

KERROSTALON ELINKAARIVAIKUTUSTEN VERTAILU ERI RAKENTEILLA

Ylisaukko-oja Teemu

Opinnäytetyö
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

2020

Tekniikka ja liikenne
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Teemu Ylisaukko-oja	Vuosi	2020
Ohjaaja(t)	Mikko Vatanen		
Toimeksiantaja	Kontiotuote Oy		
Työn nimi	Kerrostalon elinkaari vaikutusten vertailu eri rakenteilla		
Sivu- ja liitesivumäärä	70+0		

Tässä opinnäytetyössä vertailtiin kerrostalon elinkaaren ympäristövaikutuksia eri rakenteilla. Tavoitteena oli selvittää, kuinka paljon kasvihuonepäästöjä Pudasjärvelle tulevasta asuinkerrostalosta tulisi eri skenaarioilla. Kerrostalo tulee olemaan hirsi-betonirakenteinen, jossa ulkoseinät ja osa väliseinistä tehdään hirrestä ja runko betonielementeistä. Vertailulaskelmissa vaihtoehtoiset rakenteet kerrostalolle olivat hirsi-puurakenteinen, puu-betonirakenteinen ja betonirakenteinen. Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Kontiotuote Oy, joka toimittaa hirret Pudasjärven hirsikerrostaloon.

Pudasjärven kerrostalon elinkaariarviointi saatiin Insinööritoimisto Vesitaito Oy:ltä, joten tehtäväksi jäi toteuttaa vertailulaskelmat skenaariotaloille. Laskut tehtiin ympäristövaikutusten laskentaan tarkoitetulla One Click LCA -ohjelmalla. Ohjelma laski talojen hiilijalan- ja hiilikädenjäljen syötettyjen tietojen perusteella. Eri skenaarioiden ympäristöystävällisyyden vertailussa käytettiin hiilijalan- ja hiilikädenjäljen summaa. Vertailulaskelmissa pyrittiin käyttämään eri skenaariolle tyypillisiä rakenteita.

Työn alussa käydään läpi vähähiilisen rakentamisen ja elinkaari laskennan perusteita. Työn edetessä esitellään Pudasjärven hirsikerrostalo ja talon elinkaariarviointi. Lopuksi tulee skenaariotalojen elinkaariarvioinnit ja vertailu todelliseen kerrostaloon. Laskujen yhteydessä annetaan myös käyttökokemukset laskentaohjelmasta.

Laskuissa todettiin puu-betonirakenteisella talolla olevan pienin hiilijalanjälki. Ottamalla huomioon myös hiilikädenjäljen hirsi-puurakenteinen talo oli vähäpäästöisin. Todellisella Pudasjärven hirsikerrostalolla oli isompi hiilijalanjälki kuin skenaariotaloilla. Hiilikädenjälki huomioituna talo oli toiseksi vähäpäästöisin. Johtopäätöksenä voidaan todeta hirren olevan ympäristölle suotuisa materiaali rakentamiseen.

Degree Programme in Civil
Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Teemu Ylisaukko-oja	Year	2020
Supervisor	Mikko Vatanen		
Commissioned by	Kontiotuote Oy		
Subject of thesis	Comparison of life cycle impacts of an apartment house with different structures		
Number of pages	70+0		

The aim of this thesis project was to compare the environmental impacts of an apartment house's life cycle with different structures. The aim was to find out how much greenhouse gas emissions a future apartment house in Pudasjärvi would produce with different structure scenarios. The apartment house will have a log-concrete structure, where the outer walls and part of the partitions will be of log and the frame of concrete elements.

In the comparison calculations the alternative structures for the apartment house were log-wood-structure, wood-concrete-structure and concrete-structure.

The calculations were made with One Click LCA program, which is designed to calculate environmental impacts. The program calculated the carbon footprint and carbon handprint of the house based on the entered data. The sum of the carbon footprint and the carbon handprint was used to compare the environmental friendliness of the different scenarios. The comparative calculations sought to use structures typical to different scenarios.

The calculations showed that the wood-concrete house had the smallest carbon footprint. When also the carbon handprint was taken into account the log-timbered house was the least emitting. The actual Pudasjärvi apartment house had a larger carbon footprint than the scenario houses. Considering the carbon handprint, the house was the second least emitting. In conclusion, log is an environmentally friendly material for construction.

Key words: Life cycle analysis, carbon footprint, climatic effects

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	5
2 VÄHÄHIILISYYS RAKENTAMISESSA	7
2.1 Elinkaariarviointi.....	7
2.2 Standardit	10
2.3 Ympäristöluokitukset.....	11
2.4 Ympäristöselosteet	12
2.5 Vähähiilisen rakentamisen eteneminen	13
2.6 Ympäristöministeriön vähähiilisen rakentamisen tiekartta.....	14
2.6.1 Päästöjen sääntely	14
2.6.2 Rakennustuotteiden päästötiedot.....	16
2.6.3 Päästöjen ohjaukset	17
2.6.4 Aikataulu	21
2.7 Ympäristöministeriön vähähiilisuuden arviointimenetelmä	21
2.8 Kasvihuonepäästöjen määrittäminen.....	22
3 PUDASJÄRVEN HIRSIKERROSTALOT	25
3.1 Yleistä	25
3.2 Elinkaariarviointi hirsikerrostalosta.....	26
4 KERROSTALON ELINKAARIARVIOINTI ERI RAKENTEILLA	38
4.1 Arvioinnin vaatimukset, rajaukset ja menetelmät	38
4.2 Betonirakenteisen kerrostalon elinkaariarviointi.....	39
4.3 Hirsi-puurakenteisen kerrostalon elinkaariarviointi.....	45
4.4 Puu-betonirakenteisen kerrostalon elinkaariarviointi.....	53
4.5 Käyttökokemukset One Click LCA-laskentaohjelmasta	58
5 JOHTOPÄÄTÖKSET	61
5.1 Kerrostalojen ympäristövaikutusten vertailu.....	61
5.2 Elinkaaritehokkuuteen vaikuttavat tekijät	63
6 POHDINTA	65
LÄHTEET.....	68

1 JOHDANTO

Ympäristövaikutusten seuranta on lisääntynyt kuluttajilla ja vaikuttaa kuluttajien valintaperusteisiin yhä enemmän. Ympäristövaikutukset otetaan kasvavassa määrin huomioon myös rakentamisessa. Tämä näkyy esimerkiksi rakennusten päästörajoituksina, joita on otettu käyttöön jo useissa maissa. Hirsi on ympäristövaikutusten suhteen suotuisa rakennusmateriaali. Tämä on yksi syy hirsimökien ja hirsitalojen isolle suosiolle. Hirsirakentamisen kehittyessä hirttä on alettu käyttämään hieman erikoisempiin ja isompiin kohteisiin kuin ennen. Hirrestä on tehty mm. kouluja, päiväkoteja ja rivitaloja. Tulossa on myös hirsikerrostaloja.

Suomeen on tulossa rakennuksille päästörajoitteita 2020-luvun puoliväliin mennessä. Kerrostalorakenteiden kokonaisvaltaisista ympäristövaikutuksista ei ole juuri tietoa. Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tuoda informaatiota eri rakenteiden ympäristövaikutuksista. Ympäristövaikutukset selvitetään vertailemalla kerrostalorakenteiden elinkaarivaikutuksia. Opinnäytetyön tuloksia voidaan hyödyntää vähähiilisen rakennuksen suunnittelussa.

Pudasjärven Vuokratalot Oy rakennuttaa Pudasjärven keskustaan kaksi hirsikerrostaloa. Opinnäytetyössä vertailtiin hirsikerrostalon ympäristövaikutuksia muilla rakenteilla rakennettuun vastaavaan taloon. Vertailu tehtiin kolmelle skenaariotalolle laskemalla kerrostalojen hiilijalan- ja hiilikädenjälki. Ensimmäiseksi skenaariotaloksi valikoitui betonikerrostalo, joka valittiin sen tavanomaisuuden vuoksi. Toisena talona oli Hirsi-puurakenteinen kerrostalo, jossa betonirakenteet korvattiin puurakenteilla. Hirsi-puurakenteinen kerrostalo toimi betonikerrostalon vastaakohtana. Vastakohtien tarkoituksena oli havainnollistaa ympäristövaikutusten erot puun ja betonin välillä. Kolmas talo oli puu-betonirakenteinen kerrostalo, jossa hirsirakenteet korvattiin pystyrunkoisilla puurakenteilla. Tämän talon tarkoituksena oli verrata pystyrunkorakenteen ja hirsirakenteen ympäristövaikutuksia. Laskut tehtiin One Click LCA -elinkaarilaskurilla.

Esimerkkikerrostalona opinnäytetyössä toimi toinen Pudasjärvelle tulevasta 4-kerroksisista hirsikerrostaloista. Kohteen sain toimeksiantajaltani Kontiotuote Oy:ltä,

jossa toimin suunnittelijana. Aihe valikoitui toimeksiantajani pyynnöstä. Olin myös itse kiinnostunut näkemään konkreettisia tuloksia päästöjen eroista rakentaessa eri materiaaleilla. Kohde kiinnosti myös sen poikkeuksellisuuden takia, sillä hirrestä ei ole aiemmin Suomessa tehty yhtä korkeaa kerrostaloa.

2 VÄHÄHIILISYYS RAKENTAMISESSA

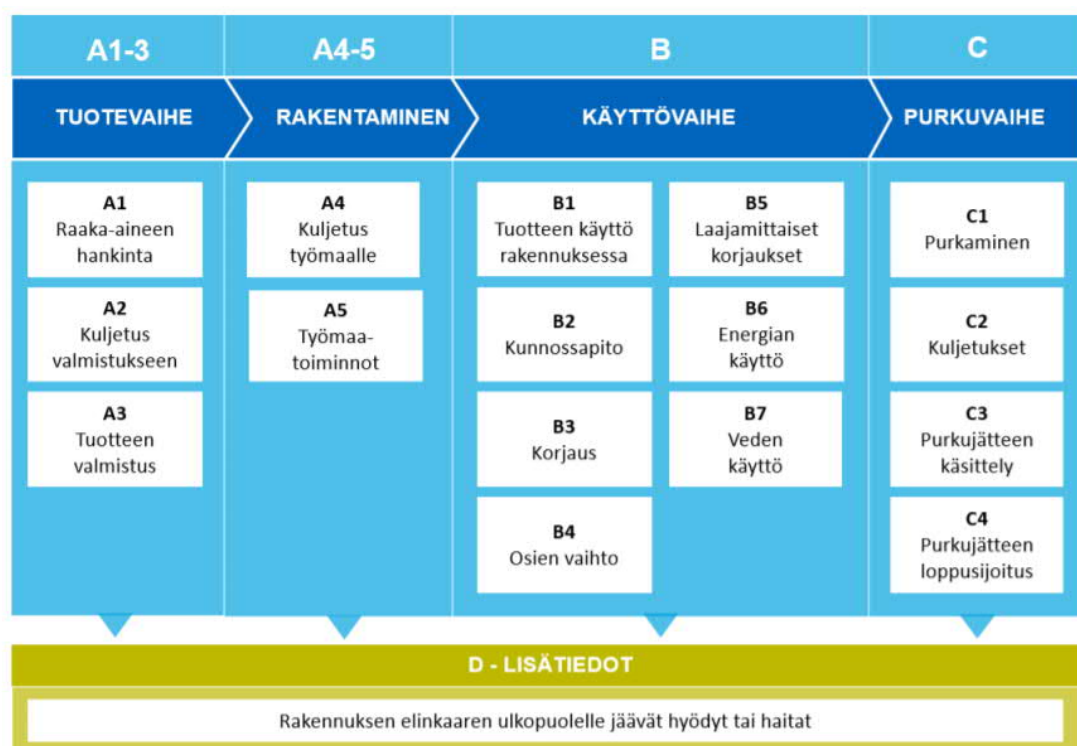
2.1 Elinkaariarviointi

Noin kolmannes Suomen tuottamista kasvihuonepäästöistä tulee rakennuksista ja rakentamisesta. Rakentamisen osuus päästöistä on niin suuri, että ilman niiden vähentämistä on mahdotonta saavuttaa kansainvälisiä ilmastotavoitteita. Rakennusten kasvihuonepäästöjä on tähän mennessä vähennetty pääasiassa energiatehokkuutta parantamalla. Energiatehokkuusmääräysten ansiosta uudisrakennuksissa on siirrytty lähes nollaenergiarakentamiseen ja siksi energiatehokkuutta parantamalla ei saavuteta enää merkittäviä hyötyjä. Ympäristöministeriö on lähtenyt etsimään päästövähennyksiä muilta rakentamisen osa-alueilta. (Ympäristöministeriö 2020a.)

Potentiaalisia osa-alueita päästöjen vähentämiseen on etsitty elinkaaren alku- ja loppupäästä. Niihin kuuluvat rakennusmateriaalien valmistus, rakentaminen, rakennusjätteen synnyn ehkäisy ja kierrätys. Olemassa olevien rakennusten energiatehokkuudessa on paljon parannettavaa. Vanhojen rakennusten energiatehokkuutta on kuitenkin tarkoitus korjata vasta muiden korjausten yhteydessä. Oletettavasti koko Suomen rakennuskanta tulee olemaan energiatehokas vasta 2050 mennessä. Ympäristöministeriön tavoitteena on ohjata lainsäädännöllä rakennusten hiilijalanjälkeä vuoteen 2025 mennessä. Määräykset tulevat kuitenkin koekäyttöön jo ennen sitä julkisiin hankkeisiin. (Ympäristöministeriö 2020a.)

Rakennuksen elinkaari voidaan jakaa päästöjen kannalta tuotevaiheeseen, rakentamiseen, käyttövaiheeseen ja purkuun (Taulukko 1). Rakennusten elinkaaren jokaisessa vaiheessa syntyy haitallisia päästöjä. Tällä hetkellä eniten päästöjä tulee käyttövaiheessa mutta myös rakennusmateriaalien päästöt ovat merkittäviä. Päästöjä saataisiin pienennettyä esimerkiksi korvaamalla fossiiliset polttoaineet uusiutuvilla, sillä energiahuollossa ja materiaalien valmistuksessa suurin osa päästöistä tulee uusiutumattomista energianlähteistä. Rakennukset ovat muuttuneet energiatehokkaammiksi, joten ylläpidon, korjauksen ja valmistuksen päästöt tulevat suhteessa kasvamaan. Rakennusten päästöjä kasvattavat myös yhdyskuntatekniikan, tieverkon rakentamisen ja liikenteen päästöt. (Bionova Oy 2017, 2, 11, 13–14.)

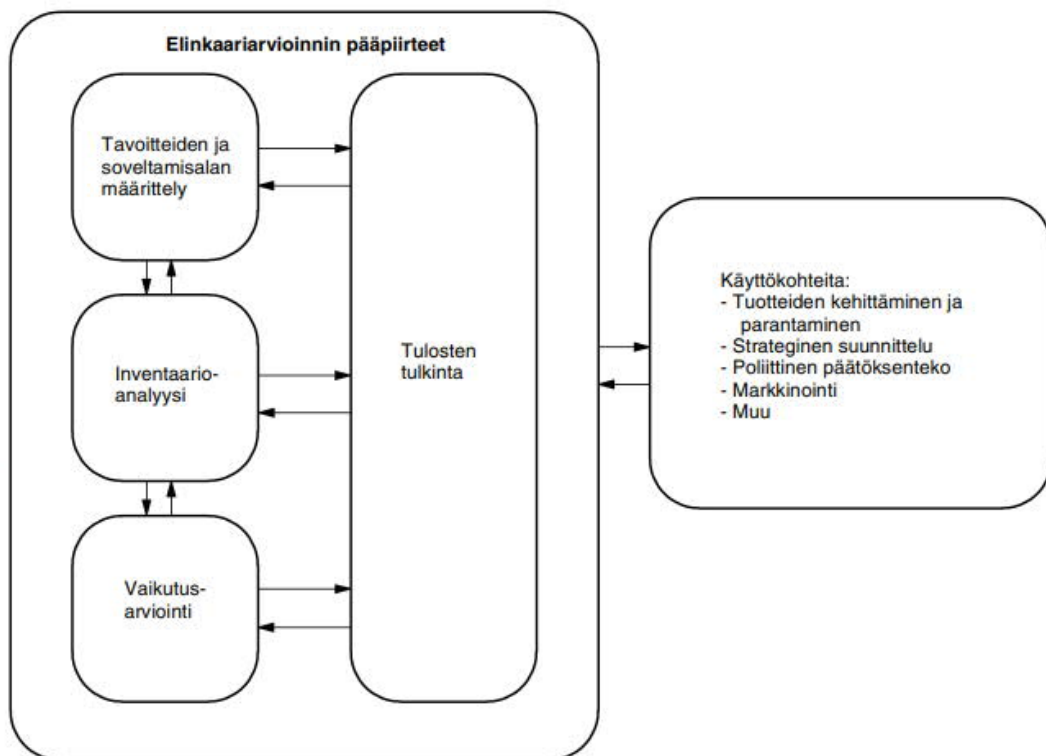
Taulukko 1. Rakennushankkeen elinkaaren vaiheet CEN/TC standardien mukaan (Bionova Oy 2017, 13)



Rakennusten elinkaaren päästöt muodostuvat lähes kokonaan alkuperäisistä rakentamisen päästöistä ja vuotuisesta energiankulutuksesta. Energian käyttö tulee merkittävämmäksi päästölähteeksi, mitä pidempi on rakennusten käyttöikä. Energian käytöstä aiheutuvat päästöt menevät alkuperäisten päästöjen ohi käyttöiän ollessa yli 30 vuotta. Rakennusten energiankulutuksen optimointi vaatii mm. rakennusmateriaaleilta hyvää lämmöneristävyyttä. Kattava elinkaarianalyysi auttaa optimoimaan rakennuksen kokonaispäästöjä. (Han, Srebric & Enache-Pommer 2014, 230.)

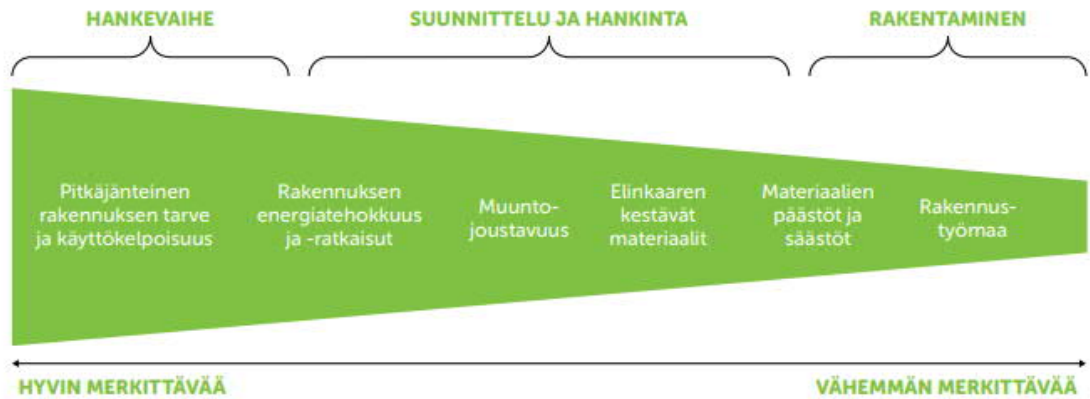
Ympäristön ja luonnon suojelun tärkeys on lisännyt kiinnostusta tuotteiden käytöstä ja valmistuksesta aiheutuvista päästöistä. Päästöjen seuranta varten on kehitetty elinkaariarviointi (Life Cycle Assessment – LCA). Elinkaariarviointia voi käyttää esimerkiksi etsittäessä tuotteiden käytöstä ja valmistuksesta vaiheita, joita pystyy kehittämään ympäristöystävällisemmäksi. Elinkaariarviointia voi käyttää hyödyksi markkinoinnissa esimerkiksi tarjoamalla faktatietoa tuotteen ympäristövaikutuksista. Elinkaariarvioinnissa otetaan huomioon rakennuksen ympäristövaikutukset koko elinkaaren ajalta. Elinkaariarviointiselvityksen vaiheita ovat

tavoitteiden määrittelyvaihe, inventaarioanalyysivaihe, vaikutusarviointivaihe ja tulkintavaihe (Kuvio 1). Tavoitteiden määrittelyvaiheessa rajataan arvioinnin laajuus ja määritellään tavoitteet. Inventaarioanalyysivaiheessa tehdään inventaario syöte- ja tuotostiedoista ja kerätään tietoa arviointia varten. Vaikutusarviointivaiheessa tarkoitus on tuottaa lisätietoa tulosten arvioimiseksi ympäristön kannalta. Tulosten tulkintavaiheessa inventaarioanalyysin ja vaikutusarvioinnin tulokset yhdistetään ja niitä tulkitaan yhdessä päätöksen teon pohjaksi. (SFS-EN ISO 14040 2006, 8.)



Kuvio 1. Elinkaariarvioinnin pääpiirteet (SFS-EN ISO 14040 2006, 24)

Rakennuksen ympäristövaikutuksiin voidaan vaikuttaa useilla eri päätöksillä ja useissa eri vaiheissa. Merkittävimmät päätökset tehdään hankkeen aikaisessa vaiheessa (Kuvio 2). Elinkaaritehokkuuden kannalta tärkeintä on tehokas kokonaisuus. Elinkaaritehokkuuteen eniten vaikuttavat tekijät korostuvat erilaisissa rakennuksissa. Nollaenergiataloissa elinkaaripäästöihin vaikutetaan energiaratkaisuilla ja lyhytikäisissä rakennuksissa materiaalivalinnat korostuvat. (Rakennusten elinkaarimittarit 2013, 14.)



Kuvio 2. Elinkaarivaikutusten merkittävyys (Rakennusten elinkaarimittarit 2013, 14)

2.2 Standardit

TC350 on tekninen komitea eurooppalaisessa standardisointijärjestössä CEN:ssä. TC350 on luonut standardipaketin, jotta ympäristöselosteet ja elinkaariarviot tehdään yhdenmukaisesti koko Euroopassa. Suomessa komitean yhteisövastuu on Rakennustuoteteollisuudella, jolla on oma tukiryhmänsä työn seuraamiseen. (Rakennusteollisuus 2020.)

Standardipaketin lähtökohtana on, että tarkastelun alla on rakennuksen koko elinkaari ja rakennusten tarkastelut Euroopassa toteutetaan standardeja noudattaen. Standardisarjan tavoitteena on mahdollistaa ympäristöselosteiden käyttö ympäri Eurooppaa riippumatta siitä, missä maassa seloste on tehty. Tavoitteen toteutuessa rakennustuotteiden vapaa liikkuvuus olisi helpompaa. Rakennusten elinkaaret ovat pitkiä, joten huomioon on otettava useita tekijöitä. (Rakennusteollisuus 2020.) CEN/TC-standardeissa on määritelty elinkaaren vaiheet (Taulukko 1) ja standardoitu laskentamenetelmät. Standardien mukaan elinkaaripäästöt on laskettava nykyisin tiedossa olevilla ratkaisuilla ilman tulevaisuuden skenaarioiden hyödyntämistä. (Bionova Oy 2017, 13–14.)

TC350 komitean julkaisemia ympäristövaikutuksia koskevia standardeja ovat EN 15978, EN 15804, EN 15942, CEN/TR 15941 (Rakennusteollisuus 2020). Elinkaariarvioinnin kannalta olennaisia standardeja ovat EN 15978 ja EN 15804. EN 15978 käsittelee ympäristövaikutusten arvioinnin laskentamenetelmiä ja EN

15804 käsittelee ympäristöselosteen laadinnan ydinsääntöjä. (Bionova Oy 2017, 2.)

Level(s) on Euroopan komission ja kestävän rakentamisen asiantuntijoiden kehittämä menetelmä mittaamaan rakentamisen resurssitehokkuutta. Menetelmän päätavoitteet ovat:

1. elinkaaren hiilijalanjälki
2. resurssitehokas materiaalien käyttö
3. veden kulutus
4. terveelliset tilat ja sisäilman laatu
5. sopeutuminen ilmastonmuutokseen
6. elinkaarikustannukset.

Lisäksi tavoitteissa on sisällään useita alatavoitteita. Tavoitteista suurin osa edellyttää EN-standardien huomioimisen. Level(s) -menetelmän tarkoituksena on luoda yhteinen mittari eri maiden resurssitehokkuudelle ja ekologisuudelle. Menetelmä on olennainen osa Euroopan maiden kiertotalouden kehittämistä. (Ympäristöministeriö 2020b.)

2.3 Ympäristöluokitukset

Vaikka rakennusten elinkaaren aikainen päästölaskenta ei ole vielä pakollista Suomessa, sitä tehdään jonkin verran ympäristöluokitusten kannustamana (Bionova Oy 2017, 2). Tunnetut ympäristöluokitukset voivat parantaa rakennuksen myyntiä, varsinkin toimittaessa kansainvälisesti. Tunnettuja kansainvälisiä ympäristöluokituksia ovat esimerkiksi Breeam ja Leed. Suomessa on Pohjoismaista eniten Breeam- ja Leed-luokituksen saaneita rakennuksia. (Korpela 2016.) Ympäristöluokituksissa katsotaan rakennuksen ympäristövaikutuksia laajemmin kuin vain hiilijalanjälkeä. Arviointikriteereitä ovat mm. energiatehokkuus ja vaikutukset lähialueen luontoon. (Bionova Oy 2017, 19.)

Vuonna 2017 Breeamin ja Leedin rinnalle tuli kotimainen RTS (rakennustiedon) -ympäristöluokitus. RTS-luokitus ottaa kansainvälisiä luokituksia paremmin huomioon Suomen olosuhteet ja käytännöt. Ympäristöluokituksessa annetaan paljon

arvoa energiatehokkuudelle, kosteusteknisille ratkaisuille ja sisäilmastolle. (Sisäilmauutiset 2017.) RTS-luokitus perustuu Suomen ohjeisiin ja sääntöihin. Luokituksessa arvioidaan rakennushankkeet asteikolla 1–5. Ympäristöluokitukset eroavat hieman toisistaan tavoitteiden ja elinkaaren vaiheiden osalta (Taulukko 2). (Bionova Oy 2017, 19–20.)

Taulukko 2. Tunnettuja ympäristöluokituksia (Bionova Oy 2017, 20)

Järjestelmä	LEED	BREEAM	RTS-luokitus	GBC Finland ohje
Elinkaaristandardi	ISO 14040 / EN 15804	EN 15978	EN 15978 + GBC ohje	EN 15978
Elinkaaren vaiheet	A1-A4, B1-B5, C1-C4	A1-A5, B1-B7, C1-C4	A1-A5, B1-B4, B6, C1-C4	A1-A5, B1-B7, C1-C4
Tavoite, johon luokitus kannustaa	Vähentää päästöjä vertailutilaan nähden	Tehdä korkealaatuinen elinkaariarviointi	Arvioinnin tekeminen ja raja-arvon alitus	-

2.4 Ympäristöselosteet

EPD:ssä (Environmental Product Declaration) eli ympäristöselosteessa on tarkkaa tietoa tuotteen ympäristövaikutuksista. Ympäristöselosteissa on otettava huomioon ympäristövaikutukset vähintään raaka-aineiden hankinnasta ja käsittelystä, kuljetuksesta valmistukseen ja valmistuksesta. Lisäksi rakentamisen, käyttövaiheen ja purkamisen vaikutukset ympäristöön voi huomioida. Ympäristöselosteiden ympäristövaikutuksia kuvataan EN 15804 mukaisilla mittareilla, joita ovat mm. ilmaston lämpeneminen, otsonikato, happamoituminen ja rehevöityminen. (Vahananen 2015.)

Syitä ympäristöselosteiden tekemiseen on useampia. Ympäristöselosteita voidaan laatia yrityksen omaan käyttöön lisäämään tietoutta omista tuotteista. Ympäristöselosteita voidaan tehdä myös toisia yrityksiä varten tai kuluttajia varten. Yrittäjille suunnatut ympäristöselosteet mahdollistavat samaan käyttötarkoitukseen tarkoitettujen tuotteiden vertailun. Kuluttajille suunnatut ympäristöselosteet eivät yleensä sisällä kaikista teknisimpiä tietoja vaan seloste keskittyy kuluttajia kiinnostaviin asioihin, kuten hiilijalanjälkeen ja energiankulutukseen. Kuluttajille suunnattu karsittu ympäristöseloste ei ole standardin EN 15804 mukainen. (Rakennustieto 2020.)

Jotta tuotteen elinkaariarvioinnista saadaan luotettava, on pyrittävä käyttämään todenmukaisia tietoja. Esimerkiksi raaka-aineiden toimittajilta saatavat tiedot ja tuotetta valmistavan tehtaan tiedot ovat yleisesti käytettyjä tuotteen elinkaariarvioinnin tekemisessä. Elinkaariarvioinnissa käytettyjen tietojen lähde ja arvot tulee esittää tarkasti. Kuluttajille suunnatuissa ympäristöselosteissa kolmannen osapuolen varmentaminen on pakollista, mutta yritykseltä yritykselle suunnatuissa ei. (Vahänen 2015.)

2.5 Vähähiilisen rakentamisen eteneminen

Vuonna 2013 tehtiin ensimmäinen selvitys matkalla kohti vähähiilistä rakentamista (Kuvio 3). Selvityksen teki Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, joka selvitti rakennusmateriaalien osuuden rakentamisen päästöistä. Rakennusmateriaalien päästöt olivat jo tuolloin merkittäviä ja nykyään materiaalien päästöjen merkitys on entisestään korostunut, kun on siirrytty lähes nollaenergiarakentamiseen. (Vähähiilisen rakentamisen pilotointi alkaa 2019.)



Kuvio 3. Vähähiilisen rakentamisen aikajana (Hakaste & Kuittinen 2019)

Bionova julkaisi vuonna 2017 vähähiilisen rakentamisen tiekartan. Tiekartan tarkoituksena oli selvittää, mitä merkittävien hiilidioksidipäästöjen ohjaukseen vaaditaan ja minkälaisia ohjausvälineitä tarvitaan. Heti tiekartan perään tehtiin

vaikutusarviointi, jonka lopputulos selkeytti vähähiilisuuden ohjauksen tarpeellisuuden. Vuosina 2018–2020 tehdään versiot vähähiilisuuden arvioinneista, joiden pohjalta katsotaan, mihin säädöksiin päädytään. (Vähähiilisen rakentamisen pilotointi alkaa 2019.)

2.6 Ympäristöministeriön vähähiilisen rakentamisen tiekartta

2.6.1 Päästöjen sääntely

Vuonna 2017 ympäristöministeriö teetti selvityksen tiekartasta, jolla lähdetään vähentämään rakennusten päästöjä Suomessa. Tiekartassa keskitytään erityisesti rakennusmateriaalien hiilijalanjäljen parantamiseen. (Ympäristöministeriö 2020c.) Tiekartassa otetaan huomioon Suomen tavoitteet ja vaadittavat toimenpiteet vaiheittain ja johdonmukaisesti. Suomessa ei ole elinkaaren päästövaatimuksia rakennuksille tällä hetkellä. Tiekarttaa on kehitetty ympäristöministeriön, alan ohjausryhmän ja asiantuntijoiden avulla. (Bionova Oy 2017, 2,8,10.)

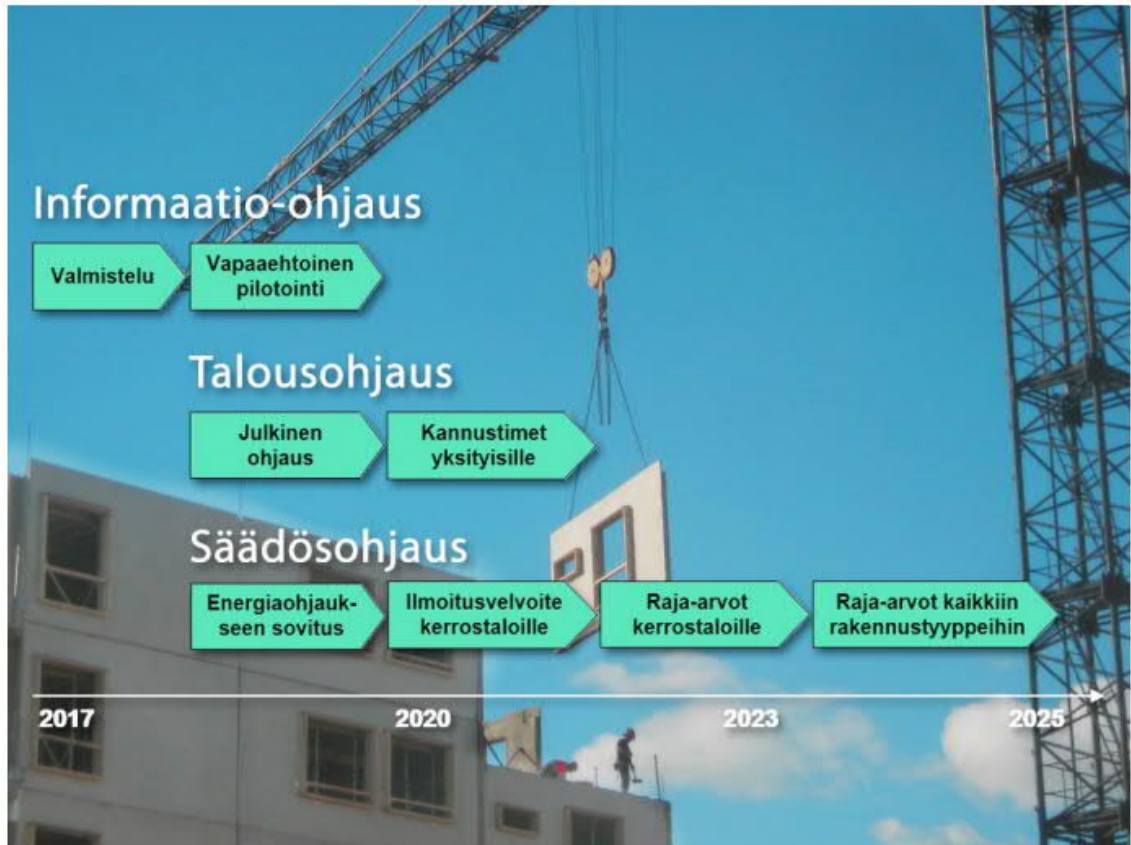
Suomi on sitoutunut kansainvälisiin kasvihuonepäästövähennyksiin ilmastositoumusten myötä. Tehokkaimmat keinot rakentamisen päästöjen vähentämiseksi alkavat olla jo käytetty. Tiekartta-selvityksen pohjalta päästöjä tullaan vähentämään myös niillä rakentamisen osa-alueilla, joihin ei aiemmin ole kiinnitetty huomiota. Päästöleikkausten kohteeksi otetaan esimerkiksi rakennusmateriaalit ja niiden valmistuksesta aiheutuvat päästöt. Kun sääntelyt astuvat voimaan, määräysten noudattamisen valvominen on rakennusvalvonnan vastuulla (Bionova Oy 2017, 8, 15.)

Euroopan komissio on aloittanut ydinindikaattorihankkeen, joka pyrkii tuomaan yhtenäisen indikaattorin kasvihuonepäästöjen arviointiin. Hankkeen pohjalta sopivana indikaattorina pidetään hiilijalanjälkeä standardin EN 15978 mukaan. Päästöjen sääntely on osittain koko Euroopan laajuista ja osittain Suomen laajuista. Suurin osa Euroopassa tapahtuvasta hiilidioksidipäästöjen ohjauksesta on standardeihin perustuvaa ohjausta ja informaation tarjoamista, mutta myös velvoittavaa ohjausta on tietyillä toimialoilla. Esimerkiksi teräksen ja sementin valmistuksessa päästökauppalaki (311/2011) 2 § velvoittaa rajoittamaan tuotantolaitosten päästöt kiintiöönsä tai hankkimaan päästöoikeuksia markkinoilta.

Päästökaupan säännöt vuosille 2021–2030 ovat vielä valmistelussa. Rakennustuotteiden kasvihuonepäästöjä ei tällä hetkellä tarvitse ilmoittaa asetusten mukaan. (Bionova Oy 2017, 15–16.)

Tällä hetkellä kuntien rakennusjärjestyksissä ei ole määräyksiä, joissa puututtaisiin rakentamisen hiilidioksidipäästöihin. Kunnat voivat ohjata päästöjä maanomistajina tontinluovutusehtojen kautta tai asettaa vaatimuksia asemakaavaan rakentamistapaohjeiden kautta. Kuntien rakennusvalvontojen resurssit ovat kuitenkin rajalliset, joten niiden tehtäviä ei voi lisätä liikaa. (Bionova Oy 2017, 17–18.)

Tiekartassa kuvataan vaiheittaiset tavoitteet rakennusten hiilijalanjäljen parantamiseksi. Ympäristöministeriön tärkeimpiin tavoitteisiin kuuluu tuoda lainsäädännöllinen päästöohjaus kaikkiin rakennustyypeihin vuoteen 2025 mennessä (Kuva 1). Välitavoitteina ennen vuotta 2025 on mm. ottaa säädökset käyttöön kerrostaloille, testata ohjausta julkisissa ja yksityisissä hankkeissa sekä kehittää hiilijalanjäljen laskentamallia ja päästötietokantaa. Käytännössä vuodesta 2025 eteenpäin on raja-arvot kaikille rakennustyypeille ja seurataan rakennuskannan päästöjä koko elinkaaren ajalta. Päästöohjaus vaiheistetaan niin, että elinkaaren päästöjen arviointi on aluksi vapaaehtoista, sitten pakollista julkisissa hankkeissa ja lopuksi kaikissa hankkeissa. Erityisesti rakennusmateriaalien päästöjä tullaan seuraamaan. Päästöjen seuraaminen tapahtuu laskemalla rakennuksen hiilijalanjälki koko elinkaaren ajalta. (Ympäristöministeriö 2020c; Bionova Oy 2017, 1, 3, 8.)



Kuva 1. Tiekartan sääntelyn tavoiteaikataulu (Bionova Oy 2017, 1)

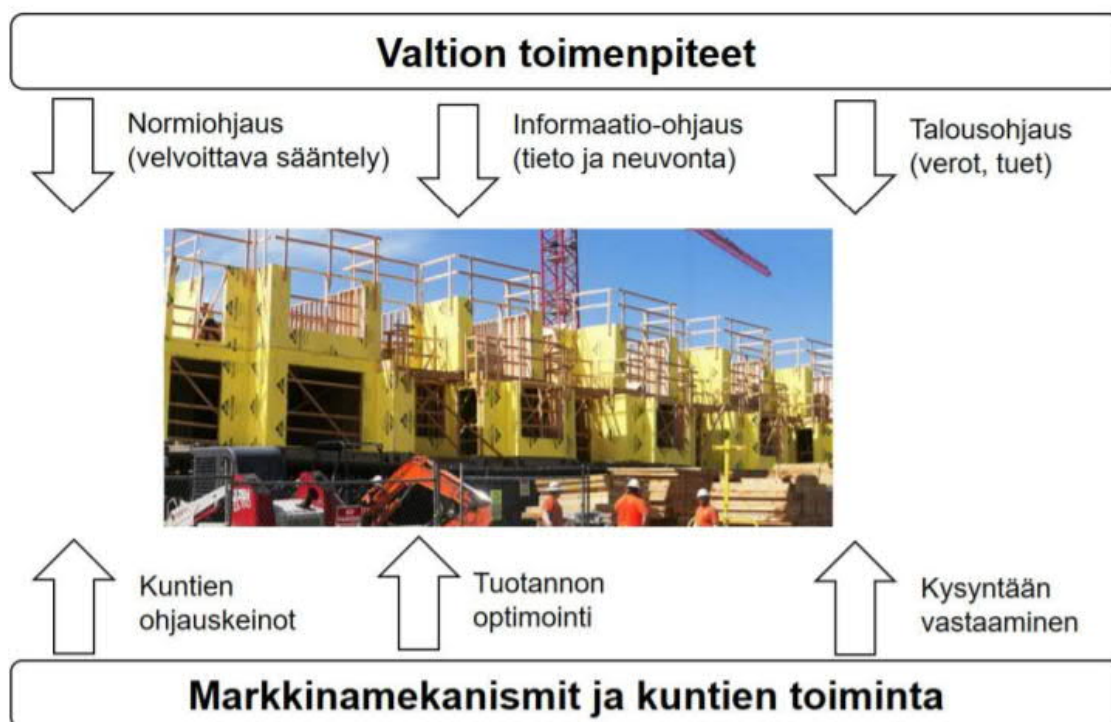
2.6.2 Rakennustuotteiden päästötiedot

Rakennusmateriaalien hiilidioksidipäästötietoja on saatavilla useista eri lähteistä. Eri lähteissä tiedot saattavat vaihdella suuresti, joten tärkeää olisi saada luotettavaa tietoa. Elinkaarilaskennassa suositellaan käytettäväksi tietoja, jotka on laadittu EN 15804-standardin mukaisesti. Laskennassa käytettävät tiedot eivät myöskään saa olla kovin vanhoja. EN 15804-standardin mukaan tehdyllä ympäristöselosteella on voimassaoloaika 5 vuotta. Rakennustuotteiden CO₂e-arvoja voidaan ilmoittaa useilla eri tarkkuuksilla, esimerkiksi yhdelle tuotteelle valmistaja voi ilmoittaa tarkan arvon tai tuoteryhmän arvon. Lisäksi samasta tuotteesta voi löytyä keskiarvo kaikkien valmistajien kesken, keskiarvoja ei suositella käytettävän, jotta laskusta saadaan mahdollisimman tarkka. Suomessa Rakennustieto on julkaissut vuonna 2016 järjestelmän EN-standardien mukaisille ympäristöselosteille. Järjestelmä ei ole vielä tarpeeksi laaja koko rakennuksen päästölaskentaan. (Bionova Oy 2017, 22.)

Rakennusten hiilijalanjäljen laskentaan tarvitaan mahdollisimman yksinkertainen laskentaohje mahdollisen rakennusten hiilijalanjäljen sääntelyn takia. Maissa, joissa päästöjä säännellään, on käytössä tällainen ohje. Ohjeen julkaisijana voi toimia esimerkiksi valtio tai puolueeton instituutio. Rakennusten hiilijalanjäljen laskenta on vielä harvinaista Suomessa, sillä kysyntää laskuille ei ole. Tietomallinnus mahdollistaa ja helpottaa päästölaskujen tekemistä. (Bionova Oy 2017, 23.)

2.6.3 Päästöjen ohjauskeinot

Useat valtiot Euroopassa sääntelevät rakennusten päästöjä lakien avulla tai käyttävät vapaaehtoisia ohjauskeinoja. Ohjausta tapahtuu markkinamekanismien ja julkisen puolen ohjauksen kautta (Kuvio 4). Julkisen puolen ohjauskeinoja ovat velvoittava sääntely, informaatio-ohjaus ja talousohjaus. Lisäksi kunnat ohjaavat kaavoituksen ja rakentamistapaohjeiden avulla. Velvoittavassa ohjauskeinossa voidaan määrätä rakennushankkeeseen ryhtyvän osoittamaan päästölaskelmin rakennuksen täyttävän päästörajat. Informaatio-ohjausta on puolestaan, kun tarjotaan koulutuksia ja tiedotustilaisuuksia päästöjen vähentämisestä. Talousohjausta on esimerkiksi kiinteistöveron helpotus, jos rakennuksen päästötaso osoitetaan vaadittua pienemmäksi. (Bionova Oy 2017, 25–26.)

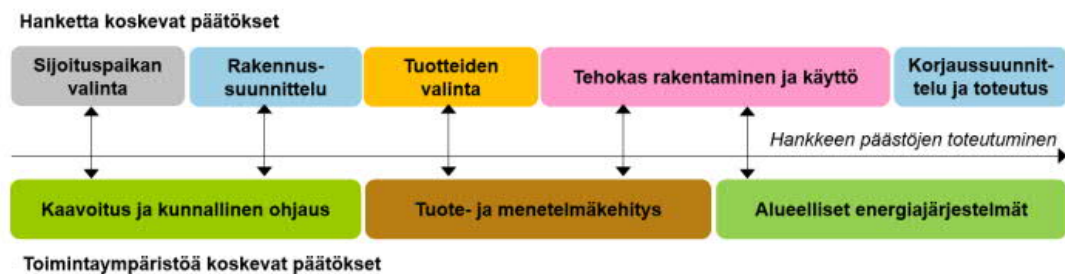


Kuvio 4. Ohjauskeinojen vaikutus hankkeeseen (Bionova Oy 2017, 25)

Sekä velvoittavia että vapaaehtoisia ohjausmenetelmiä on käytössä Euroopassa. Velvoittavia menetelmiä käytetään mm. Ranskassa, jossa velvoitetaan rakennustuotevalmistajia tekemään ympäristöselosteet, jos tuotetta markkinoissa käytetään ympäristövaihtamiksi. Lisäksi Ranskaan on tulossa velvoittava laki laskea hankkeen elinkaaren ympäristövaikutukset. Hollannissa puolestaan pyritään vähentämään ympäristöpäästöjä haittakustannuksilla. Asuin- ja toimistorakennuksista lasketaan elinkaaren aikaiset kasvihuonepäästöt ja maksetaan vuosittainen vero, esimerkiksi hiilidioksidipäästöistä vero on 0,05 €/kg. Edelläkävijämaana materiaalien ympäristövaikutusten huomioimisessa uskotaan olevan hyötyä Suomen rakennusteollisuuden kilpailukyvyille tulevaisuudessa. Tiekartta antaa tehtailla ja sijoittajille mahdollisuuden varautua ja ennakoida tulevaa hyvissä ajoin. (Bionova Oy 2017, 8–9, 30.)

Rakennushankkeen päästöt määräytyvät pääosin sen mukaan, mitä suunnittelussa päätetään. Tarveselvitysvaiheessa merkittävintä päästöjen kannalta on sijainti ja siihen liittyvät päästöt energihuollon ja maanrakennuksen osalta. Hanesuunnittelussa päätetään kohteen energiaratkaisut ja päämateriaalit, joten

hankesuunnittelussa voidaan vaikuttaa merkittävästi rakennuksen elinkaari päästöihin. Yleis- ja toteutussuunnitteluvaiheessa voidaan vaikuttaa päästöihin mm. rakenteiden ja materiaalien optimoinnilla. Rakennusvaiheessa päästöihin voidaan vaikuttaa hankkimalla vähäpäästöisiä rakennusmateriaaleja ja hyödyntämällä materiaaleja tehokkaasti. Käyttööntövaiheessa päästöihin vaikutetaan varmistamalla laitteiden toimivuus ja oikeanlainen käyttö. Päästöihin vaikuttaa taustalla monta tekijää, sillä mm. kaavoitus, tuote- ja menetelmäkehitys sekä rakennustuotevalmistuksen ratkaisut vaikuttavat toteutuviin päästöihin (Kuvio 5). (Bionova Oy 2017, 14, 27.)



Kuvio 5. Rakennushankkeen päästöihin vaikuttavat päätökset (Bionova Oy 2017, 14)

Suomeen tulevan päästöjen ohjausjärjestelmän tulee johtaa vähähiilisiin ratkaisuihin. Ohjausjärjestelmälle on annettu reunaehdoja, jotka tulee toteutua (Taulukko 3). Toimivan ohjausjärjestelmän luomiseksi kerättiin kolme työpajaa ja yli 100 osallistujaa. Tärkeimpiä teemoja kehityksessä oli hankkeen vaiheistus, kannustavuus, osaamisen kehittäminen, helppous ja luotettavuus, tasapuolisuus ja integrointi nykyiseen ohjaukseen. Osana kehittämistä toteutettiin verkkokysely, jonka mukaan ohjausjärjestelmän toimivuus vaatisi lisää laskentakoulutusta, laskentatyökaluja ja tietoa materiaalien hiilidioksidipäästöistä. (Bionova Oy 2017, 35–37.)

Ohjausjärjestelmän reunaehdot	Vaatimusten tarkempi määrittely
1) Luotettava toiminta	Ohjausratkaisu toimii kaikissa olosuhteissa yhdenmukaisesti.
2) Positiivinen ohjausvaikutus	Ohjaus alentaa rakennusmateriaalien hiilijalanjälkeä merkityksellisessä määrin kasvattamatta muita haittavaikutuksia.
3) Helppokäyttöisyys	Ohjausratkaisun tulee olla toimialalle helposti omaksuttavissa ja sovellettavissa, ja niin että käytötapa on helposti tulkittavissa.
4) Kustannustehokkuus	Ohjausratkaisu ei saa aiheuttaa kohtuuttomia kustannuksia.
5) Yhdyskuntarakenteen ohjaus	Ohjaus vaikuttaa myös palveluiden ja asumisen sijoittumiseen.
6) Yhteensopiva sääntely	Ohjausratkaisun tulee olla yhteensopiva ja yhdenmukainen kotimaisen ja EU-tasoisien sääntelyn ja standardisoinnin kanssa.
7) Toimiva hallintomekanismi	Ohjausratkaisun tulee olla operoitavissa Suomen hallintomekanismin mallilla ja realistisella resursoinnilla.
8) Sovitus energiaohjaukseen	Mallin tulee toimia yhdessä energiaohjauksen kanssa.

Taulukko 3. Suomeen tulevan ohjausjärjestelmän reunaehdot (Bionova Oy 2017, 35)

Suomeen tulevan tiekartan pääohjauskeinoksi on valittu velvoittava sääntely. Ohjauskeino on menetelmistä tehokkain muualta Euroopasta saatujen tulosten perusteella. Veloitteena tulee olemaan aluksi laskentavelvoite hiilidioksidipäästöille. Raja-arvoja päästöille ei vielä tiedetä, mutta raja-arvo ei voi olla niin vaativa, että hankkeisiin tarvittaisiin laajaa erikoisosaamista. (Bionova Oy 2017, 38–39.)

Talousohjaus on mahdollisesti velvoittavan sääntelyn rinnalle tuleva ohjauskeino. Ideana olisi kannustaa hankkeita alittamaan raja-arvot, jolloin olisi mahdollista saada lisärakennusoikeutta tai muuta rahallista hyötyä. Informaatio-ohjaus tulee myös mahdollisesti ohjauskeinoksi. (Bionova Oy 2017, 38–39.)

Tiekartan tarkoituksena on ohjata hankkeita alkuvaiheesta lähtien auttamalla suunnittelussa ja materiaalivalinnassa. Alkuvaiheen suunnitelmiin panostaminen on tärkeässä asemassa, sillä suunniteltuja materiaaleja ei voi vaihtaa lupavaiheen jälkeen korkeapäästöisempiin, jos raja-arvot ylittyvät. Rakennusvalvonnan tehtävä on tarkistaa, että materiaalit ovat suunnitelmissa esitettyjen teknisten vaatimusten mukaisia. Hiilidioksidipäästöjen sääntelystä voi myös seurata tarve varmentaa todelliset päästöt. (Bionova Oy 2017, 42.)

2.6.4 Aikataulu

Tiekarttahankkeella on kevyt alkuvaihe, jossa mennään vaiheittain kohti vähähiilisempää rakentamista. Ensimmäinen vaihe alkoi vuonna 2017, jossa keskityttiin testauksiin ja päästötietokannan ja laskentamallin kehittämiseen (Kuittinen 2019A, 9). Aluksi hiilijalanjäljen laskeminen on vapaaehtoista. Myöhemmin laskenta tulee olemaan pakollista ja lopulta päästöille tulee raja-arvo. Rakennusten hiilijalanjäljille annetaan raja-arvot rakennustyypeittäin (Taulukko 4). (Bionova Oy 2017, 43.)

Vaihe ja alkuvuosi	Sisältö	Tarkoitus
Vapaaehtoinen vaihe (2018)	Ministeriön julkaisema sapluuna ja menetelmä ja päästötietokanta, jolla voi raportoida päästöt yhteismitallisella tavalla	Tuoda kokemuksia alalle ja saada osaamista kehitettyä
Julkisen sektorin ohjaus tueksi (2018)	Ilmoitusvelvoite kaikkiin julkisiin hankkeisiin, kannustimet tontinluovutussopimuksiin ja julkisrahoitteisiin hankkeisiin (esim. ARA) ja kannustin kaavoille, joissa päästövaatimus	Julkinen edelläkävijyys ja lisätä menetelmän kaupallista kannustavuutta markkinoilla
Energiaohjaukseen kytkentä (2019)	Liittää tai yhdistää ohjausjärjestelmät niin että ohjaavat parhaaseen kokonaisuuteen, eivätkä erikseen energiaa ja päästöjä	Kytkeä energiaohjaukseen, niin että ei johda osaoptimointeihin ja tehottomiin kokonaisuuksiin
Kannustimet käyttöön yksityiselle sektorille (2020)	Käyttöön kannustimia, jotka voivat olla esim. kerrosalaan, veroihin tai maksuihin tai esimerkiksi rahoitukseen liittyviä	Löytää keinoja kytkeä menetelmä kannustimiin, joilla saadaan lisää vaikuttavuutta
Ilmoitusvelvollisuus kerrostaloille (2020)	Päästöt on pakko raportoida ainakin määritellyille rakennustyypeille	Viedä menetelmä käytäntöön ja hioa raja-arvoja käyttöönnotolle
Raja-arvot kerrostaloille (2022)	Annetut päästörajat on pakko alittaa kaikissa määritellyissä rakennustyypeissä	Ohjata toimialan päästökehitystä
Raja-arvot kaikkiin kohteisiin (2024)	Annetut päästörajat on pakko alittaa kaikissa rakennustyypeissä (esim. yli 100 m ²)	Ohjata toimialan päästökehitystä
Raja-arvojen tarkistus	Päästörajojen mahdollinen tarkistus	Ohjata toimialan päästökehitystä

Taulukko 4. Tiekarttahankkeen aikataulu (Bionova Oy 2017, 43)

2.7 Ympäristöministeriön vähähiilisuuden arviointimenetelmä

Ympäristöministeriö on tehnyt laskemista helpottamaan suomenkielisen ”*Rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmän*”, joka pohjautuu EN-standardeihin ja Euroopan komission Level(s) -menetelmään. Ympäristöministeriö on tehnyt menetelmän osana Suomen tavoitteita vähentää kasvihuonepäästöjä.

Arviointimenetelmää voidaan käyttää kaikkien rakennusten vähähiilisuuden arviointiin. Menetelmää voidaan käyttää uudiskohteissa sekä korjausrakentamisen hankkeissa. Arviointia voidaan tehdä rakennussuunnittelun aikana, mutta myös aikaisempi arviointi on mahdollista käytettäessä hyväksi tilastotietoja aiemmista kohteista. Arvioinnissa otetaan huomioon koko rakennuksen elinkaari. Vuoden 2019 versio arviointimenetelmästä on tarkoitettu vain pilotointikohteisiin. Arviointimenetelmää tullaan päivittämään testausvaiheen jälkeen. (Kuittinen 2019b, 9, 11–13.)

Vähähiilisuuden arviointiin tarvitaan arviointimenetelmän lisäksi rakennustuotteiden päästötiedot ja työkalu päästöjen laskentaan. Päästötietokanta on vielä kehitysvaiheessa Suomessa, mutta päästötietoja ja skenaarioita eri arviointityökaluista voi käyttää. Ympäristöministeriön arviointitaulukko on yksi arviointityökaluista. Eri työkaluilla ja tiedoilla tehtyjä arviointeja ei voi vertailla keskenään. (Kuittinen 2019b, 12–13.)

Materiaalien vähähiilisuuden arvioimiseen tarvitaan luettelo rakennuksen materiaaleista ja arvio rakennuksen elinkaaren aikana vaihdettavista materiaaleista. Lisäksi tulee arvioida materiaalin määrä, joka päätyy elinkaaren lopulla kierrätykseen, uudelleenkäyttöön tai muuhun hyötykäyttöön. Arvioinnissa ei tarvitse ottaa huomioon aivan kaikkea, sillä ulkopuolelle jätetään mm. työmaatilat, rakentamisen väliaikaiset telineet ja suojaukset, tontin kasvillisuus ja pois purettavat rakennukset. Korjausrakennuskohteissa arvioinnissa otetaan huomioon uudet ja korjattavat osat. (Kuittinen 2019b, 17.)

2.8 Kasvihuonepäästöjen määrittäminen

Kasvihuonekaasut ovat kaasuja, jotka imevät maanpinnasta heijastuvaa auringon säteilyä ja estävät säteilyn pääsyn avaruuteen. Kasvihuonekaasujen määrä ilmakehässä on lisääntynyt ihmisten toiminnan seurauksena, mikä aiheuttaa lämpötilan nousua. Ihmisten aiheuttamia kasvihuonepäästöjä syntyy mm. hiiltä, kaasuja ja öljyä polttamalla sekä raivaamalla metsiä. Kasvihuonekaasuista yleisin on hiilidioksidi, mutta muut kasvihuonekaasut voivat sitoa lämpöä paljon enemmän. Muita kasvihuonekaasuja ovat mm. metaani, dityppioksidi ja fluorihilivedyt. (Euroopan parlamentti 2018.) Rakennusten elinkaariarviointia tehdessä päästöt

lasketaan hiilidioksidiekvivalentteina (kgCO_2e), joka kertoo eri kasvihuonekaasujen lämmittävän vaikutuksen ilmastoon muunnettuna hiilidioksidin lämmittävään vaikutukseen (Kuittinen 2019b, 40).

Hiilijalanjälki kuvaa kasvihuonekaasujen summaa rakennuksen elinkaaren aikana. Rakennuksen hiilijalanjälki lasketaan summaamalla yhteen elinkaaren eri vaiheiden päästöt. Rakennuksen hiilijalanjäljen laskukaava eri vaiheissa eroaa hieman, mutta yksiköksi laskuista tulee $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2/\text{a}$ eli vuoden hiilidioksidiekvivalentit kilogrammoina rakennuksen neliometriä kohden vuodessa. (Kuittinen 2019b, 17, 34.) Ympäristöministeriön mukaan rakentamisen kasvihuonepäästöjen sääntelyllä voidaan vähentää Suomen päästöjä noin 500 000 tonnia CO_2e vuosittain (One Click LCA 2020a).

Materiaalien hiilijalanjäljen laskennassa kerrotaan yhteen materiaalin paino ja materiaaliikohtainen päästökerroin, kun taas energian hiilijalanjäljen laskemiseksi kerrotaan yhteen rakennuksen laskennallinen ostoenergian kulutus ja energiamuodon päästökerroin. Hiilijalanjälki esitetään positiivisena kokonaislukuna eikä siitä vähennetä rakennukseen sitoutunutta hiilidioksidia vaan sitoutunut ilmoitetaan erikseen hiilikädenjälkenä. (Kuittinen 2019b, 3,17, 29, 34; Kuittinen 2019a, 17–18.)

Arviointimenetelmän mukaan energian hiilijalanjäljen laskennassa voidaan ottaa huomioon pienemmät energiantuotannon päästöt tulevaisuudessa. Menetelmässä on taulukko energiamuotojen päästökertoimille. Taulukon arvoissa on huomioitu päästöjen pieneneminen ilmastonmuutoksen vastaisten toimenpiteiden takia (Taulukko 5). Taulukosta käy ilmi montako grammaa hiilidioksidia aiheutuu kilowattitunnilta eri energiamuodoilla. (Kuittinen 2019b, 29, 46.)

	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100	2110	2120
Sähkö	121	57	30	18	14	7	4	2	1	1	0
Kaukolämpö	130	93	63	37	33	22	15	10	7	4	3
Kaukojäähdytys	130	93	63	37	33	22	15	10	7	4	3
Fossiiliset polttoaineet	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260
Uusiutuvat polttoaineet	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Taulukko 5. Energiamuotojen päästökertoimet (Kuittinen 2019b, 46)

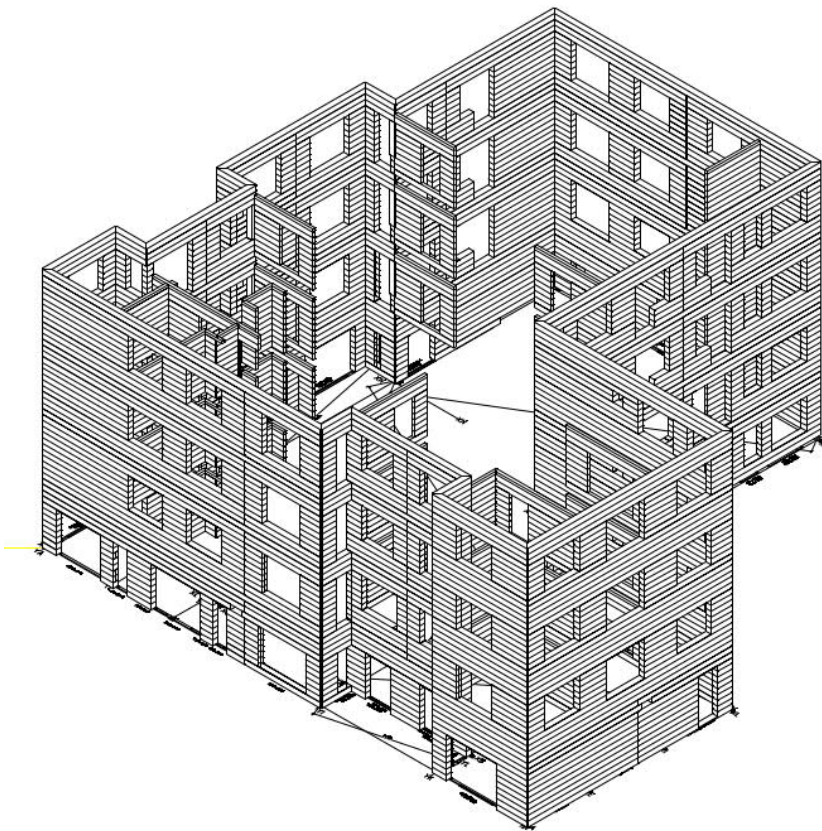
Hiilikädenjälki kuvaa myönteisten ilmastovaikutusten summaa. Hiilikädenjäljen laskemiseksi lasketaan yhteen asiat, jotka vähentävät rakennuksen hiilijalanjälkeä. Näitä ovat mm. hiilinielut, hiilivarastot, rakennuksessa tuotettu ylimääräinen uusiutuva energia ja materiaalien uudelleenkäytöstä aiheutuvat hyödyt. Hiilikädenjäljen yksikkönä on hiilidioksidiekvivalentti kgCO_2e , kuten hiilijalanjäljelläkin. Hiilikädenjälkeä ei vähennetä hiilijalanjäljestä vaan ilmoitetaan negatiivisena kokonaislukuna. (Kuittinen 2019b, 30, 34, 40.)

One Click LCA on Bionovan julkaisema ohjelmisto, joka helpottaa rakennusprojektien elinkaariarviointien laskemista. Ohjelma on sertifioitu ja täyttää ISO- ja EN-standardien vaatimukset. Yleensä rakennuksen elinkaariarvioinnin tekeminen on ollut vaativa toimenpide, joka on vaatinut erityisosaamista ja jopa viikkojen työpanoksen. One Click LCA:n avulla laskemisen voi tehdä jopa tunnissa. Ohjelmaan syötetään rakennuksen tietomalli tai muuta aineistoa, jotka muutetaan ohjelmistossa ympäristövaikutuksiksi. Ohjelman raportit ovat suoraan käytettävissä haettaessa LEED- ja BREEAM-sertifiointeja. (epressi 2015) One Clickistä löytyy maailman suurin EPD-tietokanta, lisäksi ohjelma mahdollistaa kolmannen osapuolen varmentavat EPD:t (One Click LCA 2020b).

3 PUDASJÄRVEN HIRSIKERROSTALOT

3.1 Yleistä

Pudasjärven keskustaan nousee kaksi hirsikerrostaloa 2020-2021 aikana. Talojen rakennuttajana toimii Pudasjärven Vuokratalot Oy ja urakoitsijana Rakennusliike Lapti Oy. Hirret kohteeseen toimittaa Kontiotuote Oy. Rakennuksissa on neljässä eri kerroksessa yhteensä 53 asuntoa ja liiketilaa lähes 340 neliometriä. Asuntoja on yksiöistä neljän makuuhuoneen huoneistoihin ja asuinpinta-alaa tulee olemaan yhteensä lähes 2300 neliometriä. Hirsikerrostalojen ulkoseinät ja joi-tain väliseiniä tehdään hirrestä. Rakennuksen ulkoseinissä käytetään painuma-tonta 275x275 Smartlog -hirttä ja väliseinissä painumatonta 135x275 Smartlog -hirttä. Yhteensä taloihin menee hirttä lähes 700m³ (Kuva 2). Suuri osa kantavista rakenteista, kuten kantavat väliseinät ja välipohjat tehdään betonielementeistä. (Hagelberg 2020; STT info 2020)



Kuva 2. Hirsikerrostalon hirsikehikko (Kontiotuote Oy 2020)

3.2 Elinkaariarviointi hirsikerrostalosta

Opinnäytetyössä tehdään vertailua toisen talon osalta. Hirsikerrostalon perustiedot on koottu taulukkoon 6. Kuvassa 3 on talon leikkaus ja kuvassa 4 ensimmäisen kerroksen pohjapiirros. Elinkaariarvioinnin hirsikerrostalosta on tehnyt insinööritoimisto Vesitaito Oy One Click LCA:lla. Laskut on tehty ympäristöministeriön vähähiilisyden arviointimenetelmän mukaan. Insinööritoimisto Vesitaito Oy teki laskut arkkitehtisuunnitelmien pohjalta, joten niissä on pientä heittoa siihen mitä päästöt todellisuudessa ovat. Esimerkiksi laskuissa on parvekkeiden materiaaliksi merkittynä puu, vaikka todellisuudessa parvekkeet tehdään betonista.

Taulukko 6. Pudasjärven hirsikerrostalon perustiedot (Insinööritoimisto Vesitaito Oy 2020)

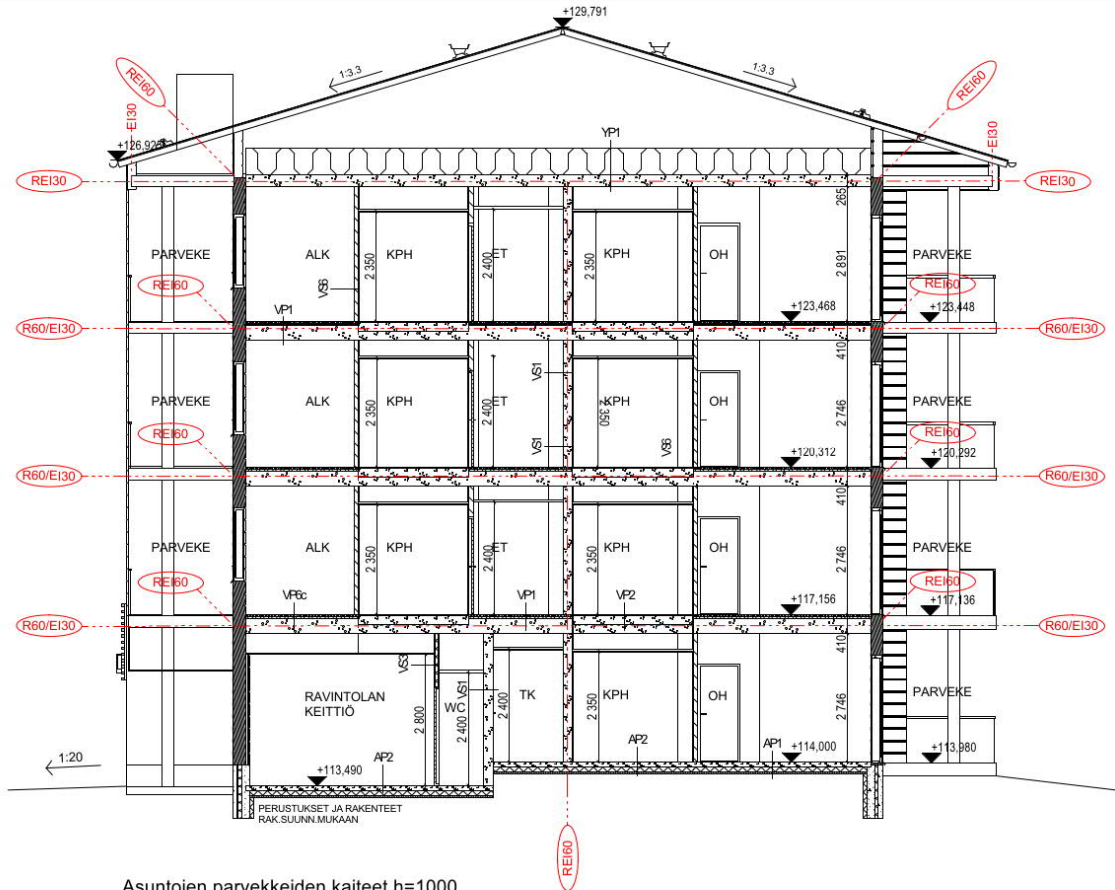
Pudasjärven hirsikerrostalon perustiedot	
Lämmitetty nettoala	1746 m ²
Ulkoseinän rakenne	275mm painumaton Smartlog -hirsi
Ulkoseinän U-arvo	0,40 W/Km ²
Yläpohjan rakenne	Ontelolaatta+560mm kivivillaa
Yläpohjan U-arvo	0,08 W/Km ²
Alapohjarakenne	Maanvarainen alapohja
Alapohjan U-arvo	0,16 W/Km ²
Välipohjan rakenne	Ontelolaatta
Vesikate	Huopa
Paloluokka	P2
Suunniteltu / standardien mukainen käyttöikä	50 vuotta
Sijainti	Pudasjärvi
Lämmitysmuoto	Kaukolämpö

Insinööritoimisto Vesitaito Oy:n laskujen ja One Click LCA:n päästötietojen pohjalta opinnäytetyöhön tehtiin materiaalitaulukot osa-alueittain (Taulukot 7–11). Osa-alueet helpottavat elinkaarivaikutusten vertailua skenaariolaskelmiin. Osa-alueita olivat perustukset ja maanalaiset rakenteet, pystyrakenteet ja julkisivu, vaakarakenteet, talotekniikka ja muut rakenteet. Tässä opinnäytetyössä

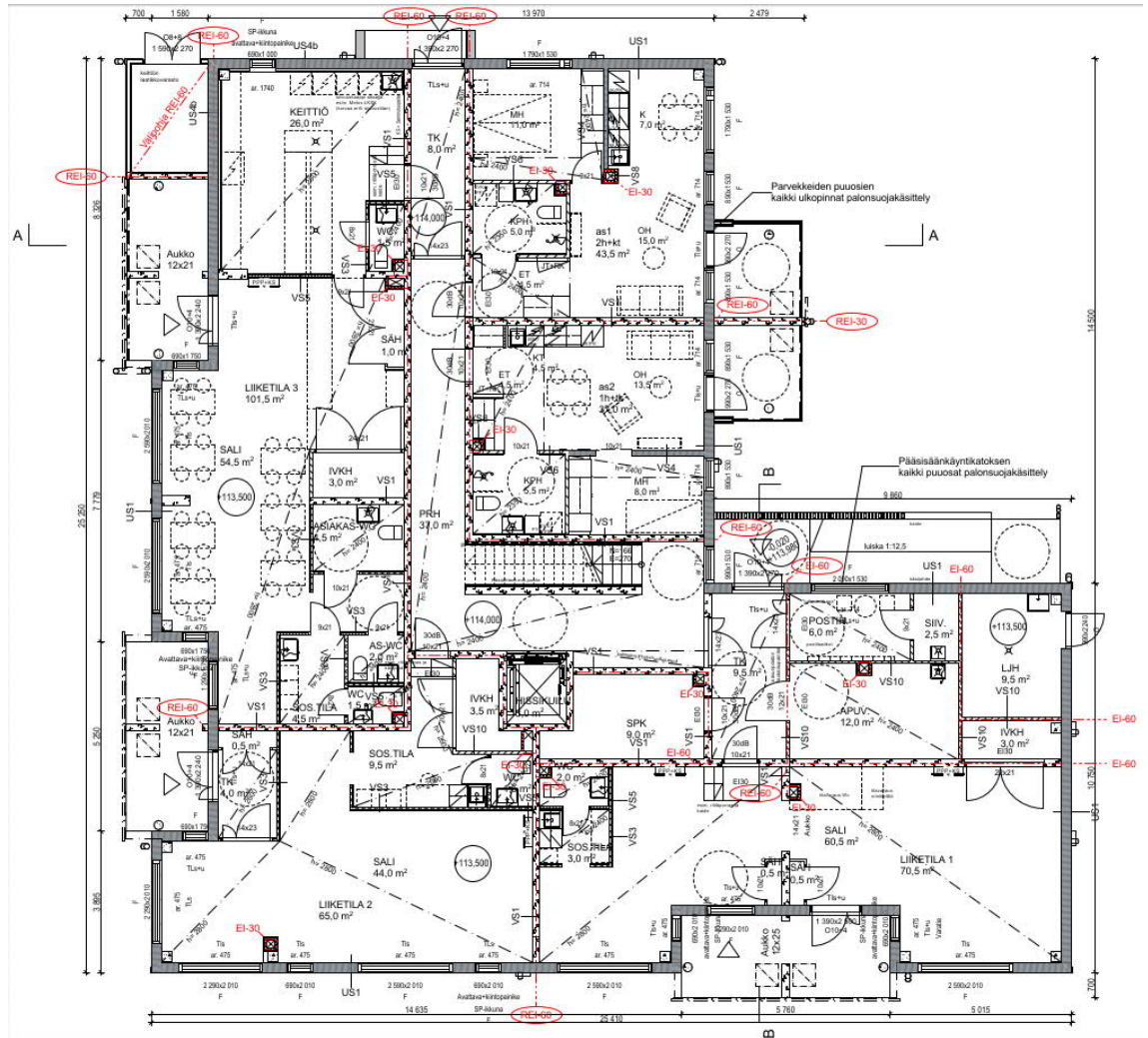
taulukkaan on laskettu materiaaleihin sitoutuneet hiilidioksidit. Muut arvot on otettu Vesitaito Oy:n tekemistä laskuista ja laskentaohjelmasta.

Ohjelman käyttämät materiaalikohtaiset arvot sitoutuneesta hiilidioksidista ja aiheutuvasta hiilidioksidista on otettu materiaalien EPD:stä. Materiaalien määrät on otettu tietomallista, joten laskentatarkkuuden pitäisi olla hyvä. Laskentaohjelmassa päästöt on pyöristetty tonnin tarkkuuteen ja pienillä päästöillä pyöristys on kilogramma. Taulukkoon lasketuissa arvoissa on käytetty pyöristäessä samaa tarkkuutta kuin ohjelmassa.

Yksinkertaistettuna materiaalin päästöt saadaan kertomalla yhteen materiaalin määrä materiaalin ilmasto lämmittävän vaikutuksen kertoimella. Joistakin materiaaleista tulee kuitenkin enemmän päästöjä, sillä kaikkien ympäristöselosteiden ilmasto lämmittävät vaikutukset eivät huomioi rakentamisen jälkeisiä päästöjä. Joillakin materiaaleilla käyttöikä on lyhyempi kuin rakennuksella, jolloin päästöjä tulee korjauksesta ja osien vaihdosta. Materiaaliin sitoutuneet päästöt saadaan kertomalla yhteen materiaalin määrä ja materiaaliin sitoutuneen biogeenisen hiilen arvo. Laskuissa ei ole otettu huomioon sementtipohjaisten tuotteiden karbonisaatiota. Karbonisaation saa huomioida hiilikädenjäljessä, jos karbonisaatiosta johtuvat korjaukset otetaan huomioon hiilijalanjäljessä (Kuittinen 2019b, 32).



Kuva 3. Pudasjärven hirsikerrostalon leikkaus (Kontiotuote Oy 2020)



Kuva 4. Pudasjärven hirsikerrostalon ensimmäisen kerroksen pohjapiirros (Kon-tiotuote Oy 2020)

Talon perustustapana on sokkeliperustus ja maanvarainen laatta. Perustusten materiaaleista aiheutuu päästöjä noin 29 tonnia CO₂e (Taulukko 7), joka vastaa 2% talon elinkaaren päästöistä (Kaava 1). Eniten perustusten hiilijalanjälkeä kasvattaa perustuksiin käytettävät betoni ja betonirauditus. Perustuksiin ei sitoudu yhtään hiilidioksidia. (Insinööritoimisto Vesitaito Oy 2020.)

(1)

$$\frac{\text{Perustusten ja maanalaisten rakenteiden päästöt}}{\text{Rakennuksen kokonaispäästöt}} = \frac{29t \text{ CO}_2}{1423t \text{ CO}_2} = 0,020 \approx 2\%$$

Taulukko 7. Pudasjärven hirsikerrostalon perustukset ja maanalaiset rakenteet (Insinööritoimisto Vesitaito Oy 2020)

Materiaali	Määrä	Paksuus (mm)	Ilmastoa lämmittävä vaikutus	Sitoutunut biogeeninen hiili	Hukka (%)	Materiaalista aiheutuvat päästöt (CO ₂ e)	Materiaaliin sitoutunut (CO ₂ e)	Käyttötarkoitus
Murske (0...100mm), kuiva tilavuus	438,8 m ²	200	11 kg CO ₂ e/m ³	-	-	0,97t	-	Täyttö
Sepeli (8...16mm), kuiva tilavuus	438,8 m ²	300	7,35 kg CO ₂ e/m ³	-	-	0,97t	-	salaoja
Suodatinkangas	906,9 m ²	0,15	660 kg CO ₂ e/m ³	-	10	99kg	-	Suodatinkangas
Eriste EPS 100, 0,035 W/mK	199,7 m ²	100	50 kg CO ₂ e/m ³	-	4	1t	-	Routaeriste
Betoni C30/37	90,28 m ³	-	214 kg CO ₂ e/m ³	-	4	20t	-	Perustukset
Betoniraudoitus, 97% kierrätetty	7674,05 kg	-	* 0,48 kg CO ₂ e/kg	-	4,85	3,8t	-	Perustusten raudoitus
Insulation panels	123,74 m ²	100	136,4 kg CO ₂ e/m ³	-	4	1,8t	-	Sokkelieriste
Kumibitumikermi perustuksiin	4,64 m ²	4,3	855,94 kg CO ₂ e/m ³	-	10	19kg	-	Bitumieristys
Perusmuurilevy, PP-muovi	43,04 m ²	0,5	* 5492 kg CO ₂ e/m ³	-	10	0,13t	-	Patolevy
Perustukset ja maanalaiset rakenteet						~29 tonnia	-	

*merkitä on arvoissa, jotka on laskettu paikallinen kompensatio huomioiden. Arvo on eri kuin ohjelman ilmoittama arvo

Rakennuksen ulkoseinät ovat 275mm paksua hirttä. Väliseinät ovat betoniseiniä, harkkoseiniä, teräsrankaseiniä ja hirsiseiniä. Pystyrakenteista aiheutuu päästöjä noin 160 tonnia CO₂e (Taulukko 8), joka vastaa 11% talon elinkaaren päästöistä (Kaava 2). Eniten pystyrakenteiden hiilijalanjälkeä kasvattavat hirsiseinät ja betoniseinät. Pystyrakenteisiin sitoutuu hiilidioksidia noin 206 tonnia, joka on 60% koko rakennukseen sitoutuneesta hiilidioksidista (Kaava 3). Eniten biogeenista hiilivarastoa kasvattavat hirsiseinät. (Insinööritoimisto Vesitaito Oy 2020.)

(2)

$$\frac{\text{Pystyrakenteiden ja julkisivun päästöt}}{\text{Rakennuksen kokonaispäästöt}} = \frac{160t \text{ CO}_2}{1423t \text{ CO}_2} = 0,112 \approx 11\%$$

(3)

$$\frac{\text{Pystyrakenteisiin sitoutunut hiilidioksidi}}{\text{Koko rakennukseen sitoutunut hiilidioksidi}} = \frac{206t \text{ CO}_2}{345t \text{ CO}_2} = 0,597 \approx 60\%$$

Taulukko 8. Pudasjärven hirsikerrostalon pystyrakenteet ja julkisivu (Insinööritöimistö Vesitaito Oy 2020)

Materiaali	Määrä	Paksuus (mm)	Ilmastoalämmittävä vaikutus	Sitoutunut biogeeninen hiili	Hukka (%)	Materiaalista aiheutuvat päästöt (CO ₂ e)	Materiaaliin sitoutunut (CO ₂ e)	Käyttötarkoitus
Hirsiseinä	981,9 m ²	275	160 kg CO ₂ e/m ³	650 kg CO ₂ e/m ³	17,9	51t	-176t	US1
Kuivattu sahatavara	0,13m ³		72 kg CO ₂ e/m ³	728 kg CO ₂ e/m ³	17,9	11kg	-95kg	US4 koolaus
Vaneri	34,13 m ²	12	* 217,5 kg CO ₂ e/m ³	936,73 kg CO ₂ e/m ³	16,7	0,1t	-0,4t	US4
Kipsilevy, tavallinen	34,13 m ²	13	248,14 kg CO ₂ e/m ³	-	12,5	0,12t	-	US4
Märkätilojen seinälaatoitus	1098,07 m ²		14,9 kg CO ₂ e/m ²	-	10	18t	-	Märkätilat
Betoni C30/37	991,52 m ²	200	214 kg CO ₂ e/m ³	-	4	44t	-	VS1
Betonirauditus, 97% kierrätetty	19830,4 kg		* 0,48kg CO ₂ e/kg	-	4,85	9,9t	-	VS1
Ohutrappaus	1983,04 m ²		0,47 kg CO ₂ e/kg	-	13	18t	-	VS1
Kipsilevy, tavallinen	365,43 m ²	13	248,14 kg CO ₂ e/m ³	-	12,5	1,3t	-	VS3
Eriste, mineraalivilla	182,72 m ²	100	21 kg CO ₂ e/m ³	-	8	0,41t	-	VS3
Hot-dip galvanized steel sheet	506 kg		2,78 kg CO ₂ e/kg	-	7,5	1,5t	-	VS3
Hirsiseinä	341,86 m ²	135	160 kg CO ₂ e/m ³	650 kg CO ₂ e/m ³	17,9	8,7t	-30t	VS4
Kevytsoharkko	412,16 m ²	92	* 132,5kg CO ₂ e/m ³	-	7,5	5,4t	-	VS6
Kalkki-hiekkatiilet ja harkot	53,88 m ²	130	205,9 kg CO ₂ e/m ³	-	5	1,5t	-	VS10
Yhteensä pystyrakenteet ja julkisivu						~160 tonnia	~-206 tonnia	

*merkitä on arvoissa, jotka on laskettu paikallinen kompensatio huomioiden. Arvo on eri kuin ohjelman ilmoittama arvo

Rakennuksen vaakarakenteisiin kuuluvat alapohja, välipohjat ja yläpohja, jotka tulevat kaikki betonista. Vaakarakenteista aiheutuu yhteensä noin 216 tonnia CO₂e (Taulukko 9), joka vastaa 15% kokonaispäästöistä (Kaava 4). Vaakarakenteista eniten päästöjä aiheuttaa välipohjan ontelolaatat ja maanvarainen alapohja. Vaakarakenteisiin sitoutuu hiilidioksidia noin 50 tonnia, joka on 14% koko rakennukseen sitoutuneesta hiilidioksidista (Kaava 5). Vaakarakenteista eniten biogeenista hiilivarastoa kasvattavat parkettilattia ja sahatavara. (Insinööritöimistö Vesitaito Oy 2020.)

(4)

$$\frac{\text{Vaakarakenteiden päästöt}}{\text{Rakennuksen kokonaispäästöt}} = \frac{216t \text{ CO}_2}{1423t \text{ CO}_2} = 0,152 \approx 15\%$$

(5)

$$\frac{\text{Vaakarakenteisiin sitoutunut hiilidioksidi}}{\text{Koko rakennukseen sitoutunut hiilidioksidi}} = \frac{50t \text{ CO}_2}{345t \text{ CO}_2} = 0,144 \approx 14\%$$

Taulukko 9. Pudasjärven hirsikerrostalon vaakarakenteet (Insinööritoimisto Vesitaito Oy 2020)

Materiaali	Määrä	Paksuus (mm)	Ilmastoa lämmittävä vaikutus	Sitoutunut biogeeninen hiili	Hukka (%)	Materiaalista aiheutuvat päästöt (CO ₂ e)	Materiaaliin sitoutunut (CO ₂ e)	Käyttötarkoitus
Kipsilevy, tavallinen	480,75 m ²	13	248,14 kg CO ₂ e/m ³	-	12,5	1,7t	-	VP6
Eriste, lasivilla	240,38 m ²	50	21 kg CO ₂ e/m ³	-	8	0,27t	-	VP6
Ohutrappaus	112,57 m ²		0,47 kg CO ₂ e/kg	-	12,5	1t	-	VP3
Betoni C30/37	112,57 m ²	320	214 kg CO ₂ e/m ³	-	4	8t	-	VP3
Betoni C30/37	112,57 m ²	60	214 kg CO ₂ e/m ³	-	4	1,5t	-	VP3
Laminaattilattia	112,57 m ²		11,78 kg CO ₂ e/m ²	14 kg CO ₂ e/m ²	5	** 2,8t	-1,6t	VP3
Betoniraudotus, 97% kierrätetty	3838,64 kg		* 0,48kg CO ₂ e/kg	-	4,85	1,9t	-	VP3
Ohutrappaus	1194,92 m ²		0,47 kg CO ₂ e/kg	-	13	11t	-	VP1
Ontelolaatta C30/37	1194,92 m ²	320	*167,4 kg CO ₂ e/m ³	-	-	64t	-	VP1
Hiekka (0...8mm), kuiva tilavuus	1194,92 m ²	10	3,61 kg CO ₂ e/m ³	-	-	43kg	-	VP1
Eriste, lasivilla	1194,92 m ²	30	21 kg CO ₂ e/m ³	-	8	0,81t	-	VP1
Lattiatasoite	1194,92 m ²	40	409,5 kg CO ₂ e/m ³	-	13	22t	-	VP1
Ohutrappaus	438,8 m ²		0,47 kg CO ₂ e/kg	-	13	4t	-	YP1
Ontelolaatta C30/37	438,8 m ²	265	*167,4 kg CO ₂ e/m ³	-	-	20t	-	YP1
Muovibitumikermi	438,8 m ²	4,4	806,82 kg CO ₂ e/m ³	-	10	** 4,8t	-	YP1
Eriste, kivivilla	438,8 m ²	560	42,73 kg CO ₂ e/m ³	-	8	11t	-	YP1
Kuivattu sahatavara	17,55m ³		72 kg CO ₂ e/m ³	728 kg CO ₂ e/m ³	17,9	1,5t	-12,8t	YP1
Vaneri	653,95 m ²	18	* 217,5 kg CO ₂ e/m ³	936,73 kg CO ₂ e/m ³	16,7	3t	-11t	YP1
Kumibitumi-pintakermi	653,95 m ²	6,9	789,71 kg CO ₂ e/m ³	-	10	** 11t	-	YP1
Parkettilattia	865,41 m ²	14	0,73 kg CO ₂ e/kg	1,7 kg CO ₂ e/kg	17	** 18t	-18,5	YP1
Laminaattilattia	438,8 m ²		11,78 kg CO ₂ e/m ²	14 kg CO ₂ e/m ²	5	** 11t	-6,1	AP1
Betoniraudotus, 97% kierrätetty	4388 kg		* 0,48kg CO ₂ e/kg	-	4,85	2,2t	-	AP1
Betoni C30/37	438,8 m ²	100	214 kg CO ₂ e/m ³	-	4	9,8t	-	AP1
Eriste, EPS	438,8 m ²	175	50 kg CO ₂ e/m ³	-	4	4t	-	AP1
Yhteensä vaakarakenteet						~216 tonnia	~-50 tonnia	

*merkintä on arvoissa, jotka on laskettu paikallinen kompensatio huomioiden. Arvo on eri kuin ohjelman ilmoittama arvo
**merkintä on arvoissa joihin tulee käytön aikaisia päästöjä, joita EPD:n kertoimet eivät huomioi

Muihin rakenteisiin ja materiaaleihin kuuluvat mm. parvekkeet, ikkunat ja ovet. Muista rakenteista ja materiaaleista aiheutuu päästöjä yhteensä noin 112 tonnia CO₂e (Taulukko 10), joka vastaa 8% kokonaispäästöistä (Kaava 6). Eniten päästöjä aiheutuu ikkunoista ja ovista. Muihin rakenteisiin sitoutuu hiilidioksidia noin 89 tonnia, joka on 26% koko rakennukseen sitoutuneesta hiilidioksidista (Kaava 7). Eniten hiilidioksidia sitoutuu parvekkeen hirsiseiniin. (Insinööritoimisto Vesitaito Oy 2020.)

(6)

$$\frac{\text{Muiden rakenteiden päästöt}}{\text{Rakennuksen kokonaispäästöt}} = \frac{112t \text{ CO}^2}{1423t \text{ CO}^2} = 0,079 \approx 8\%$$

(7)

$$\frac{\text{Muihin rakenteisiin sitoutunut hiilidioksidi}}{\text{Koko rakennukseen sitoutunut hiilidioksidi}} = \frac{89t \text{ CO}^2}{345t \text{ CO}^2} = 0,258 \approx 26\%$$

Taulukko 10. Pudasjärven hirsikerrostalon muut rakenteet ja materiaalit (Insinööritoimisto Vesitaito Oy 2020)

Materiaali	Määrä	paksuus (mm)	Ilmastoalämmittävä vaikutus	Sitoutunut biogeenninen hiili	Hukka (%)	Materiaalista aiheutuvat päästöt (CO ₂ e)	Materiaaliin sitoutunut (CO ₂ e)	käyttötarkoitus
Kumibitumi-pintakermi	7,59 m ²	6,9	789,71 kg CO ₂ e/m ³	-	10	** 0,13t	-	Varaston YP
Kuivattu sahatavara	7,59 m ²	23	72 kg CO ₂ e/m ³	728 kg CO ₂ e/m ³	17,9	15kg	-0,13t	Varaston YP
Kuivattu sahatavara	0,047 m ³		72 kg CO ₂ e/m ³	728 kg CO ₂ e/m ³	17,9	4kg	-34kg	Varaston YP koolaus
Kuivattu sahatavara	0,3 m ³		72 kg CO ₂ e/m ³	728 kg CO ₂ e/m ³	17,9	25kg	-0,22t	Varaston YP kattotuolit
Kuivattu sahatavara	2,99 m ³		72 kg CO ₂ e/m ³	728 kg CO ₂ e/m ³	17,9	0,25t	-2,2t	Varaston US
Kuivattu sahatavara	1,72 m ³		72 kg CO ₂ e/m ³	728 kg CO ₂ e/m ³	17,9	0,15t	-1,3t	Rimat
Vaneri	71,66 m ²	15	* 217,5 kg CO ₂ e/m ³	936,73 kg CO ₂ e/m ³	16,7	0,27t	-1,0t	Varaston US
Betoni C30/37	7,59 m ²	120	214 kg CO ₂ e/m ³	-	4	0,2t		Varaston AP
Betonirauδοitus	77,42kg		* 0,48kg CO ₂ e/kg	-	4,85	39kg		Varaston AP
Suodatinkangas	7,59 m ²	0,15	2 kg CO ₂ e/kg	-	10	4,3kg		Varaston AP
Eriste, EPS	7,59 m ²	200	61,05 kg CO ₂ e/m ³	-	4	96kg		Varaston AP
Hirsiseinä	254,8 m ²	135	160 kg CO ₂ e/m ³	650 kg CO ₂ e/m ³	17,9	6,5t	-22,4t	Parvekeseinät
Hirsiseinä	155,87 m ²	275	160 kg CO ₂ e/m ³	650 kg CO ₂ e/m ³	17,9	8,1t	-27,9t	Parvekeseinät
Kuivattu sahatavara	8,63m ³		72 kg CO ₂ e/m ³	728 kg CO ₂ e/m ³	17,9	0,73t	-6,3t	Parvekkeet
Vaneri	254,8 m ²	15	* 217,5 kg CO ₂ e/m ³	936,73 kg CO ₂ e/m ³	16,7	0,97t	-3,6t	Parvekkeet
Kumibitumikermi	254,8 m ²	4,4	806,82 kg CO ₂ e/m ³	-	10	** 2,8t		Parvekkeet
Betoni C30/37	121,7 m ²	200	214 kg CO ₂ e/m ³	-	4	5,4t		Parvekkeiden väliseinät
Betonirauδοitus	2434kg		* 0,48kg CO ₂ e/kg	-	4,85	1,2t		Parvekkeiden väliseinät
Laminated glass	88,19 m ²		34 kg CO ₂ e/m ²			6,6t		Parvekkeiteet
Ikkuna, kolminkertainen lasi	330,36 m ²		75,99 kg CO ₂ e/m ²	30,15 kg CO ₂ e/m ²	-	** 50t	-10t	Ikkunat
Ulko-ovi	18,31 m ²		* 81,9 kg CO ₂ e/m ²		-	1,5t		Ulko-ovet
Sisäovi	228,62 m ²		57,92 kg CO ₂ e/m ²	62,62 kg CO ₂ e/m ²	-	** 27t	-14,3t	Sisäovet
Yhteensä muut rakenteet ja materiaalit						~112 tonnia	~-89 tonnia	

*merkintä on arvoissa, jotka on laskettu paikallinen kompensatio huomioiden. Arvo on eri kuin ohjelman ilmoittama arvo

** merkintä on arvoissa joihin tulee käytön aikaisia päästöjä, joita EPD:n kertoimet eivät huomioi

Rakennuksen talotekniikan päästöt on laskettu käyttämällä pinta-aloihin perustuvia kertoimia, joten talotekniikan päästöt eivät ole yhtä tarkkoja kuin muiden materiaalien. Talotekniikasta aiheutuu päästöjä noin 124 tonnia CO₂e (Taulukko 11), joka vastaa 9 % talon kokonaispäästöistä (Kaava 8). Hirsikerrostalon päästöjä

nostaa talotekniikan osalta vaadittu sprinklerijärjestelmä. (Insinööritoimisto Vesitaito Oy 2020.)

(8)

$$\frac{\text{Talotekniikan päästöt}}{\text{Rakennuksen kokonaispäästöt}} = \frac{124t \text{ CO}_2}{1423t \text{ CO}_2} = 0,087 \approx 9\%$$

Taulukko 11. Pudasjärven hirsikerrostalon talotekniikka (Insinööritoimisto Vesitaito Oy 2020)

Materiaali	Määrä	Ilmastoalämmittävä vaikutus	Materiaalista aiheutuvat päästöt (CO ₂ e)
Viemäriputkisto per m ²	1746m ²	*0,55 kg CO ₂ e/m ²	0,96t
Vesijohtojärjestelmä per m ²	1746 m ²	2,7 kg CO ₂ e/m ²	5t
Sähköasennukset ja kaapeloinnit per m ²	1746 m ²	5,28 kg CO ₂ e/m ²	** 19t
Lämmönjakokeskus per m ²	1746 m ²	0,53 kg CO ₂ e/m ²	** 1,9t
Ilmanvaihtojärjestelmä per m ²	1746 m ²	6,97 kg CO ₂ e/m ²	** 24t
Underfloor heating system per m ²	1746 m ²	5,89 kg CO ₂ e/m ²	** 21t
LEDline valaisinsysteemi	200kpl	41,2 kg CO ₂ e/kpl	** 17t
Autonomous fire alarm system	40kpl	8,44 kg CO ₂ e/kpl	** 0,68t
Sprinklerijärjestelmä per m ²	1746 m ²	5,85 kg CO ₂ e/m ²	** 21t
Hissi	1kpl	7585 kg CO ₂ e/kpl	** 15t
Rakennuksen talotekniikka yhteensä			~124 tonnia

*merkintä on arvoissa, jotka on laskettu paikallinen kompensatio huomioiden. Arvo on eri kuin ohjelman ilmoittama

** merkintä on arvoissa joihin tulee käytön aikaisia päästöjä, joita EPD:n kertoimet eivät huomioi

Hirsiseinän lämmönläpäisykerroin on 0,4 W/Km², joten energiankulutus on isompi kuin perinteisillä kerrostaloilla. Laskennallinen rakennuksen vuotuinen verkkosähkön kulutus on 81818 kWh. Sähkön käytöstä aiheutuu rakennuksen 50 vuoden käyttöiän aikana noin 196 tonnia CO₂e, joka vastaa 14% talon kokonaispäästöistä (Kaava 9). Kaukolämmön laskennallinen vuotuinen kulutus on 128418 kWh. Kaukolämmöstä aiheutuu 50 vuoden aikana noin 457 tonnia CO₂e, joka vastaa 32% talon kokonaispäästöistä (Kaava 10). Energiankulutuksen

päästöissä on hyödynnetty energiantuotannon pienemmät päästöt tulevaisuudessa. (Insinööritoimisto Vesitaito Oy 2020.)

(9)

$$\frac{\text{Sähkön kulutuksen päästöt}}{\text{Rakennuksen kokonaispäästöt}} = \frac{196t \text{ CO}_2}{1423t \text{ CO}_2} = 0,138 \approx 14\%$$

(10)

$$\frac{\text{Kaukolämmön kulutuksen päästöt}}{\text{Rakennuksen kokonaispäästöt}} = \frac{457t \text{ CO}_2}{1423t \text{ CO}_2} = 0,321 \approx 32\%$$

Laskuissa taulukkoarvoja on käytetty arvioimaan päästöjä kuljetuksesta työmaalle, uudisrakennustyömaan toiminnoista, korjausten energian kulutuksesta, purkutyömaan toiminnoista, kuljetuksesta jatkokäsittelyyn, jätteenkäsittelystä ja loppusijoituksesta. Taulukkoarvoista aiheutuu päästöjä yhteensä noin 129 tonnia CO₂e, joka vastaa 9% kokonaispäästöistä (Taulukko 12). (Insinööritoimisto Vesitaito Oy 2020.)

Taulukko 12. Pudasjärven hirsikerrostalon taulukkoarvot (Insinööritoimisto Vesitaito Oy 2020)

Taulukkoarvot	Päästöt CO ₂ e	Osuus kokonaispäästöistä
Kuljetus työmaalle	17,8t	1,25 %
Uudisrakennustyömaan toiminnot	48,4t	3,40 %
Korjausten energiankulutus	3,8t	0,27 %
Purkutyömaan toiminnot	13,7t	0,96 %
Kuljetus jatkokäsittelyyn	17,8t	1,25 %
Jätteenkäsittely ja loppusijoitus	27,2t	1,91 %
Yhteensä	~129 tonnia	9,04 %

Pudasjärven hirsikerrostalon kokonaispäästöt koko elinkaaren ajalta olivat 1423 tonnia CO₂e ja sitoutunut hiilidioksidi 345 tonnia (Taulukko 13). Näistä ohjelma laski hiilijalanjäljeksi 16,29 kg CO₂e/m²/a ja hiilikädenjäljeksi -8,92 kg CO₂e/m²/a. Ympäristövaikutusten muodostumisen hahmottamiseksi taulukkoon on laskettu

resurssien hiilijalanjälki kaavan 11 mukaan ja hiilikädenjälki kaavan 12 mukaan. Hiilikädenjälkeä kasvattaa myös kierrätyksestä ja uudelleenkäytöstä saatavat hyödyt. Kokonaisvaikutus ympäristöön saatiin laskemalla hiilijalan- ja hiilikädenjäljen summa (Kaava 13).

(11)

$$\frac{\text{Päästöt}}{\text{Käyttöikä} * \text{asuinneliöt}}$$

(12)

$$\frac{\text{Sitoutunut hiilidioksidi}}{\text{Käyttöikä} * \text{asuinneliöt}}$$

(13)

$$\begin{aligned} & \text{Pudasjärven kerrostalon hiilijalanjälki} + \text{Pudasjärven kerrostalon hiilikädenjälki} \\ & = 16,29 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{m}^2\text{a}} + (-8,92) \frac{\text{kgCO}_2}{\text{m}^2\text{a}} = 7,37 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{m}^2\text{a}} \end{aligned}$$

Taulukko 13. Pudasjärven kerrostalon rakennusosien hiilijalan- ja kädenjälki (Insinööritoimisto Vesitaito Oy 2020)

Resurssi	Resurssista aiheutuvat päästöt (CO ₂ e)	Resurssiin sitoutunut (CO ₂ e)	Hiilijalanjälki ($\frac{\text{kgCO}_2}{\text{m}^2\text{a}}$)	Hiilikädenjälki ($\frac{\text{kgCO}_2}{\text{m}^2\text{a}}$)
Perustukset ja maanalaiset rakenteet	29 tonnia	-	0,33	-
Pystyrakenteet ja julkisivu	160 tonnia	-206 tonnia	1,83	-2,36
Vaakarakenteet	216 tonnia	-50 tonnia	2,47	-0,57
Muut rakenteet ja materiaalit	112 tonnia	-89 tonnia	1,28	-1,02
Talotekniikka	124 tonnia	-	1,42	-
Energiankulutus	653 tonnia	-	7,48	-
Taulukkoarvot	129 tonnia	-	1,48	-
Uudelleenkäytöstä ja kierrätyksestä saatavat hyödyt	-	-	-	-4,96
Pudasjärven hirsikerrostalo Yhteensä	1423 tonnia	345 tonnia	16,29	-8,92

4 KERROSTALON ELINKAARIARVIOINTI ERI RAKENTEILLA

4.1 Arvioinnin vaatimukset, rajaukset ja menetelmät

Vaatimuksena laskentaohjelmalle oli standardien EN 15978 ja EN 15804 mukaisuus ja laaja ympäristöselostetietokanta. Ohjelmassa tuli olla myös mahdollisuus tehdä laskut ympäristöministeriön rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmän mukaan. Opinnäytetyötä varten saatiin käyttöön Insinööritoimisto Vesitaito Oy:n tekemä elinkaariarviointi Pudasjärvelle tulevasta hirsikerrostalosta. Eri skenaarioiden elinkaariarviointien teossa päädyttiin käyttämään laskujen yhdenmukaisuuden takia samaa ohjelmaa, mitä Vesitaito laskuissa käytti. Vesitaito käytti elinkaariarvioinnin tekoon One Click LCA -laskentaohjelmaa.

Skenaariolaskelmissa on vaihdettu kyseisen skenaarion materiaalit Insinööritoimisto Vesitaito Oy:n laskelmissa käytettyjen materiaalien tilalle käyttäen samaa pinta-alaa, jotta vertailu olisi luotettavaa. Laskujen vertailussa käytettiin Pudasjärvelle tulevasta todellisesta hirsikerrostalosta nimeä Pudasjärven kerrostalo ja muista kerrostaloista kyseisen skenaarion päämateriaalin nimeä. Skenaariotiloiksi valikoitui Betonirakenteinen kerrostalo, Hirsi-puurakenteinen kerrostalo ja puu-betonirakenteinen kerrostalo. Laskut on tehty samalla tarkkuudella Insinööritoimisto Vesitaito Oy:n laskujen kanssa ympäristöministeriön vähähiilisyden arviointimenetelmän mukaan. Tästä syystä laskuissa ei ole otettu sementin karbonisaatiota huomioon. Tulevaisuuden energiantuotannon päästöjen väheneminen puolestaan on huomioitu.

Vaatimuksena skenaarioille oli, että ne täyttävät nykyaikaiset vaatimukset lämmöneristävyyden, paloturvallisuuden ja ääneneristävyyden osalta. Skenaarioiden paloluokkana on käytetty samaa P2-luokkaa, johon Pudasjärven hirsikerrostalo kuuluu. Kantavuuksia eri skenaarioiden rakenteille ei laskettu, mutta suuntaa antavasti käytettiin taulukkoarvoja varmistamaan rakenteiden todenmukaisuus. Skenaariolaskelmissa käytetyt rakenteet ovat One Click LCA:n tietokannasta otettuja rakenteita pienin muutoksin. One Click LCA:n tietokannassa on eroteltuna kerrostaloihin soveltuvat rakenteet, joten käytetyissä rakenteissa täytyvät palomääräykset, riittävä lämmöneristävyys ja äänieristävyys. Rakenteiden

materiaalien käyttöikänä ja hukkaprosenttina on käytetty ohjelman suosittamaa arvoa.

One Click LCA laskee rakennuksen hiilijalan- ja hiilikädenjäljen koko rakennuksen elinkaaren ajalta standardien vaiheiden mukaan (Taulukko1). Laskenta aloitetaan syöttämällä ohjelmaan materiaalien massat, joko käsin laskemalla tai tietomallista. Ohjelmassa on laaja tietokanta, joten materiaalien päästöarvot saadaan etsimällä tietokannasta sopiva. Materiaalien päästöjen laskemisen jälkeen ohjelmaan syötetään rakennuksen vuotuinen energiankulutus, arviointijakso ja muut päästöt. Näistä syötetyistä arvoista ohjelma laskee rakennuksen päästöt hiilidioksidiekvivalentteina. Hiilijalan- ja hiilikädenjäljessä ohjelma käyttää yksikönä $\text{kg CO}_2\text{e/m}^2/\text{a}$.

4.2 Betonirakenteisen kerrostalon elinkaariarviointi

Betonirakenteinen kerrostalo otettiin vertailuun mukaan sen tavanomaisuuden vuoksi. Betoni on yleisesti käytetty materiaali kerrostalorakentamisessa, joten se toimii vertailukohtana muille taloille. Betonirakenteinen kerrostalo eroaa todellisesta Pudasjärven kerrostalosta ainoastaan ulkoseinien, väliseinien, parvekkeiden ja energiankulutuksen osalta. Perustukset kohteessa eivät muuttuneet, vaikka todellisuudessa betonikerrostalon perustuksiin tarvittaisiin vahvistusta lisääntyvän kuorman vuoksi. Tarvittava betonin määrä oli hankala arvioida ilman laajempia laskelmia, joten vähäisempi betonin määrä perustuksissa kompensoitiin laskemalla ulkoseinät hieman yläkanttiin.

Ulkoseinän vaatimuksena oli, että seinä täyttää kerrostaloseinän vaatimukset ja on tavanomainen kerrostalon seinä. Ulkoseinärakenteeksi valikoitui One Click LCA:n tietokannasta kerrostaloon soveltuva sandwich-elementti, joka koostuu 70 mm ja 150 mm betonikerroksesta ja väliin tulevasta 180 mm EPS-eristeestä. Seinän U-arvo on $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$, joten seinä täyttää juuri lämmönläpäisykerroinvaatimukset. Laskuissa on laskettu kaikki ulkoseinät samalla sandwich-elementillä, vaikka todellisuudessa kaikki ulkoseinät eivät ole kantavia. Ei-kantavien ulkoseinien sisäkuoreen ei tarvitsisi 150mm betonia, joten ulkoseinien päästöt ovat

todellisuudessa pienemmät. Betoniskenaarion perustusten liian pienet päästöt ja ulkoseinien liian isot päästöt kompensoivat laskuissa toisiaan.

Väliseinissä muutoksia tuli ainoastaan hirsiväliseinien osalta. Pudasjärven kerrostalon kaikki hirsiväliseinät ovat huoneistojen sisäisiä ei-kantavia väliseiniä, joten ne korvattiin kevyillä väliseinillä. Kevyen väliseinän rakenteena käytettiin VS3-teräsrankaväliseinää, jota talossa on muutenkin käytetty.

Betonikerrostalon pystyrakenteista aiheutuu päästöjä 186 tonnia CO₂e, joka on 26 tonnia enemmän kuin Pudasjärven hirsikerrostalon pystyrakenteista (Kaava 14). Sitoutuneen hiilidioksidin määrä väheni 206 tonnia, sillä betonikerrostalon pystyrakenteisiin ei sitoutunut yhtään hiilidioksidia. Taulukkoon 14 on merkitty betonikerrostalon pystyrakenteet. Himmeällä on merkattu rakenteet, jotka ovat samat kuin Pudasjärven hirsikerrostalossa.

(14)

$$\begin{aligned} & \text{Betonikerrostalon} && \text{Pudasjärven hirsikerrostalon} \\ & \text{pystyrakenteiden päästöt} & - & \text{pystyrakenteiden päästöt} \\ & = 186t \text{ CO}_2\text{e} & - & 160t \text{ CO}_2\text{e} = 26t \text{ CO}_2\text{e} \end{aligned}$$

Taulukko 14. Betonikerrostalon pystyrakenteet

Materiaali	Määrä	Paksuus (mm)	Ilmastoa lämmittävä vaikutus	Sitoutunut biogeeninen hiili	Hukka (%)	Materiaalista aiheutuvat päästöt (CO ₂ e)	Materiaaliin sitoutunut (CO ₂ e)	Käyttötarkoitus
Valmisbetoni	981,9 m ²	70	* 279,76 kg CO ₂ e/m ³	-	4	20t	-	Ulkokuori-elementti
Betonirauhoitus, 90% kierrätetty	5499 kg		* 0,66 kg CO ₂ e/kg	-	4,85	3,8t	-	Ulkokuori-elementin raudoitus
Eriste EPS	981,9 m ²	180	50 kg CO ₂ e/m ³	-	4	9,2t	-	Eriste betoni-elementtien väliin
Valmisbetoni	981,9 m ²	150	* 279,76 kg CO ₂ e/m ³	-	4	43t	-	Sisäkuori-elementti
Betonirauhoitus, 90% kierrätetty	4419 kg		* 0,66 kg CO ₂ e/kg	-	4,85	3t	-	Sisäkuori-elementin raudoitus
Kipsilevy, tavallinen	683,72 m ²	13	240,01 kg CO ₂ e/m ³		12,5	2,4t	-	VS3
Eriste, mineraalivilla	341,86 m ²	100	* 56,88 kg CO ₂ e/m ³		8	2,1t	-	VS3
Hot-dip galvanized steel sheet	946 kg		2,78 kg CO ₂ e/kg		7,5	2,8t	-	VS3
Märkätilojen seinälaatoitus	1098,07 m ²		14,9 kg CO ₂ e/m ²	-	10	18t	-	Märkätilat
Betoni C30/37	991,52 m ²	200	214 kg CO ₂ e/m ³	-	4	44t	-	VS1
Betonirauhoitus, 97% kierrätetty	19830,4 kg		* 0,48kg CO ₂ e/kg	-	4,85	9,9t	-	VS1
Ohutrappaus	1983,04 m ²		0,47 kg CO ₂ e/kg	-	13	18t	-	VS1
Kipsilevy, tavallinen	365,43 m ²	13	248,14 kg CO ₂ e/m ³	-	12,5	1,3t	-	VS3
Eriste, mineraalivilla	182,72 m ²	100	21 kg CO ₂ e/m ³	-	8	0,41t	-	VS3
Hot-dip galvanized steel sheet	506 kg		2,78 kg CO ₂ e/kg	-	7,5	1,5t	-	VS3
Kevytsoharkko	412,16 m ²	92	* 132,5kg CO ₂ e/m ³	-	7,5	5,4t	-	VS6
Kalkki-hiekkatiilet ja harkot	53,88 m ²	130	205,9 kg CO ₂ e/m ³	-	5	1,5t	-	VS10
Betoninen porraskäytävä ja hissi	12,4 m							
Yhteensä pystyrakenteet ja julkisivu						~186 tonnia	-	

*merkintä on arvoissa, jotka on laskettu paikallinen kompensatio huomioiden. Arvo on eri kuin ohjelman ilmoittama arvo

Muihin rakenteisiin muutoksia tuli parvekkeiden ja parvekkeiden seinien osalta. Parvekkeiden 275 mm paksut hirsiseinät korvattiin betonisandwich-elementeillä. 135 mm paksut hirsiseinät korvattiin samalla 200 mm paksulla betoniseinällä, mitä osa parvekkeiden seinistä valmiiksi oli. Puset parvekkeet korvattiin ohjelmasta löytyvällä betoniparvekkeella. Muiden rakenteiden ja materiaalien päästöt kasvoivat 26 tonnia CO₂e (Kaava 15) ja sitoutuneen hiilidioksidin määrä väheni 60 tonnia (Kaava 16). Taulukkoon 15 on merkattu betonikerrostalon muut

rakenteet ja materiaalit. Himmeällä on merkattu rakenteet, jotka ovat samat kuin Pudasjärven hirsikerrostalossa.

(15)

$$\begin{aligned} & \text{Betonikerrostalon} & \text{Pudasjärven kerrostalon} \\ & \text{muiden rakenteiden päästöt} - & \text{muiden rakenteiden päästöt} \\ & = 138 \text{ CO}_2e - 112t \text{ CO}_2e = 26t \text{ CO}_2e \end{aligned}$$

(16)

$$\begin{aligned} & \text{Betonikerrostalon muihin} & \text{Pudasjärven kerrostalon muihin} \\ & \text{rakenteisiin sitoutunut hiilidioksidi} - & \text{rakenteisiin sitoutunut hiilidioksidi} \\ & = -29 \text{ CO}_2e - (-89t \text{ CO}_2e) = 60t \text{ CO}_2e \end{aligned}$$

Taulukko 15. Betonikerrostalon muut rakenteet ja materiaalit

Materiaali	Määrä	paksuus (mm)	Ilmastoalämmittävä vaikutus	Sitoutunut biogeeninen hiili	Hukka (%)	Materiaalista aiheutuvat päästöt (CO ₂ e)	Materiaaliin sitoutunut (CO ₂ e)	käyttötarkoitus
Valmisbetoni	155,87 m ²	70	* 279,76 kg CO ₂ e/m ³	-	4	3,2t	-	Ulkokuori-elementti
Betonirauhoitus, 90% kierrätetty	873 kg		* 0,66 kg CO ₂ e/kg	-	4,85	0,6t	-	Ulkokuori-elementin rauditus
Eriste EPS	155,87 m ²	180	50 kg CO ₂ e/m ³	-	4	1,5t	-	Eriste betoni-elementtien väliin
Valmisbetoni	155,87 m ²	150	* 279,76 kg CO ₂ e/m ³	-	4	6,8t	-	Sisäkuori-elementti
Betonirauhoitus, 90% kierrätetty	701 kg		* 0,66 kg CO ₂ e/kg	-	4,85	0,48t	-	Sisäkuori-elementin rauditus
Betoni C30/37	254,8 m ²	200	214 kg CO ₂ e/m ³	-	4	11t	-	Parvekkeiden väliseinät
Betonirauhoitus, 97% kierrätetty	5096 kg		* 0,48kg CO ₂ e/kg	-	4,85	2,6t	-	Parvekkeiden väliseinät
Valmisbetoni	254,8 m ²	200	* 279,76 kg CO ₂ e/m ³	-	4	15t	-	Parvekkeen laatta
Betonirauhoitus, 90% kierrätetty	6115 kg		* 0,66 kg CO ₂ e/kg	-	4,85	4,2t	-	Parvekkeen laatta
Kumibitumi-pintakermi	7,59 m ²	6,9	789,71 kg CO ₂ e/m ³	-	10	** 0,13t	-	Varaston YP
Kuivattu sahatavara	7,59 m ²	23	72 kg CO ₂ e/m ³	728 kg CO ₂ e/m ³	17,9	15kg	-0,13t	Varaston YP
Kuivattu sahatavara	0,047 m ³		72 kg CO ₂ e/m ³	728 kg CO ₂ e/m ³	17,9	4kg	-34kg	Varaston YP koolaus
Kuivattu sahatavara	0,3 m ³		72 kg CO ₂ e/m ³	728 kg CO ₂ e/m ³	17,9	25kg	-0,22t	Varaston YP kattotuolit
Kuivattu sahatavara	2,99 m ³		72 kg CO ₂ e/m ³	728 kg CO ₂ e/m ³	17,9	0,25t	-2,2t	Varaston US
Kuivattu sahatavara	1,72 m ³		72 kg CO ₂ e/m ³	728 kg CO ₂ e/m ³	17,9	0,15t	-1,3t	Rimat
Vaneri	71,66 m ²	15	* 217,5 kg CO ₂ e/m ³	936,73 kg CO ₂ e/m ³	16,7	0,27t	-1,0t	Varaston US
Betoni C30/37	7,59 m ²	120	214 kg CO ₂ e/m ³	-	4	0,2t		Varaston AP
Betonirauhoitus	77,42kg		* 0,48kg CO ₂ e/kg	-	4,85	39kg		Varaston AP
Suodatinkangas	7,59 m ²	0,15	2 kg CO ₂ e/kg	-	10	4,3kg		Varaston AP
Eriste, EPS	7,59 m ²	200	61,05 kg CO ₂ e/m ³	-	4	96kg		Varaston AP
Kumibitumikermi	254,8 m ²	4,4	806,82 kg CO ₂ e/m ³	-	10	** 2,8t		Parvekkeet
Betoni C30/37	121,7 m ²	200	214 kg CO ₂ e/m ³	-	4	5,4t		Parvekkeiden väliseinät
Betonirauhoitus	2434kg		* 0,48kg CO ₂ e/kg	-	4,85	1,2t		Parvekkeiden väliseinät

Laminated glass	88,19 m ²		34 kg CO ₂ e/m ²			6,6t		Parvekekaiteet
Ikkuna, kolminkertainen lasi	330,36 m ²		75,99 kg CO ₂ e/m ²	30,15 kg CO ₂ e/m ²	-	** 50t	-10t	Ikkunat
Ulko-ovi	18,31 m ²		* 81,9 kg CO ₂ e/m ²		-	1,5t		Ulko-ovet
Sisäovi	228,62 m ²		57,92 kg CO ₂ e/m ²	62,62 kg CO ₂ e/m ²	-	** 27t	-14,3t	Sisäovet
Yhteensä muut rakenteet ja materiaalit						~138 tonnia	~-29 tonnia	
*merkintä on arvoissa, jotka on laskettu paikallinen kompensatio huomioiden. Arvo on eri kuin ohjelman ilmoittama arvo								
** merkintä on arvoissa joihin tulee käytön aikaisia päästöjä, joita EPD:n kertoimet eivät huomioi								

Betonikerrostalon talotekniikan päästöt vähenivät 21 tonnia CO₂e, sillä sprinklerijärjestelmää ei tarvitse. Talotekniikan päästöt pienenevät 104 tonniin CO₂e.

Betonikerrostalon energiankulutus arvioitiin laskentapalvelut.fi -sivustolta löytyvällä energialaskentatyökalulla. Laskuissa käytettiin pohjana hirsikerrostalon todellisia energiaselvityslaskelmia. Laskuissa tehtiin muutoksia ainoastaan ulkoseinien u-arvon kohdalla ja kylmäsiltojen kertoimien kohdalla. Energiankulutuksessa muutoksia tuli ainoastaan vuotuisessa kaukolämmön tarpeessa, joka putosi 128418 kilowattitunnista 103898 kilowattituntiin. Vuotuinen 103898 kWh kaukolämpöä aiheuttaa 50 vuoden aikana 370 tonnia CO₂e, joka on 87 tonnia vähemmän kuin Pudasjärvenkerrostalolla (Kaava 17).

(17)

$$\begin{aligned} & \text{Pudasjärven kerrostalon} \quad \text{Betonikerrostalon} \\ & \text{kaukolämmön päästöt} \quad \text{kaukolämmön päästöt} \\ & = 457t \text{ CO}_2e - 370t \text{ CO}_2e = 87t \text{ CO}_2e \end{aligned}$$

Betonikerrostalon kokonaispäästöt koko elinkaaren ajalta olivat 1367 tonnia CO₂e ja sitoutunut hiilidioksidi oli 79 tonnia (Taulukko 16). Näistä ohjelma laski hiilijalanjäljeksi 15,66 kg CO₂e/m²/a ja hiilikädenjäljeksi -5,33 kg CO₂e/m²/a. Betonikerrostalolla oli pienempi hiilijalanjälki, mutta myös pienempi hiilikädenjälki kuin Pudasjärven kerrostalolla. Kokonaisvaikutuksiltaan ympäristöystävällisempi rakennus saatiin vertaamalla hiilijalan- ja kädenjälkien summaa (Kaava 18). Betonikerrostalo oli kokonaisvaikutukseltaan ilmastolle haitallisempi (Kaava 19).

(18)

$$\begin{aligned} & \text{Betonikerrostalon hiilijalanjälki} + \text{Betonikerrostalon hiilikädenjälki} \\ & = 15,66 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{m}^2\text{a}} + (-5,33) \frac{\text{kgCO}_2}{\text{m}^2\text{a}} = 10,33 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{m}^2\text{a}} \end{aligned}$$

(19)

$$\begin{aligned} & \text{Pudasjärven kerrostalon kokonaisvaikutus} - \text{Betonikerrostalon kokonaisvaikutus} \\ & = 7,38 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{m}^2\text{a}} - 10,33 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{m}^2\text{a}} = -2,95 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{m}^2\text{a}} \end{aligned}$$

Taulukko 16. Betonikerrostalon hiilijalan- ja hiilikädenjälki

Resurssi	Resurssista aiheutuvat päästöt (CO ₂ e)	Resurssiin si- toutunut (CO ₂ e)	Hiilijalan- jälki ($\frac{\text{kgCO}_2}{\text{m}^2\text{a}}$)	Hiilikädenjälki ($\frac{\text{kgCO}_2}{\text{m}^2\text{a}}$)
Perustukset ja maanalaiset rakenteet	29 tonnia	-	0,33	-
Pystyrakenteet ja julkisivu	186 tonnia	-	2,13	-
Vaaka- rakenteet	216 tonnia	-50 tonnia	2,47	-0,57
Muut rakenteet ja materiaalit	138 tonnia	-29 tonnia	1,58	-0,33
Talotekniikka	104 tonnia	-	1,19	-
Energian- kulutus	566 tonnia	-	6,48	-
Taulukkoarvot	129 tonnia	-	1,48	-
Uudelleenkäytöstä ja kierrätyksestä saatavat hyödyt	-	-	-	-4,43
Betonikerrostalo Yhteensä	1367 tonnia	79 tonnia	15,66	-5,33

4.3 Hirsi-puurakenteisen kerrostalon elinkaariarviointi

Betonirakenteiselle talolle haluttiin ottaa vastakohta vertailuun mukaan, joten päädyttiin hirsi-puurakenteiseen taloon. Vastakohdilla oli tarkoituksena havainnollistaa puun ja betonin ympäristövaikutusten eroavaisuuksia. Talossa

maksimoitiin puun käyttö ja pyrittiin käyttämään mahdollisimman vähän betonia. Täysin ilman betonia kerrostaloa ei onnistunut toteuttaa, mutta muualle sitä ei tarvinnut kuin maanvaraiseen laattaan ja perustuksiin. Muutoksia Pudasjärven kerrostaloon tuli välipohjan, väliseinien, parvekkeiden seinien ja yläpohjan osalta. Energiankulutus pysyi samana, sillä ulkoilmaa vasten olevat rakenteet eivät muuttuneet.

Väliseinistä osastoivat betoniväliseinät vaihdettiin hirsiseiniksi. Hirsiseinärakenteena käytettiin One Click LCA:n tietokannasta löytyvää P2-luokan seinää. Hirtenä käytettiin 205mm paksua hirttä, jonka molemmin puolin on palonsuojakipsilevyt. Hirtenä piti käyttää paksua hirttä, sillä osastoivat seinät olivat samalla kantavia rakenteita. Pystyrakenteiden päästöt vähenivät Pudasjärven kerrostaloon verrattuna 16 tonnia CO₂e (Kaava 20) ja sitoutuneen hiilidioksidin määrä kasvoi 110 tonnia (Kaava 21). Taulukkoon 17 on merkattu hirsi-puukerrostalon pystyrakenteet. Himmeällä on merkattu rakenteet, jotka ovat samat kuin Pudasjärven hirsikerrostalossa.

(20)

$$\begin{aligned} & \text{Pudasjärven kerrostalon} & - & \text{Hirsi/puukerrostalon} \\ & \text{pystyrakenteiden päästöt} & - & \text{pystyrakenteiden päästöt} \\ & = 160t CO_2e & - & 144t CO_2e = 16t CO_2e \end{aligned}$$

(21)

$$\begin{aligned} & \text{Pudasjärven kerrostalon pysty} & - & \text{Hirsi/puukerrostalon pysty} & - \\ & \text{rakenteisiin sitoutunut hiilidioksidi} & - & \text{rakenteisiin sitoutunut hiilidioksidi} \\ & = -206t CO_2e & - & (-316t CO_2e) = 110t CO_2e \end{aligned}$$

Taulukko 17. Hirsi-puukerrostalon pystyrakenteet ja julkisivut

Materiaali	Määrä	Paksuus (mm)	Ilmasto lämmittävä vaikutus	Sitoutunut biogeeninen hiili	Hukka (%)	Materiaalista aiheutuvat päästöt (CO ₂ e)	Materiaaliin sitoutunut (CO ₂ e)	Käyttötarkoitus
Hirsiseinä	991,52 m ²	205	160 kg CO ₂ e/m ³	650 kg CO ₂ e/m ³	17,9	38t	-132t	Osastoiva väliseinä
Palonsuojakipsilevy	1983,04 m ²	18	207,79 kg CO ₂ e/m ³		12,5	17t	-	Palonsuojaukseen
Höylätty sahatavara	330 m ²	32	* 83 kg CO ₂ e/m ³	660 kg CO ₂ e/m ³	17,9	1t	7t	Koolaus k600
Hirsiseinä rakenne	981,9 m ²	275	160 kg CO ₂ e/m ³	650 kg CO ₂ e/m ³	17,9	51t	-176t	US1
Kuivattu sahatavara	0,13 m ³		72 kg CO ₂ e/m ³	728 kg CO ₂ e/m ³	17,9	11kg	-95kg	US4 koolaus
Vaneri	34,13 m ²	12	* 217,5 kg CO ₂ e/m ³	936,73 kg CO ₂ e/m ³	16,7	0,1t	-0,4t	US4
Kipsilevy, tavallinen	34,13 m ²	13	248,14 kg CO ₂ e/m ³	-	12,5	0,12t	-	US4
Märkätilojen seinälaatoitus	1098,07 m ²		14,9 kg CO ₂ e/m ²	-	10	18t	-	Märkätilat
Kipsilevy, tavallinen	365,43 m ²	13	248,14 kg CO ₂ e/m ³	-	12,5	1,3t	-	VS3
Eriste, mineraalivilla	182,72 m ²	100	21 kg CO ₂ e/m ³	-	8	0,41t	-	VS3
Hot-dip galvanized steel sheet	506 kg		2,78 kg CO ₂ e/kg	-	7,5	1,5t	-	VS3
Hirsiseinä	341,86 m ²	135	160 kg CO ₂ e/m ³	650 kg CO ₂ e/m ³	17,9	8,7t	-30t	VS4
Kevytsojarahkko	412,16 m ²	92	* 132,5kg CO ₂ e/m ³	-	7,5	5,4t	-	VS6
Kalkki-hiekkatiilet ja harkot	53,88 m ²	130	205,9 kg CO ₂ e/m ³	-	5	1,5t	-	VS10
Betoninen porraskäytävä ja hissi	12,4 m							
Yhteensä pystyrakenteet ja julkisivu						~144 tonnia	~-346 tonnia	

*merkitä on arvoissa, jotka on laskettu paikallinen kompensatio huomioiden. Arvo on eri kuin ohjelman ilmoittama arvo

Välipohjarakenteeksi valikoitui One Click LCA:n tietokannasta kerrostaloon soveltuva LVL-avokotelolaatta. LVL-avokotelolaatta soveltuu P2-paloluokkaan, joten se täytti kerrostalon palonsuojavaatimukset. Lattiamateriaalit ja alaslaskut pysyivät samoina, joten muita muutoksia vaakarakenteisiin ei tullut kuin ontelolaattojen vaihdos LVL-laattoihin. Kantavuuksia tässä opinnäytetyössä ei laskettu, mutta LVL-laatan jännevälit ulottuvat jopa 9-20 metriin Metsäwoodin mukaan (Metsäwood 2020). Yläpohja tehtiin muuten samalla LVL-laattarakenteella, mutta askeläänieristykset ja lattiatasoitteet poistettiin. Vaakarakenteiden materiaaleista aiheutuvat päästöt pienenevät ~64 tonnia CO₂e (Kaava 22) ja materiaaleihin sitoutuneen hiilidioksidin määrä kasvoi ~128 tonnia (Kaava 23). Taulukkoon 18 on merkattu hirsi-puukerrostalon vaakarakenteet. Himmeällä on merkattu rakenteet, jotka ovat samat kuin Pudasjärven hirsikerrostalossa.

(22)

$$\begin{aligned} & \text{Pudasjärven kerrostalon} \quad \text{Hirsi/puukerrostalon} \\ & \text{vaakarakenteiden päästöt} \quad \text{vaakarakenteiden päästöt} \\ & = 216t \text{ CO}_2e - 152t \text{ CO}_2e = 64t \text{ CO}_2e \end{aligned}$$

(23)

$$\begin{aligned} & \text{Pudasjärven kerrostalon vaaka} \quad \text{Hirsi/puukerrostalon vaaka} \quad \text{--} \\ & \text{rakenteisiin sitoutunut hiilidioksidi} \quad \text{rakenteisiin sitoutunut hiilidioksidi} \\ & = -50t \text{ CO}_2e - (-178t \text{ CO}_2e) = 128t \text{ CO}_2e \end{aligned}$$

Taulukko 18. Hirsi-puukerrostalon vaakarakenteet

Materiaali	Määrä	Paksuus (mm)	Ilmastoa lämmittävä vaikutus	Sitoutunut biogeenninen hiili	Hukka (%)	Materiaalista aiheutuvat päästöt (CO ₂ e)	Materiaaliin sitoutunut (CO ₂ e)	Käyttötarkoitus
Lattiatasoite	1307m ²	50	213kg CO ₂ e/m ³	-	13	16t	-	Valulattia
Tukiverkko	1307 m ²		* 0,31 kg CO ₂ e/m ²	-	10	0,44t	-	Lattia-tasoihteeseen
Kivillaeristelevy	1307 m ²	50	* 55,26 kg CO ₂ e/m ³	-	8	3,9t	-	Askeläänieriste
Kerto viilupuu LVL	118 m ³		136 kg CO ₂ e/m ³	789 kg CO ₂ e/m ³	16,7	19t	-93t	Välipohjan LVL-avokotelolaatta
Kivillaeristelevy	1307 m ²	10	* 55,26 kg CO ₂ e/m ³	-	8	0,79t	-	Äänitekninen ontelontäyte
Höylätty sahatavara	131 m ²	32	* 83 kg CO ₂ e/m ³	660 kg CO ₂ e/m ³	17,9	0,41t	-2,8t	Koolaus k400
Palonsuoja-kipsilevy	1307 m ²	30	207,79 kg CO ₂ e/m ³	-	12,5	** 18t	-	Välipohjan alapintaan
Kerto viilupuu LVL	39 m ³		136 kg CO ₂ e/m ³	789 kg CO ₂ e/m ³	16,7	6,2t	-31t	Yläpohjan LVL-avokotelolaatta
Höylätty sahatavara	44 m ²	32	* 83 kg CO ₂ e/m ³	660 kg CO ₂ e/m ³	17,9	0,14t	-0,93t	Koolaus k400
Palonsuoja-kipsilevy	439 m ²	30	207,79 kg CO ₂ e/m ³	-	12,5	** 6,2t	-	Yläpohjan alapintaan
Kipsilevy, tavallinen	480,75 m ²	13	248,14 kg CO ₂ e/m ³	-	12,5	1,7t	-	VP6
Eriste, lasivilla	240,38 m ²	50	21 kg CO ₂ e/m ³	-	8	0,27t	-	VP6
Laminaattilattia	112,57 m ²		11,78 kg CO ₂ e/m ²	14 kg CO ₂ e/m ²	5	** 2,8t	-1,6t	VP3
Muovibitumikermi	438,8 m ²	4,4	806,82 kg CO ₂ e/m ³	-	10	** 4,8t	-	YP1
Eriste, kivivilla	438,8 m ²	560	42,73 kg CO ₂ e/m ³	-	8	11t	-	YP1
Kuivattu sahatavara	17,55m ³		72 kg CO ₂ e/m ³	728 kg CO ₂ e/m ³	17,9	1,5t	-12,8t	YP1
Vaneri	653,95 m ²	18	* 217,5 kg CO ₂ e/m ³	936,73 kg CO ₂ e/m ³	16,7	3t	-11t	YP1
Kumibitumi-pintakermi	653,95 m ²	6,9	789,71 kg CO ₂ e/m ³	-	10	** 11t	-	YP1
Parkettilattia	865,41 m ²	14	0,73 kg CO ₂ e/kg	1,7 kg CO ₂ e/kg	17	** 18t	-18,5	YP1
Laminaattilattia	438,8 m ²		11,78 kg CO ₂ e/m ²	14 kg CO ₂ e/m ²	5	** 11t	-6,1	AP1
Betoniraudoitus, 97% kierrätetty	4388 kg		* 0,48kg CO ₂ e/kg	-	4,85	2,2t	-	AP1
Betoni C30/37	438,8 m ²	100	214 kg CO ₂ e/m ³	-	4	9,8t	-	AP1
Eriste, EPS	438,8 m ²	175	50 kg CO ₂ e/m ³	-	4	4t	-	AP1
Yhteensä vaakarakenteet						~152 tonnia	~-178 tonnia	

*merkintä on arvoissa, jotka on laskettu paikallinen kompensatio huomioiden. Arvo on eri kuin ohjelman ilmoittama arvo
** merkintä on arvoissa joihin tulee käytön aikaisia päästöjä, joita EPD:n kertoimet eivät huomioi

Pudasjärven kerrostalon parvekkeiden betoniseinät ovat REI-30, joten parvekkeiden betoniseinät pystyttiin korvaamaan 135mm paksuilla palonsuojakäsitellyillä hirsiseinillä. Muiden rakenteiden ja materiaalien päästöt pienenevät 4 tonnia CO₂e (Kaava 24) ja sitoutuneen hiilidioksidin määrä kasvoi 9 tonnia (Kaava 25).

Taulukkoon 19 on merkattu hirsi-puukerrostalon muut rakenteet ja materiaalit. Himmeällä on merkattu rakenteet, jotka ovat samat kuin Pudasjärven hirsikerrostalossa.

(24)

$$\begin{aligned} & \text{Pudasjärven kerrostalon} & - & \text{Hirsi/puukerrostalon} \\ & \text{muiden rakenteiden päästöt} & - & \text{muiden rakenteiden päästöt} \\ & = 112t CO_2e & - & 108t CO_2e = 4t CO_2e \end{aligned}$$

(25)

$$\begin{aligned} & \text{Pudasjärven kerrostalon muihin} & - & \text{Hirsi/puukerrostalon muihin} & - \\ & \text{rakenteisiin sitoutunut hiilidioksidi} & - & \text{rakenteisiin sitoutunut hiilidioksidi} \\ & = -89t CO_2e & - & (-98t CO_2e) = 9t CO_2e \end{aligned}$$

Taulukko 19. Hirsi-puukerrostalon muut rakenteet ja materiaalit

Materiaali	Määrä	paksuus (mm)	Ilmastoalämmittävä vaikutus	Sitoutunut biogeeninen hiili	Hukka (%)	Materiaalista aiheutuvat päästöt (CO ₂ e)	Materiaaliin sitoutunut (CO ₂ e)	käyttötarkoitus
Hirsi	121,7 m ²	135	160 kg CO ₂ e/m ³	650 kg CO ₂ e/m ³	17,9	3,1t	-11t	Parvekkeiden väliseinä
Kumibitumi-pintakermi	7,59 m ²	6,9	789,71 kg CO ₂ e/m ³	-	10	**0,13t	-	Varaston YP
Kuivattu sahatavara	7,59 m ²	23	72 kg CO ₂ e/m ³	728 kg CO ₂ e/m ³	17,9	15kg	-0,13t	Varaston YP
Kuivattu sahatavara	0,047 m ³		72 kg CO ₂ e/m ³	728 kg CO ₂ e/m ³	17,9	4kg	-34kg	Varaston YP koolaus
Kuivattu sahatavara	0,3 m ³		72 kg CO ₂ e/m ³	728 kg CO ₂ e/m ³	17,9	25kg	-0,22t	Varaston YP kattotuolit
Kuivattu sahatavara	2,99 m ³		72 kg CO ₂ e/m ³	728 kg CO ₂ e/m ³	17,9	0,25t	-2,2t	Varaston US
Kuivattu sahatavara	1,72 m ³		72 kg CO ₂ e/m ³	728 kg CO ₂ e/m ³	17,9	0,15t	-1,3t	Rimat
Vaneri	71,66 m ²	15	* 217,5 kg CO ₂ e/m ³	936,73 kg CO ₂ e/m ³	16,7	0,27t	-1,0t	Varaston US
Betoni C30/37	7,59 m ²	120	214 kg CO ₂ e/m ³	-	4	0,2t		Varaston AP
Betoniraudoitus	77,42kg		* 0,48kg CO ₂ e/kg	-	4,85	39kg		Varaston AP
Suodatinkangas	7,59 m ²	0,15	2 kg CO ₂ e/kg	-	10	4,3kg		Varaston AP
Eriste, EPS	7,59 m ²	200	61,05 kg CO ₂ e/m ³	-	4	96kg		Varaston AP
Hirsiseinä	254,8 m ²	135	160 kg CO ₂ e/m ³	650 kg CO ₂ e/m ³	17,9	6,5t	-22,4t	Parvekeseinä
Hirsiseinä	155,87 m ²	275	160 kg CO ₂ e/m ³	650 kg CO ₂ e/m ³	17,9	8,1t	-27,9t	Parvekeseinä
Kuivattu sahatavara	8,63m ³		72 kg CO ₂ e/m ³	728 kg CO ₂ e/m ³	17,9	0,73t	-6,3t	Parvekkeet
Vaneri	254,8 m ²	15	* 217,5 kg CO ₂ e/m ³	936,73 kg CO ₂ e/m ³	16,7	0,97t	-3,6t	Parvekkeet
Kumibitumikermi	254,8 m ²	4,4	806,82 kg CO ₂ e/m ³	-	10	** 2,8t		Parvekkeet
Laminated glass	88,19 m ²		34 kg CO ₂ e/m ²			6,6t		Parvekekaiteet
Ikkuna, kolminkertainen lasi	330,36 m ²		75,99 kg CO ₂ e/m ²	30,15 kg CO ₂ e/m ²	-	** 50t	-10t	Ikkunat
Ulko-ovi	18,31 m ²		* 81,9 kg CO ₂ e/m ²		-	1,5t		Ulko-ovet
Sisäovi	228,62 m ²		57,92 kg CO ₂ e/m ²	62,62 kg CO ₂ e/m ²	-	** 27t	-14,3t	Sisäovet
Yhteensä muut rakenteet ja materiaalit						~108 tonnia	~-100 tonnia	

*merkintä on arvoissa, jotka on laskettu paikallinen kompensatio huomioiden. Arvo on eri kuin ohjelman ilmoittama arvo

** merkintä on arvoissa joihin tulee käytön aikaisia päästöjä, joita EPD:n kertoimet eivät huomioi

Hirsi-puukerrostalon kokonaispäästöt koko elinkaaren ajalta olivat 1340 tonnia CO₂e ja sitoutunut hiilidioksidi 623 tonnia (Taulukko 20). Näistä ohjelma laski hiilijalanjäljeksi 15,35 kg CO₂e/m²/a ja hiilikädenjäljeksi -13,61 kg CO₂e/m²/a. Hirsi-puukerrostalolla oli pienempi hiilijalanjälki ja suurempi hiilikädenjälki kuin Pudasjärven kerrostalolla. Kokonaisvaikutuksiltaan ympäristöstävällisempi rakennus

saatiin laskemalla hiilijalan- ja hiilikädenjäljen summa (Kaava 26). Hirsi-puukerrostalo oli kokonaisvaikutuksiltaan ympäristöystävällisempi kuin Pudasjärven kerrostalo (Kaava 27).

(26)

$$\begin{aligned} & \text{Hirsi/puukerrostalon hiilijalanjälki} + \text{Hirsi/puukerrostalon hiilikädenjälki} \\ & = 15,35 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{m}^2\text{a}} + (-13,61) \frac{\text{kgCO}_2}{\text{m}^2\text{a}} = 1,74 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{m}^2\text{a}} \end{aligned}$$

(27)

$$\begin{aligned} & \text{Pudasjärven kerrostalon kokonaisvaikutus} - \text{Hirsi/puukerrostalon kokonaisvaikutus} \\ & = 7,38 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{m}^2\text{a}} - 1,74 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{m}^2\text{a}} = 5,65 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{m}^2\text{a}} \end{aligned}$$

Taulukko 20. Hirsi-puukerrostalon resurssien hiilijalan- kädenjäljet

Resurssi	Resurssista aiheutuvat päästöt (CO ₂ e)	Resurssiin si- toutunut (CO ₂ e)	Hiilijalan- jälki ($\frac{\text{kgCO}_2}{\text{m}^2\text{a}}$)	Hiilikädenjälki ($\frac{\text{kgCO}_2}{\text{m}^2\text{a}}$)
Perustukset ja maanalaiset rakenteet	29 tonnia	-	0,33	-
Pystyrakenteet ja julkisivu	144 tonnia	-346 tonnia	1,65	-3,96
Vaaka- rakenteet	152 tonnia	-178 tonnia	1,74	-2,04
Muut rakenteet ja materiaalit	108 tonnia	-100 tonnia	1,24	-1,14
Talotekniikka	124 tonnia	-	1,42	-
Energian- kulutus	653 tonnia	-	7,48	-
Taulukkoarvot	129 tonnia	-	1,48	-
Uudelleenkäytöstä ja kierrätyksestä saatavat hyödyt	-	-	-	-6,48
Hirsi-puukerrostalo Yhteensä	1340 tonnia	623 tonnia	15,35	-13,61

4.4 Puu-betonirakenteisen kerrostalon elinkaariarviointi

Puu-betonirakenteinen kerrostalo otettiin vertailuun mukaan, jotta saatiin vertailtua hirsitalon ja pystyrunkorakenteisen puutalon eroja. Tiedossa oli, että pystyrunkoisella rakenteella on parempi lämmöneristävyys ja hirsirakenteella isompi biogeeninen hiilivarasto. Vertailun tarkoituksena oli selvittää riittääkö isompi biogeeninen hiilivarasto korvaamaan isommat päästöt energian kulutuksen osalta.

Puu-betonirakenteisessa kerrostalossa korvattiin hirsirakenteet pystyrunkorakenteilla. Betonirakenteet pysyivät kantavina rakenteina, joten ne pidettiin samanlaisina kuin Pudasjärven kerrostalossa. Muutoksia tuli hirsirakenteiden lisäksi energian kulutuksen osalta. Perustukset, talotekniikka ja taulukkoarvot pysyivät samoina.

Ulkoseinärakenteena käytettiin ohjelman tietokannasta löytyvää puurankarunkorakennetta, jonka ulkopintaan lisättiin puujulkisivuverhoilu. Ulkoseinä oli P2-luokan rakenne, joten se soveltui kerrostalorakentamiseen. Ulkoseinän U-arvo oli $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$, joten seinä täytti ulkoseinän lämmönläpäisykerroinvaatimukset. Välineinämuitoksia tuli hirsiväliseinien osalta, jotka vaihdettiin teräsrankaseiniksi. Pystyrakenteiden osalta materiaaleista aiheutuvat päästöt vähenivät 17 tonnia CO_2e (Kaava 28) ja materiaaleihin sitoutuneen hiilidioksidin määrä väheni 127 tonnia (Kaava 29). Taulukkoon 21 on merkattu puu-betonikerrostalon pystyrakenteet. Himmeällä merkatut arvot pysyivät samoina Pudasjärven kerrostalon arvojen kanssa.

(28)

$$\begin{aligned} & \text{Pudasjärven kerrostalon} - \text{Puu/betonikerrostalon} \\ & \text{pystyrakenteiden päästöt} - \text{pystyrakenteiden päästöt} \\ & = 160t \text{ CO}_2\text{e} - 143t \text{ CO}_2\text{e} = 17t \text{ CO}_2\text{e} \end{aligned}$$

(29)

$$\begin{aligned} & \text{Pudasjärven kerrostalon pysty} - \text{Puu/betonikerrostalon pysty} - \\ & \text{rakenteisiin sitoutunut hiilidioksidi} - \text{rakenteisiin sitoutunut hiilidioksidi} \\ & = -206t \text{ CO}_2\text{e} - (-79t \text{ CO}_2\text{e}) = -127t \text{ CO}_2\text{e} \end{aligned}$$

Taulukko 21. Puu-betonikerrostalon pystyrakenteet

Materiaali	Määrä	Paksuus (mm)	Ilmastoa lämmittävä vaikutus	Sitoutunut biogeeninen hiili	Hukka (%)	Materiaalista aiheutuvat päästöt (CO ₂ e)	Materiaaliin sitoutunut (CO ₂ e)	Käyttötarkoitus
Palonsuoja-kipsilevy	981,9 m ²	18	* 221,29 kg CO ₂ e/m ³		12,5	4,4t		Palonsuojaus sisäpintaan
Vaneri	981,9 m ²	15	* 217,5 kg CO ₂ e/m ³	936,73 kg CO ₂ e/m ³	16,7	3,7t	-14t	Jäykistävä vaneri
Höyrynsulkumuovi	981,9 m ²	0,2	2,3 kg CO ₂ e/kg		10	2,1t		Ilman- ja höyrynsulku
Kerto viilupuu LVL	63 m ³		* 158,73 kg CO ₂ e/m ³	789 kg CO ₂ e/m ³	16,7	10t	-50t	Rankarunko
Kivivillaeriste	134 m ³		* 60,45 kg CO ₂ e/m ³		8	8,1t		Ulkoseinän eriste
Tuulensuojakipsilevy	981,9 m ²	10	* 208 kg CO ₂ e/m ³		12,5	2,3t		Tuulensuojalevy
Kivivillaeriste	981,9 m ²	50	* 60,45 kg CO ₂ e/m ³		8	3t		Jäykkä tuulensuoja-
Kuivattu sahatavara	88 m ²	12	72 kg CO ₂ e/m ³	728 kg CO ₂ e/m ³	17,9	90kg	-0,77t	Koolaus ulko-
Julkisivulaudoitus	981,9 m ²	21	33 kg CO ₂ e/m ³	722 kg CO ₂ e/m ³	17,9	0,8t	-15t	verhoukselle
Vesiohenteiset ulkomaalit	981,9 m ²	0,125	1,75 kg CO ₂ e/kg		10	** 1,1t		Ulkoverhouksen maali
Kipsilevy, tavallinen	683,72 m ²	13	248,14 kg CO ₂ e/m ³		12,5	2,5t		VS3 kipsilevy
Hot-dip galvanized steel sheet	946kg		2,78 kg CO ₂ e/kg		7,5	2,8t		VS3 teräsrankarunko
Kivivillaeriste	341,86 m ²	100	* 60,45 kg CO ₂ e/m ³		8	2,1t		VS3 eriste
Märkätilojen seinälaatoitus	1098,07 m ²		14,9 kg CO ₂ e/m ²	-	10	18t	-	Märkätilat
Betoni C30/37	991,52 m ²	200	214 kg CO ₂ e/m ³	-	4	44t	-	VS1
Betoniraudoitus, 97% kierrätetty	19830,4 kg		* 0,48kg CO ₂ e/kg	-	4,85	9,9t	-	VS1
Ohutrappaus	1983,04 m ²		0,47 kg CO ₂ e/kg	-	13	18t	-	VS1
Kipsilevy, tavallinen	365,43 m ²	13	248,14 kg CO ₂ e/m ³	-	12,5	1,3t	-	VS3
Eriste, mineraalivilla	182,72 m ²	100	21 kg CO ₂ e/m ³	-	8	0,41t	-	VS3
Hot-dip galvanized steel sheet	506 kg		2,78 kg CO ₂ e/kg	-	7,5	1,5t	-	VS3
Kevytsojarahkko	412,16 m ²	92	* 132,5kg CO ₂ e/m ³	-	7,5	5,4t	-	VS6
Kalkki-hiekkatiilet ja harkot	53,88 m ²	130	205,9 kg CO ₂ e/m ³	-	5	1,5t	-	VS10
Betoninen porraskäytävä ja hissi	12,4 m							
Yhteensä pystyrakenteet ja julkisivu						~143 tonnia	~-79 tonnia	

*merkintä on arvoissa, jotka on laskettu paikallinen kompensatio huomioiden. Arvo on eri kuin ohjelman ilmoittama arvo

**merkintä on arvoissa joihin tulee käytön aikaisia päästöjä, joita EPD:n kertoimet eivät huomioi

Parvekkeiden hirsiseinät korvattiin pystyrunkoseinillä. 275mm hirret korvattiin samalla rakenteella kuin muutkin ulkoseinät ja 135mm hirret samankaltaisella poistamalla kaiken ylimääräisen sisältä. Parvekkeiden seinistä aiheutuvat päästöt

pienenivät 4 tonnia CO₂e (Kaava 30) ja seiniin sitoutuneen hiilidioksidin määrä väheni 13 tonnia (Kaava 31). Taulukkoon 22 on merkattu puu-betonikerrostalon muut rakenteet ja materiaalit. Himmeällä merkatus arvot pysyivät samoina Pudasjärven kerrostalon arvojen kanssa.

(30)

$$\begin{aligned} & \text{Pudasjärven kerrostalon} && \text{Puu/betonikerrostalon} \\ & \text{muiden rakenteiden päästöt} & - & \text{muiden rakenteiden päästöt} \\ & = 112t CO_2e & - & 108t CO_2e = 4t CO_2e \end{aligned}$$

(31)

$$\begin{aligned} & \text{Pudasjärven kerrostalon muihin} && \text{Puu/betonikerrostalon muihin} \\ & \text{rakenteisiin sitoutunut hiilidioksidi} & - & \text{rakenteisiin sitoutunut hiilidioksidi} \\ & = -89t CO_2e & - & (-76t CO_2e) = -13t CO_2e \end{aligned}$$

Taulukko 22. Puu-betonikerrostalon muut rakenteet ja materiaalit

Materiaali	Määrä	paksuus (mm)	Ilmastoalämmittävä vaikutus	Sitoutunut biogeeninen hiili	Hukka (%)	Materiaalista aiheutuvat päästöt (CO ₂ e)	Materiaaliin sitoutunut (CO ₂ e)	käyttötarkoitus
Vaneri	254,8 m ²	15	* 217,5 kg CO ₂ e/m ³	936,73 kg CO ₂ e/m ³	16,7	0,97t	3,6t	Jäykistävä vaneri
Kerto viilupuu LVL	16 m ³		* 158,73 kg CO ₂ e/m ³	789 kg CO ₂ e/m ³	16,7	2,5t	-13t	Rankarunko parvekkeen seiniin
Kuivattu sahatavara	46 m ²	12	72 kg CO ₂ e/m ³	728 kg CO ₂ e/m ³	17,9	47kg	-0,40t	Koolaus ulkoverhoukselle
Julkisivulaudoitus	509,6 m ²	21	33 kg CO ₂ e/m ³	722 kg CO ₂ e/m ³	17,9	0,42t	-7,7t	Ulkoverhous
Vesiohenteiset ulkomaalit	509,6 m ²	0,125	1,75 kg CO ₂ e/kg		10	0,55t		Ulkoverhouksen maali
Palonsuojakipsilevy	156 m ²	18	* 221,29 kg CO ₂ e/m ³		12,5	0,7t		Palosuojaus sisäpintaan
Vaneri	156 m ²	15	* 217,5 kg CO ₂ e/m ³	936,73 kg CO ₂ e/m ³	16,7	0,6t	-2,2t	Jäykistävä vaneri
Höyrynsulkumuovi	156 m ²	0,2	2,3 kg CO ₂ e/kg		10	0,34t		Ilman- ja höyrynsulku
Kerto viilupuu LVL	10 m ³		* 158,73 kg CO ₂ e/m ³	789 kg CO ₂ e/m ³	16,7	1,6t	-7,9t	Rankarunko parvekkeen ulkoseiniin
Kivivillaeriste	21 m ³		* 60,45 kg CO ₂ e/m ³		8	1,3t		Ulkoseinän eriste
Tuulensuojakipsilevy	156 m ²	10	* 208 kg CO ₂ e/m ³		12,5	0,37t		Tuulensuojalevy
Kivivillaeriste	156 m ²	50	* 60,45 kg CO ₂ e/m ³		8	0,47t		Jäykkä tuulensuoja-
Kuivattu sahatavara	14 m ²	12	72 kg CO ₂ e/m ³	728 kg CO ₂ e/m ³	17,9	14kg	-0,12t	Koolaus ulkoverhoukselle
Julkisivulaudoitus	156 m ²	21	33 kg CO ₂ e/m ³	722 kg CO ₂ e/m ³	17,9	0,13t	-2,4t	Ulkoverhous
Vesiohenteiset ulkomaalit	156 m ²	0,125	1,75 kg CO ₂ e/kg		10	0,17t		Ulkoverhouksen maali
Kumibitumi-pintakermi	7,59 m ²	6,9	789,71 kg CO ₂ e/m ³	-	10	** 0,13t	-	Varaston YP
Kuivattu sahatavara	7,59 m ²	23	72 kg CO ₂ e/m ³	728 kg CO ₂ e/m ³	17,9	15kg	-0,13t	Varaston YP
Kuivattu sahatavara	0,047 m ³		72 kg CO ₂ e/m ³	728 kg CO ₂ e/m ³	17,9	4kg	-34kg	Varaston YP koolaus
Kuivattu sahatavara	0,3 m ³		72 kg CO ₂ e/m ³	728 kg CO ₂ e/m ³	17,9	25kg	-0,22t	Varaston YP kattotuolit
Kuivattu sahatavara	2,99 m ³		72 kg CO ₂ e/m ³	728 kg CO ₂ e/m ³	17,9	0,25t	-2,2t	Varaston US
Kuivattu sahatavara	1,72 m ³		72 kg CO ₂ e/m ³	728 kg CO ₂ e/m ³	17,9	0,15t	-1,3t	Rimat
Vaneri	71,66 m ²	15	* 217,5 kg CO ₂ e/m ³	936,73 kg CO ₂ e/m ³	16,7	0,27t	-1,0t	Varaston US
Betoni C30/37	7,59 m ²	120	214 kg CO ₂ e/m ³	-	4	0,2t		Varaston AP
Betonirauhoitus	77,42kg		* 0,48kg CO ₂ e/kg	-	4,85	39kg		Varaston AP
Suodatinkangas	7,59 m ²	0,15	2 kg CO ₂ e/kg	-	10	4,3kg		Varaston AP

Eriste, EPS	7,59 m ²	200	61,05 kg CO ₂ e/m ³	-	4	96kg		Varaston AP
Kuivattu sahatavara	8,63m ³		72 kg CO ₂ e/m ³	728 kg CO ₂ e/m ³	17,9	0,73t	-6,3t	Parvekkeet
Vaneri	254,8 m ²	15	* 217,5 kg CO ₂ e/m ³	936,73 kg CO ₂ e/m ³	16,7	0,97t	-3,6t	Parvekkeet
Kumibitumikermi	254,8 m ²	4,4	806,82 kg CO ₂ e/m ³	-	10	** 2,8t		Parvekkeet
Betoni C30/37	121,7 m ²	200	214 kg CO ₂ e/m ³	-	4	5,4t		Parvekkeiden väliseinät
Betoniraudoitus	2434kg		* 0,48kg CO ₂ e/kg	-	4,85	1,2t		Parvekkeiden väliseinät
Laminated glass	88,19 m ²		34 kg CO ₂ e/m ²			6,6t		Parvekekaiteet
Ikkuna, kolminkertainen	330,36 m ²		75,99 kg CO ₂ e/m ²	30,15 kg CO ₂ e/m ²	-	** 50t	-10t	Ikkunat
Ulko-ovi	18,31 m ²		* 81,9 kg CO ₂ e/m ²		-	1,5t		Ulko-ovet
Sisäovi	228,62 m ²		57,92 kg CO ₂ e/m ²	62,62 kg CO ₂ e/m ²	-	** 27t	-14,3t	Sisäovet
Yhteensä muut rakenteet ja materiaalit						~108 tonnia	~-76 tonnia	

*merkintä on arvoissa, jotka on laskettu paikallinen kompensatio huomioiden. Arvo on eri kuin ohjelman ilmoittama arvo
** merkintä on arvoissa joihin tulee käytön aikaisia päästöjä, joita EPD:n kertoimet eivät huomioi

Pystyrunkoisen kerrostalon ulkoseinän lämmönläpäisykerroin oli 0,17 W/m²K ja hirsikuloseinän 0,4 W/m²K. Muut ulkoilmaa vasten olevat rakenteet pysyivät samoina, joten pystyrunkoisen talon vuotuinen energiankulutus oli pienempi. Energiankulutuksen laskentaohjelman mukaan kaukolämmöntarve väheni 101 506 kilowattituntiin. 101 506 kWh:sta aiheutuu 50 vuoden käyttöiän aikana 361 tonnia CO₂e, joka on 96 tonnia vähemmän kuin hirsikerrostalosta (Kaava 32).

(32)

$$\begin{aligned} & \text{Pudasjärven kerrostalon} \quad \text{Puu/betonikerrostalon} \\ & \text{kaukolämmön päästöt} \quad \text{—} \quad \text{kaukolämmön päästöt} \\ & = 457t \text{ CO}_2e - 361t \text{ CO}_2e = 96t \text{ CO}_2e \end{aligned}$$

Puu-betonikerrostalon kokonaispäästöt elinkaaren ajalta olivat 1306 tonnia CO₂e ja sitoutunut hiilidioksidi 205 tonnia (Taulukko 23). Näistä ohjelma laski hiilijalanjäljeksi 14,96 kg CO₂e/m²/a ja hiilikädenjäljeksi -6,65 kg CO₂e/m²/a. Puu-betonikerrostalolla oli Pudasjärven kerrostaloa pienempi hiilijalanjälki, mutta myös pienempi hiilikädenjälki. Kokonaisvaikutukseltaan ympäristöystävällisempi rakennus saatiin laskemalla hiilijalan- ja hiilikädenjäljen summa (Kaava 33). Pudasjärven kerrostalo oli kokonaisvaikutuksiltaan ympäristöystävällisempi (Kaava 34).

(33)

Puu/betonikerrostalon hiilijalanjälki + Puu/betonikerrostalon hiilikädenjälki

$$= 14,96 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{m}^2\text{a}} + (-6,65) \frac{\text{kgCO}_2}{\text{m}^2\text{a}} = 8,31 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{m}^2\text{a}}$$

(34)

Pudasjärven kerrostalon kokonaisvaikutus - Puu/betonikerrostalon kokonaisvaikutus

$$= 7,38 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{m}^2\text{a}} - 8,31 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{m}^2\text{a}} = -0,93 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{m}^2\text{a}}$$

Taulukko 23. Puu-betonikerrostalon resurssien hiilijalan- ja kädenjälki

Resurssi	Resurssista aiheutuvat päästöt (CO ₂ e)	Resurssiin sitoutunut (CO ₂ e)	Hiilijalanjälki ($\frac{\text{kgCO}_2}{\text{m}^2\text{a}}$)	Hiilikädenjälki ($\frac{\text{kgCO}_2}{\text{m}^2\text{a}}$)
Perustukset ja maanalaiset rakenteet	29 tonnia	-	0,33	-
Pystyrakenteet ja julkisivu	143 tonnia	-79 tonnia	1,64	-0,91
Vaakarakenteet	216 tonnia	-50 tonnia	2,47	-0,57
Muut rakenteet ja materiaalit	108 tonnia	-76 tonnia	1,24	-0,87
Talotekniikka	124 tonnia	-	1,42	-
Energiankulutus	557 tonnia	-	6,38	-
Taulukkoarvot	129 tonnia	-	1,48	-
Uudelleenkäytöstä ja kierrätyksestä saatavat hyödyt	-	-	-	-4,3
Hirsi-puukerrostalo Yhteensä	1306 tonnia	205 tonnia	14,96	-6,65

4.5 Käyttökokemukset One Click LCA-laskentaohjelmasta

Ohjelman ulkoasu oli tehty todella yksinkertaisen näköiseksi ja aluksi toimintojen löytäminen oli tästä syystä hankalaa. Laskentaohjelma oli kuitenkin perustoimintoiltaan helppokäyttöinen ja nopeasti opittava. Ennen laskennan aloittamista katsoin One Click LCA:n sivuilta opastusvideon ja osallistuin Green Buildin Council

Finlandin verkkokoulutukseen. Näiden opastusten pohjalta pystyin tekemään eri skenaarioiden vertailulaskelmat ilman suurempia ongelmia.

Ohjelman kielenä pystyi käyttämään englantia, ranskaa, ruotsia ja suomea, joten laskujen tekeminen onnistui pelkällä suomen osaamisella. Ohjevideot olivat englanniksi, mutta teknisestä tuesta sai apua myös suomeksi. Ohjelmasta löytyi paljon opastusmateriaalia tekstinä sekä videoina ja oikean opastusmateriaalin löytämiseen ohjelmassa oli hakutoiminto. One Click LCA:n tekninen tuki oli myös toimiva, sillä vastaus saatiin saman päivänä joka kerta, kun ongelmia tuli.

Laskuissani en tarvinnut muita toimintoja kuin perustoimintoja, joihin kuului mm. laskujen kopiointi, materiaalien lisääminen ja poistaminen sekä kuvaajien tekeminen. Erikoisempia toimintoja, kuten materiaalien tuomista tietomallista, en tarvinnut, sillä sain hirsikerrostalon laskut Insinööritoimisto Vesitaito Oy:ltä.

Materiaalien lisääminen laskelmiin oli tehty helpoksi ja nopeaksi. Materiaaleja pystyi lisäämään rakennukseen yksittäisinä materiaaleina tai valmiina rakenteina. Valmiita rakenteita käytettäessä ohjelma näytti rakennukset, joihin rakenne soveltui. Esimerkiksi ulkoseinärakenteita lisätessä skenaariolaskelmiin ohjelmasta pystyi katsomaan, mitkä rakenteet soveltuivat kerrostaloon. Ohjelma näytti, missä paloluokassa rakenteita pystyi käyttämään. Ohjelma huomioi myös muut vaatimukset kuten äänieristävyyden.

Kun materiaalin oli lisännyt laskelmiin, ohjelma näytti paljonko materiaalista tuli päästöjä ja kuinka paljon rakennuksen hiilijalanjälki muuttui. Tämä ominaisuus mahdollisti alustavan hiilijalanjäljen vertailun eri rakenteilla. Ohjelma ei kuitenkaan näyttänyt paljonko rakenteiden hiilikädenjälki muuttui. Myös rakennuksen energiantarve muuttuu usein rakenteita vaihtaessa, joten muuttuneen hiilijalanjäljen ilmoittaminen tässä vaiheessa oli kokonaisilmastohyötyjen kannalta turha. Kuvaajia ohjelmasta sai useita erilaisia. Huonona puolena oli fontin koko, jota ei saanut suurennettua.

Materiaalin elinkaaren päästöt lasketaan kertomalla materiaalin määrä materiaalin ilmastoa lämmittävällä vaikutuksella. Ohjelmassa on laaja materiaalivalikoima

ja maailman suurin päästötietokanta, joten ohjelmalla saa laskettua tarkasti materiaalien päästöt. Ohjelma ottaa päästöissä huomioon myös hukkaprosentin ja materiaalin käyttöiän. Elinkaariarvioinnin tekemiseen tarvitsee One Click LCA:n lisäksi energiankulutuksen laskentaohjelman, sillä energiankulutuksen arviointiin ohjelmassa ei ole työkalua.

Ongelmia ohjelmassa aiheutti joidenkin materiaalien ilmastoa lämmittävän vaikutuksen arvot, jotka eivät tuntuneet pitävän paikkaansa. Käsien laskemalla sai eri vastauksen materiaalista aiheutuvaksi päästökseen kuin ohjelman laskema päästö. Virheen syynä oli, että ohjelman näyttämä materiaalin ilmastoa lämmittävä vaikutuksen kerroin ei ottanut huomioon paikallista kompensatiota, mutta laskut ottivat. Paikallinen kompensatio otti huomioon, että Suomessa sähköntuotannosta aiheutuvat päästöt ovat pienempiä kuin Euroopassa keskimäärin ja siksi käsien laskemalla vastaus oli isompi kuin ohjelman laskemana. Näille materiaaleille taulukoihin laskettiin Suomeen soveltuva arvo.

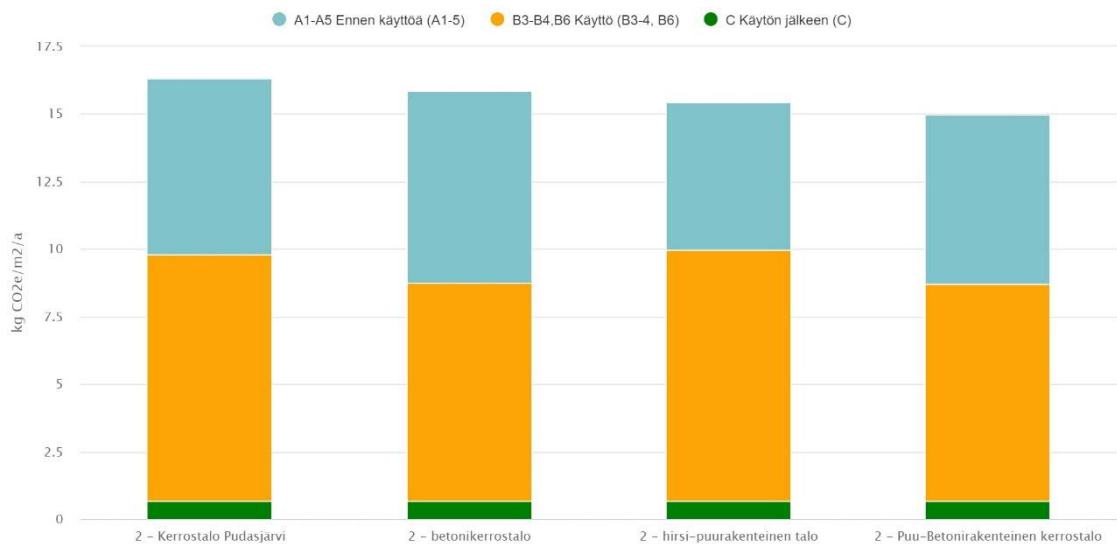
Ohjelma pyöristi materiaali-kohtaiset päästöt eri tarkkuuksilla päästön suuruuden mukaan. Isoilla päästöillä pyöristys tapahtui tonnien tarkkuuteen ja pienemmillä kilogramman. Opinnäytetyön taulukoihin olisi parempi käyttää materiaali-kohtaisille arvoille samaa tarkkuutta ja pyöristää vasta lopputulos. Tämä ei kuitenkaan ollut mahdollista, sillä pyöristystarkkuuteen ei voinut itse vaikuttaa.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

5.1 Kerrostalojen ympäristövaikutusten vertailu

Tässä opinnäytetyössä vertailtiin rakennusten hiilijalan- ja hiilikädenjälkeä. Opinnäytetyössä laskettiin myös hiilijalan- ja hiilikädenjäljen summa, sillä haluttiin vertailla rakennusten kokonaisympäristövaikutuksia. Rakennetyyppien päästöjen raja-arvot eivät ole vielä käytössä Suomessa, joten ei ole tarkkaan tiedossa saako hiilikädenjälkeä vähentää hiilijalanjäljestä.

Taloista Pudasjärven kerrostalolla oli isoin hiilijalanjälki (Kuvio 6). Rakennuksen hiilijalanjälkeä eniten nostivat isot energiankulutuksen päästöt ja välipohjien ja väliseinien päästöt (Kuvio 7). Toiseksi isoin hiilijalanjälki oli Betonikerrostalolla. Betonirakenteisella talolla oli Pudasjärven taloon verrattuna pienempi energian kulutus ja isommat materiaalien päästöt. Kolmanneksi isoin hiilijalanjälki oli hirsi-puurakenteisella kerrostalolla. Talon energiankulutus oli iso, mutta materiaalien päästöt olivat vertailun pienimmät. Pienin hiilijalanjälki oli puu-betonikerrostalolla. Talolla oli energian kulutuksen päästöt pienimmät ja materiaalien päästöt toiseksi pienimmät.

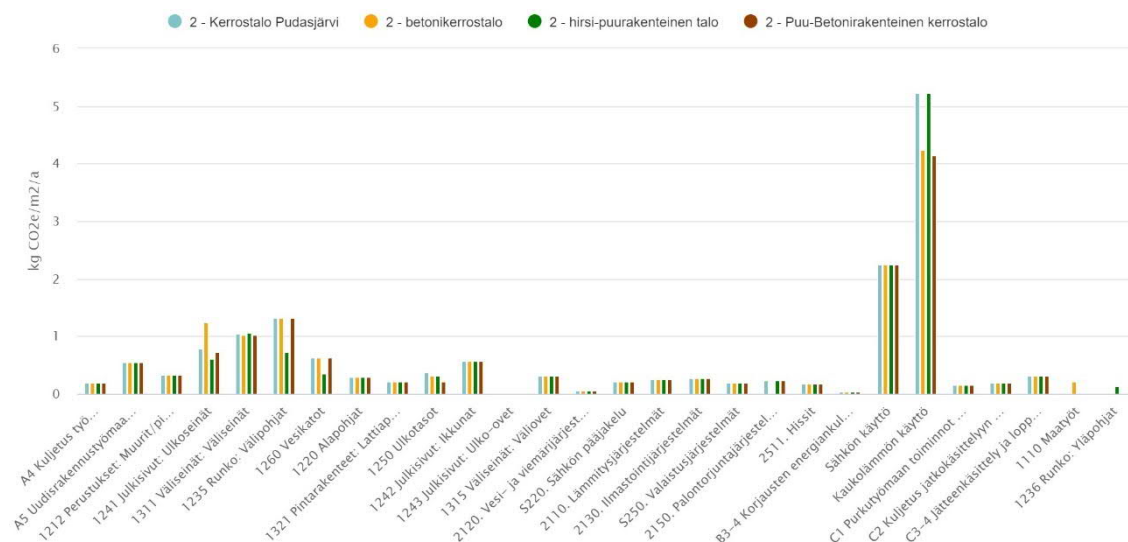


Kuvio 6. Kerrostalojen päästöjen jakautuminen vaiheisiin

Laskuissa hyödynnettiin ympäristöministeriön arviointimenetelmän mukaisesti tulevaisuuden skenaariot energiantuotannossa (Kuittinen 2019b, 29, 46).

Vähähiilisen rakentamisen tiekartan mukaan käyttövaiheesta tulee eniten päästöjä (Bionova 2017, 2). Käyttövaiheen päästöt olivat merkittävimpiä kaikissa skenaarioissa, vaikka tulevaisuuden energiantuotannon päästöt hyödynnettiin. Tästä pääteltiin käyttövaiheen päästöjen olevan merkittävämpiä tällä hetkellä kuin lasut antavat ymmärtää. Tiekartassa sanottiin materiaalien päästöjen olevan merkittäviä ja merkittävyuden nousevan mitä energiatehokkaampi rakennus on (Bionova 2017, 2). Materiaalien päästöt korostuivat betonikerrostalossa ja puu-betonikerrostalossa, joissa oli parempi energiatehokkuus kuin hirsitaloissa. Betonitalossa materiaaleista aiheutuvat päästöt olivat lähes puolet kokonaispäästöistä.

Hirsi-puurakenteisella talolla oli pienimmät materiaalien päästöt. Tästä tehtiin päätelmä, että puurakenteista aiheutuu vähemmän päästöjä kuin betonirakenteista. Hirsi-puurakenteinen talo oli ainoa, jossa talon kaikki kantavat rakenteet tehtiin puusta. Kuviosta 7 näkee kuinka hirsi-puurakenteisen talon pysty- ja vaakarakenteet erottuvat edukseen. Päätelmää tukee myös Pudasjärven kerrostalon päästöjen jakautuminen, jossa ulkoseinien päästöt ovat reilusti pienemmät kuin betoniulkoseinällä.



Kuvio 7. Kerrostalojen päästöjen jakautuminen rakenneosittain

Hiilikädenjälki oli isoin hirsi-puurakenteisella talolla (Taulukko 24). Talossa oli maksimoitu puun käyttö, joten biogeeninen hiilivarasto oli talolla todella iso.

Toiseksi isoin hiilikädenjälki oli Pudasjärven kerrostalolla, jossa oli myös iso biogeeninen hiilivarasto. Puu-betonikerrostalolla oli kolmanneksi isoin hiilikädenjälki ja betonitalolla pienin. Betonitalossa ja pystyrunkoisessa puu-betonitalossa ei ollut massiivisia puurakenteita, joten hiilidioksidia ei sitoutunut paljoa.

Taulukko 24. Kerrostalojen ympäristövaikutukset

	Hiilijalanjälki ($\frac{\text{kgCO}_2}{\text{m}^2\text{a}}$)	Hiilikädenjälki ($\frac{\text{kgCO}_2}{\text{m}^2\text{a}}$)	Ympäristövaikutukset kokonaisuudessaan ($\frac{\text{kgCO}_2}{\text{m}^2\text{a}}$)
Pudasjärven hirsikerrostalo	16,30	-8,92	7,38
Betonirakenteinen kerrostalo	15,66	-5,33	10,33
Hirsi-puurakenteinen kerrostalo	15,35	-13,61	1,74
Puu-betonirakenteinen kerrostalo	14,96	-6,65	8,31

Kokonaisvaikutuksiltaan hirsi-puurakenteinen talo oli ympäristöystävällisin. Korkea hiilikädenjälki teki talosta ympäristöystävällisimmän. Toiseksi ympäristöystävällisin oli Pudasjärven kerrostalo, jossa myös hiilikädenjälki oli ratkaisevassa osassa. Kolmantena tuli puu-betonirakenteinen talo ja viimeisenä betonirakenteinen talo. Kerrosrakenteisten talojen kokonaisvaikutus ympäristöön oli haitallisempi kuin hirsirakenteisten. Laskut osoittivat, ettei pidä tarkastella pelkästään materiaalien päästöjä, sillä materiaaliin sitoutunut hiilidioksidi on myös merkittävässä asemassa.

5.2 Elinkaaritehokkuuteen vaikuttavat tekijät

Laskelmat tukivat Green Building Councilin taulukkoa, jonka mukaan rakennuksen energiatehokkuus on merkittävämpää päästöjen vähentämisessä kuin materiaalivalinnat (Rakennusten elinkaarimittarit 2013, 14). Energiankulutus oli isoin yksittäinen rakennuksen ilmastoa kuormittava tekijä. Pidemmällä käyttöiällä energiatehokkuus olisi korostunut entisestään ja tilanne tasoittunut skenaarioiden välillä (Rakennusten elinkaarimittarit 2013, 14). Hirsi-puutalolla oli pienimmät materiaalien päästöt, mutta silti isompi hiilijalanjälki kuin puu-betonitalolla. Taulukon mukaan materiaaliin sitoutunut hiilidioksidi on vähemmän merkittävää. Laskelmat

kuitenkin osoittivat hiilikädenjäljen olevan ratkaisevassa asemassa tarkastellessa kokonaisvaikutusta ympäristöön.

Mitä isompi talo on, sitä enemmän siinä on lämmitettävää alaa. Energiatehokkuuden optimoinnissa hukkaneliöiden poistaminen on tärkeässä osassa, sillä jokaisesta ylimääräisestä neliöstä aiheutuu joka vuosi päästöjä. Hukkaneliöistä aiheutuu päästöjä muutenkin kuin isompana energiankulutuksena. Hukkaneliöistä aiheutuu päästöjä elinkaaren jokaisessa vaiheessa, sillä myös materiaalia tarvitaan enemmän, kuljetettavaa on enemmän, rakennettavaa enemmän jne.

Laskelmien pohjalta tultiin johtopäätökseen, että on ilmaston kannalta parempi mitä enemmän puuta käytetään rakentamisessa. Väliseinissä ja välipohjissa puurakenteiden käytön hyödyt tulivat hyvin esille, sillä niihin sitoutui hiilidioksidia energiankulutuksen pysyessä samana. Puurakenteilla on pienempi hiilijalanjälki ja suurempi hiilikädenjälki kuin betonirakenteilla. Laskut myös osoittivat, että asuimuodon valinnalla voi vaikuttaa merkittävästi omaan hiilijalan- ja hiilikädenjälkeen.

Tiekartan mukaan parhaiten päästöihin vaikutetaan hankesuunnitteluvaiheessa (Bionova 2017, 14). Hankesuunnittelu vaiheessa päätetään rakennuksen päämateriaalit, energiaratkaisut ja muut päästöjen kannalta merkittävimmät asiat. Laskujen pohjalta selvitettiin, että Pudasjärven talosta olisi saanut ympäristöystävällisemmän käyttämällä enemmän puurakenteita sisällä. Ympäristöystävällisyys on kuitenkin vain yksi kriteeri valintoja tehdessä, joten kaikkia päätöksiä ei voi tehdä vain vähähiilisuuden perusteella.

6 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli havainnollistaa, mitä muutoksia rakennussektorille on tulossa vähähiiliseen rakentamiseen liittyen ja laskuin selvittää, kuinka paljon päästöjä kerrostalosta tulee eri rakenteilla elinkaaren aikana. Ilmastonmuutos on ajankohtainen aihe, joten oli mielenkiintoista tehdä konkreettisia laskuja rakennusten päästöistä ja nähdä, kuinka merkittävässä osassa kokonaispäästöjä rakennukset ovat. Aiheesta löytyi paljon tietoa, joten opinnäytetyötä oli mukava tehdä.

Opinnäytetyön laskentatavoitteet saavutettiin ja selvitettiin hirren olevan kokonaisvaikutuksiltaan ympäristöystävällisin vaihtoehto Pudasjärven kerrostalon päämateriaaliksi. Pystyrunkoinen rakenne oli toiseksi ympäristöystävällisin ja betoni vähiten. Laskelmat osoittivat hirsirakenteisiin sitoutuvan paljon enemmän hiilidioksidia kuin aiheutuvan. Betonirakenteista aiheutui enemmän päästöjä kuin hirsirakenteisista eikä betoniin sitoutunut yhtään hiilidioksidia. Pystyrunkoisista rakenteista aiheutui vähemmän päästöjä kuin hirsirakenteisista, mutta niihin myös sitoutui vähemmän. Hirsirakenteisilla ulkoseinillä ei ollut yhtä hyvää lämmöneristävyys kuin kerrosrakenteisilla. Isommasta energiankulutuksesta huolimatta hirsirakenteet olivat kokonaisuudessaan ilmastolle parempia kuin betoni- tai pystyrunkorakenteet.

Epätarkkuutta vertailuun toi ohjelman käyttämä epämääräinen pyöristystarkkuus. Ohjelma pyöristi isot materiaalikohtaiset päästöt tonnin tarkkuuteen ja pienet kilogramman tarkkuuteen. Kilogramman tarkkuuteen pyöristettyjen arvojen suhteen voi olla hieman skeptinen, mutta ohjelman pointtina oli havainnollistaa päästöjen syntyminen vähäisistäkin määristä. Rakennusten lopullisiin päästöihin pyöristystarkkuudella ei ollut vaikutusta, sillä kokonaispäästöt pyöristettiin tarkkojen arvojen summasta.

Rakennusten päästöjen sääntelyä ei ole vielä otettu käyttöön, joten epäkohtien löytyminen arviointimenetelmästä on ymmärrettävää. Tällä hetkellä elinkaariarvioinnin tekijä voi vaikuttaa laskentatulokseen hieman. Laskelmissa saa käyttää keskiarvotietoja, joten tekijä voi päättää käyttääkö tuotekohtaisia arvoja vai

keskiarvoja. Vaarana tässä on päätösten tekeminen omien etujen mukaisesti. Ongelma tulee esiin myös taulukkoarvojen kanssa. Esimerkiksi kuljetuksen päästöissä voi päättää käyttääkö taulukkoarvoja vai laskeeko päästöt itse.

Nykyään ympäristöystävällisyys on tärkeä kriteeri valintoja tehdessä. Päästöjen laskeminen on konkreettinen tapa havainnollistaa, mitkä asiat ovat oikeasti merkityksellisiä päästöjen kannalta. Opinnäytetyö auttaa havainnollistamaan kuinka merkityksellinen osa kokonaispäästöjä rakennukset ovat. Yksilön kannalta asuimuodon valinta on yksi merkittävimpiä valintoja, joita voi päästöjen kannalta tehdä. Hirren käyttäminen myös isommissa rakennuksissa on nykyisin mahdollista painumattomien hirsien ansiosta. Hirren käyttö isommissa kohteissa tulee luultavasti lisääntymään, kun rakennuksiin tulee päästörajoituksia tiekarttahaankeen edettyä. Myös kuluttajien ekologiset ja ympäristötietoiset valinnat edesauttavat hirsirakentamisen suosiota.

Opinnäytetyön laskuissa ei ole huomioitu muita materiaalivalintoihin vaikuttavia tekijöitä kuin vähähiilisyys. Rakennusten materiaalivalintoihin vaikuttavat mm. rakennuksen sisäilma ja kustannukset. Kustannukset ovat usein ratkaiseva tekijä rakennusvaihtoehtoja vertaillessa. Ympäristöystävällisen rakennuksen rakentaminen saattaa olla kalliimpaa kuin vähemmän ympäristöystävällisen. Ympäristöystävällisyys ja ekologisuus ovat kuitenkin merkittävässä osassa ihmisten valintoja nykypäivänä, joten rakentamalla ympäristön kannalta vastuullisesti voi saada rahallisiakin hyötyjä.

Opinnäytetyön laskut havainnollistavat, kuinka paljon enemmän päästöjä perinteiset menetelmät aiheuttavat hirteen verrattuna. Ero olisi luultavasti kaventunut, jos olisi parannettu skenaariorakenteiden ulkoseinän lämmönläpäisykerrointa ja saavutettu näin energiasäästöjä. Toisaalta ero olisi kasvanut, jos olisi kasvatettu hirsiseinän paksuutta. Opinnäytetyössä päädyttiin käyttämään skenaarioiden ulkoseinänä rakenteita, joiden U-arvo on $0,17 \text{ W/Km}^2$. Tähän päädyttiin koska $0,17 \text{ W/Km}^2$ on minivaatimus perinteisille ulkoseinille. Hirsiulkoseinien U-arvo oli hirsiseinien minimivaatimus $0,4 \text{ W/Km}^2$, joten vertailu oli tasavertaista.

Skenaarioiden rakenteet pyrittiin valitsemaan mahdollisimman objektiivisesti, jotta vertailu olisi tasapuolista. Rakenteet valittiin ohjelman valmiiden rakenteiden valikoimasta vertailun selkeyttämiseksi. Ohjelman valikoimasta pyrittiin valitsemaan nykyaikaiset rakenteet, joissa määräykset toteutuvat. Esimerkiksi betoniulkoseinää valitessa ohjelmasta löytyi sekä paikallavalettuja seiniä että sandwich-elementtejä. Paikallavaletussa seinässä olisi pitänyt valita lisäksi julkisivumateriaali, joten vertailun selkeyttämiseksi valittiin sandwich-elementti. Sandwich-elementti myös sopi paremmin vertailuun suuren betonin määrän takia. Väliseinissä puolestaan käytettiin kevyitä rakenteita hirsiseinien tilalla, jottei betoniväliseinät vääristäisi tuloksia liikaa.

Mielestäni opinnäytetyön tavoitteet saavutettiin, vaikka useammalla skenaariolla johtopäätösten tekeminen olisi ollut helpompaa ja luotettavampaa. Aiheesta olisi hyvä tuoda esille asumisvalintojen merkitys ilmastoon muutenkin kuin hiilidioksidiekvivalentteina. Esimerkiksi autolla ajamisen päästöillä per kilometri olisi helpompi havainnollistaa asumisen päästöjen merkittävyyttä. Näin tuotaisiin päästöt ihmislähemmäksi ja vertailu helpottuisi. Aiheeseen liittyen kiinnostaisi nähdä tutkimustietoa säästääkö lämmönläpäisykertoimen parantaminen ilmastoa ja miten rakennuksen käyttöiän pidentäminen muuttaisi tuloksia. Ympäristöystävällisen rakentamisen tuomista lisäkustannuksista rakentamiseen kiinnostaisi myös tietää, ovatko erot niin suuria vai puhutaanko mitättömistä summista. Kustannuksilta tehokkaimmat tavat säästää ilmastoa olisi tärkeä asia tutkia, sillä usein raha ratkaisee.

LÄHTEET

Bionova Oy 2017. Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa. Viitattu 11.11.2020 [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Tiekartta-rakennuksen-elinkaaren-hiilijalanjaljen-huomioonottamiseksi-rakentamisen-ohjauksessa-4B3172BC_4F20_43AB_AA62_A09DA890AE6D-129197.pdf?&t=1603260760602](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Tiekartta-rakennuksen-elinkaaren-hiilijalanjaljen-huomioonottamiseksi-rakentamisen-ohjauksessa-4B3172BC_4F20_43AB_AA62_A09DA890AE6D-129197.pdf/1f3642e1-5d58-8265-40c1-337deeab782d/)Tiekartta-rakennuksen-elinkaaren-hiilijalanjaljen-huomioonottamiseksi-.

ePressi 2015. One Click LCA:lla rakennushankkeiden elinkaariarviointi tietomallista onnistuu jopa alle tunnissa. Viitattu 1.7.2020 <https://www.epressi.com/tiedotteet/talous/one-click-lcalla-rakennushankkeiden-elinkaariarviointi-tietomallista-onnistuu-jopa-alle-tunnissa.html>.

Euroopan parlamentti 2018. Kasvihuonepäästöt EU:ssa ja maailmalla. Viitattu 7.7.2020 <https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20180301STO98928/kasvihuonekaasupaastot-eu-ssa-ja-maailmalla-info-grafiikka>.

Hagelberg, J. 2020. Pudasjärvelle nousee kaksi hirsikerrostaloa, joissa on asuin- ja liiketilaa – rakentaminen alkaa Oikopolun varressa maaliskuussa. Viitattu 15.4.2020 <https://www.iijokiseutu.fi/uutiset/pudasjarvelle-nousee-kaksi-hirsikerrostaloa-joissa-on-asuin-ja-liiketila--rakentaminen-alkaa-oikopolun-varressa-maaliskuussa-6.705.3757184.8cb207b102>.

Hakaste, H. & Kuittinen, M. 2019. Miten vähähiilinen rakentaminen etenee? Viitattu 3.7.2020 <https://elinkaarilaskenta.fi/wp-content/uploads/sites/6/2019/09/1-Miten-v%C3%A4h%C3%A4hiilinen-rakentaminen-etenee-2019-08-30.pdf>.

Han, G., Srebric, J. & Enache-Pommer, E. 2014. Variability of optimal solutions for building components based on comprehensive life cycle cost analysis. *Energy and Buildings* 79, 223-231. Viitattu 15.11.2020 <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.10.036>.

Insinööritoimisto Vesitaito Oy. Pudasjärven hirsikerrostalon elinkaariarviointi One Click LCA:lla.

Kontiotuote Oy 2020. Yrityksen sisäiset materiaalit.

Korpela, T. 2016. Rakennusten ympäristöluokitukset avaavat tien kansainvälisille markkinoille. Viitattu 3.7.2020 <https://www.rakennuslehti.fi/blogit/rakennusten-ymparistoluokitukset-avaavat-tien-kansainvalisille-markkinoille/>.

Kuittinen, M. 2019a. Millä oletuksilla optimoidaan vähähiilisempää huomista? Ympäristöministeriö. Viitattu 16.3.2020 <https://www.ril.fi/media/2019/koulutus/rakennusfysiikka-2019/rakennusfysiikan-paivat-2019-10-30-kuittinen.pdf>.

Kuittinen, M. 2019b. Rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmä. Ympäristöministeriö. Viitattu 18.3.2020 https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161761/YM_2019_22_Rakennuksen_vahahiilisyden_arviointimenetelma.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Metsäwood 2020. Puuelementit. Viitattu 12.11.2020 <https://www.metsa-wood.com/fi/tuotteet/kerto/kerto-kayttokohteet/Pages/puuelementit.aspx>.

OneClick LCA 2020a. Vähähiilinen rakentaminen – mitä ja miksi? Viitattu 7.7.2020 <https://www.oneclicklca.com/ymparistoministerion-vahahiilisen-rakentamisen-pilotointi-avattu-ja-arviointimenetelma-julkaistu/>.

OneClick LCA 2020b. Saa käyttöösi maailma suurin rakennusmateriaalien tietokanta. Viitattu 12.11.2020 https://www.oneclicklca.com/fi/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=FI%202019%20Search&gclid=CjwKCAiAnIT9BRAmEi-wANaoE1WgXEmCpwXefwx7RzMSQs-yH7OTHL2zvmxdX3lvgCj74474a-ms2yhoC3OcQAvD_BwE.

Rakennusten elinkaarimittarit 2013. Green Building Council Finland. Viitattu 14.11.2020 https://www.oneclicklca.com/wp-content/uploads/2017/11/Rakennusten_elinkaarimittarit_2013.pdf.

Rakennusteollisuus 2020. Kestävän rakentamisen standardit luovat yhdenmukaiset pelisäännöt. Viitattu 6.7.2020 <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoaalasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Rakentaminen-ja-vaaralliset-aineet/CENCT-350-Kestava-rakentaminen/>.

Rakennustieto 2020. RTS EPD -ympäristöseloste esittää luotettavasti rakennustuotteiden ympäristövaikutukset. Viitattu 11.11.2020 <https://cer.rts.fi/epd-ymparistoseloste/>.

SFS-EN ISO 14040 2006. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet.

Sisäilmauutiset 2017. Suomalainen rakennusten RTS-ympäristöluokitus valmistui. Viitattu 15.11.2020 <https://www.sisailmauutiset.fi/rakentaminen-2/suomalainen-rakennusten-rts-ymparistoluokitus-valmistui/>.

Vahnen 2015. Rakennustuotteiden ympäristöselosteiden (EPD) verifiointilla varmistetaan tieto ympäristövaikutuksista. Viitattu 11.11.2020 <https://vahanen.com/fi/vahanen/ajankohtaista/rakennustuotteiden-ymparistoselosteiden-epd-verifiointilla-varmistetaan-tieto-ymparistovaikutuksista/>.

Vähähiilisen rakentamisen pilotointi alkaa 2019. Videonauhoite. Puhujina Harri Hakaste, Matti Kuittinen, Petrus Kautto, Lauri Tähtinen, Jemina Suikki, Katriina Alhola & Janne Pesu. VideonetChannel. Youtube. Viitattu 27.7.2020 https://www.youtube.com/watch?v=6QV3ZgSMn_s.

Ympäristöministeriö 2020a. Vähähiilinen rakentaminen. Viitattu 26.7.2020 <https://ym.fi/vahahiilinen-rakentaminen>.

Ympäristöministeriö 2020b. Level(s) – Rakennusten resurssitehokkuuden yhteiset EU-mittarit. Viitattu 27.7.2020 <https://ym.fi/levels-rakennusten-resurssitehokkuuden-mittarit>.

Ympäristöministeriö 2020c. Vähähiilisen rakentamisen tiekartta. Viitattu 11.11.2020 <https://ym.fi/vahahiilisen-rakentamisen-tiekartta>.