

SEINÄRAKENTEEN MATERIAALIEN VAIKUTUS PIENTALON HIILIJALANJÄLKEEN

Nyberg Timo

Opinnäytetyö
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

2021

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Timo Nyberg	Vuosi	2021
Ohjaaja(t)	Mikko Vatanen		
Toimeksiantaja	Lapin Ammattikorkeakoulu		
Työn nimi	Seinärakenteen materiaalien vaikutus pientalon hiilijalanjälkeen		
Sivu- ja liitesivumäärä	55 + 4		

Opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda pientalolle vaihtoehtoisia seinärakenteita ja vertailla niiden vaikutusta kohteen hiilijalanjälkeen. Tavoitteena oli selvittää seinärakenteiden tuotevaiheen hiilijalanjälki ja löytää pienimmän hiilijalanjäljen aiheuttava seinärakenne.

Vertailukohteena oli yksikerroksinen, kerrosalaltaan 150 m² omakotitalo. Vertailussa seinärakenteina käytettiin puuranka-, massiivipuu- ja kivirunkoisia seiniä. Kaikista runkovaihtoehtoista luotiin kolme erilaista seinärakennetta. Muiden rakenteiden osalta kohteelle määritettiin vakiorakenteet, joita laskennassa käytettiin. Vertailu suoritettiin suomalaisen Bionova Oy:n kehittämällä, rakennusten elinkaariarviointiin tarkoitettulla One Click LCA -ohjelmalla. Ohjelman avulla laskettiin kohteeseen kuuluvien materiaalien määrät ja niiden hiilijalanjälki.

Laskennan perusteella pienimmät hiilijalanjäljet saavutettiin puuranka- ja massiivipuuseinillä. Kiviseinien todettiin aiheuttavan seinistä suurimmat hiilijalanjäljet. Kaikkien seinärakenteiden kohdalla suurimmaksi hiilijalanjäljen aiheuttajaksi osoittautui runkomateriaali tai eriste. Laskelmien pohjalta tultiin johtopäätökseen, että tuotevaiheen päästöjen minimoimiseksi talo olisi järkevintä rakentaa puurunkoisena.

Degree Programme in Civil
Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Timo Nyberg	Year	2021
Supervisor	Mikko Vatanen		
Commissioned by	Lapland University of Applied Sciences		
Subject of thesis	The Effect of Wall Structure Materials on the Carbon Footprint of a Detached House		
Number of pages	55 + 4		

The purpose of the thesis was to create alternative wall structures for a detached house and to compare their effect on the carbon footprint of the house. The aim was to figure out the carbon footprint of wall structures and to find the wall structure that causes the smallest carbon footprint.

The object of comparison was a single-storey detached house with a floor area of 150 m². Timber-framed, solid wood and stone walls were used as wall structures in the comparison. Three different wall structures were created for the frame options. The other structures were constant and determined for the object and used in the calculation. The comparison was performed with the building life cycle analysis -program called One Click LCA. The program was used to calculate the number of materials consumed at the house and their carbon footprint.

Based on the calculation, the smallest carbon footprints were achieved with timber frame and solid wood walls. The stone walls were found to cause the largest carbon footprints. For all wall structures, the largest carbon footprint was formed by frame material or insulation. To minimize the product phase emissions it would be sensible to build a wooden framed house.

Key words

life cycle analysis, carbon footprint, climatic effects

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	RAKENTAMINEN JA ILMASTONMUUTOS	7
2.1	Yleistä ilmastomuutoksesta	7
2.1.1	Ilmastomuutos ilmiönä.....	7
2.1.2	Kasvihuoneilmiö ilmastomuutoksen aiheuttajana	8
2.2	Rakentamisen osuus ilmastomuutoksen torjumisessa.....	9
3	ELINKAARIARVIOINTI, LCA	11
3.1	Elinkaariarvioinnin periaatteet.....	11
3.2	Rakennusten elinkaariarviointi	14
3.2.1	Rakennuksen elinkaaren vaiheet	14
3.2.2	Luokat ja indikaattorit	15
3.2.3	Rakennusten elinkaariarvioinnin tulokset	16
4	RAKENTAMISEN VÄHÄHIILISYYS.....	18
4.1	Vähähiilisen rakentamisen tiekartta	18
4.2	Hiilijalanjälki	20
4.2.1	Hiilijalanjälki käsitteenä	20
4.2.2	Hiilijalanjäljen laskeminen	21
4.3	Hiilikädenjälki	24
4.4	Hiilipäästöjen yhteenveto ja raportointi	24
5	HIILIJALANJÄLKILASKENNAN LÄHTÖTIEDOT	26
5.1	Tarkoitus, tavoite ja rajaukset	26
5.2	One Click LCA -laskentaohjelma	26
5.3	Esimerkkikohde	27
6	RAKENTEET JA NIIDEN HIILIJALANJÄLKI.....	30
6.1	Vakiorakenteet.....	30
6.2	Puurankaseinät.....	32
6.3	Massiivipuuseinät	38
6.4	Kiviseinät	43
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	48
8	POHDINTA.....	50

LÄHTEET.....	52
LIITTEET	55

1 JOHDANTO

Ilmastonmuutos on globaali ilmiö, joka koskettaa koko yhteiskuntaa. Ilmastonmuutoksen ehkäisyssä ratkaisevaa on, että kaikki yhteiskunnan toimijat lähtevät mukaan torjuntatoimenpiteisiin. Suomen valtio on yksi ilmastonmuutoksen torjunnan edelläkävijöistä. Maamme on asettanut tiukat ilmastotavoitteet, joista yksi tärkeimmistä on hiilineutraaliuden saavuttaminen vuoteen 2035 mennessä.

Rakennettu ympäristö aiheuttaa tällä hetkellä kolmanneksen Suomen kasvihuonepäästöistä (Ilmasto-opas 2020c). Ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi päästöjä tulisikin rakentamisen osalta alentaa merkittävästi. Toimiin asian edistämiseksi ryhdyttiin vuonna 2017, jolloin Ympäristöministeriö tilasi Bionova Oy:ltä vähähiilisen rakentamisen tiekartan. Tiekartan avulla selvitettiin keinoja rakennusten elinkaaren aikaisten hiilipäästöjen ohjaamiseen. Tiekarttatyön pohjalta asetettiin tavoite saada rakennusten elinkaaren aikaisten hiilidioksidipäästöjen ohjaus käyttöön vuoteen 2025 mennessä. (Ympäristöministeriö 2020.)

Vuonna 2018 voimaantulleet, uudet energiamääräykset mahdollistavat lähes nollaenergiarakentamisen uudisrakentamisessa. Tämän johdosta rakennetun ympäristön päästöjen vähentämisessä korostuvat nyt muut keinot. Keinot liittyvät lähinnä rakennuksen elinkaaren alkuun ja loppuun; rakennusmateriaalien valmistukseen, rakentamisprosessiin, rakennusjätteen minimointiin ja kierrätykseen.

Opinnäytetyössä päästöjen vähentämistä tarkastellaan hankesuunnitteluvaiheessa olevan pientalon näkökulmasta. Työssä pientalolle luodaan erilaisia seinärakenteita, joiden hiilijalanjälki lasketaan Bionova Oy:n One Click LCA -ohjelmalla. Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää seinärakenteiden vaikutusta rakennuksen hiilijalanjälkeen. Laskenta on rajattu koskemaan vain rakennuksen alkupäästä eli tuotevaiheesta aiheutuvaa hiilijalanjälkeä.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Lapin ammattikorkeakoulun Älykäs rakennettu ympäristö -osaamisryhmä. Aihe valikoitui opinnäytetyöhön toimeksiantajan tarjouksesta. Aiheen valintaa tuki myös se, että koin aiheen ajankohtaiseksi ja olin itse kiinnostunut opintojen aikana rakentamisen ympäristövaikutuksista.

2 RAKENTAMINEN JA ILMASTONMUUTOS

2.1 Yleistä ilmastonmuutoksesta

2.1.1 Ilmastonmuutos ilmiönä

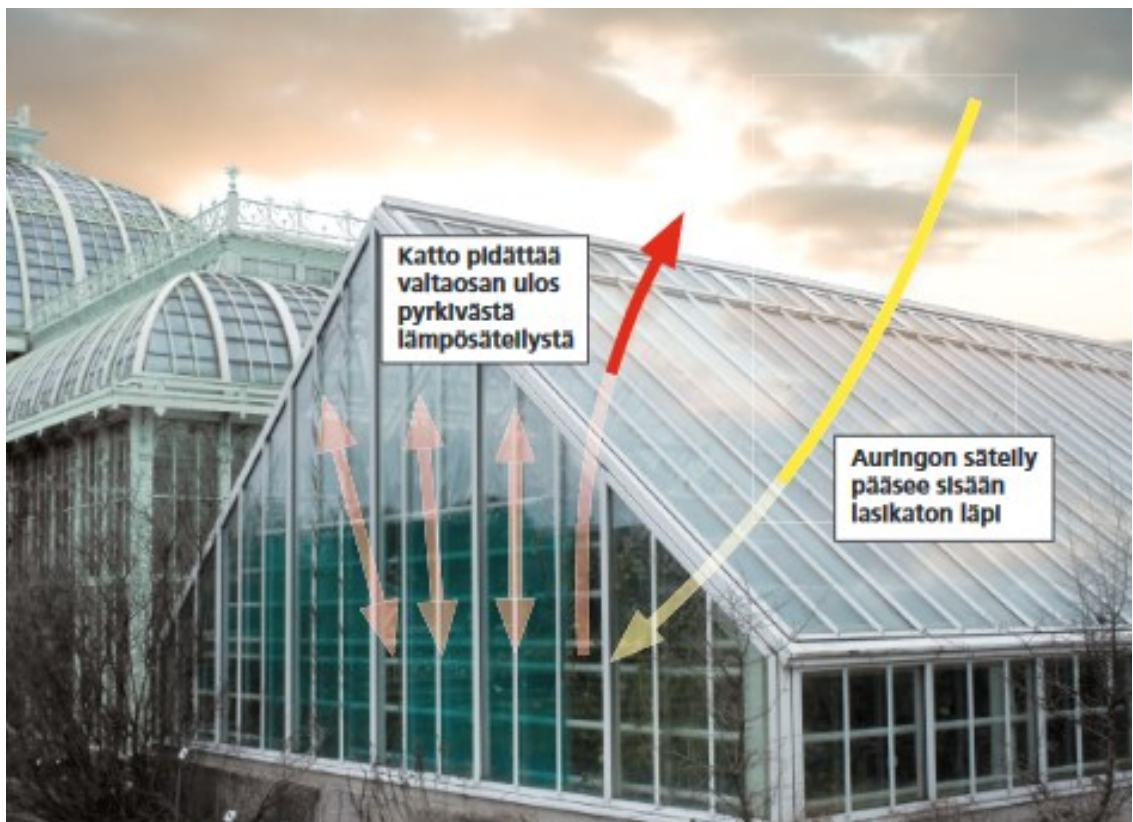
Ilmastonmuutos on koko ihmiskuntaa koskettava vakava ympäristöongelma. Ilmastonmuutos vaikuttaa jo nyt ihmistoimintaan sekä luontoon ja sen vaikutukset tulevat lisääntymään entisestään tulevaisuudessa. Ihmisten tekemillä toimilla on kuitenkin mahdollisuus vaikuttaa ilmastonmuutoksen etenemiseen ja estää ilmastonmuutoksen aiheuttamat, katastrofaaliset seuraukset.

Ilmastonmuutosta aiheuttaa lähinnä kasvihuonekaasujen määrän lisääntyminen ilmakehässä. Erityisesti hiilidioksidin määrän lisääntyminen ilmakehässä edistää ilmastonmuutosta. Mikäli päästöt tulevat kasvamaan nykytahtia, on uhkana, että maapallon keskilämpötila nousee vuosisadan loppuun mennessä vajaasta kahdesta kuuteen astetta. Lisäksi muutoksia tulee olemaan sateissa, jotka tulevat aiheuttamaan toisaalla lisääntyvää kuivuutta ja toisaalla tulvia. (Ilmasto-opas 2020a.)

Mittaustulosten perusteella maapallon keskilämpötila on noussut 0,8 °C vuoden 1880 jälkeen. Hallitustenvälisen ilmastopaneelin IPCC:n tekemän raportin mukaan yli puolet vuosien 1951–2010 välillä tapahtuneesta lämpenemisestä on suurella todennäköisyydellä ihmiskunnan aiheuttamaa. Ihmisen aiheuttama osuus ilmastonmuutoksesta jakaa kuitenkin tutkijoita. Tiedeyhteisön suuren enemmistön mukaan suurin syy ilmaston lämpenemiseen on ihmisten aiheuttamat hiilidioksidipäästöt. Tutkijoiden mukaan saasteiden vaikutus ei näy vielä kokonaisuudessaan, sillä ilmasto reagoi muutoksiin hitaasti. Osa tutkijoista on kuitenkin sitä mieltä, että ilmastonmuutos ei johdu niinkään ihmisen toiminnasta, vaan he korostavat ilmastossa tapahtuvia luonnollisia, niin pitkän kuin lyhyen aikavälin vaihteluita, jotka johtuvat luonnollisista seikoista. (Poulsen & Wium 2020.)

2.1.2 Kasvihuoneilmiö ilmastonmuutoksen aiheuttajana

Ilmastonmuutosta aiheuttavassa kasvihuoneilmiössä ilmakehä toimii maapallolle samoin kuin lasikatto kasvihuoneelle eli lämmittäen. Kasvihuoneen lasikaton tavoin maapallon ilmakehä päästää auringon säteilyn maan pinnalle, mutta samalla estää maapallolta lähtevää lämpösäteilyä karkaamasta suoraan avaruuteen (Kuva 1). Lämmityksen voimakkuus on riippuvainen ilmakehän koostumuksesta. Mikäli kasvihuonekaasujen määrä kasvaa ilmakehässä, lämmitys voimistuu ja ilmasto muuttuu. (Ilmasto-opas 2020b.)



Kuva 1. Kasvihuoneilmiön perusajatus (Nevanlinna 2008, 44)

Ihmisen tuottamista kasvihuonekaasuista merkittävimpiä ovat hiilidioksidi (CO_2), metaani (CH_4) ja dityppioksidi (N_2O). Vuonna 2011 ilmakehässä esiintyvien kasvihuonekaasujen määrä oli kasvanut niin, että hiilidioksidia oli 40 %, metaania 150 % ja dityppioksidia 20 % enemmän kuin ennen vuotta 1750. Kasvihuonekaasuja on ilmakehässä tällä hetkellä enemmän kuin koskaan ennen viimeisen 650 000 vuoden aikana. Kasvihuonekaasujen yleisin lähde on fossiilisten polttoainei-

den eli hiilen, öljyn ja maakaasun käyttäminen energiantuotannossa ja liikenteessä. Muita merkittäviä kasvihuonekaasujen lähteitä ovat muun muassa metsäkato, metsäpalot, maatalous, teollisuuden prosessit ja kaatopaikat. (Ilmasto.org 2020.)

Kasvihuoneilmiö on sinänsä luonnollinen ilmiö, jonka seurauksena maapallon pintalämpötila on +15°C. Mikäli luonnollista kasvihuoneilmiötä ei esiintyisi, olisi maapallon pintalämpötila noin -18°C. Luonnollisen kasvihuoneilmiön seurauksena maapallon lämpötila pysyy elämälle suotuisana. Ihmiskunnan aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt kuitenkin voimistavat kasvihuoneilmiötä koko ajan, jonka seurauksena maapallo lämpenee. (Nevanlinna 2008, 44–45.)

2.2 Rakentamisen osuus ilmastonmuutoksen torjumisessa

Rakentamisessa kulutetaan verrattain lyhyessä ajassa paljon luonnonvaroja. Toiminnasta syntyvät ympäristövaikutukset ulottuvat kuitenkin pitkälle tulevaisuuteen. Merkittäviä ympäristökuormia ovat esimerkiksi käyttövaiheessa syntyvät energian- ja vedenkulutus sekä hiilidioksidipäästöt. (Ympäristöhallinto 2020.)

Suomessa kulutettavasta kokonaisenergiasta rakennukset käyttävät noin 30 % ja lämmityksestä aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt ovat 30 % koko Suomen päästöistä. Elinkaaren aikana syntyviin ympäristövaikutuksiin ja kustannuksiin voidaan oleellisesti vaikuttaa suunnittelu- ja rakennusvaiheessa tehtävillä ratkaisuilla. Keinoja ovat muun muassa energiankulutuksen pienentäminen ja energiatehokkuuden parantaminen sekä uusiutuvan energian lisääminen fossiilisen energian tilalle. (Ilmasto-opas 2020c.)

Ilmastonmuutoksen torjunnassa on tärkeää, että rakennuksen energiamuoto ja materiaalit suunnitellaan energiatehokkuus edellä. Energiatehokkuuden lisäämiseksi rakentamisessa ovat rakennusprojekteihin mukaan tulleet mm. energiatodistukset, ympäristöluvut ja vapaaehtoiset energiasäästösopimukset. Suomen rakentamismääräyskokoelmasta löytyvät kaikki energiatehokkuuteen liittyvät määräykset. (Ympäristöhallinto 2020.)

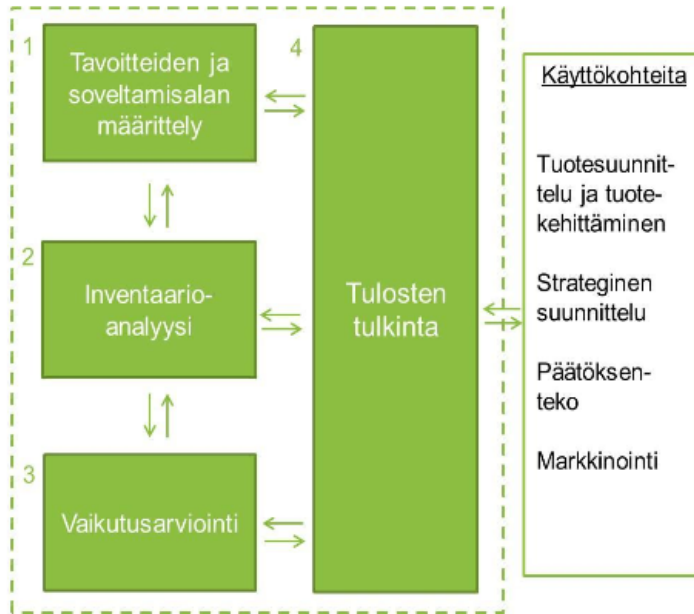
Ilmastonmuutoksen torjumiseksi rakentamisesta nousee esille myös resurssi- ja materiaalitehokkuus, jotka tarkoittavat luonnonvarojen käytön minimointia, materiaalien kierrätettävyyttä ja tilojen tehokasta käyttöä. Käytännön rakentamisessa tämä tarkoittaa pitkäaikaisten ja helposti muunneltavien ratkaisujen tekemistä, jolloin rakenteiden tulee olla helposti purettavia, lajiteltavia ja kierrätettäviä. Rakennusmateriaalien- ja tuotteiden osalta materiaalitehokkuutta saavutetaan optimoimalla luonnonvarojen käyttöä ja suosimalla kierrätysmateriaaleja. Tilojen tehokas käyttö puolestaan vaatii rakennusten suunnittelussa muunneltavuuden huomioon ottamista. Muunneltavuudella varmistetaan, että muutostöiden kokoluokka ja riski rakennuksen käyttämättömyyteen pienenevät. (Ympäristöhallinto 2019; Ympäristöhallinto 2020.)

3 ELINKAARIARVIOINTI, LCA

3.1 Elinkaariarvioinnin periaatteet

Elinkaariarviointi (life cycle assessment) eli LCA on menetelmä, jonka avulla pystytään arvioimaan tuotteen tai palvelun vaatimia resursseja ja luonnonvarojen kulutusta. Täydellinen elinkaariarviointi sisältää raaka-aineiden tai materiaalien hankinnan luonnosta, raaka-aineen prosessoinnin ja kuljetuksen tuotantoprosessiin, tuotteen valmistuksen, jakelun, käytön, uudelleenkäytön, huollon, kierrätyksen ja hylkäämisen. Usein elinkaariarviointi tehdään kuitenkin suppeampana, sillä laajan arvioinnin tekeminen on työläs prosessi. Yksinkertaistetussa elinkaariarvioinnissa (streamlined LCA) tarkastellaan esimerkiksi vain jotain tiettyä osaa tuotantoprosessista tai tuotejärjestelmästä. Yksinkertaistetussa tarkastelussa voidaan myös keskittyä jonkin tietyn päästön tai ympäristövaikutuksen tarkasteluun. Tarkastelun tekemisessä käytetään yleensä apuna alalle kehitettyjä ohjelmistoja ja inventaariotietokantoja. (Niemistö ym. 2017, 10.)

Elinkaariarviointia ohjaavat kansainvälisen standardointijärjestö ISO:n laatimat 14040-sarjan standardit. Sarja sisältää yhteensä viisi eri standardia, joista suomeksi on saatavilla standardit SFS-EN ISO 14040:2006 ja SFS-EN ISO 144040:2006. Standardin SFS-EN ISO 14040:2006 mukaisesti arviointi jaetaan neljään eri vaiheeseen (Kuva 2), jotka ovat tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely (goal and scope definition), inventaarioanalyysi (Life Cycle Inventory Analysis, LCI), vaikutusarviointi (Life Cycle Impact Assessment, LCIA) ja tulosten tulkinta (interpretation). (Niemistö ym. 2017, 10.)



Kuva 2. Elinkaariarvioinnin vaiheet ja käyttökohteet (Niemistö ym. 2017, 10)

Ensimmäisessä vaiheessa elinkaariarvioinnissa määritellään tavoitteet ja soveltamisala. Riippuen tavoitteiden laajuudesta arvioinnin tarkkuus ja laajuus voi vaihdella suuresti. Soveltamisala puolestaan sisältää järjestelmän rajat ja yksityiskohtaisuuden tason, jotka ovat riippuvaisia aiheesta ja selvityksen käyttötarkoituksesta. (Suomen standardisoimisliitto SFS 2006, 8.) Ensimmäisessä vaiheessa käydään läpi muun muassa arvioinnin tekemisen syy, tarkoitus, yksityiskohtaisuus, tarkasteluajanjakso, tulosten hyödyntäjät, raportoinnin vaatimukset ja tiedossa olevat arvioinnin rajaukset. Vaiheen huolellinen suorittaminen selkeyttää ja tehostaa elinkaariarvioinnin toteuttamista. (Niemistö ym. 2017, 11.)

Elinkaariarvioinnin toinen vaihe on inventaarioanalyysi (LCI). Vaihe on kaksiosainen koostuen tiedon keruusta ja laskentamenettelystä. Tiedonkeruuvaiheeseen sisältyy selvityksen kannalta oleellisen tiedon kerääminen. Laskentamenetelystä tieto varmennetaan, suhteutetaan yksikköprosesseihin ja suhteutetaan toiminnallisen yksikön vertailuvirtaan (Suomen standardisoimisliitto SFS 2006, 8, 34). Inventaariotiedon kerääminen ja laskenta on usein työläs, mutta arviointivaiheen kannalta tärkeä vaihe, koska tiedon tarkkuus ja luotettavuus vaikuttavat merkittävästi elinkaariarvioinnin lopullisiin tuloksiin. Käytettävän tiedon keräämisessä ja käsittelyssä tulee olla erityisesti tarkkana tietolähteiden, tiedon laadun ja käytettävien yksiköiden suhteen. (Niemistö ym. 2017, 11.)

Kolmantena vaiheena elinkaariarvioinnissa suoritetaan vaikutusarviointi (LCIA). Vaikutusarvioinnissa pyritään tekemään arvio potentiaalisten ympäristövaikutusten merkittävydestä, inventaarioanalyysin tuloksien avulla. Vaiheeseen liittyy yleensä inventaariotietojen yhdistäminen ympäristövaikutusluokkiin ja vaikutusluokkaindikaattoreihin, jotta ymmärrettäisiin kyseisiä vaikutuksia. (Suomen standardisoimisliitto SFS 2006, 34.) Arviointi tehdään yleensä elinkaariohjelmiston avulla joko keski- tai loppupistemallinnuksena. Keskipistemallinnuksessa kuvataan eri vaikutusluokissa tapahtuvia muutoksia ja loppupistemallinnuksessa arvioidaan ihmisten terveydelle, luonnonympäristölle tai luonnonvaroille tapahtuvia kokonaisuutoksia (Kuva 3). (Niemistö ym. 2017, 11.) Vaikutusarviointivaiheeseen voi lisäksi liittyä tavoitteiden ja soveltamisalan tarkastaminen, jotta pystytään toteamaan, onko päämäärät saavutettu. Mikäli tarkastus osoittaa, ettei päämääriä ole saavutettu, päätetään tavoitteiden ja soveltamisalan muuttamisesta. (Suomen standardisoimisliitto SFS 2006, 34.)



Kuva 3. Havainnekuva keski- ja loppupistemallinnusten indikaattoreista (Niemistö ym. 2017, 12)

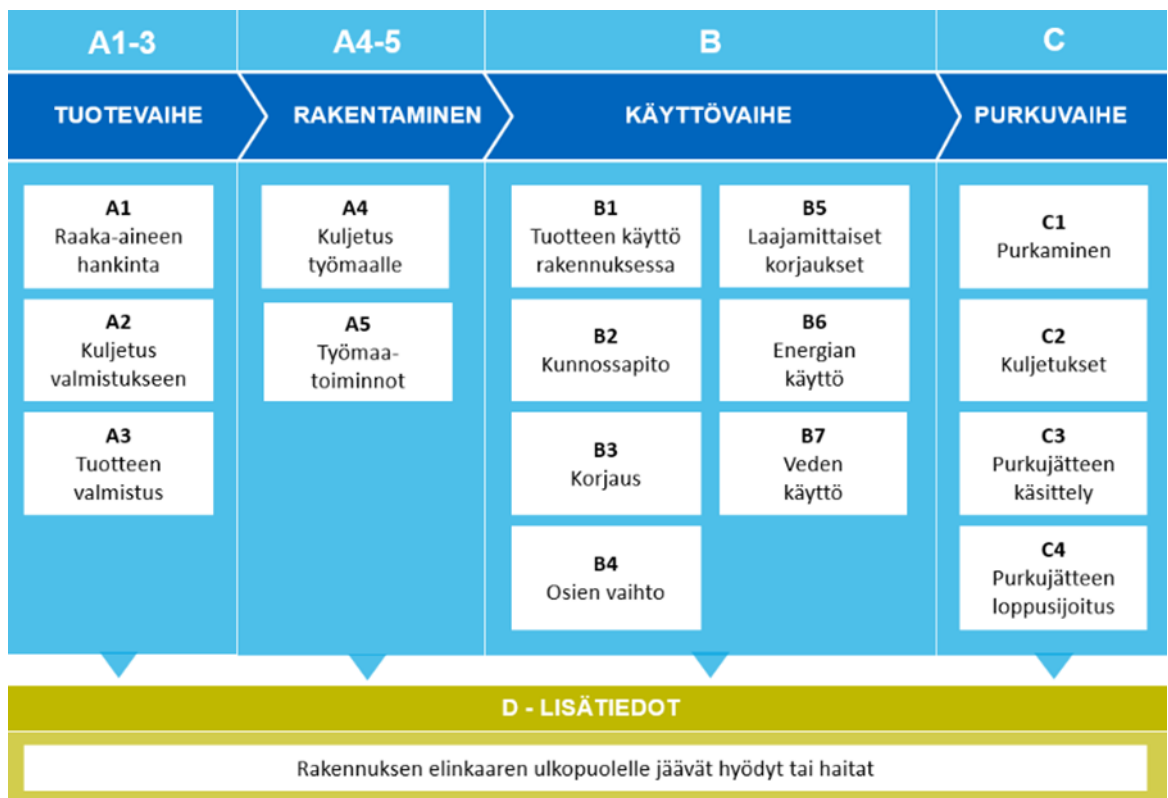
Viimeisenä vaiheena elinkaariarvioinnissa suoritetaan tulosten tulkinta. Vaihe sisältää inventaarioanalyysin (LCI) ja vaikutusarvioinnin (LCIA), tai molempien tulosten yhdistämisen. Tulosten käsittely tehdään tavoitteissa ja soveltamisalassa

määritetyllä tavalla johtopäätösten, suositusten ja päätöksenteon tueksi. (Suomen standardisoimisliitto SFS 2006, 8.)

3.2 Rakennusten elinkaariarviointi

3.2.1 Rakennuksen elinkaaren vaiheet

Rakennuksen elinkaariarviointiin sisältyy kaikki vaiheet aina rakennusmateriaalien valmistuksesta purkujätteen loppusijoitukseen asti. Rakennuksen elinkaari sisältää yhteensä viisi eri vaihetta (Kuva 4), jotka ovat tuotevaihe, rakennusvaihe, käyttövaihe, elinkaaren loppuvaihe sekä järjestelmän rajojen ulkopuolelle jäävät vaikutukset. (Ympäristöministeriö 2019, 5.)



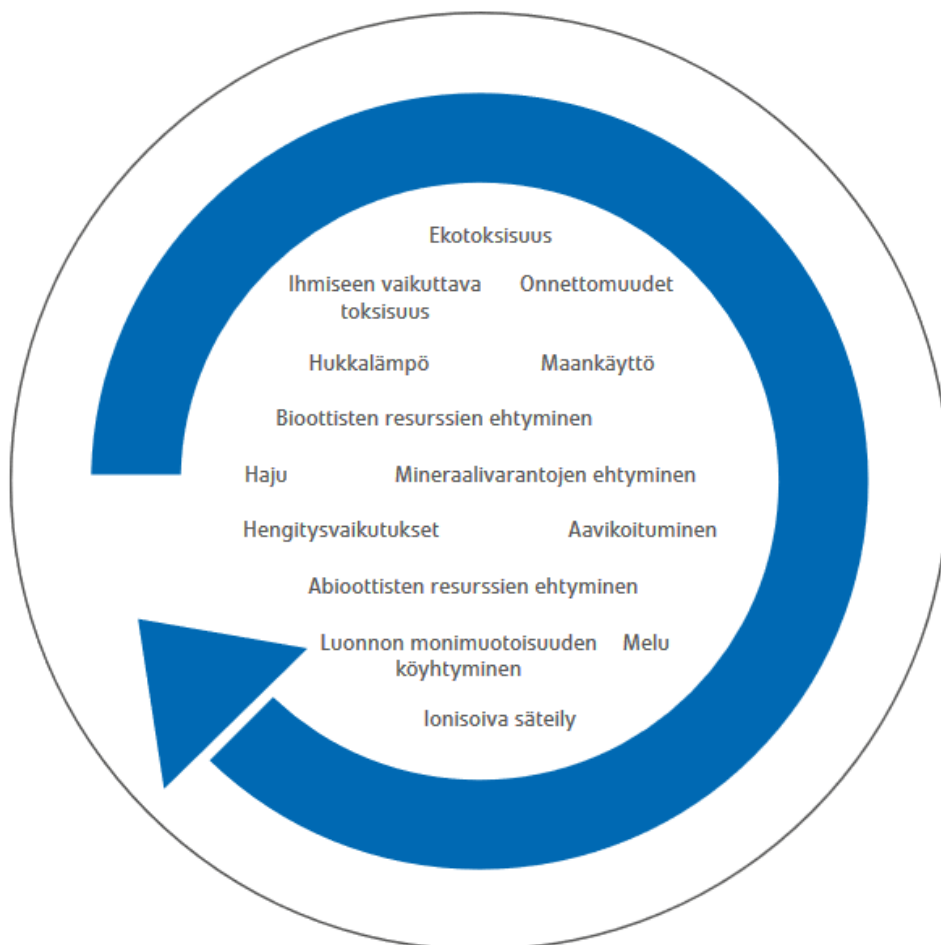
Kuva 4. Havainnekuva rakennuksen elinkaaren vaiheista (Bionova 2017, 13)

Kaikki elinkaaren eri vaiheiden aikana tapahtuvat ympäristövaikutukset otetaan huomioon elinkaariarvioinnissa. Ympäristövaikutuksia aiheuttavat muun muassa kuljetukset, rakennustuotteiden valmistus ja energiantuotanto. Ympäristövaikutuksia on yleensä helpointa arvioida tuote- ja rakentamisvaiheesta, koska ne ta-

pahtuvat lähitulevaisuudessa. Muiden vaiheiden arviointi perustuu oletuksiin rakennuksen käytöstä, ylläpidosta ja purkamisesta, joten niiden arviointi on vaikeampaa. Viidennen vaiheen eli elinkaaren ulkopuolelle jäävien vaikutusten tulokset ilmoitetaan laskelmissa erillisenä osana. (Ympäristöministeriö 2019, 5.)

3.2.2 Luokat ja indikaattorit

Elinkaariarvioinnissa ympäristövaikutukset ja luonnonvarojen kulutus lasketaan luokittain. Luokkien tulee kuvastaa erityisesti niitä vaikutuksia, jotka kohdistuvat ihmisten terveyteen, luonnonympäristöön ja luonnonvaroihin (Kuva 5). Valituista luokista saatavien tulosten yhteenlasku ei ole mahdollista ennen tulosten normalisointia ja painottamista. Tulosten käsittely vaatii erikoisosaamista, eikä sitä yleensä tehdä rakennuksen elinkaariarvioinnin osana. (Ympäristöministeriö 2019, 17.)



Kuva 5. Esimerkkejä käytettävistä luokista, joilla voidaan kuvata mahdollisesti aiheutuvia vaikutuksia ja resurssien käyttöä (Ympäristöministeriö 2019, 17)

Rakennusten elinkaariarvioinnissa ympäristövaikutuksia voidaan tarkastella useilla eri indikaattoreilla. Useimmiten indikaattorina käytetään hiilijalanjälkeä eli ilmaston lämpenemispotentiaalia. Muita käytössä olevia indikaattoreita ovat:

- otsonikatopotentiaali (ODP)
- valokemiallinen otsoninmuodostuskyky (POCP)
- happamoitumispotentiaali (AP)
- rehevöitymispotentiaali (EP)
- ei-fossiilisten luonnonvarojen abioottinen ehtyminen (ADPe)
- fossiilisten luonnonvarojen abioottinen ehtyminen (ADPf)
- primäärienergian kokonaiskulutus (PEtot)
- uusiutuvien vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttö (Sec)
(Ympäristöministeriö 2019, 7.)

3.2.3 Rakennusten elinkaariarvioinnin tulokset

Elinkaariarvioinnin tuloksena saadaan yleiskäsitys ympäristövaikutuksista, jotka aiheutuvat rakennuksen elinkaaren eri vaiheista. Elinkaariarvioinnin perusteella pystytään tekemään tietoon perustuvaa optimointia ja arvioimaan yksittäisiä prosesseja suhteessa rakennuksen koko elinkaareen. Esimerkiksi:

- Millaisia ovat materiaalien vaikutukset verrattuna käytönaikaisen energiankulutuksen vaikutuksiin?
- Kuinka paljon eri rakennusosat vaikuttavat kokonaisuuteen?
- Millaisilla materiaalivalinnoilla saadaan optimoituja ympäristövaikutukset mahdollisimman vähäisiksi? (Ympäristöministeriö 2019, 8.)

Rakennuksen elinkaaren ympäristövaikutukset voidaan jakaa käyttövaiheen energiankulutuksesta syntyviin sekä elinkaaren muista vaiheista koituihin, ”sitoutuneisiin” vaikutuksiin (embodied impacts). Energiankulutuksen ympäristövaikutukset ovat yleisesti merkittävin elinkaariarvioinnin tuloksiin vaikuttava tekijä.

Käyttövaiheen energiankulutuksen odotetaan kuitenkin tulevaisuudessa laskevan ja uusiutuvista lähteistä tuotettavan energiankäytön lisääntyvän. Tulevaisuudessa elinkaariarvioinnissa energiankulutuksesta syntyvien vaikutusten merkitys tulee pienentymään, ja muista vaiheista johtuvat vaikutukset korostumaan. (Ympäristöministeriö 2019, 9.)

Elinkaariarvioinnin perusteella saadaan yleiskäsitys eri rakennusosien merkityksestä kokonaisympäristövaikutuksiin. Tämä antaa mahdollisuuden kiinnittää huomion niihin rakennusosiin, joilla pystytään merkittävimmin rajoittamaan rakennuksen ympäristövaikutuksia. Vaihtoehtoinen ratkaisu on vertailla erilaisia rakennustarpeeseen sopivia rakennustyyppisiä ja tutkia, kuinka kokonaistulos ja rakennusosien osuudet muuttuvat. (Ympäristöministeriö 2019, 9.)

Elinkaariarvioinnissa on mahdollista vertailla erilaisia, mutta toiminnallisesti vastaavia materiaaleja ja rakennustuotteita. Näin pystytään vertailemaan eri ratkaisuista syntyviä ympäristövaikutuksia suhteessa esimerkiksi rakennusosien materiaalivalintoihin. Tuloksia eri ympäristövaikutusluokista on vaikea yhdistää yhdeksi numeroksi. Yksinkertaisinta on arvioida ne erikseen. (Ympäristöministeriö 2019, 9.)

4 RAKENTAMISEN VÄHÄHIILISYYS

4.1 Vähähiilisen rakentamisen tiekartta

Ympäristöministeriö on asettanut tavoitteeksi, että Suomessa rakennusten elinkaaren aikaista hiilijalanjälkeä ohjattaisiin lainsäädännöllä vuoteen 2025 mennessä. Tavoitetta varten ympäristöministeriö tilasi vuodelle 2017 selvityksen tiekartasta, jonka avulla rakentamisen hiilijalanjälkeä saataisiin pienennettyä ja Suomessa päästäisiin rakennus- ja kiinteistöalaa koskeviin ilmastotavoitteisiin. Ympäristöministeriö teki laaditun selvityksen pohjalta kolmivaiheisen tiekartan (Kuva 6), jolla ohjataan rakennusten elinkaaren aikaisia CO₂-päästöjä. Vuonna 2019, silloisen pääministeri Antti Rinteen hallitusohjelmassa, tiekartan toteutus-aikataulua päätettiin pyrkiä nopeuttamaan. Vähähiilisyys on sidottu mukaan myös käynnissä olevaan maankäyttö- ja rakennuslain kokonaisuudistukseen. (Ympäristöministeriö 2020.)

Vaiheittain vähähiiliseen rakentamiseen



Kuva 6. Ympäristöministeriön laatiman tiekartan vaiheet (Hakaste 2017, 6)

Tiekartasta vuonna 2018 valmistuneessa vaikutusarvioinnissa selvitettiin vaikuttavinta ohjauskeinoa, jollaiseksi osoittautui raja-arvoon perustuva säädosohjaus. Arvioinnissa säädosohjauksen todettiin kohdentuvan ensisijaisesti uudisrakentamiseen ja kytkeytyvän rakennuksen käytönaikaisen energiankulutuksen ohjaukseen. Vaikutusarvioinnissa todettiin, että sitovaa sääntelyä ja rakennuskohtaisia

raja-arvoja kohti mentäisiin vaiheittain vapaaehtoisen pilotoinnin, julkisten hankintojen, ilmoitusvelvollisuuden ja tärkeimpien rakennustyyppien kautta. (Ympäristöministeriö 2020.)

Hiilijalanjäljen arviointimenetelmän ensimmäisen luonnosversion kehitystyössä on ollut ympäristöministeriön virkamiesten lisäksi mukana rakennusalan asiantuntijat. Arviointimenetelmän ensimmäinen testausvaihe alkoi syksyllä 2019 ja kesti kesäkuuhun 2020 asti. Arviointimenetelmän toisen vaiheen testauksen on tarkoitus alkaa vuonna 2021. Ennen toisen vaiheen aloitusta menetelmää kuitenkin kehitetään ensimmäisen vaiheen kokemusten pohjalta. (Rakennuslehti 2019; Green Building Council 2020.)

Kansallisen päästötietokannan kehitystyö on myös käynnissä, ja siitä vastaa Suomen ympäristökeskus (SYKE). Rakennusmateriaaleista, rakentamisesta, kuljetuksista ja jätehuollosta päästötietoja keräävää tietokantaa valmistellaan yhteistyössä rakennusalan toimijoiden kanssa. Ensimmäinen versio tietokannasta on tarkoitus saada valmiiksi vuoden 2020 aikana. (Rakennuslehti 2019.)

Vähähiilisen rakentamisen tiekartan eteneminen vuodesta 2020 eteenpäin sisältää muun muassa lakien ja asetusten luonnostelun, tietokannan jatkokehityksen, raja-arvojen määrittämisen ja harmonisoinnin muiden maiden kanssa. Tiekartatyön etenemisestä on tehty alustava aikataulu (Kuva 7) mutta siihen voi tulla vielä muutoksia. (Kuittinen & Hakaste 2020, 12.)



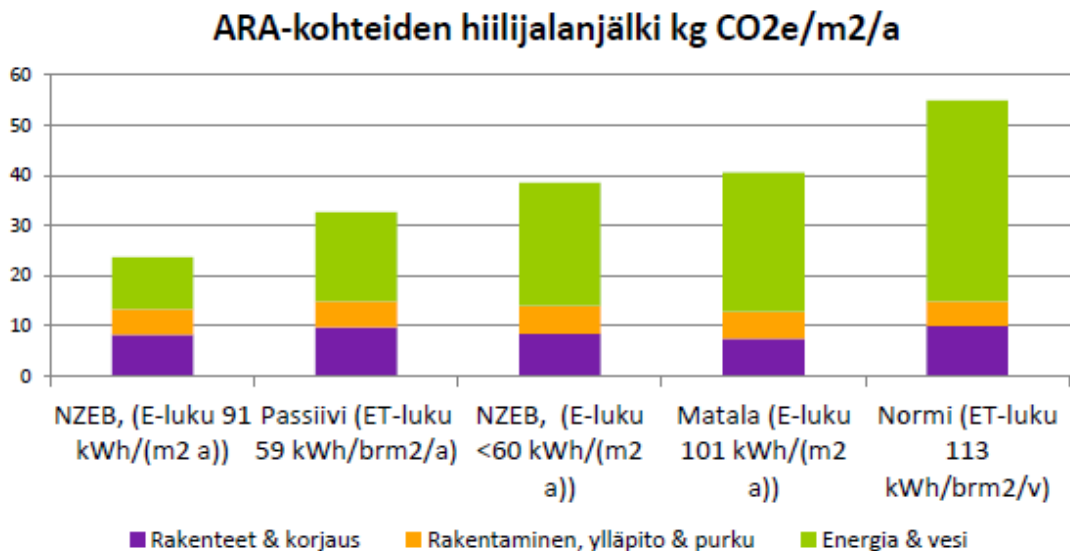
Kuva 7. Tiekartatyön etenemisen alustava aikataulu (Kuittinen & Hakaste 2020, 12)

4.2 Hiilijalanjälki

4.2.1 Hiilijalanjälki käsitteenä

Hiilijalanjälki on elinkaariarvioinnissa käytettävä indikaattori, jolla kuvataan rakennuksen elinkaaren aikana ilmastoon tuottamia kasvihuonekaasupäästöjä. Päästöjen alkuperä voi olla joko suoraan tai välillisesti rakennuksen eri vaiheisiin liittyvä. Hiilijalanjäljen tarkoituksena on ilmaista selkeästi eri tuotteiden vaikutus ilmastoon. (Kujala 2018.)

Rakennusten elinkaaren hiilijalanjälkeä aiheuttavat rakennusmateriaalien valmistus, kuljetukset, työmaatoiminnot, kunnossapito ja korjaus, materiaalien vaihdot, energian ja veden kulutus sekä rakennuksen purkaminen ja materiaalien loppukäsittely. Hiilijalanjäljestä suurin osa on nykyisin peräisin rakennuksen käytönaikeisesta energiankulutuksesta. Tutkimukset ovat kuitenkin osoittaneet, että myös rakennusmateriaalien osuus päästöistä on merkittävä ja tulee tulevaisuudessa korostumaan lisää. Kuvassa 8 on esitetty, miten energiatehokkuuden parantuminen vaikuttaa materiaalien päästöosuuden kasvamiseen. (Bionova 2017, 11.)



Kuva 8. Energiatehokkuuden vaikutus rakennuksen elinkaari päästöjen suhteelliseen osuuteen (Bionova 2017, 11)

Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkeen voidaan vaikuttaa tehokkaimmin hanke- ja suunnitteluvaiheissa (Kuva 9). Hiilijalanjälki tulisi ottaa huomioon jo

hankkeen alkuvaiheessa. Mikäli hiilijalanjäljen huomiointi jää myöhempisiin vaiheisiin, on todennäköistä, että muut tavoitteet menevät edelle ja hiilijalanjäljen ohjauksen vaikutus jää pieneksi. (Bionova 2017, 72.)



Kuva 9. Hankkeen eteneminen, kyky vaikuttaa päästöihin ja päästövaikutusten tunteminen (Green Building Council 2013, 35)

4.2.2 Hiilijalanjäljen laskeminen

Hiilijalanjäljen laskenta suoritetaan summaamalla yhteen elinkaaren eri vaiheiden kasvihuonekaasupäästöt. Laskentaan sisältyy rakennusten elinkaariarvioinnin mukaisesti seuraavat vaiheet: tuotevaihe, rakentaminen, käyttövaihe ja elinkaaren loppu sekä mahdolliset rakennuksen elinkaaren ulkopuolelle jäävät hyödyt ja haitat.

Tuotevaiheen hiilijalanjälki lasketaan rakennukseen, tontille ja keskeisiin taloteknisiin järjestelmiin suunnitelluista tuotteista. Laskennassa huomioitavat rakennusosat ja niiden rajaukset on lueteltu taulukossa 1. Laskennassa otetaan huomioon myös työmaalla mahdollisesti syntyvä ylijäämä tai hukka. (Kuittinen 2019, 17.)

Taulukko 1. Rakennusosien rajaukset rakennuksen hiilijalanjäljen laskennassa (Kuittinen 2019, 18)

	Sisältyy arviointiin	Ei sisälly arviointiin
Tontti	+ Maaosat + Tuennat ja vahvistukset + Paallysteet + Alueen rakenteet	- Alueen varusteet - Kasvillisuus - Kasvillisuuden, maaperän tai vesistöjen muutoksista aiheutuvat ilmastovaikutukset
Kantavat rakenteet	+ Perustukset + Alapohjat + Runko + Julkisivut, ovet ja ikkunat + Ulkotasot + Kattorakenteet	- Tuotteisiin kuulumattomat erilliset naulat, ruuvit, liimat, tiivisteet, saumat ja muut kiinnikkeet
Täydentävät rakenteet	+ Väliseinät ja ovet + Portaat + Pintarakenteet + Tyypilliset kiintokalusteet + Hormit ja tulisijat + Tilaelementit	- Pintamateriaalit ja listat - Pintakäsittelyt ja maalaukset - Tuotteisiin kuulumattomat erilliset naulat, ruuvit, liimat, tiivisteet, saumat ja muut kiinnikkeet
Talotekniikka	+ Lämmitysjärjestelmät + Vesi- ja viemärijärjestelmät + Ilmastointijärjestelmät + Jaähdytysjärjestelmät + Sprinklerit + Sähköjärjestelmät + Hissit	- Tietotekniset järjestelmät - Taloautomaatio - Varavirtajärjestelmät - Liukuportaat - Erilliset koneet ja laitteet
Työmaa	+ Työmaalla kulutettu energia	- Telineet, suojaukset - Valiaikaiset rakenteet, muotit ja tekniset laitteet - Työmaatilojen elinkaari - Työmaan henkilöliikenne

Rakentamisvaiheen hiilijalanjäljen laskennassa otetaan huomioon kuljetuksista ja rakennustyömaasta aiheutuvat hiilipäästöt. Laskennassa huomioidaan kaikki rakennustuotteiden, materiaalien ja maamassojen kuljetukset rakennustyömaalle sekä rakennusjätteiden kuljetukset jätteenkäsittelyyn. Laskentaan sisältyy myös kuljetusten mahdolliset välivarastointi- tai esivalmistuspaikat. Työmaan hiilijalanjälki lasketaan puolestaan kulutetun ostoenergian ja polttoaineiden päästöjen pohjalta. Laskennassa otetaan huomioon työmaan valaistuksesta, kuivatuksesta, lämmityksestä, toimisto- ja taukutilojen käytöstä sekä muista vastaavista toimista aiheutuva energiantarve. (Kuittinen 2019, 23, 27.)

Käyttövaiheen hiilijalanjäljen laskennassa huomioidaan rakennustuotteiden vaihdot. Vaihto lasketaan kaikille rakennustuotteille, joilla on rakennuksen tavoiteikää

lyhyempi tekninen käyttöikä. Vaihtojen arviointi voidaan tehdä joko valmiiden taulukkoarvojen mukaan tai laskemalla ne kaavan (Kuva 10) mukaan. Laskennassa rakennukseen vaihdettavien rakennustuotteiden oletetaan aina olevan uusia. Laskennassa ei kuitenkaan oteta huomioon rakennukselle sen elinkaaren aikana tehtäviä laajamittaisia korjauksia. Korjaustyömaasta ja sen kuljetuksista aiheutuva hiilijalanjälki lasketaan samoilla periaatteilla kuin rakentamisvaiheessa. (Kuittinen 2019, 19, 24.)

Kaava 1. Tuotteiden vaihtovälin laskenta

$$\text{Vaihtoväli} = \left[\left(\frac{\text{Rakennuksen tavoitekäyttöikä vuosina}}{\text{Tuotteen suunnittelukäyttöikä vuosina}} \right) - 1 \right]$$

Kuva 10. Tuotteiden vaihtovälin laskennassa käytettävä kaava (Kuittinen 2019, 20)

Käyttövaiheen hiilijalanjäljen laskennassa otetaan huomioon myös käyttövaiheen ostoenergiankulutus. Hiilijalanjälki lasketaan kertomalla yhteen rakennuksen laskennallinen ostoenergiankulutus ja käytetyn energiamuodon päästökerroin. Laskennassa käytettävä ostoenergiankulutus määritetään rakennuksen energiatehokkuudesta annetun asetuksen mukaan. Mikäli rakennukselle ei ole laadittu energiaselvitystä, arvioidaan laskennallinen ostoenergiankulutus asetuksen mukaisella laskentamenetelmällä. (Kuittinen 2019, 29.)

Elinkaaren loppuvaiheen hiilijalanjäljen laskennassa huomioidaan jätteenkäsittelystä ja loppusijoituksesta aiheutuvat päästöt. Laskennassa jätemateriaalien määrän oletetaan olevan sama kuin rakennuksen valmistusvaiheessa käytettyjen materiaalien määrän. Eri jätemateriaalien hiilijalanjäljen arviointiin käytetään laskennassa rakennustuotteiden päästötietokannan materiaaliluokkoittaisia skenaarioita. Mikäli rakennusmateriaaleja hyötykäytetään energiana, ilmoitetaan hyödyntämisestä syntyvät ympäristöhaitat rakennuksen elinkaaren ulkopuolisina vaikutuksina ja vastaavasti syntyvät hyödyt hiilikädenjälkenä. (Kuittinen 2019, 21.)

4.3 Hiilikädenjälki

Hiilikädenjälki on hiilijalanjäljen rinnalle kehitetty konsepti, jolla ilmaistaan tuotteen, prosessin tai palvelun käyttäjälle syntyviä ilmastohyötyjä. Hiilikädenjäljellä korostetaan näin myönteisiä vaikutuksia, kun taas hiilijalanjälki ilmaisee kielteisiä vaikutuksia. Hiilikädenjälki on oma mittarinsa, eikä sitä vähennetä hiilijalanjäljestä. (Laine ym. 2020, 62–63.)

Hiilikädenjäljen laskennassa otetaan huomioon sellaiset rakennuksen elinkaaren aikana saavutettavat ilmastohyödyt, joita ei syntyisi ilman rakennushanketta. Ilmastohyötyjä ovat esimerkiksi rakennusosien ja materiaalien uudelleenkäytön kautta vältetyt kasvihuonekaasupäästöt, rakennuksessa tai tontilla tuotettu ylimääräinen uusiutuva energia, rakennusmateriaaleihin varastoitunut eloperäinen hiili sekä niihin ilmakehästä elinkaaren aikana mahdollisesti sitoutunut hiilidioksidi. (Kuittinen 2019, 30.)

Hiilikädenjäljen laskenta on verrattain uusi konsepti, jonka vuoksi sille ei ole vielä vakiintunutta kansainvälistä standardia. Suomessa hiilikädenjäljen laskentaa on kehittänyt Teknologian tutkimuskeskus VTT yhteistyössä Lappeenrannan-Lahden teknillisen yliopisto LUT:n kanssa. (Laine ym. 2020, 62–63.)

4.4 Hiilipäästöjen yhteenveto ja raportointi

Rakennuksen hiilipäästöjen laskennasta saadut tulokset ilmoitetaan hiilidioksidiekvivalenttien painona jaettuna rakennuksen lämmitetyllä nettopinta-alalla ja arviointiajanjakson pituudella ($\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2/\text{a}$). Hiilijalanjäljen osalta tulos ilmoitetaan positiivisena kokonaislukuna ja hiilikädenjäljen osalta negatiivisena kokonaislukuna. Laskennasta saadut tulokset esitetään liitteessä 1 esitetyn taulukon mukaisesti erikseen seuraaville elinkaaren vaiheille: (Kuittinen 2019, 34–35.)

- ennen käyttöä (moduulit A1–5)
- käytön aikana (moduulit B3–4, B6)
- käytön jälkeen (moduulit C1–4)
- elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset (moduuli D)

Laskennassa käytetyn tiedon laatu tulee myös raportoida. Liitteen 2 taulukossa on esitetty ohjeet tietojen laadun raportointiin sekä tiedon laadulliset vähimmäisvaatimukset. Elinkaaren vaiheiden A1–3 tai B6 osalta laadun arviointia ei tarvitse tehdä. Laadun arviointia ei tarvitse tehdä myöskään silloin, kun arvioinnissa käytetään liitteiden 3 ja 4 taulukoiden mukaisia arvoja. (Kuittinen 2019, 36.)

5 HIILIJALANJÄLKILASKENNAN LÄHTÖTIEDOT

5.1 Tarkoitus, tavoite ja rajaukset

Opinnäytetyössä tarkoituksena on tehdä vertailua seinärakenteen materiaalien vaikutuksesta pientalon hiilijalanjälkeen ja löytää kohteelle pienimmän hiilijalanjäljen aiheuttava seinärakenne. Vertailua varten opinnäytetyöhön on luotu kuvitteellinen, hankesuunnitteluvaiheessa oleva pientalokohde, jolle laskenta suoritetaan.

Työssä kohteelle suunnitellaan yhteensä yhdeksän erilaista seinärakennetta. Seinärakenteet on jaettu kolmeen eri ryhmään kantavan rungon mukaisesti. Ryhmät ovat puuranka-, massiivipuu- ja kiviseinät. Jokaiseen ryhmään luodaan kolme erilaista seinärakennetta, joiden hiilijalanjälkeä verrataan keskenään.

Muiden rakenteiden osalta kohteelle luodaan yhdet rakennetyypit, joita laskennassa käytetään. Rakennetyypit pyritään valitsemaan siten, että ne soveltuvat toteutettaviksi kaikkien suunniteltujen seinärakenteiden kanssa.

Kohteelle tehtävä laskenta on päätetty rajata koskemaan vain tuotevaiheesta A1-A3 aiheutuvaa hiilijalanjälkeä. Laskentaan ei otettu mukaan muita vaiheita, koska näiden laskentaan olisi tarvittu enemmän lisätietoja kohteesta.

5.2 One Click LCA -laskentaohjelma

Opinnäytetyössä hiilipäästöjen laskenta on suoritettu Bionovan kehittämällä One Click LCA -ohjelmalla. Ohjelma oli käytössä kokonaisuudessaan Bionovalta saadun opiskelijalisenssin kautta.

One Click LCA -ohjelma on rakennusalalle kehitetty elinkaariarviointityökalu. One Click LCA:lla on mahdollista tehdä elinkaarivaikutusten arviointia aina konseptivaiheesta tulosten todentamiseen ja seurantaan asti. Ohjelman avulla rakennuttajat, suunnittelijat ja arkkitehdit pystyvät helposti ja nopeasti arvioimaan rakentamisen ympäristövaikutuksia ja elinkaarikustannuksia. Ohjelma on käytössä

yli 60 eri maassa ja se on tällä hetkellä maailman johtava rakennusalan elinkaarivaihtoehtoyökalu. Ohjelmaa käyttävät esimerkiksi ympäristökonsulentit, tuotevalmistajat, tutkimuslaitokset ja tilaajat. (Saint-Gobain 2020.)

Laskennassa ohjelma hyödyntää lähteenä lähes kaikkia EPD (Environmental Product Declaration) tietokantoja, joista on kerätty ohjelman tietokantaan valmistajakohtaisia- ja keskimääräisiä paikallisia päästötietoja. Ohjelmasta laajasti löytyvät valmistajakohtaiset tiedot antavat mahdollisuuden erittäin tarkkoihin laskentatuloksiin. Toisaalta ohjelmasta löytyvät keskimääräiset tiedot mahdollistavat laskennan myös silloin, kun käytettävät rakennustuotteet eivät ole vielä tarkasti tiedossa. (One Click LCA 2021.)

Laskennan suorittaminen ohjelmassa on helppoa, sillä ohjelmaan pystyy syöttämään lähtötietoja muun muassa yleisimmistä mallinnusohjelmista, rakennusten tietomalleista ja Excelistä. Ohjelmasta löytyy myös Carbon Designer-lisäosa, joka mahdollistaa alustavien hiilipäästöjen laskennan, vaikka tarkempia materiaalmääriä ei vielä olisi tiedossa.

One Click LCA -ohjelma on sertifioitu virallisen tuotehyväksyntäorganisaation toimesta ja se täyttää ISO- ja EN-standardien vaatimukset. Ohjelma tukee useita sertifiointijärjestelmiä, kuten LEED- ja BREEAM-sertifiointeja. (Bionova 2015.) Ympäristöministeriön arviointimenetelmää ohjelma on tukenut jo arviointimenetelmän lausuntoversiosta lähtien (One Click LCA 2020).

5.3 Esimerkkikohde

Hiilijalanjäljen laskenta suoritetaan hankesuunnitteluvaiheessa olevalle yksikerroksiselle omakotitalolle, jonka bruttoala on 150 m². Varhaisessa vaiheessa tehtävän laskennan vuoksi kohteesta ei ole käytettävissä rakennuspiirustuksia, joten käytettävien rakennetyyppien ja rakenteiden määrien arvioinnissa on hyödynnetty One Click LCA-ohjelman Carbon Designer työkalua. Carbon Designer työkaluun syötetyt lähtötiedot on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Rakennuksen tyyppi, ala ja kerrosluku

Kohteen lähtötiedot	
Rakennustyyppi	Omakotitalo
Bruttoala	150 m ²
Lämmitetty nettoala	130 m ²
Maanpäälliset kerrokset	1
Laskentajakso	50 vuotta

Carbon Designer -työkaluun syötettyjen lähtötietojen avulla ohjelma on määrittänyt tarkasteltaville rakenteille pinta-alatiedot. Tarkasteltavaksi valitut rakenteet on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Laskennassa mukana olevat hankkeen rakenteet

Tarkasteltava rakenteet	Laskennassa mukana
Perustukset ja pohjarakenteet	Kyllä
Alapohja	Kyllä
Runko	Kyllä
Ulkovaippa	Kyllä
Pinnat ja sisäseinät	Kyllä
Oletusarvot ja talotekniikka	Ei

Vakioina pysyvien rakenteiden määrittelyssä on käytetty hyödyksi laskentaohjelmasta löytyviä valmiita rakennetyyppejä, joita on käytetty laskennassa sellaisenaan. Rakennetyypeille on syötetty lasketut rakenteiden pinta-alat, jolloin saadaan automaattisesti niihin kuuluvien eri materiaalien määrät tietoon. Opinnäytetyössä vakiorakenteiden hiilipäästöt on ilmoitettu rakennekohtaisesti tekemättä erottelua rakenteiden eri materiaalien osuudesta.

Rakennukselle suunniteltavat seinät on jaettu kantavan rungon mukaisesti puuranka-, massiivipuu- ja kiviseiniin. Jokaiseen runkotyyppiin on suunniteltu kolme vaihtoehtoista seinärakennetta. Kaikkien seinärakenteiden julkisivumateriaaliksi

on suunniteltu puu. Yhdessä seinässä verhoiluna toimii kantava hirsirakenne ja muut seinät toteutetaan vaakapaneeliverhoilulla. Seinien eroavuudet tulevat kantavan rakenteen lisäksi ilmi pääasiassa eristeissä ja levytyksissä.

Muuttuvien seinärakenteiden osalta rakennusmateriaalien määrät on laskettu ohjelmasta löytyvien valmiiden seinärakenteiden avulla. Ohjelmasta on valittu lähin vastaavanlainen seinärakenne, jonka pohjalta on arvioitu suunnitellun seinärakenteen rakennusmateriaalien määrät. Rakennusmateriaaleiksi on muutettu ohjelmasta löytyvät materiaalit, jotka ovat lähinnä suunniteltujen seinärakenteiden materiaaleja. Opinnäytetyössä seinärakenteiden hiilipäästöt on ilmoitettu materiaalikohtaisesti, jotta seinärakenteiden hiilipäästöjä pystytään vertailemaan materiaalitasolla toisiinsa.

6 RAKENTEET JA NIIDEN HIILIJALANJÄLKI

6.1 Vakiorakenteet

Vakiorakenteet on jaoteltu One Click LCA -ohjelmassa käytettävän jaottelun mukaisesti neljään tarkasteltavaan ryhmään. Ryhmät ovat seuraavat:

- perustukset, maanalaiset rakenteet ja perusmuuri
- väliseinät ja ei-kantavat rakenteet
- alapohjat, välipohjat ja yläpohjat, palkit ja katto
- ikkunat ja ovet

Rakennuksen perustustavaksi laskennassa on määritelty sokkeli- ja anturaperustus kovalle maaperälle. Maanalaisista rakenteista routasuojaus toteutetaan EPS-eristelevyillä ja rakennuspohjan tasauskerros hiekalla. Perustusten ja maanalaisen rakenteiden määrät ja hiilipäästöt on esitetty taulukossa 4. Yhteensä rakenteista aiheutuu tuotevaiheessa hiilipäästöjä 3 760,3 kg CO₂e. Hiilijalanjäljeksi muutettuna tämä tekee yhteensä 0,58 kg CO₂e/m²/a.

Taulukko 4. Hiilipäästöt ryhmästä perustukset, maanalaiset rakenteet ja perusmuuri

Rakenne	Rakenne-/Materiaalikoodi (One Click LCA)	Määrä (m ²)	Paksuus (mm)	Tuotevaiheen A1-A3 hiilipäästöt kg CO ₂ e
Perustus	Sokkeli- ja anturaperustus, per bruttopinta-ala	150		3275,3
Routasuojaus	Eriste, EPS 100, 0,035 W/mK	34	200	340
Tasauskerros	Hiekka, tiivistetty märkä tilavuus 2082 kg/m ³	150	200	145
Tuotevaiheen A1-A3 hiilipäästöt yhteensä =				3760,3

Rakennuksen väliseiniksi on määritelty mineraalivillalla eristetyt puurankaiset kipsilevyseinät. Sisäkattona rakennuksessa on tasoitettu ja maalattu kipsilevy. Seinärakenteiden pintamateriaaliksi on määritelty kuivissa tiloissa maali ja märkätilojen osalta laatoitus. Väliseinien ja ei-kantavien rakenteiden määrät ja

hiilipäästöt on esitetty taulukossa 5. Yhteensä rakenteista aiheutuu tuotevaiheessa hiilipäästöjä 2 626,7 kg CO_{2e}. Hiilijalanjäljeksi muutettuna tämä tekee yhteensä 0,40 kg CO_{2e}/m²/a.

Taulukko 5. Hiilipäästöt ryhmästä väliseinät ja ei-kantavat rakenteet

Rakenne	Rakenne-/Materiaalikoodi (One Click LCA)	Määrä (m ²)	Paksuus (mm)	Tuotevaiheen A1-A3 hiilipäästöt kg CO _{2e}
Kantava väliseinä	Väliseinä, 100 mm, puuranka-mineraalivilla	58		690,3
Kevyt väliseinä	Väliseinä, 70 mm, puuranka-mineraalivilla	87		913,6
Sisäkatto	Kipsilevy, tasoitettu ja maalattu	130		458,4
Seinälaatoitus	Märkätilojen seinälaatoitus	62		478,3
Seinämaali	Vesiohenteiset sisämaalit	354	0,111	86,1
Tuotevaiheen A1-A3 hiilipäästöt yhteensä =				2626,7

Alapohjarakenteeksi rakennukseen on määritelty maanvarainen EPS-eristetty betonilaatta. Rakennuksen yläpohja toteutetaan NR-ristikkorakenteena ja vesikatteena toimii kaksikerroksinen bitumikate. Lattian pintamateriaaliksi on määritelty kuivissa tiloissa laminaatti ja märkätilojen osalta laatoitus. Vaakarakenteiden määrät ja hiilipäästöt on esitetty taulukossa 6. Yhteensä rakenteista aiheutuu tuotevaiheen hiilipäästöjä 11 826,8 kg CO_{2e}. Hiilijalanjäljeksi muutettuna tämä tekee yhteensä 1,82 kg CO_{2e}/m²/a.

Taulukko 6. Hiilipäästöt ryhmästä alapohjat, välipohjat ja yläpohjat, palkit ja katto

Rakenne	Rakenne-/Materiaalikoodi (One Click LCA)	Määrä (m ²)	Paksuus (mm)	Tuotevaiheen A1-A3 hiilipäästöt kg CO _{2e}
Alapohja	Pientalon maanvarainen alapohja, betoni, EPS-eriste	150		5071,8
Yläpohja	Harjakatto, NR-ristikko/puuristikko	150		4629
Vesikate	Kaksikerroksinen bitumikate	180		664
Lattialaatoitus	Keramiikkalaattalattia	20		154
Lattiapinnoite	Laminaattilattia	110		1308
Tuotevaiheen A1-A3 hiilipäästöt yhteensä =				11826,8

Rakennuksen ikkunoiksi on määritelty kolminkertaisella lasilla varustetut puu-alumiinikehysikkunat. Ulko-oviksi on määritelty puurakenteiset ovet. Ikkunoiden ja ovien määrät sekä hiilipäästöt on esitetty taulukossa 7. Yhteensä rakenteista aiheutuu tuotevaiheen hiilipäästöjä 2 335,2 kg CO₂e. Hiilijalanjäljeksi muutettuna tämä tekee yhteensä 0,36 kg CO₂e/m²/a.

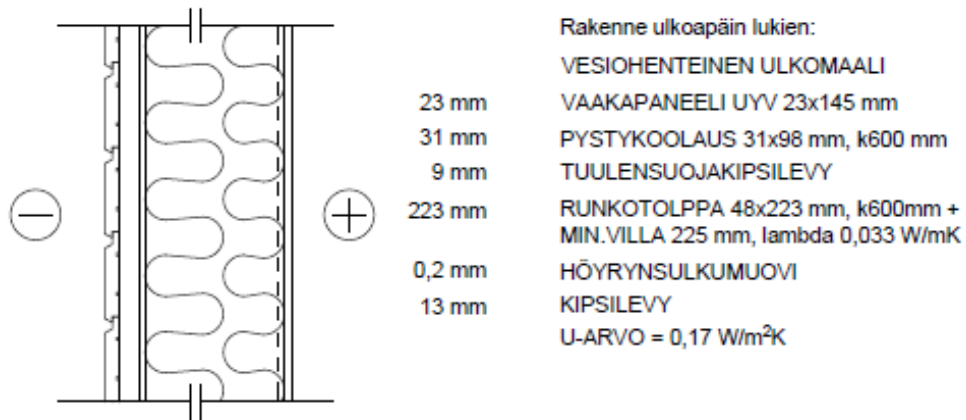
Taulukko 7. Hiilipäästöt ryhmästä ikkunat ja ovet

Rakenne	Rakenne-/Materiaalikoodi (One Click LCA)	Määrä (m ²)	Paksuus (mm)	Tuotevaiheen A1-A3 hiilipäästöt kg CO ₂ e
Ikkunat	Ikkuna, kolminkertainen lasi, puu-alumiinikehys, U-arvo 1	30		2280
Ovet	Ulko-ovi, puurakenteinen	3		55,2
Tuotevaiheen A1-A3 hiilipäästöt yhteensä =				2335,2

Laskemalla yhteen rakenteiden hiilijalanjäljet, saadaan rakennuksen tuotevaiheen hiilijalanjäljeksi 3,16 kg CO₂e/m²/a. Tulos ei sisällä ulkoseinien aiheuttamia hiilipäästöjä. Lopullinen rakennuksen tuotevaiheen hiilijalanjälki saadaan lisäämällä laskettuun lukemaan seinärakenteen päästöt, jotka lasketaan opinnäytetyön seuraavassa luvussa.

6.2 Puurankaseinät

Ensimmäisenä vaihtoehtoisena puurankaseinänä tarkastellaan lasivillaeristeistä seinää, jossa höyrynsulkuna toimii muovi. Seinärakenteen sisäverhous- ja tuulensuojalevyt ovat kipsilevyä. Ulkoverhouksena seinässä on vaakaan asennettava UYV-puupaneeli. Seinän rakennemateriaalit ja kerrospaksuudet on esitetty kokonaisuudessaan kuvassa 11.



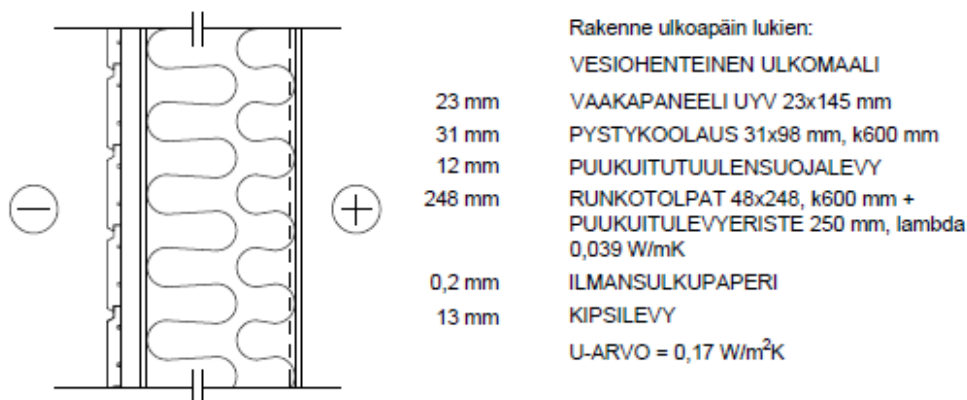
Kuva 11. Rakenneleikkaus lasivillaeristeisestä puurankaseinästä

Seinärakenteessa käytettyjen rakennusmateriaalien määrät ja materiaaliikohtaiset, tuotevaiheen hiilipäästöt on esitetty taulukossa 8. Seinärakenteen materiaalit aiheuttavat tuotevaiheen hiilipäästöjä yhteensä 3155,8 kg CO₂e. Hiilijalanjäljeksi muutettuna tämä tekee yhteensä 0,49 kg CO₂e/m²/a. Yksittäisistä materiaaleista laskennassa nousee erityisesti esille lasivillaeriste, jonka osuus seinärakenteen päästöistä on 61,5 %. Loput seinärakenteen päästöt jakautuvat tasaisemmin eri rakennusmateriaalien kesken.

Taulukko 8. Lasivillaeristeisen puurankaseinän materiaalit ja hiilipäästöt

Rakennekerros	Materiaalikoodi (One Click LCA)	Määrä (m ²)	Paksuus (mm)	Tuotevaiheen A1-A3 hiilipäästöt kg CO ₂ e	Osuus seinärakenteen päästöistä (%)
Ulkomaali	Vesiohenteiset ulkomaalit	127	0,12	33,3	1,1
Vaakapaneeli	Julkisivu- ja lattia-laudoitus	127	23	96,4	3,1
Pystykooraus	Kuivattu sahatavara kuusi- tai mäntypuusta	22	31	49,1	1,5
Tuulensuoja	Tuulensuojalevy, 9 mm	127	9	216	6,8
Runkotolppa	Kuivattu sahatavara kuusi- tai mäntypuusta	11	223	177	5,6
Eristys	Lasivillaeristelevy, yleinen, L = 0.033 W/mK	116	225	1940	61,5
Höyrynsulku	Höyrynsulkumuovi, 0.20 mm	127	0,2	252	8
Sisäverhous	Kipsilevy, tavallinen, yleinen, 6.5-25 mm	127	13	392	12,4
Tuotevaiheen A1-A3 hiilipäästöt yhteensä =				3155,8	

Toisena vaihtoehtoisena puurankaseinänä tarkastellaan hengittävää seinärakennetta. Edelliseen puurankaseinään verrattuna seinässä muuttuvat tuulensuojalevyn ja lämmöneristeen materiaalit, jotka toteutetaan puukuidusta. Lisäksi höyrynsulkumuovi on korvattu ilmansulkupaperilla. Seinän rakennemateriaalit ja kerrospaksuudet on esitetty kokonaisuudessaan kuvassa 12.



Kuva 12. Rakenneleikkaus hengittävästä puurankaseinästä

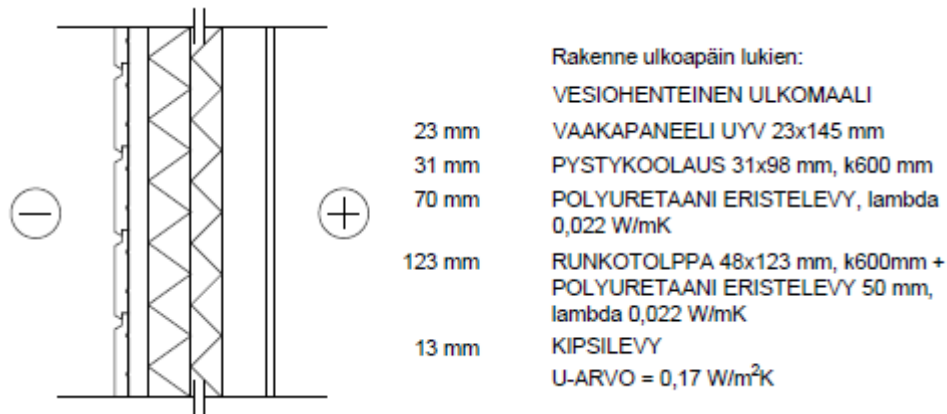
Seinärakenteessa käytettyjen materiaalien määrät ja hiilipäästöt on esitetty taulukossa 9. Laskennassa rakenteeseen suunniteltu ilmansulkupaperi on korvattu höyrynsulkumuovilla, sillä ilmansulkupaperin päästötietoja ei löytynyt ohjelman tietokannasta. Yhteensä seinärakenteen materiaaleista syntyy hiilipäästöjä 1 735,8 kg CO_{2e}. Hiilijalanjäljeksi muutettuna tämä tekee yhteensä 0,27 kg CO_{2e}/m²/a. Ensimmäisen puurankaseinän tavoin myös tässä seinärakenteessa suurimmaksi yksittäiseksi hiilipäästöjen lähteeksi osoittautui lämmöneriste, jonka osuus seinän kokonaishiilipäästöistä on 28 %. Materiaaleista ei kuitenkaan nouse päästöjen lähteenä yksikään selkeästi ylitse muiden.

Taulukko 9. Hengittävän puurankaseinän materiaalit ja hiilipäästöt

Rakennekerros	Materiaalikoodi (One Click LCA)	Määrä (m ²)	Paksuus (mm)	Tuotevaiheen A1-A3 hiilipäästöt kg CO _{2e}	Osuus seinärakenteen päästöistä (%)
Ulkomaali	Vesiohenteiset ulkomaalit	127	0,12	33,3	1,9
Vaakapaneeli	Julkisivu- ja lattia-laudoitus	127	23	96,4	5,6
Pystykoola	Kuivattu sahatavara kuusi- tai mäntypuusta	22	31	49,1	2,8
Tuulensuoja	Windbreaker, 12/19/25 mm, 230 kg/m ³ , Hunton Vindtett (Hunton Fiber)	127	12	229	13,2
Runkotolppa	Kuivattu sahatavara kuusi- tai mäntypuusta	11	248	196	11,3
Lämmöneristys	Wood fiber insulation plate, Lambda = 0.038 W/mK, 50 kg/m ³ , Lambda=0.038 W/(m.K) (Hunton)	116	250	488	28,1
Höyrynsulku	Höyrynsulkumuovi, 0.20 mm	127	0,2	252	14,5
Sisäverhous	Kipsilevy, tavallinen, yleinen, 6.5-25 mm	127	13	392	22,6
Tuotevaiheen A1-A3 hiilipäästöt yhteensä =				1735,8	

Kolmantena vaihtoehtoisena puurankaseinänä tarkastellaan edeltävistä puurankaseinistä poiketen kovalla lämmöneristeellä tehtyä seinää. Lämmöneristeenä seinärakenteessa on polyuretaanieristelevy.

Seinärakenteessa ei ole erillistä höyryn- tai tuulensulkua, sillä seinärakenteen polyuretaanilevy toimii myös näihin tarkoituksiin. Seinän rakennemateriaalit ja kerrospaksuudet on esitetty kokonaisuudessaan kuvassa 13.



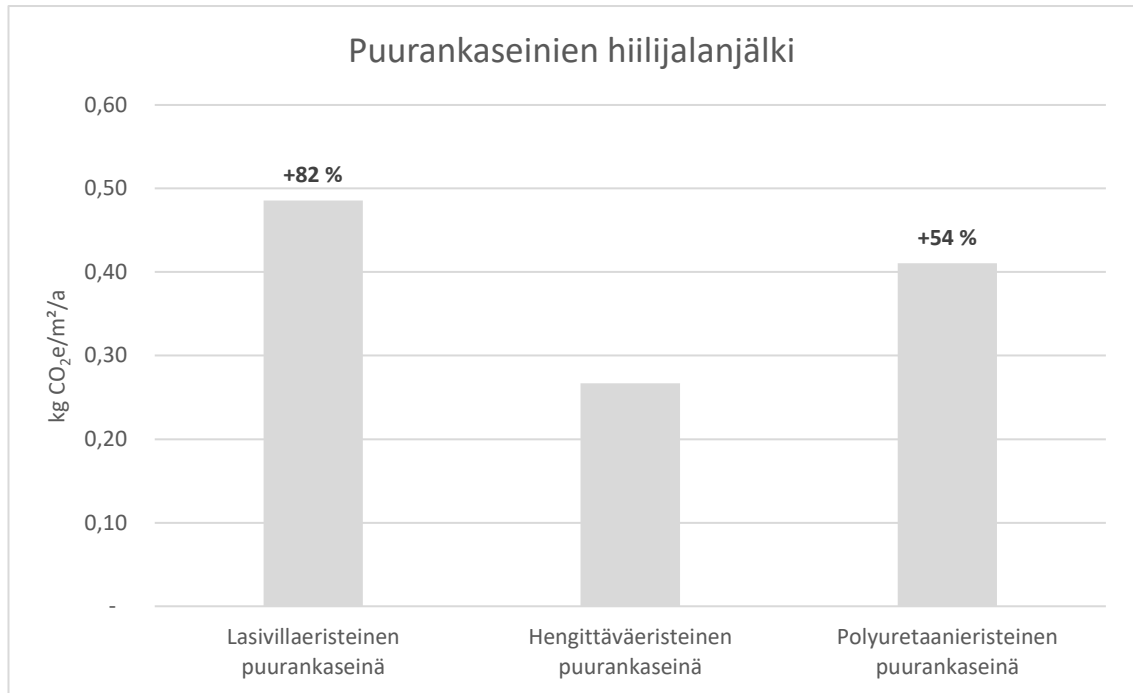
Kuva 13. Rakenneleikkaus polyuretaanieristeisestä puurankaseinästä

Seinärakenteessa käytettyjen rakennusmateriaalien määrät ja hiilipäästöt on esitetty taulukossa 10. Seinärakenteen materiaaleista aiheutuu hiilipäästöjä yhteensä 2 669,2 kg CO_{2e}. Hiilijalanjäljeksi muutettuna tämä tekee yhteensä 0,41 kg CO_{2e}/m²/a. Edellisten puurankaseinien tavoin myös tässä seinärakenteessa suurimmaksi yksittäiseksi hiilipäästöjen lähteeksi osoittautui lämmöneriste, jonka osuus seinän kokonashiilipäästöistä on 75 %.

Taulukko 10. Polyuretaanieristeisen puurankaseinän materiaalit ja hiilipäästöt

Rakennekerros	Materiaalikoodi (One Click LCA)	Määrä (m ²)	Paksuus (mm)	Tuotevaiheen A1-A3 hiilipäästöt kg CO ₂ e	Osuus seinärakenteen päästöistä (%)
Ulkomaali	Vesiohenteiset ulkomaalit	127	0,12	33,3	1,2
Vaakapaneeli	Julkisivu- ja lattia-laudoitus	127	23	96,4	3,6
Pystykoolaus	Kuivattu sahatavara kuusi- tai mäntypuusta	22	31	49,1	1,8
Lämmöneristys	Insulation panels, two-side laminated, 0.023W/mK	127	70	1210	45,3
Runkotolppa	Kuivattu sahatavara kuusi- tai mäntypuusta	11	123	97,4	3,6
Lämmöneristys	Insulation panels, two-side laminated, 0.023W/mK	116	50	791	29,6
Sisäverhous	Kipsilevy, tavallinen, yleinen, 6.5-25 mm	127	13	392	14,7
Tuotevaiheen A1-A3 hiilipäästöt yhteensä =				2669,2	

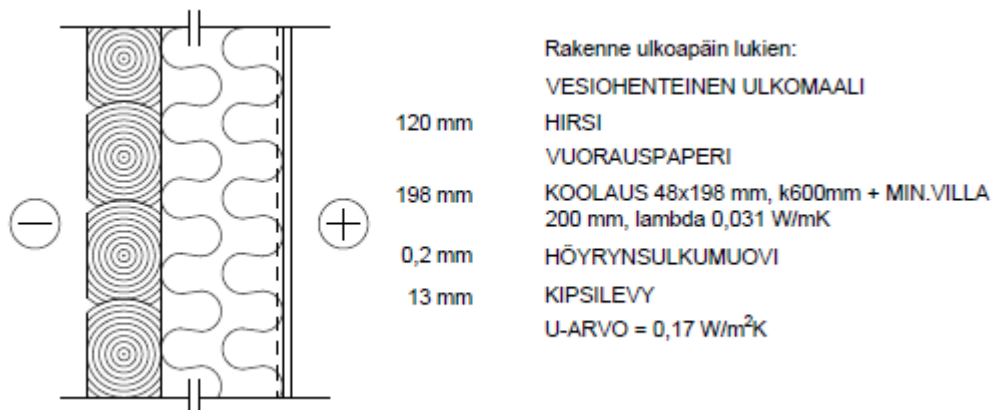
Puurankaseinien keskinäisessä vertailussa pienimmän hiilijalanjäljen saavutti hengittävä seinärakenne (Kuvio 1). Toiseksi vertailussa tuli polyuretaanieristeinen seinärakenne, jonka päästöt ovat hengittävään seinärakenteeseen verrattuna 54 % suuremmat. Suurimman hiilijalanjäljen aiheuttajaksi osoittautui mineraalivillaeristeinen seinä, jonka päästöt ovat hengittävään seinärakenteeseen verrattuna 82 % suuremmat.



Kuvio 1. Yhteenveto puurankaseinien hiilijalanjäljistä

6.3 Massiivipuuseinät

Ensimmäisenä vaihtoehtoisena massiivipuuseinäenä tarkastellaan lämpöeristettyä hirsiseinää. Seinän hirsirunko toimii rakenteessa myös ulkoverhouksena. Eristyksenä seinässä on sisäpuolelle asennettava mineraalivillaeriste ja höyrynsulkuna toimii muovi. Seinän sisäverhouslevytys on suunniteltu toteutettavaksi kipsilevystä. Seinän rakennemateriaalit ja kerrospaksuudet on esitetty kokonaisuudessaan kuvassa 14.



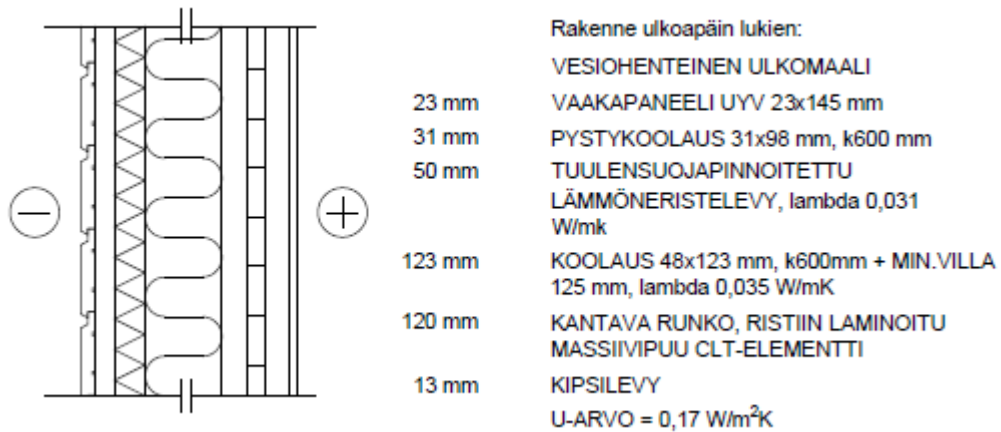
Kuva 14. Rakenneleikkaus lämpöeristettyä hirsiseinästä

Seinärakenteessa käytettyjen materiaalien määrät ja hiilipäästöt on esitetty taulukossa 11. Laskennasta on jätetty pois rakenteeseen suunniteltu vuorauspaperi, sillä vuorauspaperin päästötietoja ei löytynyt ohjelman tietokannasta. Yhteensä seinärakenteen materiaaleista syntyy hiilipäästöjä 3490,3 kg CO_{2e}. Hiilijalanjäljeksi muutettuna tämä tekee yhteensä 0,54 kg CO_{2e}/m²/a. Yksittäisistä materiaaleista laskennassa nousee erityisesti esille hirsi, jonka osuus seinärakenteen päästöistä on 70 %. Loput seinärakenteen päästöt jakautuvat tasaisesti eri rakennusmateriaalien kesken.

Taulukko 11. Eristetyn hirsiseinän materiaalit ja hiilipäästöt

Rakennekerros	Materiaalikoodi (One Click LCA)	Määrä (m ²)	Paksuus (mm)	Tuotevaiheen A1-A3 hiilipäästöt kg CO _{2e}	Osuus seinärakenteen päästöistä (%)
Ulkomaali	Vesiohenteiset ulkomaalit	127	0,12	33,3	1,0
Hirsirunko	Hirsiseinärakenne, mänty tai kuusi	127	120	2440	69,9
Pystykoolaus	Kuivattu sahatavara kuusi- tai mäntypuusta	11	198	157	4,5
Lämmöneristys	Lasivillaeristelevy, yleinen, L = 0.031 W/mK	116	200	216	6,2
Höyrynsulku	Höyrynsulkumuovi, 0.20 mm	127	0,2	252	7,2
Sisäverhous	Kipsilevy, tavallinen, yleinen, 6.5-25 mm	127	13	392	11,2
Tuotevaiheen A1-A3 hiilipäästöt yhteensä =				3490,3	

Toisena vaihtoehtoisena massiivipuuseinänä tarkastellaan seinärakennetta, jonka kantavana runkona toimii CLT-elementti. Eristyksenä seinässä on mineraalivillaeriste ja tuulensuojaus on suunniteltu tehtäväksi tuulensuojapinnoitetulla lämmöneristelevyllä. Seinässä ei ole erillistä höyrynsulkua, sillä CLT-elementin puukerrokset ja liimakalvot muodostavat yhdessä tiiviin höyrynsulkurakenteen. Seinän sisäverhouslevytyks on suunniteltu toteutettavaksi kipsilevystä. Seinän rakennemateriaalit ja kerrospaksuudet on esitetty kokonaisuudessaan kuvassa 15.



Kuva 15. Rakenneleikkaus lasivillaeristeisestä CLT-seinästä

Seinärakenteessa käytettyjen materiaalien määrät ja hiilipäästöt on esitetty taulukossa 12. Yhteensä seinärakenteen materiaaleista aiheutuvia hiilipäästöjä syntyy 2 230,2 kg CO₂e. Hiilijalanjäljeksi muutettuna tämä tekee yhteensä 0,34 kg CO₂e/m²/a. Seinärakenteen suurimmaksi yksittäiseksi hiilipäästöjen lähteeksi laskennassa osoittautui CLT-elementti, jonka osuus seinän kokonaishiilipäästöistä on 33 %. Materiaaleista ei kuitenkaan nouse päästöjen lähteenä yksikään selkeästi ylitse muiden.

Taulukko 12. Lasivillaeristeisen CLT-seinän materiaalit ja hiilipäästöt

Rakennekerros	Materiaalikoodi (One Click LCA)	Määrä (m ²)	Paksuus (mm)	Tuotevaiheen A1-A3 hiilipäästöt kg CO ₂ e	Osuus seinärakenteen päästöistä (%)
Ulkomaali	Vesiohenteiset ulkomaalit	127	0,12	33,3	1,5
Vaakapaneeli	Julkisivu- ja lattia-laudoitus	127	23	96,4	4,3
Pystykooraus	Kuivattu sahatavara kuusi- tai mäntypuusta	22	31	49,1	2,2
Tuulensuoja	Lasivillaeriste, lasikuitupinnoite	127	50	430	19,3
Koraus	Kuivattu sahatavara kuusi- tai mäntypuusta	11	123	97,4	4,4
Lämmöneristys	Glass wool insulation, 35 mm, 0.035 W/mK	116	125	402	18
Runko	Ristiinliimattu massiivipuu (CLT)	127	120	730	32,7
Sisäverhous	Kipsilevy, tavallinen, yleinen, 6.5-25 mm	127	13	392	17,6
Tuotevaiheen A1-A3 hiilipäästöt yhteensä =				2230,2	

Kolmannessa vaihtoehdoisessa massiivipuuseinässä kantavana runkona toimii myös CLT-elementti. Eristyksenä seinässä on polyuretaanilevy, joka toimii myös rakenteessa tuulensuojana. Myöskään tässä seinässä ei ole erillistä höyrinsulkua, sillä CLT-elementin puukerrokset ja liimakalvot muodostavat yhdessä tiiviin höyrinsulkurakenteen. Sisäverhouslevyksenä toimii myös tässä seinässä kipsilevy. Seinän rakennemateriaalit ja kerrospaksuudet on esitetty kokonaisuudessaan kuvassa 16.



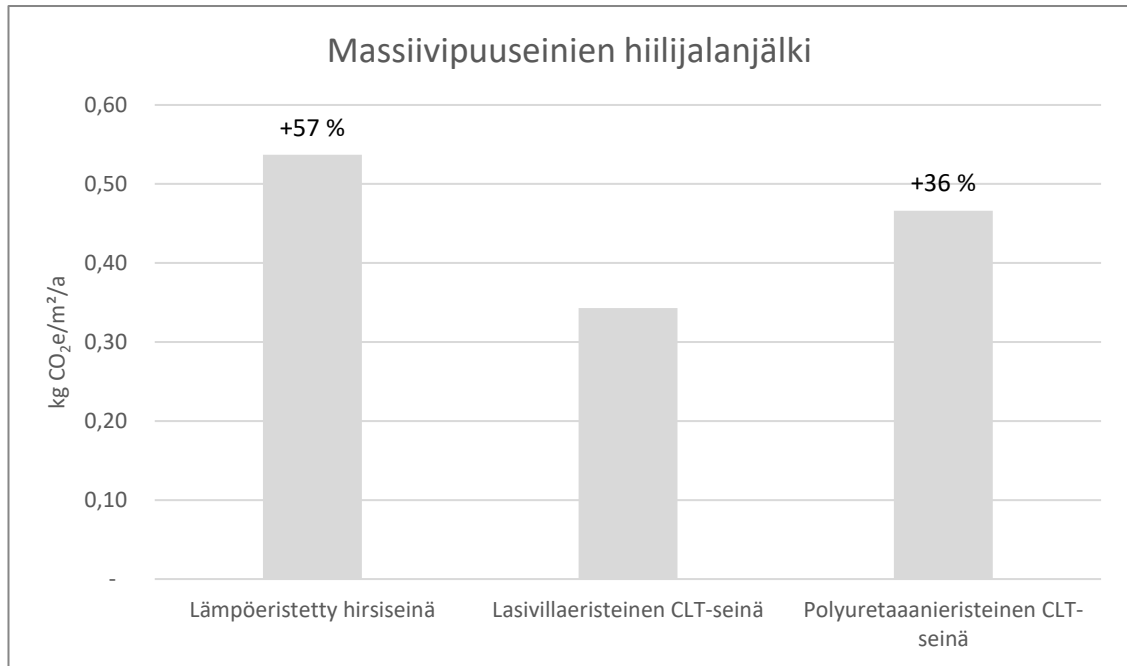
Kuva 16. Rakenneleikkaus polyuretaanieristeisestä CLT-seinästä

Seinärakenteessa käytettyjen materiaalien määrät ja hiilipäästöt on esitetty taulukossa 13. Yhteensä seinärakenteen materiaaleista aiheutuvia hiilipäästöjä syntyy 3 030,8 kg CO₂e. Hiilijalanjäljeksi muutettuna tämä tekee yhteensä 0,47 kg CO₂e/m²/a. Edellisistä massiivipuuseinistä poiketen tässä seinärakenteessa suurimmaksi yksittäiseksi hiilipäästöjen lähteeksi osoittautui lämmöneriste, jonka osuus seinän kokonaishiilipäästöistä on 57 %.

Taulukko 13. Polyuretaanieristeisen CLT-seinän materiaalit ja hiilipäästöt

Rakennekerros	Materiaalikoodi (One Click LCA)	Määrä (m ²)	Paksuus (mm)	Tuotevaiheen A1-A3 hiilipäästöt kg CO ₂ e	Osuus seinärakenteen päästöistä (%)
Ulkomaali	Vesiohenteiset ulkomaalit	127	0,12	33,3	1,1
Vaakapaneeli	Julkisivu- ja lattia-laudoitus	127	23	96,4	3,2
Pystykoola	Kuivattu sahatavara kuusi- tai mäntypuusta	22	31	49,1	1,6
Lämmöneristys	Insulation panels, two-side laminated, 0.023W/mK	127	100	1730	57,1
Runko	Ristiinliimattu massiivipuun (CLT)	127	120	730	24,1
Sisäverhous	Kipsilevy, tavallinen, yleinen, 6.5-25 mm	127	13	392	12,9
Tuotevaiheen A1-A3 hiilipäästöt yhteensä =				3030,8	

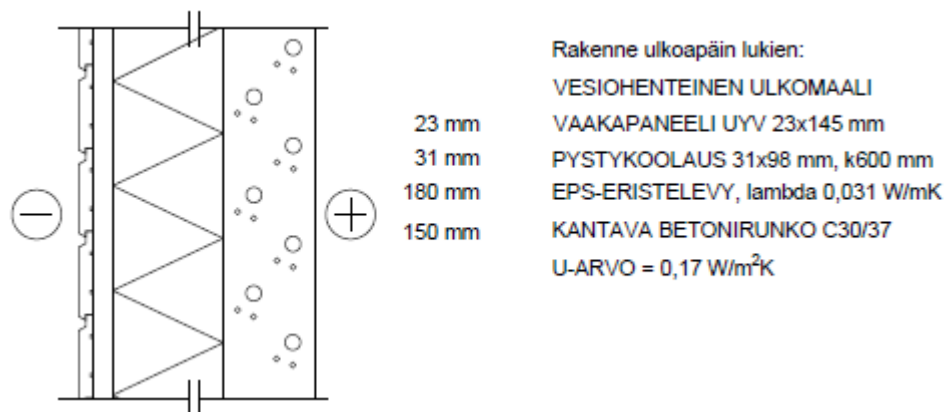
Massiivipuuseinien keskinäisessä vertailussa pienimmän hiilijalanjäljen saavutti lasivillaeristeinen CLT-seinä (Kuvio 2). Toiseksi vertailussa tuli polyuretaanieristeinen CLT-seinä, jonka päästöt ovat lasivillaeristeiseen CLT-seinään verrattuna 36 % suuremmat. Suurimman hiilijalanjäljen aiheuttajaksi osoittautui hirsirunkoinen seinä, jonka päästöt ovat lasivillaeristeiseen CLT-seinään verrattuna 57 % suuremmat.



Kuvio 2. Yhteenvedo massiivipuuseinien hiilijalanjäljestä

6.4 Kiviseinät

Kiviseinistä ensimmäisenä vaihtoehtona tarkastellaan teräsbetonirunkoista seinää, jonka eristys on toteutettu EPS-eristelevystä. Seinän rakennemateriaalit ja kerrospaksuudet on esitetty kokonaisuudessaan kuvassa 17.



Kuva 17. Rakenneleikkaus EPS-eristeisestä betoniseinästä

Seinärakenteessa käytettyjen materiaalien määrät ja hiilipäästöt on esitetty taulukossa 14. Yhteensä seinärakenteen materiaaleista syntyy hiilipäästöjä 7 250,8 kg CO₂e. Hiilijalanjäljeksi muutettuna tämä tekee yhteensä 1,12 kg CO₂e/m²/a. Yksittäisistä materiaaleista laskennassa nousee erityisesti esille

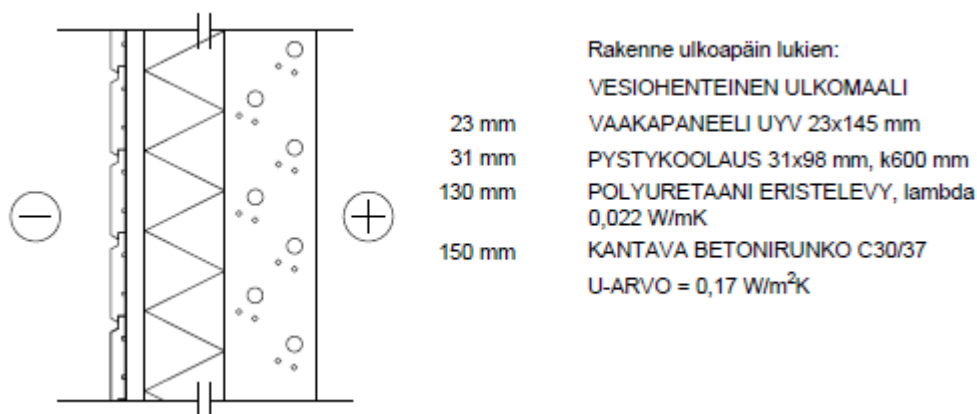
betoni ja lämmöneriste. Betonin osuus seinärakenteen päästöistä on 73 % ja lämmöneristeen 19 %.

Taulukko 14. EPS-eristeisen betoniseinän materiaalit ja hiilipäästöt

Rakennekerros	Materiaalikoodi (One Click LCA)	Määrä (m ²)	Paksuus (mm)	Tuotevaiheen A1-A3 hiilipäästöt kg CO ₂ e	Osuus seinärakenteen päästöistä (%)
Ulkomaali	Vesiohenteiset ulkomaalit	127	0,12	33,3	0,5
Vaakapaneeli	Julkisivu- ja lattia-laudoitukset	127	23	96,4	1,3
Pystykooraus	Kuivattu sahatavara kuusi- tai mäntypuusta	22	31	49,1	0,7
Lämmöneriste	Eriste, EPS, L=0.031 W/mK	127	180	1400	19,3
Betonirunko	Valmisbetoni, normaali lujuus, yleinen	127	150	5300	73,1
Raudoitus	Betoniraudoitus, yleinen	571,5 kg*		372	5,1
Tuotevaiheen A1-A3 hiilipäästöt yhteensä =				7250,8	

* Yksikkönä kilogramma

Toisena vaihtoehtoisena kiviseinänä tarkastellaan myös teräsbetonirunkoista seinää. Edelliseen kiviseinään verrattuna seinässä on kuitenkin vaihdettu eristettä lämmönjohtavuusarvoltaan parempaan polyuretaanieristeeseen. Seinän rakennemateriaalit ja kerrospaksuudet on esitetty kokonaisuudessaan kuvassa 18.



Kuva 18. Rakenneleikkaus polyuretaanieristeisestä betoniseinästä

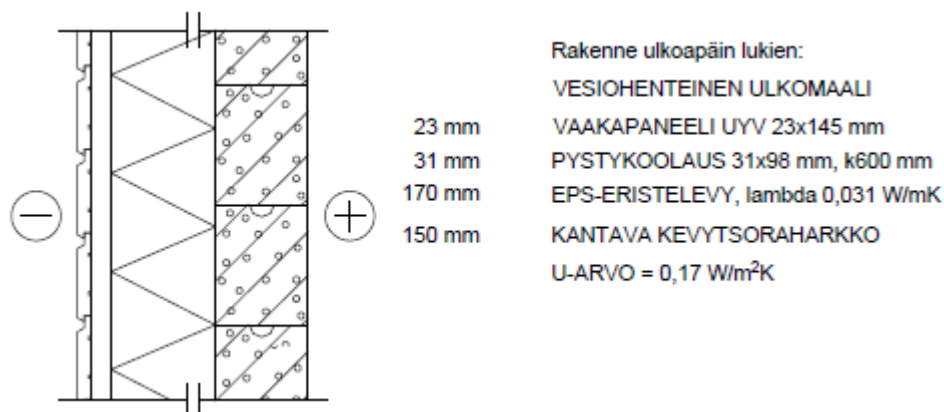
Seinärakenteessa käytettyjen materiaalien määrät ja hiilipäästöt on esitetty taulukossa 15. Yhteensä seinärakenteen materiaaleista syntyy hiilipäästöjä 8 100,8 kg CO₂e. Hiilijalanjäljeksi muutettuna tämä tekee yhteensä 1,25 kg CO₂e/m²/a. Edellisen seinärakenteen tavoin laskennassa materiaaleista nousee erityisesti esille betoni ja lämmöneriste. Betonin osuus seinärakenteen päästöistä on 65 % ja lämmöneristeen 28 %.

Taulukko 15. Polyuretaanieristeisen betoniseinän materiaalit ja hiilipäästöt

Rakennekerros	Materiaalikoodi (One Click LCA)	Määrä (m ²)	Paksuus (mm)	Tuotevaiheen A1-A3 hiilipäästöt kg CO ₂ e	Osuus seinärakenteen päästöistä (%)
Ulkomaali	Vesihöyryeristävät ulkomaalit	127	0,12	33,3	0,4
Vaakapaneeli	Julkisivu- ja lattia-laudoitukset	127	23	96,4	1,2
Pystykoolaus	Kuivattu sahatavara kuusi- tai mäntypuusta	22	31	49,1	0,6
Lämmöneriste	Insulation panels, two-side laminated, 0.023W/mK	127	130	2250	27,8
Betonirunko	Valmisbetoni, normaali lujuus, yleinen	127	150	5300	65,4
Raudoitus	Betoniraudoitus, yleinen	571,5 kg*		372	4,6
Tuotevaiheen A1-A3 hiilipäästöt yhteensä =				8100,8	

* Yksikkönä kilogramma

Kolmantena vaihtoehtoisena kiviseinänä tarkastellaan kevytsoraharkkorunkoista seinää. Eristyksenä seinässä on ensimmäisen kiviseinän tapaan EPS-eristelevy. Seinän rakennemateriaalit ja kerrospaksuudet on esitetty kokonaisuudessaan kuvassa 19.



Kuva 19. Rakenneleikkaus EPS-eristeisestä harkkoseinästä

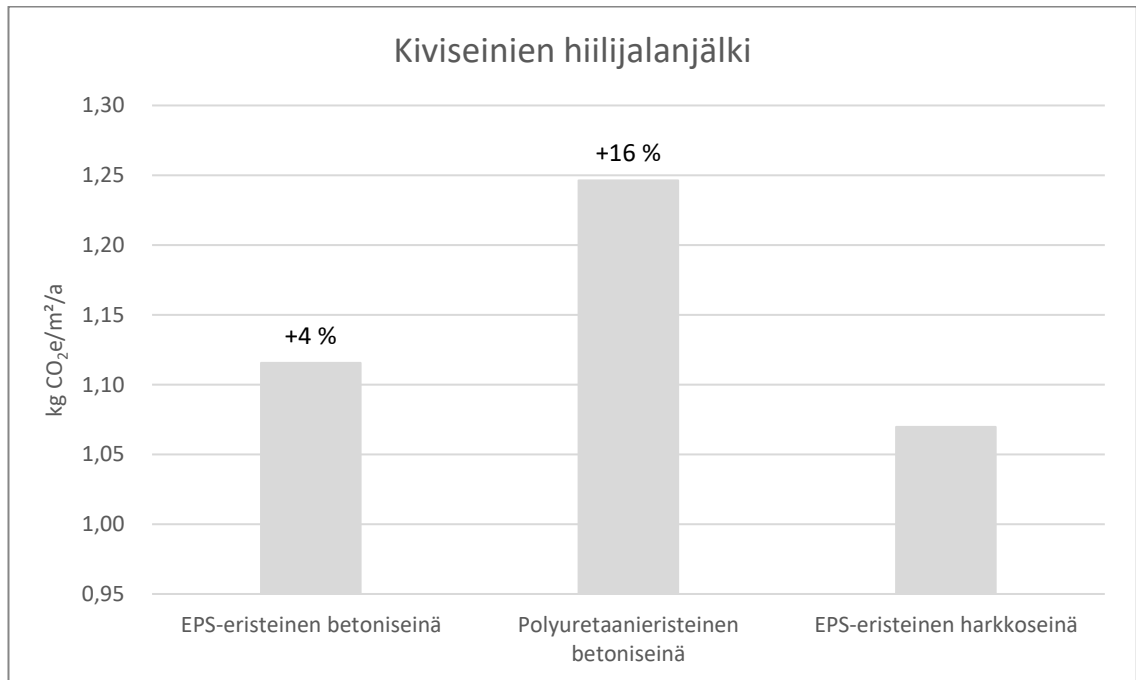
Seinärakenteessa käytettyjen materiaalien määrät ja hiilipäästöt on esitetty taulukossa 16. Yhteensä seinärakenteen materiaaleista aiheutuvia hiilipäästöjä syntyy 6 953,8 kg CO_{2e}. Hiilijalanjäljeksi muutettuna tämä tekee yhteensä 1,07 kg CO_{2e}/m²/a. Seinärakenteen materiaaleista laskennassa nousee erityisesti esille kevytsoraharkko ja lämmöneriste. Kevytsoraharkkon osuus seinärakenteen päästöistä on 69 % ja lämmöneristeen 19 %.

Taulukko 16. EPS-eristeisen harkkoseinän materiaalit ja hiilipäästöt

Rakennekerros	Materiaalikoodi (One Click LCA)	Määrä (m ²)	Paksuus (mm)	Tuotevaiheen A1-A3 hiilipäästöt kg CO _{2e}	Osuus seinärakenteen päästöistä (%)
Ulkomaali	Vesiohenteiset ulkomaalit	127	0,12	33,3	0,5
Vaakapaneeli	Julkisivu- ja lattiaudoitus	127	23	96,4	1,4
Pystykoolausta	Kuivattu sahatavara kuusi- tai mäntypuusta	22	31	49,1	0,7
Lämmöneriste	Eriste, EPS, L=0.031 W/mK	127	170	1320	19
Harkkorunko	Kevytsorareikäharkko, 150 mm (Leca Basicblokk)	127	150	4790	68,9
Kiinnityslaasti	Dry mortar, M5, Murmortel M5 (weber)	1651 kg*		279	4,0
Tasoituslaasti	Dry mortar, M5, Murmortel M5 (weber)	2286 kg*		386	5,6
Tuotevaiheen A1-A3 hiilipäästöt yhteensä =				6953,8	

* Yksikkönä kilogramma

Kiviseinien keskinäisessä vertailussa pienimmän hiilijalanjäljen saavutti EPS-eristeinen harkkoseinä (Kuvio 3). Toiseksi vertailussa tuli EPS-eristeinen betoniseinä, jonka päästöt ovat EPS-eristeiseen harkkoseinään verrattuna 4 % suuremmat. Mittavimman hiilijalanjäljen aiheuttajaksi osoittautui polyuretaanieristeinen betoniseinä, jonka päästöt ovat EPS-eristeiseen harkkoseinään verrattuna 16 % suuremmat.



Kuvio 3. Yhteenveto kiviseinien hiilijalanjäljestä

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Laskennan tulosten perusteella pienimmän hiilijalanjäljen saavuttivat seinärakenteista puuranka- ja massiivipuuseinät. Kiviseinien osalta hiilijalanjäljet olivat puolestaan kaikista suurimmat.

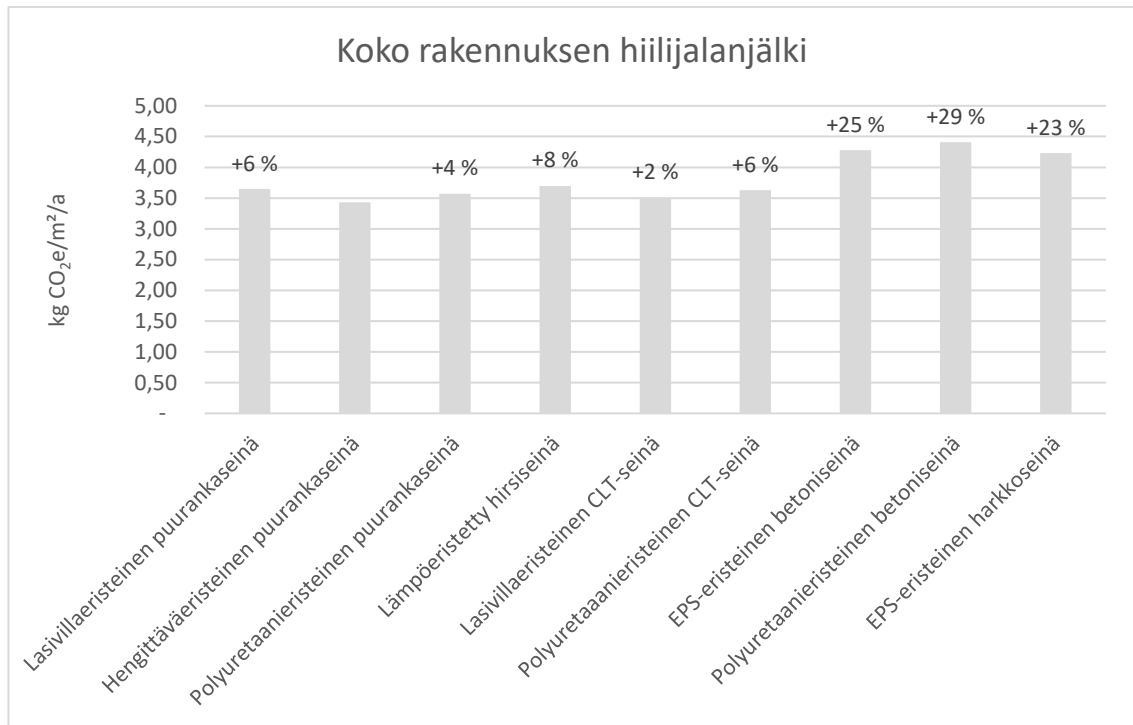
Kaikista pienimmän hiilijalanjäljen seinärakenteista saavutti hengittäväeristeinen puurankaseinä, joka ainoana rakenteena alitti 0,3 kg CO₂e/m²/a päästöt. Toiseksi pienimpään hiilijalanjälkeen päästiin CLT-runkoisella mineraalivillaeristeisellä massiivipuuseinällä, joka ainoana seinänä hengittäväeristeisen puurankaseinän kanssa alitti 0,35 kg CO₂e/m²/a päästöt. Kolmanneksi vertailussa tuli polyuretaanieristeinen puurankaseinä, jonka hiilijalanjälki ylitti niukasti 0,4 kg CO₂e/m²/a päästöt. Muiden puuranka- ja massiivipuuseinien hiilijalanjäljet asettuivat välille 0,47–0,54 kg CO₂e/m²/a.

Kiviseinien osalta pienipäästöisin oli harkkorunkoinen seinärakenne, jonka hiilijalanjälki oli 1,07 kg CO₂e/m²/a. Betonirunkoisista kiviseinistä EPS-eristeisen seinän hiilijalanjälki oli kaikista seinistä toiseksi suurin 1,12 kg CO₂e/m²/a päästöillä. Polyuretaanieristeisen betoniseinän hiilijalanjälki oli puolestaan kaikista seinistä suurin 1,25 kg CO₂e/m²/a päästöillä.

Laskennassa kaikkien seinärakenteiden kohdalla suurimmaksi hiilijalanjäljen aiheuttajaksi osoittautui runkomateriaali tai eriste. Kaikkien puurankaseinien sekä polyuretaanieristeisen CLT-seinän osalta merkittävimpään asemaan nousi eriste. Muiden seinien osalta suurimmaksi päästöjen lähteeksi osoittautui runkomateriaali. Varsinkin kiviseinien osalta runkomateriaalin päästöt korostuivat, sillä jokaisen kiviseinän runko aiheutti enemmän päästöjä kuin yksikään muu seinärakenne yhteensä.

Laskemalla yhteen vakiona pysyvien rakenteiden ja seinärakenteen hiilijalanjäljet, saadaan selville rakennuksen tuotevaiheen kokonaishiilijalanjälki (Kuvio 4). Kuviossa on esitetty rakennuksen hiilijalanjäljen suuruus eri seinärakenteilla toteutettuna. Tämän lisäksi on esitetty hiilijalanjäljen prosentuaalinen kasvaminen pienipäästöisimpään rakennukseen verrattuna. Tuloksista on nähtävissä, että

puurakenteisilla seinillä toteutettuna rakennuksen hiilijalanjäljen kasvu pysyy muutamien prosenttien sisällä. Kivirakenteinen toteutus puolestaan nostaa rakennuksen tuotevaiheen hiilijalanjälkeä jopa kymmeniä prosentteja.



Kuvio 4. Yhteenveto rakennuksen tuotevaiheen kokonaishiilijalanjäljestä eri seinärakenteilla toteutettuna

Laskelmien perusteella ei saada tietoon sitä, mikä seinärakenne aiheuttaisi pienimmän hiilijalanjäljen rakennuksen koko elinkaaren ajalta. Laskelmien pohjalta tultiin kuitenkin siihen johtopäätökseen, että tuotevaiheen päästöjen minimoimiseksi talo olisi järkevintä rakentaa puurunkoisena. Puurunkoisten seinärakenteiden hiilijalanjäljet asettuivat kuitenkin hyvin pienen marginaalin sisään, joten koko elinkaaren mukaan ottaminen laskentaan voi hyvin muuttaa seinärakenteiden keskinäistä järjestystä toisenlaiseksi.

8 POHDINTA

Tässä opinnäytetyössä oli tarkoituksena vertailla erilaisten pientalon seinärakenteiden hiilijalanjälkeä keskenään, jotta nähdään, miten seinärakenteen materiaallivalinnat vaikuttavat rakennuksen hiilijalanjälkeen. Vertailua varten kohteelle suunniteltiin erilaisista materiaaleista koostuvia seinärakenteita. Seinärakenteiden suunnittelussa päädyin siihen, että kaikki seinärakenteet suunnitellaan u-arvon $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$ täyttäviksi. Lisäksi yhteistä kaikille seinärakenteille oli se, että niiden julkisivumateriaaliksi valittiin puu. Mielestäni seinärakenteiden suunnittelussa onnistuin tekemään kohteelle sellaisia seinärakenteita, jotka voitaisiin myös todellisuudessa toteuttaa.

Vertailulaskelmiin oli alkuperäisenä ideana tarkoitus ottaa mukaan rakennuksen koko elinkaaren päästöt. Työn edetessä päädyin kuitenkin rajaamaan laskennan koskemaan vain rakennuksen tuotevaiheesta aiheutuvia päästöjä. Muiden vaiheiden mukaan ottaminen laskentaan olisi järkevää silloin, jos kohteen suunnittelu olisi pidemmällä ja lähtötietoja olisi saatavilla enemmän. Laskentaan olisi ollut mahdollista ottaa mukaan taulukkoarvoja käyttämällä esimerkiksi työmaatoiminnoista, kuljetuksista ja jätteenkäsittelystä aiheutuvat päästöt. Vaiheet rajattiin kuitenkin laskennasta pois, jotta taulukkoarvot eivät vääristäisi laskennan lopputulosta. Laskentaan ei haluttu ottaa mukaan myöskään energiankulutusta, sillä kulutusta ei olisi voitu määritellä käytettävissä olevilla lähtötiedoilla mielestäni riittävän tarkasti.

Opinnäytetyön tulokset olivat pitkälti sen suuntaisia, joita itse ennakolta odotin. Ennakkokäsitykseni ennen laskentaa oli se, että eristeet ja massiiviset runkorakenteet tulevat aiheuttamaan seinärakenteissa suurimmat päästöt. Suurin yllätys tuloksissa oli massiivipu- ja puurankaseinien melko pieneksi jäänyt ero, sillä ennen laskentaa oletin massiivipuuseinien hiilijalanjäljen olevan reilusti suurempi kuin puurankaseinien.

Laskentaprosessin aikana huomasin sen, että ohjelmalla tehtyihin laskentatuloksiin tulee suhtautua varauksella. Laskennan tekijällä on nimittäin mahdollisuus

vaikuttaa paljonkin tuloksiin sillä, että valitseeko laskennassa käytettäväksi tuotekohtaisia arvoja vai keskiarvotietoja. Tässä opinnäytetyössä käytettiin keskiarvotietoja aina kun se oli mahdollista. Useamman seinärakenteen kohdalla kaikista materiaaleista ei kuitenkaan löytynyt keskiarvotietoja, jolloin laskennassa jouduttiin käyttämään tuotekohtaisia arvoja. Tuotekohtaisten arvojen käyttö näin ollen vääristää jonkin verran laskennan tuloksia.

Itse laskennan suorittaminen One Click LCA -ohjelmalla oli suhteellisen yksinkertaista ja nopeaa. Ohjelman käyttöön löytyi helposti ohjeita ja ohjelman laskenta-periaatteet olivat helposti omaksuttavissa. Ohjelmaan pääsi nopeasti käsiksi ja mielestäni Bionova Oy on onnistunut kehittämään rakennusalan näkökulmasta erittäin hyvän ja toimivan elinkaariarviointityökalun.

Kokonaisuutena opinnäytetyön tavoitteet täytyivät mielestäni hyvin, sillä laskelmilla saatiin selville eri materiaalien vaikutus rakennuksen tuotevaiheen hiilijalanjälkeen. Opinnäytetyö myös havainnollisti vähähiilisen rakentamisen vaikutuksia rakennettuun ympäristöön sekä hiilijalanjäljen laskennan perusteita.

Opinnäytetyön aikana mieleeni tuli myös jatkotutkimusideoita. Mielestäni yksi tärkeä selvityskohde olisi se, kuinka paljon mahdollisimman pienen hiilijalanjäljen saavuttaminen tulee maksamaan. Rakentamisessa kustannukset usein ratkaisevat. Tämän vuoksi olisi tärkeää selvittää, millaisilla vaihtoehdoilla päästään mahdollisimman pieniin kustannuksiin ja hiilijalanjälkeen. Tällaisen tutkimuksen pohjalta voitaisiin tehdä esimerkiksi jonkinlainen yleinen tietokanta, josta löytyisi valmiita rakennetyyppejä keskimääräisillä hinta- ja päästötiedoilla. Tietokannan pohjalta rakennushankkeeseen ryhtyvät pystyisivät helposti vertailemaan hankkeeseen parhaiten soveltuvia rakenteita jo hankkeen alkuvaiheessa.

LÄHTEET

Bionova 2017. Tiekartta rakennuksen elinkaarenhiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa.

Green Building Council 2013. Rakennusten elinkaarimittarit. Viitattu 5.8.2020 https://figbc.fi/wp-content/uploads/sites/4/2019/03/Rakennusten_elinkaarimittarit_2013.pdf.

Green Building Council 2020. Vähähiilisen rakentamisen neuvontapalvelu. Viitattu 30.7.2020 <https://elinkaarilaskenta.fi/>.

Hakaste, H. 2017. Vähähiilisen rakentamisen tiekartta. Viitattu 30.7.2020 <https://www.slideshare.net/Ymparistoministerio/vhhiilisen-rakentamisen-tiekartta-harri-hakaste>.

Ilmasto.org 2020. Kasvihuoneilmiö ja ilmastonmuutos. Viitattu 8.6.2020 <http://ilmasto.org/ilmastonmuutos/lyhyesti.html>.

Ilmasto-opas 2020a. Ilmastonmuutos ilmiönä. Viitattu 1.7.2020 <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio>.

- 2020b. Kasvihuoneilmiö ja ilmakehän koostumus. Viitattu 3.7.2020 <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/420c4ca3-a128-4ae7-882e-3d06e1ea24f5/kasvihuoneilmio-ja-ilmakehan-koostumus.html>.

- 2020c. Rakentaminen – Hillintä. Viitattu 16.7.2020 <https://ilmasto-opas.fi/fi/kunnat/hillinta-ja-sopeutuminen/-/artikkeli/ecf375da-c0ef-43a5-8bbe-ad70041ba9d8/hillinta.html>.

Kuittinen, M. 2019. Rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmä. Helsinki: Ympäristöministeriö. Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:22. Viitattu 25.6.2020 http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161761/YM_2019_22_Rakennuksen_vahahiilisuuden_arviointimenetelma.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Kuittinen, M. & Hakaste, H. 2020. Vähähiilinen rakentamisen ajankohtaiskatsaus. Viitattu 30.7.2020 <https://elinkaarilaskenta.fi/wp-content/uploads/sites/6/2020/03/5-Kuittinen-ja-Hakaste.pdf>.

Kujala, M. 2018. Mitä rakennuksen hiilijalanjäljen laskenta tarkoittaa. Viitattu 2.8.2020 <https://tulevaisuudenrakentaminen.samk.fi/2018/02/16/mita-rakennuksen-hiilijalanjaljen-laskenta-tarκοittaa/>.

Laine, A., Raivio, T., Jonsson, H., Heino, A., Klimscheffskij, M. & Lehtomäki, J. 2020. Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035 Osa 1. Rakennetun ympäristön hiilielinkaaren nykytila. Viitattu 10.8.2020 https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/ymparisto-ja-energia/vahahiili_seminaaries/raportit_lopulliset/rt-raportti-1_rakennetun-ympariston-hiilielinkaaren-nykytila_final.pdf.

Nevanlinna, H. 2008. Muutamme ilmastoa. Porvoo: Karttakeskus. Viitattu 4.7.2020 https://space.fmi.fi/MAGN/HN/ILMASTONMUUTOS-kirja/ilmastopainon_pdf/455853_001_048.pdf.

Niemistö, J., Myllyviita, T., Holma, A., Judl, J., Sironen, S., Antikainen, R. & Leskinen, P. 2017. Elinkaariajattelu pk- ja startup-yritysten ympäristövaikutusten arvioinnissa ja tuotekehityksen tukena. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 34/2017.

One Click LCA 2020. Vähähiilinen rakentaminen – mitä ja miksi?. Viitattu 15.8.2020 <https://www.oneclicklca.com/ymparistoministerion-vahahiillisen-rakentamisen-pilotointi-avattu-ja-arviointimenetelma-julkaistu/>.

One Click LCA 2021. Mitä One Click LCA tietokanta sisältää?. Viitattu 15.5.2021 <https://www.oneclicklca.com/fi/support/faq-and-guidance/documentation/tietokanta/>.

Poulsen, A. & Wium, M. 2020. Mikä on kasvihuoneilmiö ja miten se syntyy. Tieteen Kuvalehti 11.5.2020. Viitattu 1.7.2020 <https://tieku.fi/luonto/ilmastonmuutos/mika-on-kasvihuoneilmio-ja-miten-se-syntyy>.

Rakennuslehti 2019. YM aloittaa rakennusten hiilijalanjäljen arviointimenetelmän testauksen. Viitattu 30.7.2020 <https://www.rakennuslehti.fi/2019/08/ym-aloittaa-rakennusten-hiilijalanjaljen-arviointimenetelman-testauksen/>.

Saint-Gobain 2020. Tietoa ja työkaluja tulevaisuuden rakentajille. Viitattu 15.8.2020 <https://www.saint-gobain.fi/tarinat/artikkelit/tietoa-ja-tyokaluja-tulevaisuuden-rakentajille>.

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

Ympäristöhallinto 2019. Rakennusmateriaalien ympäristövaikutukset ja materiaalitehokkuus. Viitattu 15.5.2021 https://www.ymparisto.fi/fi-fi/rakentaminen/rakennuksen_energia_ja_ekotehokkuus/Rakennusmateriaalien_ymparistovaikutukset_ja_materiaalitehokkuus.

Ympäristöhallinto 2020. Rakennuksen energia- ja ekotehokkuus. Viitattu 17.7.2020 https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennuksen_energia_ja_ekotehokkuus.

Ympäristöministeriö 2019. Johdatus rakennusten elinkaariarviointiin. Viitattu 25.6.2020 https://elinkaarilaskenta.fi/wp-content/uploads/sites/6/2019/08/johdatus_rakennusten_elinkaariarviointiin.pdf.

Ympäristöministeriö 2020. Vähähiilisen rakentamisen tiekartta. Viitattu 30.7.2020 https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Rakentamisen_ohjaus/Vahahiilinen_rakentaminen/Vahahiilisen_rakentamisen_tiekartta.

LIITTEET

- Liite 1. Rakennuksen elinkaaren vähähiilisyden raportoinnin vähimmäisisältö, taulukko
- Liite 2. Arvioinnissa käytettyjen tietojen laadun raportointilomake, taulukko
- Liite 3. Taloteknisten järjestelmien päästötietoja, taulukko
- Liite 4. Elinkaaren eri vaiheiden päästötietojen taulukkoarvot, taulukko

Liitetaulukko 6a. Uudisrakennuksen vähähiilisyiden raportoinnin vähimmäissisältö

Arviointikohteen perustiedot	
Rakennuskohteen tiedot	<ul style="list-style-type: none"> - Rakennustunnus - Osoite - Rakennustyyppi - Rakennusvuosi (suunniteltu)
Rakennuksen tekniset tiedot	<ul style="list-style-type: none"> - Kerrosala - Kerrosten lukumäärä - Kellarikerrosten lukumäärä - Pääasiallinen runkomateriaali - Energialuokka ja laskennallinen ostoenergian kulutus
Elinkaariarvioinnin tulokset	
Päästövaikutukset ennen käyttöä (moduulit A1–5)	+ xxx kgCO ₂ e/m ² /a
Päästövaikutukset käytön aikana (moduulit B3–4, B6)	+ xxx kgCO ₂ e/m ² /a
Päästövaikutukset käytön jälkeen (moduuli C)	+ xxx kgCO ₂ e/m ² /a
Elinkaaren ulkopuoliset päästövaikutukset (moduuli D)	-/+ xxx kgCO ₂ e/m ² /a
Hiilijalanjälki (elinkaaren moduulien A–C summa)	+ xxx kgCO ₂ e/m ² /a
Hiilikädenjälki (elinkaaren moduulien A–D summa)	- yyy kgCO ₂ e/m ² /a
Arviointi ja käytetyt tiedot	
Arvioinnin laatijan tiedot	<ul style="list-style-type: none"> - Nimi - Koulutus - Arvioinnin laadinnan päivämäärä - Arvioinnin päivityksen päivämäärä
Arvioinnissa käytetyt tiedot	<ul style="list-style-type: none"> - Tieto missä laskennan kohdissa on käytetty taulukkoarvoja ja missä tehty tarkka laskenta - Käytetyt ympäristöselosteet - Arvioinnin tekovaihe (rakennuslupa / käyttöönotto) - Käytetyt laskentaohjelmat - Mahdolliset tietojen luotettavuutta koskevat huomiot
Arvioinnissa käytetyt skenaariot (ei tarpeen raportoida, jos on käytetty liitteissä annettuja taulukkoarvoja)	<ul style="list-style-type: none"> - Kuljetusetäisyydet (A4, C2) - A5 Rakentamistyöt - B3–4 Korjaukset ja vaihdot - B6 Energian kulutus - C Elinkaaren loppu - D Elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset

Tietojen laatu arvioidaan asteikolla 0–3 Euroopan komission Level(s)-järjestelmän mukaisesti.

Elinkaaren vaiheet	Teknologinen edustavuus	Maantieteellinen	Ajallinen edustavuus	Epävarmuus	Yhteensä	Vähimmäisvaatimukset
A1–3 Tuotteiden valmistus						Tiedot vähintään tasoa 2.
A4 Kuljetus työmaalle						Maantieteellinen edustavuus oltava tasoa 3.
A5 Rakennustyömaa						Maantieteellinen edustavuus vähintään tasoa 2.
B3–4 Korjaukset ja vaihdot						Maantieteellinen edustavuus vähintään tasoa 2.
B6 Energian kulutus						Tiedot vähintään tasoa 2.
C1 Purkutyöt						Ei vähimmäisvaatimuksia.
C2 Kuljetus jatkokäsittelyyn						Ei vähimmäisvaatimuksia.
C3 Jätteenkäsittely						Ei vähimmäisvaatimuksia.
C4 Loppusijoitus						Ei vähimmäisvaatimuksia.
D Elinkaaren ulkopuoliset / hiilikadenjalki						Hiilivarastoja sisältävien tai hiiltä sitovien tuotteiden tiedot vähintään tasoa 2. Muuten ei vähimmäisvaatimuksia.
Yhteensä						

Tavanomaisia järjestelmiä (pinta-ala tiedot ilmoitettu rakennuksen huonealaa kohti)	
Hissi	7 585,00 kg CO ₂ /kpl
Sähköasennukset ja kaapeloinnit	5,28 kg CO ₂ /m ²
Sprinklerijärjestelmä	5,85 kg CO ₂ /m ²
Vesi- ja viemärilaitteistot (pinta-ala tiedot ilmoitettu rakennuksen huonealaa kohti)	
Vesijohtojärjestelmä	2,70 kg CO ₂ /m ²
Viemäriputkisto	0,52 kg CO ₂ /m ²
Lämmitysjärjestelmä (pinta-ala tiedot ilmoitettu rakennuksen huonealaa kohti)	
Patteriverkosto	6,67 kg CO ₂ /m ²
Lämmönjakokeskus	0,53 kg CO ₂ /m ²
Ilmanvaihtojärjestelmä ¹⁰	6,97 kg CO ₂ /m ²
Aurinkopaneelit (pinta-ala tiedot ilmoitettu aurinkopaneelin keräinpinta-ala kohti)	
Kiteinen aurinkopaneeli	242,00 kg CO ₂ /m ²
Ohutkalvopaneeli	67,00 kg CO ₂ /m ²
Verkkoinvertteri	22,00 kg CO ₂ /kpl

Neliömetrikohtaiset tiedot on ilmoitettu lämmitettyä huonealaa kohti. Jos laskennassa halutaan käyttää kerrosalaa, jaetaan nämä luvut jakajalla 1,18. Järjestelmien massa-arvioissa on hyödynnetty VTT:n aikaisempaa selvitystä¹¹. Eri materiaalien päästöarvoina on käytetty VTT:n toimittamia väliaikaisia rakennusmateriaalien ja -tuotteiden päästöarvoja.

Hiilijalanjälki on ilmoitettu yksikkönä $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2$ (lämmitetty nettoala). Rakennustuotteiden valmistusvaiheen (A1–3) ja rakennuksen energiankäytön (B6) hiilijalanjäljelle ei ole taulukkoarvoa vaan ne lasketaan aina hankekohtaisesti.

Tyypilliset päästöt ($\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2$)		
A1–3 Valmistus		<i>(lasketaan aina hankekohtaisin tiedoin)</i>
A4 Kuljetus työmaalle	10,20	Keskimääräinen kuljetusetäisyys Suomessa
A5 Uudisrakennustyömaan toiminnot	27,30	Työmaan energian ja polttonesteiden kulutus
B3–4 Korjausten energiankulutus ¹²	2,16	Materiaalien valmistus arvioitava erikseen
B6 Energian käyttö		<i>(lasketaan aina hankekohtaisin tiedoin)</i>
C1 Purkutyömaan toiminnot	7,80	Työmaan energian ja polttonesteiden kulutus
C2 Kuljetus jatkokäsittelyyn	10,20	Keskimääräinen kuljetusetäisyys Suomessa
C3–4 Jätteenkäsittely ja loppusijoitus	15,60	
Yhteensä	73,26	$\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2$

Taulukkoarvot on kerätty keskiarvoina aiemmin Suomessa tehdyistä rakennusten elinkaarren hiilijalanjälkilaskelmista. Keskiarvoihin on lisätty 20 % epävarmuuskerroin. Raportoinnissa tulee huomata, että tulokset on jyvitetävä rakennuksen käyttöiälle ($\text{kgCO}_2\text{e} / \text{m}^2/\text{a}$).