



Betoni- ja CLT-elementtirakentaminen

Vähähiilinen rakentaminen

Maria Hämäläinen

Opinnäytetyö, AMK

Toukokuu 2021

Tekniikan ala

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Hämäläinen, Maria

Betoni- ja CLT-elementtirakentaminen

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Toukokuu 2021, 45 sivua.

Tekniikan ala. Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Verkkojulkaisulupa myönnetty: kyllä

Tiivistelmä

Vähähiilisen rakentamisen periaate on pyrkiä ymmärtämään ja vähentämään rakentamisen sekä rakenteiden aiheuttamia kasvihuonepäästöjä rakennuksen elinkaaren aikana. Rakentamisteollisuudessa syntyvät päästöt ovat isossa roolissa edistämässä ilmastonmuutoksen nopeaa etenemistä. Suuri määrä päästöjä syntyy rakennuksen käytön aikana. Sen vuoksi energiatehokkaiden ratkaisujen lisääminen ja uusiutuvien materiaalien hyödyntäminen on tärkeää.

Tutkimus toteutettiin olemassa olevan betoni- ja puuelementtirakentamisen yleistiedon pohjalta ja hiilijalanjäljen laskennassa esimerkkirakennuksen lähtötiedot ovat peräisin jo aiemmin suunnitellusta kohteesta. Tutkimus rajattiin vertailemaan betonielementtirakentamista ja puuelementtirakentamista CLT-materiaalin kautta. CLT on Suomen rakennusmarkkinoilla vielä melko uusi rakennusmateriaali.

Tavoitteena oli selvittää materiaalien tekniset eroavaisuudet sekä tuoda esille vähähiilisen rakentamisen näkökulmia. Lisäksi tutkitaan esimerkkikerrostalon rakenteita ja selvitetään, millainen vaikutus materiaalin vaihtamisella on rakennusosien ja rakennustyyppien hiilijalanjälkeen.

Tutkimuksessa selvisi, että rakennusmateriaalien hiilijalanjäljen arvioiminen on kannattavaa. Tuloksista on huomattavissa selkeitäkin eroavaisuuksia ja tavanomainen betonirakentaminen tarvitsee kehitystoimenpiteitä materiaalien hiilijalanjäljen pienentämiseen.

Avainsanat:

Betoni, Betonirakentaminen, CLT, CLT-Rakentaminen, Hiilijalanjälki, Vähähiilinen

Hämäläinen Maria

Concrete and CLT element construction

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2021, 45 pages.

Engineering and technology. Construction and civil engineering.

Permission for web publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

Low carbon emission constructions main principle is, to understand and lessen the greenhouse emission caused by construction and structures during the building life cycle. The waste created by the construction industry is in a big role in speeding the global warming. A huge amount of waste is created during the use of a building. For that reason, increasing energy conservative solutions is crucial.

The research was performed based on pre-existing concrete and wooden element construction techniques, while also taking in account the carbon emission in counting the example building and its input data. This input data originates from an already planned target.

The research was bordered to compare concrete element construction and wooden element construction through CLT-material. CLT is a relatively new material in Finland's construction market.

The goal was to find out each materials technical differences, and also to bring out the viewpoints of low carbon emission building techniques. In addition the structure of the example building will be investigated, to see what kind of an effect the change of material will bring to the building parts and each of the construction techniques, and how this will lessen carbon emission.

In the research it was discovered that evaluating the carbon footprint of the construction materials is profitable. Looking at the results, there are noticeable differences and regular concrete construction requires improvements, in order to reduce the carbon footprint of the used materials.

Keywords:

Concrete, Concrete building, CLT, CLT building, Carbon footprint, Low carbon

Sisältö

Käsitteistö	3
1 Johdanto	4
1.1 Työn tavoite ja tutkimuskysymykset	5
1.2 Tutkimuksen toteutus ja rajaus	5
1.3 Toimeksiantaja	6
2 Elementtirakentamisen historia Suomessa	6
2.1 Betonielementtirakentaminen	6
2.2 Puurakentaminen	7
3 Vähähiilinen rakentaminen	8
3.1 Materiaalien vaikutus	10
3.1.1 Betoni	10
3.1.2 Puu	11
3.2 Hiilijalanjäljen laskentaperiaatteet	13
3.3 Hiilijalanjäljen pienentäminen rakentamisessa	15
4 Betonielementtirakentaminen	15
4.1 Valmistus	16
4.2 Ominaisuudet	17
4.3 Ongelmat	17
4.4 Rakentaminen nykyaikana	18
5 CLT elementtirakentaminen	19
5.1 Valmistus	19
5.2 Ominaisuudet	20
5.3 Ongelmat	21
5.4 Toimintaperiaate	22
5.5 Rakentaminen nykyaikana	23
6 Betoni vs CLT vertailu	24
6.1 Esimerkkikohde	24
6.2 Esimerkkikohteen rakenteet	25
6.2.1 Alapohja	25
6.2.2 Välipohja	26
6.2.3 Yläpohja	27
6.2.4 Ulkoseinät	28
6.2.5 Väliseinät	29

6.2.6	Muut rakenteet	30
6.3	Tulokset.....	31
6.4	Johtopäätökset	34
7	Pohdinta	35
	Lähteet	37
	Liitteet	42
	Liite 1. Tutkittavan kohteen rakenteiden mitat	42
	Liite 2. Hiilijalanjäljen laskenta.....	43

Kuviot

Kuvio 1. Rakennuksen elinkaari. Muokattu. (Johdatus rakennusten elinkaariarviointiin n.d.) ...	9
Kuvio 2. Rakennusmateriaalien hiilijalanjälki. Muokattu. (Stora Enso 2016)	12
Kuvio 3. CLT-ristiin liimattu rakenne (Insinööripuutuotteet – Monikerroslevy (CLT) 2020)	20
Kuvio 4. Suomessa lanseeratut kerrostalojärjestelmät (Typpö 2016).....	23
Kuvio 5. Maanvarainen alapohja (RT 83-11009, AP 417).....	25
Kuvio 6. Ontelolaatta 320 (RT 83-10902, VP 402)	26
Kuvio 7. Massiivilaatta 260 mm (RT 83-10902, VP 409)	26
Kuvio 8. CLT välipohja	26
Kuvio 9. Betoni yläpohjarakenne	27
Kuvio 10. CLT yläpohja (ePuu)	27
Kuvio 11. Betoni ulkoseinärakenne	28
Kuvio 12. CLT-ulkoseinärakenne.....	28
Kuvio 13. Kantava väliseinärakenne (RT 82-10903, VS 401)	29
Kuvio 14. CLT-kantava väliseinä (Typpö 2016)	29
Kuvio 15. Kevyt väliseinärakenne (RT 82-10903, VS 507)	30
Kuvio 16. Rakennusmateriaalien hiilijalanjälki (kaikki)	31
Kuvio 17. Betonikohteen osa-rakenteet	32
Kuvio 18. CLT-kohteen osa-rakenteet.....	32
Kuvio 19. Rakenneosien hiilijalanjäljen vertailu	32
Kuvio 20. Betonisten rakennetyyppien hiilijalanjälki	33
Kuvio 21. CLT rakennetyyppien hiilijalanjälki	33
Kuvio 22. Rakennetyyppien hiilijalanjälki vertailu	34

Käsitteistö

Betonielementti: Tehdasolosuhteissa valmistettu betonirakenteinen valmisosa.

CLT: Ristiin liimattu massiivipuulevy, joista saadaan valmistettua elementtirakenteita liimaamalla niitä kerroksittain.

Energiatehokkuus: Energiatehokkuudella tarkoitetaan energian tehokasta käyttöä ja sen parantamista.

Hiilijalanjälki: Ilmastokuorma, joka syntyy eri tuotteiden, toimintojen ja palveluiden aiheuttamana. Eli kertoo, kuinka paljon kasvihuonekaasuja kukin asia muodostaa ilmastolle elinkaaren aikana.

Hiilikädenjälki: Hiilikädenjäljellä mitataan rakennusten tai yritysten myönteisiä ilmastovaikutuksia. Esimerkiksi yritys voi tuottaa hiilikädenjälkeä ja näin ollen asiakas voi yrityksen palveluita käyttäessään vähentää omaa hiilijalanjälkeään.

Hiilinielu: Hiilinielu on hiilidioksidia itseensä sitova asia, kuten metsät tai puutalot. Hiilinielu tarkoittaa sitä, että jokin asia esimerkiksi metsä sitoo itseensä enemmän hiilidioksidia kuin vapauttaa sitä ilmakehään.

Ilmastonmuutos: Ilmaston nopeaa lämpenemistä ihmisten toiminnasta johtuen, joka aiheuttaa merkittäviä olosuhdemuutoksia maapallolla.

Rakennuksen elinkaari: Sisältää rakennuksen vaiheet alkaen suunnittelusta ja päättyen rakennetun rakennuksen purkujätteiden lajitteluun sekä uudelleenkäyttöön.

Vähähiilisyys: Vähähiilisyys tarkoittaa tuotetta, toimintatapaa tai toimijan toimintaa, joka tuottaa elinkaarensa aikana minimaalisesti tai ei ollenkaan päästöjä.

1 Johdanto

Ilmastonmuutos on ihmisten toiminnasta peräisin oleva ilmiö. Ilmakehä toimii kasvihuoneen tapaisesti eli päästää auringon säteilyn maan pinnalle, mutta estää osan lämmön karkaamisen kasvihuonekaasujen ansiosta. Tunnetuimpia kasvihuonekaasuja ovat hiilidioksidi, metaani ja dityppioksidi. Nykyään kasvihuonekaasujen määrä ilmakehässä on kasvanut niin paljon, että ilmasto on alkanut lämmetä liian nopealla tahdilla. Ilmaston lämpeneminen on vielä mahdollista rajata +1,5 asteeseen, jolloin liian suuria seurauksia ei ehtisi syntyä. (Ilmastonmuutos n.d.)

Ilmastonmuutoksesta johtuvat seuraukset kuitenkin näkyvät nykypäivänä Suomessa jo entistä enemmän ympäristökuvassa. Sääolosuhteiden voimakkaat muutokset ja ihmisten kasvanut tietämys lisäävät paineita etsiä ratkaisuja kestävämpään tulevaisuuteen. Suomi pyrkii olemaan hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä, mikä edellyttää suuria muutoksia eri osa-alueilta. Hiilineutraalilla tarkoitetaan sitä, ettei ilmastoon päätyisi hiilidioksidia sen enempää, mitä hiilinielut pystyvät sitomaan. Suomessa esimerkiksi metsät toimivat hiilinieluinä sekä ilmaston viilentäjinä. (Ilmastonmuutos n.d.)

Rakentamisteollisuudella on tärkeä osuus ilmastokamppailussa, koska niiden osuus hiilidioksidipäästöjen aiheuttajana on merkittävä. Ympäristöministeriö julkaisi kolme osaisen vähähiilisen rakentamisen tiekartan vuonna 2017 tukemaan rakentamisen ja sen käytön aikaisten päästöjen pienentämisen ohjausta. Rakennusten hiilijalanjäljen ohjaus lainsäädännöllä otetaan käyttöön vuoteen 2025 mennessä. Tavoitteisiin päästäkseen rakennukset tulisi suunnitella ja rakentaa vähähiilisiksi niin, ettei kustannuksiin syntyisi suuria vaihteluita. Tuotteiden valmistajien tulisi kehittää valmistamiensa tuotteiden hiilijalanjälkeä ja rakennuksien tulisi toimia energiatehokkaina koko elinkaaren ajan. Ylipäättään kokonaisuuden tulisi olla ympäristönäkökulma huomioiden toimiva ja kestävä.

1.1 Työn tavoite ja tutkimuskysymykset

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia yleistietona betonielementtirakentamista ja sen rinnalle kehitettyä CLT-massiivipuuelementti konseptia. Työssä tuodaan esille molempien rakennustapojen eroavaisuuksia sekä tarkastellaan edellä mainittujen rakennusmateriaalien hiilijalanjälkeä kerrostalorakentamisen yhteydessä laskentamenetelmän avulla. Kohde on esimerkkikohde toteutettavissa olevasta kerrostalosta niin betonielementtirakenteisena kuin CLT-elementtirakenteisena. Tarkoituksena on havainnollistaa millä tavoin rakennusmateriaalien valinnalla on merkitystä, kun halutaan rakentaa mahdollisimman vähäpäästöisiä rakennuksia.

Opinnäytetyössä tutkimuskysymykset olivat seuraavanlaiset:

1. Onko CLT massiivipuuelementtien käyttö rakennuksessa kuinka vähähiilisempää kuin betonielementtien käyttäminen?
2. Voidaanko rakennukseen valita materiaali hiilijalanjälkilaskennan avulla?

1.2 Tutkimuksen toteutus ja rajaus

Tutkimus muodostuu teoreettisesta sekä empiirisestä tutkimuksesta. Teoreettinen osuus perustuu tietoon ja kokemukseen, mitä betoni- ja CLT-elementtirakentamisesta jo ennestään osataan kertoa eri lähteissä. Tutkimuksen teoriaosaan on etsitty tietoa useista eri lähteistä, jotka ovat pääasiassa kirjallisia tai verkkolähteitä. Empiirinen tutkimus eli hiilijalanjäljen laskenta toteutettiin ympäristöministeriön rakennusten hiilijalanjäljen arviointityökalulla.

Kohteessa käytetyt tiedot ovat peräisin aiemmin jo suunnitellusta betonikerrostalorakennuksesta ja laskennassa käytetyt rakenteiden mitat ovat keskiarvoja alkuperäisestä kohteesta. Tuloksien vertailuun on laadittu vastaavan rakennuksen mitoilla CLT-elementtiratkaisu.

Tutkimus on rajattu rakennusmateriaalien eroavaisuuksien ja niiden hiilijalanjäljen tarkasteluun. Opinnäytetyössä ei oteta kantaa materiaalien kustannuksiin tai käytön aikaiseen hiilijalanjälkeen. Tulokset on analysoitu määrällisellä menetelmällä. Puurakentamisen materiaali valikoitui toimeksiantajan toiveen mukaan.

1.3 Toimeksiantaja

Opinnäytetyöni toimeksiantajana toimii Sitowise Oy. Sitowise Oy on suomalainen rakennetun ympäristön suunnittelu- ja konsultointiyritys, joka työllistää tällä hetkellä noin 1900 työntekijää. Toimipisteitä Suomessa on 21 ja Tallinnassa yksi. Sitowise on eettisesti suuntautunut yritys, joka huolehtii paitsi työntekijöistään myös ympäristöstä ja kestävästä kehityksestä. Tarjottavien palveluiden skaala on laaja digitaalisista palveluista infrastruktuuriin kuin myös rakennuttamisen strategioihin sekä tutkimuksiin ja ympäristöön.

Sitowisellä suhtaudutaan vähähiiliseen rakentamiseen myönteisesti. Ympäristöarvioinnit ja kestävä rakentamisen ratkaisujen kehittäminen ovat osa yrityksen toimintaa.

2 Elementtirakentamisen historia Suomessa

2.1 Betonielementtirakentaminen

Betonielementtirakentamisen historia ulottuu toisen maailmansodan aikaiseen jaksoon. Kaupunkien jälleenrakennukseen tahdottiin löytää taloudellisia ja nopeampia rakennusratkaisuja. Suomessa elementtitekniologia sai tuulta alleen 1940 - 1950 lukujen vaihteessa teollisuusrakentamisen kautta. Ensisijaisesti Suomeen asennetut betonielementtirakenteet olivat lähinnä kattorakenteita, joita valettiin työmaan läheisyydessä sijaitsevilla valimoissa. Ensimmäinen täyselementtirakennus Eteläranta 10, jossa julkisivuelementit ovat tehdasvalmisteisia rakennettiin Helsinkiin vuonna 1952. (Hytönen & Seppänen 2009)

Erona teollisuusrakentamiseen, jossa betonielementtejä käytettiin alusta alkaen runkorakentamisessa, asuinrakentamisessa elementtirakentamista lähdettiin kokeilemaan eri rakennusosien kautta. Haasteita toi valmistettujen elementtien siirrot, koska nosturitekniikka yleistyi vasta vuosia myöhemmin. Asuinrakentamisessa rakentamisen toiminnan kehittäminen oli myös alkuun hyvin hidasta voimassa olevien viranomais määräyksien ja verotusten vuoksi. Ensimmäisiä kokeilurakennuksia valmistettiin vuosina 1953 - 1954 Espooseen, joissa kantavat palkit, pilarit ja välipohjalaatat sekä julkisivut puurakenteista toteutettiin elementeistä. Kokeilu kantavissa rakenteissa ei kuitenkaan noussut vielä tässä vaiheessa rakentamisen suosioon kustannuksien suuruuden ja puutteellisen tiedon vuoksi. (Hytönen & Seppänen 2009)

Laman jälkeen 1950 ja 1960 -luvun vaihteessa asuinrakentamiseen saavutettiin tarpeeksi hyvä tekninen osaaminen, jonka ansiosta betonielementtien valmistus ja aluerakentaminen kasvatti suosiotaan. Tällöin kehitettiin myös lämmöneristeen sisältävät sandwich seinäelementit ja alettiin standardoimaan elementtejä, koska vakiointi laski elementtien suunnittelun ja valmistuksen kustannuksia. Laadunvalvonnan tueksi kehitettiin kaikille yhtenäinen 3M-moduuli mittajärjestelmä, joka tehosti tuotantoa sekä teollisti elementtirakentamisen prosessia. (Hytönen & Seppänen 2009)

1960-luvun lopulla syntyi avoin BES-järjestelmä, jonka perusrakenteeksi muodostui kantavat pääty- ja väliseinärakenteet, välipohjarakenteet pitkälaatoista sekä ei kantavat julkisivuelementit. Järjestelmä standardoi betonielementit sekä niiden liitosdetaljit, jotka mahdollistivat urakoitsijoille tavan hankkia rakennusosia rakennettavaan kohteeseen eri valmistajilta. Koska haluttiin laajentaa asuinrakentamiselle tarkoitettua BES-järjestelmää myös teollisuus- ja toimitilarakentamisen puolelle, kehitettiin Runko-BES aineisto, johon sisällytettiin pilari-palkkirungon mittaussjärjestelmä, liitosdetaljit sekä rakenneosien mittaus- ja tyyppisuositukset. (Kivifaktaa n.d.) BES- sekä Runko-BES-järjestelmät toimivat nykyäänkin kehittyneempänä kokonaisuutena rakentamisessa.

2.2 Puurakentaminen

Puukerrostalorakentamisen kehitys sai alkunsa 1990-luvun alussa, kun haluttiin tutkia materiaalin mahdollisia uusia käyttökohteita varsinkin ekologisuuden merkeissä. Puun käyttöä kerrostalorakentamisessa hidasti rakentamismääräykset, jotka kielsivät rakentamista yli kaksikerroksisia puurunkoisia ja -verhoiltuja rakennuksia. Tämän vuoksi tehtiin poikkeusluvalla koerakentamishankkeita, joissa pyrittiin rakentamaan asuttavuudelta ja arkkitehtuurisesti korkealuokkaisia, puurunkoisia ja puujulkisivuisia kerrostaloja. Tavoitteena myös kehittää puurakentamista varten rakenteelliset ja rakennusfysikaaliset suunnitteluratkaisut sekä uusia puuperäisiä tuotteita ja rakennusosia. Koehankkeet osoittautuivat onnistuneiksi ja niiden kautta paloturvallisuusmääräykset uudistettiin ensimmäisen kerran vuonna 1997. Uudet määräykset mahdollistivat puukerrostalorakentamisen 4 kerroksiseen rakennukseen saakka. Kuitenkin Suomessa tiedon ja kokemuksen puutteen vuoksi puutekniikka hiipui 2000-luvun puolivälin tienoilla. (Tolppanen 2013)

Vuoden 2009 aikana Ruotsin puurakentamisen hyvät kokemukset ja metsäyhtiöiden mielenkiinnon herääminen nostattivat puurakentamista uudelleen pinnalle. Tieto energiatehokkaammasta rakennustavasta ja hiilijalanjäljen pienentämisestä lisäsivät kiinnostusta puurakentamisen järjestelmien

kehitykseen sekä teollistumiseen. (Tolppanen 2013) Lisäksi puurakennuksien valmistumisen nopeus ja edullisemmat kustannukset kasvattivat rakentamistyylin suosiota (Järvinen 2011). Palomääräyksien päivittymisen jälkeen vuonna 2011, annettiin lupa rakentaa P2 paloluokassa puurakenteisia ja -verhoiltuja kerrostaloja 8 kerrokseen asti sekä rakentaa enintään 4 kerroksinen rakennus ilman automaattista sammutusjärjestelmää, kun rakenteet on palosuojattu riittävän hyvin (Tolppanen 2013).

Finnish Wood Research Oy:n tekemän TEPUTU hankkeen kautta syntyi RunkoPES eli avoin puuelementtirakentamisen teollisuusstandardijärjestelmä helpottamaan puurakenteiden suunnittelijoiden ja valmistajien välistä yhteistyötä. TEPUTU hankkeella tarkoitetaan teollisen puuelementtirakentamisen tutkimusohjelmaa. Standardin avulla on mahdollista suunnitella ja rakentaa yhtenäisesti huolimatta siitä, kuka tuotteet on valmistanut. Järjestelmä pitää sisällään puuelementtirakentamisen tavanomaiset suunnitteluratkaisut ja suositukset sekä vakioi mm. rakenteiden väliset liitokset ja rakennepaksuudet. (Järvinen 2011)

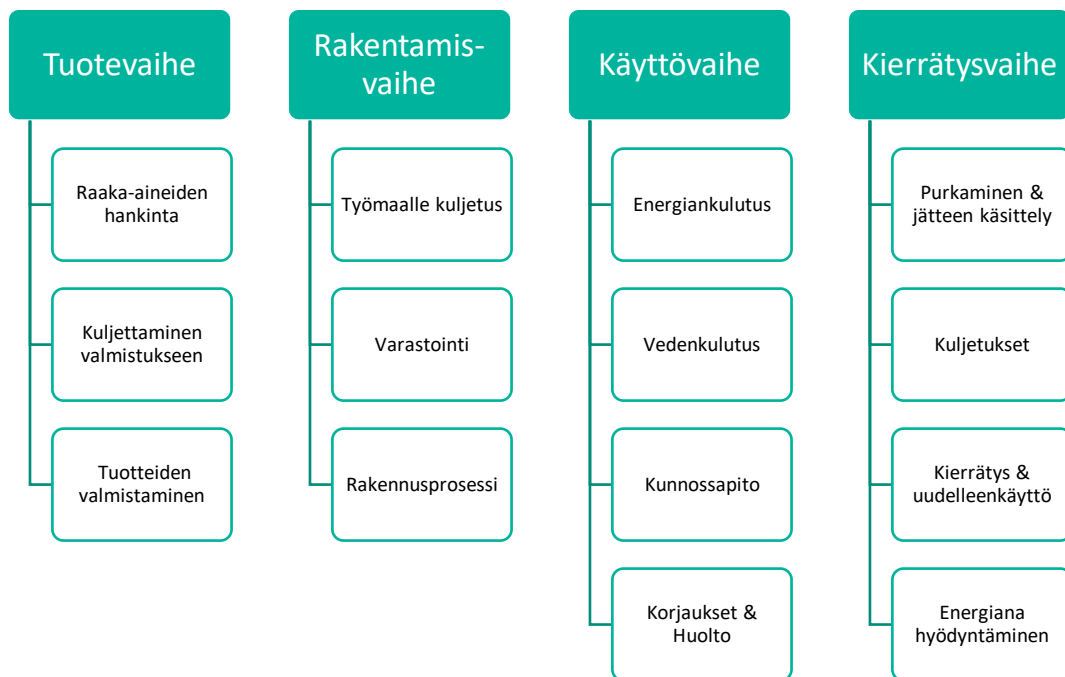
3 Vähähiilinen rakentaminen

Rakentaminen sekä rakennukset aiheuttavat nykyään maapallolle noin kolmasosan kasvihuonekaasupäästöistä ja hyödyntävät koko maailman raaka-aineista lähes puolet. Iso osa kasvihuonekaasupäästöistä kuitenkin aiheutuu rakennuksien käytön aikana energiankulutuksesta johtuen, jonka vuoksi näiden päästöjen kasvua on pyritty pienentämään ja parantamaan energiatehokkuutta lisäämällä. (Häkkinen & Kuittinen 2020)

Energiatehokkuuden lisäämisellä tarkoitetaan esimerkiksi sitä, että jo olemassa oleviin rakennuksiin suoritetaan kustannustehokkaita korjaus- ja muutostöimenpiteitä sekä lisätään uutta älykästä teknologiaa. Uudisrakentamisessa vuoden 2020 loppuun mennessä jokaisen rakennuksen tuli valmistua lähes nollaenergiarakennuksiksi. Eli rakennuksilla on oltava erittäin korkea energiatehokkuus ja suurin osa energiantarpeista on tultava uusiutuvista lähteistä kuten aurinkosähköstä tai tuulivoimasta. (Rakennusten energiatehokkuutta koskeva lainsäädäntö n.d.) Koska uudisrakentamisessa energiatehokkuuden vähentämiselle on jäänyt kohtuullisen vähän varoja, on alettu kiinnittää huomiota koko rakennuksen elinkaareen. (Vähähiilinen rakentaminen n.d.)

Rakentamisen elinkaareen sisältyy kaikki vaiheet: tuotevaihe, rakentamisvaihe, käyttövaihe ja kierrätysvaihe. Helpointa on arvioida tuote- ja rakentamisvaiheessa tapahtuvat ympäristönäkökohdat sekä -vaikutukset, sillä niiden työvaiheet tapahtuvat lähitulevaisuuden aikana. Käyttö- ja kierrätysvaiheissa arviot perustuvat sen hetkisiin oletuksiin rakennuksen käytön, ylläpidon ja purkamisen ympäristövaikutuksista. (Johdatus rakennusten elinkaariarviointiin n.d.)

Rakennuksen elinkaari kuvattuna seuraavassa kuviossa:



Kuvio 1. Rakennuksen elinkaari. Muokattu. (Johdatus rakennusten elinkaariarviointiin n.d.)

Tuotevaiheessa tapahtuu rakentamisessa käytettävien tuotteiden valmistusprosessi. Rakentamisvaihe sisältää tuotteiden kuljettamisen työmaalle, varastoinnin kohteessa sekä asentamisen rakennukseen. Käyttövaihe perustuu valmiin rakennuksen käytönaikaiseen energian- ja vedenkulutus prosessiin sekä siihen sisältyy huolto- ja korjaustoimenpiteet. Kierrätysvaiheessa käsitellään elinkaaren päättymistä eli rakennuksen purkutoimenpiteitä, rakennustuotteiden kierrätystä sekä mahdollisuuksia uudelleenkäyttöön.

Rakennuksen elinkaaren arvioinnissa saadaan selville rakentamisen aikainen luonnonvarojen kulutus ja siitä aiheutuvien päästöjen määrä. Arviointia voidaan tehdä useasta eri näkökulmasta

kuten rakentamisvaiheista, materiaalien energiankulutuksesta ja rakennusosien ympäristövaikutuksista. Elinkaariarvion tekemiseen tarvitaan tiedot rakennettavasta rakennuksesta, käytettävistä materiaaleista sekä määrästä, käyttövaiheen energiamuodoista ja prosessin ympäristövaikutuksista. (Johdatus rakennusten elinkaariarvointiin n.d.)

3.1 Materiaalien vaikutus

Materiaalien valinnalla voidaan vaikuttaa merkittävästi rakennuksen hiilijalanjälkeen. Vähähiilisestä näkökulmasta materiaalitehokkuutta voidaan rakentamisessa lisätä valitsemalla kestävämpiä ja uusiutuvia materiaaleja sekä vähentämällä paljon energiaa kuluttavien materiaalien käyttöä. Suunnitteluvaiheessa on selvitettävä materiaalien ja rakenteiden teknisiä ja toiminnallisia ominaisuuksia, joilla pystytään vaikuttamaan rakennuksen käyttöikään ja kustannustehokkuuteen. Lisäksi voidaan vertailla tuotteita ja niiden valmistajia ympäristöselosteiden avulla. Kuitenkin halutaan valmistaa pitkäikäisiä rakennuksia ja rakenteita, jotka voidaan myöhemmässä vaiheessa huoltaa, purkaa ja kierrättää ilman suurempaa vaivaa. (Häkkinen & Kuittinen 2020)

Vertaillessa rakennusmateriaaleja toisiinsa on otettava huomioon niiden elinkaaren valmistuksessa ja käytössäkin syntyvät ympäristö- ja terveyshaitat. Haittoja ovat esimerkiksi raaka-aineiden hankinta ja uusiutuvuus, tuotteiden valmistuksesta ja kuljetuksesta syntyvät päästöt sekä kunnossapidon, energiankäytön ja purkujätteen käsittely. (Kuittinen 2014) Yleisesti materiaalien vertailu saattaa olla haastavaa, koska rakentamisen tekniikat ja materiaalien vaatimukset eroavat toisistaan huomattavasti.

3.1.1 Betoni

Betoni on suosittu ja eniten käytetty rakennusmateriaali koko maailmassa. Suosio perustuu raaka-aineiden edulliseen hintaan, hyvään saatavuuteen ja materiaalin kestävyYTEEN. Betonin pääraaka-aineina ovat sementti, vesi ja maaperäinen kiviaines. Sementti muodistuu luonnonmineraaleista kuten kalkkikivestä ja sitä käytetään betonin lisäksi laastien ja tasoitteiden valmistuksessa. Betonin tärkein sideaine eli sementti jäykistyy sementtikiveksi reagoidessaan veden kanssa. Sementtikivi sitoo tiukasti kiviainesrakeet sekä raudoitukset tiiviiksi paketiiksi. (Betonin valmistus n.d.) Kiviaineksen osuus betoninvalmistuksessa on suuri, jopa noin 80 %.

Betonilla on hyviä ominaisuuksia rakentamisessa, kuten esimerkiksi:

- betonin valmistaminen tapahtuu luonnon raaka-aineista
- pitkä suunnittelukäyttöikä
- helppo muunneltavuus
- betoni sitoo itseensä paljon kosteutta kestäen paremmin kosteusrasitusta
- hyvä puristuslujuuskestävyys ja jäykkyys
- betonirakenteet ovat paloturvallisia
- eristävät hyvin ääntä rakenteen massan avulla
- betonissa ei ole orgaanisia materiaaleja vähentäen terveyshaittoja ja rakenteiden homevaurioita.

(Betonin valmistus n.d.)

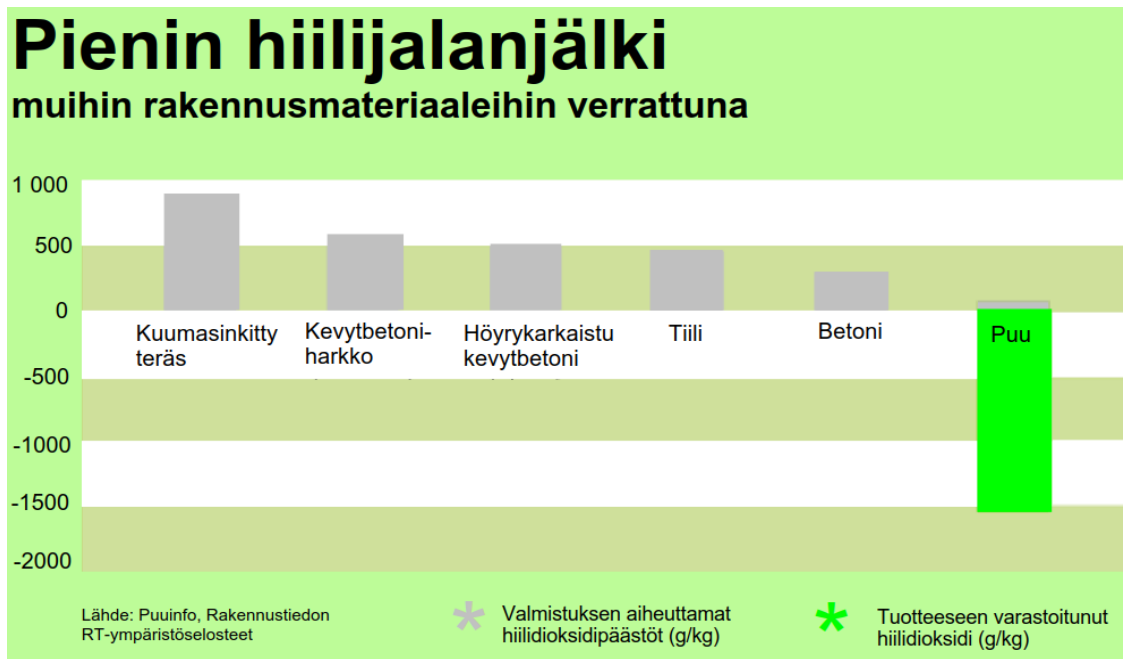
Kuitenkin suurin syy, miksi betonirakentamisen tilalle tuodaan markkinoille uusia rakennustapoja, on betonin valmistamisen suuri energiankulutus. Sementin valmistus ja kalkkikiven kuumentaminen aiheuttavat suhteellisen paljon hiilidioksidipäästöjä. Sementin valmistamisen hiilijalanjäljen pienentämiseen on pyritty valmistuksen tarkemman hallinnan ja kierrätyspolttoaineiden hyödyntämisen avulla. Sementtien valmistajat ovat kehittäneet markkinoille myös ympäristöystävällisempiä vaihtoehtoja, joissa sementti on korvattu osittain tai kokonaan muusta teollisuudesta syntyvillä sivutuotteilla, kuten lentotuhkalla tai masuunikuonalla. (Sementti ja kasvihuonekaasupäästöt n.d.)

3.1.2 Puu

Puu on materiaalina hiilidioksidineutraali ja se uusiutuu täysin luontaisesti. Hiilidioksidineutraalilla tarkoitetaan tuotteita, jotka muodostavat hiilidioksidi päästöjä vain sen verran kuin ne pystyvät sitomaan sitä itseensä. Suomessa puuta käytetään rakentamisessa noin 40 %, vaikka sitä olisi kasvun ja kaadon tahtiin verrattuna enemmänkin käytettävissä. Puun käyttö rakennusmateriaalina tarjoaa ekologisuuden lisäksi erinomaisia rakennusteknisiä vaihtoehtoja. (Hyvä tietää puun käytön ympäristövaikutuksista 2019)

Puu sitoo itseensä lähes kaksinkertaisen määrän hiilidioksidia painoonsa nähden ja sen jalostamisen tarvitsee vain vähän energiaa, jonka ansiosta materiaalin hiilijalanjälki on pieni verrattuna ki-
viaineista peräisin oleviin materiaaleihin.

Kuviossa 2 esitetään järjestyksessä suurimmasta pienempään eri materiaalien valmistuksen aiheuttama hiilijalanjälki.



Kuvio 2. Rakennusmateriaalien hiilijalanjälki. Muokattu. (Stora Enso 2016)

Eniten päästöjä aiheuttaa kuumasinkitty teräs, jonka jälkeen kevytbetoniharkot, höyrykarkaistu kevytbetoni, tiilet, betoni ja viimeisenä puu. Kuviosta erottuu myös selkeästi se, ettei hiilikädenjälkeä muodostu muista kuin puun käyttämisestä rakennusmateriaalissa.

Puun elinkaaren päättyessä puuperäinen jäte voidaan hyödyntää biopolttoaineena, jolla pystytään korvaamaan fossiilisten polttoaineiden käyttämistä tai palauttaa takaisin luontoon palauttamaan hiilidioksidia sekä vettä. (Hyvä tietää puun käytön ympäristövaikutuksista 2019)

Puun käytön haasteet tulevat esiin etenkin palo- ja ääneneristysten suunnittelussa sekä mitoituksessa. Palomääräykset ovat osittain tosi monimutkaisia ja vaativat asiaan perehtymistä. Puu on palavaa materiaalia, mutta toimii oikein suojattuna ja suunniteltuna erittäin paloturvallisena rakenteena. Paloturvalliseksi suunnitellut puurakenteet toimivat osittain hyvin myös ääneneristävinä rakenteina. Puurakenteissa vaadittavaa ääneneristystä ei saada pelkästään sen puun massan avulla toteutettua, vaan se vaatii kaksinkertaisia rakenteita. (Puun käyttö rakentamisessa 2020)

3.2 Hiilijalanjäljen laskentaperiaatteet

Hiilijalanjäljen laskennalla tarkoitetaan ilmastovaikutuksien laskentaa rakennuksen koko elinkaaren ajalta. Laskenta pohjautuu eurooppalaiseen ympäristövaikutuksien EN 15978 -standardiin, jonka kautta elinkaariarviointia on tehty Suomessa vuodesta 2013 lähtien Rakennusten Elinkaari-mittareiden (REM) - ohjeistuksen kautta. (Huuhtanen 2020) Standardi jakaa rakennuksen elinkaaren neljään eri vaiheeseen:

- A. Ennen rakennuksen käyttöä oleva vaihe
- B. Rakennuksen käytön aikainen vaihe
- C. Rakennuksen purkuvaihe
- D. Rakennuksen elinkaaren ulkopuolisten vaikutusten vaihe

(Huuhtanen 2020)

Aikaisemmin tarkastelu perustui lähinnä rakennuksen käytönaikaiseen energiankulutukseen, jonka vuoksi ympäristöministeriö kehitti laajemman näkökulman version *Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä* koko elinkaaren hiilijalanjäljen laskentaan. Menetelmän ensimmäinen pilotoitinvaihe päättyi puolessa välin vuotta 2020 ja sen pohjalta on otettu käyttöön säädösohjauksen työkalu eli C-luku. (Huuhtanen 2020) C-lukulaskuri on kehittyneempi versio ensimmäisen hiilijalanjäljen arviointimenetelmän versiosta, joka lupaa hiilijalanjäljen vähentämisen mahdollisuutta jopa 20 % (Ilomäki 2019).

Hiilijalanjäljen laskeminen on osana vähähiilisen rakentamisen tiekarttaa, jonka tavoitteena on tuoda laskenta osaksi lainsäädäntöä vuoteen 2025 mennessä. Laskentaan on olemassa useita erilaisia laskureita, joissa eroina pääasiassa on tarkkuus ja tiedon esittämisen laajuus.

Laskennalla mitataan rakennuksen koko elinkaaren muodostamia kasvihuonekaasupäästöjä ja se olisi kannattavinta tehdä jo suunnitteluvaiheessa, jos hankkeen tarkoituksena on mahdollisimman

vähähiilinen rakennus. Valmiin rakennuksen päästöihin on vaikeampaa vaikuttaa jälkikäteen. Lisäksi tuloksien perusteella pystytään kohdistamaan mahdolliset päästöjen vähennystoimet tiettyihin rakennusvaiheisiin. (Vähähiilisen rakentamisen tiekartta n.d.)

Hiilijalanjäljen laskureiden lopputuloksen tarkoitus ei ole esittää 100 % tarkkuutta, koska usein hankkeen rakennusmateriaalien valinta tarkentuu vasta kilpailutuksen jälkeisessä suunnitteluvaiheessa ja laskureissa ei ole esitetty jokaisen tuotteen taulukkoarvoja valmiiksi. Tietenkin tarkemman tuloksen saamiseksi voi etsiä ja kirjata myös käsin tarkempia tietoja, jolloin tarkkuus luonnollisesti parantuu. Laskuri pyrkii tuomaan hiilijalanjäljen eroavaisuuksia selkeämmin esille ja näin ohjata valitsemaan vähähiilisempiä ratkaisuja. (Kanninen 2019)

Hiilijalanjäljen arvioimiseen tarvitaan materiaalien määräluettelo, jonka tiedot syötetään laskuriin laskurin haluamassa yksikössä. Tutkimissani laskureissa materiaalit esitettiin joko rakenteen neliöinä tai kilogrammoina. Aluksi hiilijalanjäljen laskentatyökaluun esitetään kohteen lähtötiedot. Ensimmäisessä vaiheessa muodostetaan tutkittavasta kohteesta materiaaliluettelo. Luetteloon merkitään materiaalin perään omalle sarakkeelle materiaalin massa kilogrammoina. Massa saadaan laskettua rakennusosan tilavuus kerrottuna käytettävän materiaalin tiheydellä. Materiaalin massa tai neliöt kerrotaan päästökertoimella, josta saadaan materiaalin hiilijalanjälki ja mahdollinen hiilikädenjälki. Laskentaohjelma esittää usein päästökertoimen materiaalista riippuen automaattisesti, mutta päästökertoimiin löytyy myös valmis taulukko Suomen ympäristökeskukselta. Toinen vaihe käsittelee materiaalien valmistuksen, kuljetuksen ja työmaatoiminnan päästöjä ensimmäisen osan esitettyjen arvojen perusteella. Kolmas vaihe on rakennuksen käyttövaiheen päästöjen arviointi ja sinne voidaan esittää koko rakennuksen energiankäytön arvio vuodessa lämpimien tilojen neliöiden avulla. Viimeinen vaihe esittää päästöt, jotka syntyvät rakennuksen elinkaaren lopussa. (Vähähiilisen rakentamisen tiekartta n.d.)

Tuloksissa esiintyvää mahdollista hiilikädenjälkeä ei vähennetä hiilijalanjäljestä, vaan se esitetään omana tietona. Tämän lisäksi lisätietoina voidaan esittää muitakin ympäristöön ja sosiaalivaikutuksiin liittyviä asioita. (Kanninen 2019)

3.3 Hiilijalanjäljen pienentäminen rakentamisessa

Kun halutaan pienentää hiilijalanjälkeä rakentamisen aikana, tulee tunnistaa mistä suurimmat ympäristövaikutukset ovat lähtöisin ja mistä ne muodostuvat. Rakentamisen hiilijalanjälkeen pystytään vaikuttamaan rakennuksen sijainnilla eli kuuluuko alue kaavoituksen piiriin, rakennussuunnittelulla, tuotteiden valinnalla, tehokkaalla rakentamisella ja tulevaisuuden korjaustoimenpiteiden suunnittelulla. Energiatehokkuuden parantaminen yleisesti perustuu lämpöhäviöiden vähentämiseen, sähkönkäytön tehostamiseen, ilmaisenergioiden hyödyntämiseen, kulutuksen ohjaamiseen ja näyttämiseen sekä rakennuksen energiamuotoon (Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035).

Materiaalien vaihtaminen uusiutuvaan tai kierrätettyyn betoniin ja teräkseen ovat yksi vaihtoehto hiilijalanjäljen pienentämiseen. Kierrätetty betonin ja teräksen käyttö lisäävät kiertotalouden lisäämisen merkitystä. Kiertotaloudella tarkoitetaan käytettyjen rakennusmateriaalien hyödyntämistä uudishankkeissa. Näin pystytään vähentämään uusien raaka-aineiden käyttämistä rakentamisessa ja siten vähentämään niistä syntyviä päästöjä. (Kiertotalous n.d.)

Hiilijalanjäljen laskennan avulla voidaan pureutua tarkemmin suurempien päästöjen aiheuttajiin ja kokeilla esimerkiksi materiaalien tai lämmitysjärjestelmien vaihdon merkitystä lopulliseen hiilijalanjälkeen. (Vähähiilisen rakentamisen tiekartta n.d.)

4 Betonielementtirakentaminen

Betonielementeillä tarkoitetaan tehdasolosuhteissa valmistettua valmisosarakennetta. Tarkoituksena on valmistaa elementit siten, että niiden työstäminen työmaalla on enää vähäistä. Betonielementit kuljetetaan tehtaalta työmaalle, jossa ne asennetaan joko suoraan tai välivarastoinnin kautta nostimien avulla rakennukseen.

Betonielementeistä rakentaminen on suosittu rakennusmuoto sen edullisuuden ja kestävyysvuoksi. Elementit soveltuvat moneen eri käyttötarkoitukseen ja niistä voidaan rakentaa niin pieniä kuin suuriakin rakennuksia. Vuosittain elementtitehtaat valmistavat suuria määriä erityyppisiä betonielementtejä asuin-, toimitila- ja teollisuusrakentamiseen. Yleisimpiä tuotetyyppejä ovat sand-

wich- ja kuorielementit, väliseinäelementit, hissikuiluelementit, parvekelaatat, ontelolaatat ja sokkelit. Valmisosia kutsutaan tyyppikohtaisesti usein pienelementeiksi, suurelementeiksi tai tilaelementeiksi.

Pienelementit ovat tavallisesti melko yksinkertaisia rakenteita, joihin ei asenneta esimerkiksi ulko-verhousta, ikkunoita, talotekniikkaa jne. valmiiksi tehdasoloissa. Pienelementtien asentaminen usein työllistää enemmän, koska nostureita ei välttämättä tarvita. Suurelementit rakennetaan tehdasoloissa mahdollisimman valmiiksi kokonaisuuksiksi. Näihin tyyppillisesti voidaan lisätä tehtaalla mahdollinen ulko-verhous, ikkunat, talotekniikka ja pinnoitus. Asennus tapahtuu nopeasti nosturien avulla. Tilaelementit ovat nimensä mukaisesti tehdasolosuhteissa valmistettuja valmiita tilakokonaisuuksia, jotka voidaan rakentaa siten, ettei työmaalla tarvitse tehdä muuta kuin paikalleen asentaminen ja talotekniikan yhdistäminen. (Elementtiasennus n.d.)

4.1 Valmistus

Elementit valmistetaan elementtitehtailla sisätiloissa mitta- ja raudoituspiirustuksien perusteella. Valmistusprosessi on hyvin kehittynyttä ja tarkkaan valvottua. Ennen elementtien valmistamisen aloittamista tarkistetaan elementtapiirustuksien- ja työselosteen sisältö. Jos puitteita tai erimielisyyksiä esiintyy, selvitetään ne ensin tilaajan kanssa. (Toimintajärjestelmän kuvaus 2020)

Elementtien valmistusprosessit elementtitehtaissa eivät juurikaan poikkea toisistaan. Jokaisella valmistajalla on kuitenkin omat tapansa toimia ja tuotekohtaisia valmistuseroja löytyy, mutta pääpiirteittäin valmistusprosessi etenee seuraavasti:

- Muottityöt
- Raudoitustyöt
- Eristystyöt
- Betonointi
- Jälkihuolto
- Viimeistelytyöt
- Varastointi

(Okaria Oy esittelyvideo 2016)

4.2 Ominaisuudet

Betonielementeistä löytyy betonin hyvät ominaisuudet, joiden avulla elementtirakentaminen on kilpailukykyistä ja tehokasta. Betonista tehdyt valmisosat ja rakennukset ovat pitkäikäisiä sekä vähän huoltoa tarvitsevia. Suunnittelu, valmistaminen ja asentaminen kuuluvat vakioituun teolliseen järjestelmään, jossa on vuosikymmenien kokemus taustalla. Suunnittelun avuksi on kehitetty valmiita laskentamalleja ja suunnitteluohjeita, joissa on yhtenäinen toimintaperiaate.

Betonielementit ovat jäykkiä ja lujia. Rakenteen lujuuteen voi vaikuttaa vesi-ilma-sementtisuhteella eli elementtien valmistus on hyvin muuntojoustavaa ja rakenteisiin voidaan vaikuttaa laajasti sekä kohdekohtaisesti. Massiivinen rakenne vaimentaa myös mahdollista tärinää ja on vähemmän värähtelyherkkä kuin esimerkiksi puurakenne. (Lemetyinen & Suikka n.d.)

Etenkin useamman asunnon asuinrakennuksia rakennettaessa ääneneristyksellä on tärkeä merkitys. Betonirakenteet toimivat hyvin ääntä eristävinä rakenteina ja esimerkiksi pelkästä betonielementistä valmistettu väliseinä itsessään jo voi eristää vaatimuksien mukaisesti äänen kantautumisen viereiseen tilaan. (Lemetyinen & Suikka n.d.)

4.3 Ongelmat

Betonielementtirakenteissa ongelmia voi syntyä kosteusteknisessä toiminnassa, johon vaikuttavat mm. rakenteen kuivumisaika, sääolosuhteet ja pinnoitteet sekä saumojen tiivistys. Nykyään tulevaisuudessa piilevät ongelmakohdat osataan jo melko hyvin tiedostaa, mutta kiire ja huolimattomuus lisäävät ongelmien muodostumisen riskiä. Tasoitteet sekä pintamateriaaleihin käytettävät liimat reagoivat rakenteeseen jääneen kosteuden kanssa ja voivat muodostaa hengitysilmaan haitallisia yhdisteitä. (Suonketo & Pentti n.d.)

Betoniterästen korroosion eli ruostumisen riski kasvaa, mikäli kloridien määrä rakenteessa muodostuu haitallisen suureksi tai betoni pääsee karbonatisoitumaan. Vaurio pääsee syntymään herkemmin, jos teräkset ovat liian lähellä betonirakenteen pintaa. Aiheuttaa lähinnä ulkonäöllisiä haittoja eli pinnan halkeilua ja lohkeamista. (Mattila 2018)

Betonirakenteen rapautuminen tapahtuu, jos betonirakenne pääsee keräämään vettä ja jääty-mään sen huokoisuuden sekä haurauden vuoksi. Betonin laadulla ja sen olosuhteiden huomioimi-sella voidaan vaikuttaa mahdollisen vaurion ehkäisemiseen tai vähintäänkin syntymisen laajuu-teen. Vauriolla on vaikutusta betonirakenteen ominaisuuksiin niin sisäisesti kuin ulkoisestikin. (Mattila 2018)

4.4 Rakentaminen nykyaikana

Nykyään betonielementtirakentaminen on tehokkaasti automaattiosoitua. Työvoimaa ei enää käy-tetä läheskään niin paljoa kuin aiemmin, sillä tehtaot ja työkoneet ovat korvanneet käsityön tar-vetta. Rakentaminen tapahtuu yhteistyössä useiden eri alojen asiantuntijoiden kanssa ja työsken-telyä tehostaa kehittynyt tietotekniikka. Suunnitelmia ei enää piirretä käsin ja lähes kaikki tieto on käden ulottuvilla tekniikan toimiessa. Työturvallisuutta valvotaan tarkoin ja toiminta on hyvin suunniteltua.

Tänä päivänä pyritäänkin vahvistamaan jo olemassa olevaa rakentamisjärjestelmää entistäkin pa-remmaksi. Esimerkiksi pölynhallintaan kiinnitetään enemmän huomiota nykyajan rakentamisessa, sillä kvartsipöly eli kivistä muodostuva pöly aiheuttaa syöpäriskiä. Valtioneuvosto julkaisi syöpä-vaaran torjuntaan asetuksen vuonna 2020. Betonipölyä synnyttävät työtehtävät tulisi tehdä mah-dollisimman pölyttömästi. Pölyttävät työtilat voidaan alipaineistaa, työkoneet varustaa imureilla ja työntekijöiden käyttää vähintään FFP3 luokan hengityssuojaimia, jos pölyn pääsyä elimistöön ei voida muilla keinoilla estää. Mikäli työntekijä altistuu kvartsipölylle työtehtävässä, tulee työvaat-teet puhdistaa esimerkiksi imuroimalla ennen työtilasta poistumista. Pölynhallintajärjestelmän tu-lisi toimia niin hyvin, että päästään raja-arvon 0,1 mg/m³ alle. Raja-arvon alle pääsemisen eteen on tehtävä toimenpiteitä. Tehokkain tapa on korvata kvartsipölyä sisältävät materiaalit jollain toi-sella. (Aluehallintovirasto 2020)

5 CLT elementtirakentaminen

CLT-elementtirakentaminen on puurakentamisen yksi vaihtoehto. Massiivipuinen rakennusmateriaali eli CLT eli Cross laminated timber kehitettiin Sveitsissä 1990 – luvulla. CLT-elementit muodostuvat ristiin liimatuista puusaumalevyistä, joita tavallisesti laitetaan kerroksittain 3 tai 5 kappaletta, joissain tapauksissa jopa enemmän. Materiaalin raaka-aineina käytetään yleensä kuusta tai mäntyä. CLT-rakenne eroaa muista liimapuurakenteista siten, etteivät liimatut lamellit ole limitetty järjestelmällisesti samansuuntaisesti vaan ristikkäin toisiinsa. Lamellien ristiin liimaus parantaa rakenteen lujuusteknisiä ominaisuuksia ja tekevät rakenteista hyvin kantavia. Ristiin liimattu rakenne jakaa kuorman vastakkaisiin suuntiin. Lamellien liimauksessa käytetään formaldehydittömiä liimoja, jotka ovat ympäristöystävällisiä. (Stora Enso 2016)

CLT-elementtirakennus on energiataloudellinen muun muassa siten, että puurakenteen valmistuksen matalaenergisyys lisäksi elementtirakenne on ilmatiivis eli erillistä höyrynsulkua ei tarvita sekä kylmäsiltoja ei pääse syntymään, jonka ansiosta rakenne toimii hyvin myös lämmöneristeenä. (Rakentamisen ratkaisut – CLT elementit n.d.) CLT-elementtien käyttö rakentamisessa lisää ohuempien seinärakenteiden ansiosta asuinpinta-alaa jopa 10 % (Stora Enso 2016).

5.1 Valmistus

CLT-elementit valmistetaan sisätilassa elementtitehtaalla. Alussa käytettävä puutavara lujuuslajitellaan sekä sormijatketaan oikean kokoisiksi lamelleiksi. Yksittäiset laudat kiinnitetään ja liimataan ristikkäin halutun kokoisiksi levyiksi, jotka seuraavassa vaiheessa puristetaan kasaan. Valmiiksi puristetut levyt muotoillaan mittatarkoiksi elementeiksi CNC-jyrsimellä.

(Insinööripuutuotteet – Monikerroslevy (CLT) 2020)

Suunnitelmien mukaan elementteihin lisätään kiinnikkeiden, talotekniikan ja nostojen tarvitsemat rei'itykset sekä ikkuna- ja oviaukot. Levyjä valmistetaan valmistajakohtaisesti 60 – 400 mm paksuiseksi, enintään 2,95 – 4,8 m leveäksi ja 12-20 m pituisiksi. (Insinööripuutuotteet – Monikerroslevy (CLT) 2020)

Kuviossa 3 on esitetty esimerkit 3 ja 5 kerroksisista CLT-levyistä.



Kuvio 3. CLT-ristiin liimattu rakenne (Insinööripuutuotteet – Monikerroslevy (CLT) 2020)

Valmistajakohtaisesti elementit tehdään syrjäliimatuiksi tai syrjäliimaamattomiksi hionnalla tai ei. Lähinnä syrjäliimatuilla ja syrjäliimaamattomilla laaduilla on merkitystä vain ulkonäöllisesti eli lujuusteknisesti molemmat ovat yhtä toimivia ratkaisuja. Syrjäliimatut ja hiotut rakenteet ovat visuaalisesti hyvännäköisiä sekä sileitä pinnaltaan, kun taas rakoileva syrjäliimaamaton rakenne ilman hiontaa. Syrjäliimaamaton rakenne ei luonnollisesti toimi ilmansulkuna ja rakoilu todennäköisesti saattaa lisääntyä lämmityskauden aikana. (Vaapu-videoluennot 2020)

5.2 Ominaisuudet

CLT on monikäyttöinen materiaali, jota on helppoa työstää ja käsitellä yksityiskohtaisesti sekä käyttää ja muunnella eri käyttötarkoituksiin. Rakenteellisiensa vuoksi se soveltuu pientalorakentamisesta julkiseen rakentamiseen saakka ja siitä voidaan tehdä niin seiniä, kattoja kuin välipohjarakenteitakin. CLT elementit ovat myös ulkonäöllisesti näyttäviä rakenteita ja sen vuoksi useasti halutaan jättää mahdollisimman paljon pintaa esille. (Stora Enso 2016)

CLT-levyt ovat kevyitä rakenteita, jotka mahdollistavat esimerkiksi kevyempien perustusten rakentamisen (Stora Enso 2016). Palotilanteessa CLT toimii erinomaisesti. Pinta hiiltyy, mutta rakenne ei

romahda. Tähän vaikuttaa hiiltymissyvyyyden huomiointi elementin suunnitteluvaiheessa. Palon-suojamaaleja hyödyntämällä pinnasta voidaan saada täysin syttymätön (CLT-levyn tekniset tiedot n.d.). Nykyisten palomääräysten mukaan rakennuksen käyttötarkoituksesta ja koosta riippuen vähintäänkin suositellaan sprinklausjärjestelmän käyttöä, joka parantaa entisestään rakennuksen paloturvallisuutta. Puukerrostaloissa 3 – 4 kerroksisesta rakennuksesta lähtien tarvitaan automaattinen sammutusjärjestelmä. (Siikanen n.d.)

CLT-elementtitaloja nousee muidenkin elementtitalojen mukaan ympäri vuotta vuodenaajoista riippumatta. Talvirakentaminen on lisääntynyt ja CLT-elementit soveltuvat viileän ajan rakentamiseen jopa paremmin kuin hyvin. Talven pimeyden ja kylmyyden ajanjakso parantaa havupuun syiden tiheyttä sekä parantaa puun lujuutta. CLT-rakenne ei myöskään ota mahdollisesta kosteudesta itseensä, sillä rakenteessa ei ole suojaustarpeisia eristeitä ja mahdollinen rakenteeseen syntynyt kosteus vapautuu kuivuessaan takaisin ilmaan. (Hoisko 2020)

5.3 Ongelmat

CLT rakennuksen suunnittelussa yksi haaste on se, ettei Suomessa ole tarjolla virallista mitoitusmenetelmää CLT materiaaleille. Tuotteiden valmistajilla on omia arvoja ja määritelmiä valmistamilleen elementeille, joka tulee huomioida rakenteita suunniteltaessa sekä tilatessa kohteeseen. Tuotteiden ja suunnitelmien on oltava yhteensopivia keskenään toteutusvaiheessa. (Vaapu-videoluennot 2020)

Rakennuksen ankkurointi kerroksittain sekä perustuksiin tuo suunnitteluun haasteita, sillä puu- ja massiivipuurungossa ei usein ole tarpeeksi omapainoa, jotta ankkuroinnista syntyvät vetovoimat voitaisiin kumota. Tämän vuoksi toimivampi ratkaisu voisi olla rakentaa rakennus puusta jäykisteenä toimivan betonirakenteen ympärille. (ePuu n.d.)

CLT-rakenteella rakennuksen jäykistämisen haasteet tulevat esille rakennuksen runkosyvyyyden ja korkeuden kautta. Hoikalla rakennuksella on tapana huojua enemmän ja korkeat rakenteet nostattavat rakennuksen kuormaa. (ePuu n.d.)

5.4 Toimintaperiaate

Paikalla rakennettaessa valmiit mittatarkat CLT-levyt kuljetetaan työmaalle, jossa ne nostetaan saman tien paikoilleen tai välivarastoidaan myöhempää asennusta varten. CLT levyseinät sisältävät yleensä kolme tai viisi kerrosta. Sisäpuolella on rakenteen runko, joka muodostuu CLT-levystä ja toimii halutessaan valmiina sisäpintana. Keskellä sijaitsevat vaippamaiset lämmöneristekerrokset, jotka toimivat myös ilman puurunkoa ja koolausta. Ulkopuoli koostuu suojaavasta ulkoverhouksesta, jonka väliin jätetään rakenteiden kuivumista varten tuuletusrako. Kantavissa rakenteissa suositellaan viiden lamellikerroksen rakennetta.

CLT-elementit liitetään toisiinsa pitkillä ja jykevilla ruuveilla sekä saumojen tiivistykset tehdään tiivistysmassalla. Elementtien asentamisen jälkeen päästään talotekniikka- ja viimeistelyvaiheisiin, joita voidaan tehdä samanaikaisesti. (Crosslamin valmistamista CLT-levyistä rakentaminen n.d.)

CLT rakennuksen jäykistys tapahtuu levyjäykistys periaatteella. Levyt pystytään suunnittelemaan siten, ettei mahdolliset aukot rakenteessa vaikuta jäykistykseen lainkaan. Jotta rakennus pystytään jäykistämään CLT levyjen avulla, täytyy elementtien olla samassa linjassa kerroksesta toiseen. (Crosslamin valmistamista CLT-levyistä rakentaminen n.d.)

Etenkin kerrostalorakentamisessa on yleistynyt moduuli- eli tilaelementtitekniikka ja CLT rakennusmateriaali soveltuu erinomaisesti tähänkin. Tehtaalla tilaelementteihin rakennetaan valmiiksi tietyn tilan seinät, katto ja lattiat sekä siihen voidaan asentaa esimerkiksi LVIS tekniikkaa, ikkunoita, ovia ja kiintokalusteita. Rakennusaika nopeutuu huomattavasti, kun valmiit tilaelementit tarvitsee vain nostaa nosturilla paikoilleen ja kiinnittää toisiinsa. Näin työmaalla säästytään valu- ja juotostyövaiheilta, jotka aiheuttavat ylimääräistä kosteusrasitusta rakenteisiin. (Crosslamin valmistamista CLT-levyistä rakentaminen n.d.)

Suurelementtijärjestelmä**Tilaelementtijärjestelmä**

Kuvio 4. Suomessa lanseeratut kerrostalojärjestelmät (Typpö 2016)

5.5 Rakentaminen nykyaikana

Ympäristöministeriö on tehnyt vuosikymmenien ajan töitä puurakentamisen näkyvyyden edistämiseksi. Alun perin puurakentamisen edistämistä perusteltiin puun viennin tärkeydellä ja nykyään ilmastoasioiden siivellä vähähiilisenä rakennusmateriaalina. Tulevaisuudessa pyritään asettamaan muille materiaaleille kierrätysvaatimuksia, jotta puurakennuksien kustannuksia saadaan yhä alemmaksi ja siten kilpailukykyisemmäksi. (Mölsä 2020)

Ympäristöministeriön selvityksen mukaan rakenteilla ja suunnitteilla olleiden puukerrostalojen määrä vuoden 2020 joulukuussa oli 73. Rakennuksien määrä ja puukerrostalojen suosio on kasvanut vuosi vuodelta verrattuna vuoden 2018 hankkeisiin, joita suomessa oli 51. Luvuissa on laskettu puukerrostalohankkeet, joissa on vähintään kolme kerrosta ja rakennukset ovat puukerrostaloja, puukerrostalokortteleita tai suuremman mittakaavan julkisia rakennuksia kuten toimistorakennuksia. (Valtioneuvosto 2020)

6 Betoni vs CLT vertailu

Betonielementtirakentaminen ei ole ekologisesti ollut kovin kannattavaa ja puuelementtirakentaminen on pyrkinyt nostamaan suosiotaan ympäristölle parempana vaihtoehtona. Valmistajat ovat tuoneet markkinoille entistä energiatehokkaampia ratkaisuja, joilla voidaan parantaa rakennuksen elinkaarta.

Betoniteollisuus on pyrkinyt vahvistamaan kestävän rakentamisen parantamista. Suuri rooli on raaka-aineiden toimittajien, valmistajien ja tilaajan ympäristömyönteisyydellä. Jotta päästään annetussa ajassa hiilineutraaleihin tavoitteisiin, täytyy toimintaa kehittää entisestään. Betoniteollisuuden keskiössä on lisätä ympäristöjärjestelmien käyttöä, edistää ajankohtaisia tehtaiden ympäristösuunnitelmien hyödyntämistä, parantaa raaka-aineiden käyttöä, säästää energiaa rakennusprosessissa ja rakennuksessa, tehostaa materiaalien kierrättämistä ja uusiutuvaa käyttöä sekä varmistaa henkilöstöjen työturvallisuus. (Kestävä betonirakentaminen on myös ekologisesti kestävä n.d.)

CLT tuotanto on hiukan edellä hiilineutraaliustavoitteiden toteutumisen sarakkeella, mutta suurin hidaste piilee kilpailukyvyn saavuttamisessa ja siten teollisuuden eteenpäin viemisessä. Tällä hetkellä jo tehtyjen rakennushankkeiden perusteella on arvioitu suunnitteluvaiheen kestävän pisinpään. Hyvin alusta alkaen tehdyllä suunnittelulla on koettu kuitenkin olevan positiivisia vaikutuksia rakentamisen elinkaaren kustannustehokkuuteen. (Puurakentaminen on edelläkävijän valinta n.d.)

6.1 Esimerkkikohde

Esimerkkikohde tutkimuksessa on 7+1 kerroksinen asuinkerrostalorakennus, jossa on asunonhuoneistoja noin 50 kappaletta. Rakennuksen netto pinta-ala on noin 3200 m². Tutkimus on toteutettu *Rakennusmateriaalien hiilijalanjäljen laskentatyökalulla*, joka on julkaistu hiilijalanjäljen arvioimisen testausta varten.

Laskennan luonnosversio on melko vaatimaton ja tulokset ovat suuntaa antavia. Hiilijalanjäljen vertailu rajattiin pelkästään rakennusmateriaaleihin, sillä alkuperäisestä kohteesta oli esittää vain

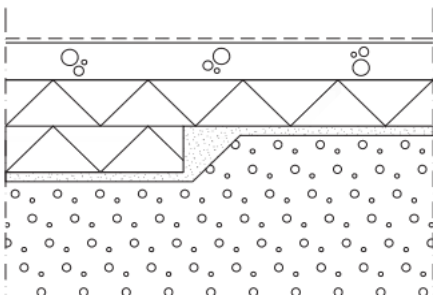
rajattu määrä lähtötietoja, eikä tutkimuksen tarkoituksena ollut mitoittaa tarkasti kohteen hiilijalanjälkeä. Tutkimuksessa ei myöskään otettu kantaa taloteknisiin toimintoihin, koska tarkoituksena oli vertailla vain rakennusmateriaalien aiheuttaman hiilijalanjäljen eroavaisuuksia.

Todellisia mittoja ja rakenteita on yksinkertaistettu eli ne eivät vastaa täysin alkuperäiseen tunnistamattomuuden takia. Rakenteiden mitat on arvioitu keskiarvoina alkuperäisestä betonielementtirakenteisesta kerrostalosta. CLT-vertailussa rakennusmateriaalien vaihto betonin tilalle on pyritty tekemään mahdollisimman vastaavanlaisilla, mutta käytännössä toimivilla rakenteilla. Tutkimuksessa tavoitteena on havainnollistaa materiaalinvaihdon merkitystä rakennuksen eri osissa.

6.2 Esimerkkikohteen rakenteet

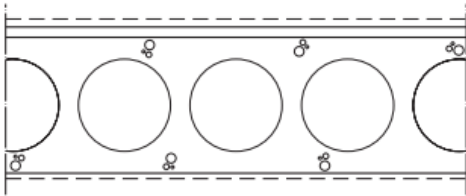
6.2.1 Alapohja

- 100 mm Teräsbetoni-laatta
- 140 mm Lämmöneristys EPS 100.
- Kapillaarikatkosepeli

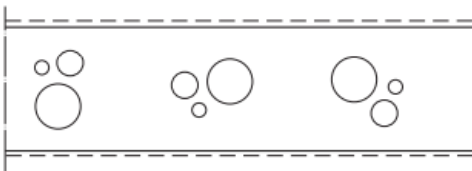


Kuvio 5. Maanvarainen alapohja (RT 83-11009, AP 417)

6.2.2 Välipohja

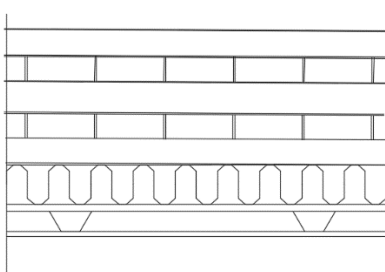


Kuvio 6. Ontelolaatta 320 (RT 83-10902, VP 402)



Kuvio 7. Massiivilaatta 260 mm (RT 83-10902, VP 409)

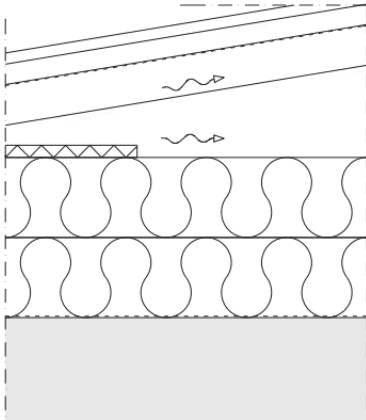
- CLT 250mm
- Rimat 48x48 mm k600
- Lämmöneriste 50 mm
- Jousirangat
- Kipsilevyt



Kuvio 8. CLT välipohja

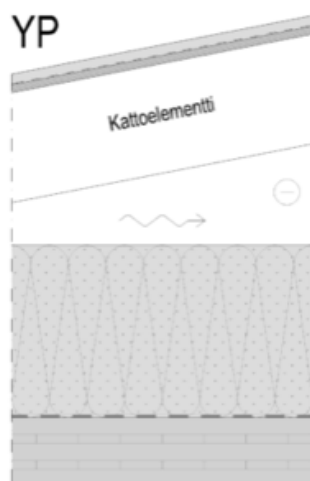
6.2.3 Yläpohja

- Puurakenteet
- Lämmöneriste 460 mm
- Ontelolaatta 265 mm



Kuvio 9. Betoni yläpohjarakenne

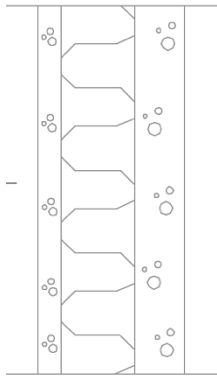
- Puurakenteet
- Lämmöneriste 460mm
- CLT 260 mm



Kuvio 10. CLT yläpohja (ePuu)

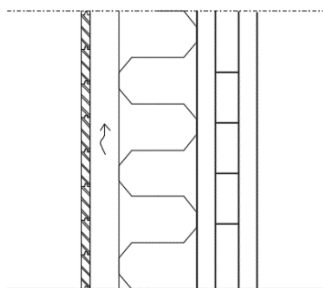
6.2.4 Ulkoseinät

- Teräsbetoni ulkokuori 70 mm
- Lämmöneriste 220 mm
- Teräsbetoni sisäkuori 150 mm



Kuvio 11. Betoni ulkoseinärakenne

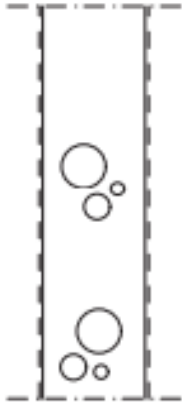
- Ulkoverhoilu
- Tuuletus
- Kipsilevy
- Lämmöneriste 200 mm
- CLT 150 mm



Kuvio 12. CLT-ulkoseinärakenne

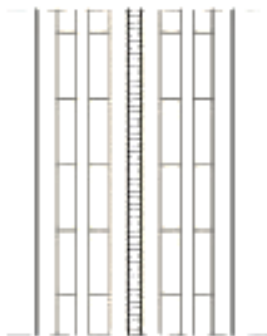
6.2.5 Väliseinät

- Kantavat väliseinät 200 mm.



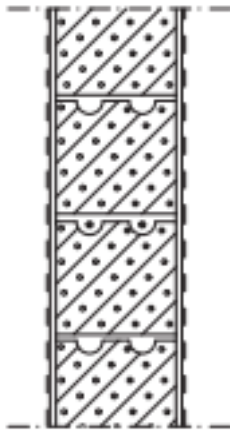
Kuvio 13. Kantava väliseinärakenne (RT 82-10903, VS 401)

- CLT 100 mm
- Ääneneriste
- CLT 100 mm



Kuvio 14. CLT-väliseinä (Typpö 2016)

- Kevyet kevytsoraharkkoväliseinät 100 mm.



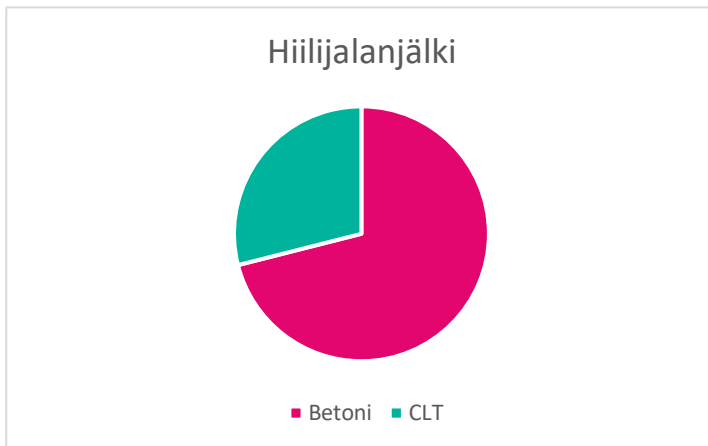
Kuvio 15. Kevyt väliseinärakenne (RT 82-10903, VS 507)

6.2.6 Muut rakenteet

Loput laskennassa mukana olevat rakenteet kuten väestönsuojantila, portaat, parveke-elementit ja hormielementit ovat lisäämässä rakennusmateriaalien kokonaishiilijalanjäljen arvioinnin tarkkuutta, mutta niitä ei oteta huomioon rakenneosatarkasteluissa.

6.3 Tulokset

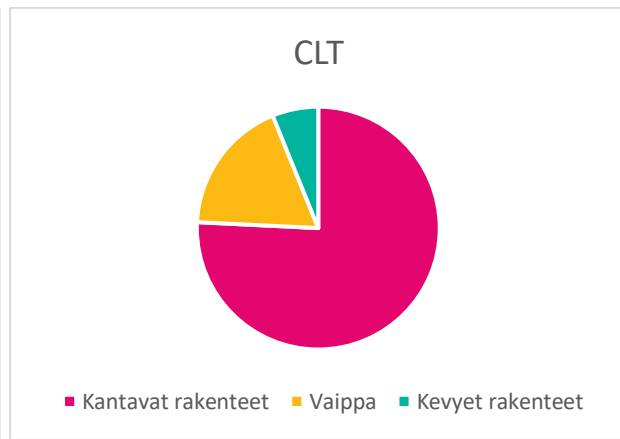
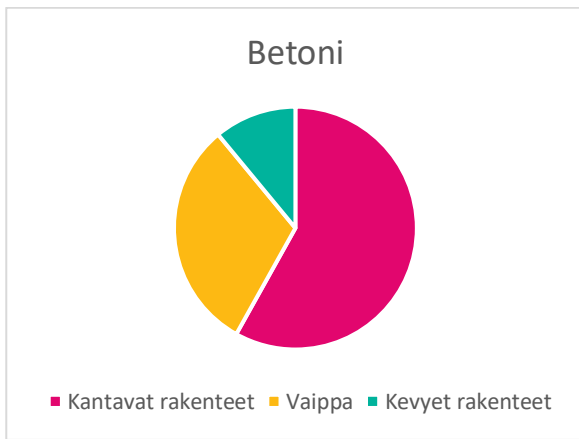
Esimerkkikohteen kokonaistuloksista on havaittavissa se, että betonilla rakennettaessa hiilijalanjälki on merkittävästi suurempi kuin CLT-massiivipuulla rakentamisessa. Seuraavassa kuviossa on esitetty esimerkkikohteiden rakennusmateriaalien vertailujen hiilijalanjäljet kokonaisuudessaan.



Kuvio 16. Rakennusmateriaalien hiilijalanjälki (kaikki)

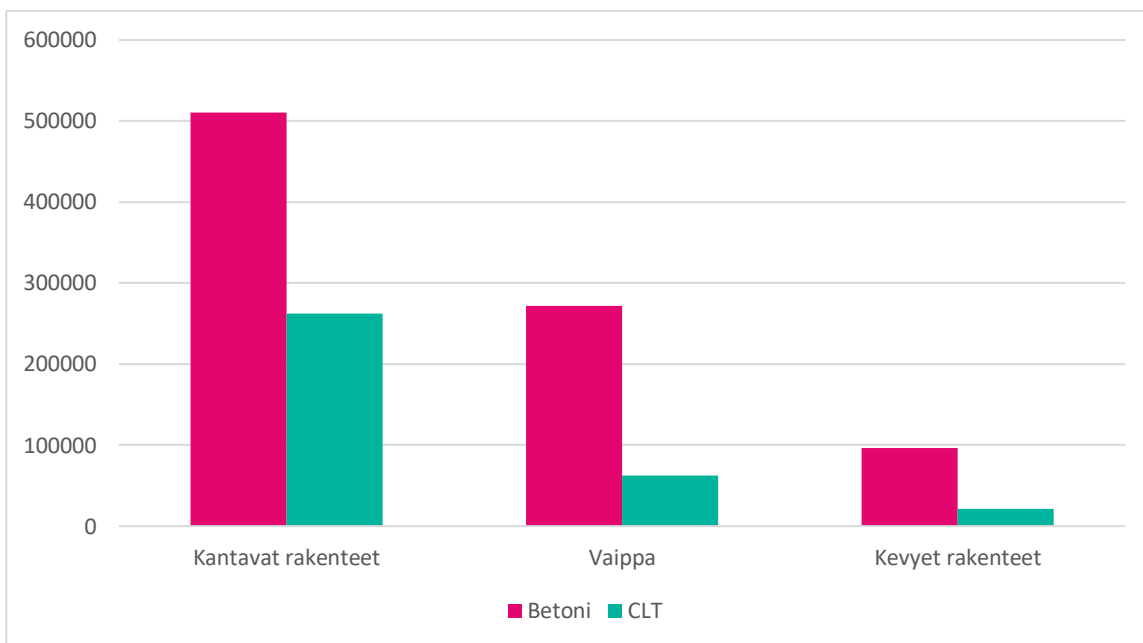
CLT-rakennuksessa eniten hiilijalanjälkeä muodostuu CLT-levyrakenteista, mutta samaan aikaan rakenne voi varastoida noin kahdeksankertaisen määrän hiiltä itseensä.

Seuraavissa kuvioissa on esitetty rakennuksen hiilijalanjäljen arvioita rakenneosia kohtaisesti. Rakenneosat on jaoteltu kantaviin rakenteisiin, rakennuksen vaipan rakenteisiin ja kevyisiin rakenteisiin. Tuloksista tulee ilmi rakenteiden massan vaikutus. Mitä suurempi massa rakenteessa on kyseessä, sitä enemmän se nostaa hiilijalanjäljen määrää. Kantavat rakenteet ovat rakennuksen raskaimpia osia, jonka vuoksi niiden hiilijalanjälki on kaikkein suurin.



Kuvio 17. Betonikohteen osa-rakenteet

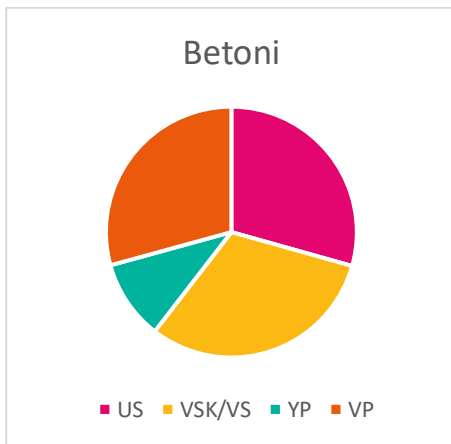
Kuvio 18. CLT-kohteen osa-rakenteet



Kuvio 19. Rakenneosien hiilijalanjäljen vertailu

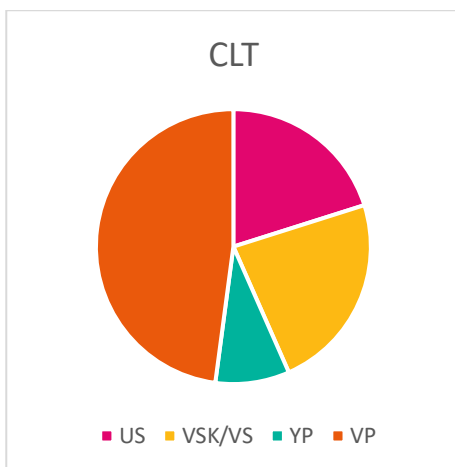
Seuraavaksi jaotellaan rakenneosat vielä pienemmiksi eli rakennetyypeiksi.

Betonirakenteisessa rakennuksessa materiaalien muodostama hiilijalanjälki on melko tasainen niin seinärakenteilla kuin välipohjarakenteilla. Yläpohjan rakenteet erottuvat pienemmällä hiilijalanjäljellä puurakenteisen yläpohjan ansiosta.



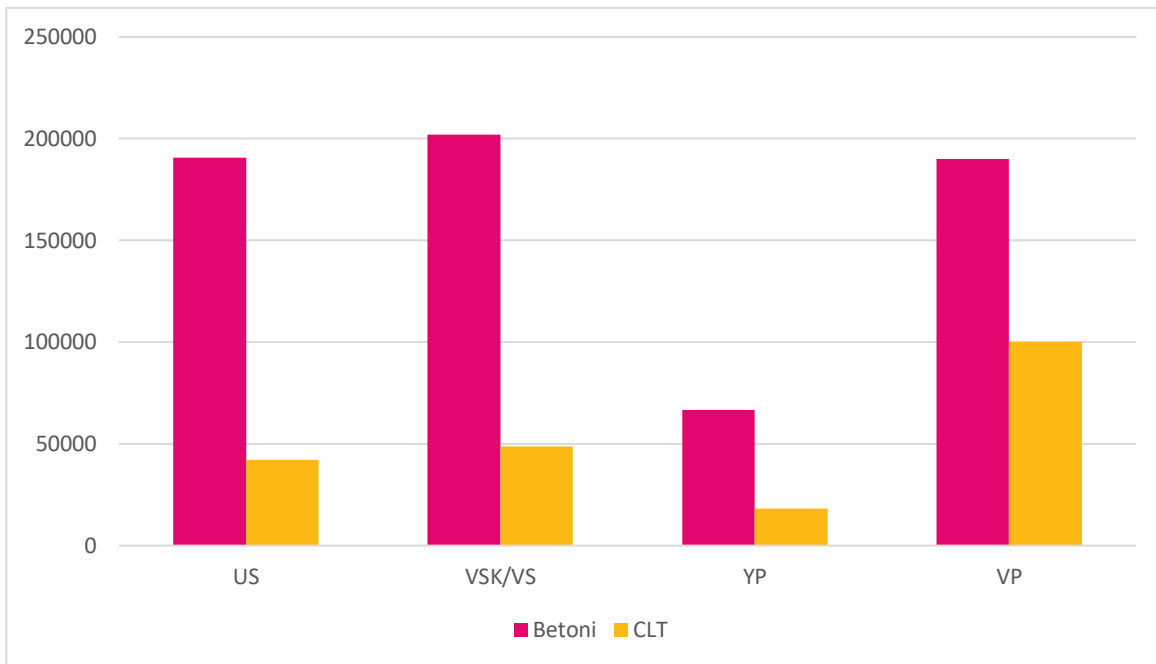
Kuvio 20. Betonisten rakennetyyppien hiilijalanjälki

CLT-rakennuksen suurimman hiilijalanjäljen muodostavat välipohjarakenteet. Syy tähän löytyy ääneneristysvaatimuksista. Kuten aiemminkin jo teoriaosuudessa mainittiin, CLT-välipohja vaatii huomattavasti massiivisemmän rakenteen vaadittavan ääneneristyksen täyttymiseen verrattuna betonirakenteeseen välipohjarakenteeseen.



Kuvio 21. CLT rakennetyyppien hiilijalanjälki

Kuviossa 22 on esitetty edellisten kuvioiden rakennustyyppien hiilijalanjäljen vertailu. Vaihtamalla betoniset seinärakenteet CLT rakenteisiin rakennuksen hiilijalanjälki pienentyisi moninkertaisesti. Vähiten eroavaisuutta on havaittavissa välipohjarakenteissa edelliseen kuvioon viitaten.



Kuvio 22. Rakennetyyppien hiilijalanjälki vertailu

6.4 Johtopäätökset

Rakennusmateriaalin vaihdolla betonista CLT-massiivirakenteeseen, rakennusmateriaalin hiilijalanjälki laski noin 60 %. Molempien rakennuksien alapohjat toteutettiin betonirakenteisena samalla tavalla, joten alapohjan eroavaisuus oli tarkastelussa merkityksetön. Merkittävimmät erot näkyivät seinärakenteissa rakenteiden massojen suuren eron vuoksi.

CLT-rakenne on kevyt puurakenne, eikä sen valmistamisessa synny energiaa läheskään niin paljoa kuin betonirakenteissa. Yläpohjarakenteet olivat betonirakenteisessakin rakennuksessa ontelolaattojen lisäksi puurakenteisia, jonka vuoksi hiilijalanjälki on suhteessa muihin rakenneosiin pienempi. Välipohjarakenteissa hiilijalanjälki oli CLT-materiaalilla vain vajaa puolet verrattuna betonirakenteeseen välipohjaan ja kaikkein suurin koko CLT-rakennuksessa. Tämä siksi, jotta saadaan tarpeeksi eristävät ja jäykät välipohjarakenteet.

Tulokset ovat luotettavia suuntaa antavassa tarkastelussa ja tutkimus onnistunut vähähiilisyyden tarkastelussa kahden materiaalin välillä. Materiaalien vaihdolla on suuria eroja havaittavissa. CLT-rakenteinen kerrostalo on vähähiilinen, mutta suunnittelussa ja toteutuksessa olevien haasteiden vuoksi kantavaksi rungoksi voisi hyödyntää betonia.

7 Pohdinta

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia, kuinka paljon rakennuksen hiilijalanjälkeä arvioltaan pystyttiin laskemaan betonin vaihtuessa CLT-rakenteeseen. Lisäksi tavoitteena oli selvittää, voidaanko materiaalit valita hiilijalanjäljen laskennan avulla. Tavoitteessa pysyminen edellytti laajaa tiedonhankintaa ja ymmärrystä rajata käsitelty tieto opinnäytetyön aiheeseen soveltuvaksi.

Betonin hiilijalanjälki on melko suuri, jos rakennettaisiin ns. ”normaalilla” tavalla. Betonirakentaminen on kuitenkin suosittua ja kannattavaa, jonka vuoksi hiilijalanjäljen vähentämiseen kannattaa pyrkiä vaikuttamaan. Suuren hiilijalanjäljen pienentämisen mahdollistamiseen on onneksi jo kehitetty kestävämpiä ratkaisuja kuten laskurien hyödyntämistä, sementin vaihtamista kierrätettyihin raaka-aineisiin ja elementtivalmistajien tuottamia vähähiilisempiä rakennustuotteita.

Haasteena koin työtä tehdessä CLT rakentamisen ongelmakohtien etsinnän. Suomenkielisillä verkkosivustoilla oli paljon tietoa CLT-rakenteiden hyvistä ominaisuuksista, mutta huonosti CLT rakenteiden ongelmakohdista. Oletan sen johtuvan siitä, että CLT-rakennuksen pitkän aika välin toivuudesta ja mahdollisista tulevista ongelmakohdista tiedetään vielä suhteellisen vähän. Se on ihan ymmärrettävää, sillä CLT on melko uusi materiaali isommissa rakennuksissa ja tehokas puuelementtirakentaminen on vielä etenkin Suomessa kehitysvaiheessa. Silti toivoisin, että mahdollisia tulevia ongelmia tai riskejä tuotaisiin enemmän esille jo tänä päivänä, eikä vasta sitten kuin niitä alkaa tapahtua. Nykyään osataan ajatella kokemuksien kautta melko laajasti tulevaisuuden rakentamista, mutta kritiikillekin kuuluisi antaa oma osansa.

Hiilijalanjäljen laskeminen ja arviointi osoittautui oletettua vaikeammaksi. Laskentatyökalun materiaaliluettelo, joille päästöarvot oli valmiiksi jo esitetty, oli melko suppea ja jonkin verran soveltamista joutui tekemään vastaavaan rakenteen saamiseksi käytettävissä olevilla vaihtoehtoilla. Kuitenkin, jos halutaan vielä tarkempia tuloksia laskentatyökalulla, voidaan hakea erikseen yksittäisen materiaalin päästötiedot jostain muusta tietokannasta ja syöttää ne laskentataulukkoon. Laskentapohja on hyvin yksinkertainen. Lisäämällä materiaaleja entisestään, tulokset tarkentuisivat paremmin. Kuitenkin hiilijalanjäljen laskemisella voitaisiin vaikuttaa vähähiilisempiin materiaalivalintoihin, mikäli laskenta tehtäisiin tarpeeksi ajoissa. Laskentatyökalut antavat useammista materiaaleista suuntaa antavan hiilijalanjäljen.

Rakennuksen elinkaariarviointi ja hiilijalanjäljen laskeminen tuo helpommin näkyviin mahdollisia kehitys- ja ongelmakohtia. Koen, että arviointien hyödyntämisen avulla ympäristöystävällistä rakentamista on matalampi kynnyks lähestyä ja niin lähteä parantamaan rakentamista kestävämpään suuntaan.

Lähteet

Aluehallintovirasto. 2020. Kvartsipitoiselle pölylle altistumisen valvonta rakennusalalla. Työsuojeluhallinnon verkkosivut. Viitattu 28.4.2021. https://www.tyosuojelu.fi/documents/14660/126482/Kvartsipitoiselle+polyille+altistumisen+valvonta+rakennusalalla_AVI.pdf

Betoniteollisuus ry. N.d. Betonin valmistus. Betoni.com verkkosivu tietoa betonista. Viitattu 29.3.2021. <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/betonin-valmistus/>

CLT-levyn tekniset tiedot. N.d. Crosslamin verkkosivut. Viitattu 9.4.2021. <https://www.crosslam.fi/tuotteet/tekniset-tiedot>

Elementtiasennus. N.d. Conelin verkkosivut. Viitattu 18.4.2021. <https://www.coneli.fi/elementtiasennus/>

ePuu. N.d. ePuu-palvelun verkkosivut, työkaluja puurakennushankkeen valmisteluun. Viitattu 30.4.2021. <https://epuu.fi>

Heikinheimo, A. N.d. Puukerrostalo. Rakennustiedon verkkosivut. Viitattu 30.4.2021. <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK120501.pdf>

Hoisko. 2020. Talvi on hyvää aikaa CLT-rakentamiseen. Puutuoteteollisuus Hoiskon verkkosivut. Viitattu 9.4.2021. <https://hoisko.fi/2020/12/07/talvi-on-hyvaa-aikaa-clt-rakentamiseen/>

Huhtanen, J. 2020. Mitä hiilijalanjälkilaskenta tarkoittaa ja miten se tehdään? Raksystems verkkosivun blogi. Julkaistu 17.9.2020. Viitattu 4.5.2021. <https://www.raksystems.fi/blogi/mita-hiilijalanjalkilaskenta-tarkoittaa-ja-miten-se-tehdaan/>

Hytönen, Y. & Seppänen, M. 2009. Tehdään elementeistä – Suomalaisen betonielementtirakentamisen historia. Julkaisija Betonitieto Oy. Viitattu 24.3.2021. <https://betoni.com/wp-content/uploads/2020/06/Tehdaan-Elementeista.pdf>

Hyvä tietää puun käytön ympäristövaikutuksista. 2019. Puuinfon verkkosivut. Viitattu 8.4.2021.

<http://www.segrateproduce.com/tee-se-itse/hyva-tietaa-puun-kayton-ymparistovaikutuksista>

Häkkinen, T. & Kuittinen M. 2020. Kohti vähähiilistä rakentamista – Opas arviointiin ja suunnitteluun.

Ilmastonmuutos. N.d. Benviroc.fi verkkosivut. Viitattu 9.5.2021. <https://www.benviroc.fi/ilmastonmuutos?showall=1>

Ilomäki, A. 2019. Asuinrakennusten elinkaaren hiilijalanjäljen C-lukulaskuri. Eristeteollisuuden verkkosivu. Julkaistu 23.5.2020. <https://www.eristeteollisuus.fi/laskurit/c-lukulaskuri-asuinrakennusten-elinkaaren-hiilijalanjalki>

Insinööripuutuotteet – Monikerroslevy (CLT). 2020. Puuinfon verkkosivut. Viitattu 9.4.2021.

<https://puuinfo.fi/puutieto/insinoorituotteet/monikerroslevy-clt/>

Johdatus rakennusten elinkaariarviointiin. N.d. Ympäristöministeriö. Viitattu 30.3.2021.

https://elinkaarilaskenta.fi/wp-content/uploads/sites/6/2019/08/johdatus_rakennusten_elinkaariarviointiin.pdf

Järvinen, K. 2011. RunkoPES – Teollisen puuelementtirakentamisen avoin standardi. Dia-esitys. Viitattu 12.4.2021.

<https://www.vasek.fi/assets/Files/Rakentamisen-tietopankki/Puuroadshow-200411/Kimmo-Jrvinen-RunkoPES-teollisen-puuelementtirakentamisen-avoin-standardi.pdf>

Kanninen, M. 2019. Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä. Ympäristöministeriö. Viitattu 20.4.2021.

https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161761/YM_2019_22_Rakennuksen_vahahiilisyyden_arviointimenetelma.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Kestävä betonirakentaminen on myös ekologisesti kestävä. N.d. ASV verkkosivut. Viitattu 29.4.2021.

<https://asv.fi/kestava-rakentaminen-myos-ekologisesti-kestavaa>

Kiertotalous. N.d. Green Building Council Finland verkkosivut. Viitattu 30.4.2021.

<https://figbc.fi/kiertotalous/>

Kivifaktaa. N.d. Betonielementit. Viitattu 29.3.2021. <https://kivifaktaa.fi/suomea-rakentamassa/betonielementit/>

Kuittinen, M. 2014. Rakennusten ilmastovaikutuksien vertailu. Viitattu 30.3.2021. <http://www.seg-rateproduce.it/sites/default/files/Rakennusmateriaalien%20ilmastovertilu%202014-10-20.pdf>

Lemetyinen, J. & Suikka, A. N.d. Betonirakenteiden ympäristöominaisuuksia. Viitattu 29.4.2021.

<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK120503.pdf>

Mattila, J. 2018. Ulkobetonirakenteet ja niiden vauriot. Viitattu 29.4.2021. http://www.betoniyhdistys.fi/media/kurssimateriaalia/bkrf-2018/3_by-patevoityskurssi-rakenteet-ja-vauriot-mattila-16.1.2018.pdf

Mölsä, S. 2020. Jokainen hallitus on edistänyt puurakentamista vuodesta 1994 – tuloksia alkaa vihdoinkin näkyä. Rakennuslehti 11.12.2020. Viitattu 12.4.2021. <https://www.rakennuslehti.fi/2020/12/hallitus-on-edistanyt-puurakentamista-vuodesta-1994-tuloksia-alkaa-vihdoinkin-nakya/>

Okaria Oy esittelyvideo. 2016. Pintos Oy. Viitattu 18.4.2021. <https://www.youtube.com/watch?v=P0kr7Pe9ZDg>

Puun käyttö rakentamisessa. 2020. Puuinfon verkkosivut. Viitattu 8.4.2021. <https://puuinfo.fi/puu-tieto/kayttokohteet>

Puurakentaminen on edelläkävijän valinta. N.d. Motivan verkkosivut. Viitattu 29.4.2021.

https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/puurakentaminen/julkinen_puurakentaminen

Rakennusten energiatehokkuutta koskeva lainsäädäntö. N.d. Ympäristöministeriön verkkosivut. Viitattu 9.4.2021. <https://ym.fi/rakennusten-energiatehokkuus>

Rakentaminen ja rakennukset. N.d. Motivan verkkosivut. Viitattu 18.4.2021. https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kestavat_julkiset_hankinnat/tietopankki/rakentaminen_ja_rakennukset

Rakentamisen ratkaisut – CLT elementit. N.d. Puumerkin verkkosivut. Viitattu 27.4.2021. https://www.puumerkki.fi/rakentamisen_ratkaisut/clt-elementit.html

RT 82-10903. 2007. Väliseinärakenteita. RT-ohjekortti. Rakennustieto. Viitattu 30.4.2021. <Http://www.jamk.fi/fi/Palvelut/kirjasto/Oppaat/Tekniikka-ja-liikenne/>, RT-kortisto.

RT 83-11009. 2010. Alapohjarakenteita. RT-ohjekortti. Rakennustieto. Viitattu 30.4.2021. <Http://www.jamk.fi/fi/Palvelut/kirjasto/Oppaat/Tekniikka-ja-liikenne/>, RT-kortisto.

RT 83-10902. 2007. Välipohjarakenteita. RT-ohjekortti. Rakennustieto. Viitattu 30.4.2021. <Http://www.jamk.fi/fi/Palvelut/kirjasto/Oppaat/Tekniikka-ja-liikenne/>, RT-kortisto.

Sementti ja kasvihuonekaasupäästöt. N.d. Betonin verkkosivut. Viitattu 29.3.2021. <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/sementti-seosaineiden-kaytto/>

Siikanen, U. N.d. Puurakennuksen palotekninen suunnittelu. Rakennustieto. Viitattu 9.4.2021. <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK00s659.pdf>

Stora Enso. 2016. Puu – maailman vanhin ja myös modernein rakennusmateriaali. Viitattu 9.4.2021. https://www.storaenso.com/-/media/Documents/Download-center/Documents/Product-brochures/Wood-products/CLT-Imagebrochure_final-2016-04-25_FI-WEB.pdf

Suonketo, J. & Pentti, M. N.d. Todellisia ja luultuja ongelmia. Betonin verkkosivut. Viitattu 29.4.2021. <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/ominaisuudet-ja-edut/ongelmia-ja-luuloja/>

Toimintajärjestelmän kuvaus. 2020. Parma Oy. Sähköpostiviesti 18.4.2021.

Tolppanen, J. 2013. Suomalainen puukerrostalo. Tampere: Juvenes Print.

Typpö, S. 2016. CLT ja LVL, Uudet rakentamisen konseptit. Stora Enso. Puunet-koulutus, Kajaani. Viitattu 9.4.2021. https://www.tts.fi/files/652/Puunet-2.12.2016-stora_enso.pdf

Vaapu-videoluennot. 2020. Moduuli 1: CLT ja LVL rakentaminen. Puuinfo verkkosivut koulutus-osio. Viitattu 29.4.2021. <https://puuinfo.fi/koulutus/vaativien-puurakenteiden-suunnittelu-taydennyskoulutus-vaapu/vaapu-videoluennot/>

Valtioneuvosto. 2020. Selvitys: Puurakentaminen kasvussa tänäkin vuonna – asuinkerrostalojen lisäksi puu taipuu myös hotelleiksi ja toimistotaloiksi. Tiedote Valtioneuvoston www-sivuilla. Viitattu 12.4.2021. <https://valtioneuvosto.fi/-/1410903/selvitys-puurakentaminen-kasvussa-tanakin-vuonna-asuinkerrostalojen-lisaksi-puu-taipuu-myos-hotelleiksi-ja-toimistotaloiksi>

Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035 – Osa 2: Vähähiilisyyden mahdollisuuksien tarkastelu. 2020. Viitattu 16.4.2021. https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/ymparisto-ja-energia/vahahiili_seminaaries/raportit_lopulliset/rt-raportti-2_vahahiilisyyden-mahdollisuudet_final.pdf

Vähähiilinen rakentaminen. N.d. Ympäristöministeriön verkkosivut. Viitattu 26.4.2021. <https://ym.fi/vahahiilinen-rakentaminen>

Vähähiilisen rakentamisen tiekartta. N.d. Ympäristöministeriön verkkosivut. Viitattu 26.4.2021. <https://ym.fi/vahahiilisen-rakentamisen-tiekartta>

Liitteet

Liite 1. Tutkittavan kohteen rakenteiden mitat

	<i>Pinta-ala</i>	<i>Tilavuus</i>	<i>Paino</i>
<i>Antura</i>	6,7 m ²	2,70 m ³	6750 kg
<i>Jatkuva antura</i>	263 m ²	105 m ³	220 000 kg
<i>Sokkelielementti</i>	26 m ²	10 m ³	16 200 kg
<i>Maanvarainen laatta</i>	405 m ²	48 m ³	152 134 kg

<i>VSS-seinä</i>	97 m ²	27 m ³	67 500 kg
<i>VSS-kattolaatta</i>	76 m ²	23 m ³	57 500 kg

<i>Välipohja O32</i>	2360 m ²	396 m ³	989 900 kg
<i>Massiivilaatta</i>	175 m ²	44 m ³	109 500 kg
<i>Lepotasolaatta</i>	30 m ²	7 m ³	18 000 kg

<i>Väliseinät (kant.)</i>	1550 m ²	290 m ³	725 000 kg
<i>Väliseinä (ei-kantava)</i>	745 m ²	97 m ³	187 000 kg
<i>Ulkoseinät</i>	1764 m ²	653 m ³	896 100 kg

<i>Yläpohjan puurakenteet</i>	880 m ²	70 m ³	28 000 kg
<i>Porraselementit</i>	11 m ²	13 m ³	32 000 kg
<i>Hormielementit</i>	330 m ²	98 m ³	188 000 kg
<i>Parvekelaatat</i>	400 m ²	96 m ³	238 600 kg
<i>Parvekepielet</i>	391 m ²	76 m ³	190 000 kg

Liite 2. Hiilijalanjäljen laskenta

Lähtötiedot		
Rakennuskohteen tiedot	Kohteen nimi*	Betonivertailu
	Rakennustunnus	
	Osoite	
	Rakennustyyppi	Asuinrakennukset
Rakennuksen tekniset tiedot	Kerrosala [km ²]	
	Lämmitetty nettoala [m ² _{netto}]*	3 240
	Kerrosten lukumäärä	7
	Kellarikerrosten lukumäärä	1
	Pääasiallinen runkomateriaali	Betoni
Laskennan tiedot	Energialuokka	A
	Laskenta-ajanjakso*	50
	Arvioinnin tekovaihe	
	Käytetty arviointitapa	
	Rakennuksen arvioitu käyttöönottovuosi*	2021

Rakennusten hiilijalanjäljen arviointityökalu

Luonnos hiilijalanjäljen arvioinnin testausta varten 9.12.2019

Materiaaliluettelo

Syötä rakennuksen materiaalitiedot alla olevaan listaan esim. Määräluetteloon perustuen. Hiilijalanjäljen ja -kädenjäljen päästöt muodostuvat automaattisesti, kun määrät on syötetty. Lisää tarvittaessa rivejä kunkin otsakkeen alle 'Lisää rivi' -napilla. Jos tarkempi päästötieto jollekin tuotteelle tai materiaalille on olemassa, voit syöttää sen painamalla 'Korvaa taulukkoarvoja tarkemmilla tiedoilla' -napia.

Korvaa taulukkoarvoja tarkemmilla tiedoilla

Littera		Rakennusosa	Materiaalin tyyppi	Materiaali	Määrä	yks	kgCO ₂ e	kgCO ₂ e
Total							Hiilijalanjälki	Hiilikädenjälki
					Lisää rivi			
Kantavat rakenteet (1.2.1-1.2.3 Talo-osat)								
	Antura	PIHA JA POHJARAKENTEET		Betoniantura ja -perustus (sis.raudoitteet)	6 750	kg	1 080	
	Jatkuva antura	PIHA JA POHJARAKENTEET		Betoniantura ja -perustus (sis.raudoitteet)	220 000	kg	35 200	
	Sokkelelementti	SEINÄT JA SOKKELIT		Betonisokkeli	16 200	kg	2 592	
AP	Maanvarainen laatta 100 mm	LAATAT		(massiivilaatta), betoni + teräsket	151 000	kg	24 160	
	EPS100 2 x 70 mm	LÄMMÖNERISTEET		EPS	1 134	kg	3 864	
	Kevytsoora 300 mm	PIHA JA POHJARAKENTEET		Kevytsoora	37 057	kg	17 021	
VSS	Väestönsuojan seinä	PAIKALLAVALUBETONI JA RAUDOITTEET		Valmisbetoni C50 (portland)	64 800	kg	11 340	
		PAIKALLAVALUBETONI JA RAUDOITTEET		Betoniteräs	2 700	kg	1 280	
	Väestönsuojan katto	PAIKALLAVALUBETONI JA RAUDOITTEET		Valmisbetoni C50 (portland)	55 200	kg	9 660	
		PAIKALLAVALUBETONI JA RAUDOITTEET		Betoniteräs	2 300	kg	1 090	
VSK	Väliseinät (kantava)	SEINÄT JA SOKKELIT		Betoniväliseinä	725 000	kg	146 146	
VP	Välipohja	LAATAT		ontelolaatta 320	939 900	kg	167 161	
		LAATAT		(massiivilaatta), betoni + teräsket	109 500	kg	17 520	
YP	Yläpohja	LAATAT		ontelolaatta 265	128 000	kg	22 765	
		LÄMMÖNERISTEET		Eriste, lasivilla	27 100	kg	41 463	
POR	Porrastelementit	PORTAAT		betoni	32 000	kg	7 911	
		LAATAT						
Total					Lisää rivi		510 252	

Valppa (1.2.4-1.2.6 Talo-osat)

US	Ulkoiseinät	SEINÄT JA SOKKELIT		betonielementti, ulkokuori+ruostumatonta teräs	308 700	kg	65 151	
		LÄMMÖNERISTEET		Eriste, vuorivilla	14 400	kg	14 774	
		SEINÄT JA SOKKELIT		betonielementti, sisäkuori, 150 mm+musta teräs	573 000	kg	110 677	
PL	Parvekelaatta	LAATAT		(massiivilaatta), betoni + teräsket	238 600	kg	38 176	
	Parvekepieli	SEINÄT JA SOKKELIT		betonielementti, ulkokuori+ruostumatonta teräs	190 000	kg	40 099	
YPR	Yläpohjarakenteet	PILARIT JA PALKIT		Puuranka, sahatavara	28 000	kg	2 576	-43 400
Total					Lisää rivi		271 453	-43 400

Kevyet rakenteet (1.3 Tila-osat)

VS	Kevyet väliseinät	SEINÄT JA SOKKELIT		Muurattu rak. kevytsoraharkko-laasti	187 000	kg	55 755	
HE	Hormirakenne	SEINÄT JA SOKKELIT		Betoniväliseinä	188 000	kg	37 897	
	Lepotasolaatta	LAATAT		(massiivilaatta), betoni + teräsket	18 000	kg	2 880	
Total					Lisää rivi		96 532	

Lähtötiedot		
Rakennuskohteen tiedot	Kohteen nimi*	CLT-vertailu
	Rakennustunnus	
	Osoite	
	Rakennustyyppi	Asuinrakennukset
Rakennuksen tekniset tiedot	Kerrosala [kem ²]	
	Lämmitetty nettoala [m ² _{netto}]*	3 240
	Kerrosten lukumäärä	
	Kellarikerrosten lukumäärä	
	Pääasiallinen runkomateriaali	Puu
Laskennan tiedot	Energialuokka	A
	Laskenta-ajanjakso*	50
	Arvioinnin tekovaihe	
	Käytetty arviointitapa	
Rakennuksen arvioitu käyttöönottovuosi*		2021

Rakennusten hiilijalanjäljen arviointityökalu

Luonnos hiilijalanjäljen arvioinnin testausta varten 9.12.2019

Materiaaliluettelo

Syötä rakennuksen materiaalitiedot alla olevaan listaan esim. Määräluetteloon perustuen. Hiilijalanjäljen ja -kädenjäljen päästöt muodostuvat automaattisesti, kun määrät on syötetty. Lisää tarvittaessa rivejä kunkin otsakkeen alle "Lisää rivi" -napilla. Jos tarkempi päästötieto jollekin tuotteelle tai materiaalille on olemassa, voit syöttää sen painamalla "Korvaa taulukkoarvoja tarkemmilla tiedoilla" -nappia.

Korvaa taulukkoarvoja tarkemmilla tiedoilla

Littera	Rakennusosa	Materiaalin tyyppi	Materiaali	Määrä	yks	kgCO ₂ e	
						Hiilijalanjälki	Hiilikädenjälki
AP	Jatkuva antura	PIHA JA POHJARAKENTEET	Betoniantura ja -perustus (sis.raudoitteet)	220 000	kg	35 200	
	Sokkelelementti	SEINÄT JA SOKKELIT	Betonisokkeli	16 200	kg	2 592	
	Maanvarainen laatta 150 mm	LAATAT	(massiivilaatta), betoni + teräkset	151 000	kg	24 160	
	EPS100 2 x 70 mm	LÄMMÖNERISTEET	EPS	1 134	kg	3 864	
VSS	Kevytora 300 mm	PIHA JA POHJARAKENTEET	Kevytora	37 057	kg	17 021	
	Väestönsuojan seinä	PAIKALLAVALUBETONI JA RAUDOITTEET	Valmisbetoni C50 (portland)	64 800	kg	11 340	
		PAIKALLAVALUBETONI JA RAUDOITTEET	Betoniteräs	2 700	kg	1 280	
	Väestönsuojan katto	PAIKALLAVALUBETONI JA RAUDOITTEET	Valmisbetoni C50 (portland)	55 200	kg	9 660	
VSK		PAIKALLAVALUBETONI JA RAUDOITTEET	Betoniteräs	2 300	kg	1 090	
	Väliseinät (kantava)	SEINÄT JA SOKKELIT	CLT-seinä	77 500	kg	16 275	-120 125
		LÄMMÖNERISTEET	Eriste, lasivilla	3 875	kg	5 929	
		SEINÄT JA SOKKELIT	CLT-seinä	77 500	kg	16 275	-120 125
VP	Välipohja						
		LEVYT	CLT	280 200	kg	58 842	-434 310
		SEINÄT JA SOKKELIT	Puuranka, sahatavara	8 000	kg	736	-12 400
		LÄMMÖNERISTEET	Eriste, lasivilla	3 000	kg	4 590	
YP		PILARIT JA PALKIT	Teräsranka, kuumasinkitty	3 000	kg	8 364	
		LEVYT	kipsilevy	65 800	kg	27 573	
	Yläpohja	LÄMMÖNERISTEET	Eriste, lasivilla	4 000	kg	6 120	
		LEVYT	CLT	45 240	kg	9 500	-70 122
POR							
	Porraselementit	PORTAAT	puu	6 500	kg	569	-10 075
Total				Lisää rivi		262 060	-767 157

Valppa (1.2.4-1.2.6 Talo-osat)

US	Ulkoseinä	LEVYT	kipsilevy	1 900	kg	796	
		LÄMMÖNERISTEET	Eriste, vuorivilla	13 000	kg	13 338	
		SEINÄT JA SOKKELIT	CLT-seinä	132 300	kg	27 783	-205 065
PL	Parvekelaatta	LEVYT	CLT	48 000	kg	10 080	-74 400
		SEINÄT JA SOKKELIT	CLT-seinä	38 000	kg	7 980	-58 900
YPR	Yläpohjarakenteet	PILARIT JA PALKIT	Puuranka, sahatavara	28 000	kg	2 576	-43 400
Total				Lisää rivi		62 553	-381 765

Kevyet rakenteet (1.3 Tilat)

VS	Kevyet väliseinät	SEINÄT JA SOKKELIT	CLT-seinä	48 500	kg	10 185	-75 175
HE	Horimirakenne	SEINÄT JA SOKKELIT	CLT-seinä	49 000	kg	10 290	-75 950
	Lepotasolaatta	LEVYT	CLT	3 500	kg	735	-5 425
Total				Lisää rivi		21 210	-156 550