



Runkorakenteiden vaikutus rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkeen

Aleksanteri Aakula

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2022

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Talorakennustekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Talonrakennustekniikka

AAKULA, ALEKSANTERI:

Runkorakenteiden vaikutus rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkeen

Opinnäytetyö 86 sivua, joista liitteitä 23 sivua
Huhtikuu 2022

Opinnäytetyö tehtiin A-Insinöörit Suunnittelu Oy:n toimeksiannosta. Työssä tutkittiin runkorakenteiden vaikutusta betonirunkoisen asuinkerrostalon hiilijalanjäljen muodostumiseen. Runkorakenteista eniten päästöjä aiheuttavaksi rakennesosaksi paljastui välipohjat. Hiilijalanjälkilaskennan avulla tutkittiin päästöjen muutosta, kun välipohjarakennetta muutettiin vähäpäästöisemmäksi. Laskennan lisäksi työssä käsitellään tulevaa lainsäädäntöä sekä ohjausta, joka koskee rakennusten hiilijalanjälkeä.

Hiilijalanjälki laskettiin ympäristöministeriön vuoden 2021 arviointimenetelmää käyttäen betonirunkoiselle asuinkerrostalolle sekä neljälle eri optimointivaihtoehdolle, joiden avulla hiilijalanjälkeä pienennettiin. Laskennan kohteena olevan rakennuksen välipohjat olivat paikallavalettuja teräsbetoni-laattoja. Optimointivaihtoehdoissa välipohjan rakenteena käytettiin ontelolaattoja, vähähiillistä betonia, vähähiillisestä betonista valmistettuja ontelolaattoja sekä vähähiillisten ontelolaattojen ja vähähiillisen betonin yhdistelmää.

Opinnäytetyön laskennassa vähähiillisten ontelolaattojen ja vähähiillisen betonin yhdistelmää käyttämällä hiilijalanjälkeä saatiin pienennettyä referenssitasosta 1,26 kgCO₂e/hum²/a, joka vastasi noin 7 prosentin pienennystä. Opinnäytetyön tulokset osoittivat, että tuotesidonnaisten päästöjen osuus on kasvanut noin 44 % käyttösidonnaisia päästöjä suuremmaksi, ja jatkossa pientä hiilijalanjälkeä uudisrakennuksille ja erityisesti asuinrakennuksille tavoiteltaessa kannattaakin keskittyä rakennusmateriaalien päästöihin. Ontelolaattavälipohjalla pystytään vähentämään välipohjarakenteen synnyttämiä päästöjä noin 22 % ja vähähiillisillä ontelolaatoilla jopa 37 %.

Opinnäytetyössä ei huomioitu kustannusten muutosta vähähiillisiä rakenteita käytettäessä. Mikäli kustannukset pysyvät lähes ennallaan kannustaisi se myös tilaajia ja urakoitsijoita vähähiilliseen rakentamiseen, jo ennen lainsäädännön voimaantulusta. Kustannusten muutosta olisikin hyvä tutkia jatkossa.

Asiasanat: vähähiillinen rakentaminen, betonikerrostalon hiilijalanjälki, elinkaarivaihtoehtojen arviointi, hiilijalanjälkilaskenta, välipohjat

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Engineering
Building Construction

AAKULA, ALEKSANTERI:

Impact of Frame Structures on the Carbon Footprint of a Building's Life Cycle

Bachelor's thesis 86 pages, appendices 23 pages

April 2022

This thesis was commissioned by A-Insinöörit Suunnittelu Oy. The objective of this study was to gather information about frameworks' effects to carbon footprint of concrete framed residential apartment buildings. The largest emissions of the framework were found to be produced by intermediate floors. Carbon footprint calculations were used to study changes in emissions when the intermediate base structure was changed to a structure with lower emissions. In addition to the calculation, the study deals with future legislation and guidance of the buildings' carbon footprint.

Carbon footprint is calculated by using the assessment methodology published by the Ministry of the Environment in 2021 for concrete framed residential apartment buildings and four other optimization options. The results showed that subfloor emissions can be reduced approximately 22% by using hollow core slabs and with low carbon hollow core slabs by up to 37 % compared to cast in place structure. The results also noted that embodied emissions have grown larger than operational emissions. For that reason, it is worthwhile focusing on emissions of the building materials in the future when trying to get a small carbon footprint for buildings.

The thesis did not consider the changes in costs when using low-carbon structures. If the costs would remain almost unchanged it would also encourage subscribers and contractors to build on low carbon, even before the legislation enters into force. It would be good to study the changes in costs in the future.

Key words: low-carbon building, the carbon footprint of an apartment house, life cycle assessment, carbon footprint calculation , intermediate floors

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	VÄHÄHIILINEN RAKENTAMINEN.....	9
	2.1 Vähähiilisen rakentamisen taustaa.....	9
	2.2 Hiilijalanjalkiohjaus	10
	2.2.1 Vähähiilisen rakentamisen tiekartta	12
	2.2.2 Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä	13
3	RAKENNUSHANKKEEN HIILIJALANJÄLKI	16
	3.1 Päästöihin vaikuttaminen	16
	3.2 Rungon osuus	17
	3.3 Hiilijalanjälkeä kuormittavin rakenneosa.....	19
4	HIILIJALANJÄLKILASKENTA.....	22
	4.1 Elinkaaren vaiheet ja arvioitavat rakenneosat.....	22
	4.2 Elinkaaren hiilijalanjäljen laskenta.....	24
	4.3 Rakennuksen hiilijalanjäljen tavoite.....	25
5	REFERENSSITASON LASKENTA.....	27
	5.1 OneClick LCA laskentatyökalun esittely.....	27
	5.2 Kohteen esittely.....	28
	5.3 Laskennan suorittaminen	30
	5.3.1 Määrälaskenta.....	30
	5.3.2 Tietojen kirjaaminen laskentaohjelmaan.....	31
	5.3.3 Laskennan tuloksien tarkkuus	35
	5.4 Optimointivaihtoehtojen laskenta	36
	5.4.1 Optimointi A.....	36
	5.4.2 Optimointi B.....	37
	5.4.3 Optimointi C.....	39
	5.4.4 Optimointi D.....	39
6	TULOKSET	40
	6.1 Referenssitaso	40
	6.2 Optimointi vaihtoehdot.....	41
	6.3 Eri laskentavaihtoehtojen hiilijalanjälkien yhteenveto.....	43
	6.4 Elinkaaren vaiheiden aikaiset päästöt	46
	6.5 Rakennusosien ja materiaalien muodostamat päästöt.....	50
	6.6 Laskennan yhteenveto	54
7	POHDINTA	56
8	JATKOTUTKIMUSEHDOTUKSET	58
	LÄHTEET.....	60

LIITTEET.....	64
Liite 1. Rakennuksien käyttötarkoituusluokat.....	64
Liite 2. Referenssikohteen rakennetyypit.....	65
Liite 3. Energiatodistus.....	76
Liite 4. Optimointivaihtoehtojen rakennetyypit.....	81

LYHENTEET JA TERMIT

CO ₂ e	Hiilidioksidiekvivalentti.
EPD	(Environmental Product Declaration) ympäristöseloste, joka on standardoitu tapa esittää tuotteen tai palvelun elinkaarianalyysi.
Hiilidioksidiekvivalentti	Hiilijalanjäljen yksikkö, kuvaa eri kasvihuonekaasujen ilmastoa lämmittävää vaikutusta muunnettuna vastaavaksi hiilidioksidin vaikutukseksi.
Hiilijalanjälki	Kuvaa tuotteen tai palvelun ilmastovaikutusta muunnettuna hiilidioksidiekvivalentiksi. Rakennuksen hiilijalanjälki muodostuu koko elinkaaren aikana syntyvien päästöjen summasta.
Hiilikädenjälki	Ilmastohyödyt, joita ei syntyisi ilman rakennushanketta, muunnettuna hiilidioksidiekvivalentiksi.
LCA	(Life cycle assessment) on elinkaariarvioinnin menetelmä, jonka avulla tuotteen tai palvelun ympäristövaikutukset tutkitaan tuotteen raaka-aineiden hankinnasta aina kierrättämiseen tai hylkäämiseen asti.
Rakennuksen elinkaari	Ajanjakso maankäytön ja rakentamisen suunnittelusta sekä raaka-aineiden hankinnasta, rakentamiseen ja aina rakennuksen purkuun sekä purkutuotteiden lajitte- luun saakka.

1 JOHDANTO

Ilmasto lämmittävien kasvihuonekaasujen pitoisuudet ovat kohonneet maapallon ilmakehässä ihmisen toiminnasta johtuen. Tästä syystä maapallon ilmasto on esiteollisen toiminnan seurauksena lämmennyt noin asteen verran 1800-luvun lopulta. Ilmaston muutosta ehkäistään vähentämällä kasvihuonekaasuja ilmakehässä sekä lisäämällä hiilinieluja. Asiaan suhtaudutaan vakavasti ja maailman valtiot ovatkin sitoutuneet päästövähennyksiin puitesopimuksilla sekä muun muassa Pariisin ilmastopöytäkirjassa.

Suomessa ilmastonmuutosta ehkäistään lakien ja säädösten avulla. Suomessa onkin säädetty ilmastolaki (609/2015), jonka tavoitteena on vähentää kasvihuonepäästöjä 80 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2050 mennessä. Ilmastolakia ollaan tällä hetkellä uudistamassa, jotta Sanna Marinin hallituksen asettamat tavoitteet ilmastonmuutoksen ehkäisemisestä toteutuvat. Hallituksen tavoitteena on tehdä Suomesta hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä, ja hiilinegatiivinen 2040-luvulla. (Valtioneuvosto 2019, 34.)

Rakennettu ympäristö tuottaa noin 30 % Suomen kasvihuonekaasupäästöistä Rakennusteollisuuden teettämän tutkimuksen perusteella (Gaia Consulting Oy 2020, 7). Tästä johtuen rakennusteollisuutta ja rakentamista ohjataan jo tällä hetkellä kestävä kehityksen mukaiseksi ja hiilidioksidipäästöjen laskenta rakennuksien elinkaaren ajalle tuleekin olemaan osa rakennusmääräyksiä vuoteen 2025 mennessä. Energiatehokkuuden parantamisen lisäksi tulisi kiinnittää huomiota entistä enemmän koko rakennuksen elinkaaren aikana syntyviin hiilidioksidipäästöihin, etenkin rakennusmateriaalien hiilijalanjälkeen (Pomponi, De Wolf & Monecaster 2018, 11).

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia betonielementtikerrostalon rungon osuutta rakennuksen elinkaaren päästöistä, sekä vertailla erilaisia runkovaihtoehtoja eniten päästöjä aiheuttavalta rakenneosalta. Rungon osuutta tutkitaan kirjallisuusselvityksen sekä aiempien tutkimuksien perusteella. Runkorakenteista on tavoitteena löytää merkittävimmät hiilijalanjälkeen vaikuttavat rakenneosat. Tuloksien perusteella valitaan rakennuksen rungosta eniten hiilijalanjäl-

keen vaikuttava rakenneososa. Rakenneosalle pyritään etsimään vaihtoehtoja, joita rakennesuunnittelijan on mahdollisimman yksinkertaista toteuttaa. Apuna hiilijalanjäljen suuruuden selvittämisessä käytetään yrityksen OneClick LCA samannimistä laskentaohjelmaa.

Työn alussa käsitellään vähähiilistä rakentamista sekä ohjaavaa lainsäädäntöä. Tämän jälkeen perehdytään hiilijalanjäljen muodostumiseen rakennushankkeessa sekä hiilijalanjäljen laskentaan liittyviin standardeihin ja ohjeisiin. Lopuksi lasketaan referenssikohteen hiilijalanjälki. Referenssitason arvioinnin jälkeen vertaillaan laskentatuloksien muutosta, kun rakennetyyppejä muutetaan vähäpäästöisemmäksi.

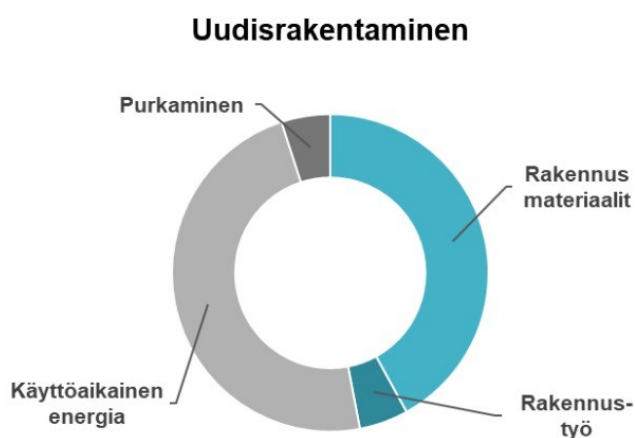
Opinnäytetyön tilaajana on toiminut A-Insinöörit Suunnittelu Oy. Yritys tuottaa asiakkailleen rakennesuunnittelun lisäksi elinkaarilaskennan palveluja, ja on sitoutunut kirittämään asiakkaidensa ympäristötavoitteita sekä olemaan hiili-neutraali vuoteen 2024 mennessä (A-Insinöörit n.d.).

2 VÄHÄHIILINEN RAKENTAMINEN

Rakentamisen vähähiilisyyteen voidaan vaikuttaa monin eri keinoin koko rakennuksen elinkaaren ajalla. Rakentamisella on suuret ympäristövaikutukset, jossa hiilijalanjälki on keskeisin tekijä sekä mittari ohjaamaan rakennettua ympäristöä kohti vähähiilisyyttä. Vähähiilisyyttä tullaan tulevaisuuden rakentamisessa ohjaamaan hiilijalanjälkiohjauksella, joka perustuu ympäristöministeriön arviointimenetelmään. (Ympäristöministeriö 2021a, 6, 8.)

2.1 Vähähiilisen rakentamisen taustaa

Rakennetun ympäristön kasvihuonepäästöjä on toistaiseksi vähennetty parantamalla rakennusten energiatehokkuutta ja keskittymällä energiantuotannosta muodostuviin päästöihin. Rakennetun ympäristön muiden vaiheiden vaikutus elinkaaren hiilijalanjälkeen kuitenkin korostuu jo nyt uudisrakentamisessa, sillä rakennusten energiatehokkuuteen on viime vuosina saatu aikaan huomattavaa parannusta. Rakennusmateriaalien tuotannosta syntyvien päästöjen osuus suhteessa energiatehokkuuteen on suuressa kasvussa, kun energiatehokkuus parantuu ja rakennuksissa pystytään hyödyntämään uusiutuvia energianlähteitä. (Bionova Oy 2017, 11.) Kuviossa 1 on esitetty elinkaaren vaiheiden osuudet uudisrakennuksen hiilijalanjäljestä.



KUVIO 1. Elinkaaren vaiheiden osuudet rakennuksen hiilijalanjäljestä (Jäätvuori ym. 2021, 11).

Kuviosta huomataan käytönaikaisen energian synnyttävän noin puolet päästöistä. Kuviossa esitetyt päästöt voidaan myös jakaa tuotesidonnaisiin ja käytösidonnaisiin päästöihin. Tuotesidonnaisiin päästöihin kuuluu rakennustyö, -materiaalit sekä purkaminen, suurimman osuuden näistä synnyttää rakennusmateriaalit. Käyttösidonnaisiin päästöihin luetaan kuuluvan käytönaikainen energia, joka siis kuvion 1 perusteella synnyttää yksinään lähes yhtä suuret päästöt rakennuksen elinkaarelle, kuin tuotesidonnaiset päästöt.

Vähähiilisellä rakentamisella tarkoitetaan siis ympäristöystävällisempää rakentamista, joka hidastaa ilmastonmuutoksen syntyä. Vähähiilisen rakentamisen tavoitteena on vähentää rakennuksen elinkaaren materiaali- ja energiankuluksesta aiheutuvia päästöjä. Näitä vaikutuksia kuvataan hiilijalanjälkenä. Hiilijalanjälki kuvaa koko rakennuksen elinkaaren aikana muodostuvaa ilmastokuormaa, ja sen yksikkönä käytetään CO₂e, joka on muunnettu hiilidioksidiekvivalentiksi. Siinä muiden kasvihuonekaasujen määrä on muutettu vastaamaan hiilidioksidin ilmastoa lämmittävää vaikutusta. (Bionova Oy 2017, 7.)

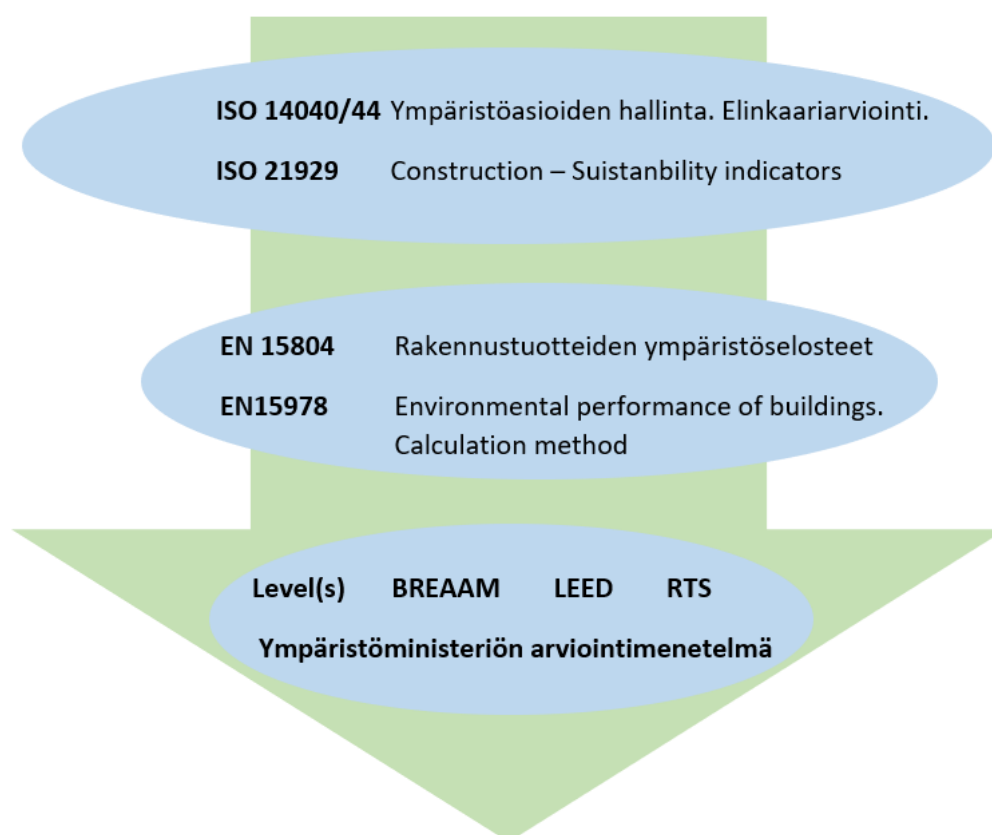
Euroopan parlamentti yhdessä neuvoston kanssa on säätänyt direktiivin rakennusten energiatehokkuudesta, jonka mukaan vuoteen 2020 mennessä uudisrakennusten tulee olla lähes nollaenergiarakennuksia (Rakennustieto 2018, 10). Direktiivin seurauksena Suomessa rakentamisen ympäristöohjaus on keskittynyt aiemmin lähinnä energiatehokkuuden parantamiseen sekä käytönaikaisten päästöjen vähentämiseen (Ympäristöministeriö n.d.b). Tästä syystä ympäristöministeriö on luonut vähähiilisen rakentamisen kriteerit, joiden tavoitteena on lainsäädännöllä ohjata rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkeä vuoteen 2025 mennessä (Gaia Consulting Oy 2020, 34).

2.2 Hiilijalanjälkiohjaus

Ympäristöministeriön teettämän vähähiilisen rakentamisen tiekartan tavoitteena on vähentää rakennustuotannon ja -materiaalien hiilijalanjälkeä 2020-luvun puoliväliin mennessä (Bionova Oy 2017, 8). Tiekartassa rakennuksen koko elinkaaren aikainen hiilijalanjälki on tavoitteena saada sääntelyn alaiseksi ja sääntelyn halutaan ulottuvan myös rakennusmateriaaleihin.

Hiilijalanjälkiohjausta tullaan myös lisäämään uudessa kaavoitus- ja rakentamislaissa (entinen maankäyttö- ja rakennuslaki), jonka voimaan astuminen tapahtuu arviolta vuonna 2024. Uuden kaavoitus- ja rakentamislain päätavoitteita ovat muun muassa hiilineutraali yhteiskunta sekä luonnon monimuotoisuuden vahvistaminen. Päätavoitteet on muokattu vastaamaan Sanna Marinin 2019 hallitusohjelmaa. Hiilineutraaliustavoitteiden toteutumista edistettäisiin laissa esimerkiksi kaavoituksella sekä panostamalla rakentamisen vähähiilisyyteen ja kiertotalouteen. (Ympäristöministeriö n.d.a.)

Suomessa rakentamisen vähähiilisyyttä ohjaavat säädökset ja laskentamenetelmät perustuvat kuvion 2 mukaisiin standardeihin sekä kansainvälisiin määräyksiin. Ne noudattavat hierarkiaa, jossa ylimpänä ovat ISO-standardit, jotka antavat laajan rajauksen sille mitä lasketaan, EN-standardit toimivat ISO-standardien rajauksina ja tarkennuksina. Standardien alla ovat kansalliset ohjeet ja määräykset sekä vapaaehtoiset sertifiointijärjestelmät. Vapaaehtoisia sertifiointijärjestelmiä ovat esimerkiksi LEED ja BREAAAM. (Tikka 2021.)



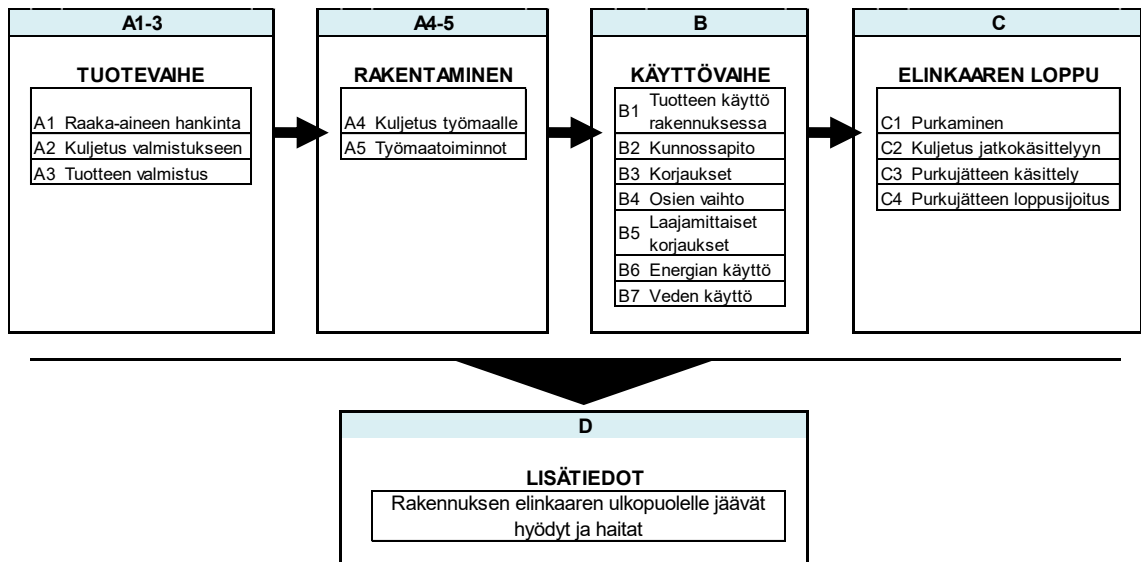
KUVIO 2. Standardien ja säädösten hierarkia vähähiilisyyden ohjauksessa (perustuu lähteeseen Tikka 2021).

2.2.1 Vähähiilisen rakentamisen tiekartta

Ympäristöministeriön tilaaman ja Bionova Oy:n julkaiseman Vähähiilisen rakentamisen tiekartan keskeisimpiä tavoitteita on edistää hiilineutraaliutta karsimalla hiilidioksidipäästöjä rakennusmateriaaleista. Tavoitteena on saada tuotekehitystä kehittämään ilmaston kannalta ystävällisimpiä tuotteita ja ratkaisuja. (Bionova Oy 2017, 9.) Rakennusteollisuuden tuotteiden päästötiedot ovat vaihtelevalla tasolla, siksi muun muassa Rakennustietosäätiö julkaisee Suomessa tuotteille EPD ympäristöselosteita. Ympäristöselosteet pohjautuva pääosin EN 15804-standardiin ja ovat yhtenäinen tapa kuvata ympäristövaikutuksia EU- ja EFTA-maissa (Rakennustietosäätiö n.d.). Ympäristöselosteiden yhdenmukaisuus onkin olennaista varmistaa hiilijalanjälkilaskentaa ja -vertailuja tehdessä.

Tiekartassa ympäristötavoitteiden saavuttamisen pääkeinoksi on valittu rakennuksen hiilijalanjäljen sääntely. Aluksi menetelmän on tarkoitus toimia vapaaehtoisesti, myöhemmin julkisissa hankkeissa ja lopulta hiilijalanjälkilaskentaa vaadittaisiin kaikissa rakennushankkeissa. Tiedon kertyessä eri rakennustyypeille pystyttäisiin esittämään yläraja, jonka alle rakennuksen hiilijalanjäljen tulee muodostua. (Bionova Oy 2017, 55.)

Bionovan julkaisussa rakennuksen elinkaaren sisällytettävät vaiheet on esitetty kuviossa 3. Arvioinnissa huomioidaan koko rakennus, tontin rakenteet sekä keskeisimmät talotekniset järjestelmät. Arviointi ei sisällä tontilla olevaa kasvillisuutta, tontin maaperää tai rakentamisen väliaikaisia telineitä ja suoja. (Gaia Consulting Oy 2020, 12.) Vaiheet kattava elinkaaren aina raaka-aineiden hankinnasta, rakennuksen purkamiseen ja kierrätykseen tai loppusijoitukseen kaatopaikalle saakka. Rakennushankkeen elinkaari jaetaan seuraaviin moduuleihin: tuotevaihe (A1-A3) ja rakennusvaihe (A4-A5), käyttövaihe (B1-B7), elinkaaren loppu (C1-C4) sekä rakennuksen elinkaaren ulkopuolelle jäävät hyödyt tai haitat (D). Elinkaaren vaiheet eli moduulit on määritelty EN 15978 standardissa. (Bionova Oy 2017, 13.) Vähähiilisen rakentamisen tiekartan mukainen elinkaaren jaottelu noudattaakin kyseisen standardin määräyksiä.



KUVIO 3. Rakennuksen elinkaaren vaiheet (perustuu lähteeseen SFS-EN 15978, 23).

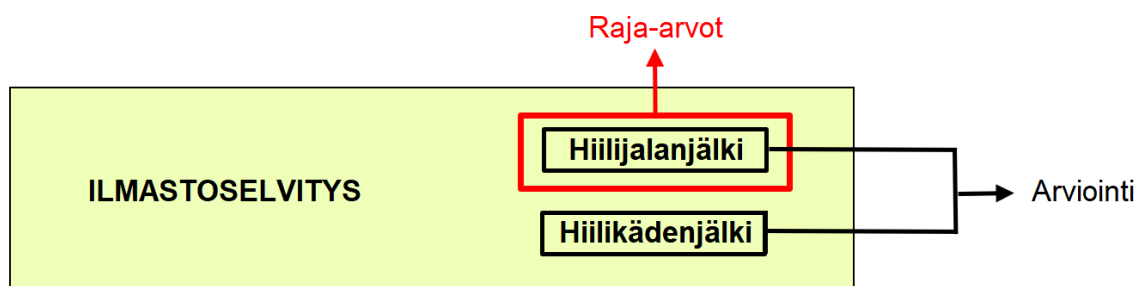
Bionovan julkaisema vähähiilisen rakentamisen tiekartta on täsmentynyt viime vuosina erinäisten selvityksien perusteella. Sen laatiminen on ollut tärkeä vaihe vähähiilisen rakentamisen edistämiseksi, ja sen antamaa tietoa onkin käytetty jatkoselvityksissä sekä tulevaa lainsäädäntö määriteltäessä. Esimerkiksi vähähiilisyysarviointimenetelmä sekä kansallinen päästötietokanta on kehitetty osana tiekarttaa. (Ympäristöministeriö 2021a, 7.)

2.2.2 Rakennuksen vähähiilisyysarviointimenetelmä

Vähähiilisyysarviointiin tullaan käyttämään ympäristöministeriön julkaisemaa Rakennuksen vähähiilisyysarviointimenetelmää, josta on tällä hetkellä valmiina luonnosversio. Luonnosversio oli lausuntokierroksella vuoden 2021 elokuun loppuun saakka. Tavoitteena on, että valmis arviointimenetelmä otetaan käyttöön, kun uusi kaavoitus- sekä rakentamislaki astuu voimaan. Arviointimenetelmä liitettäisiin osaksi uutta rakentamislakia, sillä nykyinen voimassa oleva maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999) ei edellytä rakennuksilta ilmastaselvitystä tai rakennuksen vähähiilisyysarviointia.

Arviointimenetelmän luonnosversiossa luvanvaraiselle uudisrakennukselle ja korjaushankkeelle tehdään ilmastaselvitys, jossa on eriteltynä hiilijalanjälki sekä -kädenjälki. Kuviossa 4 on esitelty ilmastaselvityksen sisältö sekä suhde raja-

arvo-ohjaukseen. Arviointi tapahtuu ympäristöministeriön arviointimenetelmällä kansallista päästötietokantaa tai muita hyväksyttäviä tietoja käyttäen. Hiilijalanjäljelle tullaan esittämään arviointimenetelmässä raja-arvo, jossa hankkeen tulee pysyä. Raja-arvot on esitetty uudisrakennuksille, jotka ovat käyttötarkoituksissa 1d-8. (Ympäristöministeriö 2021b, 4.) Rakennuksien käyttötarkoitukseluokat esitelty liitteessä 1.



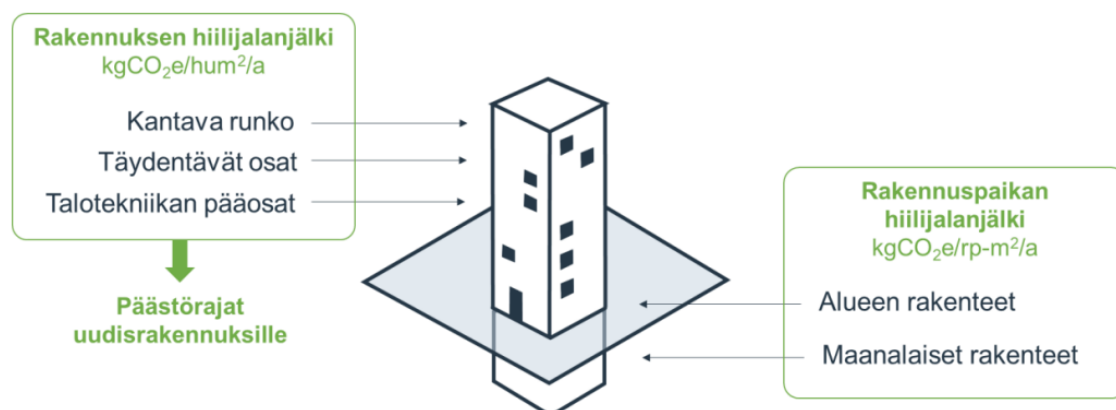
KUVIO 4. Ilmastaselvityksen sisältö ja suhde raja-arvo-ohjaukseen lupaa vaativalle uudisrakennukselle tai korjaushankkeelle (perustuu lähteeseen ympäristöministeriö 2021b, 4).

Arviointimenetelmässä arviointijakson pituutena käytetään 50 vuotta. Rakennuksen hiilijalanjäljen tuloksena saadaan elinkaaren hiilijalanjälki rakennuksen lämmitettyä nettoalaa ja arviointijakson pituutta kohden eli $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{hum}^2/\text{a}$. Ympäristöministeriön menetelmässä tuotevaiheen, moduulit A1-A3, ja käytön ajan energia, moduuli B6, määritetään hankekohtaisesti. Muut elinkaaren vaiheet voidaan määrittellä suunnitteluvaiheessa oletusarvoilla. (Ympäristöministeriö 2021a, 13, 27, 35.)

Rakennuksen elinkaaren vaiheet ympäristöministeriön arviointimenetelmässä poikkeavat kuvion 3 elinkaaren vaiheista. Ympäristöministeriön laskentaan sisältyvät elinkaaren vaiheet on esitelty tarkemmin luvussa 4.1 Elinkaaren vaiheet.

Arviointimenetelmässä lasketaan rakennukselle ja rakennuspaikalle omat erilliset hiilijalanjäljet (kuvio 5). Rakennuspaikan hiilijalanjälkeen sisällytetään karkeasti jaoteltuna maanalaiset ja rakennuksen ulkopuolella olevat rakenteet ja tuotteet. Rakennuspaikan hiilijalanjäljelle ei olla asettamassa päästörajoja, toisin

kuin rakennuksen hiilijalanjäljelle. Tuloksia esittäessä esitetään erillisinä arvoina rakennuksen- ja rakennuspaikanhiilijalanjäljet. (Ympäristöministeriö 2021a, 33.)



KUVIO 5. Vähähiilisyden tulosten esittäminen rakennukselle ja rakennuspaikalle (Ympäristöministeriö 2021b, 22).

Rakennuspaikan hiilijalanjäljen tuloksena saadaan hiilijalanjälki, rakennuspaikan pinta-alaa ja arviointijakson pituutta kohden eli kgCO₂e/rp-m²/a. Rakennuspaikan hiilijalanjälki on eriytetty rakennuksesta, koska esimerkiksi paalutus lisää päästöjä huomattavasti rakennushankkeessa, mutta maapohjasta riippuen ei sitä kaikille rakennuksille tarvitse tehdä. Näin ollen saadaan paremmin vertailtavissa olevat tulokset hiilijalanjäljen osalta itse rakennuksille.

3 RAKENNUSHANKKEEN HIILIJALANJÄLKI

Rakennushankkeen päästöt muodostuvat pitkällä aikavälillä. Hankkeen alussa syntyy niin sanottu hiilipiikki, joka koostuu rakennusmateriaalien valmistuksesta sekä rakentamisesta aiheutuvista päästöistä. Suurimman osan hiilipiikistä muodostaa materiaalien valmistus. Jos rakennusmateriaaleja saataisiin valmistettua vähäpäästöisemmin sekä tuotteet olisivat ympäristöystävällisempiä, muodostuisi hiilipiikki myös huomattavasti pienemmäksi. (Sankelo & Alhola 2020, 9.) Seuraavassa luvussa etsitäänkin hiilipiikkiin eniten vaikuttavia rakenneosia, ja niille yritetään löytää vähäpäästöisempiä ratkaisuja, elinkaaren hiilijalanjäljen laskeamisen avulla. Hiilipiikkiä pienettäessä tulee kuitenkin varoa heikentämästä rakennuksen muita tärkeitä ominaisuuksia, esimerkiksi energiatehokkuutta.

3.1 Päästöihin vaikuttaminen

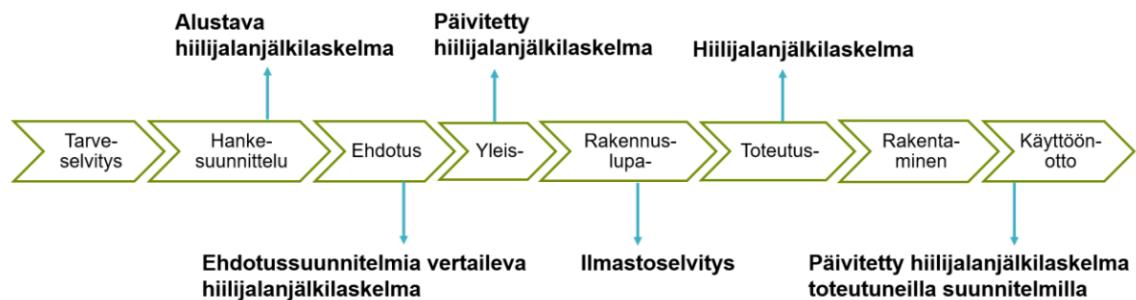
Rakennuksen koko elinkaaren aikaisiin päästöihin pitää vaikuttaa jo heti hankkeen alussa, ennen rakentamisvaihetta. Kuten Sitran tilaamassa ja Green Building Council Finladin teettämästä julkaisusta käy ilmi (kuvio 6), pystytään hankkeen tarve- ja hankeselvitysvaiheessa vaikuttamaan helpoiten tulevan rakennuksen elinkaaren aikaisiin päästöihin.



KUVIO 6. Hankkeen eteneminen, kyky vaikuttaa päästöihin ja päästövaikutuksia koskevan tiedon kasvu (Sitra 2013, 35).

Mitä pidemmälle hanke etenee sen hankalammaksi päästöihin vaikuttaminen käy. Vastaavasti taas mitä pidemmälle hanke etenee, sen varmemmin tiedetään rakennushankkeen synnyttämä ilmastokuorma. Tämän vuoksi elinkaaren aikaisen hiilijalanjäljen arvioiminen jo hankkeen alussa on tärkeää, jotta pystytään ennakoimaan ja tarvittaessa vaikuttamaan rakennuksen muodostamiin päästöihin.

Kuviossa 7 on esitelty A-Insinöörien Vähähiilisen rakennuttamisen klinikan mukainen hiilijalanjäljen ohjaus sekä siinä hyödynnettävät laskelmat, ja niiden vaiheistus. Klinikan mukaan hiilijalanjälki kannattaa rakennushankkeessa laskea alustavasti jo hankesuunnitteluvaiheessa. Tämän jälkeen laskelmaa päivitetään yleissuunnitteluvaiheessa, kun ehdotussuunnittelussa on saatu rakennuksen rakenneratkaisut sovituksi. Ehdotussuunnitteluvaiheessa kannattaa laskea vertailevia hiilijalanjälkiä, joiden avulla voidaan päättää rakenneratkaisuista hiilijalanjäljen näkökulmasta. Rakennuslupavaiheessa tullaan tulevalle lainsäädännöllä vaatimaan ilmastaselvitykseksi kutsuttua hiilijalanjälkilaskelmaa. Kun hanke on saatu käyttöönottovaiheeseen, tehdään lopullinen hiilijalanjälkilaskenta toteutuneilla suunnitelmissa. Tätä laskentadokumenttia kutsutaan hiilijalanjälkitodistukseksi. (Jäätvuori ym. 2021, 4–5.)



KUVIO 7. Hiilijalanjäljen ohjauksessa hyödynnettävät laskelmat (Jäätvuori ym. 2021, 4).

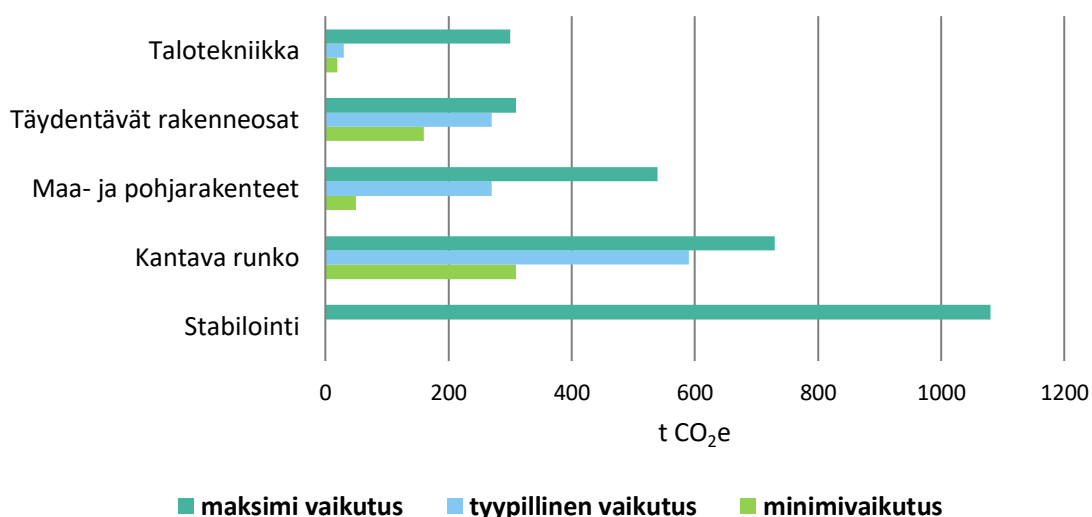
3.2 Rungon osuus

Rakennuksen hiilijalanjälki muodostuu monen tekijän summasta ja pitkältä aikaväliltä, kuten aiemmissa luvuissa on todettu. Rakennuksen päästöjen muodostumiseen vaikuttavat suuresti rakennuksen sijainti, koko ja käyttötarkoitus. Hiili-

jalanjälkien vertailusta tekeekin haastavaa rakennuksien monimuotoisuus ja yksilöllisyys, mutta sitä on yritetty selkeyttää tekemällä yleistyksiä ja rajouksia laskentaa varten. Tuloksia tulkitessa tulee kuitenkin aina huomioida jokaisen rakennuksen omat ominaispiirteet, ja laajamittaisia yleistyksiä tulisi välttää. Tässä opinnäytetyössä keskitytään betonielementtikerrostaloihin, joita suurin osa asuinrakennusten uudishankkeista on.

Tekniikan tohtori Tarja Häkkisen ja ympäristöministeriön erityisasiantuntija Matti Kuittisen tekemän tutkimuksen (2020) tulokset tukevat Jäätvuoren tutkimusta, (kuvio 1) elinkaaren päästöjen osalta Suomalaisessa betonikerrostalossa. Häkkisen ja Kuittisen tapausesimerkkien mukaisesti Tampereella betonirunkoisen asuinrakennuksen tuotesidonnaiset päästöt ovat luokkaa 37–54 % ja käytösidonnaiset päästöt 46–37 %. (Häkkinen & Kuittinen 2020, 25, 42–43.)

Tuotesidonnaisista päästöistä rakennuksen stabilointi tuottaa suurimman osuuden, stabilointia ei kuitenkaan aina toteuteta rakennuksen maaperälle. Toiseksi eniten tuotesidonnaisia päästöjä aiheuttaa kantava runko, jonka päästöt ovat tyypillisesti noin 590 t CO₂e. Maksimivaikutus päästöille on noin 730 t CO₂e ja minimivaikutus 310 t CO₂e. (Häkkinen & Kuittinen 2020, 25.) Kuviossa 8 on esitelty muitakin tuotesidonnaisia päästöjä sekä niiden suuruuksia.

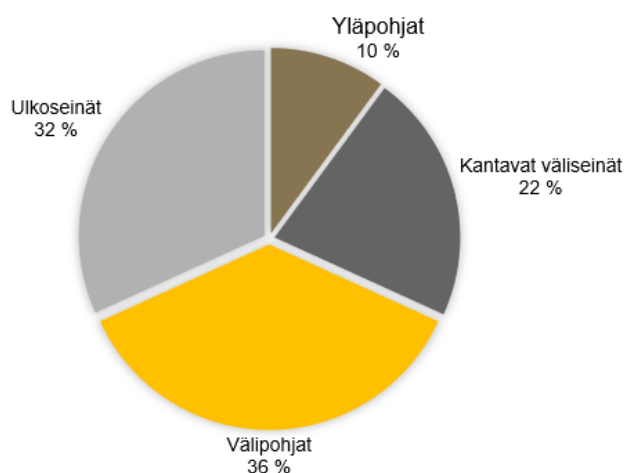


KUVIO 8. Tuotesidonnaisten päästöjen vaikutus rakennuksen kasvihuonekaasupäästöihin (perustuu lähteeseen Häkkinen & Kuittinen 2020, 25).

Koska kantava runko tuottaa suurimman osuuden rakenteiden ja rakentamisen päästöistä, kun huomioidaan ettei stabilointia aina tarvita, tutkitaan tarkemmin mikä rakenneosaa kantavasta rungosta tuottaa yleensä eniten päästöjä.

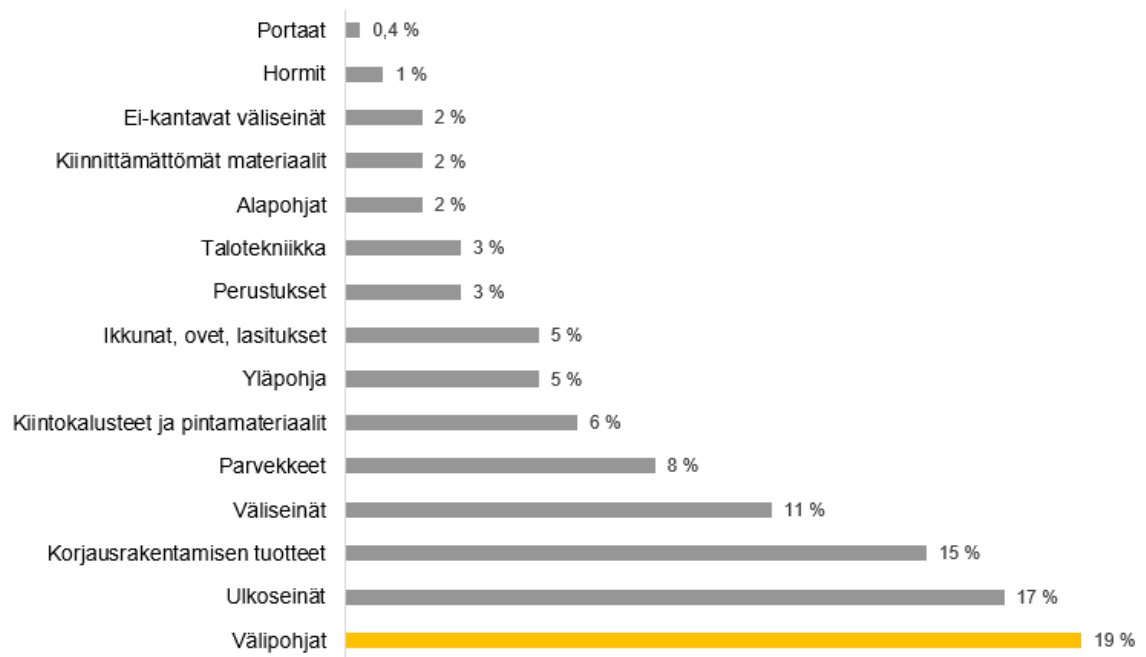
3.3 Hiilijalanjälkeä kuormittavin rakenneosaa

Häkkisen ja Kuittisen (2020) mukaan kantavan rungon valmistus aiheuttaa tyypillisesti noin 35 % tuotesidonnaisista päästöistä. Kantavan rungon eri osien päästöjen jakautuminen on esitetty kuviossa 9. Kuvioista havaitaan välipohjarakenteiden olevan suurin yksittäinen päästöjen aiheuttaja kantavasta rungosta. Toiseksi suurimman osuuden päästöistä tuottavat ulkoseinät. (Häkkinen & Kuittinen 2020, 27.)



KUVIO 9. Kantavan rungon valmistuksen päästöjen jakautuminen (perustuu lähteeseen Häkkinen & Kuittinen 2020, 27).

Jos tarkastellaan tarkemmin päästöjen muodostumista betonirunkoisessa asuinkerrostalossa ja lisätään kantavan rungon lisäksi tarkasteluun myös muita merkittävimpiä päästöjen aiheuttajia, huomataan kuvioista 10 välipohjarakenteiden olevan edelleen suurin päästöjen aiheuttaja.



KUVIO 10. Rakennusosien suhteelliset osuudet päästöistä (perustuu lähteeseen Häkkinen & Kuittinen 2020, 29).

Myös Aliina Härkösen (2021a) tekemän diplomityön perusteella betonikerrostalon eniten päästöjä aiheuttava rakennusosa on välipohja. Diplomityössä laskettiin hiilijalanjälki 8-kerroksiselle kerrostalolle. Laskennassa oli vaihtoehdot A ja C, joissa rakennusmateriaalina oli teräsbetoni. A vaihtoehdossa välipohjat toteutettiin paikallavaluna ja C vaihtoehdossa käytettiin muutoin samoja rakenteita kuin A:ssa, mutta betonin sementti korvattiin ympäristöystävällisimmillä vaihtoehdoilla ja teräs korvattiin kierrätysasteeltaan yli 90 % teräkseen. Molemmilla ratkaisuilla välipohjat tuottivat suurimmat hiilidioksidipäästöt. Saman suuntaisia tuloksia on työssään havainnut myös kestävän kehityksen projektipäällikkö Elli Kinnunen A-Insinöörit Suunnittelu Oy:stä:

Meillä tehtyjen betonisten asuinkerrostalojen arviointien perusteella eniten päästöjä aiheuttava rakennusosa on välipohjat. Niiden vaikutus on 6 % rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljestä, joka vastaa Kuittisen ja Häkkisen arvioita 36 %:sta rungon päästöistä.

Rakennesuunnittelijan näkökulmasta välipohjarakenteen päästöihin pystytään vaikuttamaan jo olemassa olevia rakennetyyppejä käyttämällä. Välipohjarakenne voidaan muuttaa paikallavalusta ontelolaattaratkaisuksi, näistä kahdesta ontelolaatoilla toteutettu välipohja on vähäpäästöisempi Emma-Sofia Härkösen

(2020, 61–62) tekemän diplomityön tuloksien perusteella. Mikäli rakenne kuitenkin täytyy rakenne- tai työmaateknisistä syistä toteuttaa paikallavaluna, voidaan betonin sisältämästä sementistä korvata osa vaihtoehtoisilla materiaaleilla ja näin toteuttaa ilmastoystävällisempiä rakenteita (Härkönen 2020, 70). Rakenteita voidaan myös toteuttaa markkinoilla olevalla Ruduksen vihreä betoni tuotteella, jolle toimittaja lupaa jopa 40 % pienemmät CO₂-päästöt kuin normaalilla vastaavalla betonilaadulla (Rudus n.d.).

Kuten kuvioista 8–10 huomataan, yleensä eniten päästöjä aiheuttava yksittäinen rakenneosaa on välipohja. Välipohjarakenteen lisäksi myös ulkoseinät tuottavat tuotesidonnaisista päästöistä merkittävän osan. Yleensä kuitenkin sisärakenteiden tuottaminen onnistuu vähähiilisesti paremmin kuin ulkorakenteiden, johtuen ulkorakenteiden vaatimista rasitusluokista sekä mahdollisesti lujempasta betonilaadusta (Betoniteollisuus ry 2021, 89–91).

4 HIILIJALANJÄLKILASKENTA

Elinkaariarvioinnilla eli LCA:lla (Life cycle assessment) arvioidaan rakennuksen elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset. Opinnäytetyössä ympäristövaikutuksista tutkitaan hiilijalanjäljen muodostumista. Suomessa käytettävä hiilijalanjäljen laskentamenetelmä on ympäristöministeriön laatima, ja se pohjautuu Euroopan komission laatimaan Level(s)-menetelmään, sekä eurooppalaisiin standardeihin, muun muassa EN 15643, EN 15804, EN 15978 sekä EN ISO 14067, jotka koskevat kestävästä rakentamisesta. (Ympäristöministeriö 2021a, 8). Arviointi voidaan suorittaa kaikille rakennustypeille, niin uudis- kuin korjausrakentamisessa. Vähähiilisyden arviointiin huomioidaan koko rakennus, tontin rakenteet sekä taloteknisten järjestelmien keskeisimmät osat. Arviointiin ei siis sisälly tontin kasvillisuus tai maaperä taikka rakentamisvaiheessa käytetyt väliaikaiset telineet ja sääsuojat. Rakennuksen elinkaareen sisällytetään tuotteiden valmistus, kuljetukset, työmaatoiminnot, käyttö, korjaukset ja purku sekä jätteenkäsittely ja loppusijoitus. (Kuittinen 2019, 10–12.)

4.1 Elinkaaren vaiheet ja arvioitavat rakenneosat

Rakennuksen elinkaaren vaiheet on esitetty kuviossa 3. Kaikkia elinkaaren vaihteita ei kuitenkaan sisällytetä mukaan elinkaaren hiilijalanjälkilaskentaan, sillä esimerkiksi käyttövaiheen moduulin (B7) vedenkäytön arviointi on hankalaa, ja sen vaikutus koko rakennuksen hiilijalanjälkeen on vähäinen. Alla olevassa taulukossa 1 onkin esitetty ympäristöministeriön mukainen elinkaaren vaiheiden arviointi. (Ympäristöministeriö 2021a, 12–13.)

TAULUKKO 1. Arviointiin sisältyvät elinkaaren vaiheet (perustuu lähteeseen ympäristöministeriö 2021a, 12–13).

TUOTEVAIHE	A1 Raaka-aineen hankinta A2 Kuljetus Valmistukseen A3 Tuotteen valmistus	Arvioidaan Arvioidaan Arvioidaan
RAKENTAMINEN	A4 Kuljetus työmaalle A5 Työmaan toiminnot	Arvioidaan Arvioidaan
KÄYTTÖVAIHE	B1 Tuotteiden käyttö B2 Kunnossapito B3 Korjaukset B4 Rakennustuotteiden vaihdot B5 Laajamittaiset korjaukset B6 Energian käyttö B7 Veden käyttö	Ei arvioida Ei arvioida Ei arvioida Arvioidaan Ei arvioida Arvioidaan Ei arvioida
KÄYTÖN JÄLKEEN	C1 Purkaminen C2 Kuljetus jatkokäsittelyyn C3 Purkujätteen käsittely C4 Purkujätteen loppusijoitus	Arvioidaan Arvioidaan Arvioidaan Arvioidaan
HIILIKÄDENJÄLKI	D1 Rakennusosien tai materiaalien uudelleenkäyttö D2 Materiaalin hyödyntäminen energiana D3 Ulosmyyty uusiutuva energia D4 Hiilivarastot D5 Sementin karbonatisoitumisen kautta sitoutuva hiilidioksidi	Arvioidaan hiilikädenjälkenä

Elinkaaren vaiheista jätetään siis rakennuksen hiilijalanjäljen laskennassa pois käytönaikaisia vaiheita. Käytönaikaisista vaiheista ei huomioida tuotteiden käyttöä, kunnossapitoa, korjauksia eikä vedenkäyttöä. Näiden arviointi on haastavaa sillä ne tapahtuvat tulevaisuudessa, eikä näin ollen ympäristövaikutusten arviointi ole luotettavalla tasolla. Niiden osuus elinkaaren päästöistä on myös pieni. (Häkkinen & Kuittinen 2020, 70–72.)

Laskennassa tulee kuitenkin huomioida, että käyttöveden lämmittämiseen kuluva energia lasketaan mukaan kohdassa B6 energian käyttö (Ympäristöministeriö 2021a, 13). Laajamittaisia korjauksia ei huomioida uudisrakennuksissa, koska niiden arvioiminen ennakoivasti on hankalaa. Tämän vuoksi laajamittaisiin korjauksiin tulee tehdä oma erillinen arviointi päästöjen osalta (Ympäristöministeriö 2021a, 13). Elinkaaren ulkopuoliset hyödyt tai haitat moduuli (D) on korvattu ympäristöministeriön arviointimenetelmässä hiilikädenjälkilaskentana. Hiilikä-

denjälki on ilmastohyöty, jota ei syntyisi ilman rakennushanketta (Häkkinen & Kuittinen 2020, 48–50). Hiilikädenjälkeä ei suoraan vähennetä hiilijalanjäljestä, vaan ne tulee esittää erillisinä tuloksina (Ympäristöministeriö 2021a, 28).

Taulukossa 2 on esitetty tarkemmin laskennan ulkopuolelle ja laskentaan sisältyvät rakenneosat. Taulukossa esiintyvät numerot viittaavat Talo 2000 - luokitukseen.

TAULUKKO 2. Arviointiin sisältyvät osat (perustuu lähteeseen Ympäristöministeriö 2021a, 11).

	Sisältyy arviointiin	Ei sisälly arviointiin
ALUEOSAT	1.1.1 Maaosat 1.1.2 Tuennat 1.1.3 Päällysteet 1.1.5 Alueen rakenteet	-Raivaukset, kaivannot ja kanaalit 1.1.4 Alueen varusteet -Tuotteiden pakkaukset -Uuden rakennuksen tieltä purettavat rakennukset tai rakenteet -Tontin kasvillisuus, maaperä ja vesistö
RAKENNUSOSAT	1.2.1 Perustukset 1.2.2 Alapohja 1.2.3 Runko 1.2.4 Julkisivut, ovet ja ikkunat 1.2.5 Ulkotasot ja parvekkeet 1.2.6 Kattorakenteet	-Tuotteisiin kuulumattomat erilliset naulat, ruuvit, liimat yms. -Savunpoistorakenteet -Tuotteiden pakkaukset
TILAOSAT	1.3.1 Jatko-osat (VS, ovet, portaat) 1.3.2 Tilapinnat (lattiat, sisäkatot) pintakäsittelyineen 1.3.3 Tilavarusteet 1.3.4.2 Hormit ja tulisijat 1.3.5 Tilaelementit	1.3.1.4 Kaiteet 1.3.3.5 Tilaopasteet -Listat ja kulmavahvikkeet -Tuotteisiin kuulumattomat erilliset naulat, ruuvit, liimat yms.
TALOTEKNIikka	-Lämmitysjärjestelmän pääosat -Vesi- ja viemärijärjestelmän pääosat -Ilmastointijärjestelmän pääosat -Jäähdytysjärjestelmän pääosat -Sprinklerijärjestelmän pääosat -Sähköjärjestelmän pääosat -Hissit ja liukuportaat	-Tietotekniset järjestelmät -Taloautomaation järjestelmät -Varavirtajärjestelmät -Erilliset koneet ja laitteet -Tuotteiden pakkaukset

4.2 Elinkaaren hiilijalanjäljen laskenta

Elinkaaren kasviuonekaasupäästöt lasketaan yleensä ohjelmiston avulla, tässä opinnäytetyössä käytetään OneClick LCA laskentaohjelmaa. Yleensä hiilijalanjäljen eri osatekijät sisältyvät arviointiin käytettävään ohjelmistoon. Ympäris-

töministeriön arviointimenetelmällä laskettaessa osatekijöihin kuuluvat ne ilmas-
tovaikutukset, jotka syntyvät kaavan 1 mukaisesti (Ympäristöministeriö 2021a,
16).

$$\begin{aligned} \text{Hiilijalanjälki} = & GWP_{\text{valmistus}} + GWP_{\text{vaihdot}} + GWP_{\text{jätteenkäsittely}} + GWP_{\text{loppusijoitus}} \\ & + GWP_{\text{kuljetukset}} + GWP_{\text{työmaa}} + GWP_{\text{käyttöenergia}} \end{aligned} \quad (1)$$

missä $GWP_{\text{valmistus}}$ on päästöt, jotka syntyvät rakennustuotteiden hankinnasta,
kuljetuksista ja valmistuksesta, elinkaaren vaiheet A1-3

GWP_{vaihdot} on päästöt, jotka syntyvät rakennustuotteiden vaihdosta,
elinkaaren vaihe B4

$GWP_{\text{jätteenkäsittely}}$ on päästöt, jotka syntyvät elinkaaren vaiheissa A5, B4
ja C3

$GWP_{\text{loppusijoitus}}$ on rakennus- ja purkujätteen loppusijoituksesta aiheutu-
vat päästöt, elinkaaren vaihe C4

$GWP_{\text{kuljetukset}}$ on rakennustuotteiden sekä purkujätteen kuljetuksista
syntyvät päästöt, elinkaaren vaiheet A4 ja C2

$GWP_{\text{työmaa}}$ on päästöt, jotka syntyvät rakennustyömaalla, tuotteita vaih-
dettaessa sekä rakennusta purettaessa kulutetusta energiasta, elinkaar-
ren vaiheet A5, B4 ja C1

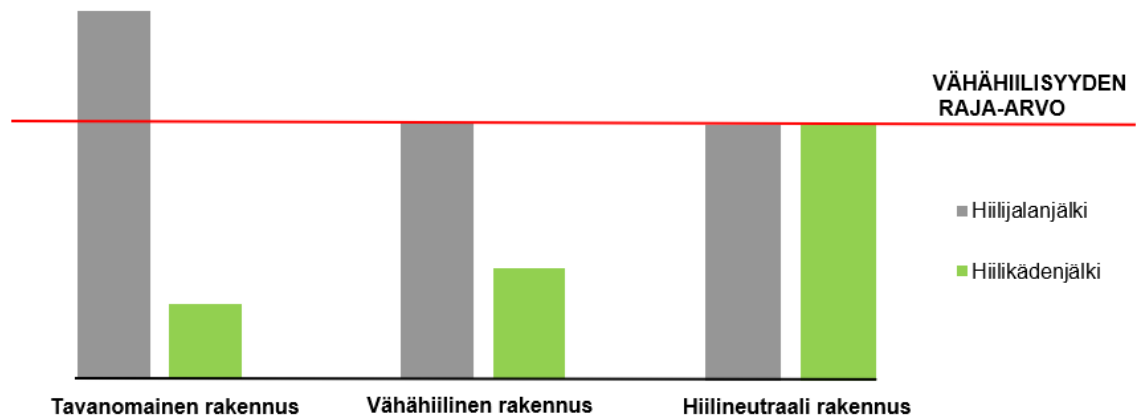
$GWP_{\text{käyttöenergia}}$ on rakennuksen käytön aikana käytetystä energiasta
syntyvät päästöt, elinkaaren vaihe B6

Ympäristöministeriön Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmässä
2021 on tarkemmin esitelty jokaisen vaiheen päästöjen laskenta. Lopputulokse-
na saadaan rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälki, joka ilmoitetaan hiilidioksi-
diekvivalenttien painona, jaettuna rakennuksen lämmitetyllä nettopinta-alalla ja
arviointiajanjakson pituudella. Yksikkönä on $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2/\text{a}$. Arviointiajanjakson
pituudeksi on ympäristöministeriön menetelmässä vakioitu 50 vuotta, pois lu-
kien väliaikaiset rakennukset. (Ympäristöministeriö 2021a, 5, 35).

4.3 Rakennuksen hiilijalanjäljen tavoite

Toistaiseksi ei vielä ole voimassa kansallista raja-arvoa, jonka alittuessa rakennus luokiteltaisiin vähähiiliseksi. Hiilijalanjälkilaskentaa suorittaessa voidaankin ajatella rakennuksen täyttävän vähähiilinen luokitus, kun saavutetaan merkittäviä vähennyksiä hiilijalanjälkeen, verrattuna tavanomaiseen rakennukseen. Merkittävä vähennys on luokkaa 30–50 % (Jäätvuori ym. 2021, 6). Kansallisten rakennustyyppikohtaisten raja-arvojen on tarkoitus astua voimaan ennen vuotta 2025, samalla kun hiilijalanjälki otettaisiin osaksi rakentamisen määräyksiä (Ympäristöministeriö 2020, 1).

Hiilineutraali rakennus edellyttäisi raja-arvon alittumisen, sekä hiilijalanjäljen kompensoitumisen hiilikädenjäljellä (Jäätvuori ym. 2021, 6). Kuviossa 11 on havainnollistettu vähähiilisen ja hiilineutraalin rakennuksen määritelmiä.



KUVIO 11. Tavanomainen, vähähiilinen ja hiilineutraali rakennus (perustuu lähteeseen Jäätvuori ym. 2021, 6).

5 REFERENSSITASON LASKENTA

Referenssitason laskenta suoritettiin rakenteilla olevalle asuinkerrostalolle. Laskenta suoritettiin OneClick LCA laskentatyökalulla, ympäristöministeriön vähähiilisyiden arviointimenetelmää käyttäen. Laskentaohjelmassa on taustatietona ympäristöministeriön arviointimenetelmän versio 2019, mutta laskentaa suoritettiin menetelmän 2021 ohjeistusta käyttäen.

5.1 OneClick LCA laskentatyökalun esittely

Opinnäytetyössä hiilijalanjäljen laskennassa käytetty ohjelma OneClick LCA on selainpohjainen ja se on tarkoitettu rakennusten elinkaariarviointiin. Ohjelma on rakennettu mahdollisimman käyttäjäystävälliseksi, jotta elinkaaren aikaisten päästöjen arviointi olisi edullista ja tehokasta. Ohjelmisto on tarkoitettu arviointityökaluksi suunnittelijoille, arkkitehdeille sekä tuotevalmistajille, jotta he pystyvät mittaamaan elinkaarikustannuksia ja ympäristövaikutuksia. (OneClick LCA n.d.a.)

Ohjelmisto sisältää työkaluja muun muassa hiilijalanjäljenlaskentaan, ympäristösertifiointien tekemiseen sekä ympäristöselosteiden (EPD) tuottamiseen. Ohjelmaan on myös syötetty taustatiedoksi eri maiden elinkaarilaskennan menetelmiä, esimerkiksi ympäristöministeriön arviointimenetelmä on valittavana laskentapohjaksi, uutta projektia aloittaessa. (OneClick LCA n.d.a.) OneClick LCA sisältää kattavasti monen eri maan päästötietokannat, joita pystyy hyödyntämään materiaaleja ohjelmaan kirjatessa. Oletusparametreinaan OneClick LCA hyödyntää ympäristöselosteita sekä laskentaan valitun elinkaarilaskennan menetelmän mahdollisia taustatietoja, esimerkiksi taulukkoarvoja.

Laskettavan rakennuksen lähtötiedot ohjelmaan voidaan tuoda suoraan eri rakennusalalla käytöstä olevista mallinnusohjelmista, rakennuksen tietomalleista tai manuaalisesti. Ohjelman sisältämän Carbon Designer -työkalun avulla voidaan arvioida jo suunnittelun varhaisessa vaiheessa rakennuksen ympäristövaikutuksia. Carbon Designeriin ei tarvitse syöttää materiaalimääriä, vaan se

toimii materiaalmäärien arviointityökaluna pinta-aloihin perustuen. (OneClick LCA n.d.a.)

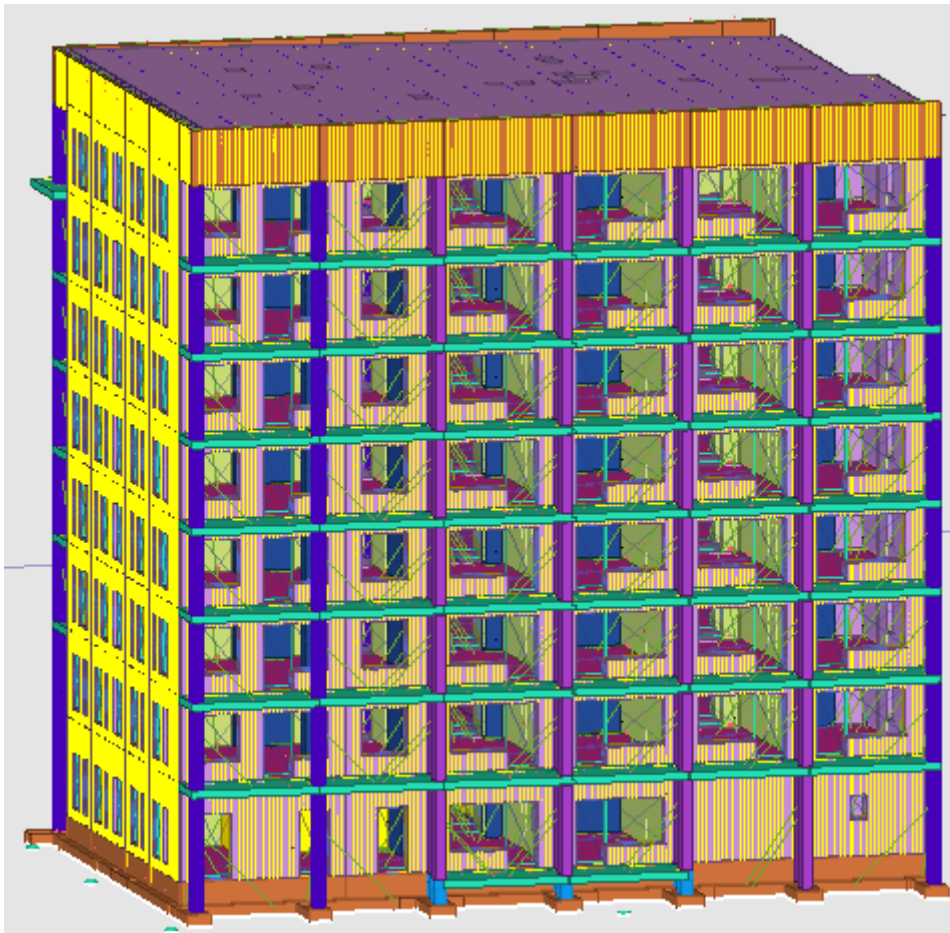
5.2 Kohteen esittely

Hiilijalanjäljen laskennan kohteeksi valikoitui A-Insinöörit Suunnittelu Oy:n suunnittelema ja YIT Suomi Oy:n rakennuttama 8-kerroksinen asuinkerrostalo (kuva 1). Kohde on rakenteilla Tampereen Niemenrantaan ja sen arvioitu valmistuminen on vuoden 2022 loppu kesästä. Rakennus on betonirakenteinen ja se sisältää 62 asuntoa. Kohde on perustettu teräsbetonipaaluja ja -anturoiden päälle. Alapohja on suurimmaksi osaksi 260 mm paksu maanvarainen teräsbetonilaatta. Välipohjat on toteutettu 270 mm paksulla teräsbetonilaatalla sekä porrashuoneiden kohdalla olevilla massiivilaattaelementeillä. Ulkoseinät ovat betonirakenteisia sandwich-elementtejä ja kantavat väliseinät 200 mm paksuja betonielementtejä. Kevyet väliseinät ovat pääsääntöisesti levyväliseiniä. Liitteessä 2 on esitetty kohteen keskeisimmät rakennetyypit.

Kohteen pinta-ala ja tilavuustiedot ovat seuraavat:

- Lämmitetty nettoala 3054 m²
- Huoneala 2789 m²
- Rakennuspaikan pinta-ala 1524 m².

Rakennuksen hiilijalanjälkilaskennan suorittamiseksi rakennuskohteesta tulee olla selvillä rakennetyypit sekä niiden määrät, energiankulutus sekä rakennuksen lämmitetty nettoala. Tämän opinnäytetyön laskennakohteena olevasta rakennuksesta löytyi valmiit arkkitehti-, rakenne- sekä LVI-suunnittelijan suunnitelmat. Esimerkiksi rakennuksen energiankulutus voidaan näin ollen arvioida laskentaohjelmassa hyvin luetettavalla tasolla, kun pystytään hyödyntämään rakennuksen energiatodistusta. Rakennuksen energiatodistuskokemuksen keskeisimmät sivut on esitetty liitteessä 3.



KUVA 1. Laskentakohteen Tekla Structures kuvankaappaus.

Rakennuksen julkisivu on suurimmaksi osaksi uritettua valkobetonia sekä kuulokäsiteltyä betonia. Asuntojen pintamateriaalina lattiassa on laminaatti, katot ruiskukäsiteltyjä tai alas laskettua ja seinät ovat tasoitettuja sekä maalattuja. Rakennuksen lämmitysmuoto on maalämpö. Lämmönjakotapana on vesikiertoinen patterilämmitys ja märkätiloissa sähköinen lattialämmitys. Ilmanvaihto on toteutettu keskitetyllä ilmanvaihtokoneella, joka on varusteltu lämmöntalteenotolla.

Rakennuksessa on asuintilojen lisäksi yhteistiloja kahdeksannessa kerroksessa, sekä näiden lisäksi rakennuksen ensimmäisestä kerroksesta löytyy irtaimistovarastot. Rakennuksessa on myös väestönsuojatilat sekä hissi.

5.3 Laskennan suorittaminen

Hiilijalanjäljen laskeminen aloitettiin referenssitason laskennasta. Referenssitaso laskettiin valmiita arkkitehti- ja rakennepiirustuksia käyttäen. Kun referenssitaso oli laskettu, laskettiin rakennuksen hiilijalanjälki optimointi A, B, C sekä D vaihtoehdoille. Optimointilaskennan rakennetyyppikohtaiset muutokset ja eroavaisuudet referenssilaskentaan sekä toisiinsa on esitetty luvussa 6.

Referenssitasonlaskennan suorittaminen aloitettiin tutustumalla kohteen arkkitehti- sekä rakennepiirustuksiin. Tämän jälkeen suoritettiin materiaalien määrälaskenta. Määrälaskennan jälkeen syötettiin materiaalitiedot OneClick LCA-laskentaohjelmaan. Määrälaskennassa erityistä tarkkuutta käytettiin raskaiden materiaalien kirjaamiseen, sillä niiden vaikutus elinkaaren päästöjen laskennassa on suuri. Lisäksi perehdyttiin kohteen energiatodistukseen, josta kävi ilmi kohteen energiatehokkuusluokka, joka oli B sekä kohteen arvioitu sähkönkulutus. Sähkönkulutukseksi oli arvioitu 225 286 kWh/vuosi, joka vastaa 74 kWh/m²/vuosi. Kohteen energiatodistuksen keskeisimmät sivut opinnäytetyön liitteessä 3.

5.3.1 Määrälaskenta

Materiaalien määrälaskenta suoritettiin rakennetyypeittäin sekä rakenneosittain. Määrälaskennassa hyödynnettiin arkkitehdin sekä rakennesuunnittelijan IFC-mallia ja kohteen taso- sekä leikkauspiirustuksia. IFC-malleista saatiin Solibri-mallintarkastusohjelman avulla taulukoitua Excel-tiedostoihin malleihin syötetyt materiaali- ja määrätiedot. Arkkitehdin ja rakennesuunnittelijan IFC-malleista tuotuja materiaalien määrätietoja vertailtiin keskenään, ja mikäli määrissä havaittiin suuria eroja, laskettiin taso- ja leikkauspiirustuksia hyödyntäen tarkka materiaalin menekki.

Arkkitehdin IFC-mallia sekä suunnitelmia hyödyntäen saatiin selville rakennuksen pintamateriaalit, ovien ja ikkunoiden määrät, alue- ja piharakenteet, kiintokalusteet sekä rakennetyyppien pinta-alat. Rakennesuunnittelijan IFC-mallista

saatiin tiedot rakennuksen sisältämistä pilareista, perustuksista ja muista kantavista rakenteista.

Opinnäytetyötä tehdessä kasattiin Excel-tiedosto (kuva 2), johon rakenneosien määrät kirjattiin ylös. Tiedostoon kirjattiin ylös materiaalin nimi, määrä, yksikkö sekä Talo2000 mukainen nimikkeistö ja numerointi. Tarvittaessa Excel-tiedostoon syötettiin myös tarkentava vapaamuotoinen kommentti rakenneosasta.

	materiaali	m2	m3	Talo2000	kommentti
VP1	C30/37	2147,54	579,84	1235 Runko: Välipohjat	
VP2	C30/37	287,2	71,8	1235 Runko: Välipohjat	märkätila
VP3	C30/37	228,54	59,42	1235 Runko: Välipohjat	laattaelementit
VP4	C35/45	599,96	159,02	1235 Runko: Välipohjat	parveke
VP5	C30/37	84,45	8,45	1235 Runko: Välipohjat	VSS yläpuoli
YP1	C30/37	314,15	84,82	1236 Runko: Yläpohjat	
YP1.1	bet	27,65	7,19	1237 Runko: Yläpohjat	laattaelementti
YP2	bet		6,29	1238 Runko: Yläpohjat	

KUVA 2. Kuvankaappaus määrälaskentaan tehdystä Excel-tiedostosta.

5.3.2 Tietojen kirjaaminen laskentaohjelmaan

Tietojen kirjaaminen OneClick LCA-laskentaohjelmaan aloitettiin rakennusmateriaalien syöttämisestä. Määrälaskentavaiheessa tehtyä Excel-tiedostoa voidaan hyödyntää tässä vaiheessa ja lukea määrätiedot Excel-tiedostosta suoraan ohjelmaan, tai syöttää tiedot manuaalisesti. Tässä opinnäytetyössä materiaali- ja määrätiedot syötettiin ohjelmaan manuaalisesti, koska ohjelman käyttö ja ohjelmaan perehtyminen oli opinnäytetyön tekijän tavoitteena.

Rakennusmateriaalien päästötietojen lähteenä käytettiin pääsääntöisesti Suomen Ympäristökeskuksen eli SYKE:n laatimia päästötietoja. Ympäristökeskuksen päästötiedot ovat konservatiivisia arvoja, jotka eivät huomioi valmistajakoh- taisia eroja, ja ne sisältävätkin konservatiivisen arvon kertoimen, joka on 1,2. Päästötietokannan arvoja tulee käyttää, mikäli ei tiedetä tarkemmin minkä valmistajan tuotetta käytetään. Mikäli valmistaja on tiedossa, voidaan käyttää valmistajakohtaista ympäristöselostetta, eli EPD:tä. Näin toimittiin myös tässä opinnäytetyössä.

Laskentaohjelmassa rakennusmateriaalit on jaettu kuuden otsikon alle:

1. Perustukset ja maanalaiset rakenteet
2. Pystyrakenteet ja julkisivu
3. Vaakarakenteet: pohjat, katot ja palkit
4. Muut rakenteet ja materiaalit
5. Alue- ja piharakentaminen
6. Rakennuksen talotekniikka.

Materiaalien määrät ja rakennetyypit voidaan syöttää OneClick LCA-laskentaohjelmaan painon, tilavuuden tai pinta-alan perusteella. Joissakin tapauksissa materiaali tai rakennusosa voidaan syöttää myös kappalemäärän perusteella. Näin toimittiin esimerkiksi kiintokalusteiden kohdalla.

Laskentaohjelma syöttää automaattisesti rakenteille hukkaprosentin, käyttöiän sekä Talo2000 mukaisen rakennusosanimikkeistön ja -numeron. Laskentaohjelman syöttämät automaattiset arvot tarkastettiin materiaaleja kirjatessa ja tarvittaessa muutettiin arvoja. Etenkin Talo2000 mukainen nimeäminen oli usein väärin sekä rakenteiden käyttöiässä oli eroavaisuuksia verrattuna RT-kortiston julkaisuun. Laskennassa käyttöiät vaihdettiin vastaamaan RT-kortin 18-10922 mukaisia käyttöiä (Rakennustieto, 2008). Käyttöiän määrittäminen vaikuttaa rakennuksen elinkaaren korjauksista ja vaihdoista aiheutuviin päästöihin. Rakennusmateriaalien hukkaprosentit ohjelma arvioi pääsääntöisesti oikein. Tarvittaessa arvoja voidaan muuttaa vastaamaan RATU-kortin 1191-S mukaisia arvoja (Rakennustieto, 2000). Laskentaohjelman näkymä materiaaleja syötettäessä esitetty kuvassa 3.

3. Vaakarakenteet: pohjat, katot ja palkit 440 Tonnia CO₂e - 17 %

Alapohjat, välipohjat ja yläpohjat, palkit ja katto Näytä muut vastaukset - Luo ryhmä + Siirrä materiaalit

Etsi nimen, valmistajan tai EPD-numero	Määrä	CO ₂ e	Muistilpanot	Rakennusosa	Käyttöikä	Hukka	Reused material
Resurssi	306.38 m ²	311 - 1%		1220 Alapohjat	Tieto osien tasolla	Tieto osien tasolla	<input type="checkbox"/>
AF1							<input type="checkbox"/>
Valmisbetoni, C30/37, 2363 kg/m ³	79.66 m ³	271 - 1%	AP1	1220 Alapohjat	Kuten rakennus	4 %	<input type="checkbox"/>
Teräsrudoite betonirakenteisiin, 7	1600 kg	1,11 - -0%	AP1	1220 Alapohjat	Kuten rakennus	4.85 %	<input type="checkbox"/>
EPS-eriste, L = 0.031 W/mK, R = 1 K	306.38 m ² x 140 mm	2,51 - 0,1%	AP1	1220 Alapohjat	Kuten rakennus	4 %	<input type="checkbox"/>
Suodatinkangas N3	306.38 m ² x 0.15 mm	37kg - -0%	AP1	1220 Alapohjat	50	10 %	<input type="checkbox"/>
Sepeli (β...16 mm), kostea tilavuus,	306.38 m ² x 300 mm	0,81 - -0%	AP1	1220 Alapohjat	Kuten rakennus	None	<input type="checkbox"/>
AF2	91.86 m ²	101 - 0,4%		1220 Alapohjat	Tieto osien tasolla	Tieto osien tasolla	<input type="checkbox"/>
Valmisbetoni, C30/37, 2363 kg/m ³	26.64 m ³	8,91 - 0,3%	AP2	1220 Alapohjat	Kuten rakennus	4 %	<input type="checkbox"/>
Teräsrudoite betonirakenteisiin, 7	550 kg	0,391 - -0%	AP2	1220 Alapohjat	Kuten rakennus	4.85 %	<input type="checkbox"/>
EPS-eriste, L = 0.031 W/mK, R = 1 K	91.86 m ² x 140 mm	0,741 - -0%	AP2	1220 Alapohjat	Kuten rakennus	4 %	<input type="checkbox"/>
Suodatinkangas N3	91.86 m ² x 0.15 mm	11kg - -0%	AP2	1220 Alapohjat	50	10 %	<input type="checkbox"/>
Sepeli (β...16 mm), kostea tilavuus,	91.86 m ² x 300 mm	0,241 - -0%	AP2	1220 Alapohjat	Kuten rakennus	None	<input type="checkbox"/>

KUVA 3. OneClick LCA-laskentaohjelman näkymä materiaaleja kirjatessa.

Rakennusmateriaalien syöttämisen jälkeen ohjelmaan syötetään tiedot rakennuksen vuotuisesta energiankulutuksesta. Koska rakennuksen lämmitysmuotona toimii maalämpö, syötettiin vain tieto rakennuksen verkkosähkönkulutuksesta. Verkkosähkön kulutus vuodessa on rakennukselle 225 286 kWh/a, tämä tieto saatiin rakennuksen energiatodistuksesta.

Seuraavaksi siirrytään syöttämään rakennuksen tavoitekäyttöikä. Tavoitekäyttöikä eli arviointijakso on ympäristöministeriön mukaisella menetelmällä laskiessa 50 vuotta. Tuotteiden vaihto ja ylläpito sekä energian kulutus lasketaan arviointijaksolle. Energian päästöjen oletetaan laskevan tulevaisuudessa, joten ohjelma ottaa huomioon tulevaisuudessa madaltuvat sähkön kulutuksesta syntyvät päästöt. Eri energiamuotojen päästökertoimet esitetty taulukossa 3. Taulukon arvot ovat muodossa kgCO₂e/kWh.

TAULUKKO 3. Energiamuotojen päästökertoimet (perustuu lähteeseen Suomen ympäristökeskus n.d.).

	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080
Sähkö	0,153	0,089	0,059	0,045	0,034	0,022	0,015
Kaukolämpö	0,147	0,114	0,082	0,054	0,029	0,021	0,015
Kaukojäähdytys	0,042	0,026	0,018	0,013	0,01	0,007	0,005
Fossiiliset polttoaineet	0,306	0,306	0,306	0,306	0,306	0,306	0,306
Biopolttoaineet	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027
Uusiutuvat polttoaineet	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Päästökertoimien tulevaisuuden arvot perustuvat Suomen energia- ja ilmastostrategian toimenpiteiden mukaisiin vähennyksiin. Nämä eri päästöjen vähentymisen skenaariot ovat mukana rakentamisen päästötietokannassa eli CO₂data-palvelussa. (Ympäristöministeriö 2021a, 27.) Laskentaohjelma huomioi automaattisesti päästöjen muutokset taulukkoarvojen välisistä vuosista, interpoloimalla. Taulukossa 4 esitetty sähkön päästökertoimet vuosina 2022–2072, aina 10 vuoden välein.

TAULUKKO 4. Sähkön päästökertoimet laskentakohteen energialaskentaa varten (perustuu lähteeseen Suomen ympäristökeskus n.d.).

	2022	2032	2042	2052	2062	2072
Sähkö	0,140	0,083	0,056	0,043	0,032	0,021

Mikäli on tiedossa tarkat määrät sementtipohjaisten materiaalien karbonatisoitumisesta, syötettäisiin ne seuraavaksi ohjelmaan. Karbonatisoitumisen tietojen lisääminen suurentaisi rakennuksen hiilikädenjälkeä. Opinnäytetyön laskennassa tämä vaihe ohitettiin.

Seuraavaksi syötetään taulukkoarvot sekä rakennuksen pinta-ala. Rakennuksen pinta-alasta ohjelmaan syötetään rakennuspaikan pinta-ala sekä rakennuksen lämmitetty nettoala. Opinnäytetyön laskentakohteen rakennuspaikan pinta-ala on 1 524 m² ja lämmitetty nettoala 2 789 m². Taulukkoarvot, joita ohjelmaan syötetään ovat seuraavat:

- A4 Kuljetus työmaalle
- A5 Uudisrakennustyömaan toiminnot
- B3-4 Korjausten energiankulutus
- C1 Purkutyömaan toiminnot
- C2 Kuljetus jatkokäsittelyyn
- C3-4 Jätteenkäsittely ja loppusijoitus.

Laskentaohjelma määrittelee taulukkoarvoille automaattisesti elinkaaren ajalla syntyvät päästöt. Automaattisista taulukkoarvoista vaihdettiin moduulien A5 sekä C1 tietolähteeksi kansallisen päästötietokannan määrittelemät päästöt asuinrakentamisessa. Muutoin laskentaohjelma käyttää ympäristöministeriön arviointimenetelmän 2019 liitteiden mukaisia päästötietoja.

5.3.3 Laskennan tuloksien tarkkuus

Vähähiillisen rakentamisen ohjauksessa ja tavoitteiden saavuttamisessa on tärkeää, että hiilijalanjäljen arvioinnissa saavutetaan kohtuullinen tarkkuus. Riittävä tarkkuus saavutetaan, kun käytetään ajallisesti ja paikallisesti edustavia päästötietoja sekä lasketaan rakennusmateriaalit ja energiamäärät tarpeeksi kattavasti ja oikein. Todellisuudessa eroja arvioiduista päästöistä syntyy aina, esimerkiksi valmistajien prosesseissa, sähkön tuotannossa tai kuljetussuoritteiden päivä- sekä vuodenaikakohtaisten päästövaihteluiden takia. Yksittäisen rakennusosan kohdalla eroa synnyttää myös se, että laskenta tehdään rakennustuotteen oletettujen uusimisjaksojen perusteella. Todellisuudessa rakennuksen käytössä,

rasituksessa sekä kulumisessa on eroja, joiden syntyyn voi vaikuttaa esimerkiksi sääolosuhteiden kautta rakennuksen sijainti. (Häkkinen & Kuittinen 2020, 84–88.)

Päästöihin oleellisesti liittyvässä rakennusosien tarkkuus- ja kattavuuslaskennassa noudatetaan eurooppalaisen standardin EN 15978 periaatteita. Standardin mukaan laskennan ulkopuolelle voidaan jättää sellaiset tekijät, joiden vaikutus kokonaisuudesta on alle yksi prosentti. Yhteenlaskettuna ulos jätettyjen tekijöiden summa ei saa ylittää viittä prosenttia. (Häkkinen & Kuittinen 2020, 79.)

Tämän opinnäytetyön laskennan tuloksien tarkkuuteen vaikuttaa muun muassa rakennuksen ulkoseinärakenteiden julkisivukäsittelyn/-pinnoitteen huomioimatta jättäminen sekä teräsbetonirakenteiden rauditusmäärien arvioinnit taulukon 5 arvoja käyttäen. Julkisivun uritettua kuviointia, valkobetointia eikä kuultokäsittelyä huomioitu laskennassa. Valkobetoinnin mahdollisen päästöjen lisääntymisen arviointi olisi ollut hankalaa riittävällä tarkkuudella, sillä päästötietokannoista ei löytynyt vastaavaa materiaalia. Julkisivun kuultokäsittelyn päästöjen muodostumisen arvioitiin olevan kokonaispäästöistä alle yksi prosentti, sillä kuultokäsittelyä oli julkisivussa vähän. Kiintokalusteiden päästöjen määrän arvioinnissa saattaa myös olla heittoa, sillä tietokannoista ei löytynyt täysin sopivia tuotteita rakennuskohteen kalusteisiin verrattaessa.

TAULUKKO 5. Teräsbetonirakenteiden rauditusten määrät laskennassa.

PERUSTUKSET	Seinäanturat	30 kg/m ³
	Paaluanturat	30 kg/m ³
ALAPOHJAT	Maanvarainen	25 kg/m ³
VÄLIPOHJAT	Teräsbetonilaatta	45 kg/m ³
ULKOSEINÄT		40 kg/m ³
KANTAVAT VÄLISEINÄT	Betoniseinä 200 mm	30 kg/m ³
	Betoniseinä 150 mm	30 kg/m ³
PILARIT		45 kg/m ³

Taulukon 5 arvot perustuvat kohteen rakennepiirustuksiin, joista on laskettu keskimääräiset raudoitteiden kilomäärät kuutiolle betonia. Taulukkoa laatiessa on myös hyödynnetty A-Insinöörien sisäisiä dokumentteja.

5.4 Optimointivaihtoehtojen laskenta

Referenssitason laskennassa suurimmat päästöt syntyivät välipohjarakenteista, laskennan tulokset esitetty luvussa 6. Optimointivaihtoehtoja muodostaessa tavoiteltiin ratkaisuja, joiden avulla välipohjarakenteen muodostamia kokonaispäästöjä elinkaaren aikana voitaisiin pienentää. Optimointivaihtoehtoja muodostaessa yritettiin myös muokata välipohjarakennetta tavalla, joka on rakennesuunnittelijan näkökulmasta yksinkertaisesti toteutettavissa.

5.4.1 Optimointi A

Luvussa 3.3 viitattujen tutkimuksien perusteella valittiin optimointi A vaihtoehtoon paikallavalurakenteisten teräsbetonivälipohjien tilalle ontelolaattavälipohjat. Härkösen diplomityön tuloksissa ontelolaatta väli- ja yläpohjalla elinkaaren hiilijalanjälkeä saatiin pienennettyä referenssitason tuloksesta $17,59 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^2/\text{a}$, tulokseen $17,17 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^2/\text{a}$.

Ontelolaattarakenteessa käytettiin 370 mm paksuja ontelolaattaelementtejä. Rakennetyyppi liitteen 4 sivulla 3. Ontelolaattaelementin lisäksi rakenteeseen huomioitiin mahdolliset reuna-alueiden täyttövalut, sekä ontelolaattakentän sauma- ja rengasteräkset.

Välipohjien lisäksi optimointivaihtoehdossa korvattiin referenssitason paikallavallettu teräsbetonirakenteinen yläpohja ontelolaattaelementeillä. Ontelolaattaelementtien paksuus rakennetyypissä on 265 mm. Rakennetyyppi liitteen 4 sivulla 5. Ontelolaattaelementtien lisäksi rakenteeseen huomioitiin yläpohjan jatkuva höyrynsulku sekä mahdolliset reuna-alueiden täyttövalut ja ontelolaattakentän sauma- ja rengasteräkset.

Ontelolaattaelementteinä OneClick LCA-laskentaohjelmassa käytettiin Parma Oy:n ontelolaattaelementtejä. Näiden päästöt ovat pienemmät verrattuna rakentamisen päästötietokannan ontelolaattaelementteihin, sillä tuotevalmistajien päästöissä ei huomioida konservatiivisen arvon kerrointa 1,2.

5.4.2 Optimointi B

Optimointi B:ssä välipohjien sekä yläpohjan betoni korvattiin vähähiilisemmällä betonilla. Rakennetyypit liitteen 4 sivuilla 2 ja 5. Vähähiilisempi betoni pienentää päästöjä elinkaaren tuotevaiheen moduuleista A1-A3. Näin ollen päästöjä leikataan siis betonin valmistuksesta sekä materiaalivalinnoissa. Esimerkiksi sementistä osa voidaan korvata teräs-, kaivos tai energiateollisuuden sivuvirroista syntyvillä sideaineilla (Sitra 2019).

Betonyhdistys on laatinut betonin vähähiilisyysluokitukset. Tuotetoimittajat joutuvat sertifioimaan betonin vähähiilisyysluokkiin, mikäli rakennuttaja haluaa hankkeessaan käyttää vähähiiliseksi luokiteltua betonia. Vähähiilisyysluokitus tulee siis olemaan vapaaehtoinen betonivalmistajille. Luokitukset ovat olleet vuoden 2021 lopulla lausuntokierroksella ja niiden julkaisun on tarkoitus tapahtua vuoden 2022 keväällä (Suomen Betonyhdistys ry n.d.).

Tässä opinnäytetyössä on vähähiilistä betonia käytettäessä käytetty Betonyhdistyksen luomaa vähähiilisyysluokitusta GWP.85. Luokitus perustuu referenssitasoon, jossa tämän hetken betonilaatujen päästöt keskimäärin ovat. Jokaiselle betonin lujuusluokalle sekä lujuusluokan huokostetulle, ei huokostetulle ja P-luku betonille on laskettu omat referenssiarvot. Referenssiarvoista on laskettu vähähiilisemmät vaihtoehdot, jotka ovat GWP.85, GWP.70, GWP.55 ja GWP.40. GWP tulee englanninkielisistä sanoista Global Warming Potential, ja tarkoittaa suomennettuna ilmastoa lämmittävää potentiaalia. (Suomen Betonyhdistys 2022, 4–5). Merkintä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi GWP.85 betoniluokan CO₂ päästöt ovat 85 % vastaavan betonityypin keskimääräisistä päästöistä, eli referenssitasosta (Suomen Betonyhdistys ry n.d.). Taulukossa 6 esitetty betonyhdistyksen laatimat vähähiilisyysluokat sekä niiden CO₂ päästöt.

TAULUKKO 6. Vähähiilisyysluokituksen betonilaadut sekä vähähiilisyysluokkien raja-arvot. Arvot GWP_{total} -arvoja sisältäen moduulit A1-A3. Arvojen yksikkönä on $kg(GWP_{total})/m^3$ -betonia. (Suomen Betoniyhdistys 2022, 5.)

BETONI	Ref.taso				
	GWP.REF	GWP.85	GWP.70	GWP.55	GWP.40
C20/25 - Ei huokostettu	210	180	145	115	85
C25/30 - Ei huokostettu	230	195	160	125	90
C30/37 - Ei huokostettu	255	215	180	140	100
C35/45 - Ei huokostettu	285	240	200	155	115
C45/55 - Ei huokostettu	320	270	225	175	130
C50/60 - Ei huokostettu	340	290	240	185	135
C30/37 - Huokostettu	290	245	205	160	115
C35/45 - Huokostettu	330	280	230	180	130
C45/55 - Huokostettu	375	320	265	205	150
C50/60 - Huokostettu	395	335	275	215	160
C30/37 P0	270	230	190	150	110
C30/37 P30	300	255	210	165	120
C35/45 P0	300	255	210	165	120
C35/45 P30	330	280	230	180	130
C35/45 P50	340	290	240	185	135
C45/55 P50	375	320	265	205	150

Taulukon 6 vähähiilisyysluokkien CO_2 päästöt ovat GWP_{total} -arvoja, ja ne sisältävät kaikki moduuleissa A1-A3 syntyvät päästöt. Arvojen yksikkönä on $kg(GWP_{total})/m^3$ -betonia (Suomen Betoniyhdistys 2022, 4). Arvojen laskenta noudattaa opinnäytetyössä esitettyä kaavaa 1, jossa *hiilijalanjalan* tilalla käytetään yksikkönä GWP_{total} .

Opinnäytetyön vähähiiliseksi betoniksi on valittu GWP.85 luokan betonilaatua, koska Betoniyhdistyksen julkaisun mukaan sitä on todennäköisesti yleisesti saatavilla. Jos betonin vähähiilisyysluokkaa olisi laskentakohteen rakenteissa nostettu GWP.70 tasoon, ei tämän vähähiilisyysluokan betonia voisi tilata yhtä monelta eri toimittajalta. (Suomen Betoniyhdistys 2022, 7).

5.4.3 Optimointi C

Optimointivaihtoehdossa C rakennetyypit sekä laskentaan lisättävät elementit olivat samanlaisia, kuin vaihtoehdossa A pois lukien ontelolaattoja, jotka muu-

tettiin Parma Oy:n vähähiiliseksi ontelolaattaelementeiksi. Ontelolaattoja käytettiin optimointi A:n tapaa ylä- ja välipohjissa.

Parma Oy:n tuottamat vähähiiliset ontelolaatat noudattavat ympäristöystävällistä valmistustekniikkaa, ja Parma Oy:n mukaan ne pienentävät hiilidioksidipäästöjä yli 40 % verrattuna vakiotuotannossa oleviin tuotteisiin. Teknisiltä ominaisuuksiltaan Parma Oy:n mukaan vähähiilinen ontelolaatta on identtinen perinteisten ontelolaattojen kanssa. (Parma Oy n.d.)

5.4.4 Optimointi D

Optimointi D vaihtoehdossa yritettiin tavoitella mahdollisimman ympäristöystävällistä rakennusta käyttämällä samoja ratkaisuja kuin vaihtoehdoissa A-C. Välipohjat sekä yläpohja toteutettiin Parma Oy:n vähähiilisellä ontelolaattaratkaisulla ja mahdolliset reuna-alueiden täyttövalut laskettiin toteutettavaksi optimointivaihtoehdossa B käytetyllä vähähiilisellä GWP.85 betonilla.

Näiden muutosten lisäksi rakennuksen paikallavaluna toteuttavien vaakarakenteiden materiaalina käytettiin GWP.85 betonia. Näitä rakenteita olivat rakennuksen väestönsuojankatto sekä alapohjan maanvarainen teräsbetoni-laatta. Alapohjan vähähiilinen rakennetyyppi liitteen 4 sivulla 1.

6 TULOKSET

Seuraavassa luvussa on esitetty referenssitason laskennan sekä optimointivaihtoehtojen A-D elinkaaren päästöt. Elinkaaren päästöt on esitetty ympäristöministeriön arviointimenetelmän 2021 mukaisesti, jolloin rakennuksen ja rakennuspaikan hiilijalanjäljet ovat eritelty toisistaan.

6.1 Referenssitaso

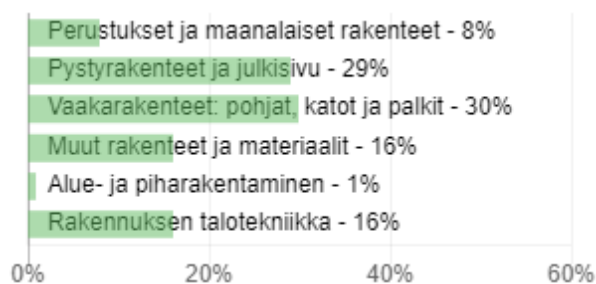
Referenssitason hiilijalanjäljeksi saatiin OneClick LCA-laskentaohjelmalla taulukon 7 mukaiset arvot. Taulukossa on eroteltuna toisistaan rakennuksen ja rakennuspaikan päästöt, sekä niiden yhteenlaskettu summa on myös esitetty taulukossa.

TAULUKKO 7. Referenssitason hiilijalanjälki.

Hiilijalanjälki	tCO ₂ e
Rakennuksen	2 441
Rakennuspaikan	130
yhteensä	2 571

Ympäristöministeriön vuoden 2021 arviointimenetelmän mukaisin yksiköin esitettyinä on rakennuksen hiilijalanjälki 17,51 kgCO₂e/hum²/a ja rakennuspaikan hiilijalanjälki 1,71 kgCO₂e/rp-m²/a. Kuten luvussa 5.2 on todettu, on huonealaa rakennuksessa 2 789 m² ja rakennuspaikan pinta-ala on 1 524 m². Arviointijakson pituutena on arviointimenetelmän mukaisesti 50 vuotta. Rakennuksen sekä rakennuspaikan hiilijalanjäljet esitetty kootusti referenssi sekä optimointivaihtoehtoille luvun 6.3 kuviossa 17.

Alla olevassa kuviossa on esitetty referenssitason päästöjen jakautuminen rakennekokonaisuuksittain. Rakenneosan päästöt ovat kuviossa 12 tuotevaiheen moduulien A1-A3 aikana syntyneitä hiilidioksidipäästöjä. Kuvioista huomataan referenssitasossa vaakarakenteiden olevan suurin yksittäinen päästöjen aiheuttaja. Toiseksi suurin päästöjä aiheuttava rakenneosa on pystyrakenteet ja julki-sivut.



KUVIO 12. Referenssitason päästöt rakenneosittain, tuotevaiheessa (OneClick LCA n.d.b.).

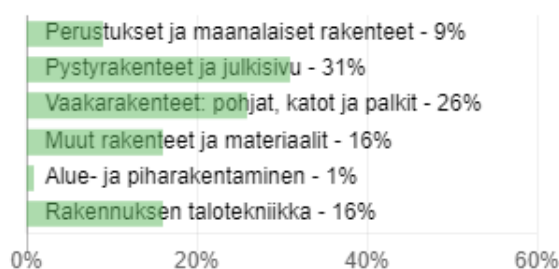
6.2 Optimointi vaihtoehdot

Optimointivaihtoehtojen hiilijalanjäljet on esitetty taulukossa 8, jossa on myös referenssitason hiilijalanjälki vertailtavaksi eri optimointivaihtoehtoihin. Taulukossa hiilijalanjälkien yksikkönä on tCO₂e. Optimointivaihtoehdoissa rakennuspaikan hiilijalanjälki on sama kuin referenssitasolla, eli 130 tCO₂e.

TAULUKKO 8. Eri laskentavaihtoehtojen hiilijalanjäljet.

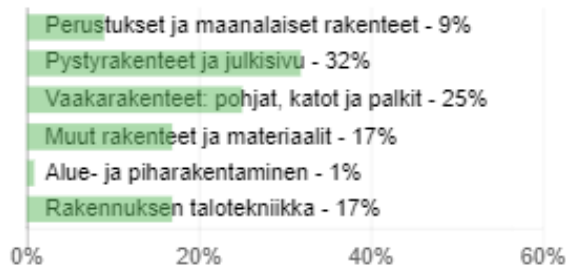
Hiilijalanjälki	REF	A	B	C	D
Rakennuksen	2 441	2 356	2 340	2 298	2 266
yhteensä	2 571	2 486	2 470	2 428	2 396

Ympäristöministeriön vuoden 2021 arviointimenetelmän mukaisesti esitettynä hiilijalanjälki optimointivaihtoehdolle A on 16,90 kgCO₂e/hum²/a. Kuviossa 13 on optimointivaihtoehto A:n tuotevaiheen moduulien päästöt esitetty kuten kuviossa 12. Kuvioista huomataan pystyrakenteiden ja julkisivun nousseen kuormittavimmaksi rakennekokonaisuudeksi. Vaakarakenteet ovat toiseksi kuormittavin kokonaisuus rakennuksessa.



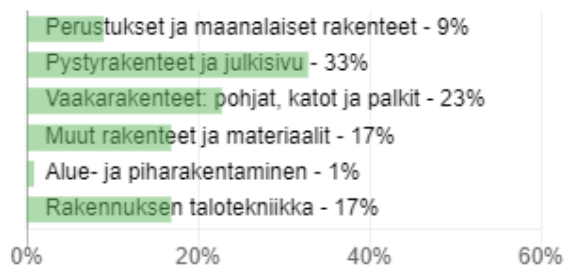
KUVIO 13. Optimointi A:n päästöt rakenneosittain, tuotevaiheessa (OneClick LCA n.d.b.).

Optimointivaihtoehto B:n hiilijalanjälki arviointimenetelmän 2021 mukaisesti esitettyä on $16,78 \text{ kgCO}_2\text{e/hum}^2/\text{a}$. Tuotevaiheen moduuleissa syntyneet päästöt optimointivaihtoehdolle B on esitetty kuviossa 14. Kuvioista huomataan, että GWP.85 betonia ylä- ja välipohjissa käyttämällä on vaakarakenteiden osuus laskenut viisi prosenttiyksikköä, verrattuna referenssitasoon. Ontelolaattavaihtoehtoon verrattessa on vaakarakenteiden osuus laskenut yhden prosenttiyksikön.



KUVIO 14. Optimointi B:n päästöt rakenneosittain, tuotevaiheessa (OneClick LCA n.d.b.).

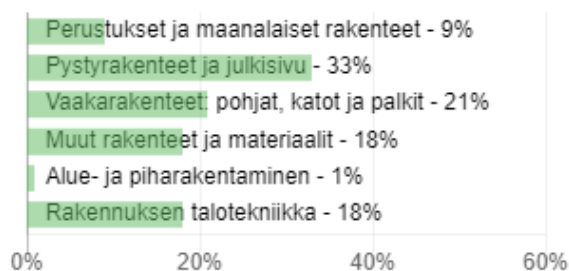
Rakennuksen muodostama hiilijalanjälki optimointivaihtoehdossa C on arviointijakson pituudella sekä huonealalla jaettuna $16,48 \text{ kgCO}_2\text{e/hum}^2/\text{a}$. Vähähiilisiä ontelolaattoja välipohjassa käyttämällä on vaakarakenteiden osuus tuotevaiheen päästöistä laskenut noin 3 prosenttiyksikköä verrattuna optimointivaihtoehtoon A, jossa käytettiin tavallisia ontelolaattoja. Optimointivaihtoehdon C tuotevaiheen aikana syntyvät päästöt esitetty kuviossa 15.



KUVIO 15. Optimointi C:n päästöt rakenneosittain, tuotevaiheessa (OneClick LCA n.d.b.).

Optimointivaihtoehto D:n muodostama hiilijalanjälki on $16,25 \text{ kgCO}_2\text{e/hum}^2/\text{a}$, 2021 arviointimenetelmän mukaisesti esitettyä. Tuotevaiheen aikana syntyvät hiilidioksidipäästöt vaakarakenteiden osalta ovat kaikkein pienimmät (kuvio 16) verrattuna referenssitasoon sekä muihin optimointivaihtoehtoihin. Vaakaraken-

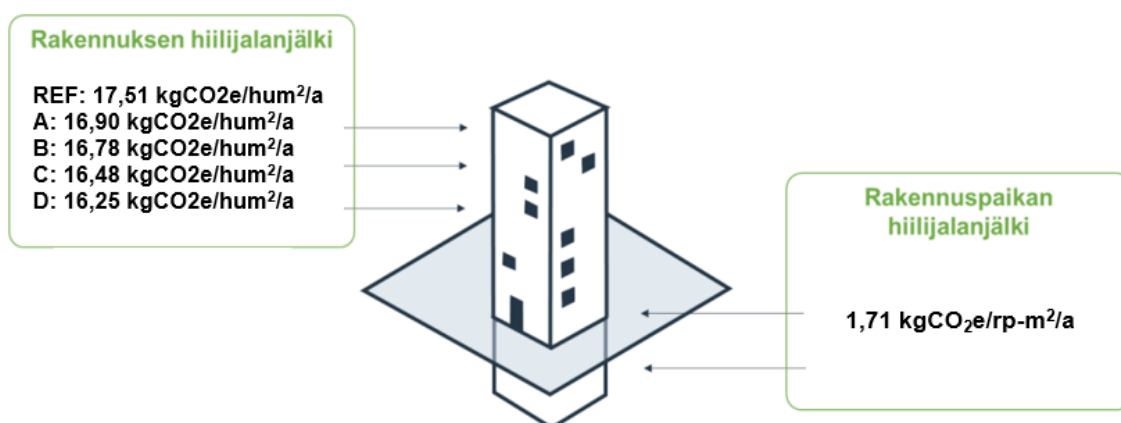
teiden osuus muista rakennekokonaisuuksista on 21 % ja se on referenssitavasta tippunut noin 9 prosenttiyksikköä.



KUVIO 16. D vaihtoehdon sitoutunut hiili per rakenne, tuotevaiheessa (OneClick LCA n.d.b.).

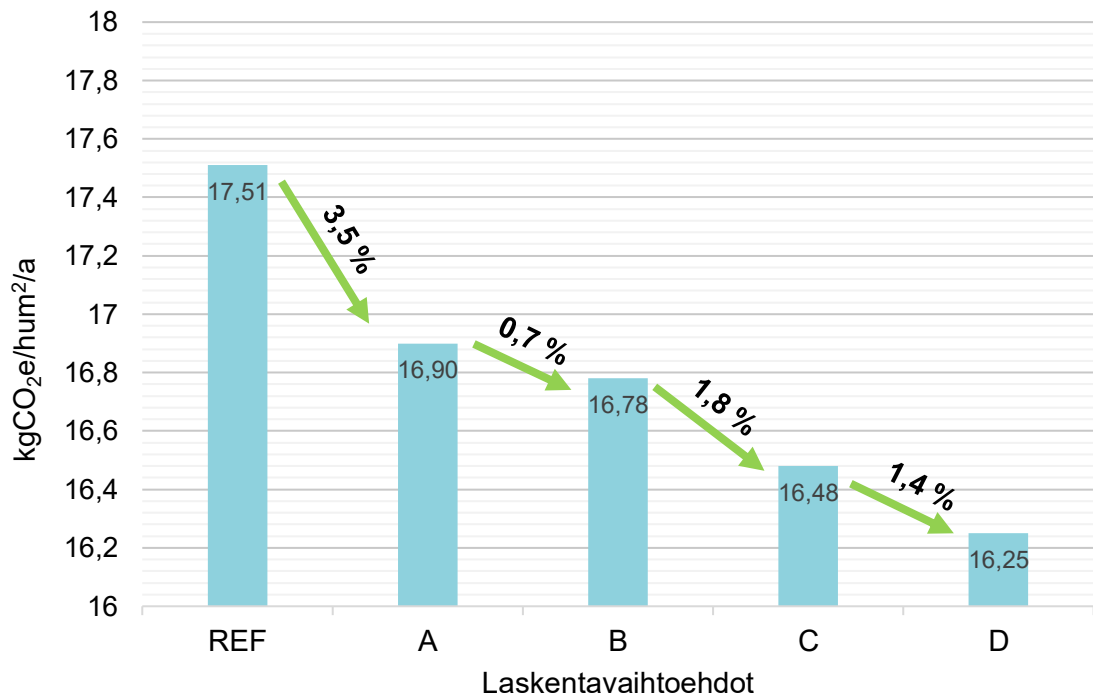
6.3 Eri laskentavaihtoehtojen hiilijalanjälkien yhteenveto

Rakennuksen hiilijalanjäljet pienenevät odotetusti optimointivaihtoehtojen avulla. Alla olevassa kuviossa 16 on esiteltyä rakennuksen hiilijalanjäljet referenssitavaston sekä optimointivaihtoehtojen laskennassa, arviointimenetelmän 2021 mukaisella tavalla. Rakennuspaikan hiilijalanjälki pysyy kaikissa laskentatapauksissa samana, sillä opinnäytetyön laskennassa ei muutettu rakennuksen ulkopuolella tai maan alla olevia rakenteita. Kuviosta huomataan optimointivaihtoehtojen pienentäneen rakennuksen hiilijalanjälkeä siten, että optimointivaihtoehto A tuottaa eniten päästöjä ja vaihtoehto D vähiten.



KUVIO 17. Eri laskentavaihtoehtojen rakennuksen sekä rakennuspaikan hiilijalanjäljet esitettynä kootusti (perustuu lähteeseen ympäristöministeriö 2021a, 33).

Eri laskentavaihtoehtojen hiilijalanjälkien prosentuaalinen muutos, suhteessa edelliseen laskentavaihtoehtoon on esitetty kuviossa 18. Kuvioista huomataan suurimman prosentuaalisen muutoksen tapahtuvan referenssitason ja optimointivaihtoehdon A välillä. Toiseksi suurin muutos tapahtuu optimointivaihtoehtojen B ja C välillä. Suurimmat muutokset siis tapahtuvat aina kun siirrytään paikalla-valusta elementteihin.



KUVIO 18. Rakennuksen synnyttämät hiilidioksidipäästöt eri laskentavaihtoehdoilla.

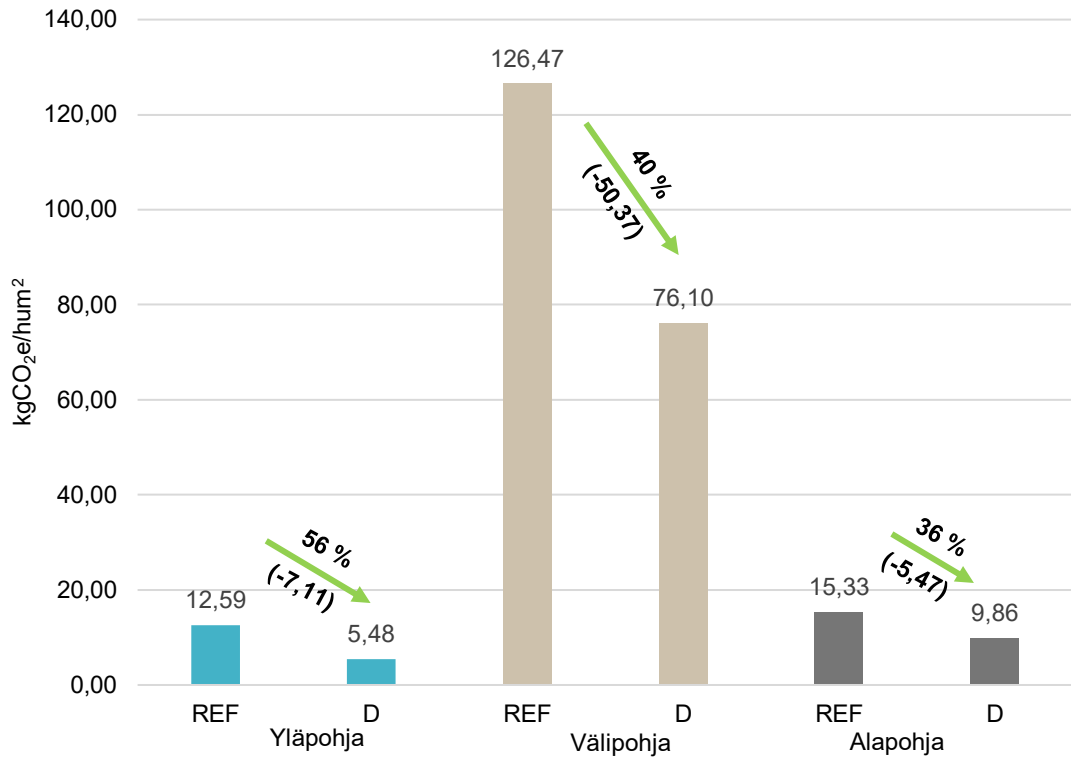
Vähähiilisten ontelolautojen käyttäminen hiilijalanjäljen pienentämiseksi on kuvaajan perusteella kannattava toimenpide, jos päästöjä halutaan karsia nimenomaan välipohjarakenteista. Optimointivaihtoehdon D pieneen hiilijalanjälkeen vaikuttaa väli- ja yläpohjarakenteiden muuttamisen lisäksi myös alapohja- sekä väestönsuojan yläpuolisten rakenteiden toteuttaminen GWP.85 betonilla. Optimointivaihtoehdon D päästöjen muodostumista on tarkasteltu tarkemmin kuviossa 19. Taulukossa 9 on esitetty optimointivaihtoehtojen prosentuaalinen muutos referenssitasoon verrattuna.

TAULUKKO 9. Optimointivaihtoehtojen muutos referenssitasosta.

Laskentavaihtoehto	kgCO ₂ e/hum ² /a	Muutos REF tasosta	
		kgCO ₂ e/hum ² /a	%
REF	17,51		
A	16,90	-0,61	-3,4
B	16,78	-0,73	-4,2
C	16,48	-1,03	-5,6
D	16,25	-1,26	-7,2

Laskentavaihtoehdolla D saadaan hiilijalanjälkeen suurin muutos referenssitasosta. Hiilijalanjälki pienenee noin 7,2 %. Laskentakohteen rakennuksen referenssitason hiilijalanjälki on oletettavasti jo valmiiksi tavanomaista rakennusta pienempi, sillä kohteen lämmitysmuotona toimiva maalämpö on hiilijalanjäljen kannalta parempi vaihtoehto, perinteiseen kerrostalon lämmitysmuotona toimivaan kaukolämpöön verratessa.

Optimointivaihtoehdolla D saatiin yläpohjan elinkaaren päästöjä pienennettyä 7,11 kgCO₂e/hum², välipohjan osalta pienennys oli 50,37 kgCO₂e/hum² ja alapohjan osalta 5,47 kgCO₂e/hum². Referenssilaskennan ja optimointi D:n päästöjä eri rakenteiden osalta on verrattu alla olevassa kuviossa 19. Kuvioon on merkattu optimointivaihtoehtoon aiheuttama prosentuaalinen vähennys rakennososan päästöihin.

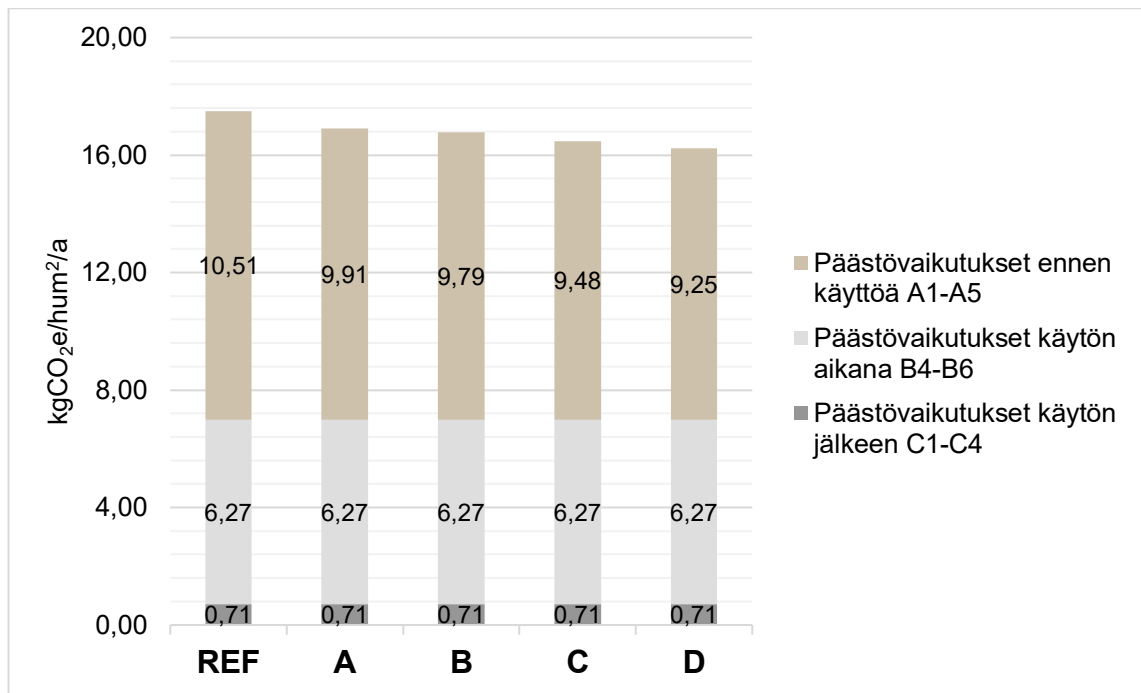


KUVIO 19. Referenssi ja optimointi D:n väliset erot rakennuksen päästöihin.

Kuvion perusteella laskentakohteen yläpohjaa muuttamalla saadaan prosentuaalisesti eniten pienennettyä hiilijalanjälkeä. Kuitenkin välipohjan massan takia, saadaan suurimmat vähennykset elinkaaren päästöihin välipohjat vähähiilisesti toteuttamalla.

6.4 Elinkaaren vaiheiden aikaiset päästöt

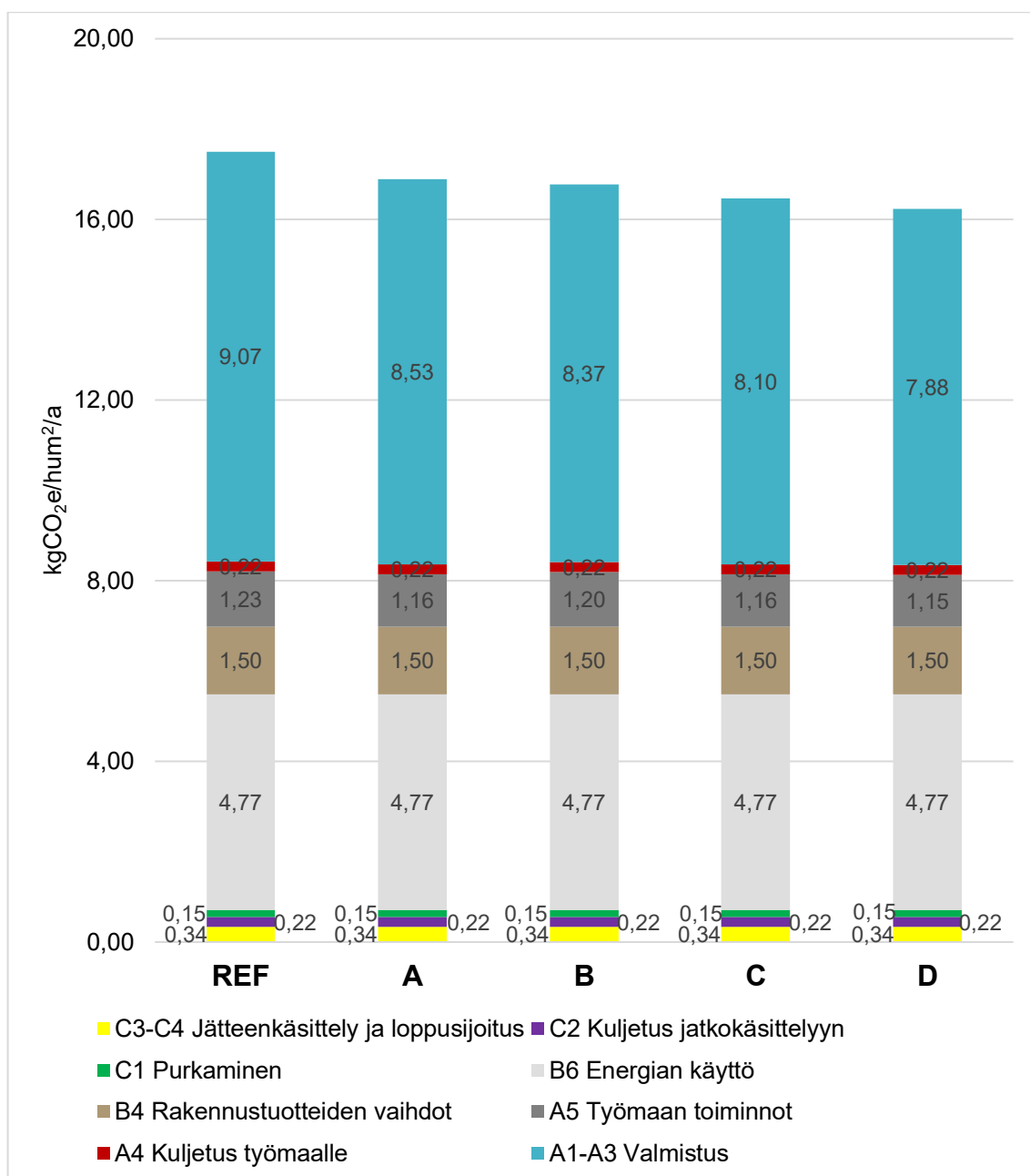
Kuvioissa 20 on esitetty rakennuksen elinkaaren päästöjen muodostuminen tuote- ja rakentamisvaiheessa (moduuli A), käyttövaiheessa (moduuli B) sekä käytönjälkeisessä vaiheessa (moduuli C). Arvot on esitetty huonealojen summaa sekä käyttövuotta kohden. Elinkaaren vaiheet ovat jaoteltuna ympäristöministeriön arviointimenetelmän 2021 mukaisesti.



KUVIO 20. Päästöjen syntyminen laskentavaihtoehdoille elinkaaren eri vaiheissa.

Kuviosta huomataan tuote- ja rakentamisvaiheen synnyttävän suurimmat päästöt kaikissa laskentavaihtoehdoissa. Kuviosta huomataan myös käytön aikaisten sekä käytön jälkeen syntyvien päästöjen olevan samat, laskentavaihtoehdosta riippumatta.

Kuviossa 21 on myös esitetty päästöjen muodostuminen elinkaaren eri vaiheissa, mutta kuvion 20 eri vaiheet ovat jaoteltu tarkemmin kuviossa 21. Eri vaiheet ovat jaoteltuna opinnäytetyön taulukon 1 mukaisesti, kuitenkin OCL:n sallimissa rajoissa. Esimerkiksi tuotevaiheen moduulien A1-A3 aikana syntyviä päästöjä ei laskentaohjelmassa päässyt tarkastelemaan tarkemmalla tasolla.



KUVIO 21. Päästöjen syntyminen laskentavaihtoehdoille elinkaaren eri vaiheisiin jaoteltuna.

Kuviosta 21 huomataan tuotevaiheen päästöistä valmistuksen synnyttävän suurimmat hiilidioksidipäästöt, kaikista elinkaaren päästöistä. Valmistuksen synnyttämät päästöt ovat noin 50 % kaikilla laskentavaihtoehdoilla. Kuviosta huomataan myös se, että valmistusvaiheen ja samalla koko rakennuksen hiilijalanjälki pienenee referenssitilasta optimointivaihtoehtoon D. Työmaan toimintojen synnyttämät päästöt ovat kuvion 21 perusteella pienemmät ontelolaattavälipohjalla, kuin paikallavälipohjalla.

Taulukkoon 10on kirjattu kuvioiden 20 ja 21 sisältämien tietojen lisäksi rakennuksen hiilikädenjälki, sekä sen muodostuminen eri laskentavaihtoehdoissa. Hiilikädenjäljestä on myös poistettu rakennuspaikan muodostama osuus, kuten hiilijalanjäljestä. Rakennuspaikan osuus hiilikädenjäljestä on kaikilla laskentavaihtoehdoilla 0,45 kgCO₂e/rp-m²/a ja se muodostuu pääosin rakennuksen perustuksien betonin kierrätettävyydestä.

TAULUKKO 10. Elinkaaren eri vaiheissa syntyvät päästöt sekä hiilikädenjälki.

	REF	A	B	C	D
A1-A3 Valmistus	9,07	8,53	8,37	8,10	7,88
A4 Kuljetus työmaalle	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
A5 Työmaan toiminnot	1,23	1,16	1,20	1,16	1,15
Päästövaikutukset ennen käyttöä A1-A5	10,51	9,91	9,79	9,48	9,25
B4 Rakennustuotteiden vaihdot	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
B6 Energian käyttö	4,77	4,77	4,77	4,77	4,77
Päästövaikutukset käytön aikana B4-B6	6,27	6,27	6,27	6,27	6,27
C1 Purkaminen	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
C2 Kuljetus jatkokäsittelyyn	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
C3-C4 Jätteenkäsittely ja loppusijoitus	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
Päästövaikutukset käytön jälkeen C1-C4	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71
D1 Materiaalien uudelleenkäytöstä ja kierrätyksestä saatavat hyödyt	-5,00	-4,40	-4,98	-4,51	-4,51
D4 Hiilivarastot	-0,92	-0,92	-0,92	-0,92	-0,92
Hiilikädenjälki	-5,92	-5,32	-5,90	-5,43	-5,43

Hiilikädenjälki on taulukon 9 perusteella suurin referenssitasolla sekä optimointivaihtoehdolla B. Tästä voidaan päätellä se, että mitä enemmän betonia rakennuksessa on, niin sen myötä myös hiilikädenjälki suurenee. Laskentaohjelma nimittäin ottaa huomioon betonin kierrätettävyyden esimerkiksi infrakohteiden pohjarakenteiden materiaaliksi.

Hiilikädenjälki on todellisuudessa myös opinnäytetyön laskentaa suurempi, sillä opinnäytetyön laskennassa ei huomioitu betoni karbonatisoitumisessa tapahtuvaa ilmakehän hiilidioksidien sitoutumista. Opinnäytetyössä ei kuitenkaan keskitytä hiilikädenjäljen muodostumiseen sen tarkemmin, joten opinnäytetyön loppuista kuvioista ja taulukoista sen muodostumisen vaikutus on jätetty huomioida.

6.5 Rakennusosien ja materiaalien muodostamat päästöt

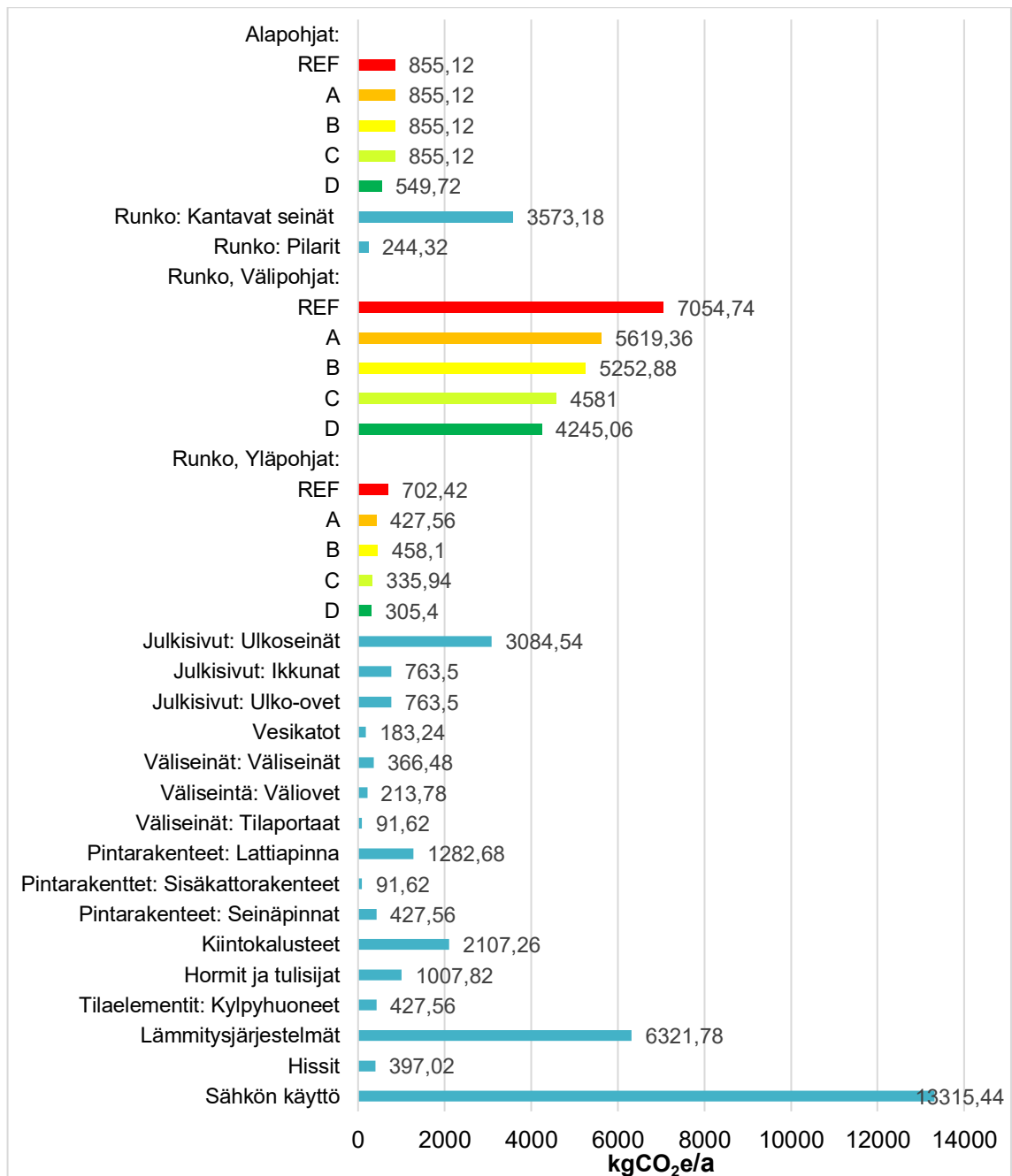
Rakennusmateriaalien synnyttämiä hiilidioksidipäästöjä tutkittiin elinkaaren valmistusvaiheen aikana, eli moduuleissa A1-A3. Betoni muodostaa kaikissa laskentavaihtoehdoissa rakennusmateriaaleista suurimmat päästöt. Taulukossa 11 on esitetty eri laskentavaihtoehtojen betonin muodostamat hiilidioksidipäästöt.

TAULUKKO 11. Betonin muodostamien päästöjen suuruus.

Laskentavaihtoehto	kgCO ₂ e
REF	859 000
A	799 000
B	755 000
C	741 000
D	612 000

Optimointivaihtoehdoissa A, C ja D on ontelolaattojen synnyttämät päästöt yhdistetty betonin päästöihin, samoin myös kaikissa laskentavaihtoehdoissa on taulukossa mukana esimerkiksi porraskäytävien laattaelementtien sekä parvekelaattojen aiheuttamat päästöt. Optimointivaihtoehdossa A ontelolaatoista aiheutuvat päästöt ovat 157 000 kgCO₂e, vähähiilisiä ontelolaattoja käyttämällä päästöt ovat 99 000 kgCO₂e. Päästöt tippuvat opinnäytetyön laskennassa vähähiilisillä ontelolaatoilla siis 58 000 kgCO₂e, joka on noin 37 %.

Alla olevassa kuviossa 22 on esitetty rakennusosien muodostamat päästöt elinkaaren aikana käyttövuotta kohden. Rakennusosien päästöt ovat samoja kaikilla muilla paitsi alapohjalla, yläpohjalla sekä välipohjilla, koska optimointivaihtoehdoissa näitä rakennusosia muuttamalla pienennettiin rakennuksen hiilijalanjälkeä. Kuviossa 22 muutettuja rakennusosia on korostettu sinisestä poikkeavalla värillä.



KUVIO 22. Kohteen eri rakennusosien muodostamat päästöt.

Alapohjien osalta päästöjen suuruus elinkaaren aikana referenssitilalla sekä optimointivaihtoehdoilla A-C on 855,12 kgCO₂e/a. Optimointivaihtoehdossa D alapohjan muodostamat päästöt ovat 549,72 kgCO₂e/a. Optimointivaihtoehdossa D rakennuksen alapohjan betonina käytettiin Suomen Betoniyhdistys ry:n luokittelemaa GWP.85 betonia. Muissa laskentavaihtoehdoissa käytettiin normaalia betonia, jonka hiilidioksidipäästöt ovat suuremmat.

Välipohjien osalta päästöt laskevat referenssitilasta aina järjestyksessä optimointivaihtoehtoon D. Ontelolaattavälipohjan, eli optimointivaihtoehto A:n, syn-

nyttämät päästöt ovat suuremmat vähähiilisellä betonilla toteutettuun välipohjaan, eli optimointivaihtoehtoon B, verrattuna. Ontelolaatat ovat asuinrakennuksessa 100 mm paksummat verrattuna paikallavaluvälipohjaan, asuinrakennusten ääneneristysvaatimusten takia. Tämän vuoksi ontelolaattojen massa kasvaa neliölle lähes samaan kuin paikallavaluvälipohjan massa. Ontelolaatan, jonka paksuus on 370 mm paino saumattuna on Betoniteollisuus ry:n ylläpitämän Elementtisuunnittelu sivuston mukaan 510 kg/m^2 (Elementtisuunnittelu 2022). Paikallavaluvälipohjan paksuuden ollessa 270 mm on paino noin 675 kg/m^2 , kun käytetään teräsbetonin painona rakentamisessa yleisesti käytettyä $2\,500 \text{ kg/m}^3$. Massojen ero on 165 kg/m^2 , ja opinnäytetyön laskentatuloksen perusteella voidaan siis olettaa GWP.85 betonin päästöjen pienenevän paikallavaleulla välipohjalla normaalilla betonilla valmistettujen ontelolaattojen edelle, kun ontelolaatan paino neliölle on saumattuna 510 kg/m^2 tai enemmän.

Yläpohjarakenteissa optimointivaihtoehto A:n päästöt ovat pienemmät kuin vaihtoehto B:n. Tämä johtuu siitä, että yläpohjassa ontelolaattojen paksuudeksi riittää 265 mm. Tällöin ontelolaatan massa saumattuna on noin 380 kg/m^2 (Elementtisuunnittelu 2022). Yläpohjarakenne paikallavaluna toteutettuna tehdään 270 mm paksuna. Yläpohjarakenteen paino neliölle on tällöin sama 675 kg/m^2 , kuin välipohjankin.

Optimointivaihtoehdon C päästöt ovat suuremmat D vaihtoehtoon verrattuna yläpohja- sekä välipohjarakenteilla, koska C vaihtoehdossa vähähiilisillä ontelolaatoilla toteutetut rakenteet on saumattu käyttäen normaalia saumabetonia. Laskentavaihtoehdossa D saumabetoni on alapohjarakenteiden tapaan GWP.85 luokiteltua vähähiilistä betonia.

Välipohjarakenteiden vaikutus rakennuksen hiilijalanjälkeen erottuu kuviosta 22 selkeästi. Vaikka optimointivaihtoehto D laskee päästöjä referenssitasosta 39,8 %, on se silti eniten päästöjä aiheuttava rakenneosa rakennuksen rungosta. Referenssitason yläpohjarakenteesta optimointivaihtoehdon D avulla saadaan päästöjä vähennettyä 56,5 %. Kuitenkin välipohjarakenteella päästöjä saadaan vähennettyä $2\,809,68 \text{ kgCO}_2\text{e/a}$, kun yläpohjalla vähennys on yli 7 kertaa pienempi, vähennyksen ollessa $397,20 \text{ kgCO}_2\text{e/a}$. Mikäli välipohjien päästöt jaetaan välipohjarakenteiden määrällä ovat päästöt tällöin lähes samat, yhden väli-

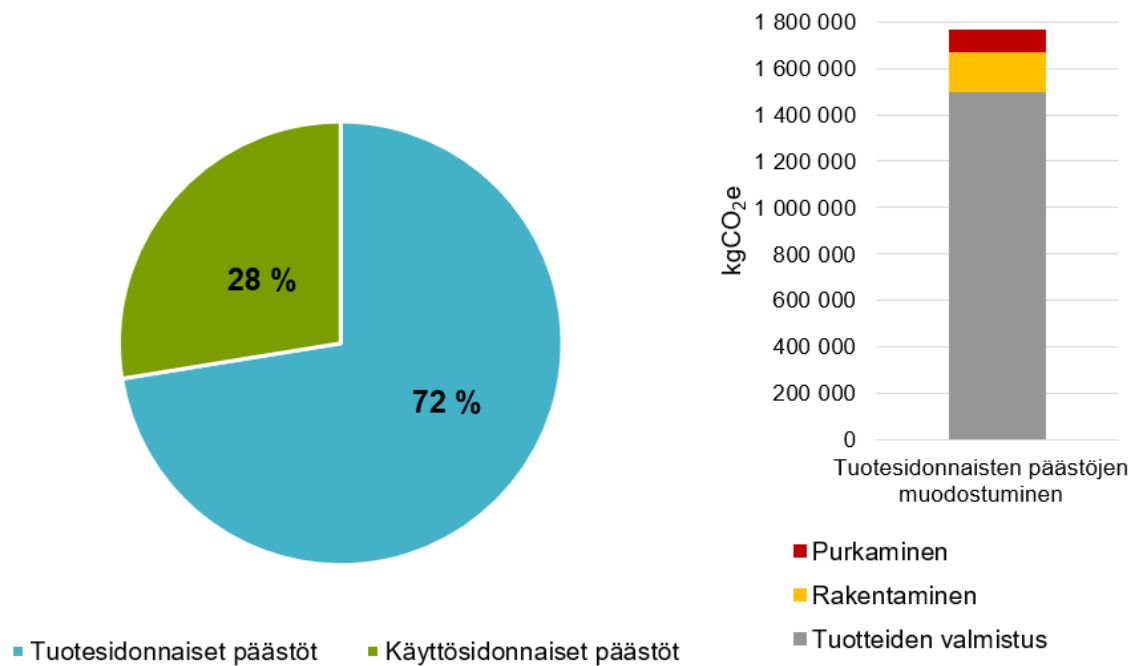
pohjan tuottamat päästöt ovat 401,83 kgCO₂e/a. Taulukossa 12 on esitetty eri laskentavaihtoehtojen ylä- välipohjarakenteiden synnyttämät elinkaaren aikaiset päästöt summattuna, ja niiden välistä muutosta on verrattu edelliseen laskentavaihtoehtoon sekä referenssitason.

TAULUKKO 12. Ylä- ja välipohjarakenteiden päästöjen vertailu.

	kgCO ₂ e/a	Edellisestä	REF-tasosta
REF	7 757,16	%	%
A	6 046,92	-22,0	-22,0
B	5 710,98	-5,6	-26,4
C	4 916,94	-13,9	-36,6
D	4 550,46	-7,5	-41,3

Taulukosta 12 huomataan, että optimointivaihtoehdolla D saadaan vähennettyä ylä- ja välipohjarakenteiden osalta päästöjä 41,3 %. Tavallisia ontelolaattoja vaakarakenteissa käyttämällä päästöt tippuvat lähes neljänneksen. Vähähiilisiin ontelolaattoihin siirryttäessä vähennys on jo yli kolmannes.

Opinnäytetyön kuviossa 1 esiteltiin tuotesidonnaisia sekä käyttösidonnaisia päästöjä, kuviossa 1 käyttösidonnaisten päästöjen eli energian kulutuksen arviointiin muodostavan noin puolet rakennuksen elinkaaren synnyttämistä ympäristöhaitoista. Kuviossa 23 on esitetty laskentakohteen rakennuksen tuotesidonnaisten sekä käyttösidonnaisten päästöjen muodostuminen elinkaaren aikana, referenssitasossa. Tuotesidonnaisten päästöjen muodostuminen eri elinkaaren vaiheiden aikana on myös esitetty kuvioissa.



KUVIO 23. Referenssitason tuote- ja käytösidonnaisten päästöjen muodostumien.

Kuvioista huomataan, että käytösidonnaisten päästöjen osuus on noin 30 % elinkaaren aikaisista päästöistä. Opinnäytetyön luvussa 2.1 on kerrottu, miten aiemmin elinkaaren aikaisia päästöjä on vähennetty parantamalla energiatehokkuutta sekä keskittymällä energiatuotannon muodostamiin päästöihin. Opinnäytetyön laskennan perusteella huomataan, että ainakin laskentakohteen kerrostalossa energiatehokkuus sekä energiantuotannon päästöt ovat alhaisella tasolla, verrattuna tuotesidonnaisiin päästöihin. Tällöin tulisikin keskittyä tuotesidonnaisten päästöjen pienentämiseen, esimerkiksi välipohjan rakennetyyppejä muuttamalla.

6.6 Laskennan yhteenveto

Opinnäytetyön referenssilaskennassa ympäristöministeriön arviointimenetelmää 2021 käyttämällä, saatiin rakennuksen hiilijalanjäljeksi 17,51 kgCO₂e/hum²/a ja rakennuspaikan hiilijalanjäljeksi 1,71 kgCO₂e/rp-m²/a. Optimointivaihtoehdot eivät vaikuttaneet rakennuspaikan hiilijalanjälkeen, mutta rakennuksen hiilijalanjälkeä saatiin optimointivaihtoehdon D avulla laskettua 1,26 kgCO₂e/hum²/a, joka on 7,2 %. Hiilijalanjäljen tällöin ollessa 16,25 kgCO₂e/hum²/a.

Tuloksia on hankala verrata aikaisemmin suoritettuihin tutkimuksiin, koska vuoden 2021 menetelmällä suoritettuja laskentakohteita on vasta vähän. Ympäristöministeriön 2019 arviointimenetelmällä laskiessa hiilijalanjälki jaetaan arviointijakson pituudella sekä lämmitetyllä nettoalalla, joka on suurempi tai vähintään yhtä suuri kuin huonealojen summa. Tällöin myös hiilijalanjälki on numeerisesti ilmaistuna pienempi. Kuitenkin 2019 arviointimenetelmään lasketaan mukaan myös maanalaiset rakenteet, mutta ei kuitenkaan rakennuksen pintamateriaaleja tai kiintokalusteita, kuten menetelmässä 2021. Kaukolämmöllä lämmitettävän betonisen asuinkerrostalon hiilijalanjäljeksi on Emma-Sofia Härkösen diplomityössä, arviointimenetelmällä 2019 laskiessa, saatu $17,59 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2/\text{a}$. Laakkosen diplomityössä samaa menetelmää käyttämällä, sekä saman tyyppiselle rakennukselle laskiessa, on hiilijalanjäljeksi saatu $16,46 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2/\text{a}$. Ympäristöministeriön TALO-hankkeen loppuraportissa laskennassa olevan rakennuksen hiilijalanjäljeksi on saatu $17,60 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2/\text{a}$, taas kerran aikaisempaa menetelmää käyttämällä ja saman tyyppiselle rakennukselle laskiessa. (Ympäristöministeriö 2019, 36; Härkönen 2020, 59; Laakkonen 2021, 39).

Diplomitöiden laskentatuloksien sekä TALO-hankkeen loppuraportin tuloksen perusteella, voidaan olettaa, että vuoden 2021 menetelmää laskennassa käyttämällä tulee myös rakennusten hiilijalanjäljet kasvamaan. Opinnäytetyön laskentakohteen rakennuksen kiintokalusteiden sekä pintamateriaalien tuottamat hiilidioksidipäästöt olivat yhteensä noin 200 000 kgCO_2 , kun taas maanalaisten rakenteiden yhteenlasketut päästöt olivat noin 130 000 kgCO_2 . Pintarakenteiden sekä kiintokalusteiden aiheuttamat päästöt olivat siis jopa suuremmat, kuin maanalaisten rakenteiden.

7 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia runkorakenteiden vaikutusta betonielementtikerrostalossa sekä vertailla erilaisia runkovaihtoehtoja eniten päästöjä aiheuttavalta rakenneosalta. Lisäksi työssä perehdyttiin hiilijalanjäljen laskentaa ohjaaviin säädöksiin sekä tulevaisuudessa vaikuttavaan lainsäädäntöön. Opinnäytetyön perusteella rakennuksen vaakarakenteet paikallavalurakenteisina toteutettaessa, ovat runkorakenteista suurin elinkaaren aikaisten päästöjen aiheuttaja. Vaakarakenteista etenkin välipohjat paikallavaluna toteutettuna aiheuttavat suurimmat päästöt. Mikäli paikallavalurakenteiset ylä- ja välipohjat muutetaan ontelolaattarakenteisiksi, voidaan näiden rakenteiden päästöjä leikata noin neljännes, ja vähähiilisillä ontelolaatoilla jopa kolmannes. Vähähiilisellä GWP.85 betonilla toteutetut välipohjat leikkaavat myös noin neljänneksen normaalilla betonilla toteutetun välipohjan päästöistä. Maanvaraisen kantavan alapohjan osalta voidaan vähähiilisellä GWP.85 betonilla toteutetun rakenteen avulla leikata päästöjä noin 35 %, normaalilla betonilla toteutettuun rakenteeseen verrattessa.

Laskennan optimointivaihtoehdot tehtiin ajatellen rakennesuunnittelijan näkökulmaa. Rakennuksen hiilijalanjälkeä olisi helppo laskea pienentämällä rakennetyyppien ainevahvuuksia, tämä ei kuitenkaan ole rakennesuunnittelijan näkökulmasta ideaali tilanne, sillä rakenneosien käyttöasteet saattaisivat tällöin lähennellä sataa tai jopa ylittyä. Ontelolaattarakentaminen on hyvin tavallista, eikä päästöjen vähentäminen ontelolaattojen avulla aiheuta rakennesuunnittelijalle ylimääräistä työtä taikka uuden opettelua.

Hiilijalanjälkeä laskiessa määrälaskentavaihe oli opinnäytetyössä haastavin. Arkkitehdin ja rakennesuunnittelijan tietomalleissa oli keskenään ristiriidassa olevia materiaalmääriä. Eri suunnittelijoiden tietomallien määrätietoja kannattaakin vertailla keskenään laskentaa suorittaessa, ja pohtia missä mallissa kyseinen rakennetyyppi olisi mahdollisesti mallinnettu parempaa tarkkuutta käyttäen. Mikäli materiaalien määrissä on suuria eroja kannattaa materiaalin tarkka menekki laskea taso- ja leikkauspiirustuksia hyödyntäen. Määrälaskentavai-

heessa tuleekin noudattaa erityistä tarkkuutta ja huolellisuutta, sillä määrien väärin laskeminen vaikuttaa suuresti lopputulokseen.

Myös 2021 arviointimenetelmän valinta opinnäytetyön hiilijalanjäljen laskentaan aiheutti ylimääräistä työtä OneClick LCA laskentaohjelmaa käyttäessä.

OneClick LCA on ohjelmoitu arviointimenetelmän 2019 mukaisesti, jolloin rakennuspaikan hiilijalanjälkeä ei ohjelma ilmoita automaattisesti. Ohjelmasta piti-kin aluksi ottaa ulos päästötiedot eri elinkaaren vaiheista sekä eri rakennusosille jakautuneet päästöt. Tämän jälkeen arvoja analysoitiin Excel-ohjelman avulla, sekä muokattiin päästötiedot jakautumaan rakennuksen huonealojen summaa käyttämällä. OneClick LCA nimittäin käyttää pinta-alana lämmitettyä nettoalaa, menetelmän 2019 mukaisesti. Arviointimenetelmän 2021 käyttö OneClick LCA ohjelmassa edellyttäisikin arviointimenetelmän ohjelmointia laskentaohjelmaan. Tämä nopeuttaisi huomattavasti laskennan suorittamista, sekä helpottaisi tulosten analysointia.

Opinnäytetyön laskentaosuudessa ei optimointivaihtoehdoissa huomioitu vähähiilisen betonin osalta GWP.REF tasoa. Optimointivaihtoehdon B tuloksien perusteella, pystytään kuitenkin laskemaan GWP.REF betonilla toteutettujen välipohjien päästöjen suuruus likimääräisesti. Betoniyhdistys ry:n mukaisesti GWP.85 betoni päästöt ovat $215 \text{ kgCO}_2\text{e}/\text{m}^3$ ja GWP.REF betonin päästöt $255 \text{ kgCO}_2\text{e}/\text{m}^3$, GWP.REF tuottaa siis noin 16 % suuremmat päästöt GWP.85 betoniin verrattuna. Tällöin välipohjien päästöt olisivat noin $6\,230 \text{ kgCO}_2\text{e}/\text{a}$ ja yläpohjien $540 \text{ kgCO}_2\text{e}/\text{a}$. Muihin laskentatuloksiin verratessa GWP.REF betonia käyttämällä elinkaaren kokonaispäästöt sijoittuisivat referenssitason ja optimointivaihtoehdon A väliin, hiilijalanjäljen ollessa noin $17,16 \text{ kgCO}_2\text{e}/\text{hum}^2/\text{a}$. Referenssitasosta hiilijalanjälki laskisi noin 2 %.

8 JATKOTUTKIMUSEHDOTUKSET

Opinnäytetyön tutkimuksessa ei ole otettu kantaa vähähiilisten rakennusratkaisujen rakentamiskustannusten muutokseen. Kustannusten muutos olisi hyvä selvittää, sillä mikäli rakentamiskustannukset pysyvät vähähiilisesti toteutetuilla runkorakenteilla lähes samalla tasolla, kannustaisi se rakennuttajia toteuttamaan ympäristöystävällisempiä rakennuksia. Vähähiilisellä betonilla toteutettujen rakenteiden osalta betonin hitaampi lujoudenkehitys oletettavasti nostattaa kustannuksia niin elementti- kuin paikallavalurakentamisen osalta. Elementtitehtäillä vähähiilisellä betonilla valettuja elementtejä joudutaan pitämään kauemmin muoteissa, ja työmaalla rakenteiden muottienpurku sekä eteneminen ylempiin kerroksiin alempia rakenteita rasittamalla hidastuu.

Toisena jatkotutkimusehdotuksena olisi tutkittavista runkorakenteista pystysuuntaisten rakenteiden tutkiminen. Kuten opinnäytetyön tuloksista optimointivaihtoehtojen C ja D välillä huomataan, tulee rakennusten vähähiilisyttä parantaa monien eri tekijöiden avulla. Kun optimointivaihtoehdossa D parannettiin vähähiilisillä ontelolaatoilla ylä- ja välipohjien lisäksi myös alapohjaa, tippui elinkaaren aikainen hiilijalanjälki vaihtoehdosta C 1,4 %. Pystyrakenteiden osuus hiilijalanjäljestä myös kasvoi huomattavasti optimointivaihtoehdossa D. Referenssitasossa suurimmat päästöt rakenneosista tuottivat vaakasuuntaiset rakenteet, kun taas optimointivaihtoehdolla D suurimmat päästöt syntyivät pystysuuntaisista rakenteista. Pystysuuntaisten rakenteiden osuus hiilijalanjäljestä oli tällöin 12 prosenttiyksikköä suurempi, kuin vaakarakenteiden.

Mikäli kaikkiin rakennuksen rakenneosiin tehdään pieniä muutoksia, tulisi hiilijalanjälki pienemään, ja samalla kustannusten nousu pysyisi oletettavasti inhimillisemmällä tasolla. Esimerkiksi ontelolaatta ylä- ja välipohjalla saatiin hiilijalanjälkeä pienennettyä referenssitasosta 3,4 %. Ylä- ja välipohjat ontelolaatoilla toteutettuna on yleensä myös edullisempaa verrattuna paikallavaluun.

Aihe itsesään on myös tällä hetkellä suuren kehityksen alla, ja uusia tutkimuksia sekä julkaisuja aiheeseen liittyen tulee koko ajan. Tutkimuksien myötä myös menetelmä, jolla hiilijalanjälkeä lasketaan saattaa muuttua ja kehittyä. Tulevai-

suudessa hiilijalanjäljen laskennan ollessa pakollista, saattaa myös laskentamenetelmä olla opinnäytetyöstä poikkeava. Mahdollisten uusien arviointimethodien myötä, tulee myös välipohjien osuutta tarkastella uudelleen.

LÄHTEET

A-Insinöörit. n.d. Laatu ja ympäristö. Verkkosivu. Luettu 15.2.2022.
<https://www.ains.fi/yritys/laatujaaymparisto>

Betoniteollisuus ry. 2021. Vähähiilinen betoni tulee vauhdilla. Härkönen, T. Betoni 4/2021. Luettu 9.3.2022. <https://betoni.com/betonilehti/4-2021/>

Bionova Oy. 2017. Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa. Ympäristöministeriö. Julkaistu 29.6.2017. Pdf-dokumentti. Luettu 14.2.2022. <https://ym.fi/vahahiilisen-rakentamisen-tiekartta>

Elementtisuunnittelu. 2022. Ontelolaatat. Verkkosivu. Luettu 2.4.2022.
<https://www.elementtisuunnittelu.fi/runkorakenteet/laatat/ontelolaatat>

FIBGC. Green Building Council Finland. 2021. Julkaistu 24.11.2021. Verkkouutinen. Luettu 5.4.2022. <https://figbc.fi/hiilineutraali-rakennus-ohje-siirto-pilotointiin/>

Gaia Consulting Oy. 2020. Vähähiilinen rakenneteollisuus 2035. Osa 4. Rakennusteollisuus. Julkaistu 18.6.2020. Pdf-dokumentti. Luettu 15.2.2022.
https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/ymparisto-ja-energia/vahahiilisyys_uudet/rt_4.-raportti_vahahiilisyys-tiekartta_lopullinen-versio_clean.pdf

Häkkinen, T. & Kuittinen, M. 2020. Kohti vähähiilistä rakentamista. Opas arviointiin ja suunnitteluun. Helsinki: Rakennustieto.

Härkönen, A. 2021a. Optimoidun hiilijalanjäljen vaikutus rakentamisen kustannuksiin. Rakennetun ympäristön tiedekunta. Rakennetekniikan tutkinto-ohjelma. Tampereen yliopisto. Diplomityö.

Härkönen, E-S. 2020. Vähähiilinen kerrostalorakentaminen – optimiratkaisut Vihreä Kortteli -konseptiin. Teknillinen tiedekunta. Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma. Oulun Yliopisto. Diplomityö.

Jäätvuori, L., Tepponen, M., Varteva, K., Leino, R., Koskipalo, J. & Kotialho, T. Vähähiilisen rakentamisen klinikka – tulosraportti. Rakli & A-Insinöörit. Julkaistu 12.3.2021. Pdf-dokumentti. Luettu 23.2.2022.
<https://www.rakli.fi/klinikat/vahahiilinen-rakennuttaminen/>

Karhu, J. Projektipäällikkö Green Building Council Finland. 2018. Kohti hiilineutraaliutta. Webinaari. World Green Building Week 25.9.2018. Katsottu 22.2.2022 <https://www.oneclicklca.com/fi/tallennettu-webinari-tavoitteena-hiilineutraalius/>

Kinnunen, E. Kestävän kehityksen teknologiavastaava. 2022. Haastateltu 8.3.2022. Haastattelija Aakula, A. Tampere.

- Kuittinen, M. 2019. Rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmä. Ympäristöministeriö. Julkaistu 30.8.2019. Pdf-dokumentti. Luettu 16.2.2022.
https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161761/YM_2019_22_Rakennuksen_vahahiilisyden_arviointimenetelma.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Laakkonen, I. 2021. Rakenteellisen energiatehokkuuden vaikutus betoniasuin-kerrostalon elinkaaren hiilijalanjälkeen. Rakennetun ympäristön tiedekunta. Rakennetekniikan tutkinto-ohjelma. Tampereen yliopisto. Diplomityö.
- OneClick LCA. n.d.a. Verkkosivu. Luettu 7.4.2022. <https://www.oneclicklca.com/>
- OneClick LCA. n.d.b. Laskentatulokset. Verkkosivu. Luettu 6.4.2022.
<https://www.oneclicklca.com/>
- Parma Oy. n.d. Parman vähähiilinen ontelolaatta. Verkkosivu. Luettu 24.3.2022.
<https://parma.fi/tuote/parman-vahahiilinen-ontelolaatta/>
- Pomponi, F., De Wolf, C. & Monecaster, A. 2018. Embodied Carbon in Buildings. Sveitsi: Springer International Publishing.
- Rakennustieto Ratu 1191-S. 2000. Rakennustyön materiaalisat ja -hukat. Julkaistu 09/2000. Pdf-dokumentti. Luettu 6.4.2022. Vaatii käyttöoikeuden.
<https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/Ratu%20S-1191>
- Rakennustieto RT-1810922. 2008. Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot. Julkaistu 06/2008. Pdf-dokumentti. Luettu 28.2.2022. Vaatii käyttöoikeuden.
https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2018-10922?external_system=Juha&page=1
- Rakennustieto EU-21782. 2018. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2018/844, annettu 30.5.2018. Pdf-dokumentti. Luettu 15.2.2022. Vaatii käyttöoikeuden.
<https://kortistot.rakennustieto.fi/resource/juha/content/25133#page=1>
- Rakennustietosäätiö. n.d. EPD:n verifiointi. Verkkosivu. Luettu 15.2.2022.
<https://cer.rts.fi/epd-ymparistoseloste/epdn-verifiointi/>
- Rudus. n.d. Rudus Vihreä Betoni. Verkkosivu. Luettu 23.2.2022.
<https://www.rudus.fi/tuotteet/betoni/vihrea-betoni>
- Sankelo, P. & Alhola, K. 2020. Kohti vähäpäästöistä rakennuskantaa. Suomen ympäristökeskus. Julkaistu 10.6.2020. Pdf-dokumentti. Luettu 17.2.2022
[https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Ajankohtaista/KEINOn_vahahiilisen_rakentamisen_kehitta\(61058\)](https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Ajankohtaista/KEINOn_vahahiilisen_rakentamisen_kehitta(61058))
- SFS-EN 15978:2011. Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method. Vahvistettu 16.4.2012. Helsinki. Suomen standardisoiimisliitto SFS. Pdf-dokumentti. Luettu 14.4.2022. Vaatii käyttöoikeuden.

Sitra. 2013. Rakennusten elinkaarimittarit (2013). Green Building Council Finland. Julkaistu 17.1.2013. Pdf-dokumentti. Luettu 17.2.2022. https://media.sitra.fi/2017/02/27174206/Rakennusten_elinkaarimittarit_2013-2.pdf

Sitra. 2019. Teollisuuden jätteistä betonia korvaavia tuotteita. Julkaistu 15.5.2019. Verkkojulkaisu. Luettu 24.3.2022. <https://www.sitra.fi/caset/teollisuuden-jatteista-betonia-korvaavia-tuotteita/>

Suomen Betoniyhdistys ry. 2022. BY-Vähähiilisyysluokitus Osa 2. Julkaistu 9.2.2022. Pdf-dokumentti. Luettu 24.3.2022. Julkaisematon. Opinnäytetyön tekijän hallussa.

Suomen Betoniyhdistys ry. n.d. Betonin vähähiilisyysluokitus. Verkkosivu. Luettu 24.3.2022. <https://www.betoniyhdistys.fi/julkaisut/vahahiilisyysluokitus.html>

Suomen ympäristökeskus. n.d. CO2-data. Verkkosivu. Luettu 16.2.2022 <https://co2data.fi/>

Tikka, S. LCA projektipäällikkö. 2021. Vähähiilisen rakentamisen lyhyt oppimäärä. Webinaari. OneClick LCA 16.11.2021. Katsottu 22.2.2022. <https://www.oneclicklca.com/fi/vahahiilisen-rakentamisen-lyhyt-oppimaa-tyokalut-laskenta-miten-paasta-alkuun/>

Valtioneuvosto. 2019. Osallistava ja osaava Suomi – sosiaalisesti, taloudellisesti ja ekologisesti kestävä yhteiskunta. Sanna Marinin hallituksen ohjelma 10.12.2019. Valtioneuvoston julkaisu 2019:31. Pdf-dokumentti. Luettu 19.2.2022. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161931/VN_2019_31.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ympäristöministeriö. 2019. Taloudellisten kannusteiden käyttö vähähiilisen rakentamisen ohjauksessa TALO-hankkeen loppuraportti. Julkaistu 4.12.2019. Pdf-dokumentti. Luettu 8.4.2022. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161923>

Ympäristöministeriö. 2020. Vähähiilinen rakentaminen. Vastaus tietopyyntöön eduskunnan ympäristövaliokunnalle. Julkaistu 18.9.2020. Pdf-dokumentti. Luettu 5.4.2022. <https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/JulkaisuMetatieto/Documents/EDK-2020-AK-315704.pdf>

Ympäristöministeriö. 2021a. Rakennuksen vähähiilisyys arviointimenetelmä 2021. Luonnos lausuntokierrosta varten. Julkaistu 4.6.2021. Pdf-dokumentti. Luettu 18.2.2022. <https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/Participation?proposalId=0b297461-cdee-4657-9a4e-d2791315257d>

Ympäristöministeriö. 2021b. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ilmaselvityksestä – Perustelumuistio. Julkaistu 4.6.2021 Pdf-dokumentti. Luettu 18.2.2022.

<https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/Participation?proposalId=0b297461-cdee-4657-9a4e-d2791315257d>

Ympäristöministeriö. n.d.a. Maankäyttö- ja rakennuslaki uudistuu – Kysymyksiä ja vastauksia. Verkkosivu. Luettu 15.2.2022. <https://mrluudistus.fi/kysymyksia-ja-vastauksia/>

Ympäristöministeriö. n.d.b. Vähähiilinen rakentaminen. Verkkosivu. Luettu 15.2.2022. <https://ym.fi/vahahiilinen-rakentaminen>


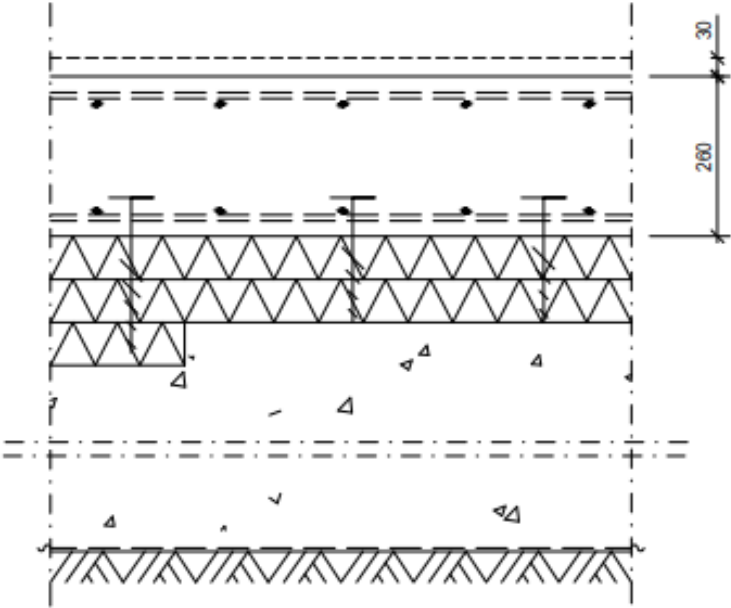
LIITTEET

Liite 1. Rakennuksien käyttötarkoituusluokat


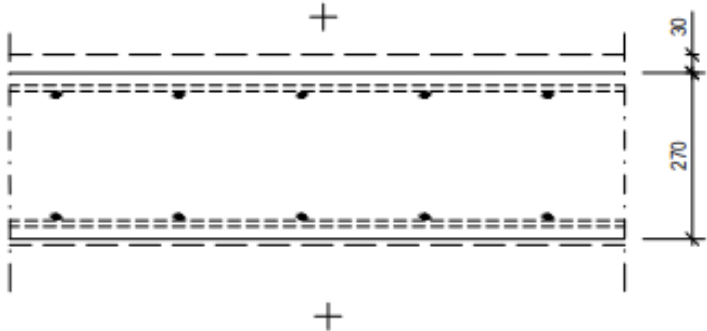
RAKENNUSTYYPPI	KÄYTTÖTARKOITUSLUOKKA
Pienet asuinrakennukset	1 a-c
-yhden asunnon talot -kahden asunnon talot -ketjutalon osana oleva rakennus ja muu erillinen pientalo	
Rivitalot ja 2-kerroksiset asuinkerrostalot	1d
Asuinkerrostalot	2
-asuinkerroksia väh. 3. kerroksessa	
Toimistorakennukset	3
-ml. terveyskeskukset	
Liikerakennukset	4
Majoitusliikerakennukset	5
-hotelli, asuntola, palvelutalo, hoitolaitos	
Opetusrakennukset ja päiväkodit	6
Liikuntahallit	7
-ei sisällä uima- tai jäähalleja	
Sairaalat	8
Muut rakennukset	9
-varastot -liikenteen rakennus -alle 2000 m2 päivittäistavara kauppa -siirtokelpoiset rakennukset -muu rakennus, joka ei sisälly aiemmin tässä liitteessä lueteltuihin käyttötarkoituusluokkiin	


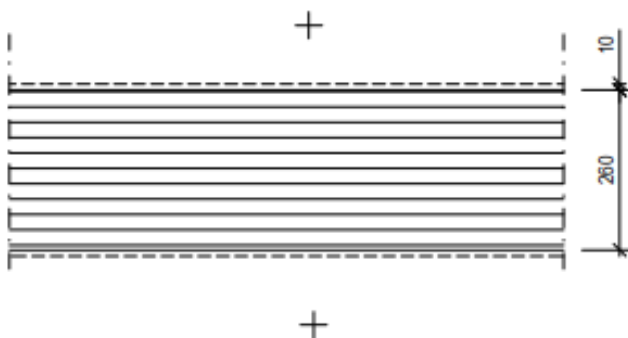
Liite 2. Referenssikohteen rakennetyypit


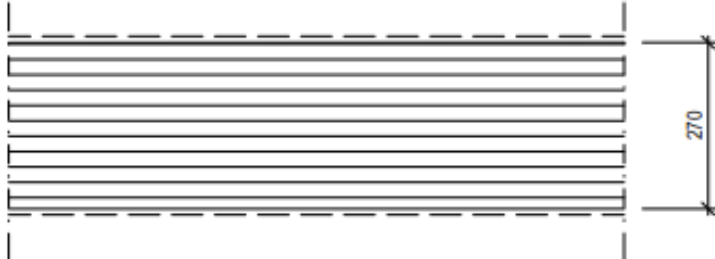
1 (11)


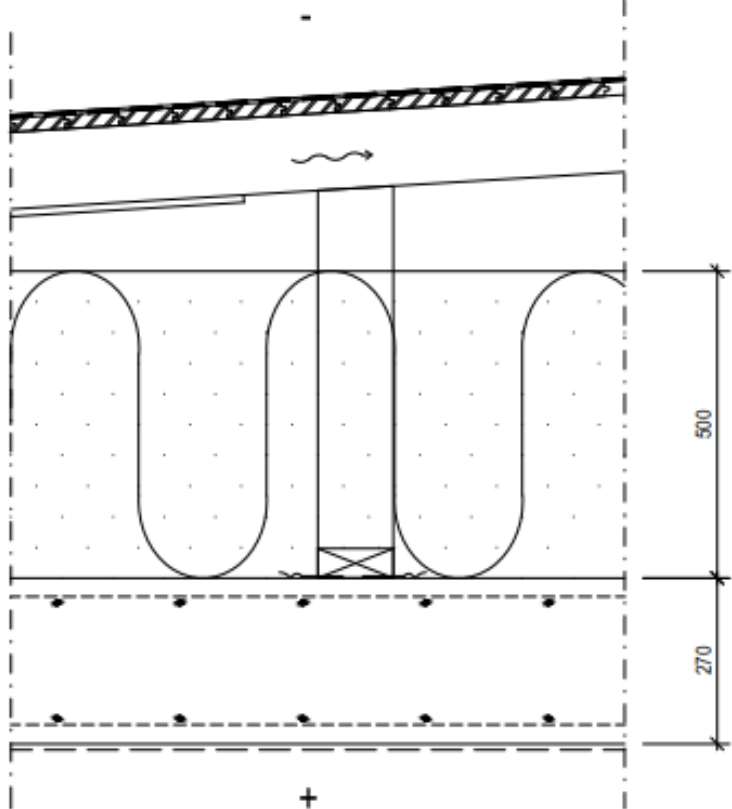
KANTAVA ALAPOHJA, YLEENSÄ		1:10
		AP1
		
	PINTAMATERIAALI JA -KÄSITTELY RAKENNUSSELOSTUKSEN MUKAAN	
10mm (>5mm)	MATALA-ALKALINEN TASOITE	
260 mm	TERÄSBETONILAATTA LUOKKA C-4-30, BY45/BLY7 MUKAAN RAUDOITUS RAKENNESUUNNITELMIEN MUKAAN	
140...210 mm	LÄMMÖNERISTYS SOLUPOLYSTYREENILEVY EPS 100 LATTIA, 70+70 mm SAUMAT LIMITETTYINÄ, 1.0 m:n REUNA-ALUEELLA LISÄERISTYS 70 mm ERISTELEVYT RIPUSTETAAN LAATASTA MUOVISILLA KANNAKKEILLA (4 kpl / m ²)	
> 300 mm	KAPILLAARIKATKO JA SUODATINKANGAS POHJARAKENNESUUNNITELMIEN MUKAAN TIIVISTETTY TÄYTTÖ	
	PERUSMAA, KALLISTUS SALAOJIIN 1:100	
	U-ARVO: 0.16 W/m ² K ASKELÄÄNITASOLUKU VAAKASUUNNASSA: $L'_{nT,w} + C_{1,50-2500} \leq 53$ dB, KUN LATTIANPÄÄLLYSTIEN ASKELÄÄNENERISTÄVYYDEN PARANNUSLUKU $\Delta L_w \geq 18$ dB	


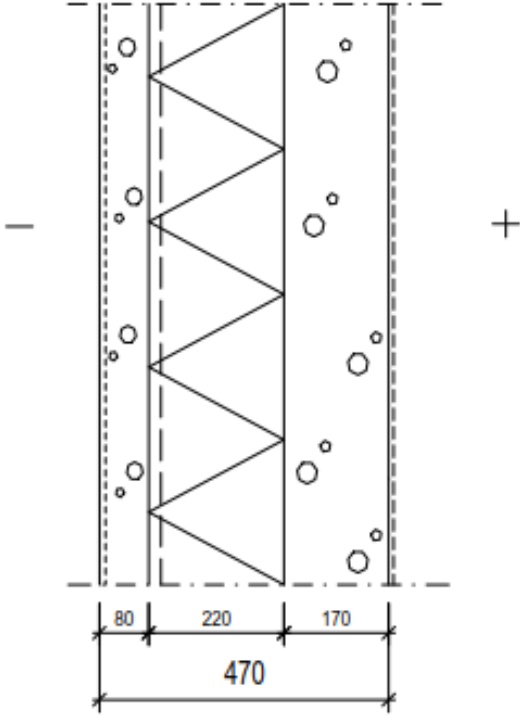
(jatkuu)


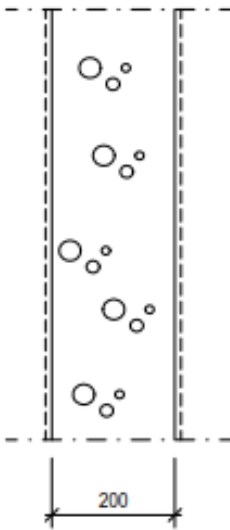
	VÄLIPOHJA, YLEENSÄ PAIKALLA VALETTU LAATTA	1:10
	Päivitys	VP1
		
15 mm	PINTAMATERIAALI JA -KÄSITTELY RAKENNUSSELOSTUKSEN MUKAAN	
15mm (>5mm)	MATALA-ALKALINEN TASOITE	
270 mm	KANTAVA RAKENNE, PAIKALLA VALETTU TERÄSBETONILAATTA BY45 / BLY7 MUKAAN LUOKKA A-3-III. RAUDOITUS RAKENNESUUNNITELMIEN MUKAAN	
	PINTAMATERIAALI JA -KÄSITTELY / ALAKATTO RAKENNUSSELOSTUKSEN MUKAAN	
ÄÄNITASOEROLUKU:	$D_{nT,w} \geq 55$ dB	
ASKELÄÄNITASOLUKU:	$L'_{nT,w} + C_{150-2500} \leq 53$ dB, KUN LATTIANPÄÄLLYSTEEN ASKELÄÄNENERISTÄVYYDEN PARANNUSLUKU $\Delta L_w \geq 18$ dB (VAATIMUS ASUNTOJEN VÄLILLÄ) $L'_{nT,w} + C_{150-2500} \leq 63$ dB, KUN LATTIANPÄÄLLYSTEEN ASKELÄÄNENERISTÄVYYDEN PARANNUSLUKU $\Delta L_w \geq 8$ dB (VAATIMUS PORRASHUONEESTA ASUNTOON MITATTUNA)	
PALOLUOKKA:	REI 60 (YLEENSÄ) R 120 EI 90 (VARASTOT)	


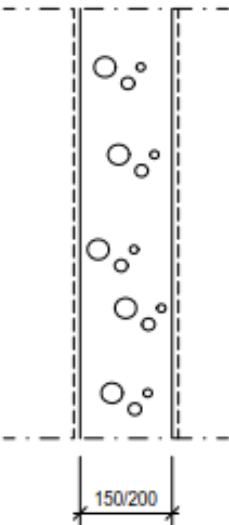
	VÄLIPOHJA, MASSIIVILAATTAELEMENTTI KÄYTÄVÄ	1:10
	Pöytäys	VP3
		
5...10 mm	PINTAMATERIAALI JA -KÄSITTELY RAKENNUSSELOSTUKSEN MUKAAN MATALA-ALKALINEN TASOITE - PINTARAKENTEIDEN SUUNNITTELUKSIUS 10 mm	
260 mm	KANTAVA RAKENNE, TERÄSBETONILAATTAELEMENTTI BY45 / BLY7 MUKAAN LUOKKA A-3-III. RAUDOITUS RAKENNESUUNNITELMIEN MUKAAN PINTAMATERIAALI JA -KÄSITTELY / ALAKATTO RAKENNUSSELOSTUKSEN MUKAAN	
ÄÄNITASOEROLUKU:	$D_{nT,w} \geq 55$ dB	
ASKELÄÄNITASOLUKU:	$L'_{nT,w} + C_{150-2500} \leq 53$ dB, KUN LATTIANPÄÄLLYSTEEN ASKELÄÄNENERISTÄVYYDEN PARANNUSLUKU $\Delta L_w \geq 18$ dB (VAATIMUS ASUNTOJEN VÄLILLÄ) $L'_{nT,w} + C_{150-2500} \leq 63$ dB, KUN LATTIANPÄÄLLYSTEEN ASKELÄÄNENERISTÄVYYDEN PARANNUSLUKU $\Delta L_w \geq 8$ dB (VAATIMUS PORRASHUONEESTA ASUNTOON MITATTUNA)	
PALOLUOKKA:	REI 60	


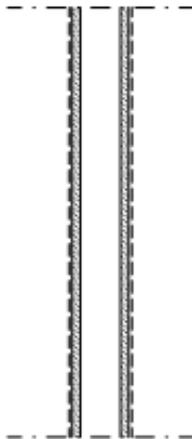
	VÄLIPOHJA, PARVEKE PARVEKELAATTAELEMENTTI	1:10
	Päävyö	VP4
<div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">270 mm</p> <p style="text-align: center;">PINTAMATERIAALI JA -KÄSITTELY RAKENNUSSELOSTUKSEN MUKAAN</p> <p style="text-align: center;">KANTAVA RAKENNE, TERÄSBETONILAATTAELEMENTTI BY45 / BLY7 MUKAAN LUOKKA C-4. VESITIIVIS, SÄÄNKESTÄVÄ RAUDOITUS RAKENNESUUNNITELMIEN MUKAAN VEDENPOISTO SISÄISELLÄ RST- VEDENPOISTOJÄRJESTELMÄLLÄ RAKENNESUUNNITELMIEN MUKAAN</p> <p style="text-align: center;">PINTAMATERIAALI JA -KÄSITTELY RAKENNUSSELOSTUKSEN MUKAAN</p> <p style="text-align: center;">PALOLUOKKA: REI 30</p>		


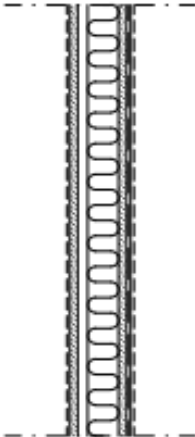
		YLÄPOHJA, 8. KRS KATTO PUURAKENTEINEN KATTO, PUHALLUSVILLA	1:10
		Päiväys	YP1
			
VEDENERISTYS, B _{ROOF} (I2), LUOKKA VE40, TL2+TL2, RIL 107-2012 MUKAAN KUMIBITUMIKERMI			
KATEMATERIAALIEN, KIINNIKKEIDEN JA KATON LÄPIVIENTIEN TULEE OLLA KESKENÄÄN YHTEENSOPIVIA JA KATTOKALTEVUUTEEN SEKÄ KÄYTTÖIKÄÄN SOVELTUVIA			
RAAKAPONTTILAUDOITUS 23 mm TAI SÄÄNKESTÄVÄ VANERI 18 mm			
≥100 mm	TUULETTU ILMATILA		
TUULENOHJAIN RÄYSTÄILLÄ b ≥ 1200mm			
500 mm	ISOVER INSULSAFE PUHALLUSVILLA, λ _d ≤ 0,041 W/mK		
HÖYRYNSULKU EL50/2200 (VAIN ALAJUOKSUJEN ALLA) PISTE- JA SAUMALIIMAUS			
270 mm	KANTAVA RAKENNE, PAIKALLA VALETTU TERÄSBETONILAATTA BY45 / BLY7 MUKAAN LUOKKA A-3-III. RAUDOITUS RAKENNESUUNNITELMIEN MUKAAN		
PINTAMATERIAALI JA -KÄSITTELY / ALAKATTO RAKENNUSELÖSTUKSEN MUKAAN			
U-ARVO:		0,09 W/m ² K (SRMK D3-2012: 0,09 W/m ² K)	
PALONKESTOLUOKKA:		REI 60	
ILMÄÄNENERISTYSLUKU LENTO- JA RAIDELIIKENNEMELUA VASTAAN: R _w + C ≥ 60 dB			


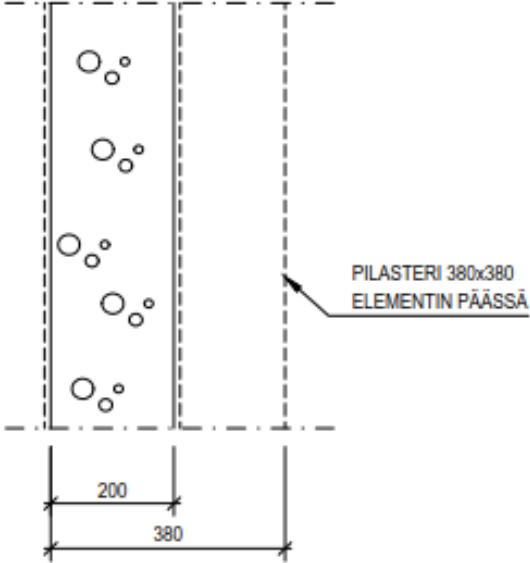
	ULKOSEINÄ, KANTAVA (1.-8.KRS LÄNSI JA ETELÄ) 1:10 VALKOBETONI, URITETTU KUVIO	
	Pääty	US2a
		
80 mm	ULKOKUORI, VALKOBETONI, PYSTYURITETTU (URAN SYVYYS MAX 10 mm) PAKKASENKESTÄVÄ BETONI, C30/37, XC3,4 ja XF1 RUOSTUMATON RAUDOITUS, # 4-150 B600KX PINTAKÄSITTELY ELEMENTTISUUNNITELMIEN JA RAKENNUSSELOSTUKSEN MUKAAN	
220 mm	LÄMMÖNERISTE, URITETTU JA URASUOJATTU 0,035 W/mK ESIM. PAROC COS 5 ggt	
170 mm	KANTAVA SISÄKUORI ELEMENTTISUUNNITELMIEN MUKAAN, C30/37, XC1 KANTAVA SISÄKUORI 170 mm (1.-8. KRS ETELÄSIVU) RUOSTUMATTOMAT ANSAAT, KS ELEM.SUUNNITELMAT ELEMENTTIEN SAUMAUS, KS. RAKENNUSSELYTYKSET ELEMENTTIEN VAAKASAUMOIHIN TUULETUSPUTKET < k2000 PINTAMATERIAALI JA -KÄSITTELY RAKENNUSSELOSTUKSEN MUKAAN KANTAVA RAKENNE R 60 (VARASTOT R 120) U-ARVO 0,17 W/m ² K ILMAÄNENERISTYSLUKU LENTO- TAI RAIDELIIKENNEMELUA VASTAAN: $R_w+C = 58$ dB ILMAÄNENERISTYSLUKU TIELIIKENNEMELUA VASTAAN: $R_w+C_y = 54$ dB	

	KANTAVA VÄLISEINÄ YLEENSÄ		1:10
	Pääväys		VS1
			
200 mm	PINTAMATERIAALI JA -KÄSITTELY RAKENNUSTAPASELOSTUKSEN MUKAAN TERÄSBETONI/BETONIELEMENTTISEINÄ RAKENNESUUNNITELMIEN MUKAAN C30/37, XC1 PINTAMATERIAALI JA -KÄSITTELY RAKENNUSTAPASELOSTUKSEN MUKAAN		
	ÄÄNITASOEROLUKU: KANTAVA RAKENNE:	$D_{f,w} \geq 55$ dB REI 60 (YLEENSÄ) R 120 EI 90 (VARASTOT)	

	EI-KANTAVA VÄLISEINÄ B=150/200 mm		1:10
	Pölyäys		VS6
			
150/200 mm	PINTAMATERIAALI JA -KÄSITTELY RAKENNUSTAPASELOSTUKSEN MUKAAN BETONI RAKENNESUUNNITELMIEN MUKAAN C25/30, XC1 1.KRS:N YLEISISSÄ TILOISSA (LJH, SPK, KÄYTÄVÄ) PINTAMATERIAALI JA -KÄSITTELY RAKENNUSTAPASELOSTUKSEN MUKAAN		
	ÄÄNITASOEROLUKU: PALONKESTÄVYYS:	$D_{nT,w} \geq 48$ dB EI 120 (EI KANTAVA RAKENNE)	

	VÄLISEINÄ ASUNNON SISÄINEN LEVYVÄLISEINÄ	1:10
	Pöytä	VS11
		
	PINTAMATERIAALI JA -KÄSITTELY HUONESELITYKSEN MUKAAN	
13 mm	KIPSILEVY N	
66 mm	TERÄSRANKARUNKO / KERTOPUURUNKO k600 + ILMAVÄLI	
13 mm	KIPSILEVY N	
	PINTAMATERIAALI JA -KÄSITTELY HUONESELITYKSEN MUKAAN	
	SEINÄN KORKEUS:	< 4200 mm
	ÄÄNITASOEROLUKU:	$D_{nT,w} = 30$ dB
	PALONKESTÄVYYSAIKA	

	VÄLISEINÄ KUIVA / KOSTEA TILA ERISTETTY LEVYSEINÄ	1:10
	Pöytä	VS13
		
	PINTAMATERIAALI JA -KÄSITTELY HUONESELITYKSEN MUKAAN	
13 mm	KIPSILEVY N	
66 mm	TERÄSRANKARUNKO / KERTOPUURUNKO k400 + MINERAALIVILLA, ESIM. PAROC Extra TAI ISOVER KL-AKU TAI VASTAAVA 50 mm	
13 mm	KIVIAINEINEN MÄRKÄTILALEVY, ESIM. AQUAPANEL INDOOR TAI KIPSILEVY EK	
	VEDENERISTYS RAKENNUSSELITYKSEN MUKAAN, SERTIFIOITU SIVELTÄVÄ VEDENERISTYSJÄRJESTELMÄ, ASENNUS JA LIITTYMÄDETALJIT TOIMITTAJAN OHJEEN MUKAAN	
	SEINÄPINTA JA PINTAKÄSITTELY HUONESELITYKSEN MUKAAN	
	SEINÄN KORKEUS:	< 4200 mm
	ÄÄNITASOEROLUKU:	$\bar{D}_{nT,w} = 40$ dB
	PALONKESTÄVYYSAIKA	

	KANTAVA PARVEKEPIELI YLEENSÄ		1:10
	Pöytäys		M1
<div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">PINTAMATERIAALI JA -KÄSITTELY RAKENNUSSELOSTUKSEN MUKAAN</p> <p>200 mm</p> <p style="text-align: center;">TERÄSBETONI/BETONIELEMENTTISEINÄ RAKENNESUUNNITELMIEN MUKAAN PAKKASENKESTÄVÄ BETONI, C30/37, XC3,4 ja XF1</p> <p style="text-align: center;">PINTAMATERIAALI JA -KÄSITTELY RAKENNUSSELOSTUKSEN MUKAAN</p> <p style="text-align: center;">ÄÄNITASOEROLUKU: $D_{nT,w} \geq 55$ dB KANTAVA RAKENNE: REI 30 (YLEENSÄ)</p>			

Liite 3. Energiatodistus

1 (5)

ENERGIATODISTUS 2018	
Rakennuksen nimi ja osoite: Pysyvä rakennustunnus: Rakennuksen valmistumisvuosi: Rakennuksen käyttötarkoitukseluokka: Todistustunnus: Energiatodistus on laadittu <input checked="" type="checkbox"/> Uudelle rakennukselle rakennuslupaa haettaessa <input type="checkbox"/> Uudelle rakennukselle käyttöönottovaiheessa <input type="checkbox"/> Olemassa olevalle rakennukselle, havainnointikäynnin päivämäärä:	
	Energiatehokkuusluokka
Rakennuksen laskennallinen energiatehokkuuden vertailuluku eli E-luku Uuden rakennuksen E-luvun vaatimus	kWh _e /(m ² vuosi) 89 ≤ 90
Todistuksen laatija:	Yritys:
Todistuksen laatimispäivä:	Viimeinen voimassaolopäivä:

(jatkuu)

YHTEENVETO RAKENNUKSEN ENERGIATEHOKKUUDESTA													
Laskennallinen ostoenergiankulutus ja energiatehokkuuden vertailuluku (E-luku)													
Lämmitetty nettoala	3054,0 m ²												
Lämmitysjärjestelmän kuvaus	Maalämpöpumppu Vesikiertoinen patterilämmitys, märkätiloissa sähkölämmitys												
Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus	Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä lämmöntalteenotolla												
Käytettävä energiamuoto	Vakioidulla käytöllä laskettu ostoenergia		Energiamuodon kerroin	Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus									
	kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)	-	kWh/(m ² vuosi)									
kaukolämpö	225286	74	0,5	89									
sähkö			1,2										
uusiutuva polttoaine			0,5										
fossiilinen polttoaine			1										
kaukojäähdytys			0,28										
Energiatehokkuuden vertailuluku (E-luku)				89									
Rakennuksen energiatehokkuusluokka													
Käytetty E-luvun luokitteluaiteikko	2. Asuinkerrostalot												
Luokkien rajat asteikolla	<table border="1"> <tr> <td>A: ... 75</td> <td>B: 76 ... 100</td> <td>C: 101 ... 130</td> </tr> <tr> <td>D: 131 ... 160</td> <td>E: 161 ... 190</td> <td>F: 191 ... 240</td> </tr> <tr> <td>G: 241</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				A: ... 75	B: 76 ... 100	C: 101 ... 130	D: 131 ... 160	E: 161 ... 190	F: 191 ... 240	G: 241		
A: ... 75	B: 76 ... 100	C: 101 ... 130											
D: 131 ... 160	E: 161 ... 190	F: 191 ... 240											
G: 241													
Tämän rakennuksen energiatehokkuusluokka	B												
<p>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, sulanapolttlämmitykset ja ulkovalot eivät sisälly E-lukuun.</p>													
TOIMENPIDE-EHDOTUKSIA E-LUVUN PARANTAMISEKSI													
Keskeiset suositukset rakennuksen E-lukua parantaviksi toimenpiteiksi (ei koske uusia rakennuksia)													
<p>Suosituksia on esitetty yksityiskohtaisemmin sivuilla 6 ja 7, kohdassa "Toimenpide-ehdotukset E-luvun parantamiseksi".</p>													

E-LUVUN LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT				
Rakennuskohde				
Rakennuksen käyttötarkoitusluokka	Asuinkerrostalot, joissa on asuinkerroksia vähintään kolmessa kerroksessa			
Rakennuksen valmistumisvuosi	2021	Lämmitetty nettoala	3054,0	m ²
Rakennusvaippa				
Ilmanvuotoluku q ₅₀	2,0	m ³ /(h m ²)		
	A	U	U×A	Osuus lämpöhäviöistä
	m ²	W/(m ² K)	W/K	%
Ulkoseinät	1392,5	0,17	236,7	23 %
Yläpohja	387,3	0,09	34,9	3 %
Alapohja	387,3	0,16	62,0	6 %
Ikkunat	564,6	1,00	564,6	56 %
Ulko-ovet	15,6	1,00	15,6	2 %
Kylmäsiilat	-	-	97,6	10 %
Ikkunat ilmansuunnittain				
	A	U	g _{vaikuttava} ΔT _{IVO}	
	m ²	W/(m ² K)	-	
Pohjoinen	50,4	1,00	0,58	
Koillinen	0,0			
Itä	227,0	1,00	0,58	
Kaakko	0,0			
Etelä	114,0	1,00	0,58	
Lounas	0,0			
Länsi	173,2	1,00	0,58	
Luode	0,0			
Ilmanvaihtojärjestelmä				
Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus:	Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä lämmönalteenotolla			
	Ilmavirta tulo/poisto (m ³ /s) / (m ³ /s)	Järjestelmän SFP-luku kW / (m ³ /s)	LTO:n lämpötilasuhde	Jäätymisenesto °C
Pääilmanvaihtokoneet	1,527 / 1,400	1,92	79 %	2,00
Erillispoistot	0,000 / 0,127	0,50	-	-
Ilmanvaihtojärjestelmä	1,527 / 1,527	1,80	-	-
Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän LTO:n vuosihyötysuhde:	65 %			
Lämmitysjärjestelmä				
Lämmitysjärjestelmän kuvaus:	Maalämpöpumppu Vesikiertoinen patterilämmitys, märkätiloissa sähkölämmitys			
	Tuoton hyötysuhde	Jaon ja luovutuksen hyötysuhde	Lämpökerroin ¹	Apulaitteiden sähkökäyttö ² kWh/(m ² vuosi)
Tilojen ja iv:n lämmitys	-	-	-	-
Lämpimän käyttöveden valmistus		83 %	3,8	1,9
		97 %	2,7	0,3
¹ vuoden keskimääräinen lämpökerroin lämpöpumpulle				
² lämpöpumppujärjestelmissä voi sisältyä vuoden keskimääräiseen lämpökertoimeen				
	Määrä kpl	Tuotto kWh		
Varaava tulisija				
Ilmalämpöpumppu				
Jäähdytysjärjestelmä				
Jäähdytyskauden painotettu kylmäkerroin				
Jäähdytysjärjestelmä	30,00			
Lämmin käyttövesi				
	Ominaiskulutus dm ³ /(m ² vuosi)	Lämmitysenergian nettotarve kWh/(m ² vuosi)		
Lämmin käyttövesi	600	35		
Sisäiset lämpökuormat eri käyttöasteilla				
	Käyttöaste	Henkilöt W/m ²	Kuluttajalaitteet W/m ²	Valaistus W/m ²
	-			
	10 %	3,0	4,0	9,0
	60 %			

Todistustunnus:


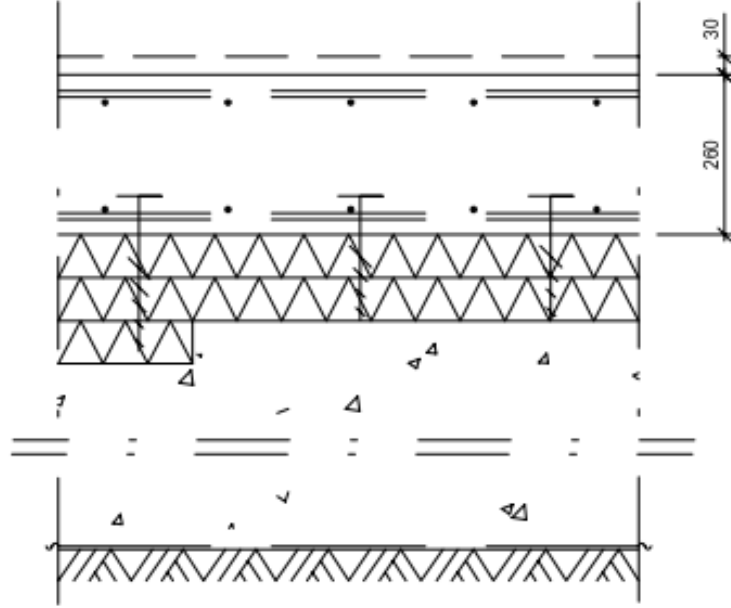
E-LUVUN LASKENNAN TULOKSET				
Rakennuskohde				
Rakennuksen käyttötarkoitukseluokka	Asuinkerrostalot, joissa on asuinkerroksia vähintään kolmessa kerroksessa			
Rakennuksen valmistumisvuosi	2021			
Lämmitetty nettoala, m ²	3054,0			
E-luku, kWh _c / (m ² vuosi)	89			
E-luvun erittely				
Käytettävät energiamuodot	Vakioidulla käytöllä laskettu ostoenergia kWh/vuosi	Energiamuodon kerroin -	Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus kWh _p /vuosi kWh _p /(m ² vuosi)	
kaukolämpö		0,5		
sähkö	225286	1,2	270343	89
fossilinen polttoaine		1		
kaukojäähdytys		0,28		
uusiutuva polttoaine		0,5		
YHTEENSÄ	225286		270343	89
Rakennuksen ympäristössä olevasta energiasta otettu energia, hyödynnetty osuus (kuukausitason erittely lisätiedoissa)				
		kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)	
Aurinkosähkö				
Aurinkolämpö				
Tuulisähkö				
Lämpöpumpun lämmönlähteestä otama energia		133453	44	
Muu ympäristöstä otettu energia, sähkö				
Muu ympäristöstä otettu energia, lämpö				
Rakennuksen teknisten järjestelmien energiankulutus				
		Sähkö kWh/(m ² vuosi)	Lämpö kWh/(m ² vuosi)	Kaukojäähdytys kWh/(m ² vuosi)
Lämmitysjärjestelmä				
Tilojen lämmitys ¹		0,0	17,1	-
Tuloilman lämmitys		0,0	13,4	-
Lämpimän käyttöveden valmistus		0,0	49,9	-
Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus		7,7	-	-
Jäähdytysjärjestelmä		0,2	0,0	0,0
Kuluttajalaitteet ja valaistus		28,9	-	-
YHTEENSÄ		36,8	80,4	0,0
¹ ilmanvaihdon tuloilman lämpeneminen tilassa ja korvausilman lämmitys kuuluu tilojen lämmitykseen				
Energian nettotarve				
		kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)	
Tilojen lämmitys ²		43428	14	
Ilmanvaihdon lämmitys ³		41022	13	
Lämpimän käyttöveden valmistus		106890	35	
Jäähdytys		13193	4	
² sisältää vuotoilman, korvausilman ja tuloilman lämpenemisen tilassa				
³ laskettu lämmöntalteenoton kanssa				
Lämpökuormat				
		kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)	
Aurinko		69018	23	
Henkilöt		48155	16	
Kuluttajalaitteet		64207	21	
Valaistus		24078	8	
Lämpimän käyttöveden kierrosta ja varastoinnin häviöistä		21133	7	
Laskentatyökalun nimi ja versionumero				
Laskentatyökalun nimi ja versionumero	www.laskentapalvelut.fi, versio 1.4 (01.12.2019)			

TOTEUTUNUT ENERGIANKULUTUS					
Saatavilla olevat ostoenergian määrät ilmoitetaan sellaisenaan ilman lämmitystarvelukukorjausta. Ostoenergian määrät ilmoitetaan energiatodistuksen laatimista edeltävältä täydeltä kalenterivuodelta.					
Toteutunut ostoenergiankulutus					
Lämmitetty nettoala 3054,0 m ²					
Energiaverkoista ostettu energia				kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)
Kaukolämpö				0	0
Kokonaissähkö				0	0
Kiinteistö sähkö				0	0
Käyttäjäsähkö				0	0
Kaukojäähdytys				0	0
Ostetut polttoaineet¹	polttoaineen määrä vuodessa	yksikkö	muunnos- kerroin kWh:ksi	kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)
Kevyt polttoöljy	0	litra	10	0	0
Pilkkeet (havu- ja sekapuu)	0	pino-m ³	1300	0	0
Pilkkeet (koivu)	0	pino-m ³	1700	0	0
Puupelletit	0	kg	4.7	0	0
¹ Selostus ostettujen polttoaineiden määrän arvioinnista (yksikköä vuodessa) tulee esittää kohdassa "Lisämerkintä".					
Toteutunut ostoenergia yhteensä				kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)
Sähkö yhteensä				0	0
Kaukolämpö yhteensä				0	0
Polttoaineet yhteensä				0	0
Kaukojäähdytys				0	0
YHTEENSÄ				0	0
Toteutunut energiankulutus riippuu mm. rakennuksen käyttäjien lukumäärästä ja käyttötottumuksista, käyttäjäajoista, sisäisestä kuormista, rakennuksen sijainnista ja vuotuisista sääolosuhteista. Todistusta laadittaessa energiankulutus lasketaan Etelä-Suomen sää tiedoilla ja siten, että rakennuksen käyttö on vakioitu.					
Yllä olevassa taulukossa ilmoitetut luvut saattavat sisältää kulutusta, joka ei sisälly laskennalliseen ostoenergiankulutukseen. Taulukosta voi myös puuttua energiankulutuksia, joiden kulutustietoja ei ollut saatavilla todistusta laadittaessa. Näiden syiden vuoksi toteutunut ostoenergiankulutus ei ole verrattavissa laskennalliseen ostoenergian kulutukseen.					


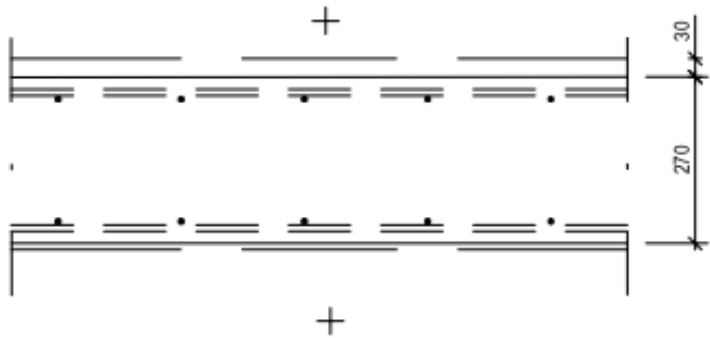
Todistustunnus:


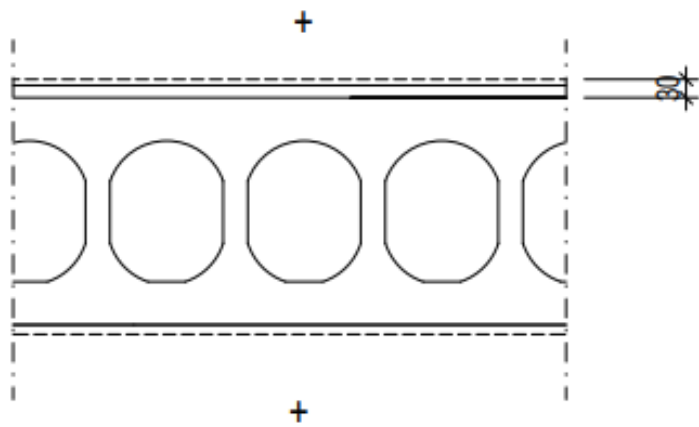
Liite 4. Optimointivaihtoehtojen rakennetyypit


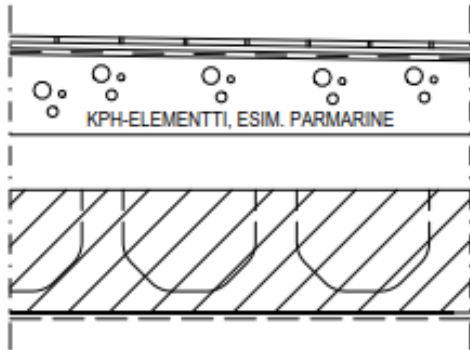
1 (6)


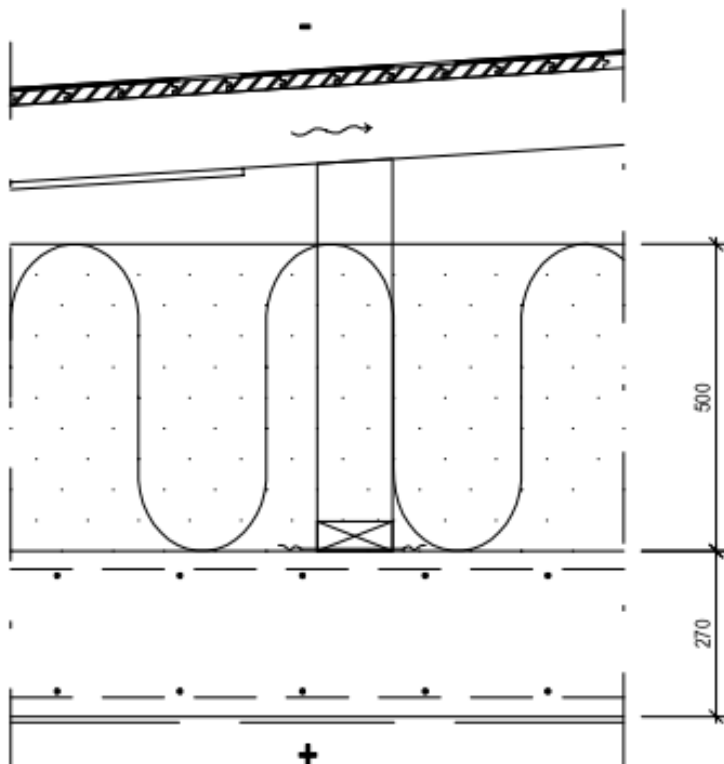
KANTAVA ALAPOHJA, YLEENSÄ		1:10
		AP1
		
	PINTAMATERIAALI JA -KÄSITTELY RAKENNUSSELOSTUKSEN MUKAAN	
10mm (>5mm)	MATALA-ALKALINEN TASOITE	
260 mm	TERÄSBETONILAATTA, VÄHÄHIILINEN BETONI (GWP.85) LUOKKA C-4-30, BY45/BLY7 MUKAAN RAUDOITUS RAKENNESUUNNITELMIEN MUKAAN	
140...210 mm	LÄMMÖNERISTYS SOLUPOLYSTYREENILEVY EPS 100 LATTIA, 70+70 mm SAUMAT LIMITETTYINÄ, 1.0 m:n REUNA-ALUEELLA LISÄERISTYS 70 mm ERISTELEVYT RIPUSTETAAN LAATASTA MUOVISILLA KANNAKKEILLA (4 kpl / m ²)	
> 300 mm	KAPILLAARIKATKO JA SUODATINKANGAS POHJARAKENNESUUNNITELMIEN MUKAAN TIIVISTETTY TÄYTTÖ	
	PERUSMAA, KALLISTUS SALAOJIIN 1:100	
	U-ARVO: 0.16 W/m ² K ASKELÄÄNITASOLUKU VAAKASUUNNASSA: $L'_{nT,W} + C_{1,50-2500} \leq 53$ dB, KUN LATTIANPÄÄLLYSTEEEN ASKELÄÄNENERISTÄVYYDEN PARANNUSLUKU $\Delta L_w \geq 18$ dB	

(jatkuu)

	VÄLIPOHJA, YLEENSÄ PAIKALLA VALETTU LAATTA	1:10
	Päiväys	VP1
		
15 mm	PINTAMATERIAALI JA -KÄSITTELY RAKENNUSSELOSTUKSEN MUKAAN	
15 mm (>5mm)	MATALA-ALKALINEN TASOITE	
270 mm	KANTAVA RAKENNE, PAIKALLA VALETTU TERÄSBETONILAATTA, VÄHÄHIILINEN BETONI (GWP.65) BY45 / BLY7 MUKAAN LUOKKA A-3-III. RAUDOITUS RAKENNESUUNNITELMIEN MUKAAN	
	PINTAMATERIAALI JA -KÄSITTELY / ALAKATTO RAKENNUSSELOSTUKSEN MUKAAN	
ÄÄNITASOEROLUKU:	$D_{nT,w} \geq 55$ dB	
ASKELÄÄNITASOLUKU:	$L'_{nT,w} + C_{150-2500} \leq 53$ dB, KUN LATTIANPÄÄLLYSTEEN ASKELÄÄNENERISTÄVYYDEN PARANNUSLUKU $\Delta L_w \geq 18$ dB (VAATIMUS ASUNTOJEN VÄLILLÄ) $L'_{nT,w} + C_{150-2500} \leq 63$ dB, KUN LATTIANPÄÄLLYSTEEN ASKELÄÄNENERISTÄVYYDEN PARANNUSLUKU $\Delta L_w \geq 8$ dB (VAATIMUS PORRASHUONEESTA ASUNTOON MITATTUNA)	
PALOLUOKKA:	REI 60 (YLEENSÄ) R 120 EI 90 (VARASTOT)	

	ONTELOTAATTAVALIPOHJA YLEENSÄ	1:10
	Päiväys	VP1 / VP400
		
15 mm	PINTAKÄSITTELY / -MATERIAALI RAKENNUSSELLITYKSEN MUKAAN	
15mm (>5mm)	MATALA-ALKALINEN TASOITE	
370 mm	ONTELOLAATTAELEMENTTI RAKENNE- JA ELEMENTTIPIIRUSTUKSIEN MUKAAN	
	PINTAKÄSITTELY RAKENNUSSELLITYKSEN MUKAAN	
<p>ÄÄNITASOEROLUKU: $D_{nT,w} \geq 55$ dB</p> <p>ASKELÄÄNITASOLUKU: $L'_{nT,w} + C_{1,50,2500} \leq 53$ dB, KUN LATTIANPÄÄLLYSTEEN ASKELÄÄNENERISTÄVYYDEN PARANNUSLUKU $\Delta L_w \geq 18$ dB (VAATIMUS ASUNTOJEN VÄLILLÄ)</p> <p>$L'_{nT,w} + C_{1,50,2500} \leq 63$ dB, KUN LATTIANPÄÄLLYSTEEN ASKELÄÄNENERISTÄVYYDEN PARANNUSLUKU $\Delta L_w \geq 8$ dB (VAATIMUS PORRASHUONEESTA ASUNTOON MITATTUNA)</p>		
PALOLUOKKA:	REI 60	

	VÄLIPOHJA, ONTELOLAATTA KYLPHUONESYVENNYS, MÄRKÄTILAT	1:10
	Päiväys	VP2 / VP410
		
	KPH-ELEMENTTI TOIMITTAJAN MUKAAN, ESIM. PARMARINE	
370 / 200 mm	KANTAVA RAKENNE, ONTELOLAATTA / KYLPYHUONESYVENNYS RAKENNESUUNNITELMIEN MUKAAN	
	PINTAMATERIAALI JA -KÄSITTELY / ALAKATTO RAKENNUSSELOSTUKSEN MUKAAN	
	RAKENTEIDEN YHTEISMASSAN OLLESSA $\geq 500 \text{ kg/m}^2$, ÄÄNITASOEROLUKU: $D_{nT,w} \geq 55 \text{ dB}$	
	PALOLUOKKA: REI 60	

	YLÄPOHJA, 8. KRS KATTO PUURAKENTEINEN KATTO, PUHALLUSVILLA	1:10
	Päiväys	YP1
		
<p>VEDENERISTYS, $B_{\text{ROOF}}(t_2)$, LUOKKA VE40, TL2+TL2, RIL 107-2012 MUKAAN KUMIBITUMIKERMI</p> <p>KATEMATERIAALIEN, KIINNIKKEIDEN JA KATON LÄPIVIENTIEN TULEE OLLA KESKENÄÄN YHTEENSOPIVIA JA KATTOKALTEVUUTEEN SEKÄ KÄYTTÖIKÄÄN SOVELTUVIA</p> <p>RAAKAPONTTILAUDOITUS 23 mm TAI SÄÄNKESTÄVÄ VANERI 18 mm</p> <p>≥100 mm TUULETTU ILMATILA</p> <p>TUULENOHJAIN RÄYSTÄILLÄ $b \geq 1200$mm</p> <p>500 mm ISOVER INSULSAFE PUHALLUSVILLA, $\lambda_t \leq 0,041$ W/mK</p> <p>HÖYRYNSULKU EL50/2200 (VAIN ALAJUOKSUJEN ALLA) PISTE- JA SAUMALIIMAUS</p> <p>270 mm KANTAVA RAKENNE, PAIKALLAVALLETTU TERÄSBETONILAATTA, VÄHÄHIILINEN BETONI (GWP.85) BY45 / BLY7 MUKAAN LUOKKA A-3-III. RAUDOITUS RAKENNESUUNNITELMIEN MUKAAN</p> <p>PINTAMATERIAALI JA -KÄSITTELY / ALAKATTO RAKENNUSELOSTUKSEN MUKAAN</p> <p>U-ARVO: 0,09 W/m²K (SRMK D3-2012: 0,09 W/m²K) PALONKESTOLUOKKA: REI 60 ILMAÄÄNENERISTYSLUKU LENTO- JA RAIDELIIKENNEMELUA VASTAAN: $R_w + C \geq 60$ dB</p>		

