritettyyn tietoon. Tämän vuoksi niitä ei ryhdyttykään tässä työssä erikseen arvioimaan. Tarvittavat tuotteiden vaihdot, moduulit B4 ja B5 on kuitenkin huomioitu. Huoltoihin ja korjauksiin kuluvat rakennusmateriaalit ja energia voitaisiin laskelmaan huomioida esimerkiksi kokonaan

omina tuotteina ja huoltojen energiankulutus esimerkiksi sisällyttää rakennusvaiheen energiaan, mutta tällöin nämä eivät näkyisi myöskään oikeassa kategoriassa ja vaiheessa elinkaarta. Tämä elinkaaren vaihe tulisikin myös sisällyttää tuotteiden EPD-tietoihin, jotta kyseisiä vaiheita voitaisiin vertailla eri tuotteilla. Tuotteiden huoltotarpeeseen kuitenkin vaikuttaa erittäin vahvasti monet seikat, kuten sääolot, suojaus sääoloilta, mahdolliset erilliset pintakäsittelyt ja niin edelleen. Kyseiset seikat tulisikin mielestäni huomioida EPD:issä vähintäänkin niin, että eri ympäristön rasitusasteille pitäisi määrittää omat huollon tarpeen ympäristövaikutukset. Näistä sitten valittaisiin kullekin tuotteelle kohteen mukaisessa rasituksessa vaadittavan huollon ympäristöpäästöt.

# 6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Rakennuksen hiilijalanjäljen määrittämiseen sisältyvä laskenta voi olla varsin yksinkertaista. Tämä kuitenkin edellyttää, että saatavilla on hyvin laajat, tarkat ja paikkaansa pitävät lähtötiedot, mukaan lukien jokaisen käytettävän rakennustuotteen päästötiedot. Mikäli puutteita on yhdelläkään osa-alueella, on lopputulos ainoastaan enemmän tai vähemmän suuntaa antava. Suurin haaste onkin jokaisen rakennusmateriaalin tuotannon päästöjen, materiaalimenekkien, näiden kuljetusvirtojen, huollon tarpeiden, hukkien sekä käytöstä poiston määrittämisessä. Osaltaan näitä haasteita helpottavat rakennusmateriaalien ympäristöselosteet eli EPD:t sekä eri laskentaohjelmistot.

Rakennuksen elinkaaren kokonaispäästöjen suuruuteen vaikuttaa edelleen eniten käyttövaiheen energiankulutuksen päästöt, vaikka rakennusten energiatehokkuus on parantunut määräysten aikaan saamana vuosien saatossa huomattavasti. Rakennuksen laskennallinen kokonaispäästömäärä kuitenkin vääristyy, jos käyttövaiheen energian päästöt lasketaan suunnitteluvaiheen energiantuotannon päästöjen mukaan. Kokonaispäästöt muodostuvat tällöin huomattavasti suuremmiksi kuin todellisuudessa, kun energiantuotannon päästöt jatkavat pienenemistään ja energiantuotannon päästöjen laskiessa käyttövaiheen päästöjenkin osuus suoraan laskee. Käyttövaiheen päästöjen väheneminen vaikuttaa suoraan päästöjen suhteellisiin osuuksiin, jolloin rakentamisen aikaisten ja rakennusmateriaalien päästöjen vaikutus nousee suuremmaksi. Ajallisesti eri aikaan suoritetut laskennat eivät myöskään ole keskenään täysin vertailukelpoisia juuri energiantuotannon päästöjen kehittymisen vuoksi. Parinkin vuoden aikana energian päästöt voivat muuttua ja laskettaessa elinkaaren päästöt monelle kymmenelle vuodelle muodostuu rakennuksille eroa huomattavasti, vaikka rakennusten energian kulutukset olisivatkin keskenään samat. Suuri kysymys hiilijalanjäljen tullessa rakennuslupaa haettaessa pakolliseksi onkin, miten käyttövaiheen energian päästöt huomioidaan. Lisäksi rakennuslupaa haettaessa harvoin on tiedossa rakennuksessa käytettävät rakennusmateriaalit kovinkaan tarkasti, mikä ei myöskään tue kovin tarkkaa hiilijalanjäljen laskentaa rakennuslupaa haettaessa.

Hiilijalanjäljen määrittämisen sisällyttäminen rakennuksen rakennuslupavaiheeseen ohjaa rakennusteollisuutta kokonaisuudessaan vähäpäästöisempään suuntaan. Rakennustuotteiden valmistajat joutuvat keskittymään tuotteidensa päästöjen pienentämiseen, mikä tuottaa alalle vähäpäästöisempiä tuotteita ja mahdollisesti kokonaan uusia innovaatioita. Jo ennen kuin hiilijalanjälkilaskentaa on saatu määräyksiin, on tuotteista alettu tuottaa päästötietoja, ja jalansijaa pyritään saamaan markkinoimalla tuotteiden vähäpäästöisyydestä. Rakennuksen hiilijalanjäljen

ohjaaminen määräyksin on siis jo ennen voimaan astumistaan saanut aikaan positiivista suuntausta rakennusalaan liittyvissä päästöissä.

Rakennuksen hiilijalanjäljen määrittäminen on sisältynyt vapaaehtoisiin ympäristöluokitusjärjestelmiin jo useiden vuosien ajan, ollen vain yksi pieni osa koko rakennuksen elinkaaren ympäristövaikutusten määrittämisestä. Ympäristöluokitusjärjestelmiin on huomioitu laajemmin itse rakennuksen lisäksi myös rakennuspaikan ominaisuuksia ja rakennuksen sijoittumista ympäristöön ja yhteiskuntaan. Esimerkiksi hyvät julkisen liikenteen yhteydet sekä pyöräparkit ja sähköautojen latausmahdollisuudet parantavat rakennushankkeen kokonaisarvosanaa. Päästöjen lisäksi huomioidaan muitakin haittoja ympäristölle, kuten rakennuksen valosaaste ja lämpösaarekeilmiö. Osa arviointikriteereistä, kuten julkisen liikenteen ja palveluiden saavutettavuus, on haja-asutusalueella sijaitseville kohteille arvosanaa alentava seikka, joka ajaa haja-asutusalueita epäsuotuisaan asemaan. Toisaalta haja-asutusalueella on suurempi mahdollisuus pystyä vaikuttamaan rakennuspaikan valintaan, joten esimerkiksi helposti perustettavissa olevan tontin valinnalla pystytään pienentämään perustuksista aiheutuvan ympäristökuormituksen vaikutusta. Tiiviisti rakennetuilla alueilla helposti rakennettavissa olevat sijainnit on jo hyvin todennäköisesti rakennettu täyteen, ja jäljellä olevat tontit voivatkin vaatia huomattavasti ympäristöä kuormittavampia ratkaisuja pohjarakenteilta.

Ympäristöluokitusjärjestelmät luovat laajemmat mahdollisuudet arvioida rakennuksen ympäristöystävällisyyttä ja samalla torjua ilmastonmuutosta, kuin mitä pelkällä hiilijalanjälkilaskennalla voidaan saavuttaa. Määräystasolle kuitenkin hiilijalanjälkilaskentaa laajemman ympäristöarvioinnin sisällyttäminen lisäisi huomattavasti kustannuksia etenkin pienemmän mittakaavan rakentamisessa, kuten pientaloissa. Eri ympäristöluokitusjärjestelmien hyödyntämiseen voitaisiin kuitenkin kannustaa kuntatasolla erilaisilla kannustusjärjestelmillä, joilla saisi hyötyä, mikäli rakennus saavuttaa vaaditun tason jollakin ympäristöluokitusjärjestelmällä.

# LÄHTEET


Aaltonen A., Huttunen P., Jokisalo J., Kero P., Koskenvesa A., Köliö A., Lahdensivu J., Laukkarinen A., Lähdesmäki K., Manelius E., Mäkitalo M., Nurmi S., Pakkanen T., Palolahti T., Piironen J., Pirinen M., Suonketo J., Teriö O., Vinha J. (2013). Ilmastonmuutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa. Tampereen teknillinen ylipisto, rakennustekniikan laitos, rakennetekniikka, tutkimusraportti 159, 405 s.

Antikainen R. (2010). Elinkaarimetodiikkojen nykytila, hyvät käytännöt ja kehitystarpeet. Suomen Ympäristökeskuksen raportteja 7/2010. Suomen Ympäristökeskus. 83 s.

BRE Global Ltd (2017). BREEAM International New Construction 2016. Technical Manual. BRE Global Ltd. 454 s.

BREEAM (N.d.). Explore BREEAM. Certified Assessments. Verkkosivu. Viitattu 3.1.2019. Saatavissa: https://tools.breeam.com/projects/explore/buildings.jsp

Bruce T., Ilomäki A., Pasanen P. (2017). Tiekartta Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa. Bionova Oy, 72 s.

Bruce T., Jaarto P., Kosonen R., Lippo A., Pasanen P., Virta M. (2013). Rakennusten elinkaarimittarit. Green Building Council Finland, 64 s.

Building Research Institute (2015). Declaration no. 031/2015. Department of Thermal Physic, Sanitary Systems and Environment. 1 s.

C 1–4 (1976). Ääneneristys, veden- ja kosteudeneristys, lämmöneristys, lämmönläpäisykertoimen määritys ja eristystyön suoritus. Määräykset, ohjeet. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Sisäasiainministeriö. 37 s.

C 1–4 (1979). Ääneneristys, veden- ja kosteudeneristys, lämmöneristys. Määräykset, ohjeet. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Sisäasiainministeriö. 19 s.

C 3 (1985). Lämmöneristys. Määräykset. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö. 3 s.

C3 (2003). Rakennuksen lämmöneristys. Määräykset. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö. 7 s.

C3 (2007). Rakennuksen lämmöneristys. Määräykset. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö. 9 s.

C3 (2010). Rakennusten lämmöneristys. Määräykset. Suomen rakentamismääräys kokoelma. Ympäristöministeriö. 10 s.

D3 (1978). Rakennusten energiatalous. Määräykset ja ohjeet. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö. 4 s.

D3 (2007). Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö. 14 s.

D3 (2010). Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö. 14 s.

D3 (2012). Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet. Ympäristöministeriön asetus 2/11. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö. 35 s.

Dias A., Dolezal F., Escamilla E. Z., Ganne-Chadeville C., Hill C., Tellnes L. GF. (2017). Comparative assessment for biogenic carbon accounting methods in carbon footprint of products: a review study for construction materials based on forest products. Zurich Open Repository and Archive. University of Zurich. 10 s.

Energiateollisuus (2020). Energiavuosi 2019. Sähkö. Energiateollisuus ry. Diasarja. 18 s. Saatavissa: https://energia.fi/files/4360/Sahkovuosi_2019_mediakuvat.pdf

Entso-E (2019). Statistical factsheet 2018. European Network of Transmission System Operators for Electricity. 9 s. Saatavissa: https://eepublicdownloads.entsoe.eu/clean-documents/Publications/Statistics/Factsheet/entsoe_sfs2018_web.pdf

Euroopan Komissio (N.d.). EU-lainsäädännön tyypit. Euroopan Komissio. Verkkosivu. Viitattu 20.1.2020. Saatavissa: https://ec.europa.eu/info/law/law-making-process/types-eu-law_fi

Euroopan Komissio (2011). Etenemissuunnitelma – siirtyminen kilpailukykyiseen vähähiiliseen talouteen vuonna 2050. Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle. Bryssel. 16 s.

European Commission (N.d.). Level(s). The European framework for sustainable buildings. European Commission. Verkkosivu. Viitattu 26.2.2021. Saatavissa: https://ec.europa.eu/environment/topics/circular-economy/levels_en

European Commission (2017). Level(s). Building sustainability performance. European Commission. 2 s.

GBCF (Green Building Council Finland) (2018). Rakennushankkeiden ympäristöluokitukset Suomessa. Green Building Council Finland. 7 s.

GBCF (Green Building Council Finland) (2020). Vähähiilisyyden sanakirja – vähähiilisen rakentamisen ja kiinteistöliiketoiminnan terminologia. Green Building Council Finland. 8 s.

GBIG (2021). Find a set of projects or buildings for analysis. LEED certified buildings -search. Green Building Information Gateway. Verkkosivu. Viitattu 8.2.2019. Saatavissa: http://www.gbig.org/search/advanced?search%5Bactivity_brand_id%5D=1&search%5Bcertified_if_leed%5D=true

Haakana M. (N.d.). Energiatehokkuusdirektiivi tuo uusia vaatimuksia rakentamiselle. Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto. Artikkeli. s. 397–400. Saatavissa: https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK050101.pdf

Hakaste H. (N.d.). Rakennusten ympäristöluokitus Promise. Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto, artikkeli. s. 383–388. Saatavissa: https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK080301.pdf

Heljo J., Jääskeläinen S., Kalenoja H., Lahti P., Mäkelä K., Pesola A., Ristimäki M., Vehviläinen I., Vihola J. (2010). Rakennetun ympäristön energiankäyttö ja kasvihuonekaasupäästöt. Sitran selvityksiä 39, 125 s.

Hiltunen K., Huynh V. P., Kovanen M., Mero J., Nopanen S., Rantanen P., Tähtinen L. (2017). Kaukoenergia kiinteistöjen ympäristöluokituksissa. Raportti. Ramboll. 54 s.

Häkkinen T., Vares S. (2018). Rakennusten khk-päästöjen ohjauksen vaikutusten arviointi. VTT Technology 324. 73 s.

ISO (N.d.) ISO/TC 207 Environmental management. Technical committees. International Organization for Standardization. Verkkosivu. Viitattu 8.12.2020. Saatavissa: https://www.iso.org/committee/54808.html

Kuittinen M. (2017). Rakentamisen $CO_2$-päästöt ja Suomen tulevat säädökset. Ympäristöministeriö, kalvosarja, 24 s.

Loisa L., Reinikainen E., Tyni A. (2015). FInZEB -hanke, Lähes nollaenergiarakennuksen käsitteet, tavoitteet ja suuntaviivat kansallisella tasolla. Loppuraportti, hankkeen sisältö ja tulokset. Granlund Oy. 71 s.

Motiva (2018). Lämpöpumppujen hankintaopas – kunnat ja taloyhtiöt. Motiva Oy. 36 s.

Pohjoismainen ympäristömerkintä (2019). Joutsenmerkin kriteerit. Pientalot, kerrostalot, koulu- ja päiväkotirakennukset. Versio 3.8 9.3.2016-31.12.2022. Pohjoismainen ympäristömerkintä. 68 s.

Rakennusteollisuus (N.d.). Kestävän rakentamisen standardit luovat yhdenmukaiset pelisäännöt. Rakennusteollisuus RT ry. Verkkosivu. Viitattu 8.12.2020. Saatavissa: https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Rakentaminen-ja-vaaralliset-aineet/CENCT-350-Kestava-rakentaminen/

Raksystems (2019). 1970-luvun pientalot ja niille ominaiset rakenneratkaisut. Raksystems Group. Verkkoartikkeli. Viitattu 19.3.2021. Saatavissa: https://www.raksystems.fi/talotohtori/1970-luvun-pientalot-ja-niille-ominaiset-rakenneratkaisut/

RIL 249-2015 (2015). Energiatehokas asuinrakennus – kohti nollaenergiarakentamista. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 250 s.

RTS (2020). Valintaopas omakotirakentajalle 2020–2021. Talopaketit. Puu-, hirsi- vai kivitalo. Rakennustutkimus RTS Oy. s. 54/148.

Sariola L. (2017). RTS Rakennushankkeen ympäristöluokitus. RT-ympäristötyökalun toiminnalliset käyttöohjeet. Rakennustietosäätiö RTS sr. 16 s.

Sariola L. (2019a). Asuinrakennukset 2018. Arviointikriteeristö. RTS GLT Rakennushankkeen ympäristöluokitus. RTS-ympäristöluokitus v1.11. Rakennustietosäätiö RTS sr. 72 s.

Sariola L. (2019b). Ilmastotavoitteet velvoittavat myös olemassa olevaa kiinteistökantaa toimenpiteisiin. Rakennustietosäätiö RTS sr. Maankäyttö 4/2019, artikkeli. s. 18–19.

SFS-EN 15804 + A1 (2015). Kestävä rakentaminen. Rakennustuotteiden ympäristöselosteet. Laadinnan yleisäännöt. Standardi. Suomen Standardisoimisliitto SFS. 95 s.

SFS-EN ISO 14040 (2006). Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet. Standardi. Suomen Standardisoimisliitto SFS. 48 s.

SFS-EN ISO 14044:2006+A1:2018 (2018). Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja suuntaviivoja. Standardi. Suomen Standardisoimisliitto SFS. 107 s.

SFS-EN ISO 14067:2018 (2019). Kasvihuonekaasut. Tuotteiden hiilijalanjälki. Hiilijalanjäljen laskemista koskevat vaatimukset ja ohjeet. Standardi. Suomen Standardisoimisliitto SFS. 108 s.

SFS ry (N.d.). SFS- standardisoinnin keskusjärjestö Suomessa. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Verkkosivu. Viitattu 20.1.2021. Saatavissa: https://sfs.fi/sfs-ry/meista/

USGBC (2019). LEED v4 for Building Design and Construction. U. S. Green Building Council. 160s.

USGBC (2021a). Our story. Where LEED began. U. S. Green Building Council. Verkkosivu. Viitattu 11.2.2021. Saatavissa: https://www.usgbc.org/about/brand

USGBC (2021b). About LEED. U. S. Green Building Council. Verkkosivu. Viitattu 11.2.2021. Saatavissa: https://www.usgbc.org/press/about-leed

USGBC (2021c). LEED v4. Reference Guide for Building Design and Construction. U. S. Green Building Council. Verkkosivu. Viitattu 11.2.2021. Saatavissa: https://www.usgbc.org/guide/bdc

Ympäristömerkintä (2015). Ensimmäinen talo Suomessa sai Joutsenmerkin. Ympäristömerkintä Suomi Oy. Verkkoartikkeli. Saatavissa: https://joutsenmerkki.fi/ensimmainen-talo-suomessa-sai-joutsenmerkin/

Ympäristöministeriö (2019). Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä. Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:22. Ympäristöministeriö. 54 s.

Ympäristöministeriö (N.d.). Hallituksen ilmastopolitiikka: kohti hiilineutraalia Suomea 2035. Verkkosivu. Viitattu 20.1.2021. Saatavissa: https://ym.fi/hiilineutraalisuomi2035

1/14 (2014). Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta annetun ympäristöministeriön asetuksen muuttamisesta. 2 s.

1010/2017 (2017). Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. Ympäristöministeriö. Saatavissa: https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171010

1048/2017 (2017). Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta. Suomen säädöskokoelma. 42 s.

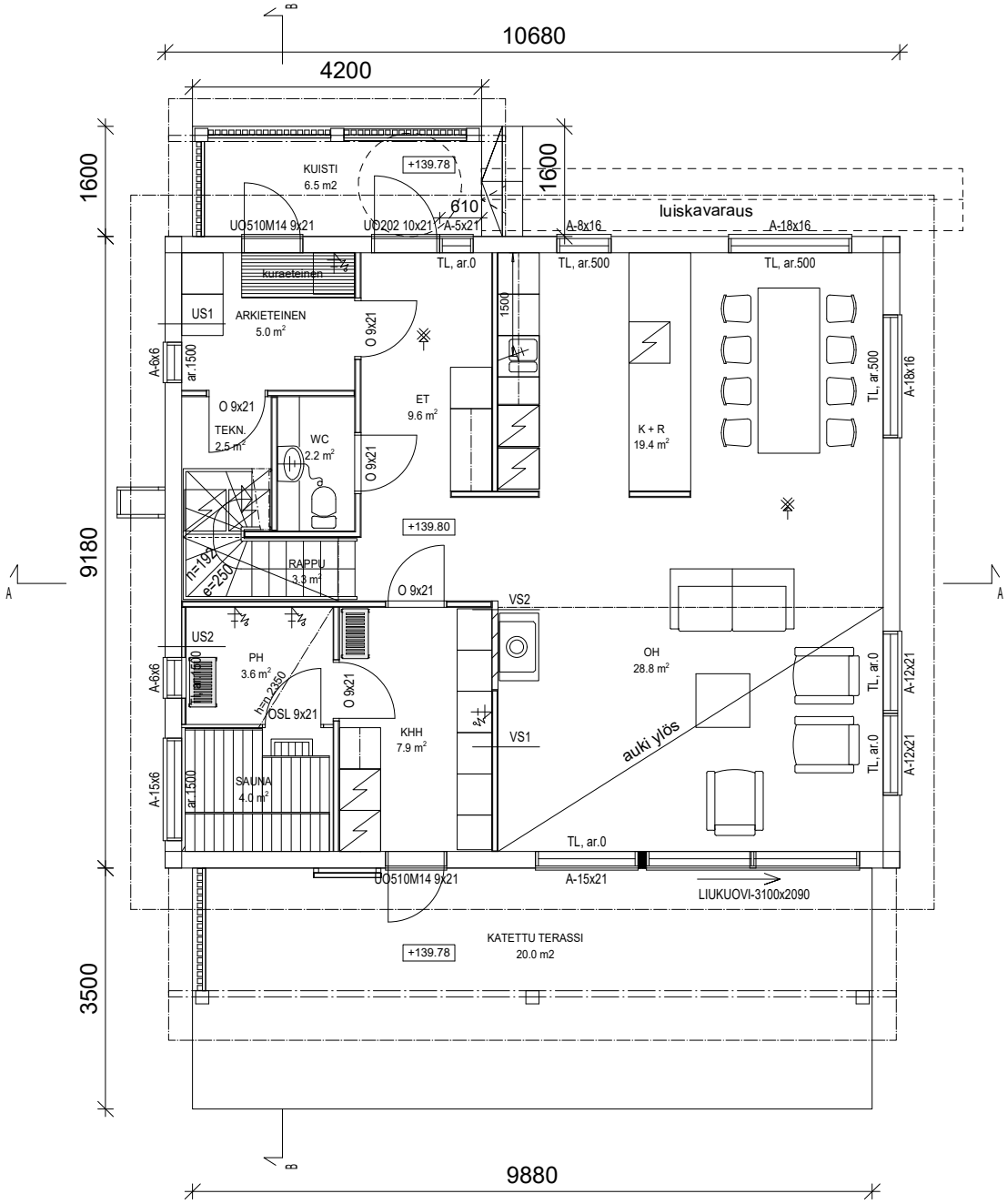
487/2007 (2007). Laki rakennuksen energiatodistuksesta. Ympäristöministeriö. Saatavissa: https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2007/20070487

50/2013 (2013) Laki rakennuksen energiatodistuksesta. Ympäristöministeriö. Saatavissa: https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130050

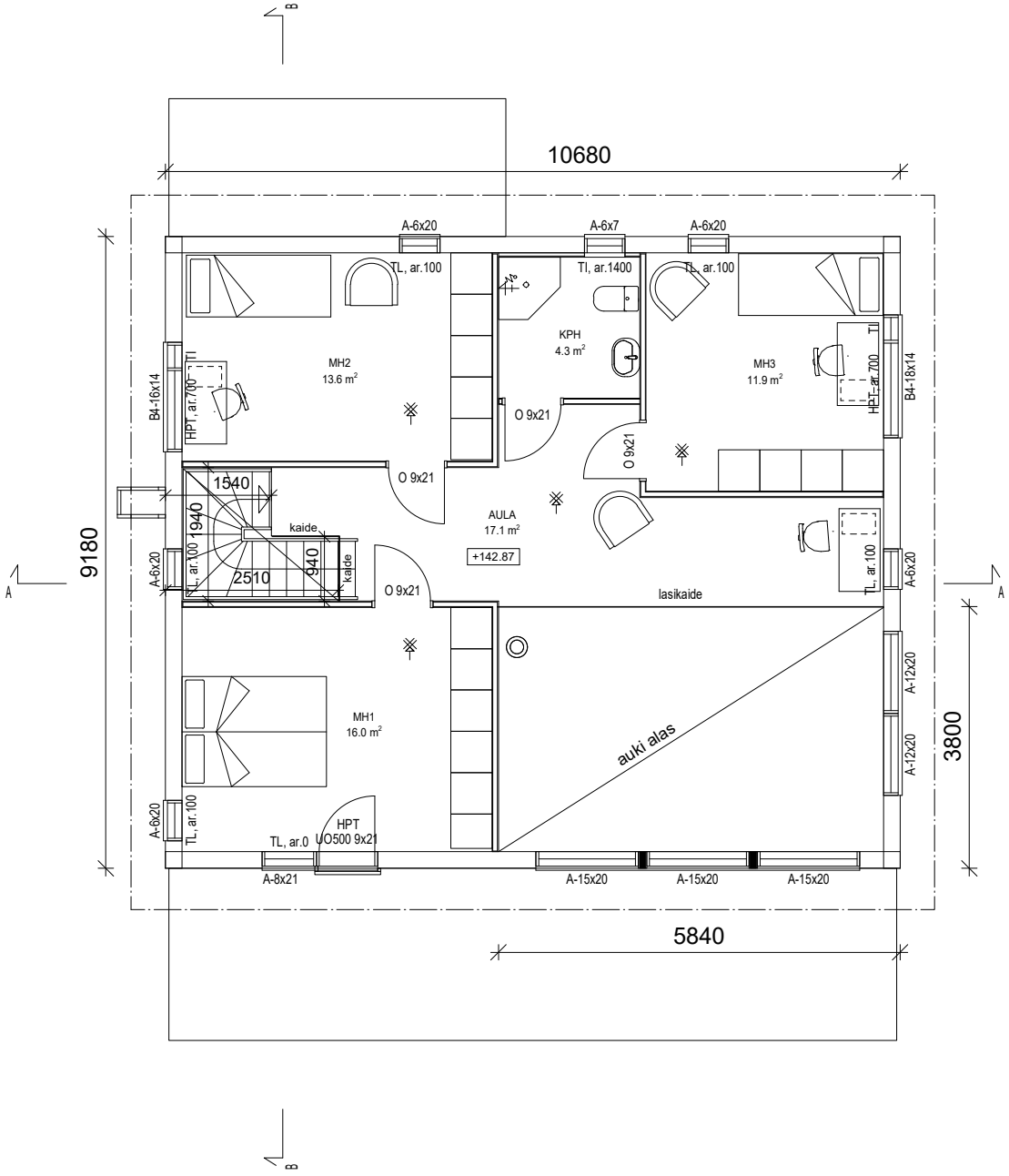
765/2007 (2007). Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta. Ympäristöministeriö. Saatavissa: https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2007/20070765

# LIITE A: TUTKIMUSKOHTEEN PIIRUSTUKSET

Pohja 1.krs



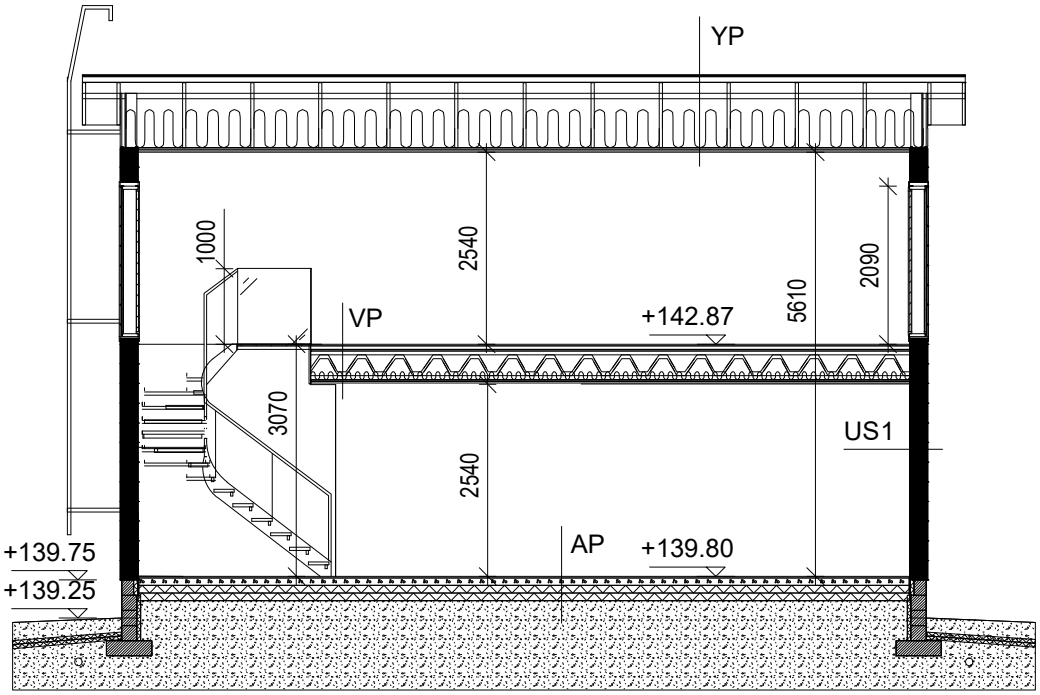
Pohja 2.krs




Rakennuksten paloluokka on P3.
Rakennukset tulee varustaa sähköverkkoon kytketyillä akkuvarmennetuilla palovaroittimilla Pirkanmaan pelastuslaitoksen ohjeen mukaisesti.
1kpl jokaiseen kerrokseen jokaista alkavaa 60 m2 kohden, sekä lisäksi 1 kpl jokaiseen makuuhuoneeseen.

✳ = palovaroitin
¤ = lattiakaivo
TI = tuuletusikkuna
TL = turvalasitus
HPT = hätäpoistumistie

Leikkaus A-A




Perustukset erillisen rakennesuunnitelman mukaan.

YP (0.09 W/m2K)
- rullahuopakate
- alushuopa
- raakapontti 23x95
- tuuletuskoolaus 42x73
- tuulensuojakangas
- kattoristikot k900
  - eriste 500mm
- höyryn-/ilmansulku
- 2x rasiakoolaus 22x100
- kattopaneli

VP
- lattiamateriaali
- valu
- levytys
- Posi-palkit rakenne-
  suunnitelman mukaan
  - äänieriste 100mm
- 2x rasiakoolaus 22x100
- kattopaneli

US1 (0.47 W/m2K)
- painumaton lamellihöylähirsi 240x260

US2 pesuhuone (0.30 W/m2K)
- painumaton lamellihöylähirsi 240x260
- koolaus 45x45
  - eriste 50mm
- märkätilan levy
- vesieristys
- laatoitus

AP (0.12 W/m2K)
- lattiamateriaali
- TB-laatta 100mm
- EPS P 200mm
- karkea, tiivistetty,
  routimaton sora ≥300mm

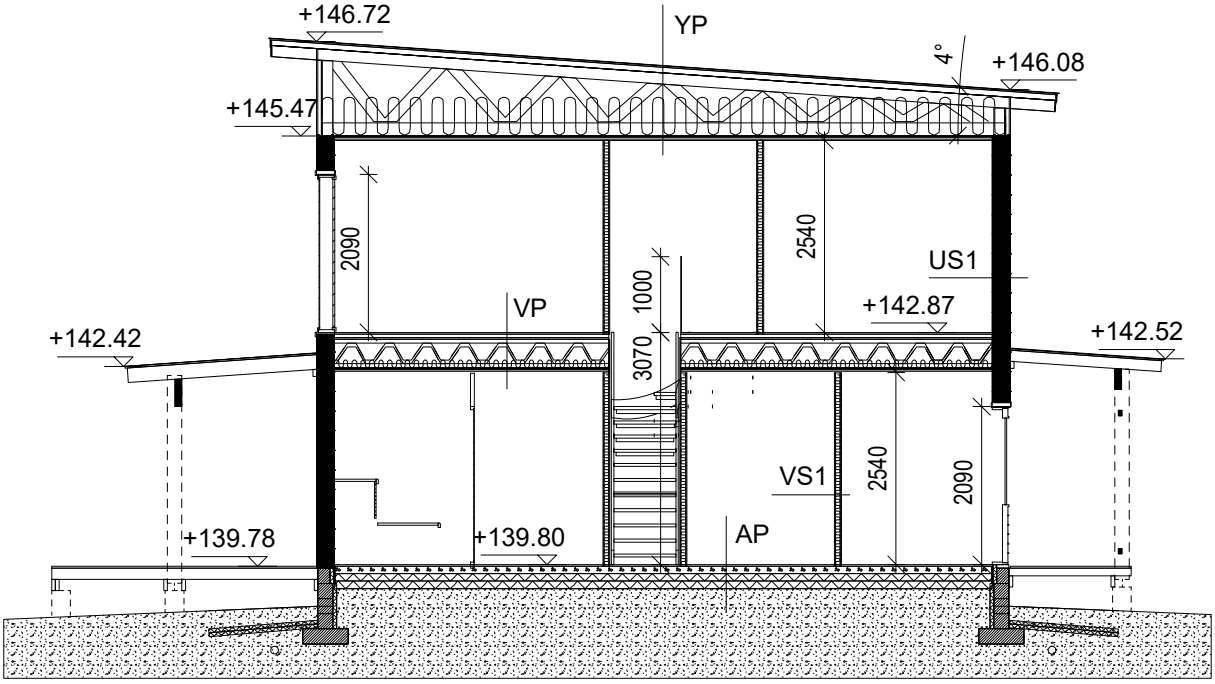
OVET JA IKKUNAT
(0.8 W/m2K)

VS1
- kipsilevy
- runko, kertopuu 66mm
  - eriste 65mm
- kipsilevy

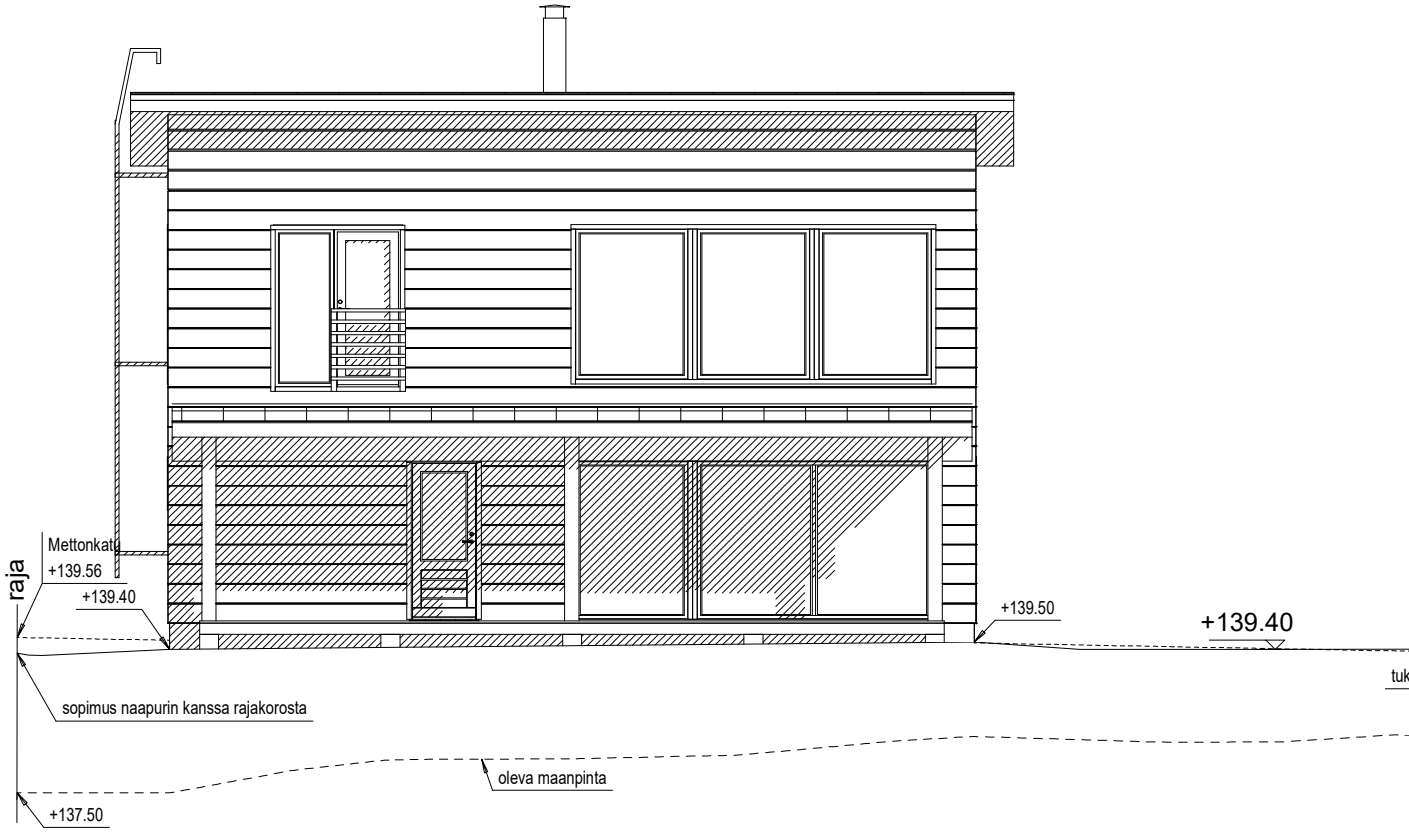
VS2
- pinnoite
- harkko/tiili
- pinnoite

Märkätilat RakMK C2 mukaan.

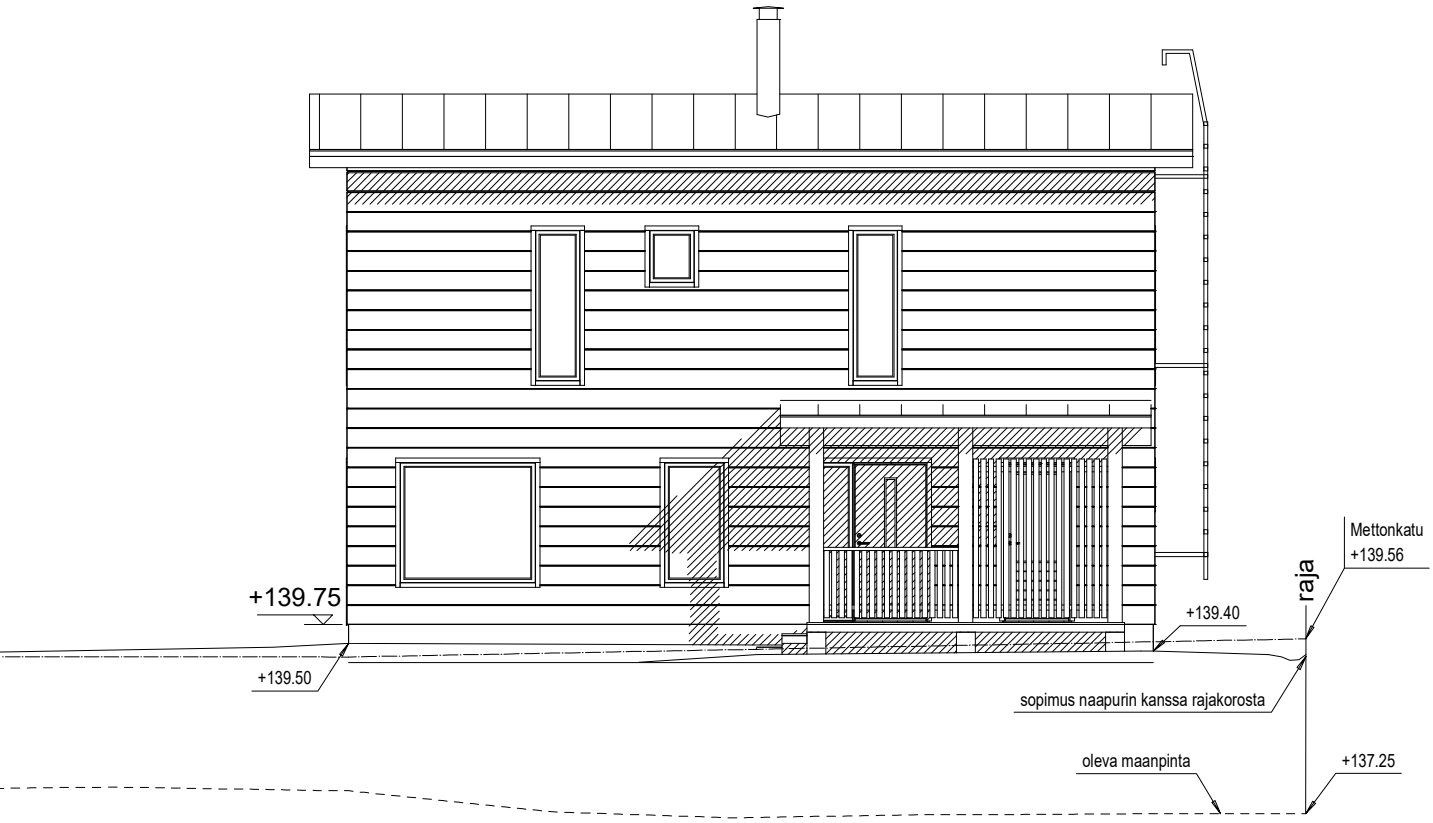
Leikkaus B-B


+146.72
YP
4°
+146.08
+145.47
2090
2540
US1
1000
VP
+142.87
+142.42
+142.52
3070
VS1
2540
2090
+139.78
+139.80
AP

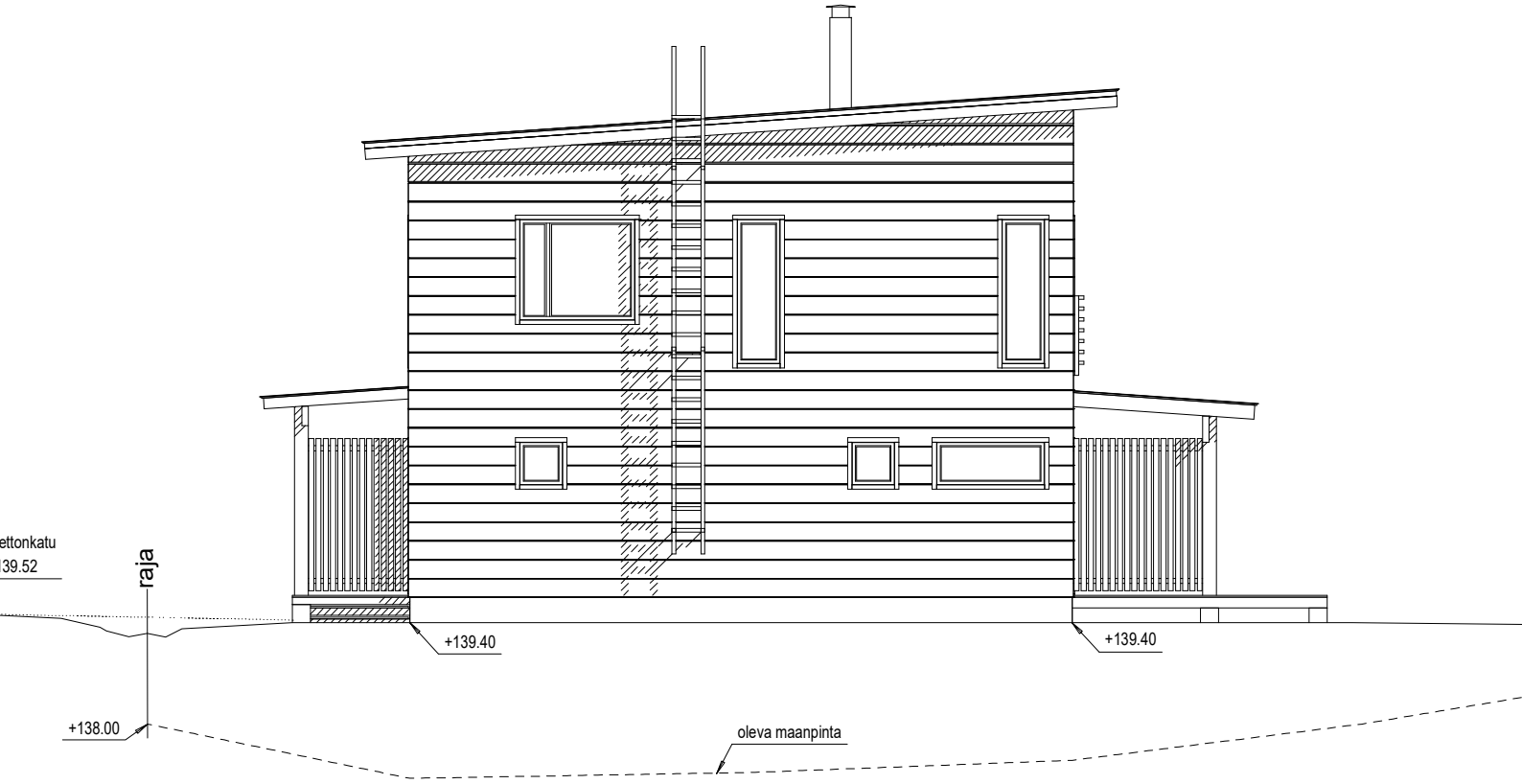
## Pohjoiseen



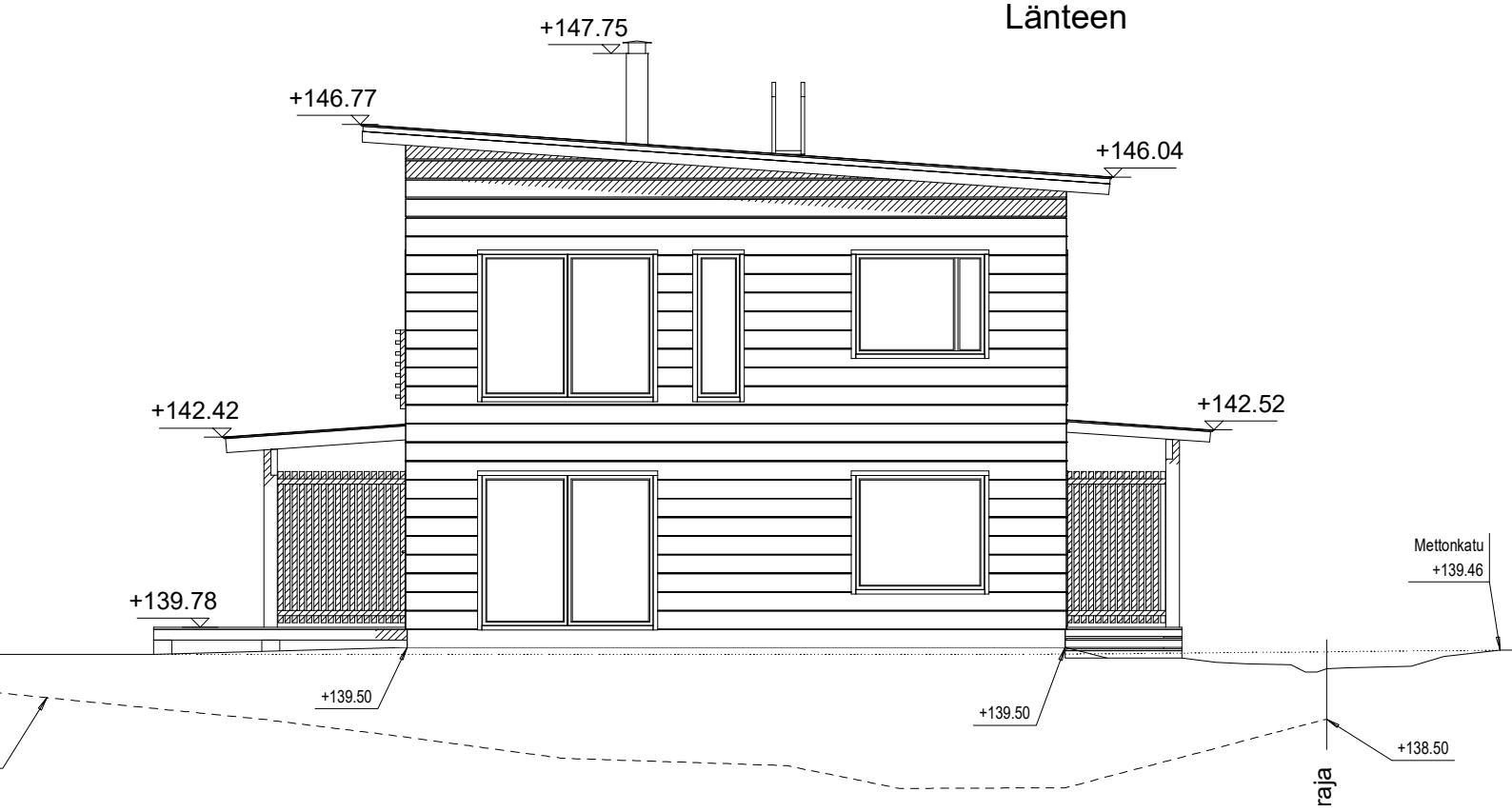

## Etelään



## Itään




## Länteen



# ENERGIASELVITYS

2018 säädöksien mukaisesti

**Kohde:** Tutkimuskohde (hirsi)

**Osoite:**

**33720 Tampere**

**Käyttöveden lämmitysjärjestelmän kuvaus:**

**Maalämpö**

**Tilojen lämmitysjärjestelmän kuvaus:**

**Maalämpö, vesikiertoinen lattialämmitys**

**Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus:**

**Vallox 110 MV (25-100 L/s)**

**Maalämpöpumpun kuvaus:**

**NIBE F1255-12**

| Selvityksen antaja: | Selvityksen tilaaja: |
|---|---|
| **Mikko Virkkunen**<br>**Insinööritoimisto Vesitaito Oy**<br>**Allekirjoitus:** | |
| **Selvityksen antamispäivä:**<br>**28.03.2018** | |

## ENERGIASELVITYKSEN PÄÄTIEDOT (2018 säädöksien mukaisesti)

### Rakennuskohde

| | | |
|---|---|---|
| Osoite | 33720 Tampere | |
| Rakennuksen käyttötarkoitus | Yhden asunnon talot (käyttötarkoitusluokka 1 a-c) | |
| Rakennusvuosi | 2018 | |
| Lämmitetty nettoala | 157.6 | m² |

### Rakennuksen kokonaisenergian kulutus (E-luku)

| | Ostoenergia kWh/(m² a) | E-luku kWh/(m² a) |
|---|---|---|
| Tilojen lämmitys (2) | 20.64 | 24.76 |
| Ilmanvaihdon lämmitys (3) | 4.33 | 5.19 |
| Lämmin käyttövesi | 10.60 | 12.73 |
| Sähkölaitteet | 25.68 | 30.82 |
| Jäähdytys | 0.00 | 0.00 |
| **Yhteensä** | **61.25** | **73.50** |

(2) sisältää vuotoilman, korvausilman ja tuloilman lämpenemisen tilassa.
(3) jälkilämmityspatteri, laskettu lämmöntalteenoton kanssa.

| | | |
|---|---|---|
| E-luku | 74 | kWh/(m² a) |
| E-luvun vaatimustaso (mahdolliset helpotukset huomioiden) | 126 | kWh/(m² a) |

### Todellinen ostoenergia

| | kWh/a | kWh/(m² a) |
|---|---|---|
| Tilojen lämmitys | 3418 | 21.69 |
| Ilmanvaihdon lämmitys | 771 | 4.89 |
| Lämmin käyttövesi | 1671 | 10.60 |
| Sähkölaitteet | 4187 | 26.57 |
| Jäähdytys | 0 | 0.00 |
| **Yhteensä** | **10047** | **63.75** |

Laskettu sijaintipaikkakunnan vyöhykkeen mukaisilla säätiedoilla.
( E-luku laskennassa käytetty vyöhykettä I)

### Energialaskennan lähtötiedot ja tulokset

2018 säädöksien mukaisesti erillisessä liitteessä.

### Kesäaikainen huonelämpötila ja tarvittaessa jäähdytysteho

2018 säädöksien mukaisesti.

(muille kuin pientaloille erillisen laskelman mukaan)

### Rakennuksen lämpöhäviön määräysten mukaisuus

2018 säädöksien mukaisesti erillisessä liittessä.

### Rakennuksen lämmitysteho mitoitustilanteessa

| | kW | W/m² |
|---|---|---|
| Tilojen lämmitys | 8.20 | 52 |
| Ilmanvaihdon lämmitys (jälkilämmityspatteri) | 1.73 | 11 |
| Lämmin käyttövesi | 75.65 | 480 |
| Jäähdytys | 0.00 | 0 |
| Rakennuksen lämmitystehontarve | 94.88 | 602 |

Laskettu sijaintipaikkakunnan vyöhykkeen mukaisilla mitoitusarvoilla.
Lämpimän käyttöveden tehontarve hetkellisen mitoitusvirtaaman mukaan.

### Rakennuksen energiatodistus

Energiatodistusasetuksen 2018 mukaisesti erillisessä liitteessä.

E-luokka: A (Energiatodistusasetuksen 2018 mukaisesti)

### Laskentatyökalun nimi ja versionumero

| | |
|---|---|
| Laskentatyökalun nimi ja versionumero | **www.laskentapalvelut.fi, versio 1.4 (24.1.2018)** |

| | |
|---|---|
| **Rakennuskohde**<br>Rakennuslupatunnus | Tutkimuskohde (hirsi) 33720 Tampere |
| Rakennustyyppi | Yhden asunnon talot (käyttötarkoitusluokka 1 a-c) |
| Pääsuunnittelija | |
| Tasauslaskelman tekijä | Mikko Virkkunen, Insinööritoimisto Vesitaito Oy |
| Päiväys | 28.03.2018 |
| Tulos: Suunnitteluratkaisu | TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET |

**Rakennuksen laajuustiedot**

| | | |
|---|---|---|
| Rakennustilavuus | 650 | rak-m³ |
| Maanpäälliset kerrostasoalat yhteensä | 176.2 | m² |
| Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat | 157.6 | m² |
| Lämmitetty nettoala, puolilämpimät tilat | 0 | m² |
| Rakennusluokka (1-9) | 1 | |
| Rakennuksen kerrosmäärä | 2 | kerrosta |

**Laskentatuloksia**

- Julkisivujen pinta-ala on 212 m2
- Ikkunapinta-ala on 25 % maanpäällisestä kerrostasoalasta
- Ikkunapinta-ala on 21 % julkisivujen pinta-alasta
- Lämpöhäviö on 94 % vertailutasosta (lämpimät tilat)

**Perustiedot**

| RAKENNUSOSAT | Pinta-alat, m² [A] | | U-arvot, W/(m² K) [U] | | | Lämpöhäviöiden tasaus Ominaislämpöhäviö, W/K [Hjoht = A*U] | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Vertailu-arvo | Suunnittelu-arvo | Vertailu-arvo | | Suunnittelu-arvo | Vertailu-ratkaisu | Suunnittelu-ratkaisu |
| *Lämpimät tilat* | | | | | | | |
| Ulkoseinä | 0.00 | 0.00 | 0.17 | | 0.17 | 0.00 | 0.00 |
| Massiivipuuseinä 1) | 171.43 | 153.30 | 0.40 | | 0.46 | 68.57 | 70.56 |
| Yläpohja | 88.70 | 88.70 | 0.09 | | 0.09 | 7.98 | 7.98 |
| Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva) | 0.00 | | 0.09 | | 0.09 | 0.00 | 0.00 |
| Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) | 0.00 | | 0.17 | | 0.16 | 0.00 | 0.00 |
| Alapohja (maanvastainen) | 88.70 | | 0.16 | | 0.12 | 14.19 | 10.64 |
| Muu maanvastainen rakennusosa | 0.00 | | 0.16 | | 0.16 | 0.00 | 0.00 |
| Ikkunat | 26.43 | 44.56 | 1.00 | | 0.80 | 26.43 | 35.65 |
| Ulko-ovet ja tuuletusluukut 2) | 14.25 | | 1.00 | | 0.80 | 14.25 | 11.40 |
| Kattoikkunat / -kuvut | 0.00 | 0.00 | 1.00 | | 1.00 | 0.00 | 0.00 |
| **Lämpimät tilat yhteensä** | 389.51 | 389.51 | | | | 131.43 | 136.23 |
| *Puolilämpimät tilat tai määräaikaiset rakennukset* | | | | | | | |
| Ulkoseinät | | | 0.26 | | | | |
| Massiivipuuseinä 1) | | | 0.60 | | | | |
| Yläpohja | | | 0.14 | | | | |
| Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva) | | | 0.14 | | | | |
| Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) | | | 0.26 | | | | |
| Alapohja (maanvastainen) | | | 0.24 | | | | |
| Muu maanvastainen rakennusosa | | | 0.24 | | | | |
| Ikkunat | | | 1.40 | | | | |
| Ulko-ovet ja tuuletusluukut 2) | | | 1.40 | | | | |
| Kattoikkunat / -kuvut | | | 1.40 | | | | |
| **Puolilämpimät tilat yhteensä** | | | | | | | |

| VAIPAN ILMAVUODOT | Ilmanvuotoluku m³/(h m²) [q50] | | Vuotoilmavirta, m³/s [qv,v = q50/24 x A/3600 | | Ominaislämpöhäviö, W/K [H vuotoilma = 1200* q v,v] | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Vuotoilma** | Vertailu-arvo | Suunnittelu-arvo | Vertailu-arvo | Suunnittelu-arvo | Vertailu-ratkaisu | Suunnittelu-ratkaisu |
| Lämpimät tilat | 2.0 | 2.00 | 0.0090 | 0.0090 | 10.82 | 10.82 |
| Puolilämpimät tilat | 2.0 | | | | | |

| ILMANVAIHTO | Poistoilmavirta, m³/s [q v, p] | | LTO:n vuosihyötysuhde, % [na] | | Ominaislämpöhäviö, W/K [Hiv = 1200* q v,p * (1-na)] | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Hallittu ilmanvaihto** | Vertailu-arvo | Suunnittelu-arvo | Vertailu-arvo | Suunnittelu-arvo | Vertailu-ratkaisu | Suunnittelu-ratkaisu |
| Lämpimät tilat | 0.063 | | 55 | 75.20 | 34.02 | 18.75 |
| Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta 3) | | | 0 | | 0.00 | 0.00 |
| Puolilämpimät tilat | | | 55 | | | |
| Puolilämpimät tilat,ei LTO-vaatimusta | | | 0 | | | |

| Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus | Ominaislämpöhäviö, W/K [H = H joht + H vuotoilma + Hiv] Vertailu-ratkaisu | Suunnittelu-ratkaisu |
|---|---|---|
| **Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä** | 176.27 | 165.80 |
| **Puolilämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä** | | |

| | | |
|---|---|---|
| **Rakennuskohde** | Tutkimuskohde (hirsi) | 33720 Tampere |
| **Rakennuslupatunnus** | | |

## Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista

### Pinta-alat

| | kyllä | ei |
|---|---|---|
| Vertailuikkunapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasoaloista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivujen pinta-alasta | x | |

Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala sama molemmissa ratkaisuissa

| | | |
|---|---|---|
| - lämpimissä tiloissa | x | |
| - Puolilämpimissä tiloissa | x | |

### Rakennusvaipan ilmanpitävyys

| Rakennusvaipan ilmanvuotoluvun q50 suunnitteluarvo on enintään enimmäisarvon suuruinen | kyllä | ei | Enimmäisarvo | Suunnitteluarvo |
|---|---|---|---|---|
| - lämpimissä tiloissa | x | | 4.00 | 2.00 |
| - puolilämpimissä tiloissa | x | | 4.00 | 2.00 |

### Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus

| Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen | kyllä | ei | Vertailuarvo | Suunnitteluarvo |
|---|---|---|---|---|
| - lämpimissä tiloissa | x | | 176.27 W/K | 165.80 W/K |
| - puolilämpimissä tiloissa | x | | 0.00 W/K | 0.00 W/K |

### Tarkistuslistan yhteenveto

| | kyllä | ei |
|---|---|---|
| **Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimukset** | x | |

### Lisätietoja

**Rakennuksen ilmanpitävyys**

Rakennuksen suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa käytetään rakennusvaipan ilmanvuotoluvun q50 suunnitteluarvoa.
Rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku q50 saa olla enintään 4.0 m3/(h m2), mutta ilmanvuotoluku voi ylittää tämän arvon,
jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut huonontavat merkittävästi ilmanpitävyyttä.
suunnitteluarvona rakennusvaipan ilmanvuotoluvun vertailuarvoa.
Jos ilmanpitävyyttä ei tulla osoittamaan mittaamalla tai teollisen talonrakennuksen laadunvarmistusmenettelyllä,
rakennusvaipan ilmanvuotolukuna tulee käyttää arvoa 4.0 m3/(h m2).

**Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) hyötysuhde**

Ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään käyttäen lämmöntalteenottolaitteen ominaisuuksia
ja ilmanvaihtokoneen suunniteltuja ilmavirtoja sekä asetuksen liitteessä 1 säädetyn säävyöhykkeen 1 säätietoja. Kahden
tai useamman ilmanvaihtokoneen poistoilman vuosihyötysuhde määritetään suunniteltujen ilmavirtojen ja käyntiaikojen
painotettuna vuosihyötysuhteena. Rakennuksen suunnitteluratkaisun ilmanvaihdon lämpöhäviö lasketaan käyttäen näin määritettyä
poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta ja asetuksen 26 pykälän mukaisia ilmavirtojen arvoja ja käyntiaikoja.

**Huomautus**

Tässä lomakkeessa esitetyt lämpöhäviövaatimukset koskevat rakennuksia, joiden kerrosala on 50 m2 tai enemmän.

1) Massiivipuuseinä, jonka keskimääräinen paksuus on vähintään 180 mm.
2) Ulko-oviin ja tuuletusluukkuihin sisältyvät myös savunpoisto-, uloskäynti- ja huoltoluukut sekä muut vastaavat luukut.
3) LTO-vaatimusta ei ole, jos poistoilman likaisuus estää lämmöntalteenoton toiminnan, tilan lämpötila lämmityskaudella on alle +10 celsiusastetta eikä poistoilmasta ole saatavissa lämpöä talteen kustannustehokkaasti tai jos ilmanvaihtojärjestelmän toiminta perustuu pääasiassa korkeus- ja lämpötilaerojen sekä tuulen aiheuttamiin paine-eroihin.

# ENERGIATODISTUS 2018

**Rakennuksen nimi ja osoite:** Tutkimuskohde (hirsi)

33720, TAMPERE

**Pysyvä rakennustunnus:**
**Rakennuksen valmistumisvuosi:** 2018
**Rakennuksen käyttötarkoitusluokka:** Yhden asunnon talot

**Todistustunnus:** 100458

**Energiatodistus on laadittu**
☒ **Uudelle rakennukselle rakennuslupaa haettaessa**
☐ **Uudelle rakennukselle käyttöönottovaiheessa**
☐ **Olemassa olevalle rakennukselle, havainnointikäynnin päivämäärä:**

| | Energiatehokkuusluokka |
|---|---|
| A | A 2018 |
| B | |
| C | |
| D | |
| E | |
| F | |
| G | |
| | |

| | $kWh_E/(m^2vuosi)$ |
|---|---|
| Rakennuksen laskennallinen energiatehokkuuden vertailuluku eli E-luku | 74 |
| Uuden rakennuksen E-luvun vaatimustaso | ≤ 110 |

**Todistuksen laatija:**
Virkkunen, Mikko

**Yritys:**
Insinööritoimisto Vesitaito Oy
Haarlankatu 4 H
33230, TAMPERE

**Sähköinen allekirjoitus:**
Virkkunen, Mikko
28.3.2018 08:08:17

**Todistuksen laatimispäivä:**
28.3.2018

**Viimeinen voimassaolopäivä:**
28.3.2028

# YHTEENVETO RAKENNUKSEN ENERGIATEHOKKUUDESTA

## Laskennallinen ostoenergiankulutus ja energiatehokkuuden vertailuluku (E-luku)

| | |
|---|---|
| **Lämmitetty nettoala** | 157,6 m² |
| **Lämmitysjärjestelmän kuvaus** | Maalämpö, vesikiertoinen lattialämmitys / Maalämpö |
| **Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus** | Vallox 110 MV (25-100 L/s) |

| Käytettävä energiamuoto | Vakioidulla käytöllä laskettu ostoenergia | | Energiamuodon kerroin | Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus |
|---|---|---|---|---|
| | kWh/vuosi | kWh/(m²vuosi) | - | $kWh_E$/(m²vuosi) |
| sähkö | **9 653** | 62 | **1,2** | 74 |
| **Energiatehokkuuden vertailuluku (E-luku)** | | | | **74** |

## Rakennuksen energiatehokkuusluokka

**Käytetty E-luvun luokitteluasteikko** **Pienet asuinrakennukset**

**Luokkien rajat asteikolla**

| | | |
|---|---|---|
| A: ... 79 | B: 80 ... 124 | C: 125 ... 161 |
| D: 162 ... 241 | E: 242 ... 371 | F: 372 ... 441 |
| G: 442 ... | | |

**Tämän rakennuksen energiatehokkuusluokka** **A**

E-luku perustuu rakennuksen laskennallisiin kulutuksiin ja energiamuotojen kertoimiin. Kulutus on laskettu vakioidulla käytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden, jotta eri rakennusten E-luvut ovat keskenään vertailukelpoisia. Vakioidusta käytöstä johtuen E-luku ei sovellu yksittäisen rakennuksen toteutuneen ja laskennallisen kulutuksen vertailuun. E- lukuun sisältyy rakennuksen lämmitys-, ilmanvaihto-, jäähdytysjärjestelmien sekä kuluttajalaitteiden ja valaistuksen energiankulutus. Rakennuksen ulkopuoliset kulutukset kuten autolämmityspistokkeet, sulanapitolämmitykset ja ulkovalot eivät sisälly E-lukuun.

# TOIMENPIDE-EHDOTUKSIA E-LUVUN PARANTAMISEKSI

## Keskeiset suositukset rakennuksen E-lukua parantaviksi toimenpiteiksi (ei koske uusia rakennuksia)

-

Suositukset on esitetty yksityiskohtaisemmin sivuilla 6 ja 7, kohdassa "Toimenpide-ehdotukset E-luvun parantamiseksi".

# E-LUVUN LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT

## Rakennuskohde

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Rakennuksen käyttötarkoitusluokka | Yhden asunnon talot | | | |
| Rakennuksen valmistumisvuosi | 2018 | Lämmitetty nettoala | 158 | m² |

## Rakennusvaippa

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Ilmanvuotoluku $q_{50}$ | 2,0 | m²/(h m²) | | |
| | **A** m² | **U** W/(m² K) | **U×A** W/K | **Osuus lämpöhäviöistä** % |
| Ulkoseinät | 153,3 | 0,46 | 70,5 | 47 % |
| Yläpohja | 88,7 | 0,09 | 8,0 | 5 % |
| Alapohja | 88,7 | 0,12 | 10,6 | 7 % |
| Ikkunat | 44,6 | 0,80 | 35,7 | 24 % |
| Ulko-ovet | 14,3 | 0,80 | 11,4 | 8 % |
| Kylmäsillat | - | - | 13,4 | 9 % |

## Ikkunat ilmansuunnittain

| | **A** m² | **U** W/(m² K) | **$g_{kohtisuora}$-arvo** - |
|---|---|---|---|
| Pohjoinen | 13,8 | 0,80 | 0,64 |
| Koillinen | | | |
| Itä | 6,3 | 0,80 | 0,64 |
| Kaakko | | | |
| Etelä | 8,0 | 0,80 | 0,64 |
| Lounas | | | |
| Länsi | 16,4 | 0,80 | 0,64 |
| Luode | | | |

## Ilmanvaihtojärjestelmä

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus: | Vallox 110 MV (25-100 L/s) | | | |
| | **Ilmavirta tulo/poisto** (m³/s) / (m³/s) | **Järjestelmän SFP-luku** kW / (m³/s) | **LTO:n lämpötilasuhde** - | **Jäätymisenesto** °C |
| Pääilmanvaihtokoneet | 0,06 / 0,06 | 1,33 | 80 % | -5,00 |
| Erillispoistot | 0,00 / 0,00 | 0,00 | - | - |
| Ilmanvaihtojärjestelmä | 0,06 / 0,06 | 1,33 | - | - |
| Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän LTO:n vuosihyötysuhde: | | 75 % | | |

## Lämmitysjärjestelmä

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Lämmitysjärjestelmän kuvaus: | Maalämpö, vesikiertoinen lattialämmitys / Maalämpö | | | |
| | **Tuoton hyötysuhde** - | **Jaon ja luovutuksen hyötysuhde** - | **Lämpökerroin**[1] - | **Apulaitteiden sähkönkäyttö**[2] kWh/(m²vuosi) |
| Tilojen ja iv:n lämmitys | | 82 % | 5,1 | 2,5 |
| Lämpimän käyttöveden valmistus | | 92 % | 3,3 | 0,0 |

[1] vuoden keskimääräinen lämpökerroin lämpöpumpulle

[2] lämpöpumppujärjestelmissä voi sisältyä vuoden keskimääräiseen lämpökertoimeen

| | **Määrä** kpl | **Tuotto** kWh |
|---|---|---|
| Varaava tulisija | | |
| Ilmalämpöpumppu | | |

## Jäähdytysjärjestelmä

| | |
|---|---|
| | **Jäähdytyskauden painotettu kylmäkerroin** - |
| Jäähdytysjärjestelmä | |

## Lämmin käyttövesi

| | **Ominaiskulutus** dm³/(m²vuosi) | **Lämmitysenergian nettotarve** kWh/(m²vuosi) |
|---|---|---|
| Lämmin käyttövesi | 457 | 27 |

## Sisäiset lämpökuormat eri käyttöasteilla

| | **Käyttöaste** - | **Henkilöt** W/m² | **Kuluttajalaitteet** W/m² | **Valaistus** W/m² |
|---|---|---|---|---|
| Henkilöt ja kuluttajalaitteet | 60 % | 2,0 | 3,0 | |
| Valaistus | 10 % | | | 6,0 |

# E-LUVUN LASKENNAN TULOKSET

## Rakennuskohde

| | |
|---|---|
| Rakennuksen käyttötarkoitusluokka | Yhden asunnon talot |
| Rakennuksen valmistumisvuosi | 2018 |
| Lämmitetty nettoala, m² | 157,6 |
| **E-luku, $kWh_E$ / (m²vuosi)** | 74 |

## E-luvun erittely

| Käytettävät energiamuodot | Vakioidulla käytöllä laskettu ostoenergia kWh/vuosi | Energiamuodon kerroin - | Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus $kWh_E$/vuosi | $kWh_E$/(m²vuosi) |
|---|---|---|---|---|
| sähkö | 9 653 | 1,2 | 11 584 | 74 |
| **YHTEENSÄ** | **9 653** | | **11 584** | **74** |

## Rakennuksen ympäristössä olevasta energiasta otettu energia, hyödynnetty osuus (kuukausitason erittely lisätiedoissa)

| | kWh/vuosi | kWh/(m²vuosi) |
|---|---|---|
| Lämpöpumpun lämmönlähteestä ottama energia | 15 534 | 99 |

## Rakennuksen teknisten järjestelmien energiankulutus

| | Sähkö kWh/(m²vuosi) | Lämpö kWh/(m²vuosi) | Kaukojäähdytys kWh/(m²vuosi) |
|---|---|---|---|
| Lämmitysjärjestelmä | | | |
| Tilojen lämmitys[1] | 2,5 | 92,3 | - |
| Tuloilman lämmitys | 4,3 | 0,0 | - |
| Lämpimän käyttöveden valmistus | 0,0 | 35,0 | |
| Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus | 4,7 | - | - |
| Jäähdytysjärjestelmä | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Kuluttajalaitteet ja valaistus | 21,0 | - | - |
| **YHTEENSÄ** | 33,0 | 128,0 | 0,0 |

[1] ilmanvaihdon tuloilman lämpeneminen tilassa ja korvausilman lämmitys kuuluu tilojen lämmitykseen

## Energian nettotarve

| | kWh/vuosi | kWh/(m²vuosi) |
|---|---|---|
| Tilojen lämmitys[2] | 11 959 | 76 |
| Ilmanvaihdon lämmitys[3] | 682 | 5 |
| Lämpimän käyttöveden valmistus | 4 200 | 27 |
| Jäähdytys | 0 | 0 |

[2] sisältää vuotoilman, korvausilman ja tuloilman lämpenemisen tilassa

[3] laskettu lämmöntalteenoton kanssa

## Lämpökuormat

| | kWh/vuosi | kWh/(m²vuosi) |
|---|---|---|
| Aurinko | 10 148 | 65 |
| Henkilöt | 1 657 | 11 |
| Kuluttajalaitteet | 2 485 | 16 |
| Valaistus | 828 | 6 |
| Lämpimän käyttöveden kierrosta ja varastoinnin häviöistä | 475 | 4 |

## Laskentatyökalun nimi ja versionumero

| | |
|---|---|
| Laskentatyökalun nimi ja versionumero | www.laskentapalvelut.fi, versio 1.4 (24.1.2018) |

# ENERGIASELVITYS

2018 säädöksien mukaisesti

**Kohde:** Vertailukohde 1 **(kivi)**

**Osoite:** -

-

**Käyttöveden lämmitysjärjestelmän kuvaus:**

**Maalämpöpumppu NIBE F1255-12**

**Tilojen lämmitysjärjestelmän kuvaus:**

**Maalämpöpumppu NIBE F1255-12**

**Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus:**

**Vallox 110 MV (25-100 L/s)**

**Maalämpöpumpun kuvaus:**

**NIBE F1255-12**

| Selvityksen antaja: | Selvityksen tilaaja: |
|---|---|
| -<br>-<br><br>Allekirjoitus: | -<br>- |
| Selvityksen antamispäivä:<br>**29.03.2019** | |

## ENERGIASELVITYKSEN PÄÄTIEDOT (2018 säädöksien mukaisesti)

### Rakennuskohde

| | | |
|---|---|---|
| Osoite | -, - | |
| Rakennuksen käyttötarkoitus | Pientalo | |
| Rakennusvuosi | - | |
| Lämmitetty nettoala | 157.6 | m² |

### Rakennuksen kokonaisenergian kulutus (E-luku)

| | Ostoenergia kWh/(m² a) | E-luku kWh/(m² a) |
|---|---|---|
| Tilojen lämmitys (2) | 13.96 | 16.76 |
| Ilmanvaihdon lämmitys (3) | 4.33 | 5.19 |
| Lämmin käyttövesi | 10.60 | 12.73 |
| Sähkölaitteet | 25.68 | 30.82 |
| Jäähdytys | 0.00 | 0.00 |
| **Yhteensä** | **54.58** | **65.50** |

(2) sisältää vuotoilman, korvausilman ja tuloilman lämpenemisen tilassa.

(3) jälkilämmityspatteri, laskettu lämmöntalteenoton kanssa.

| | | |
|---|---|---|
| E-luku | 66 | kWh/(m² a) |
| E-luvun vaatimustaso (mahdolliset helpotukset huomioiden) | 110 | kWh/(m² a) |

### Todellinen ostoenergia

| | kWh/a | kWh/(m² a) |
|---|---|---|
| Tilojen lämmitys | 2345 | 14.88 |
| Ilmanvaihdon lämmitys | 771 | 4.89 |
| Lämmin käyttövesi | 1671 | 10.60 |
| Sähkölaitteet | 4187 | 26.57 |
| Jäähdytys | 0 | 0.00 |
| **Yhteensä** | **8975** | **56.95** |

Laskettu sijaintipaikkakunnan vyöhykkeen mukaisilla säätiedoilla.

( E-luku laskennassa käytetty vyöhykettä I)

### Energialaskennan lähtötiedot ja tulokset

2018 säädöksien mukaisesti erillisessä liitteessä.

### Kesäaikainen huonelämpötila ja tarvittaessa jäähdytysteho

2018 säädöksien mukaisesti.

(muille kuin pientaloille erillisen laskelman mukaan)

### Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuus

2018 säädöksien mukaisesti erillisessä liittessä.

### Rakennuksen lämmitysteho mitoitustilanteessa

| | kW | W/m² |
|---|---|---|
| Tilojen lämmitys | 6.16 | 39 |
| Ilmanvaihdon lämmitys (jälkilämmityspatteri) | 1.71 | 11 |
| Lämmin käyttövesi | 75.60 | 480 |
| Jäähdytys | 0.00 | 0 |
| Rakennuksen lämmitystehontarve | 92.74 | 588 |

Laskettu sijaintipaikkakunnan vyöhykkeen mukaisilla mitoitusarvoilla.

Lämpimän käyttöveden tehontarve hetkellisen mitoitusvirtaaman mukaan.

### Rakennuksen energiatodistus

Energiatodistusasetuksen 2018 mukaisesti erillisessä liitteessä.

E-luokka: A (Energiatodistusasetuksen 2018 mukaisesti)

### Laskentatyökalun nimi ja versionumero

| | |
|---|---|
| Laskentatyökalun nimi ja versionumero | **www.laskentapalvelut.fi, versio 1.4 (24.1.2018)** |

| | |
|---|---|
| **Rakennuskohde**<br>Rakennuslupatunnus | Vertailukohde 1 (kivi), -, - |
| Rakennustyyppi | Pientalo |
| Pääsuunnittelija | - |
| Tasauslaskelman tekijä | -, - |
| Päiväys | 29.03.2019 |
| Tulos: Suunnitteluratkaisu | TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET |

**Rakennuksen laajuustiedot**

| | | |
|---|---|---|
| Rakennustilavuus | 650 | rak-m³ |
| Maanpäälliset kerrostasoalat yhteensä | 189.1 | m² |
| Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat | 157.6 | m² |
| Lämmitetty nettoala, puolilämpimät tilat | 0 | m² |
| Rakennusluokka (1-9) | 1 | |
| Rakennuksen kerrosmäärä | 2 | kerrosta |

**Laskentatuloksia**

- Julkisivujen pinta-ala on 212 m2
- Ikkunapinta-ala on 24 % maanpäällisestä kerrostasoalasta
- Ikkunapinta-ala on 21 % julkisivujen pinta-alasta
- Lämpöhäviö on 88 % vertailutasosta (lämpimät tilat)

**Perustiedot**

| RAKENNUSOSAT | Pinta-alat, m² [A] | | U-arvot, W/(m² K) [U] | | | Lämpöhäviöiden tasaus Ominaislämpöhäviö, W/K [Hjoht = A*U] | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Vertailu-arvo | Suunnittelu-arvo | Vertailu-arvo | | Suunnittelu-arvo | Vertailu-ratkaisu | Suunnittelu-ratkaisu |
| *Lämpimät tilat* | | | | | | | |
| Ulkoseinä | 169.50 | 153.30 | 0.17 | | 0.17 | 28.81 | 26.06 |
| Massiivipuuseinä 1) | 0.00 | 0.00 | 0.40 | | 0.40 | 0.00 | 0.00 |
| Yläpohja | 88.70 | 88.70 | 0.09 | | 0.09 | 7.98 | 7.98 |
| Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva) | 0.00 | | 0.09 | | 0.09 | 0.00 | 0.00 |
| Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) | 0.00 | | 0.17 | | 0.16 | 0.00 | 0.00 |
| Alapohja (maanvastainen) | 88.70 | | 0.16 | | 0.12 | 14.19 | 10.64 |
| Muu maanvastainen rakennusosa | 0.00 | | 0.16 | | 0.16 | 0.00 | 0.00 |
| Ikkunat | 28.37 | 44.56 | 1.00 | | 0.80 | 28.37 | 35.65 |
| Ulko-ovet ja tuuletusluukut 2) | 14.25 | | 1.00 | | 0.80 | 14.25 | 11.40 |
| Kattoikkunat / -kuvut | 0.00 | 0.00 | 1.00 | | 1.00 | 0.00 | 0.00 |
| **Lämpimät tilat yhteensä** | 389.51 | 389.51 | | | | 93.60 | 91.74 |
| *Puolilämpimät tilat tai määräaikaiset rakennukset* | | | | | | | |
| Ulkoseinät | | | 0.26 | | | | |
| Massiivipuuseinä 1) | | | 0.60 | | | | |
| Yläpohja | | | 0.14 | | | | |
| Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva) | | | 0.14 | | | | |
| Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) | | | 0.26 | | | | |
| Alapohja (maanvastainen) | | | 0.24 | | | | |
| Muu maanvastainen rakennusosa | | | 0.24 | | | | |
| Ikkunat | | | 1.40 | | | | |
| Ulko-ovet ja tuuletusluukut 2) | | | 1.40 | | | | |
| Kattoikkunat / -kuvut | | | 1.40 | | | | |
| **Puolilämpimät tilat yhteensä** | | | | | | | |

| VAIPAN ILMAVUODOT | Ilmanvuotoluku m³/(h m²) [q50] | | Vuotoilmavirta, m³/s [qv,v = q50/24 x A/3600 | | Ominaislämpöhäviö, W/K [H vuotoilma = 1200* q v,v] | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Vuotoilma** | Vertailu-arvo | Suunnittelu-arvo | Vertailu-arvo | Suunnittelu-arvo | Vertailu-ratkaisu | Suunnittelu-ratkaisu |
| Lämpimät tilat | 2.0 | 2.00 | 0.0090 | 0.0090 | 10.82 | 10.82 |
| Puolilämpimät tilat | 2.0 | | | | | |

| ILMANVAIHTO | Poistoilmavirta, m³/s [q v, p] | | LTO:n vuosihyötysuhde, % [na] | | Ominaislämpöhäviö, W/K [Hiv = 1200* q v,p * (1-na)] | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Hallittu ilmanvaihto** | Vertailu-arvo | Suunnittelu-arvo | Vertailu-arvo | Suunnittelu-arvo | Vertailu-ratkaisu | Suunnittelu-ratkaisu |
| Lämpimät tilat | 0.063 | | 55 | 75.20 | 34.02 | 18.75 |
| Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta 3) | | | 0 | | 0.00 | 0.00 |
| Puolilämpimät tilat | | | 55 | | | |
| Puolilämpimät tilat,ei LTO-vaatimusta | | | 0 | | | |

| Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus | Ominaislämpöhäviö, W/K [H = H joht + H vuotoilma + Hiv] Vertailu-ratkaisu | Suunnittelu-ratkaisu |
|---|---|---|
| **Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä** | 138.44 | 121.30 |
| **Puolilämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä** | | |

| | |
|---|---|
| **Rakennuskohde** | Vertailukohde 1, (kivi) |
| **Rakennuslupatunnus** | |

## Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista

### Pinta-alat

| | kyllä | ei |
|---|---|---|
| Vertailuikkunapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasoaloista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivujen pinta-alasta | x | |

Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala sama molemmissa ratkaisuissa

| | | |
|---|---|---|
| - lämpimissä tiloissa | x | |
| - Puolilämpimissä tiloissa | x | |

### Rakennusvaipan ilmanpitävyys

| Rakennusvaipan ilmanvuotoluvun q50 suunnitteluarvo on enintään enimmäisarvon suuruinen | kyllä | ei | Enimmäisarvo | Suunnitteluarvo |
|---|---|---|---|---|
| - lämpimissä tiloissa | x | | 4.00 | 2.00 |
| - puolilämpimissä tiloissa | x | | 4.00 | 2.00 |

### Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus

| Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen | kyllä | ei | Vertailuarvo | Suunnitteluarvo |
|---|---|---|---|---|
| - lämpimissä tiloissa | x | | 138.44 W/K | 121.30 W/K |
| - puolilämpimissä tiloissa | x | | 0.00 W/K | 0.00 W/K |

### Tarkistuslistan yhteenveto

| | kyllä | ei |
|---|---|---|
| **Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimukset** | x | |

### Lisätietoja

**Rakennuksen ilmanpitävyys**

Rakennuksen suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa käytetään rakennusvaipan ilmanvuotoluvun q50 suunnitteluarvoa.
Rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku q50 saa olla enintään 4.0 m3/(h m2), mutta ilmanvuotoluku voi ylittää tämän arvon,
jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut huonontavat merkittävästi ilmanpitävyyttä.
suunnitteluarvona rakennusvaipan ilmanvuotoluvun vertailuarvoa.
Jos ilmanpitävyyttä ei tulla osoittamaan mittaamalla tai teollisen talonrakennuksen laadunvarmistusmenettelyllä,
rakennusvaipan ilmanvuotolukuna tulee käyttää arvoa 4.0 m3/(h m2).

**Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) hyötysuhde**

Ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään käyttäen lämmöntalteenottolaitteen ominaisuuksia
ja ilmanvaihtokoneen suunniteltuja ilmavirtoja sekä asetuksen liitteessä 1 säädetyn säävyöhykkeen 1 säätietoja. Kahden
tai useamman ilmanvaihtokoneen poistoilman vuosihyötysuhde määritetään suunniteltujen ilmavirtojen ja käyntiaikojen
painotettuna vuosihyötysuhteena. Rakennuksen suunnitteluratkaisun ilmanvaihdon lämpöhäviö lasketaan käyttäen näin määritettyä
poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta ja asetuksen 26 pykälän mukaisia ilmavirtojen arvoja ja käyntiaikoja.

**Huomautus**

Tässä lomakkeessa esitetyt lämpöhäviövaatimukset koskevat rakennuksia, joiden kerrosala on 50 m2 tai enemmän.

1) Massiivipuuseinä, jonka keskimääräinen paksuus on vähintään 180 mm.
2) Ulko-oviin ja tuuletusluukkuihin sisältyvät myös savunpoisto-, uloskäynti- ja huoltoluukut sekä muut vastaavat luukut.
3) LTO-vaatimusta ei ole, jos poistoilman likaisuus estää lämmöntalteenoton toiminnan, tilan lämpötila lämmityskaudella on alle +10 celsiusastetta eikä poistoilmasta ole saatavissa lämpöä talteen kustannustehokkaasti tai jos ilmanvaihtojärjestelmän toiminta perustuu pääasiassa korkeus- ja lämpötilaerojen sekä tuulen aiheuttamiin paine-eroihin.

# ENERGIATODISTUS 2018

**LUONNOSVERSIO - virallinen todistus ARA:n valvontajärjestelmästä**

**Rakennuksen nimi ja osoite:** Vertailukohde 1 **(kivi)**
-
-
**Pysyvä rakennustunnus:** -
**Rakennuksen valmistumisvuosi:** -
**Rakennuksen käyttötarkoitusluokka:**
**Pientalo**
**Todistustunnus:** -

**Energiatodistus on laadittu:**
**Uudelle rakennukselle rakennuslupaa haettaessa**

| | Energiatehokkuusluokka |
|---|---|
| A | A 2018 |
| B | |
| C | |
| D | |
| E | |
| F | |
| G | |

| | kWh $_E$/m²vuosi |
|---|---|
| Rakennuksen laskennallinen energiatehokkuuden vertailuluku eli E-luku | 66 |
| Uuden rakennuksen E-luvun vaatimus | 110 |

(Huom! Ylläoleva on 2018 säädöksien vaatimustaso mahdolliset helpotukset huomioiden)

**Todistuksen laatija:**
-

**Yritys:**
-
-
-

**Sähköinen allekirjoitus:**

**Todistuksen laatimispäivä:** **29.03.2019**

**Viimeinen voimassaolopäivä:** **?**

Huom! Todistuksessa esitettyjä lukuja/laskentatuloksia ei tule käyttää Lämpöpumppujen/lämmitysjärjestelmän valintaan.

## YHTEENVETO RAKENNUKSEN ENERGIATEHOKKUUDESTA

### Laskennallinen ostoenergiankulutus ja energiatehokkuuden vertailuluku (E-luku)

| | |
|---|---|
| Lämmitetty nettoala, m² | 157.6 |
| Lämmitysjärjestelmän kuvaus | Maalämpöpumppu NIBE F1255-12 / Maalämpöpumppu NIBE F1255-12 |
| Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus | Vallox 110 MV (25-100 L/s) |

| Käytettävä energiamuoto | Vakioidulla käytöllä laskettu ostoenergia | | Energiamuodon kerroin | Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus |
|---|---|---|---|---|
| | kWh/vuosi | kWh/(m² vuosi) | | kWhE/(m² vuosi) |
| Sähkö | 8602 | 55 | 1.20 | 65.5 |
| Sähkön kulutukseen sisältyvä valaistus- ja kuluttajalaitesähkö | 3313 | 21.0 | | |
| Energiatehokkuuden vertailuluku (E-luku) | | | | 66 |

### Rakennuksen energiatehokkuusluokka

| | | | |
|---|---|---|---|
| Käytetty E-luvun luokitteluasteikko | Erilliset pientalot | | |
| Luokkien rajat asteikolla | A: ...79 | B: 80 ... 124 | C: 125 ... 161 |
| | D: 162 ... 241 | E: 242 ... 371 | F: 372 ... 441 |
| | G: 442 ... | | |
| Tämän rakennuksen energiatehokkuusluokka | A | | |

E-luku perustuu rakennuksen laskennallisiin kulutuksiin ja energiamuotojen kertoimiin. Kulutus on laskettu vakioidulla käytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden, jolloin eri rakennusten E-luvut ovat keskenään vertailukelpoisia. Vakioidusta käytöstä johtuen E-luku ei sovellu yksittäisen rakennuksen toteutuneen ja laskennallisen kulutuksen vertailuun.E-lukuun sisältyy rakennuksen lämmitys-, ilmanvaihto-, jäähdytysjärjestelmien sekä kuluttajalaitteiden ja valaistuksen energiakulutus. Rakennuksen ulkopuoliset kulutukset kuten autolämmityspistokkeet, sulanapitolämmitykset ja ulkovalot eivät sisälly E-lukuun.

## TOIMENPIDE-EHDOTUKSIA E-LUVUN PARANTAMISEKSI

### Keskeiset suositukset rakennuksen E-lukua parantaviksi toimenpiteiksi (ei koske uusia rakennuksia)

Suositukset on esitetty yksityiskohtaisemmin sivuilla 6 ja 7, kohdassa "Toimenpide-ehdotukset E-luvun parantamiseksi".

## E-LUVUN LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT

### Rakennuskohde

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Rakennuksen käyttötarkoitusluokka | Pientalo (Erilliset pientalot) | | | |
| Rakennuksen valmistumisvuosi | - | Lämmitetty nettoala | 157.6 | m² |

### Rakennusvaippa

Ilmanvuotoluku q50 2.0 m³/(h m²)

| | A<br>m² | U<br>W/(m²K) | UxA<br>W/K | Osuus lämpöhäviöstä<br>% |
|---|---|---|---|---|
| Ulkoseinät | 153.30 | 0.17 | 26.06 | 23.63 |
| Yläpohja | 88.70 | 0.09 | 7.98 | 7.24 |
| Alapohja | 88.70 | 0.12 | 10.64 | 9.65 |
| Ikkunat | 44.56 | 0.80 | 35.65 | 32.32 |
| Ulko-ovet | 14.25 | 0.80 | 11.40 | 10.34 |
| Kylmäsillat | - | - | 18.56 | 16.83 |

### Ikkunat ilmansuunnittain

| | A<br>m² | U<br>W/(m²K) | $g_{kohtisuora}$-arvo<br>- |
|---|---|---|---|
| Pohjoinen | 13.83 | 0.80 | 0.64 |
| Itä | 6.26 | 0.80 | 0.64 |
| Etelä | 8.03 | 0.80 | 0.64 |
| Länsi | 16.44 | 0.80 | 0.64 |
| Koillinen | - | - | - |
| Kaakko | - | - | - |
| Lounas | | | |
| Luode | | | |

### Ilmanvaihtojärjestelmä

Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus: Vallox 110 MV (25-100 L/s)

| | Ilmavirta tulo/poisto<br>(m³/s) / (m³/s) | Järjestelmän SFP-luku<br>kW/(m³/s) | LTO:n lämpötilasuhde<br>- | Jäätymisenesto<br>C |
|---|---|---|---|---|
| Pääilmanvaihtokoneet | 0.063 / 0.063 | 1.33 | 80 | -4.70 |
| Erillispoistot | | | - | |
| Ilmanvaihtojärjestelmä | 0.063 / 0.063 | 1.33 | - | |

Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän LTO:n vuosihyötysuhde: 75.2 %

### Lämmitysjärjestelmä

Lämmitysjärjestelmän kuvaus: Maalämpöpumppu NIBE F1255-12 / Maalämpöpumppu NIBE F1255-12

| | Tuoton hyötysuhde<br>- | Jaon ja luovutuksen hyötysuhde<br>- | Lämpökerroin (1) | Apulaitteiden sähkönkäyttö (2)<br>kWh/(m²vuosi) |
|---|---|---|---|---|
| Tilojen ja iv:n lämmitys | | 82 % | 5.09 | 2.50 |
| LKV:n valmistus | | 92 % | 3.30 | 0.00 |

(1) vuoden keskimääräinen lämpökerroin lämpöpumpulle

(2) lämpöpumppujärjestelmissä voi sisältyä lämpöpumpun vuoden keskimääräiseen lämpökertoimeen

| | Määrä<br>kpl | Tuotto<br>kWh |
|---|---|---|
| Varaava tulisija | | |
| Ilmalämpöpumppu | | |

### Jäähdytysjärjestelmä

| | Jäähdytyskauden painotettu kylmäkerroin<br>- |
|---|---|
| Jäähdytysjärjestelmä | |

### Lämmin käyttövesi

| | Ominaiskulutus<br>dm³/(m²vuosi) | Lämmitysenergian nettotarve<br>kWh/(m²vuosi) |
|---|---|---|
| Lämmin käyttövesi | 457.00 | 27 |

### Sisäiset lämpökuormat eri käyttöasteilla

| | Käyttöaste<br>- | Henkilöt<br>W/m² | Kuluttajalaitteet<br>W/m² | Valaistus<br>W/m² |
|---|---|---|---|---|
| Henkilöt ja kuluttajalaitteet | 60 % | 2.00 | 3.00 | |
| Valaistus | 10 % | | | 6.00 |

## E-LUVUN LASKENNAN TULOKSET

### Rakennuskohde

| | |
|---|---|
| Rakennuksen käyttötarkoitusluokka | Pientalo (Erilliset pientalot) |
| Rakennuksen valmistumisvuosi | - |
| Lämmitetty nettoala, m² | 157.6 |
| **E-luku, kWhE/(m²vuosi)** | 66 (< raja=110) |

### E-luvun erittely

| **Käytettävät energiamuodot** | **Vakioidulla käytöllä Laskettu ostoenergia** kWh/vuosi | **Energiamuodon Kerroin** - | **Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus** kWhE/vuosi | kWhE/(m²vuosi) |
|---|---|---|---|---|
| Sähkö | 8602 | 1.20 | **10322** | **65.5** |
| **YHTEENSÄ** | **8602** | | **10322** | **65.5** |

### Rakennuksen ympäristössä olevasta energiasta otettu energia, hyödynnetty osuus (kuukausitason erittely lisätiedoissa)

| | kWh/vuosi | kWh/(m²vuosi) |
|---|---|---|
| Maalämpö | 11234 | 71.28 |

### Rakennuksen teknisten järjestelmien energiakulutus

| | **Sähkö** kWh/(m²vuosi) | **Lämpö** kWh/(m²vuosi) | **Kaukojäähdytys** kWh/(m²vuosi) |
|---|---|---|---|
| Lämmitysjärjestelmä | | | |
| Tilojen lämmitys (1) | 2.5 | 58.4 | |
| Tuloilman lämmitys | 4.3 | | |
| Lämpimän käyttöveden valmistus | | 35.0 | |
| Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus | 4.7 | | |
| Jäähdytysjärjestelmä | | | |
| Kuluttajalaitteet ja valaistus | 21.0 | | |
| **YHTEENSÄ** | **32.5** | **93.4** | **0** |

(1) Ilmanvaihdon tuloilman lämpeneminen tilassa ja korvausilman lämmitys kuuluu tilojen lämmitykseen

### Energian nettotarve

| | kWh/vuosi | kWh/(m²vuosi) |
|---|---|---|
| Tilojen lämmitys (2) | 7560 | 48 |
| Ilmanvaihdon lämmitys (3) | 682 | 4 |
| Lämpimän käyttöveden valmistus | 4200 | 27 |
| Jäähdytys | 0 | 0 |

(2) sisältää vuotoilman, korvausilman ja tuloilman lämpenemisen tilassa

(3) laskettu lämmöntalteenoton kanssa

### Lämpökuormat

| | kWh/vuosi | kWh/(m²vuosi) |
|---|---|---|
| Aurinko | 10148 | 64.39 |
| Ihmiset | 1657 | 10.51 |
| Kuluttajalaitteet | 2485 | 15.77 |
| Valaistus | 828 | 5.25 |
| Lämpimän käyttöveden kierrosta ja varastoinnin häviöstä | 475 | 3.01 |

### Laskentatyökalun nimi ja versionumero

| | |
|---|---|
| Laskentatyökalun nimi ja versionumero | **www.laskentapalvelut.fi, versio 1.4 (24.1.2018)** |

# ENERGIASELVITYS

2018 säädöksien mukaisesti

**Kohde:** Vertailukohde 2 **(puu-ranka)**

**Osoite:** -

-

**Käyttöveden lämmitysjärjestelmän kuvaus:**

**Maalämpöpumppu NIBE F1255-12**

**Tilojen lämmitysjärjestelmän kuvaus:**

**Maalämpöpumppu NIBE F1255-12**

**Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus:**

**Vallox 110 MV (25-100 L/s)**

**Maalämpöpumpun kuvaus:**

**NIBE F1255-12**

| Selvityksen antaja: | Selvityksen tilaaja: |
|---|---|
| -<br>-<br><br>Allekirjoitus: | -<br>- |
| Selvityksen antamispäivä:<br>**29.03.2019** | |

## ENERGIASELVITYKSEN PÄÄTIEDOT (2018 säädöksien mukaisesti)

### Rakennuskohde

| | | |
|---|---|---|
| Osoite | -, - | |
| Rakennuksen käyttötarkoitus | Pientalo | |
| Rakennusvuosi | - | |
| Lämmitetty nettoala | 157.6 | m² |

### Rakennuksen kokonaisenergian kulutus (E-luku)

| | Ostoenergia kWh/(m² a) | E-luku kWh/(m² a) |
|---|---|---|
| Tilojen lämmitys (2) | 13.67 | 16.41 |
| Ilmanvaihdon lämmitys (3) | 4.33 | 5.19 |
| Lämmin käyttövesi | 10.60 | 12.73 |
| Sähkölaitteet | 25.68 | 30.82 |
| Jäähdytys | 0.00 | 0.00 |
| **Yhteensä** | **54.29** | **65.15** |

(2) sisältää vuotoilman, korvausilman ja tuloilman lämpenemisen tilassa.

(3) jälkilämmityspatteri, laskettu lämmöntalteenoton kanssa.

| | | |
|---|---|---|
| E-luku | 66 | kWh/(m² a) |
| E-luvun vaatimustaso (mahdolliset helpotukset huomioiden) | 110 | kWh/(m² a) |

### Todellinen ostoenergia

| | kWh/a | kWh/(m² a) |
|---|---|---|
| Tilojen lämmitys | 2309 | 14.65 |
| Ilmanvaihdon lämmitys | 771 | 4.89 |
| Lämmin käyttövesi | 1671 | 10.60 |
| Sähkölaitteet | 4187 | 26.57 |
| Jäähdytys | 0 | 0.00 |
| **Yhteensä** | **8937** | **56.71** |

Laskettu sijaintipaikkakunnan vyöhykkeen mukaisilla säätiedoilla.

( E-luku laskennassa käytetty vyöhykettä I)

### Energialaskennan lähtötiedot ja tulokset

2018 säädöksien mukaisesti erillisessä liitteessä.

### Kesäaikainen huonelämpötila ja tarvittaessa jäähdytysteho

2018 säädöksien mukaisesti.

(muille kuin pientaloille erillisen laskelman mukaan)

### Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuus

2018 säädöksien mukaisesti erillisessä liittessä.

### Rakennuksen lämmitysteho mitoitustilanteessa

| | kW | W/m² |
|---|---|---|
| Tilojen lämmitys | 5.96 | 38 |
| Ilmanvaihdon lämmitys (jälkilämmityspatteri) | 1.71 | 11 |
| Lämmin käyttövesi | 75.60 | 480 |
| Jäähdytys | 0.00 | 0 |
| Rakennuksen lämmitystehontarve | 92.52 | 587 |

Laskettu sijaintipaikkakunnan vyöhykkeen mukaisilla mitoitusarvoilla.

Lämpimän käyttöveden tehontarve hetkellisen mitoitusvirtaaman mukaan.

### Rakennuksen energiatodistus

Energiatodistusasetuksen 2018 mukaisesti erillisessä liitteessä.

E-luokka: A (Energiatodistusasetuksen 2018 mukaisesti)

### Laskentatyökalun nimi ja versionumero

| | |
|---|---|
| Laskentatyökalun nimi ja versionumero | **www.laskentapalvelut.fi, versio 1.4 (24.1.2018)** |

| | |
|---|---|
| **Rakennuskohde**<br>Rakennuslupatunnus | Vertailukohde 2 (puu-ranka), -, - |
| Rakennustyyppi | Pientalo |
| Pääsuunnittelija | - |
| Tasauslaskelman tekijä | -, - |
| Päiväys | 29.03.2019 |
| Tulos: Suunnitteluratkaisu | TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET |

**Rakennuksen laajuustiedot**

| | | |
|---|---|---|
| Rakennustilavuus | 650 | rak-m³ |
| Maanpäälliset kerrostasoalat yhteensä | 184.38 | m² |
| Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat | 157.6 | m² |
| Lämmitetty nettoala, puolilämpimät tilat | 0 | m² |
| Rakennusluokka (1-9) | 1 | |
| Rakennuksen kerrosmäärä | 2 | kerrosta |

**Laskentatuloksia**

- Julkisivujen pinta-ala on 212 m2
- Ikkunapinta-ala on 24 % maanpäällisestä kerrostasoalasta
- Ikkunapinta-ala on 21 % julkisivujen pinta-alasta
- Lämpöhäviö on 88 % vertailutasosta (lämpimät tilat)

**Perustiedot**

| RAKENNUSOSAT | Pinta-alat, m² [A] | | U-arvot, W/(m² K) [U] | | | Lämpöhäviöiden tasaus Ominaislämpöhäviö, W/K [Hjoht = A*U] | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Vertailu-arvo | Suunnittelu-arvo | Vertailu-arvo | | Suunnittelu-arvo | Vertailu-ratkaisu | Suunnittelu-ratkaisu |
| *Lämpimät tilat* | | | | | | | |
| Ulkoseinä | 170.20 | 153.30 | 0.17 | | 0.17 | 28.93 | 26.06 |
| Massiivipuuseinä 1) | 0.00 | 0.00 | 0.40 | | 0.40 | 0.00 | 0.00 |
| Yläpohja | 88.70 | 88.70 | 0.09 | | 0.09 | 7.98 | 7.98 |
| Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva) | 0.00 | | 0.09 | | 0.09 | 0.00 | 0.00 |
| Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) | 0.00 | | 0.17 | | 0.16 | 0.00 | 0.00 |
| Alapohja (maanvastainen) | 88.70 | | 0.16 | | 0.12 | 14.19 | 10.64 |
| Muu maanvastainen rakennusosa | 0.00 | | 0.16 | | 0.16 | 0.00 | 0.00 |
| Ikkunat | 27.66 | 44.56 | 1.00 | | 0.80 | 27.66 | 35.65 |
| Ulko-ovet ja tuuletusluukut 2) | 14.25 | | 1.00 | | 0.80 | 14.25 | 11.40 |
| Kattoikkunat / -kuvut | 0.00 | 0.00 | 1.00 | | 1.00 | 0.00 | 0.00 |
| **Lämpimät tilat yhteensä** | 389.51 | 389.51 | | | | 93.02 | 91.74 |
| *Puolilämpimät tilat tai määräaikaiset rakennukset* | | | | | | | |
| Ulkoseinät | | | 0.26 | | | | |
| Massiivipuuseinä 1) | | | 0.60 | | | | |
| Yläpohja | | | 0.14 | | | | |
| Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva) | | | 0.14 | | | | |
| Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) | | | 0.26 | | | | |
| Alapohja (maanvastainen) | | | 0.24 | | | | |
| Muu maanvastainen rakennusosa | | | 0.24 | | | | |
| Ikkunat | | | 1.40 | | | | |
| Ulko-ovet ja tuuletusluukut 2) | | | 1.40 | | | | |
| Kattoikkunat / -kuvut | | | 1.40 | | | | |
| **Puolilämpimät tilat yhteensä** | | | | | | | |

| VAIPAN ILMAVUODOT | Ilmanvuotoluku m³/(h m²) [q50] | | Vuotoilmavirta, m³/s [qv,v = q50/24 x A/3600 | | Ominaislämpöhäviö, W/K [H vuotoilma = 1200* q v,v] | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Vuotoilma** | Vertailu-arvo | Suunnittelu-arvo | Vertailu-arvo | Suunnittelu-arvo | Vertailu-ratkaisu | Suunnittelu-ratkaisu |
| Lämpimät tilat | 2.0 | 2.00 | 0.0090 | 0.0090 | 10.82 | 10.82 |
| Puolilämpimät tilat | 2.0 | | | | | |

| ILMANVAIHTO | Poistoilmavirta, m³/s [q v, p] | | LTO:n vuosihyötysuhde, % [na] | | Ominaislämpöhäviö, W/K [Hiv = 1200* q v,p * (1-na)] | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Hallittu ilmanvaihto** | Vertailu-arvo | Suunnittelu-arvo | Vertailu-arvo | Suunnittelu-arvo | Vertailu-ratkaisu | Suunnittelu-ratkaisu |
| Lämpimät tilat | 0.063 | | 55 | 75.20 | 34.02 | 18.75 |
| Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta 3) | | | 0 | | 0.00 | 0.00 |
| Puolilämpimät tilat | | | 55 | | | |
| Puolilämpimät tilat,ei LTO-vaatimusta | | | 0 | | | |

| Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus | Ominaislämpöhäviö, W/K [H = H joht + H vuotoilma + Hiv] Vertailu-ratkaisu | Suunnittelu-ratkaisu |
|---|---|---|
| **Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä** | 137.86 | 121.30 |
| **Puolilämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä** | | |

| | | |
|---|---|---|
| **Rakennuskohde** | Vertailukohde 2 | (puu-ranka), -, - |
| **Rakennuslupatunnus** | | |

## Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista

### Pinta-alat

| | kyllä | ei |
|---|---|---|
| Vertailuikkunapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasoaloista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivujen pinta-alasta | x | |

Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala sama molemmissa ratkaisuissa

| | | |
|---|---|---|
| - lämpimissä tiloissa | x | |
| - Puolilämpimissä tiloissa | x | |

### Rakennusvaipan ilmanpitävyys

| Rakennusvaipan ilmanvuotoluvun q50 suunnitteluarvo on enintään enimmäisarvon suuruinen | kyllä | ei | Enimmäisarvo | Suunnitteluarvo |
|---|---|---|---|---|
| - lämpimissä tiloissa | x | | 4.00 | 2.00 |
| - puolilämpimissä tiloissa | x | | 4.00 | 2.00 |

### Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus

| Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen | kyllä | ei | Vertailuarvo | Suunnitteluarvo |
|---|---|---|---|---|
| - lämpimissä tiloissa | x | | 137.86 W/K | 121.30 W/K |
| - puolilämpimissä tiloissa | x | | 0.00 W/K | 0.00 W/K |

### Tarkistuslistan yhteenveto

| | kyllä | ei |
|---|---|---|
| **Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimukset** | x | |

### Lisätietoja

**Rakennuksen ilmanpitävyys**

Rakennuksen suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa käytetään rakennusvaipan ilmanvuotoluvun q50 suunnitteluarvoa.
Rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku q50 saa olla enintään 4.0 m3/(h m2), mutta ilmanvuotoluku voi ylittää tämän arvon,
jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut huonontavat merkittävästi ilmanpitävyyttä.
suunnitteluarvona rakennusvaipan ilmanvuotoluvun vertailuarvoa.
Jos ilmanpitävyyttä ei tulla osoittamaan mittaamalla tai teollisen talonrakennuksen laadunvarmistusmenettelyllä,
rakennusvaipan ilmanvuotolukuna tulee käyttää arvoa 4.0 m3/(h m2).

**Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) hyötysuhde**

Ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään käyttäen lämmöntalteenottolaitteen ominaisuuksia
ja ilmanvaihtokoneen suunniteltuja ilmavirtoja sekä asetuksen liitteessä 1 säädetyn säävyöhykkeen 1 säätietoja. Kahden
tai useamman ilmanvaihtokoneen poistoilman vuosihyötysuhde määritetään suunniteltujen ilmavirtojen ja käyntiaikojen
painotettuna vuosihyötysuhteena. Rakennuksen suunnitteluratkaisun ilmanvaihdon lämpöhäviö lasketaan käyttäen näin määritettyä
poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta ja asetuksen 26 pykälän mukaisia ilmavirtojen arvoja ja käyntiaikoja.

**Huomautus**

Tässä lomakkeessa esitetyt lämpöhäviövaatimukset koskevat rakennuksia, joiden kerrosala on 50 m2 tai enemmän.

1) Massiivipuuseinä, jonka keskimääräinen paksuus on vähintään 180 mm.
2) Ulko-oviin ja tuuletusluukkuihin sisältyvät myös savunpoisto-, uloskäynti- ja huoltoluukut sekä muut vastaavat luukut.
3) LTO-vaatimusta ei ole, jos poistoilman likaisuus estää lämmöntalteenoton toiminnan, tilan lämpötila lämmityskaudella on alle +10 celsiusastetta eikä poistoilmasta ole saatavissa lämpöä talteen kustannustehokkaasti tai jos ilmanvaihtojärjestelmän toiminta perustuu pääasiassa korkeus- ja lämpötilaerojen sekä tuulen aiheuttamiin paine-eroihin.

# ENERGIATODISTUS 2018

**LUONNOSVERSIO - virallinen todistus ARA:n valvontajärjestelmästä**

**Rakennuksen nimi ja osoite:** Vertailukohde 2 **(puu-ranka)**
-
-
**Pysyvä rakennustunnus:** -
**Rakennuksen valmistumisvuosi:** -
**Rakennuksen käyttötarkoitusluokka:**
**Pientalo**
**Todistustunnus:** -

**Energiatodistus on laadittu:**
**Uudelle rakennukselle rakennuslupaa haettaessa**

| | Energiatehokkuusluokka |
|---|---|
| A | A 2018 |
| B | |
| C | |
| D | |
| E | |
| F | |
| G | |
| | |

| | kWh $_E$/m²vuosi |
|---|---|
| Rakennuksen laskennallinen energiatehokkuuden vertailuluku eli E-luku | 66 |
| Uuden rakennuksen E-luvun vaatimus | 110 |

(Huom! Ylläoleva on 2018 säädöksien vaatimustaso mahdolliset helpotukset huomioiden)

**Todistuksen laatija:**
-

**Sähköinen allekirjoitus:**

**Yritys:**
-
-
-

**Todistuksen laatimispäivä:**
**29.03.2019**

**Viimeinen voimassaolopäivä:**
**?**

Huom! Todistuksessa esitettyjä lukuja/laskentatuloksia ei tule käyttää Lämpöpumppujen/lämmitysjärjestelmän valintaan.

## YHTEENVETO RAKENNUKSEN ENERGIATEHOKKUUDESTA

### Laskennallinen ostoenergiankulutus ja energiatehokkuuden vertailuluku (E-luku)

| | |
|---|---|
| Lämmitetty nettoala, m² | 157.6 |
| Lämmitysjärjestelmän kuvaus | Maalämpöpumppu NIBE F1255-12 / Maalämpöpumppu NIBE F1255-12 |
| Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus | Vallox 110 MV (25-100 L/s) |

| Käytettävä energiamuoto | Vakioidulla käytöllä laskettu ostoenergia | | Energiamuodon kerroin | Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus |
|---|---|---|---|---|
| | kWh/vuosi | kWh/(m² vuosi) | | kWhE/(m² vuosi) |
| Sähkö | 8556 | 54 | 1.20 | 65.1 |
| Sähkön kulutukseen sisältyvä valaistus- ja kuluttajalaitesähkö | 3313 | 21.0 | | |
| Energiatehokkuuden vertailuluku (E-luku) | | | | 66 |

### Rakennuksen energiatehokkuusluokka

| | | | |
|---|---|---|---|
| Käytetty E-luvun luokitteluasteikko | Erilliset pientalot | | |
| Luokkien rajat asteikolla | A: ...79 | B: 80 ... 124 | C: 125 ... 161 |
| | D: 162 ... 241 | E: 242 ... 371 | F: 372 ... 441 |
| | G: 442 ... | | |
| Tämän rakennuksen energiatehokkuusluokka | A | | |

E-luku perustuu rakennuksen laskennallisiin kulutuksiin ja energiamuotojen kertoimiin. Kulutus on laskettu vakioidulla käytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden, jolloin eri rakennusten E-luvut ovat keskenään vertailukelpoisia. Vakioidusta käytöstä johtuen E-luku ei sovellu yksittäisen rakennuksen toteutuneen ja laskennallisen kulutuksen vertailuun.E-lukuun sisältyy rakennuksen lämmitys-, ilmanvaihto-, jäähdytysjärjestelmien sekä kuluttajalaitteiden ja valaistuksen energiakulutus. Rakennuksen ulkopuoliset kulutukset kuten autolämmityspistokkeet, sulanapitolämmitykset ja ulkovalot eivät sisälly E-lukuun.

## TOIMENPIDE-EHDOTUKSIA E-LUVUN PARANTAMISEKSI

### Keskeiset suositukset rakennuksen E-lukua parantaviksi toimenpiteiksi (ei koske uusia rakennuksia)

Suositukset on esitetty yksityiskohtaisemmin sivuilla 6 ja 7, kohdassa "Toimenpide-ehdotukset E-luvun parantamiseksi".

# E-LUVUN LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT

## Rakennuskohde

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Rakennuksen käyttötarkoitusluokka | Pientalo (Erilliset pientalot) | | | |
| Rakennuksen valmistumisvuosi | - | Lämmitetty nettoala | 157.6 | m² |

## Rakennusvaippa

Ilmanvuotoluku q50 2.0 m³/(h m²)

| | A<br>m² | U<br>W/(m²K) | UxA<br>W/K | Osuus lämpöhäviöstä<br>% |
|---|---|---|---|---|
| Ulkoseinät | 153.30 | 0.17 | 26.06 | 24.52 |
| Yläpohja | 88.70 | 0.09 | 7.98 | 7.51 |
| Alapohja | 88.70 | 0.12 | 10.64 | 10.01 |
| Ikkunat | 44.56 | 0.80 | 35.65 | 33.53 |
| Ulko-ovet | 14.25 | 0.80 | 11.40 | 10.72 |
| Kylmäsillat | - | - | 14.57 | 13.70 |

## Ikkunat ilmansuunnittain

| | A<br>m² | U<br>W/(m²K) | $g_{kohtisuora}$-arvo<br>- |
|---|---|---|---|
| Pohjoinen | 13.83 | 0.80 | 0.64 |
| Itä | 6.26 | 0.80 | 0.64 |
| Etelä | 8.03 | 0.80 | 0.64 |
| Länsi | 16.44 | 0.80 | 0.64 |
| Koillinen | - | - | - |
| Kaakko | - | - | - |
| Lounas | | | |
| Luode | | | |

## Ilmanvaihtojärjestelmä

Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus: Vallox 110 MV (25-100 L/s)

| | Ilmavirta tulo/poisto<br>(m³/s) / (m³/s) | Järjestelmän SFP-luku<br>kW/(m³/s) | LTO:n lämpötilasuhde<br>- | Jäätymisenesto<br>C |
|---|---|---|---|---|
| Pääilmanvaihtokoneet | 0.063 / 0.063 | 1.33 | 80 | -4.70 |
| Erillispoistot | | | - | |
| Ilmanvaihtojärjestelmä | 0.063 / 0.063 | 1.33 | - | |

Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän LTO:n vuosihyötysuhde: 75.2 %

## Lämmitysjärjestelmä

Lämmitysjärjestelmän kuvaus: Maalämpöpumppu NIBE F1255-12 / Maalämpöpumppu NIBE F1255-12

| | Tuoton hyötysuhde<br>- | Jaon ja luovutuksen hyötysuhde<br>- | Lämpökerroin (1) | Apulaitteiden sähkönkäyttö (2)<br>kWh/(m²vuosi) |
|---|---|---|---|---|
| Tilojen ja iv:n lämmitys | | 82 % | 5.09 | 2.50 |
| LKV:n valmistus | | 92 % | 3.30 | 0.00 |

(1) vuoden keskimääräinen lämpökerroin lämpöpumpulle

(2) lämpöpumppujärjestelmissä voi sisältyä lämpöpumpun vuoden keskimääräiseen lämpökertoimeen

| | Määrä<br>kpl | Tuotto<br>kWh |
|---|---|---|
| Varaava tulisija | | |
| Ilmalämpöpumppu | | |

## Jäähdytysjärjestelmä

| | Jäähdytyskauden painotettu kylmäkerroin<br>- |
|---|---|
| Jäähdytysjärjestelmä | |

## Lämmin käyttövesi

| | Ominaiskulutus<br>dm³/(m²vuosi) | Lämmitysenergian nettotarve<br>kWh/(m²vuosi) |
|---|---|---|
| Lämmin käyttövesi | 457.00 | 27 |

## Sisäiset lämpökuormat eri käyttöasteilla

| | Käyttöaste<br>- | Henkilöt<br>W/m² | Kuluttajalaitteet<br>W/m² | Valaistus<br>W/m² |
|---|---|---|---|---|
| Henkilöt ja kuluttajalaitteet | 60 % | 2.00 | 3.00 | |
| Valaistus | 10 % | | | 6.00 |

## E-LUVUN LASKENNAN TULOKSET

### Rakennuskohde

| | |
|---|---|
| Rakennuksen käyttötarkoitusluokka | Pientalo (Erilliset pientalot) |
| Rakennuksen valmistumisvuosi | - |
| Lämmitetty nettoala, m² | 157.6 |
| **E-luku, kWhE/(m²vuosi)** | 66 (< raja=110) |

### E-luvun erittely

| **Käytettävät energiamuodot** | **Vakioidulla käytöllä Laskettu ostoenergia** kWh/vuosi | **Energiamuodon Kerroin** - | **Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus** kWhE/vuosi | kWhE/(m²vuosi) |
|---|---|---|---|---|
| Sähkö | 8556 | 1.20 | **10267** | **65.1** |
| **YHTEENSÄ** | **8556** | | **10267** | **65.1** |

### Rakennuksen ympäristössä olevasta energiasta otettu energia, hyödynnetty osuus (kuukausitason erittely lisätiedoissa)

| | kWh/vuosi | kWh/(m²vuosi) |
|---|---|---|
| Maalämpö | 11045 | 70.08 |

### Rakennuksen teknisten järjestelmien energiakulutus

| | **Sähkö** kWh/(m²vuosi) | **Lämpö** kWh/(m²vuosi) | **Kaukojäähdytys** kWh/(m²vuosi) |
|---|---|---|---|
| Lämmitysjärjestelmä | | | |
| Tilojen lämmitys (1) | 2.5 | 56.9 | |
| Tuloilman lämmitys | 4.3 | | |
| Lämpimän käyttöveden valmistus | | 35.0 | |
| Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus | 4.7 | | |
| Jäähdytysjärjestelmä | | | |
| Kuluttajalaitteet ja valaistus | 21.0 | | |
| **YHTEENSÄ** | **32.5** | **91.9** | **0** |

(1) Ilmanvaihdon tuloilman lämpeneminen tilassa ja korvausilman lämmitys kuuluu tilojen lämmitykseen

### Energian nettotarve

| | kWh/vuosi | kWh/(m²vuosi) |
|---|---|---|
| Tilojen lämmitys (2) | 7367 | 47 |
| Ilmanvaihdon lämmitys (3) | 682 | 4 |
| Lämpimän käyttöveden valmistus | 4200 | 27 |
| Jäähdytys | 0 | 0 |

(2) sisältää vuotoilman, korvausilman ja tuloilman lämpenemisen tilassa

(3) laskettu lämmöntalteenoton kanssa

### Lämpökuormat

| | kWh/vuosi | kWh/(m²vuosi) |
|---|---|---|
| Aurinko | 10148 | 64.39 |
| Ihmiset | 1657 | 10.51 |
| Kuluttajalaitteet | 2485 | 15.77 |
| Valaistus | 828 | 5.25 |
| Lämpimän käyttöveden kierrosta ja varastoinnin häviöstä | 475 | 3.01 |

### Laskentatyökalun nimi ja versionumero

| | |
|---|---|
| Laskentatyökalun nimi ja versionumero | **www.laskentapalvelut.fi, versio 1.4 (24.1.2018)** |

# ENERGIASELVITYS

2018 säädöksien mukaisesti

**Kohde:** Vertailukohde 3, (hirsi + tuulensuoja)

**Osoite:** -

-

**Käyttöveden lämmitysjärjestelmän kuvaus:**

**Maalämpöpumppu NIBE F1255-12**

**Tilojen lämmitysjärjestelmän kuvaus:**

**Maalämpöpumppu NIBE F1255-12**

**Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus:**

**Vallox 110 MV (25-100 L/s)**

**Maalämpöpumpun kuvaus:**

**NIBE F1255-12**

| Selvityksen antaja: | Selvityksen tilaaja: |
|---|---|
| -<br>-<br><br>Allekirjoitus: | -<br>- |
| Selvityksen antamispäivä:<br>**29.3.2019** | |

## ENERGIASELVITYKSEN PÄÄTIEDOT (2018 säädöksien mukaisesti)

### Rakennuskohde

| | | |
|---|---|---|
| Osoite | -, - | |
| Rakennuksen käyttötarkoitus | Pientalo | |
| Rakennusvuosi | - | |
| Lämmitetty nettoala | 157.6 | m² |

### Rakennuksen kokonaisenergian kulutus (E-luku)

| | Ostoenergia kWh/(m² a) | E-luku kWh/(m² a) |
|---|---|---|
| Tilojen lämmitys (2) | 18.32 | 21.99 |
| Ilmanvaihdon lämmitys (3) | 4.33 | 5.19 |
| Lämmin käyttövesi | 10.60 | 12.73 |
| Sähkölaitteet | 25.68 | 30.82 |
| Jäähdytys | 0.00 | 0.00 |
| **Yhteensä** | **58.94** | **70.73** |

(2) sisältää vuotoilman, korvausilman ja tuloilman lämpenemisen tilassa.

(3) jälkilämmityspatteri, laskettu lämmöntalteenoton kanssa.

| | | |
|---|---|---|
| E-luku | 71 | kWh/(m² a) |
| E-luvun vaatimustaso (mahdolliset helpotukset huomioiden) | 126 | kWh/(m² a) |

### Todellinen ostoenergia

| | kWh/a | kWh/(m² a) |
|---|---|---|
| Tilojen lämmitys | 3048 | 19.34 |
| Ilmanvaihdon lämmitys | 771 | 4.89 |
| Lämmin käyttövesi | 1671 | 10.60 |
| Sähkölaitteet | 4187 | 26.57 |
| Jäähdytys | 0 | 0.00 |
| **Yhteensä** | **9678** | **61.41** |

Laskettu sijaintipaikkakunnan vyöhykkeen mukaisilla säätiedoilla.

( E-luku laskennassa käytetty vyöhykettä I)

### Energialaskennan lähtötiedot ja tulokset

2018 säädöksien mukaisesti erillisessä liitteessä.

### Kesäaikainen huonelämpötila ja tarvittaessa jäähdytysteho

2018 säädöksien mukaisesti.

(muille kuin pientaloille erillisen laskelman mukaan)

### Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuus

2018 säädöksien mukaisesti erillisessä liittessä.

### Rakennuksen lämmitysteho mitoitustilanteessa

| | kW | W/m² |
|---|---|---|
| Tilojen lämmitys | 7.45 | 47 |
| Ilmanvaihdon lämmitys (jälkilämmityspatteri) | 1.71 | 11 |
| Lämmin käyttövesi | 75.60 | 480 |
| Jäähdytys | 0.00 | 0 |
| Rakennuksen lämmitystehontarve | 94.17 | 598 |

Laskettu sijaintipaikkakunnan vyöhykkeen mukaisilla mitoitusarvoilla.

Lämpimän käyttöveden tehontarve hetkellisen mitoitusvirtaaman mukaan.

### Rakennuksen energiatodistus

Energiatodistusasetuksen 2018 mukaisesti erillisessä liitteessä.

E-luokka: A (Energiatodistusasetuksen 2018 mukaisesti)

### Laskentatyökalun nimi ja versionumero

| | |
|---|---|
| Laskentatyökalun nimi ja versionumero | **www.laskentapalvelut.fi, versio 1.4 (24.1.2018)** |

| | |
|---|---|
| **Rakennuskohde**<br>Rakennuslupatunnus | Vertailukohde 3, (hirsi + tuulensuoja) |
| Rakennustyyppi | Pientalo |
| Pääsuunnittelija | - |
| Tasauslaskelman tekijä | -, - |
| Päiväys | 29.3.2019 |
| Tulos: Suunnitteluratkaisu | TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET |

**Rakennuksen laajuustiedot**

| | | |
|---|---|---|
| Rakennustilavuus | 650 | rak-m³ |
| Maanpäälliset kerrostasoalat yhteensä | 176.2 | m² |
| Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat | 157.6 | m² |
| Lämmitetty nettoala, puolilämpimät tilat | 0 | m² |
| Rakennusluokka (1-9) | 1 | |
| Rakennuksen kerrosmäärä | 2 | kerrosta |

**Laskentatuloksia**

- Julkisivujen pinta-ala on 212 m2
- Ikkunapinta-ala on 25 % maanpäällisestä kerrostasoalasta
- Ikkunapinta-ala on 21 % julkisivujen pinta-alasta
- Lämpöhäviö on 86 % vertailutasosta (lämpimät tilat)

**Perustiedot**

| RAKENNUSOSAT | Pinta-alat, m² [A] | | U-arvot, W/(m² K) [U] | | | Lämpöhäviöiden tasaus Ominaislämpöhäviö, W/K [Hjoht = A*U] | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Vertailu-arvo | Suunnittelu-arvo | Vertailu-arvo | | Suunnittelu-arvo | Vertailu-ratkaisu | Suunnittelu-ratkaisu |
| *Lämpimät tilat* | | | | | | | |
| Ulkoseinä | 0.00 | 0.00 | 0.17 | | 0.17 | 0.00 | 0.00 |
| Massiivipuuseinä 1) | 171.43 | 153.30 | 0.40 | | 0.37 | 68.57 | 57.20 |
| Yläpohja | 88.70 | 88.70 | 0.09 | | 0.09 | 7.98 | 7.98 |
| Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva) | 0.00 | | 0.09 | | 0.09 | 0.00 | 0.00 |
| Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) | 0.00 | | 0.17 | | 0.16 | 0.00 | 0.00 |
| Alapohja (maanvastainen) | 88.70 | | 0.16 | | 0.12 | 14.19 | 10.64 |
| Muu maanvastainen rakennusosa | 0.00 | | 0.16 | | 0.16 | 0.00 | 0.00 |
| Ikkunat | 26.43 | 44.56 | 1.00 | | 0.80 | 26.43 | 35.65 |
| Ulko-ovet ja tuuletusluukut 2) | 14.25 | | 1.00 | | 0.80 | 14.25 | 11.40 |
| Kattoikkunat / -kuvut | 0.00 | 0.00 | 1.00 | | 1.00 | 0.00 | 0.00 |
| **Lämpimät tilat yhteensä** | 389.51 | 389.51 | | | | 131.43 | 122.87 |
| *Puolilämpimät tilat tai määräaikaiset rakennukset* | | | | | | | |
| Ulkoseinät | | | 0.26 | | | | |
| Massiivipuuseinä 1) | | | 0.60 | | | | |
| Yläpohja | | | 0.14 | | | | |
| Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva) | | | 0.14 | | | | |
| Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) | | | 0.26 | | | | |
| Alapohja (maanvastainen) | | | 0.24 | | | | |
| Muu maanvastainen rakennusosa | | | 0.24 | | | | |
| Ikkunat | | | 1.40 | | | | |
| Ulko-ovet ja tuuletusluukut 2) | | | 1.40 | | | | |
| Kattoikkunat / -kuvut | | | 1.40 | | | | |
| **Puolilämpimät tilat yhteensä** | | | | | | | |

| VAIPAN ILMAVUODOT | Ilmanvuotoluku m³/(h m²) [q50] | | Vuotoilmavirta, m³/s [qv,v = q50/24 x A/3600 | | Ominaislämpöhäviö, W/K [H vuotoilma = 1200* q v,v] | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Vuotoilma** | Vertailu-arvo | Suunnittelu-arvo | Vertailu-arvo | Suunnittelu-arvo | Vertailu-ratkaisu | Suunnittelu-ratkaisu |
| Lämpimät tilat | 2.0 | 2.00 | 0.0090 | 0.0090 | 10.82 | 10.82 |
| Puolilämpimät tilat | 2.0 | | | | | |

| ILMANVAIHTO | Poistoilmavirta, m³/s [q v, p] | | LTO:n vuosihyötysuhde, % [na] | | Ominaislämpöhäviö, W/K [Hiv = 1200* q v,p * (1-na)] | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Hallittu ilmanvaihto** | Vertailu-arvo | Suunnittelu-arvo | Vertailu-arvo | Suunnittelu-arvo | Vertailu-ratkaisu | Suunnittelu-ratkaisu |
| Lämpimät tilat | 0.063 | | 55 | 75.20 | 34.02 | 18.75 |
| Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta 3) | | | 0 | | 0.00 | 0.00 |
| Puolilämpimät tilat | | | 55 | | | |
| Puolilämpimät tilat,ei LTO-vaatimusta | | | 0 | | | |

| Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus | Ominaislämpöhäviö, W/K [H = H joht + H vuotoilma + Hiv] Vertailu-ratkaisu | Suunnittelu-ratkaisu |
|---|---|---|
| **Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä** | 176.27 | 152.44 |
| **Puolilämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä** | | |

| | |
|---|---|
| **Rakennuskohde** | Vertailukohde 3, (hirsi + tuulensuoja) |
| **Rakennuslupatunnus** | |

## Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista

### Pinta-alat

| | kyllä | ei |
|---|---|---|
| Vertailuikkunapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasoaloista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivujen pinta-alasta | x | |

Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala sama molemmissa ratkaisuissa

| | | |
|---|---|---|
| - lämpimissä tiloissa | x | |
| - Puolilämpimissä tiloissa | x | |

### Rakennusvaipan ilmanpitävyys

| Rakennusvaipan ilmanvuotoluvun q50 suunnitteluarvo on enintään enimmäisarvon suuruinen | kyllä | ei | Enimmäisarvo | Suunnitteluarvo |
|---|---|---|---|---|
| - lämpimissä tiloissa | x | | 4.00 | 2.00 |
| - puolilämpimissä tiloissa | x | | 4.00 | 2.00 |

### Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus

| Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen | kyllä | ei | Vertailuarvo | Suunnitteluarvo |
|---|---|---|---|---|
| - lämpimissä tiloissa | x | | 176.27 W/K | 152.44 W/K |
| - puolilämpimissä tiloissa | x | | 0.00 W/K | 0.00 W/K |

### Tarkistuslistan yhteenveto

| | kyllä | ei |
|---|---|---|
| **Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimukset** | x | |

### Lisätietoja

**Rakennuksen ilmanpitävyys**

Rakennuksen suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa käytetään rakennusvaipan ilmanvuotoluvun q50 suunnitteluarvoa.
Rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku q50 saa olla enintään 4.0 m3/(h m2), mutta ilmanvuotoluku voi ylittää tämän arvon,
jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut huonontavat merkittävästi ilmanpitävyyttä.
suunnitteluarvona rakennusvaipan ilmanvuotoluvun vertailuarvoa.
Jos ilmanpitävyyttä ei tulla osoittamaan mittaamalla tai teollisen talonrakennuksen laadunvarmistusmenettelyllä,
rakennusvaipan ilmanvuotolukuna tulee käyttää arvoa 4.0 m3/(h m2).

**Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) hyötysuhde**

Ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään käyttäen lämmöntalteenottolaitteen ominaisuuksia
ja ilmanvaihtokoneen suunniteltuja ilmavirtoja sekä asetuksen liitteessä 1 säädetyn säävyöhykkeen 1 säätietoja. Kahden
tai useamman ilmanvaihtokoneen poistoilman vuosihyötysuhde määritetään suunniteltujen ilmavirtojen ja käyntiaikojen
painotettuna vuosihyötysuhteena. Rakennuksen suunnitteluratkaisun ilmanvaihdon lämpöhäviö lasketaan käyttäen näin määritettyä
poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta ja asetuksen 26 pykälän mukaisia ilmavirtojen arvoja ja käyntiaikoja.

**Huomautus**

Tässä lomakkeessa esitetyt lämpöhäviövaatimukset koskevat rakennuksia, joiden kerrosala on 50 m2 tai enemmän.

1) Massiivipuuseinä, jonka keskimääräinen paksuus on vähintään 180 mm.
2) Ulko-oviin ja tuuletusluukkuihin sisältyvät myös savunpoisto-, uloskäynti- ja huoltoluukut sekä muut vastaavat luukut.
3) LTO-vaatimusta ei ole, jos poistoilman likaisuus estää lämmöntalteenoton toiminnan, tilan lämpötila lämmityskaudella on alle +10 celsiusastetta eikä poistoilmasta ole saatavissa lämpöä talteen kustannustehokkaasti tai jos ilmanvaihtojärjestelmän toiminta perustuu pääasiassa korkeus- ja lämpötilaerojen sekä tuulen aiheuttamiin paine-eroihin.

# ENERGIATODISTUS 2018

**LUONNOSVERSIO - virallinen todistus ARA:n valvontajärjestelmästä**

**Rakennuksen nimi ja osoite:** Vertailukohde 3, (hirsi + tuulensuoja)
-
-
**Pysyvä rakennustunnus:** -
**Rakennuksen valmistumisvuosi:** -
**Rakennuksen käyttötarkoitusluokka:**
**Pientalo**
**Todistustunnus:** -

**Energiatodistus on laadittu:**
**Uudelle rakennukselle rakennuslupaa haettaessa**

| | Energiatehokkuusluokka |
|---|---|
| A | A 2018 |
| B | |
| C | |
| D | |
| E | |
| F | |
| G | |
| | |

| | kWh $_E$/m²vuosi |
|---|---|
| Rakennuksen laskennallinen energiatehokkuuden vertailuluku eli E-luku | 71 |
| Uuden rakennuksen E-luvun vaatimus | 126 |

(Huom! Ylläoleva on 2018 säädöksien vaatimustaso mahdolliset helpotukset huomioiden)

**Todistuksen laatija:**
-

**Sähköinen allekirjoitus:**

**Yritys:**
-
-
-

**Todistuksen laatimispäivä:**
**29.3.2019**

**Viimeinen voimassaolopäivä:**

Huom! Todistuksessa esitettyjä lukuja/laskentatuloksia ei tule käyttää Lämpöpumppujen/lämmitysjärjestelmän valintaan.

## YHTEENVETO RAKENNUKSEN ENERGIATEHOKKUUDESTA

### Laskennallinen ostoenergiankulutus ja energiatehokkuuden vertailuluku (E-luku)

| | |
|---|---|
| Lämmitetty nettoala, m² | 157.6 |
| Lämmitysjärjestelmän kuvaus | Maalämpöpumppu NIBE F1255-12 / Maalämpöpumppu NIBE F1255-12 |
| Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus | Vallox 110 MV (25-100 L/s) |

| Käytettävä energiamuoto | Vakioidulla käytöllä laskettu ostoenergia | | Energiamuodon kerroin | Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus |
|---|---|---|---|---|
| | kWh/vuosi | kWh/(m² vuosi) | | kWhE/(m² vuosi) |
| Sähkö | 9289 | 59 | 1.20 | 70.7 |
| Sähkön kulutukseen sisältyvä valaistus- ja kuluttajalaitesähkö | 3313 | 21.0 | | |
| Energiatehokkuuden vertailuluku (E-luku) | | | | 71 |

### Rakennuksen energiatehokkuusluokka

| | | | |
|---|---|---|---|
| Käytetty E-luvun luokitteluasteikko | Erilliset pientalot | | |
| Luokkien rajat asteikolla | A: ...79 | B: 80 ... 124 | C: 125 ... 161 |
| | D: 162 ... 241 | E: 242 ... 371 | F: 372 ... 441 |
| | G: 442 ... | | |
| Tämän rakennuksen energiatehokkuusluokka | A | | |

E-luku perustuu rakennuksen laskennallisiin kulutuksiin ja energiamuotojen kertoimiin. Kulutus on laskettu vakioidulla käytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden, jolloin eri rakennusten E-luvut ovat keskenään vertailukelpoisia. Vakioidusta käytöstä johtuen E-luku ei sovellu yksittäisen rakennuksen toteutuneen ja laskennallisen kulutuksen vertailuun.E-lukuun sisältyy rakennuksen lämmitys-, ilmanvaihto-, jäähdytysjärjestelmien sekä kuluttajalaitteiden ja valaistuksen energiakulutus. Rakennuksen ulkopuoliset kulutukset kuten autolämmityspistokkeet, sulanapitolämmitykset ja ulkovalot eivät sisälly E-lukuun.

## TOIMENPIDE-EHDOTUKSIA E-LUVUN PARANTAMISEKSI

### Keskeiset suositukset rakennuksen E-lukua parantaviksi toimenpiteiksi (ei koske uusia rakennuksia)

Suositukset on esitetty yksityiskohtaisemmin sivuilla 6 ja 7, kohdassa "Toimenpide-ehdotukset E-luvun parantamiseksi".

## E-LUVUN LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT

### Rakennuskohde

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Rakennuksen käyttötarkoitusluokka | Pientalo (Erilliset pientalot) | | | |
| Rakennuksen valmistumisvuosi | - | Lämmitetty nettoala | 157.6 | m² |

### Rakennusvaippa

Ilmanvuotoluku q50 2 m³/(h m²)

| | A<br>m² | U<br>W/(m²K) | UxA<br>W/K | Osuus lämpöhäviöstä<br>% |
|---|---|---|---|---|
| Ulkoseinät | 153.30 | 0.37 | 57.20 | 42.03 |
| Yläpohja | 88.70 | 0.09 | 7.98 | 5.87 |
| Alapohja | 88.70 | 0.12 | 10.64 | 7.82 |
| Ikkunat | 44.56 | 0.80 | 35.65 | 26.19 |
| Ulko-ovet | 14.25 | 0.80 | 11.40 | 8.38 |
| Kylmäsillat | - | - | 13.23 | 9.72 |

### Ikkunat ilmansuunnittain

| | A<br>m² | U<br>W/(m²K) | $g_{kohtisuora}$-arvo<br>- |
|---|---|---|---|
| Pohjoinen | 13.83 | 0.80 | 0.64 |
| Itä | 6.26 | 0.80 | 0.64 |
| Etelä | 8.03 | 0.80 | 0.64 |
| Länsi | 16.44 | 0.80 | 0.64 |
| Koillinen | - | - | - |
| Kaakko | - | - | - |
| Lounas | | | |
| Luode | | | |

### Ilmanvaihtojärjestelmä

Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus: Vallox 110 MV (25-100 L/s)

| | Ilmavirta tulo/poisto<br>(m³/s) / (m³/s) | Järjestelmän SFP-luku<br>kW/(m³/s) | LTO:n lämpötilasuhde<br>- | Jäätymisenesto<br>C |
|---|---|---|---|---|
| Pääilmanvaihtokoneet | 0.063 / 0.063 | 1.33 | 80 | -4.70 |
| Erillispoistot | | | - | |
| Ilmanvaihtojärjestelmä | 0.063 / 0.063 | 1.33 | - | |

Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän LTO:n vuosihyötysuhde: 75.2 %

### Lämmitysjärjestelmä

Lämmitysjärjestelmän kuvaus: Maalämpöpumppu NIBE F1255-12 / Maalämpöpumppu NIBE F1255-12

| | Tuoton hyötysuhde<br>- | Jaon ja luovutuksen hyötysuhde<br>- | Lämpökerroin (1) | Apulaitteiden sähkönkäyttö (2)<br>kWh/(m²vuosi) |
|---|---|---|---|---|
| Tilojen ja iv:n lämmitys | | 82 % | 5.09 | 2.50 |
| LKV:n valmistus | | 92 % | 3.30 | 0.00 |

(1) vuoden keskimääräinen lämpökerroin lämpöpumpulle

(2) lämpöpumppujärjestelmissä voi sisältyä lämpöpumpun vuoden keskimääräiseen lämpökertoimeen

| | Määrä<br>kpl | Tuotto<br>kWh |
|---|---|---|
| Varaava tulisija | | |
| Ilmalämpöpumppu | | |

### Jäähdytysjärjestelmä

| | Jäähdytyskauden painotettu kylmäkerroin<br>- |
|---|---|
| Jäähdytysjärjestelmä | |

### Lämmin käyttövesi

| | Ominaiskulutus<br>dm³/(m²vuosi) | Lämmitysenergian nettotarve<br>kWh/(m²vuosi) |
|---|---|---|
| Lämmin käyttövesi | 457.00 | 27 |

### Sisäiset lämpökuormat eri käyttöasteilla

| | Käyttöaste<br>- | Henkilöt<br>W/m² | Kuluttajalaitteet<br>W/m² | Valaistus<br>W/m² |
|---|---|---|---|---|
| Henkilöt ja kuluttajalaitteet | 60 % | 2.00 | 3.00 | |
| Valaistus | 10 % | | | 6.00 |

## E-LUVUN LASKENNAN TULOKSET

### Rakennuskohde

| | |
|---|---|
| Rakennuksen käyttötarkoitusluokka | Pientalo (Erilliset pientalot) |
| Rakennuksen valmistumisvuosi | - |
| Lämmitetty nettoala, m² | 157.6 |
| **E-luku, kWhE/(m²vuosi)** | 71 (< raja=126) |

### E-luvun erittely

| **Käytettävät energiamuodot** | **Vakioidulla käytöllä Laskettu ostoenergia** kWh/vuosi | **Energiamuodon Kerroin** - | **Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus** kWhE/vuosi | kWhE/(m²vuosi) |
|---|---|---|---|---|
| Sähkö | 9289 | 1.20 | **11147** | **70.7** |
| **YHTEENSÄ** | **9289** | | **11147** | **70.7** |

### Rakennuksen ympäristössä olevasta energiasta otettu energia, hyödynnetty osuus (kuukausitason erittely lisätiedoissa)

| | kWh/vuosi | kWh/(m²vuosi) |
|---|---|---|
| Maalämpö | 14042 | 89.10 |

### Rakennuksen teknisten järjestelmien energiakulutus

| | **Sähkö** kWh/(m²vuosi) | **Lämpö** kWh/(m²vuosi) | **Kaukojäähdytys** kWh/(m²vuosi) |
|---|---|---|---|
| Lämmitysjärjestelmä | | | |
| Tilojen lämmitys (1) | 2.5 | 80.5 | |
| Tuloilman lämmitys | 4.3 | | |
| Lämpimän käyttöveden valmistus | | 35.0 | |
| Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus | 4.7 | | |
| Jäähdytysjärjestelmä | | | |
| Kuluttajalaitteet ja valaistus | 21.0 | | |
| **YHTEENSÄ** | **32.5** | **115.5** | **0** |

(1) Ilmanvaihdon tuloilman lämpeneminen tilassa ja korvausilman lämmitys kuuluu tilojen lämmitykseen

### Energian nettotarve

| | kWh/vuosi | kWh/(m²vuosi) |
|---|---|---|
| Tilojen lämmitys (2) | 10432 | 66 |
| Ilmanvaihdon lämmitys (3) | 682 | 4 |
| Lämpimän käyttöveden valmistus | 4200 | 27 |
| Jäähdytys | 0 | 0 |

(2) sisältää vuotoilman, korvausilman ja tuloilman lämpenemisen tilassa

(3) laskettu lämmöntalteenoton kanssa

### Lämpökuormat

| | kWh/vuosi | kWh/(m²vuosi) |
|---|---|---|
| Aurinko | 10148 | 64.39 |
| Ihmiset | 1657 | 10.51 |
| Kuluttajalaitteet | 2485 | 15.77 |
| Valaistus | 828 | 5.25 |
| Lämpimän käyttöveden kierrosta ja varastoinnin häviöstä | 475 | 3.01 |

### Laskentatyökalun nimi ja versionumero

| | |
|---|---|
| Laskentatyökalun nimi ja versionumero | **www.laskentapalvelut.fi, versio 1.4 (24.1.2018)** |