

Mika Liljeqvist

# Teollisen puurakentamisen CO<sub>2</sub> päästöt ja niiden laskenta

Opinnäytetyö  
Rakennustekniikka

2018



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

<b>Tekijä/Tekijät</b>	<b>Tutkinto</b>	<b>Aika</b>
Mika Liljeqvist	Insinööri (AMK)	Marraskuu 2018
<b>Opinnäytetyön nimi</b>		34 sivua 6 liitesivua
Teollisen puurakentamisen CO <sub>2</sub> päästöt ja niiden laskenta		
<b>Toimeksiantaja</b>		
Elementit-E Oy		
<b>Ohjaaja</b>		
Esa Partanen, Erja Tuliniemi, Juha Karvonen		
<b>Tiivistelmä</b>		
<p>Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, kuinka paljon puurakenteisessa teollisesti rakennetussa koulurakennuksessa syntyy hiilidioksidipäästöjä sen rakennusvaiheessa. Tavoitteena oli kehittää laskentatyökalu, jolla voidaan selvittää materiaalivalintojen merkitystä päästöihin. Työ tilaajana on Kouvolassa toimiva puurakentamiseen ja tilaelementtirakentamiseen erikoistunut Elementit-E Oy.</p> <p>Työn teoriaosuuteen on koottu tietoa vähähiilisestä rakentamisesta ja hiilidioksidipäästöistä. Kokonaisuuden kannalta on tärkeää hahmottaa rakennuksen koko elinkaari, sillä se sisältää materiaalien ja tuotteiden valmistuksen, rakentamisen, rakennuksen käytön sekä purkuvaiheen ja mahdollisen uusiokäytön.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena kehitettiin tilaajan käyttöön excel-pohjainen laskuri, jolla voidaan laskea rakennuksen hiilidioksidipäästöt sen valmistus- ja rakentamisvaiheessa. Laskentapohja on tehty muokattavaksi ja sillä voi siten laskea päästöjä myös tulevilla kohteilla. Opinnäytetyössä vertailtiin myös erilaisten rakenne- ja runkoratkaisujen, puu- ja betonirakennusvaihtoehtojen eroja hiilidioksidipäästöissä. Puurakenteinen tilaelementti on ympäristöystävällinen vaihtoehto, sillä sen päästöt ovat pienet vastaavaan betonirakenteiseen verrattuna. Ero korostuu, kun otetaan huomioon tilaelementin uudelleenkäytön mahdollisuus jos rakennuksen tarve alkuperäisellä rakennuspaikalla loppuu.</p>		
<b>Asiasanat</b>		
hiilidioksidipäästöt, vähähiilinen rakentaminen, teollinen rakentaminen, hiilidioksidipäästöjen vertailu, CO <sub>2</sub>		

Author (authors)	Degree	Time
Mika Liljeqvist	Bachelor of Engineering	November 2018
<b>Thesis Title</b> CO <sub>2</sub> emissions of industrial wood construction and their calculation		34pages 6 pages of appendices
<b>Commissioned by</b> Elementit-E Oy		
<b>Supervisor</b> Esa Partanen, Erja Tuliniemi, Juha Karvonen		
<b>Abstract</b> <p>The purpose of the thesis was to find out how much carbon dioxide emissions are generated in a wood-structured school building in its construction phase. The goal was to develop calculator which can be used to determine the significance of material choices for emissions. Subscriber of the thesis is Elementit-E Ltd. operating in Kouvola, they are specialized in wood construction and space elements.</p> <p>The theoretical part of the thesis contains information on low carbon construction and carbon dioxide emissions. To the whole point of view It is important to perceive the whole life cycle of a building, because it contains the manufacture of materials and products, construction, the use of the building as well as the demolition phase and possible reuse of the building.</p> <p>As a result of this thesis, an excel-based calculator was developed for the subscriber, which can be used to calculate the building's carbon dioxide emissions during its manufacturing and construction phase. The calculator has been made to be editable and it can be used in future construction projects. The thesis also compared the differences between different structural and frame solutions, wood and concrete construction alternatives in carbon dioxide emissions. A wood structured space element is an environment friendly option, because its emissions are small compared to equivalent concrete structure. The difference is emphasized, when taking into account the ability to reuse a space element if the need for a building on the original building site ends.</p>		
<b>Keywords</b> carbon dioxide emissions, low-carbon construction, industrial construction, comparison of carbon dioxide emissions, CO <sub>2</sub>		

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
2	HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖT JA TEOLLINEN RAKENTAMINEN.....	8
2.1	Vähähiilinen rakentaminen .....	8
2.2	Hiilidioksidipäästöt ja hiilijalanjälki.....	9
2.3	Teollinen rakentaminen .....	13
3	TARKASTELUKOHDE JA TAVOITTEET .....	14
3.1	Kohteen yleistiedot .....	14
3.2	Tarkastelun tavoitteet .....	15
4	LASKENTA .....	16
4.1	Laskennan tavoitteet .....	16
4.2	Laskentamenetelmä .....	16
4.3	Laskennan eteneminen .....	17
5	TULOSTEN ANALYSOINTI JA VERTAILU .....	25
5.1	Laskettujen päästöjen määrän analysointi.....	25
5.2	Vertailua betonirakentamiseen .....	27
5.3	Rakennuksen elinkaari ja siirrettävyys.....	28
6	YHTEENVETO.....	29
	LÄHTEET .....	31

## LIITTEET

- Liite 1. Ohjeet CO<sub>2</sub> laskurille
- Liite 2. laskennan kulku kuvat
- Liite 3. Rakennetyypit
- Liite 4. Elementit-E Oy materiaali
- Liite 5. CO<sub>2</sub>laskenta (Excel laskenta)
- Liite 6. CO<sub>2</sub>laskentaTYHJÄ (Excel laskentapohja)

## Käsitteet

Hiilidioksidi = Kemialliselta kaavaltaan  $\text{CO}_2$ . Kasvihuonekaasu joka koostuu hiilestä ja hapesta. Syntyy hiilipitoisten aineiden palamistuotteena, esimerkiksi uloshengityksessä. Suurina määrinä terveydelle haitallista.

Kasvihuoneilmiö = Maapallon ilmakehässä olevat kasvihuonekaasut päästävät auringon lämpösäteilyn lävitseen mutta eivät kaikkea maasta syntyvää lämpösäteilyä takaisin avaruuteen eli maapallo toimii samalla periaatteella kuin kasvihuone mutta suuremmassa mittakaavassa. Lisääntyneet kasvihuonekaasut siis lisäävät ilmiön voimakkuutta ja maan lämpötila kohoaa.

Kasvihuonekaasut = Ilmakehässä luonnostaan olevat kaasut mm. vesihöyry, hiilidioksidi, metaani sekä ihmisen toimesta sinne päätyneet esim. halogeenoidut hiilivedyt. Ovat edellytys sille että maapallolla on elämää muodostaen kasvihuoneilmiön, kasvihuonekaasut ovat ihmisen toimesta lisääntyneet joten ilmiö on voimistunut aiheuttaen ilmaston lämpenemistä.

Hiilivarasto = Aineen/materiaalin sitoma hiilidioksidi. Esim. puun kasvaessa ja myös valmiissa rakenteessa esim. rakennetussa talossa, se toimii hiilivarastona sitoen hiilidioksidia itseensä. Kun puu poltetaan siinä varastoituneena ollut hiilidioksidi vapautuu hiilidioksidipäästöinä palamistuotteena.

Hiilineutraali = Kun tarkastellaan tuotetta tai jonkun kokonaisen systeemin hiilidioksidipäästöjä koko sen elinkaaren ajalta, kun päästöjen ja sitoutuneen hiilidioksidin määrä on nolla, puhutaan hiilineutraalista.

Hiilidioksidiekvivalentti =  $\text{CO}_2\text{ekv}$  tai  $\text{CO}_2\text{e}$ . Ilmaistaan tarkasteltavan kohteen ko. elinkaaren vaiheen kasvihuonekaasupäästöt. Koska kasvihuonekaasujen vaikutus ympäristöön on erilainen on kehitetty käsite GWP. Kerroin huomioi lämmitysvaikutuksen suhteessa hiilidioksidiin joten päästöt ilmoitetaan hiilidioksidiekvivalentteina. Eli kokonaisuutena voidaan puhua elinkaaren hiilidioksidipäästöistä.

Rakennuksen elinkaari = Käsittää raaka-aineiden hankinnasta aina puretun rakennuksen purkujätteen loppusijoitukseen ulottuvan ajanjakson.

Ominaispäästökerroin = Päästökerroin g CO<sub>2</sub>-ekv/kg, katso kohta Hiilidioksidiekvivalentti.

Kiertotalous = Tarkoittaa sitä että pyritään suunnittelemaan tuotteet jo valmiiksi niin että ne pysyvät kierrossa mahdollisimman pitkään, ei siis pyritä maksimoimaan sitä että tuotteilla olisi hyvä kierrätettävyys vaan ennemminkin että niillä olisi pitkä käyttöikä ja tätä pyritään jatkamaan erilaisilla palveluilla ja ratkaisuilla.

Hiilinielu = Tarkoitetaan hiilivarastoa jonka koko kasvaa, esimerkkinä meret ja kasvit.

Hiilijalanjälki = Hiilijalanjäljellä ilmoitetaan kuinka paljon esim. auto, ihminen, rakennus tai muu asia aiheuttaa ilmastokuormaa elinkaarensa aikana. Tulokset ilmoitetaan kasvihuonekaasupäästöjen määrällä ja usein puhutaan pelkistä hiilidioksidipäästöistä, tässä opinnäytetyössä on laskettu ja ilmoitettu tulokset hiilidioksidiekvivalenttina.

Ilmastonmuutos = Pitkän aikavälin muutos ilmastossa. Yleisesti liitetään ilmaston lämpenemiseen ihmisen toimien vaikutukset joita ovat esimerkiksi lisääntyneet kasvihuonekaasupäästöt. Nimensä mukaisesti kuitenkin on kyseessä nimenomaan ilmastossa tapahtuneet muutokset kun otetaan tarkasteluajaksi pidempi ajanjakso.

## 1 JOHDANTO

Ympäristöasiat koetaan nykyisin yrityksissä tärkeiksi. Rakentaminen halutaan tehdä mahdollisimman pienin päästöin ottaen huomioon koko rakennuksen elinkaari. Opinnäytetyössä tehdään hiilidioksidipäästölaskuri jolla saadaan laskettua miten eri materiaalivalinnoilla voidaan vaikuttaa päästöjen määrään. Opinnäytetyön tilaaja on puurakentamiseen ja tilaelementtirakentamiseen erikoistunut Elementit-E Oy. Vastaavaa vertailutyökalua ei ole toistaiseksi ollut saatavilla. Laskurilla saadaan asiaan perehtymättömälle helposti, nopeasti ja mahdollisimman yksinkertaisesti osoitettua mikä vaikutus käytetyillä rakennusmateriaaleilla on rakennuksen hiilijalanjälkeen. Opinnäytetyön lopputuloksena on siis tarkoitus tuottaa laskentapohja jolla voidaan vertailla rakentamisesta syntyneitä hiilidioksidipäästöjä. Vertailua voidaan tehdä myös puu- ja betonirakennuksen välillä.

Opinnäytetyössä lasketaan kuinka paljon Elementit-E:n puisista tilaelementtirakennuksista syntyy hiilidioksidipäästöjä ja kuinka paljon hiilidioksidipäästöt on valmiissa rakennuksessa per neliometri rakenteiden ja näiden materiaalien näkökulmasta. Laskennassa käytetään esimerkkinä Kotkassa sijaitsevassa Helilän koulussa käytettyjä materiaaleja ja rakenteiden menekkiä sekä näistä syntyneitä päästöjä. Samalla tehdään vertaileva laskelma jossa rakenteet ja materiaalit korvataan suurinpiirtein vastaavilla betonituotteilla. Näin saadaan selville kuinka paljon rakennus olisi tuottanut enemmän CO<sub>2</sub> päästöjä jos se olisi tehty betonista. Opinnäytetyössä tarkastelukohteena toimii Elementit-E Oy:n rakentama Helilän koulu joka on puisista tilaelementeistä rakennettu pinta-alaltaan noin 4600m<sup>2</sup> suuruinen siirrettävissä oleva kompleks. Rakennus on leasing sopimuksella Kotkan Kaupungilla vuokralla. Jos Kotkan Kaupunki ei halua jatkaa sopimusta leasing ajan jälkeen, Elementit-E Oy lunastaa rakennuksen takaisin itselleen ja etsii sille uuden sijoituspaikan. Rakennus on tehty pysyvän rakennuksen rakennusmääräyksiä noudattaen joten se voi myös jäädä paikoilleen jos kaupunki näin päättää. Kyseinen koulu toimii väistötiloina joihin oppilaat joutuivat siirtymään vanhan koulun sisätilaongelmien takia.

Opinnäytetyössä lasketaan käytetyistä materiaaleista syntyneet hiilidioksidipäästöt. Summa jaetaan rakennuksen pinta-alalla jolloin saadaan selville

kuinka paljon rakennus on tuottanut hiilidioksidipäästöjä per neliometri. Myös rakennuksen koko elinkaaren hiilijalanjälki käydään yleisellä tasolla läpi. Tässä tapauksessa täytyy ottaa pohdinnassa huomioon myös rakennuksen siirrettävyys ja tämän vaikutus hiilijalanjälkeen.

Toimeksiantajalle on tarkoitus tuottaa excel pohjainen laskentamalli jolla pystytään vastaavissa kohteissa tekemään vertailu jatkossakin päästöjen suhteen, samoin mikä vaikutus olisi sillä jos rakennus olisi tehty betonista.

## **2 HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖT JA TEOLLINEN RAKENTAMINEN**

### **2.1 Vähähiilinen rakentaminen**

Vähähiilisellä rakentamisella tavoitellaan sitä että rakennuksen koko elinkaaren CO<sub>2</sub> päästöt ja hiilijalanjälki olisivat mahdollisimman pieniä sillä jopa kolmasosa Suomen kasvihuonekaasupäästöistä aiheutuu rakennetusta ympäristöstä. (Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa. 2017.)

Vähähiilisessä rakentamisessa täytyy ajatella koko rakennuksen elinkaarta aina materiaalien hankinnasta rakennuksen purkamiseen asti. Eniten pystytään vaikuttamaan rakennuksen vähähiilisyyteen kun jo suunnittelupöydällä aletaan miettimään mistä materiaaleista rakennus tehdään, mihin käyttötarkoitukseen rakennus on tulossa jonka perusteella optimoidaan tilat vastaamaan tarvetta sekä suunnitellaan rakennuksen elinkaari jo mahdolliseen purkuun tai uusiokäyttöön asti. (Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa. 2017.)

Suurin osa rakennuksen elinkaaren hiilidioksidipäästöistä syntyy materiaalien valmistuksessa siitä kun rakennus on rakennetaan. Tämän vuoksi vähähiilisuuden tavoittelemisessa ohjaus on fokusoitunut enemmän uudisrakentamiseen ja vanhoissa rakennuksissa CO<sub>2</sub> päästöjen näkökulmasta korjaukset tulisi pitää minimissä. Kun tarkastellaan CO<sub>2</sub> päästöjä ja elinkaaren hiilijalanjälkeä korjausrakentamisessa pitäisi pyrkiä suosimaan mahdollisimman vähän



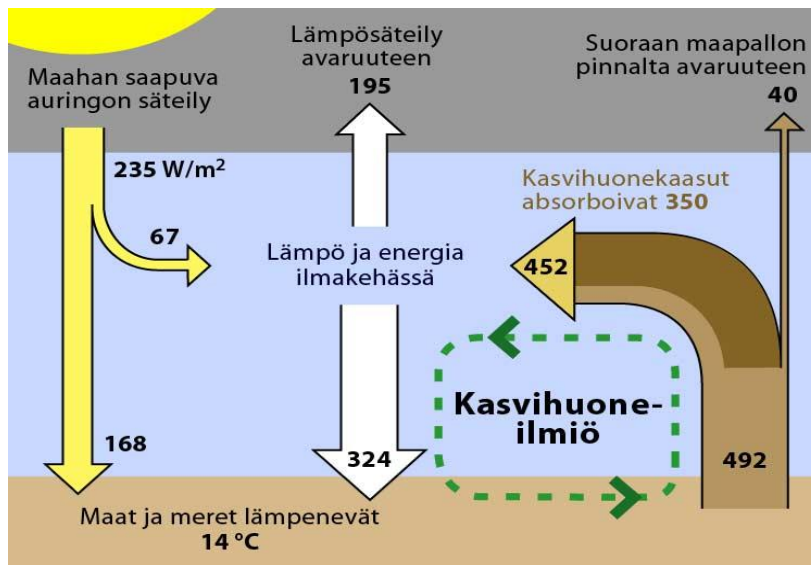
ilmastoa rasittavia materiaaleja. Vanhoissa rakennuksissa korjaustoimenpiteiden tulisi olla sellaisia joissa parannetaan rakennuksen energiatehokkuutta jolloin käytön aikainen hiilijalanjäljen kasvu hidastuu toimenpiteiden ansiosta. (Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa. 2017.)

Ympäristöministeriö julkaisi vuonna 2017 vähähiilisen rakentamisen tiekartan jonka ohjauskeinojen avulla Suomen pitäisi päästä vuoden 2030 EU:n ilmastotavoitteisiin. Keinoja on tarkoitus koekäyttää jo aikaisemmin julkisissa hankkeissa jolloin päästäisiin mahdollisesti siihen että vähähiilisyyttä ohjattaisiin lainsäädännöllä nopeammin. Nykyisillä toimenpiteillä kyseisiä tavoitteita ei saavuteta ja jotain tarvitsee tehdä asian eteen. Konkreettisia toimenpiteitä on ajateltu olevan kansallisen raja-arvon asettaminen hiilidioksidipäästöjen suhteen joka koskisi esimerkiksi niin rakennuksen materiaalien kuin käytönkin osuutta. Raja-arvon ollessa tiukka, se pakottaisi monissa hankkeissa tekemään parannuksia jotta näihin arvoihin päästäisiin. Ohjaustoimenpiteisiin esitetään myös erilaisia kannustimia liittyen rakennushankkeeseen esimerkiksi kiinteistöveron ja rakennuslupamaksujen pienentämisellä. Myös rakennusmateriaaleihin ja näiden päästöjen ohjaukseen otetaan kantaa ja näitä pitäisi pyrkiä ohjaamaan niin että on pakko suunnitella ja pyrkiä tuomaan markkinoille tuotteita joissa tiukentuneet raja-arvot on otettu huomioon. Edellä mainittujen asioiden pohjalta voitaneen todeta että hiilidioksidilaskenta on tulevaisuudessa välttämättömyys. (Arvio vähähiilisen rakentamisen ohjauskeinojen vaikutuksista valmistunut – merkittävin päästövähennys saavutettavissa kansallisen raja-arvon asettamisella. 1.3.2018.)

## **2.2 Hiilidioksidipäästöt ja hiilijalanjälki**

On todettu että kasvihuonekaasut aiheuttavat ilmaston lämpenemistä. Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan kasvihuonekaasuihin lukeutuvaa hiilidioksidia ja hiilidioksidipäästöjä joita syntyy kun hiilipitoiset aineet palavat. Esimerkiksi kun bensiinikäyttöinen auto on käynnissä, syntyy bensiinin palaessa sivutuotteena hiilidioksidia. Siinä tapahtuu fossiilisten polttoaineiden palamista. Suurin osa ilmaston lämpenemistä aiheuttavista kaasuista on hiilidioksidipäästöjä, noin 80%. Näistä noin 75% tulee fossiilisista polttoaineista, loput mm. teollisuus-

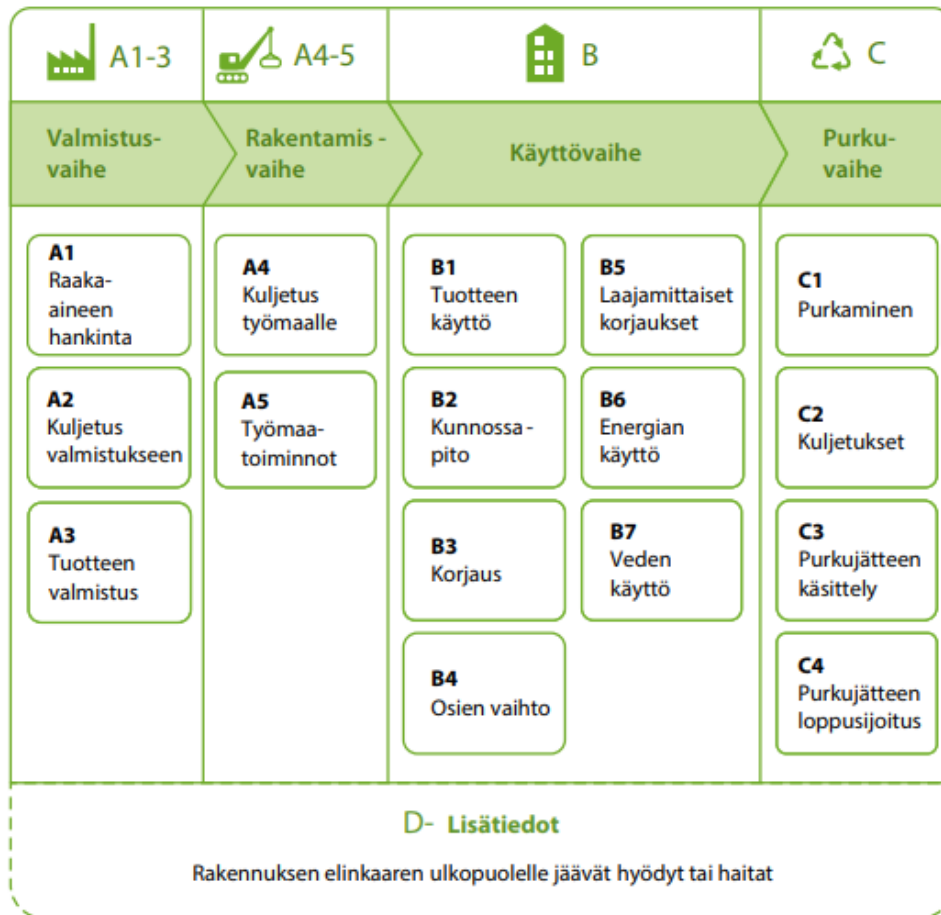
desta ja metsien hävittämisestä. Muita kasviuonekaasuja ovat mm. metaani(CH<sub>4</sub>), dityppioksidi(N<sub>2</sub>O) ja niin sanotut uudet kasviuonekaasut kuten halogenoidut hiilivedyt. Ilmasto lämpenee siitä syystä että kasviuoneilmiö voimistuu koska kasviuonekaasut päästävät auringonvalon maan pinnalle mutta eivät päästä lämpöenergiaa niin tehokkaasti takaisin avaruuteen päin vaan imevät sen itseensä. Näinollen mitä enemmän päästöt ja siten myös kasviuonekaasut lisääntyvät, voimistuu myös itsessään kasviuoneilmiö. Kuvassa 1. on myös havainnollistettu asiaa. (Tietoa ilmastonmuutoksesta. s.a.)



Kuva 1. Kasviuoneilmiö [<http://www.co2-raportti.fi/?page=ilmastonmuutos>]

Hiilijalanjäljellä tarkoitetaan sitä kuinka paljon jokin tuote, toiminta tai vaikkapa tässä tapauksessa rakennus aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä tai toisin sanoen hiilidioksidikuormaa ympäristölle koko elinkaarensa aikana. Hiilijalanjälkeä tarkasteltaessa rakennuksessa, otetaan huomioon koko rakennuksen elinkaari ja siinä esiintyvät vaiheet aina materiaalien hankinnasta siihen pisteeseen kun rakennus on purettu ja purkujätteet sijoitettu loppusijoituspaikkaan. Ilmaston lämpeneminen ja ilmastonmuutos johtuvat kokonaisuudessaan kasviuonekaasujen pitoisuuksien lisääntymisestä ilmakehässä mutta tässä opinnäytetyössä tarkastellaan vain CO<sub>2</sub> päästöjä. Rakennuksen hiilijalanjälkeä laskettaessa lopputulos ilmoitetaan yleensä kokonaissummana hiiliekvivalenttitoineina tn CO<sub>2</sub>-ekv. (Tietoa ilmastonmuutoksesta. s.a.)

Tarkastelun lähtökohta rakennuksen hiilijalanjälkeä laskettaessa on saada selville paljon rakennus tuottaa hiilidioksidia koko elinkaarensa aikana. Rakennuksen hiilijalanjäljen muodostumista elinkaaren aikana on helpompi yrittää hahmottaa asiaan perehtymättömälle oheisen kuvan (Kuva 2.) avulla jossa elinkaaren eri vaiheet on jaoteltu. (Elinkaaren hiilijalanjälki. s.a.)



Kuva 2. Rakennuksen elinkaaren vaiheet [[http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80653/YO\\_2017\\_Vihrea\\_julkinen\\_rakentaminen\\_hankintaopas.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80653/YO_2017_Vihrea_julkinen_rakentaminen_hankintaopas.pdf?sequence=1&isAllowed=y)]

Rakennuksen elinkaaren vaiheet A1 – A5 kuvaavat osuutta rakennusmateriaalien raaka-aineiden hankinnasta siihen kun rakennus on muuttovalmis. Vaiheet B1 – B7 kuvaavat rakennuksen käyttövaihetta, siis sitä vaihetta kun rakennuksessa on toimintaa ja elämää. Purkuvaihe eli vaiheet C1 – C4 kuvaavat sitä kun rakennus päätetään purkaa, aina purkujätteen loppusijoitukseen asti. Näiden selkeiden elinkaaren vaiheiden lisäksi on moduuli D joka kattaa elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset eli esimerkiksi rakennuksesta purkuvaiheessa jääneitä materiaaleja joita voidaan käyttää uudelleen sellaisenaan tai

rakennusjätteestä tuotetaan energiaa. Elinkaaren rajauksiin ja kaksoislaskennan välttämiseen moduuli D on tärkeä väline. (Elinkaaren hiilijalanjälki. s.a.)

Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus laskea ja tarkastella elinkaaren vaiheissa A1 – A5 syntyviä hiilidioksidipäästöjä. Vaiheet A1 – A3 käsittävät raaka-aineiden hankinnan, kuljetuksen rakennusmateriaalien valmistukseen ja itse rakennustuotteiden valmistuksesta aiheutuvat päästöt. Kuvassa 3. on eritelty mitä laskennassa huomioidaan ja mitä siitä voidaan jättää pois. Vaiheet A4 – A5 käsittävät rakentamisvaiheen, eli materiaalien tai tuotteiden kuljetusvaiheen rakennustyömaalle ja itse rakennustyömaalla tapahtuvan toiminnan siihen asti kunnes tilojen käyttäjä muuttaa rakennukseen. (Elinkaaren hiilijalanjälki. s.a.)

OSA-ALUE	HUOMIOIDAAN	EI HUOMIOIDA (RAJATAAN AINA POIS)
<b>ALUERAKENTAMINEN</b>	Tuotu maa- ja kiviaines, paalutukset, vahvistukset, päällysteet tontin alueella (mm. tiet ja pysäköintialueet).	Pilaantuneen maan kunnostus. Vanhan rakennuksen purku. Aiemman rakennuksen materiaalien hyötykäyttö lasketaan 7.4.2 mukaisesti.
<b>KUNNALLISTEKNIikka JA TIET</b>	–	Kunnallistekniikka ja sen liitännät tontilla. Tontin ulkopuoliset tiet ja väylät.
<b>ALUE- JA PIHARAKENTEET</b>	Suuret kokonaisuudet kuten leikki- ja virkistysalueet sekä puistot.	Yksittäiset vähämääräiset piharakenteet.
<b>PERUSTUS</b>	Rakennuksen perustus	–
<b>SISÄRUNGON PYSTY-SUUNTAISET OSAT, SISÄSEINÄT JA TÄYDENTÄVÄT RAKENTEET</b>	Pilarit, palkit, kantavat ja ei-kantavat sisäseinät, hissikuilu, portaat, luiskat ja väestönsuoja, muut tilanjako-osat.	–
<b>POHJAT JA VESIKATTO</b>	Ala-, väli- ja yläpohjat, vesikatto.	–
<b>ULKOSEINÄT, ULKOTASOT JA JULKISIVUMATERIAALIT</b>	Ulkoseinät ja julkisivuverhoilu, ikkunat, ulko-ovet, lasitukset, parvekkeet ja ulkotasot.	–
<b>PINTAMATERIAALIT</b>	Suojaavat materiaalit, maalit, pinnoitteet.	Tapetointi, verhot, matot ja muu sisustus.
<b>KALUSTEET</b>	–	Kalusteita ei huomioida. Sisältää kiinteät ja irto- sekä keittiökaluksia. Ei huomioida mm. jääkaappeja, liesiä, pesukoneita jne.
<b>TEKNIikkaOSAT</b>	Rakennuksen olosuhteita tuottavat järjestelmät, hissit, IV-putket, johdot, automaatio ja energiantuotantolaitteet	Käyttäjien palveluita tuottavat ratkaisut, kuten esim. kaupan kylmäjärjestelmät, toimisto- tai tuotantolaitteet.
<b>KERTAKÄYTTÖISET VÄLIAIKAISET RAKENTEET</b>	Väliaikaiset rakenteet, joissa kulutetaan pysyvästi materiaaleja tai energiaa (esimerkiksi valotoiden tukirakenteet). Huomioidaan vaiheen A5 päästöissä.	Pääomahyödykkeet, joita käytetään rakentamisen aikana ja joita voidaan käyttää uudelleen sellaisenaan (kuten rakennustelineet tai työmaahissit)
<b>ERILLISET TUKIRAKENNUKSET</b>	Rakennuksen toimintaan kuuluvat esim. pysäköinti, väestönsuoja ja jätekatokset, jos erillisinä päärakennuksesta.	–
<b>YHTEISKÄYTTÖSSÄ OLEVAT TUKIRAKENNUKSET</b>	Voidaan kohdistaa kappaleen 6.4 periaatteiden mukaisesti.	Jos muita kuin kohderakennusta palvelevia tukirakennuksia.

Kuva 3. Laskennassa huomioitavia asioita [[http://figbc.fi/wp-content/uploads/2013/01/Rakennusten\\_elinkaarimittarit\\_2013.pdf](http://figbc.fi/wp-content/uploads/2013/01/Rakennusten_elinkaarimittarit_2013.pdf)]

### 2.3 Teollinen rakentaminen

Teollinen rakentaminen on sitä kun rakennuksen komponentit esivalmistetaan jo tehtaissa ja tuotantolaitoksissa. Siten työmaalle jää lähinnä vain kasaaminen. Elementtirakentaminen on siis teollista rakentamista ja perinteinen paikallarakentaminen ei ole. Teollinen rakentaminen tarkoittaa myös sitä että käytettävät materiaalit ja rakennusosat täytyy olla standardisoituja jotta voidaan hyödyntää sarjatuotantoa. Teollinen rakentaminen voidaan jakaa periaatteessa kahteen osaan. Siihen että yritys valmistaa esimerkiksi vain yhtä tai useampaa rakennuksen osaa esimerkiksi vain ontelolaattoja ja CLT elementtejä. Toinen osa on se että yritys rakentaa joko lähes tulkoon kaikki rakennuksen komponentit itse ja toimittaa kokonaisuudessaan valmiita teollisesti rakennettuja rakennuksia. (Korjausrakentamisen teolliset ratkaisut. s.a.)

Kun teollisessa rakentamisessa asiat on standardisoitu suunnitelmat on kunnossa ja rakennetaan valvotuissa sisäolosuhteissa, saadaan tasalaatuisia ja hyviä rakennuksia. Kokoonpano voidaan tehdä valmiiksi säältä suojassa. Myös kustannukset pysyvät pienempinä kun aikaa työmaalla menee aikaa lähinnä vain siihen kun rakennus kasataan valmiista komponenteista, ja lisäksi täytyy vain tehdä liitokset viemäröintien ja sähköjen osalta. (Korjausrakentamisen teolliset ratkaisut. s.a.)

Teollinen rakennustapa parantaa myös työturvallisuutta kun työmaalla on vähemmän työvaiheita ja kun työmaalla vietetty aika on vähäisempi niin myös rakentamisen ulkopuolisille tahoille haittaa on vähemmän. (Korjausrakentamisen teolliset ratkaisut. s.a.)

Lisäksi materiaalihukka on teollisessa rakentamisessa pienempi kun työmaatoiminnot on vakioitu ja näinollen on tiedossa melko tarkasti paljonko mitäkin materiaalia kuluu kun samoja komponentteja on tehty jo valvotuissa olosuhteissa useampia. (Korjausrakentamisen teolliset ratkaisut. s.a.)

### 3 TARKASTELUKOHDE JA TAVOITTEET

#### 3.1 Kohteen yleistiedot

Tarkastelussa on Elementit-E:n rakentaman Helilän koulun väistötilat ja tähän liittyen lasketaan paljonko rakenteista on syntynyt hiilidioksidipäästöjä kokonaisuudessaan sekä yhtä pohjapinta-alan neliometriä kohden. Kohde sijaitsee Kotkassa Helilän kaupunginosassa osoitteessa Suntionkatu 27.

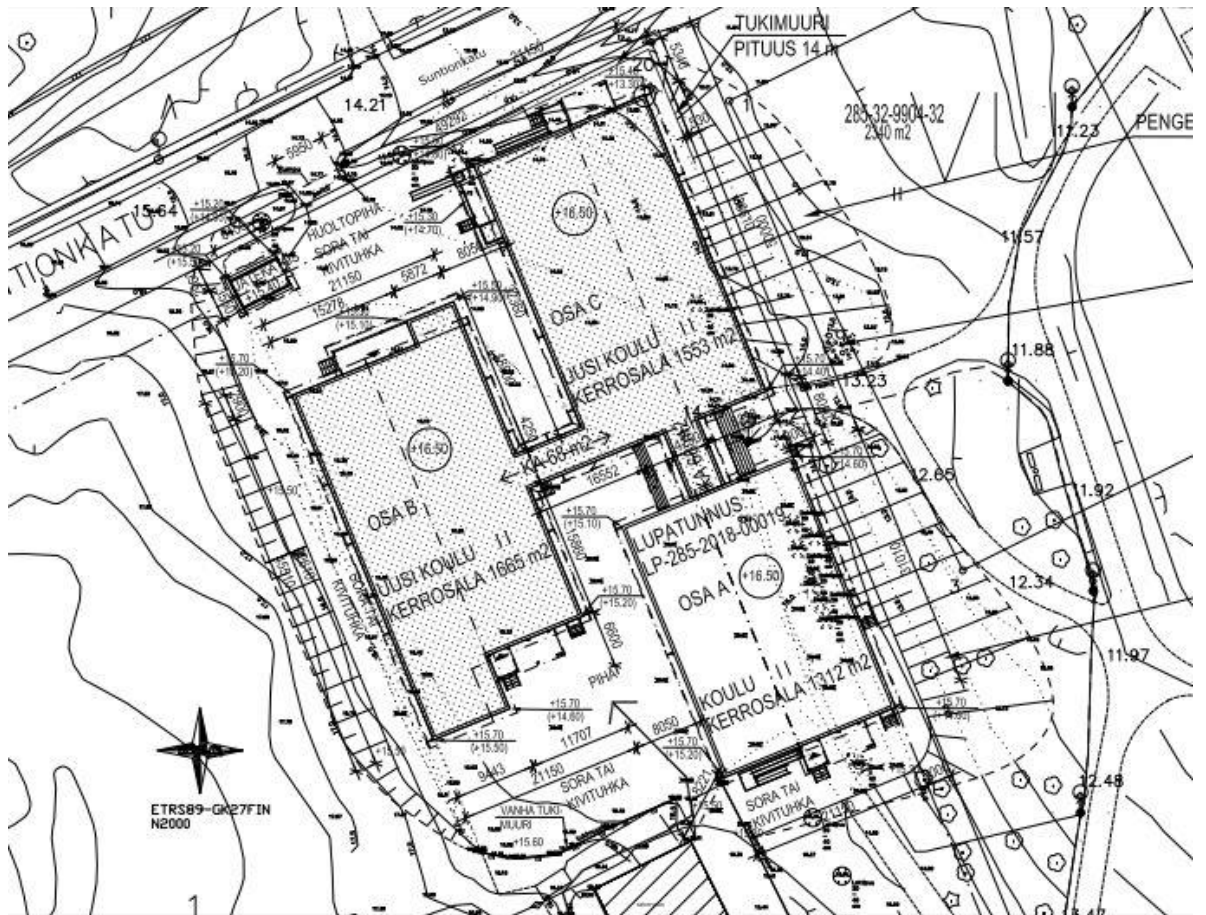
Rakennus on siis Elementit-E Oy:n rakentama tilaelementtikokonaisuus ja se koostuu kolmesta osasta; A, B ja C. Rakennus on valmistettu puusta, ainoastaan perustukset joiden päälle rakennus on kasattu ovat betonia.

Tilaelementit on kasattu Elementit-E:n toimitiloissa Kouvolassa ja kuljetettu rekoilla Kotkaan ja asennettu lohkoina ensin A, sitten B ja viimeisenä C-osa.

Kokonaisuus on Kotkan kaupungin tilaama koska Helilän vanhassa koulussa oli sisäilmaongelmia ja oppilaille tarvittiin uudet opetustilat.



Kuva 4. Helilän koulun väistötilat 2.5.2018 kuvaaja: Mika Liljeqvist



Kuva 5. Helilän koulu väistötilat asemapiirustus, [Liite 4, Elementit-E Oy materiaali]

### 3.2 Tarkastelun tavoitteet

Opinnäytetyössä tarkastellaan paljonko hiilidioksidipäästöjä syntyy per rakennettu neliömetri materiaalien näkökulmasta. Tarkastelu tehdään niin että lasketaan rakennuksessa käytetyillä materiaaleilla syntyneet päästöt sekä vertailuva laskelma jossa käytetyt puurakenteet korvataan vastaavilla betonirakenteilla, esimerkiksi kertopuinen alapohja korvataan ontelolaatalla jne. tällöin saadaan aikaiseksi vertailu syntyneistä päästöistä ja mikä vaikutus valituilla materiaaleilla on tähän. Laskennasta jätetään pois ikkunat, vesikattovarusteet (lumiesteet yms.), pintakäsittelyt (maalaukset, laatoitukset yms.), katokset ja yleisesti materiaalit joita käytettäisiin rakennuksessa molemmissa, sekä puu että betonivaihtoehdoissa koska nämä eivät vaikuta siihen mikä on puu/betoni-vaihtoehdon välinen päästöero. Laskennassa ei myöskään huomioida perustuksia koska molemmissa vaihtoehdoissa ne ovat betonia ja tällöin niistäkään ei synny päästöeroja. Laskentaan voitaisiin jatkossa helposti lisätä myös perustukset omana rakenteenaan mikäli haluttaisiin verrata esim. teräspalkki- ja betoniperustusten eroa. Laskennan lopputulos eli päästöjen määrä huomioi

kuvassa 2. esitetyt rakennuksen elinkaaren vaiheet A1 – A3, mutta kuitenkin tarkasteltuna niin että materiaalit ovat valmiissa rakennuksessa joten periaatteessa vaiheet A1 - A5. Tarkastelussa ei oteta huomioon puun hiilinieluvaikutusta eikä betonin karbonatisoitumista. Tarkastelun lopullinen tavoite on saada laskentapohja jota voidaan hyödyntää tulevaisuudessa vastaavissa kohteissa.

## **4 LASKENTA**

### **4.1 Laskennan tavoitteet**

Laskennan tavoitteena on saada selville syntyneet rakentamisen kokonais hiilidioksidipäästöt ja päästöt neliometriä kohden. Laskennan tulokset eli syntyneet päästöt ilmoitetaan hiilidioksidiekvivalenttonneina neliometriä kohden ( $T_n$  CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup>). Kun sekä puu- ja betonivaihtoehdosta on saatu yhteenlasketut tulokset kaikkien rakenteiden osalta saadaan näiden välille laskettua lopullinen erotus suhde. Samalla saadaan tuloksena päästömäärä joka säästettiin rakennettaessa puusta.

### **4.2 Laskentamenetelmä**

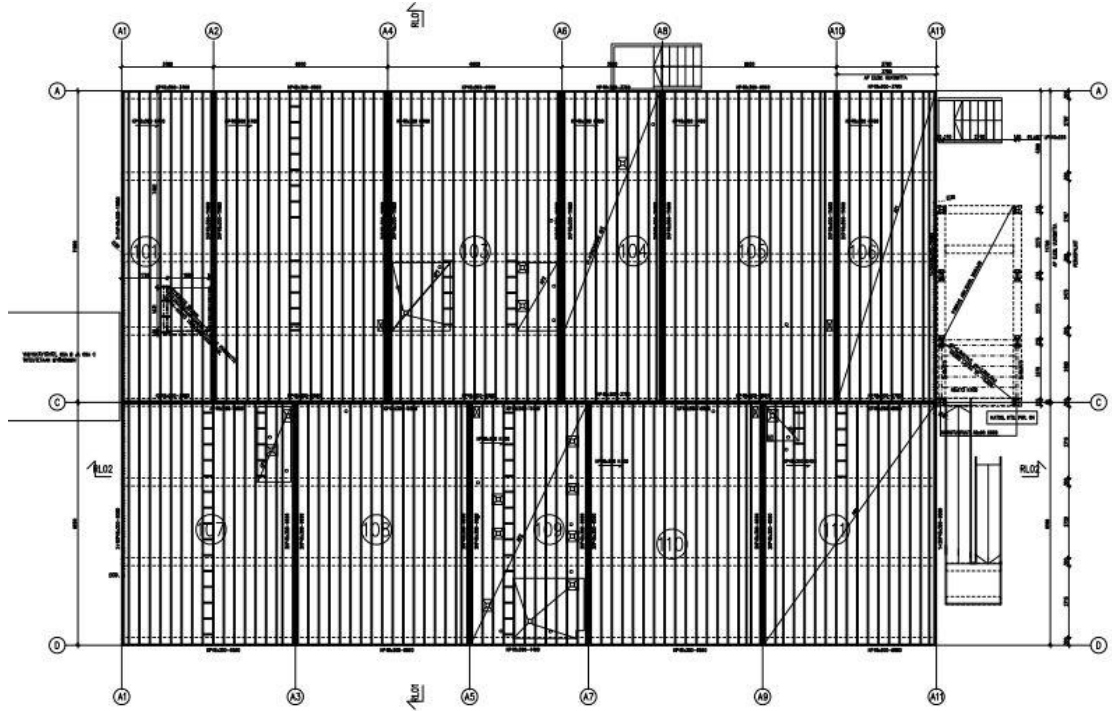
Työssä kehitettiin excel-laskentapohja jolla massoitellaan rakennus jotta saadaan selville kuinka paljon tiettyä rakennetta ja rakenteessa olevia materiaaleja on ja tämän perusteella paljonko rakenteesta syntyy päästöjä per neliometri. Massoittelussa lasketaan paljonko mitäkin rakennetta rakennuksessa on, ja mitkä ovat päästöt. Näin toimitaan kaikkien rakenteiden kohdalla ja lopuksi kun on saatu kokonaispäästöt selville, jaetaan tämä rakennuksen pohjalalla niin saadaan selville paljonko päästöjä on syntynyt per neliometri. Laskelma voidaan tehdä sekä puu että betonirakenteille jotta saadaan näiden erotus selville. Laskennassa rakenteet on laskettu yhdeksi massaksi, eli aukotuksia ei ole vähennetty. Laskennassa on käytetty ominaispäästökertoimien osalta Suomen ympäristökeskuksen SYNERGIA – laskurin liitteenä olevia materiaalien ominaispäästökertoimien arvoja (SYNERGIA Hiilijalanjälki – työkalun ohje ja laskuri.).



### 4.3 Laskennan eteneminen

#### 4.3.1 Neliömäärien laskenta

Pohja ja naamakuvien perusteella lasketaan paljonko mitäkin rakennetyyppiä rakennuksessa on. Pohjakuvista lasketaan myös pohjapinta-alat neliömetreinä.



Kuva 6. Alapohja osa A [ Liite 2. laskennan kulku kuvat]

Tarkastelun kohteena oleva rakennus koostuu kolmesta osasta; A, B, ja C - osasta. Kuvassa 6. on rakennuksen A-osan alapohjan pohjakuva. Rakennuksen B ja C -osista on vastaavat kuvat. Edellämainituista kuvista on laskettu kyseisen rakenteen eli alapohjan (AP1) neliömetrimäärät ja nämä määrät on lisätty laskentataulukon välilehdelle 1. kyseisen rakennetyypin ” Kokonaispinta-ala rakennuksessa m<sup>2</sup>” soluun. Näytetty kuvassa 7.

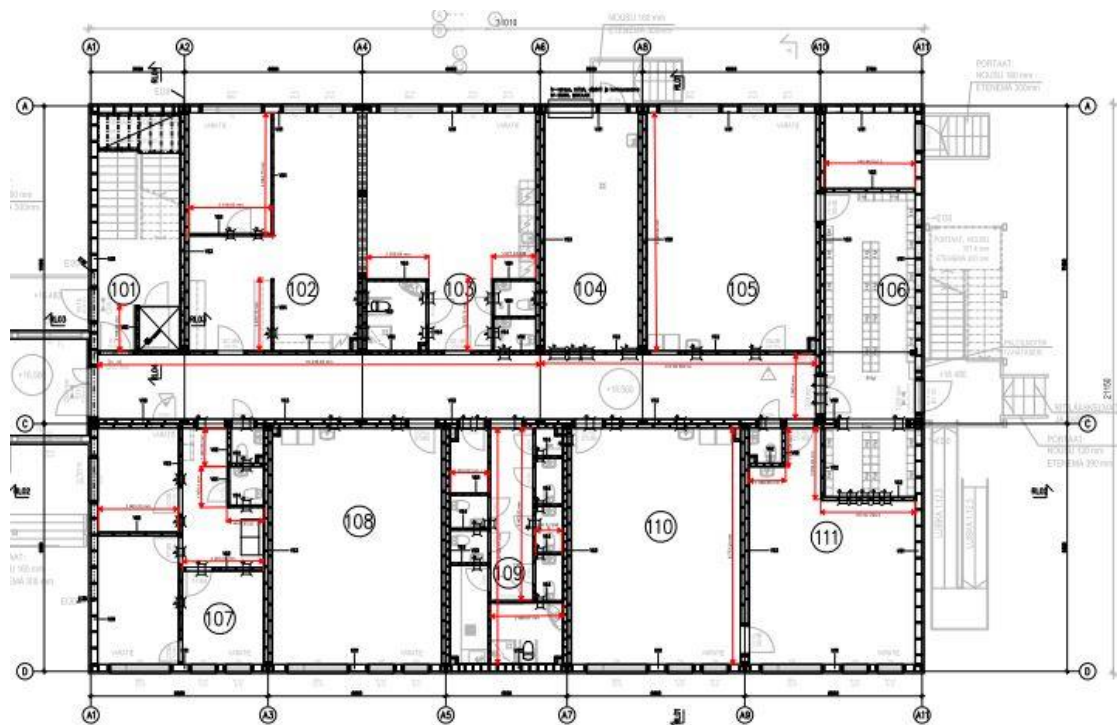
PUU vaihtoehto			
Rakennetyyppi	Kokonaispinta-ala rakennuksessa m <sup>2</sup>	Päästöt yhteensä kys. rakenteessa kg CO <sub>2</sub> -ekv	Päästöt/rakenteen pinta-ala (kg CO <sub>2</sub> -ekv/m <sup>2</sup> )
Alapohja AP1	2339	39334	17
Väliopohja VP1	2257	50847	23
Yläopohja YP1	2298	43505	19
Ulkoseinä US1	2302	66992	29
Ulkoseinä US2	143	4976	35
Väliseinä VS1	585	10848	19
Väliseinä VS2	710	15915	22
Väliseinä VS3	1296	26822	21
Väliseinä VS4	562	5866	10
Päästöt yhteensä kg CO <sub>2</sub> -ekv		265106	
Päästöt kg per pohjapinta-ala m <sup>2</sup> . kg CO <sub>2</sub> -ekv/m <sup>2</sup>		58	

Kuva 7. Kokonaispinta-ala rakennuksessa m<sup>2</sup> [ Liite 2. laskennan kulku kuvat]

Välipohjan ja yläpohjan osalta nelimäärät on laskettu samalla tavalla pohjakuvista. Vaakasuorassa olevat rakenteet pystytään laskemaan helposti suoraan pohjakuvista.

Vertikaalisuunnassa sijaitsevien rakenteiden eli toisin sanoen seinien neliömetrimäärien laskeminen on huomattavasti vaikeampaa. Ensimmäiseksi joudutaan ottamaan tarkasteluun pohjakuva missä näkyy eri seinätyypit ja tästä täytyy laskea montako juoksumetriä kutakin seinätyyppiä kyseisessä kuvassa on. Kuvassa 8. on laskettu rakennuksen A-osan 1. kerroksen seinien määrä juoksumetreinä. Nämä on lisätty laskentapohjan välilehdelle 3. omiin soluihinsa. Tämä on esitetty kuvassa 9.

Sama asia täytyy siis tehdä rakennuksen jokaiselle osalle ja kerrokselle jotta saadaan kaikkien rakennuksen seinien määrät selville.



Kuva 8. 17069R49 seinäkaaviot 1krs osaA [ Liite 2. laskennan kulku kuvat]

Rakennuksen osa	kerros.	Rakenteiden määrät juoksumetreinä (jm)					
		VS1	VS2	VS3	VS4	US1	US2
A	1	-	58,1	99,3	50,0	104,3	-
A	2	52,7	28,4	38,0	26,0	99,8	4,5
B	1	-	47,2	96,4	31,0	120,3	-
B	2	70,2	31,7	49,3	22,0	91,0	29,3
C	1	-	17,9	111,0	33,8	109,0	-
C	2	71,1	52,1	35,9	23,8	114,9	5,9

Kuva 9. Rakenteiden määrät juoksumetreinä [ Liite 2. laskennan kulku kuvat]

Kun seinien määrät ovat selvillä pituusmetreinä, pitää seinärakenteiden määrät saada selville vielä neliömetreinä jotta näille pystytään laskemaan neliökohtaiset päästöt.

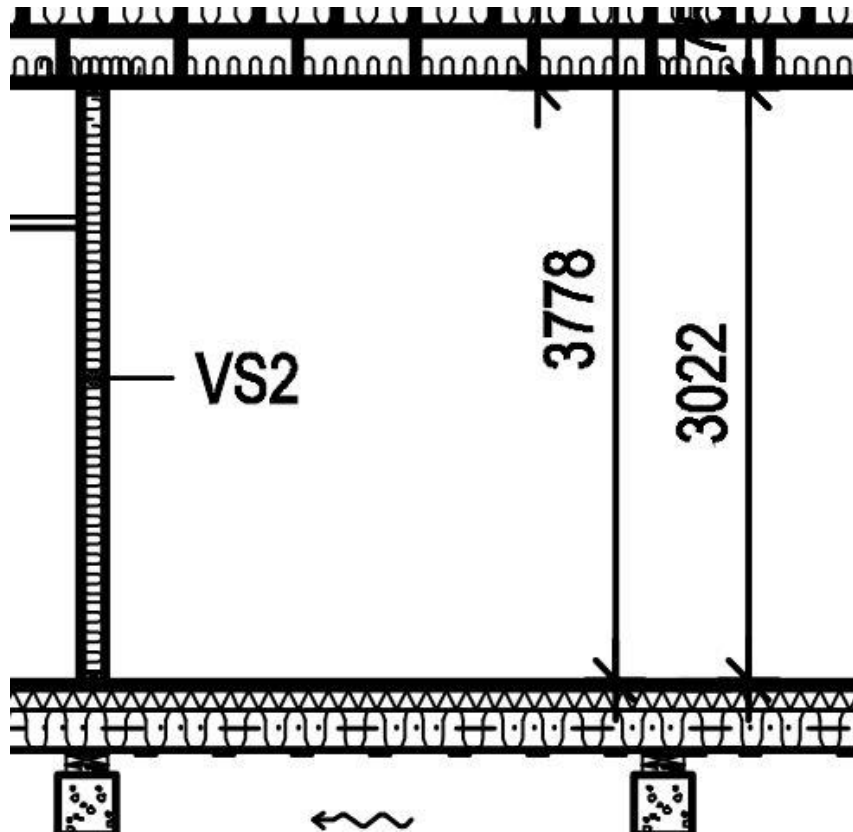
Seuraavaksi tarvitaan siis tiedot kuinka korkeita seinät ovat ja tämä selviää leikkaus ja naamakuvista. Esimerkiksi kuvasta 10. selviää että ulkoseinien korkeus on 3,6m ja kuvasta 11. selviää esimerkiksi että väliseinätyyppi VS2 korkeus on 3022mm.

Kun korkeudet ovat selvillä, kerrotaan nämä aina rakennetyypeittäin edellisessä vaiheessa saatujen juoksumetriensä kanssa ja vastaukseksi saadaan neliömetreinä paljon kutakin rakennetyyppiä rakennuksessa on. Toiminnot löytyvät laskentataulukon välilehdeltä 3. Tulokset esitettynä kuvissa 12. ja 13.

Myös nämä kaikki tulokset lisätään laskentataulukon välilehden 1. koontitaulukkoon (kuva 7.) omaan soluunsa.



Kuva 10. Julkisivu koilliseen osa A [ Liite 2. laskennan kulku kuvat]



Kuva 11. Väliseinän korkeus [ Liite 2. laskennan kulku kuvat]

Neliömäärät kyseistä rakennetta (jm x h) m <sup>2</sup>					
VS1	VS2	VS3	VS4	US1	US2
-	175,6	299,9	151,1	375,48	-
159,3	85,8	114,8	78,6	359,19	16,3
-	142,5	291,2	93,7	433,152	-
212,1	95,8	148,8	66,5	327,744	105,4
-	54,1	335,3	102,1	392,472	-
214,9	157,4	108,5	71,8	413,712	21,2

Kuva 12. neliömäärät rakenteittain ja sijainneittain [ Liite 2. laskennan kulku kuvat]

Kokonaisneliömäärät kutakin rakennetta	
VS1	586,2 m <sup>2</sup>
VS2	711,2 m <sup>2</sup>
VS3	1298,6 m <sup>2</sup>
VS4	563,8 m <sup>2</sup>
US1	2301,8 m <sup>2</sup>
US2	142,9 m <sup>2</sup>

Kuva 13. Kokonaisneliömäärät rakenteittain [ Liite 2. laskennan kulku kuvat]

### 4.3.2 Päästöjen laskenta per rakennetyyppi

Seuraavaksi täytyy selvittää aina rakennetyypeittäin kuinka paljon kyseinen rakennetyyppi synnyttää päästöjä aina neliometriä kohti.

Tätä varten kaikki rakennetyypit joudutaan pilkkomaan osiin, jotta saadaan aina jokaisen rakennetyypin sisäisesti selvitettyä kuinka paljon kyseisen rakenteen yksi neliometri sisältää mitään materiaalia, ja laskettua aina materiaaliakohtaisesti päästöt. Kun kyseisen rakennetyypin jokaisen materiaalin yksilölliset päästöt on saatu laskettua, summataan ne yhteen ja lopputuloksena saadaan selville kuinka paljon kyseinen rakennetyyppi synnyttää hiilidioksidipäästöjä neliometriä kohti. Kuvassa 14. on esimerkkinä rakennetyypin VS2 päästölaskelma. Jokaisesta rakennetyypistä löytyy laskentataulukosta vastaavanlainen kohta. Toteutetun rakennuksen rakennetyypit löytyvät välilehdeltä 4.1 ja vaihtoehtoiset betonirakenteet välilehdeltä 4.2.

Rakennetyyppi	VS2				18,5 kg CO <sub>2</sub> -ekv/m <sup>2</sup>
Materiaalit	Materiaalin määrä (kg) yhdessä rakenne neliössä m <sup>2</sup>	materiaalin ominaispaino kg per m <sup>3</sup>	Päästökertoim g CO <sub>2</sub> -ekv/kg	Päästöjen määrä g CO <sub>2</sub> -ekv	
EK kipsilevy 13mm	11,7	11,7 (kg/m <sup>2</sup> )	390	4563,0	
Koivuvaneri 12mm	7,92	660	720	5702,4	
Runko 48x98 K300	6,77	480	70	474,2	
Mineraalivilla 70mm	1,40	20	800	1120,0	
Koivuvaneri 12mm	7,92	660	720	5702,4	
EK kipsilevy 13mm	11,7	11,7 (kg/m <sup>2</sup> )	390	4563,0	
Ruuvit nauulat yms. <sup>*(1)</sup>	0,292	7850	1040	303,7	
				0,0	
				0,0	
				0,0	
				0,0	
				0,0	
CO <sub>2</sub> päästöt yhteensä kys. rakenne m <sup>2</sup> ssa (g)				22428,6	g CO <sub>2</sub> -ekv
				22,4	kg CO <sub>2</sub> -ekv

Kuva 14. VS2 Päästöt [ Liite 2. laskennan kulku kuvat]

Esimerkkinä otetaan käsittelemään kuvassa 14. oleva rakennetyyppi VS2 ja tarkastellaan miten on päästy tulokseen missä kyseinen rakennetyyppi tuottaa 22,4 kg CO<sub>2</sub>-ekv päästöjä per neliometri.

Ensiksi on siis purettu rakenne materiaaleittain kohtaan "Materiaalit". Tässä kohtaa tulee esittää myös aina materiaalin perässä mikä on materiaalin rakennepaksuus.

Seuraavassa kohdassa "Materiaalin määrä (kg) yhdessä rakenne neliössä m<sup>2</sup>" pitää selvittää kilogrammoina paljonko neliometri kyseistä rakennetta pitää sisällään kyseistä materiaalia. Tässä tarvitaan materiaalien ominaispainot jotka löytyvät aina materiaaleittain laskentapohjan seuraavasta sarakkeesta "materiaalin ominaispaino kg per m<sup>3</sup>". Suurin osa laskentapohjan ominaispainoarvoista on saatu SYNERGIA Hiilijalanjälki laskurin liitteestä 19.2 joka löytyy myös laskentapohjan välilehdeltä 5. Seuraavaksi näillä tiedoilla pitää saada siis laskettua edellä mainittu kilogrammamäärä, kipsilevyn kohdalla se

onnistuu helposti koska taulukossa on annettu suoraan kipsilevyn neliöpaino eli tämän voi kopioida suoraan taulukosta. Taulukossa seuraava materiaali on koivuvaneri jonka materiaalipaksuus on 12mm, tässä kohtaa täytyy laskea solussa 1 metri kerrottuna 1 metrillä joka kerrotaan vielä tuolla 12 millimetrillä ( $1*1*0,012$ ), näistä saatu tilavuus kerrotaan nyt seuraavasta sarakkeesta löytyvällä ominaispainolla ( $660 \text{ kg/m}^3$ ) ja siten vastaukseksi saadaan että neliömetrissä VS2 rakennetta on 7,92 kilogrammaa koivuvaneria. Tämä siis tehdään jokaiselle materiaalille ja jokaiselle rakennetyypille erikseen.

Kun kaikkien materiaalien massat ovat selvillä, tarvitaan seuraavasta sarakkeesta löytyvä päästökerroin ”Päästökerroin g CO<sub>2</sub>-ekv/kg”. Näistäkin suurin osa löytyy jo aikaisemmin mainitusta SYNERGIA Hiilijalanjälki laskurin liitteestä 19.2 joka löytyy välilehdeltä 5. Kun jokaisen materiaalin määrä kerrotaan omalla päästökertoimellaan, saadaan tulokseksi viimeiseen sarakkeeseen paljonko grammoina kyseinen materiaali on synnyttänyt hiilidioksidipäästöjä. Tässä esimerkkinä toimineen koivuvanerin päästöt rakenteessa VS2 ovat siis 5702,4 grammaa neliölle. Kun rakennetyypin jokaiselle materiaalille on saatu päästöt laskettua, lasketaan kaikki yhteen ja summaksi saadaan paljon kyseisen rakennetyypin päästöt ovat yhtä neliometriä kohden grammoina. Kun tämä kerrotaan tuhannella alempaan saadaan päästöjen määrä kilogrammoina. Samat toimenpiteet tehdään siis jokaiselle materiaalille ja rakennetyypille.

#### 4.3.3 Päästöjen kertominen neliöillä

Kun edellisten kohtien toimenpiteet on saatu suoritettua eli tiedetään kuinka paljon rakennuksessa on neliömetreissä mitään rakennetyyppejä sekä tiedetään paljonko mistäkin rakennetyypistä syntyy päästöjä neliometriä kohden, saadaan selville kokonaispäästöt.

Otetaan jälleen tarkasteluun rakennetyyppi VS2, Kuvassa 15. on punaisella laatikolla korostettu koko rakenteen VS2 tiedot koontitaulukossa ja kaavarivillä näkyy korostettuna solun G 31 sisältö. Kun lähdetään purkamaan kaavarivin sisältöä eli mitä on laskettu, nähdään että VS2 kokonaisneliömäärä 711m<sup>2</sup> on

kerrottu kyseisen rakenteen yhden neliön päästöillä jotka on linkitettyä suoraan välilehdeltä 4.1 solusta Q30. Kuvasta 14. selviää että kyseisen rakenteen VS yhden neliön päästöt ova 22,4kg. Laskennasta saadaan tulokseksi että kaikki rakennuksen väliseinät VS2 tuottavat yhteensä 15 952 kilogrammaa hiilidioksidipäästöjä (kg CO<sub>2</sub>-ekv.) Seuraavassa sarakkeessa on vielä laskettu paljonko kyseisen rakenteen päästöt ovat rakennuksen yhtä pohjapinta-alan neliometriä kohden, eli päästöt ovat jaettu rakennuksen kokonaispinta-alalla ja vastaukseksi on saatu 22kilogrammaa neliölle.

Kun kaikille rakennetyypeille on tehty samat toimenpiteet, lasketaan kaikkien päästöt yhteensä kohtaan ”Päästöt yhteensä kg CO<sub>2</sub>-ekv” ja vastaukseksi saadaan 265 244 kilogrammaa. Lopputulos on että rakennus tuottaa 265 tonnia hiilidioksidipäästöjä.

Solussa ”Päästöt kg per pohjapinta-ala m<sup>2</sup>. kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup>” päästöt on vielä jaettu pohjapinta-alan neliömetrimäärällä ja vastaukseksi on saatu että rakennus tuottaa 58 kilogrammaa hiilidioksidipäästöjä yhtä neliometriä kohden.

PUU vaihtoehto			
Rakennetyyppi	Kokonaispinta-ala rakennuksessa m <sup>2</sup>	Päästöt yhteensä kys. rakenteessa kg CO <sub>2</sub> -ekv	Päästöt/rakenteen pinta-ala (kg CO <sub>2</sub> -ekv/m <sup>2</sup> )
Alapohja AP1	2339	39334	17
Välipohja VP1	2257	50847	23
Yläpohja YP1	2298	43505	19
Ulkoseinä US1	2302	66992	29
Ulkoseinä US2	143	4976	35
Väliseinä VS1	586	10873	19
Väliseinä VS2	711	15952	22
Väliseinä VS3	1299	26884	21
Väliseinä VS4	564	5880	10
		Päästöt yhteensä kg CO <sub>2</sub> -ekv	265244
		Päästöt kg per pohjapinta-ala m <sup>2</sup> . kg CO <sub>2</sub> -ekv/m <sup>2</sup>	58

Kuva 15. Koontitaulukko VS2 eriteltynä [ Liite 2. laskennan kulku kuvat]

Edellä olevat laskelmat ja esimerkit olivat vain puurakenteisista vaihtoehtoista eli rakennetusta Helilän koulusta. Laskentapohjassa on myös vastaavat kohdat betonivaihtoehdolle jossa rakenteita on korvattu betonivaihtoehtoilla ja laskettu myös niistä syntyvät päästöt. Tämä on ensiarvoisen tärkeää suorittaa jotta päästään suorittamaan vertailua eri vaihtoehtojen välillä ja saadaan näkemystä siitä miten materiaalivalinnat vaikuttavat syntyneisiin päästöihin.

#### 4.3.4 Laskelmien koonti ja esittäminen

Laskelmat kootaan laskentapohjan välilehdelle 1. Yhteenvetotaulukosta selviää rakennuksen pohjapinta-ala johon siis päästöjä suhteutetaan. Yhteenvedossa on esitettyä sekä puu- että betonivaihtoehdon lasketut kokonaispäästömäärät sekä näiden välinen erotus. Myös neliökohtaiset päästömäärät ja näiden välinen erotus on esitetty samalla periaatteella.

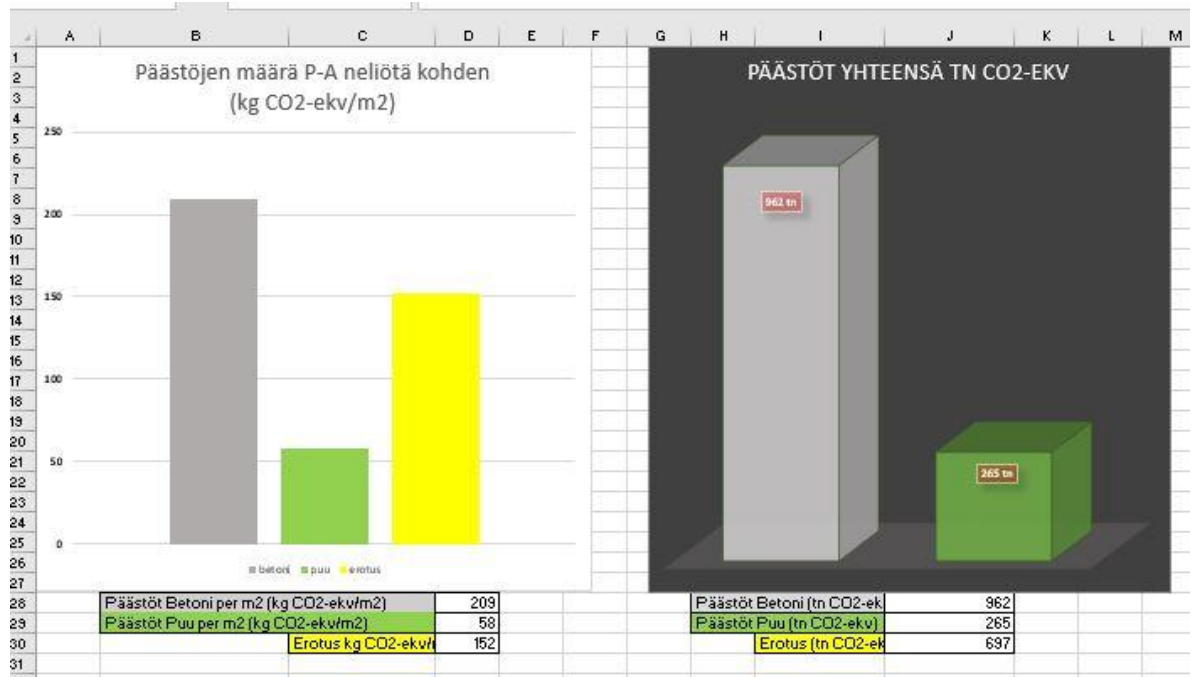
Välilehdellä 1. on siis myös jo edellisissä kohdissa esille tulleet puu ja betoni-vaihtoehtojen koontitaulukot joiden tuloksista on suorat linkitykset yhteenvetotauluihin.

Tuloksien visuaalinen esittäminen löytyy välilehdeltä 2. missä tulokset on esitettyä pylväsdiagrammien avulla erojen havainnollistamisen helpottamiseksi.

Yhteenvetotaulukko			
Rakennuksen pohjapinta-ala		4536 m <sup>2</sup>	
Päästöt Betoni (tn CO <sub>2</sub> -ekv)		962	
Päästöt Puu (tn CO <sub>2</sub> -ekv)		265	
Erotus (tn CO <sub>2</sub> -ekv)		697	
Päästöt Betoni per m <sup>2</sup> (kg CO <sub>2</sub> -ekv/m <sup>2</sup> )		209	
Päästöt Puu per m <sup>2</sup> (kg CO <sub>2</sub> -ekv/m <sup>2</sup> )		58	
Erotus kg CO <sub>2</sub> -ekv/m <sup>2</sup>		152	
PUU vaihtoehto			
Rakennetyyppi	Kokonaispinta-ala rakennuksessa m <sup>2</sup>	Päästöt yhteensä kys. rakenteessa kg CO <sub>2</sub> -ekv	Päästöt/rakenteen pinta-ala (kg CO <sub>2</sub> -ekv/m <sup>2</sup> )
Alapohja AP1	2339	39334	17
Välipohja VP1	2257	50847	23
Yläpohja YP1	2298	43505	19
Ulkoseinä US1	2302	66392	29
<b>Kokonaispäästöt</b>	<b>9196</b>	<b>100078</b>	<b>109</b>

Kuva 16. Yhteenvetotaulukko [ Liite 2. laskennan kulku kuvat]



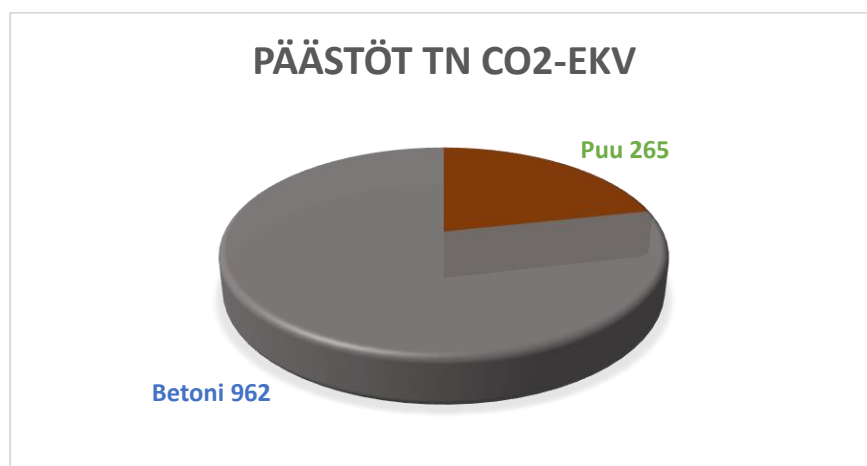


Kuva 17. Kaaviot [ Liite 2. laskennan kulku kuvat]

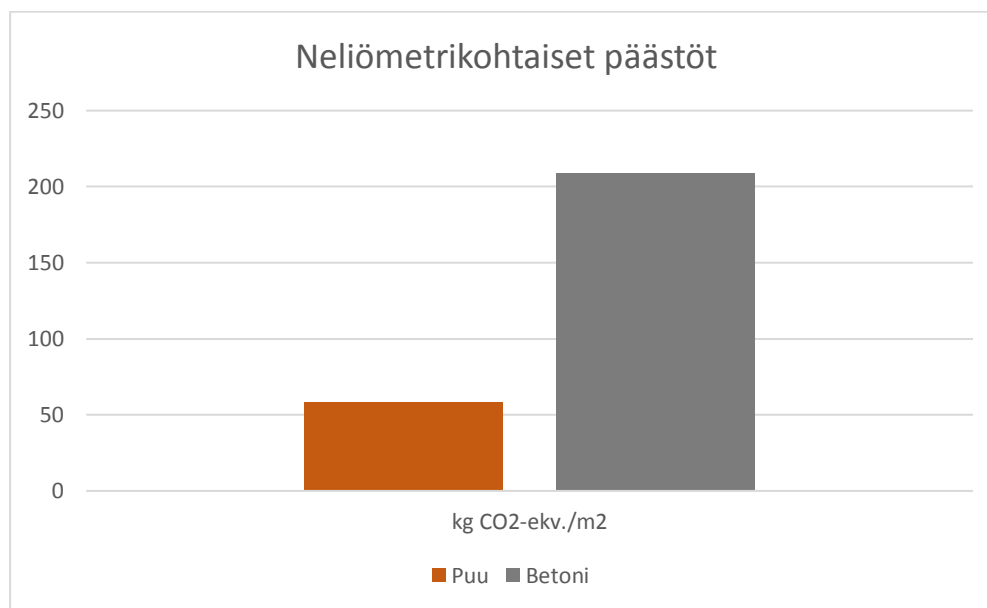
## 5 TULOSTEN ANALYSOINTI JA VERTAILU

### 5.1 Laskettujen päästöjen määrän analysointi

Kun laskenta on suoritettu ja tulokset saatu selville voidaan aloittaa tulosten tarkastelu. Rakennettaessa puusta saatiin laskennallisesti 265 tonnia CO<sub>2</sub>-ekvivalenttipäästöjä valmiissa rakennuksessa. Rakennettaessa betonista, saatiin laskennallisesti 962 tonnia CO<sub>2</sub>-ekvivalenttipäästöjä valmiissa rakennuksessa joka on noin 3,6 kertainen määrä päästöjä puuvaihtoehtoon nähden. Alla olevasta ympyrädiagrammista ymmärtää helposti kuinka paljon suuremmat betonin hiilidioksidipäästöt ovat.



Toinen asia jota analysoitiin oli päästöjen määrä valmiin rakennuksen yhtä pohjapinta-ala neliometriä kohden. Rakennuksen pohjapinta-alaksi saatiin kuvista laskemalla siis 4596 neliometriä. Kokonaispäästöt jaettuna tällä saatiin puuvaihtoehdon neliometrikohtaisiksi päästöiksi 58 kilogrammaa ja betonivaihtoehdon päästöiksi 209 kilogrammaa. Myös neliökohtaiset päästöt ovat noin 3,6 kertaiset. Alla oleva pylväsdiagrammi havainnollistaa eroa erinomaisesti.



Saadut tulokset saattavat kuulostaa suurilta varsinkin kun betonivaihtoehdon kokonaispäästöt ovat tässä tapauksessa hyvin lähellä miljoonaa kilogrammaa. Vertailu päästöjen määrässä puuvaihtoehtoon onnistuu hienosti mutta jonkin näköinen vertailupohja täytyy ottaa myös jokapäiväiseen elämään jotta pystytään analysoimaan päästöjä konkreettisemmalla tasolla.

Suuruusluokan hahmottaminen helpottuu kun otetaan vertailukohtaksi autoilun päästöt. Vuoden 2017 lopussa henkilöautojen keskimääräiset hiilidioksidipäästöt olivat 160 grammaa ajokilometriä kohden (g CO<sub>2</sub>/km). (Hiilidioksidipäästöt. 27.9.2018.)

Liikenteen turvallisuusvirasto Traficin 30.6.2018 päivitetyn tilaston mukaan Manner-Suomessa oli 2 756 741 liikennekäytössä olevaa henkilöautoa. (Ajoneuvokannan tilastot. 7.9.2018.)

Tieto joka lisäksi tarvitaan on paljonko autolla keskimääräisesti ajetaan vuodessa. Tiedon saanti tämän osalta on hiukan hankalaa ja tarkkaa tilastoa tämän suhteen ei ole saatavilla mutta otetaan tähän keskiarvoksi 20 000 kilometriä vuodessa.

Vuoden aikana yksi henkilöauto aiheuttaisi siis hiilidioksidipäästöjä 3200 kilogramman verran. Kyseinen lopputulos saadaan kertomalla ajatut kilometrit (20 000km) yhden kilometrin päästöillä (160 g CO<sub>2</sub>/km). Kun liikennekäytössä olevien henkilöautojen määrä kerrotaan tällä niin saadaan koko Suomen henkilöautojen vuotuiseksi hiilidioksidipäästö määräksi todella suurelta kuulostava luku 8,8 miljoonaa tonnia. Tähän suhteutettuna ohessa laskettu betonirakenteinen rakennus tuottaa päästöjä rakennettaessa yhtä paljon kuin noin 300 autoa vuodessa, puurakenteinen rakennus paljon vähemmän.

Tulosten arvioinnissa ja oikeellisuudessa voidaan myös ottaa vertailuksi Matti Kuittisen tekemä selvitys jossa on vertailtu tutkimuksia 2000-luvulta liittyen rakennusten runkomateriaalien ilmastovaikutuksiin. Vertailussa on 15 eri rakennusta, osassa on huomioitu vain rakennusmateriaalien vaikutus hiilijalanjälkeen ja osassa on huomioitu koko rakennuksen elinkaari. Tähän opinnäytetyöhön peilattaessa voitaneen keskittyä vain niiden tutkimusten tuloksiin joissa on laskettu vain rakennuksen elinkaaren vaiheiden A1 – A3 hiilijalanjälkeä. Selvityksessä olevien tutkimusten tuloksia ja Kuittisen päätelmiä tutkimalla päästään hyvin samanlaisiin tuloksiin puu- ja betonirakentamisen hiilijalanjäljestä kuin mitä tässäkin opinnäytetyössä saaduissa tuloksissa. Puuvaihtoehdon ilmastovaikutukset ovat pienemmät kuin betonirakentamisen sekä näiden välinen ero on riippumatta tutkimuksesta tai laskentamenetelmästä samaa luokkaa. (Rakennusten ilmastovaikutusten vertailu. 20.10.2014.)

## **5.2 Vertailua betonirakentamiseen**

Saaduista tuloksista saadaan siis nopeasti käsitys että betonirakentaminen synnyttää moninkertaisesti hiilidioksidipäästöjä kun verrataan puurakentamiseen.

Palataan aikaisempaan tulokseen joka oli että keskimääräisesti henkilöauto aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä vuodessa 3200 kilogrammaa. Kun betonivaihtoehdon kokonaispäästöt olivat 962 tonnia ja puuvaihtoehdon 265 tonnia, saadaan näiden erotukseksi 697 tonnia. Tämä erotus kun jaetaan auton vuotuisilla hiilidioksidipäästöillä päästään tulokseen 217,82. Tämä tarkoittaa siis sitä että tämän kyseisen rakennuksen kohdalla, laskennallisesti säästettiin 217 henkilöauton vuotuiset hiilidioksidipäästöt.

### 5.3 Rakennuksen elinkaari ja siirrettävyys

Tämän opinnäytetyön laskennassa ei oteta kantaa rakennuksen elinkaareen, vain materiaalivalintoihin ja näistä syntyneisiin päästöihin. Rakennuksen elinkaari pitää kuitenkin käsitellä jollain tasolla koska tilaelementeistä rakennettu rakennus on siirrettävä. Rakennuksen siirrettävyys tekee siitä myös oivan esimerkin kiertotaloudesta.

Rakennuksen siirrettävyys ja elinkaari -kysymykset tulee aiheelliseksi siinä vaiheessa kun esimerkiksi rakennuksen käyttötarve muuttuu tai päättyy. Jos tässä käsitellyssä esimerkkitilanteessa Kotkan kaupunki ei esimerkiksi haluaisi enää jatkaa leasing sopimusta sen päätyttyä tai haluaisi rakentaa kyseiselle tontille jotain muuta, voitaisiin rakennus siirtää ja vuokrata mahdollisesti jollekin toiselle kaupungille tai toimijalle. Betonista rakennettaessa mahdollisuudet olisivat olleet huomattavasti suppeammat, mahdollisesti kaupungille jäisi rasitteeksi tyhjä rakennus jossa on paljon hukkaneliöitä tai rakennus jouduttaisiin purkamaan uuden tieltä.

Siirrettävyys ja elinkaaren kokonaispäästöt tulevat myös ajankohtaiseksi siinä vaiheessa kun rakennus siirretään uuteen paikkaan. Kun rakennus siirretään uuteen paikkaan, voidaan olettaa että uudessa sijoituspaikassa ei tarvitse tehdä tässä opinnäytetyössä suoritettua laskentaa koska rakennukselle on se jo kerran tehty. Tässäkin suhteessa kokonaispäästöjen kannalta ero betonirakenteiseen rakennukseen vain kasvaa.

Rakennus voidaan siis siirtää useamman kerran elinkaarensa aikana mutta päästöjä ei synny enää materiaaleista ensimmäisen kerran jälkeen. Tämä on tietysti positiivinen asia ja siihen pitäisi myös kiinnittää huomiota kun aletaan suunnittelemaan uusia rakennuksia. Elinkaariajattelu olisi hyvä ottaa käyttöön myös virallisesti luomalla esimerkiksi verohelpotuksia tai vastaavia kannustimia kohteissa joissa valitaan siirrettäviä vähäpäästöisiä rakennuksia jotta saataisiin edes Suomen osalta maailman hiilidioksidipäästöjä kuriin.

## 6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tuottaa laskentapohja jolla voidaan vertailla puu- ja betonirakenteisen rakennuksen hiilidioksidipäästöjen määriä. Laskuri saatiin toteutettua ja laskettiin hiilidioksidipäästöjen määrät ja konkreettiset lukuarvot puu- ja betonirakenteisten rakennusten välille. Esimerkkikohteessa saatiin selvät ja suuret erot eri materiaalivaihtoehtojen välille. Jatkossa pystytään helposti näyttämään ja laskemaan laskurin avulla että betonista rakennettaessa hiilidioksidipäästöt ovat suuremmat ja puuvaihtoehto kannattaa ottaa jo suunnittelupöydällä vakavasti harkintaan jos halutaan korostaa vähähiilistä rakentamista.

Yhtenä laskurin haasteena on epävarmat lähtötiedot ja näistä suurimpana materiaalien päästökertoimet. Opinnäytetyössä jo aikaisemmin on kerrottu että laskennassa käytettiin SYNERGIA Hiilijalanjälki laskurin liitteestä löytyviä päästökertoimia. Näiden ajantasaisuudesta ei voida olla tänä päivänä aivan absoluuttisen varmoja eikä siitä kuinka luotettavia ne on. Lisäksi aivan kaikista materiaaleista ei päästökertoimia löydy lainkaan. Tietojen voitaneen olettaa kuitenkin olevan niin tarkkoja että laskennassa saadut päästöjen suuruusluokat ovat oikeat. Jos hiilidioksidipäästöjen laskennassa halutaan jatkossa päästä tarkkoihin tuloksiin, täytyy materiaalivalmistajien tuottaa tarkkoja päästökertoimia ja tuotetietoja. Näin tulevaisuudessa varmasti tullaan tekemään sillä asia on tärkeä.

Toinen haaste laskennassa on materiaalimäärien määrittäminen, tässä opinnäytetyössä ja laskennassa määrät laskettiin manuaalisesti pohja-, leikkaus-, ja rakennekuvista. Tämä on melko hidasta ja helposti saattaa syntyä virheitä. Jatkossa kehitysehdotus tähän on että määrät lasketaan piirustus- ja mallinusohjelmilla joilla rakennus on suunniteltu, näin saadaan helposti ja nopeasti oikeat massoittelut rakenteille. Lisäksi tällöin tulee varmemmin myös aukotukset huomioitua jolloin päästään sitäkin kautta tarkempaan lopputulokseen.

Rakenneratkaisuja kehittämällä ympäristönäkökulmasta voidaan vaikuttaa myös päästöihin. Betonin lujuutta ja laatua voitaisiin esimerkiksi muuttaa sekä mahdollisesti rakennepaksumuksia jolloin materiaalien määrät muuttuvat. Tässä

puurakennuksen rakennetyypit on vain muutettu dimensioiden mukaan betoni-rakenteiksi, voisi hyvin olla mahdollista että rakenteet voisivat olla pienempiä rakennettaessa betonista. Lisäksi eri perustusvaihtoehtoja ei olla käyty läpi. Rakennus olisi voitu rakentaa esimerkiksi teräspaalujen varaan. Olisiko päästöero mahdollisesti vielä suurempi jos olisi laskettu puurakenteinen rakennus teräspaalujen varaan ja vertailukohta olisi betonirakennus betoniperustuksilla? Monia asioita siis löytyy jolla mahdollistettaisiin laskennan tulosten ohjailu haluttuun suuntaan mutta tässä työssä ja laskennassa on tehty nimenomaan selväksi se että on vain korvattu puu betonilla jolloin on saatu selkeä ero juuri näiden ilmastovaikutuksista.

Aihe on todella haasteellinen ja lähdemateriaalien haku vaikeaa vaikka ympäristöasiat ovat yhä enemmän esillä. Kuitenkin suuri osa saatavilla olevasta tiedosta on erilaisia kirjoituksia, verkkotekstejä ja kannanottoja. Absoluuttinen tieto betonin ja puun ympäristövaikutuksista ei ole tiedossa eikä konkreettisia laskentaesimerkkejä ole juuri tehty joten tämän kaltaiset laskennat olisivat hyödyllisiä jotta pystyttäisiin osoittamaan laskettuja päästöjen määriä.

Tulevaisuutta ajatellen tämä laskuri ei sellaisenaan ole riittävä. Työn tilaaja Elementit-E Oy voi kehittää sitä käyttäjäystävällisemmäksi ja omien tarpeidensa mukaan toimivammaksi.

Tulevaisuudessa CO<sub>2</sub>- laskelmien perusteella on mahdollisuus sijoittaa esimerkiksi rakennuksen tuloalaan kyltti jossa kerrotaan rakennuksen hiilidioksidipäästöt. Nykyisin monet tekevät hankintojaan kestävä kehitys huomioon ottaen ja jatkossa varmasti myös asunnonhankinnassa tällä on merkitystä. Yritykselle jossa päästöt avoimesti kerrotaan ja niitä pyritään tulevaisuudessa minimoimaan voi tästä tulla merkittävä markkinavalti.

## LÄHTEET

Ajoneuvokannan tilastot. 7.9.2018. Trafi. Verkkoteksti. <https://www.trafi.fi/tietopalvelut/tilastot/tieliikenne/ajoneuvokanta> [Viitattu 29.9.2018]

Arvio vähähiillisen rakentamisen ohjauskeinojen vaikutuksista valmistunut – merkittävin päästövähennys saavutettavissa kansallisen raja-arvon asettamisella. 1.3.2018. Ympäristöministeriö. Verkkoteksti. Saatavissa: [http://www.ymp.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ ja\\_rakentaminen/Rakentamisen\\_ohjaus/Arvio\\_vahahiillisen\\_rakentamisen\\_ohjauske\(46172\)](http://www.ymp.fi/fi-FI/Maankaytto_ ja_rakentaminen/Rakentamisen_ohjaus/Arvio_vahahiillisen_rakentamisen_ohjauske(46172)) [Viitattu 22.10.2018]

Elinkaaren hiilijalanjälki. s.a. Green Building Council Finland. Verkkoteksti. Saatavissa: <http://figbc.fi/elinkaarimittarit/laskentaohjeet/elinkaaren-hiilijalanjalki/> [Viitattu 1.5.2018]

Hiilidioksidipäästöt. 27.9.2018. Liikennefakta. Verkkoteksti. Saatavissa: <https://www.liikennefakta.fi/ymparisto/henkiloautot/hiilidioksidipaastot> [Viitattu 29.9.2018]

Hiilineutraalisuuden pelisäännöt. 7.6.2016. Suomen Ympäristökeskus. Verkkoteksti. Saatavissa: [http://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus\\_ kehittaminen/Tutkimus\\_ ja\\_ kehittamishankkeet/Hankkeet/Hiilineutraalisuus/Hiilineutraalisuuden\\_pelisaannot\(33690\)](http://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Tutkimus_ ja_ kehittamishankkeet/Hankkeet/Hiilineutraalisuus/Hiilineutraalisuuden_pelisaannot(33690)) [Viitattu 7.4.2018]

Kasvihuoneilmiö ja ilmakehän koostumus s.a. Ilmatieteenlaitos. Verkkoteksti. Saatavissa: <http://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/420c4ca3-a128-4ae7-882e-3d06e1ea24f5/kasvihuoneilmiö-ja-ilmakehan-koostumus.html> [viitattu 4.4.2018].

Korjausrakentamisen teolliset ratkaisut. s.a. Junnonen, J-M. Verkkoteksti. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK120704.pdf> [Viitattu 15.8.2018]

Rakennusten ilmastovaikutusten vertailu. 20.10.2014. Kuittinen, M. Selvitys. Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Rakennusmateriaalien%20ilmastovertailu%202014-10-20.pdf> [Viitattu 24.10.2018]

SYNERGIA Hiilijalanjälki – työkalun ohje ja laskuri. Suomen Ympäristökeskus. Saatavissa: [http://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus\\_kehittaminen/Kulutus\\_ja\\_tuotanto/Laskurit/Synergia/SYNERGIA\\_Hiilijalanjalki\\_tyokalun\\_ohje\\_\(26142\)](http://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Kulutus_ja_tuotanto/Laskurit/Synergia/SYNERGIA_Hiilijalanjalki_tyokalun_ohje_(26142)) [viitattu 18.8.2018]

Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa. 2017. Ympäristöministeriö. Verkkoteksti. Saatavissa: [http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Rakentamisen\\_ohjaus/Va-hahiillinen\\_rakentaminen/Tiekartta\\_rakennuksen\\_elinkaaren\\_hiilijalanjal-jen\\_huomioimiseksi](http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Rakentamisen_ohjaus/Va-hahiillinen_rakentaminen/Tiekartta_rakennuksen_elinkaaren_hiilijalanjal-jen_huomioimiseksi) [Viitattu 2.5.2018]

Tietoa ilmastonmuutoksesta. s.a. CO2-Raportti. Verkkoteksti. Saatavissa: <http://www.co2-raportti.fi/?page=ilmastonmuutos> [Viitattu 1.5.2018]



## LIITTEET

- Liite 1. Ohjeet CO2 laskurille
- Liite 2. laskennan kulku kuvat
- Liite 3. Rakennetyypit
- Liite 4. Elementit-E Oy materiaali
- Liite 5. CO2laskenta (Excel laskenta)
- Liite 6. CO2laskentaTYHJÄ (Excel laskentapohja)

## KUVALUETTELO

Kuva 1. Tietoa ilmastonmuutoksesta. s.a. CO2-Raportti. Verkkoteksti. Saatavissa: <http://www.co2-raportti.fi/?page=ilmastonmuutos> [Viitattu 1.5.2018]

Kuva 2. Vihreä julkinen rakentaminen. Ympäristöopas 2017. Hankintaopas. Matti Kuittinen, Simon le Roux. Valtioneuvoston julkaisu. s.31. Saatavissa: [http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80653/YO\\_2017\\_Vihrea\\_julkinen\\_rakentaminen\\_hankintaopas.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80653/YO_2017_Vihrea_julkinen_rakentaminen_hankintaopas.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [Viitattu 29.4.2018]

Kuva 3. Sivu 34. [http://figbc.fi/wp-content/uploads/2013/01/Rakennusten\\_elinkaarimittarit\\_2013.pdf](http://figbc.fi/wp-content/uploads/2013/01/Rakennusten_elinkaarimittarit_2013.pdf) [Viitattu 30.4.2018]

Kuva 4. Helilän koulun väistötilat 2.5.2018. Kuvaaja: Mika Liljeqvist

Kuva 5. Helilän koulu väistötilat asemapiirustus, [Liite 4, Elementit-E Oy materiaali]

Kuva 18. *Alapohja osa A [ Liite 2. laskennan kulku kuvat]*

Kuva 7. Kokonaispinta-ala rakennuksessa m<sup>2</sup> [ Liite 2. laskennan kulku kuvat]

Kuva 8. 17069R49 seinäkaaviot 1krs osaA [ Liite 2. laskennan kulku kuvat]

Kuva 9. Rakenteiden määrät juoksumetreinä [ Liite 2. laskennan kulku kuvat]

Kuva 10. Julkisivu koiliseen osa A [ Liite 2. laskennan kulku kuvat]

Kuva 11. Väliseinän korkeus [ Liite 2. laskennan kulku kuvat]

Kuva 12. neliömäärät rakenteittain ja sijainneittain [ Liite 2. laskennan kulku kuvat]

Kuva 13. Kokonaisneliömäärät rakenteittain [ Liite 2. laskennan kulku kuvat]

Kuva 14. VS2 Päästöt [ Liite 2. laskennan kulku kuvat]

Kuva 15. Koontitaulukko VS2 eriteltynä [ Liite 2. laskennan kulku kuvat]

Kuva 16. Yhteenvetotaulukko [ Liite 2. laskennan kulku kuvat]

Kuva 17. Kaaviot [ Liite 2. laskennan kulku kuvat]