

Mika Liljeqvist

Teollisen puurakentamisen CO₂-päästöt ja niiden laskenta

Opinnäytetyö
Rakennustekniikka

2018



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

| Tekijä/Tekijät | Tutkinto | Aika |
|---|-----------------|--------------------------|
| Mika Liljeqvist | Insinööri (AMK) | Marraskuu 2018 |
| Opinnäytetyön nimi | | 33 sivua 6 liitesivua |
| Teollisen puurakentamisen CO ₂ -päästöt ja niiden laskenta | | |
| Toimeksiantaja | | |
| Elementit-E Oy | | |
| Ohjaaja | | |
| Esa Partanen, Erja Tuliniemi, Juha Karvonen | | |
| Tiivistelmä | | |
| <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> | | |
| Asiasanat | | |
| Hiilidioksidipäästöt, vähähiilinen rakentaminen, teollinen rakentaminen, hiilidioksidipäästöjen vertailu, CO ₂ | | |

| Author (authors) | Degree | Time |
|--|-------------------------|----------------------------------|
| Mika Liljeqvist | Bachelor of Engineering | November 2018 |
| Thesis Title CO ₂ emissions of industrial wood construction and their calculation | | 33pages 6 pages of appendices |
| Commissioned by Elementit-E Oy | | |
| Supervisor Esa Partanen, Erja Tuliniemi, Juha Karvonen | | |
| Abstract <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> | | |
| Keywords carbon dioxide emissions, low-carbon construction, industrial construction, comparison of carbon dioxide emissions, CO ₂ | | |

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 | 12 |
| 3 | TARKASTELUKOHDE JA TAVOITTEET | 13 |
| 3.1 | Kohteen yleistiedot | 13 |
| 3.2 | Tarkastelun tavoitteet | 15 |
| 4 | LASKENTA | 15 |
| 4.1 | Laskennan tavoitteet | 15 |
| 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 | 28 |
| 5.3 | Rakennuksen elinkaari ja siirrettävyys..... | 28 |
| 6 | YHTEENVETO..... | 29 |
| | LÄHTEET | 31 |

LIITTEET

- Liite 1. Ohjeet CO₂-laskurille
- Liite 2. laskennan kulkukuvat
- Liite 3. Rakennetyypit
- Liite 4. Elementit-E Oy:n materiaali
- Liite 5. CO₂-laskenta (Excel-laskenta)
- Liite 6. CO₂_laskentaTYHJÄ (Excel-laskentapohja)

Käsitteet

(Kasvihuoneilmiö ja ilmakehän koostumus s.a.)

Hiilidioksidi = Kemialliselta kaavaltaan CO_2 . Kasvihuonekaasu, joka koostuu hiilestä ja hapesta. Hiilidioksidia syntyy hiilipitoisten aineiden palamistuotteena, esimerkiksi uloshengityksessä. Suurina määrinä se on 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. Kasvihuonekaasut ovat edellytys sille, että maapallolla on elämää ja tänne muodostuu kasvihuoneilmiö. 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 hiilidioksidipäästöjen muodossa ilmakehään.

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

Hiilidioksidiekvivalentti = Lyhennettynä CO_2ekv tai CO_2e . Hiilidioksidiekvivalentilla ilmaistaan tarkasteltavan kohteen ko. elinkaaren vaiheen kasvihuonekaasupäästöt. Koska kasvihuonekaasujen vaikutus ympäristöön on erilainen, on kehitetty käsite GWP. Kerroin huomioi lämmitysvaikutuksen suhteessa hiilidioksidin, 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 CO₂-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 ovat 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 suurin piirtein vastaavilla betonituotteilla. Näin saadaan selville, kuinka paljon rakennus olisi tuottanut enemmän CO₂-päästöjä jos se olisi tehty betonista. Opinnäytetyössä tarkastelukohteena toimii Elementit-E Oy:n rakentama Helilän koulu, joka on puisista tilaelementeistä rakennettu pinta-alaltaan noin 4600m² suuruinen siirrettävissä oleva kompleksi. 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 tehdään vertailu 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 CO₂-päästöt ja hiilijalanjälki olisivat mahdollisimman pieniä, sillä jopa kolmasosa Suomen kasvihuonekaasupäästöistä aiheutuu rakennetusta ympäristöstä. (Tiekartta rakennuksen elinkaaren... 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 ja mihin käyttötarkoitukseen rakennus on tulossa. Näiden perusteella optimoidaan tilat vastaamaan tarvetta sekä suunnitellaan rakennuksen elinkaari jo mahdolliseen purkuun tai uusiokäyttöön asti. (Tiekartta rakennuksen elinkaaren... 2017.)

Suurin osa rakennuksen elinkaaren hiilidioksidipäästöistä syntyy materiaalien valmistuksessa siitä, kun rakennus rakennetaan. Tämän vuoksi vähähiilisyyden tavoittelemisessa ohjaus on fokusoitunut enemmän uudisrakentamiseen ja vanhoissa rakennuksissa CO₂-päästöjen näkökulmasta korjaukset tulisi pitää minimissä. Kun tarkastellaan CO₂-päästöjä ja elinkaaren hiilijalanjälkeä

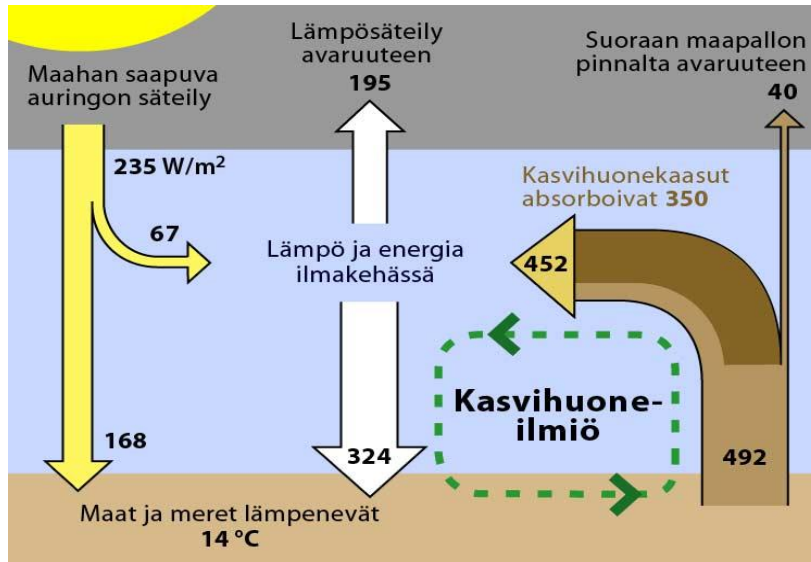
korjausrakentamisessa, pitäisi pyrkiä suosimaan mahdollisimman vähän ilmasto- ja ympäristö- rasittavia materiaaleja. Vanhoissa rakennuksissa korjaustoimenpiteiden tulisi olla sellaisia, joissa parannetaan rakennuksen energiatehokkuutta. Tällöin käytön aikainen hiilijalanjäljen kasvu hidastuu toimenpiteiden ansiosta. (Tiekartta rakennuksen elinkaaren... 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 vähähiilisyttä 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. Se 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... 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 kaasusta on hiilidioksidipäästöjä, noin 80 %. Näistä noin 75 % tulee fossiilisista polttoaineista, loput mm. teollisuudesta ja metsien hävittämisestä. Muita kasvihuonekaasuja ovat mm. metaani (CH₄), dityppioksidi (N₂O) ja niin sanotut uudet kasvihuonekaasut kuten halogenoitunut hiilivedyt. Ilmasto lämpenee siitä syystä, että kasvihuoneilmiö

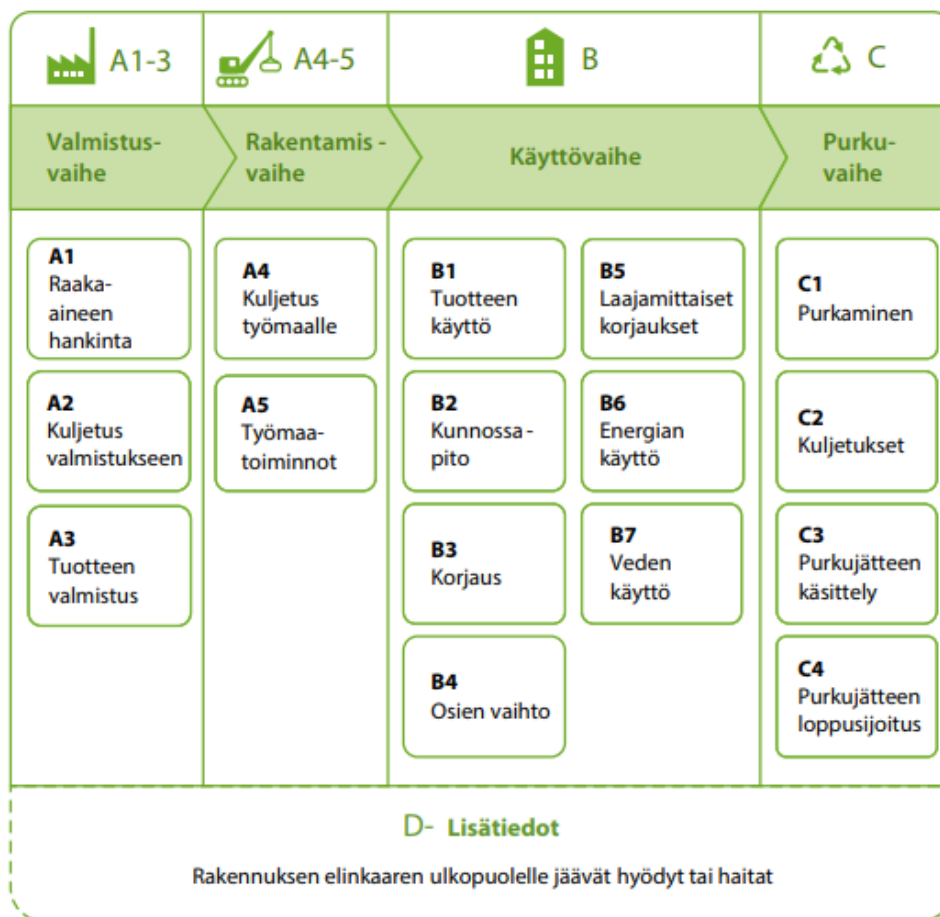
voimistuu. Kasvihuonekaasut päästävät auringonvalon maan pinnalle, mutta eivät päästä lämpöenergiaa niin tehokkaasti takaisin avaruuteen päin, vaan imevät sen itseensä. Näin ollen mitä enemmän päästöt ja siten myös kasvihuonekaasut lisääntyvät, voimistuu myös itsessään kasvihuoneilmiö. Kuvassa 1. on myös havainnollistettu asiaa. (Tietoa ilmastonmuutoksesta s.a.)



Kuva 1. Kasvihuoneilmiö

Ilmaston lämpeneminen ja ilmastonmuutos johtuvat kokonaisuudessaan kasvihuonekaasujen pitoisuuksien lisääntymisestä ilmakehässä, mutta tässä opinnäytetyössä tarkastellaan vain CO₂-päästöjä. Rakennuksen hiilijalanjälkeä laskettaessa lopputulos ilmoitetaan yleensä kokonaissummana hiiliekvivalenttonneina tn CO₂-ekv. (Tietoa ilmastonmuutoksesta s.a.)

Tarkastelun lähtökohta rakennuksen hiilijalanjälkeä laskettaessa on saada selville paljonko 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

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 tuotettuna energiana. 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 las-

kennassa huomioidaan ja mitä siitä voidaan jättää pois. Vaiheet A4–A5 käsittelevät 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) |
|--|--|--|
| ALUERAKENTAMINEN | 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. |
| KUNNALLISTEKNIikka JA TIET | – | Kunnallistekniikka ja sen liitännät tontilla. Tontin ulkopuoliset tiet ja väylät. |
| ALUE- JA PIHARAKENTEET | Suuret kokonaisuudet kuten leikki- ja virkistysalueet sekä puistot. | Yksittäiset vähämerkitykselliset piharakenteet. |
| PERUSTUS | Rakennuksen perustus | – |
| SISÄRUNGON PYSTY-SUUNTAISET OSAT, SISÄSEINÄT JA TÄYDENTÄVÄT RAKENTEET | Pilari, palkit, kantavat ja ei-kantavat sisäseinät, hissikuilu, portaat, luiskat ja väestönsuoja, muut tilanjako-osat. | – |
| POHJAT JA VESIKATTO | Ala-, väli- ja yläpohjat, vesikatto. | – |
| ULKOSEINÄT, ULKOTASOT JA JULKISIVUMATERIAALIT | Ulkoseinät ja julkisivuverhoilu, ikkunat, ulko-ovet, lasitukset, parvekkeet ja ulkotasot. | – |
| PINTAMATERIAALIT | Suojaavat materiaalit, maalit, pinnoitteet. | Tapetointi, verhot, matot ja muu sisustus. |
| KALUSTEET | – | Kalusteita ei huomioida. Sisältää kiinteät ja irtotavaroita sekä keittiökaluja. Ei huomioida mm. jääkaappeja, liesiä, pesukoneita jne. |
| TEKNIikkaOSAT | Rakennuksen olosuhteita tuottavat järjestelmät, hissit, IV-putket, johdot, automaatio ja energiantuotantolaitteet | Käyttäjien palveluita tuottavat ratkaisut, kuten esim. kaupan kylmäjärjestelmät, toimisto- tai tuotantolaitteet. |
| KERTAKÄYTTÖISET VÄLIAIKAISET RAKENTEET | Väliaikaiset rakenteet, joissa kulutetaan pysyvästi materiaaleja tai energiaa (esimerkiksi valutoiden tukirakenteet). Huomioidaan vaiheen A5 päästöissä. | Pääomahyödykkeet, joita käytetään rakentamisen aikana ja joita voidaan käyttää uudelleen sellaisenaan (kuten rakennustelineet tai työmahissit) |
| ERILLISET TUKIRAKENNUKSET | Rakennuksen toimintaan kuuluvat esim. pysäköinti, väestönsuoja ja jätekatokset, jos erillisinä päärakennuksesta. | – |
| YHTEISKÄYTTÖSSÄ OLEVAT TUKIRAKENNUKSET | Voidaan kohdistaa kappaleen 6.4 periaatteiden mukaisesti. | Jos muita kuin kohderakennusta palvelevia tukirakennuksia. |

Kuva 3. Laskennassa huomioitavia asioita

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. Ensimmäinen on, 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 tuotettuja rakennuksia. (Junnonen 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 lähinnä vain siihen, että rakennus kasataan valmiista komponenteista. Lisäksi täytyy vain tehdä liitokset viemäröintien ja sähköjen osalta. (Junnonen 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. (Junnonen s.a.)

Lisäksi materiaalihukka on teollisessa rakentamisessa pienempi, kun työmaatoiminnot on vakioitu ja näin ollen on tiedossa melko tarkasti, paljonko mitäkin materiaalia kuluu, kun samoja komponentteja on tehty jo valvotuissa olosuhteissa useampia. (Junnonen s.a.)

3 TARKASTELUKOHDE JA TAVOITTEET

3.1 Kohteen yleistiedot

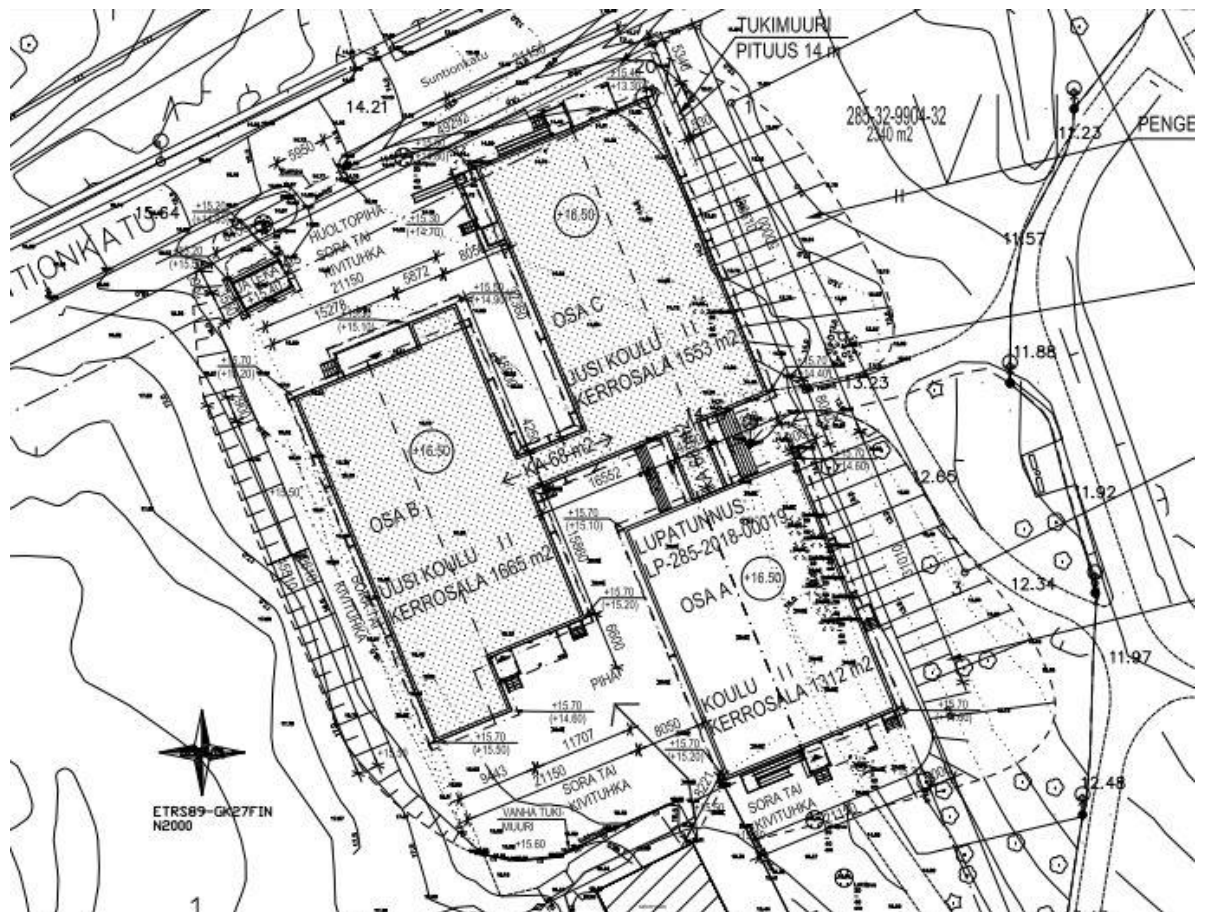
Tarkastelussa on Elementit-E:n rakentaman Helilän koulun väistötilat ja tähän liittyen lasketaan, paljonko rakenteista on syntynyt hiilidioksidipäästöjä kokonaisuudessaan sekä yhtä pohjapinta-alan neliometriä kohden. Kohde sijaitsee Kotkassa Helilän kaupunginosassa osoitteessa Suntionkatu 27.

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



Kuva 5. Helilän koulu väistötilat asemapiirustus

3.2 Tarkastelun tavoitteet

Opinnäytetyössä tarkastellaan, paljonko hiilidioksidipäästöjä syntyy per rakennettu neliometri materiaalien näkökulmasta. Tarkastelu tehdään niin että lasketaan rakennuksessa käytetyillä materiaaleilla syntyneet päästöt, sekä vertaileva 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 koh-teissa.

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 ($T_n \text{ CO}_2\text{-ekv/m}^2$). Kun sekä puu- ja betonivaihtoehdosta on saatu yhteenlasketut tulokset kaikkien rakenteiden osalta, saadaan näiden välille laskettua lopullinen erotus suhde. Samalla saadaan tuloksena päästö määrä, joka säästettiin rakennettaessa puusta.

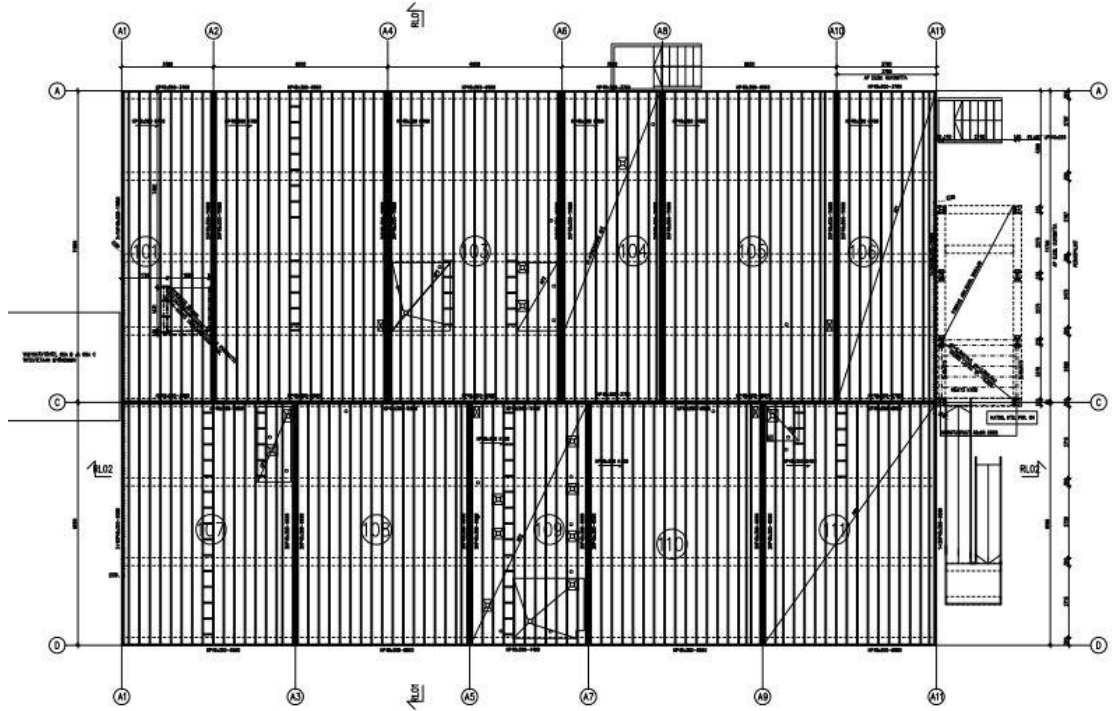
4.2 Laskentamenetelmä

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

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 m²” soluun. Näytetty kuvassa 7.

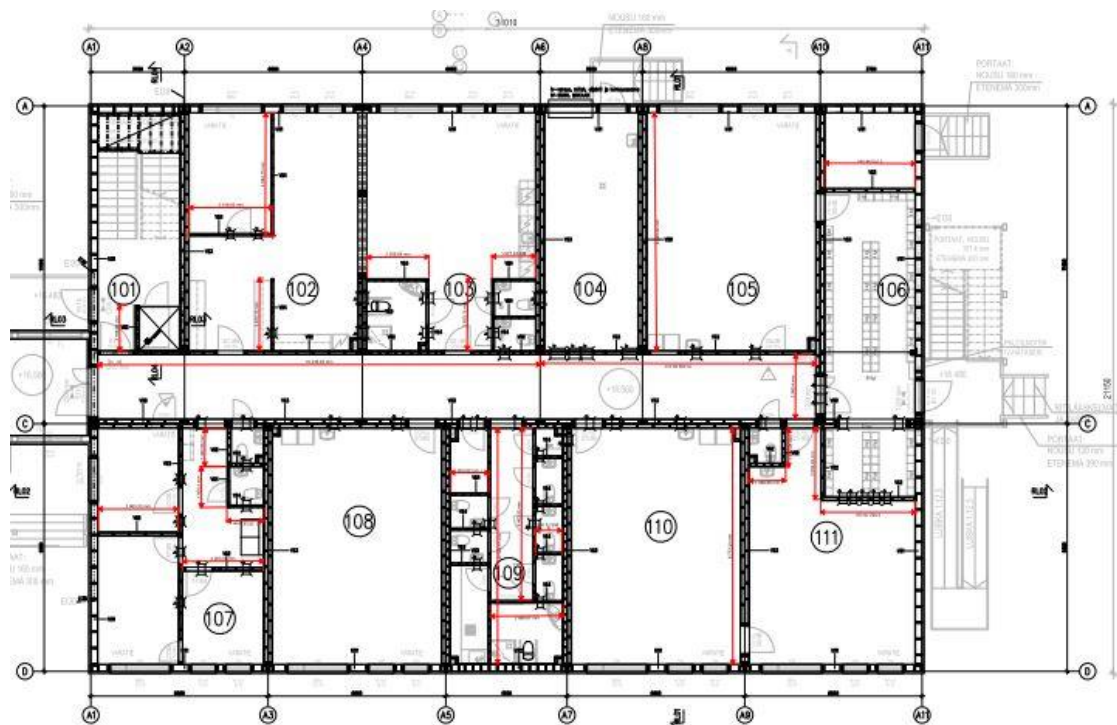
| PUU vaihtoehto | | | |
|---|--|---|---|
| Rakennetyyppi | Kokonaispinta-ala rakennuksessa m ² | Päästöt yhteensä kys. rakenteessa kg CO ₂ -ekv | Päästöt/rakenteen pinta-ala (kg CO ₂ -ekv/m ²) |
| Alapohja AP1 | 2339 | 39334 | 17 |
| Väliopohja VP1 | 2257 | 50847 | 23 |
| Yläopohja YP1 | 2298 | 43505 | 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 ₂ -ekv | | 265106 | |
| Päästöt kg per pohjapinta-ala m ² . kg CO ₂ -ekv/m ² | | 58 | |

Kuva 7. Kokonaispinta-ala rakennuksessa m²

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

| 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

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

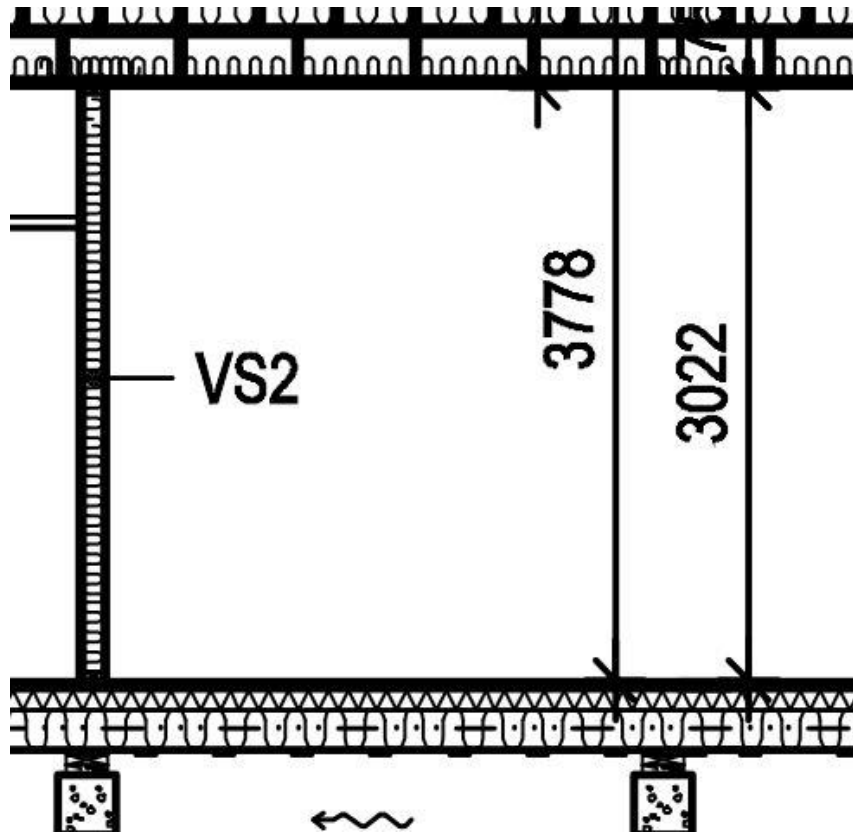
Seuraavaksi tarvitaan siis tiedot kuinka korkeita seinät ovat ja tämä selviää leikkaus ja naamakuvista. Esimerkiksi kuvasta 10. selviää että ulkoseinien korkeus on 3,6 m ja kuvasta 11. selviää esimerkiksi, että väliseinätyyppi VS2 korkeus on 3022 mm.

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 koiliseen osa A



Kuva 11. Väliseinän korkeus

| Neliömäärät kyseistä rakennetta (jm x h) m ² | | | | | |
|---|-------|-------|-------|---------|-------|
| 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

| Kokonaisneliömäärät kutakin rakennetta | |
|--|-----------------------|
| VS1 | 586,2 m ² |
| VS2 | 711,2 m ² |
| VS3 | 1298,6 m ² |
| VS4 | 563,8 m ² |
| US1 | 2301,8 m ² |
| US2 | 142,9 m ² |

Kuva 13. Kokonaisneliömäärät rakenteittain

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 12 mm, tässä kohtaa täytyy laskea solussa 1 metri kerrottuna 1 metrillä, joka kerrotaan vielä tuolla 12 millimetrillä ($1 \cdot 1 \cdot 0,012$), näistä saatu tilavuus kerrotaan nyt seuraavasta sarakkeesta löytyvällä ominaispainolla (660 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 $g \text{ CO}_2\text{-ekv/kg}$ ”. 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, alempana 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 rakennetyypin 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 711 m^2 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 22,4 kg. Laskennasta saadaan tulokseksi, että kaikki rakennuksen väliseinät VS2 tuottavat yhteensä 15 952 kilogrammaa hiilidioksidipäästöjä (kg CO₂-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 22 kilogrammaa neliölle.

Kun kaikille rakennetyypeille on tehty samat toimenpiteet, lasketaan kaikkien päästöt yhteensä kohtaan ”Päästöt yhteensä kg CO₂-ekv” ja vastaukseksi saadaan 265 244 kilogrammaa. Lopputulos on, että rakennus tuottaa 265 tonnia hiilidioksidipäästöjä.

Solussa ”Päästöt kg per pohjapinta-ala m². kg CO₂-ekv/m²” 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 ² | Päästöt yhteensä kys. rakenteessa kg CO ₂ -ekv | Päästöt/rakenteen pinta-ala (kg CO ₂ -ekv/m ²) |
| 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 ₂ -ekv | 265244 |
| | | Päästöt kg per pohjapinta-ala m ² . kg CO ₂ -ekv/m ² | 58 |

Kuva 15. Koontitaulukko VS2 eriteltynä

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

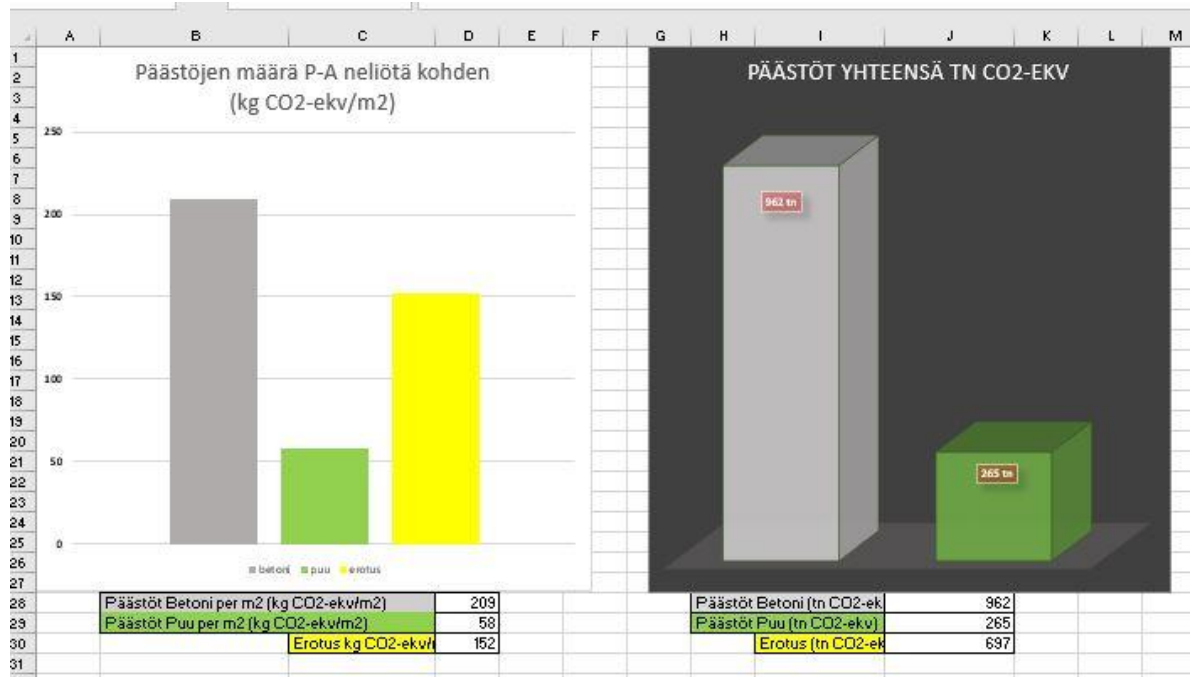
Laskelmat kootaan laskentapohjan välilehdelle 1. Yhteenvetotaulukosta selviää rakennuksen pohjapinta-ala, johon siis päästöjä suhteutetaan. Yhteenvedossa on esitettyä sekä puu- että betonivaihtoehdon lasketut kokonaispäästömäärät sekä näiden välinen erotus. Myös neliökohtaiset päästömäärät ja näiden 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 ² | |
| Päästöt Betoni (tn CO ₂ -ekv) | | 962 | |
| Päästöt Puu (tn CO ₂ -ekv) | | 265 | |
| Erotus (tn CO ₂ -ekv) | | 697 | |
| Päästöt Betoni per m ² (kg CO ₂ -ekv/m ²) | | 209 | |
| Päästöt Puu per m ² (kg CO ₂ -ekv/m ²) | | 58 | |
| Erotus kg CO ₂ -ekv/m ² | | 152 | |
| PUU vaihtoehto | | | |
| Rakennetyyppi | Kokonaispinta-ala rakennuksessa m ² | Päästöt yhteensä kys. rakenteessa kg CO ₂ -ekv | Päästöt/rakenteen pinta-ala (kg CO ₂ -ekv/m ²) |
| Alapohja AP1 | 2339 | 39334 | 17 |
| Välipohja VP1 | 2257 | 50847 | 23 |
| Yläpohja YP1 | 2298 | 43505 | 19 |
| Ulkoseinä US1 | 2302 | 66392 | 29 |
| Kokonaispäästöt | 9496 | 100078 | 26 |

Kuva 16. Yhteenvetotaulukko



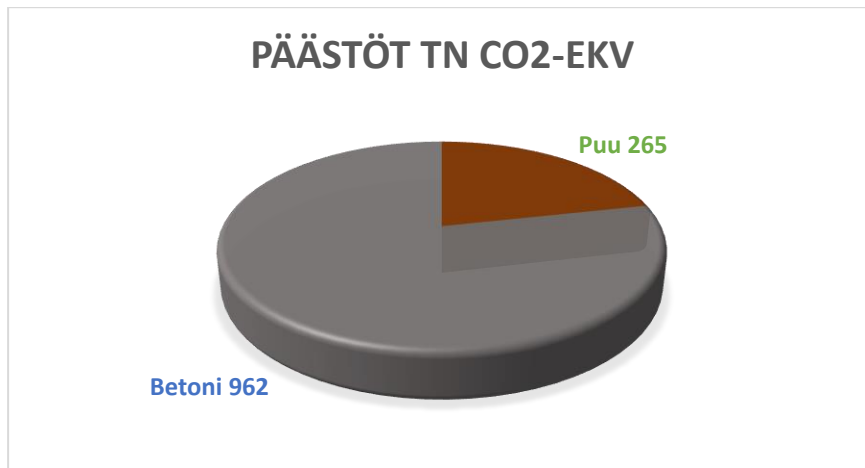
Kuva 17. Kaaviot

5 TULOSTEN ANALYSOINTI JA VERTAILU

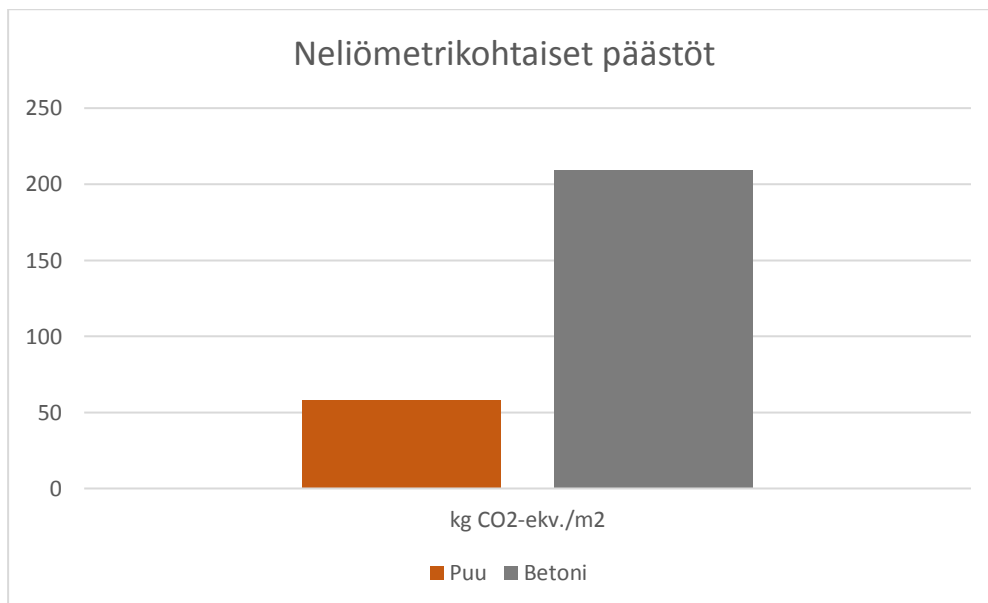
5.1 Laskettujen päästöjen määrän analysointi

Kun laskenta on suoritettu ja tulokset saatu selville voidaan aloittaa tulosten tarkastelu. Rakennettaessa puusta saatiin laskennallisesti 265 tonnia CO₂-ekvivalenttipäästöjä valmiissa rakennuksessa. Rakennettaessa betonista, saatiin laskennallisesti 962 tonnia CO₂-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 pylväsdiaagrammi 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 vertailukohdaksi autoilun päästöt. Vuoden 2017 lopussa henkilöautojen keskimääräiset hiilidioksidipäästöt olivat 160 grammaa ajokilometriä kohden ($\text{g CO}_2/\text{km}$). (Hiilidioksidipäästöt. 27.9.2018.)

Liikenteen turvallisuusvirasto Trafin 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 keskimäärin 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 (20 000 km) yhden kilometrin päästöillä ($160 \text{ g CO}_2/\text{km}$). 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. (Kuittinen 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 esimerkikohteessa 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 opin- näytetyössä 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 mallin- nusohjelmilla joilla rakennus on suunniteltu, näin saadaan helposti ja nopeasti oikeat massoittelut rakenteille. Lisäksi tällöin tulee varmemmin myös aukotuk- set huomioitua, jolloin päästään sitäkin kautta tarkempaan lopputulokseen.

Rakenneratkaisuja kehittämällä ympäristönäkökulmasta voidaan vaikuttaa myös päästöihin. Betonin lujuutta ja laatua voitaisiin esimerkiksi muuttaa sekä mahdollisesti rakennekaksuuksia, jolloin materiaalien määrät muuttuvat. Tässä puurakennuksen rakennetyypit on vain muutettu dimensioiden mukaan betonirakenteiksi, voisi hyvin olla mahdollista, että rakenteet voisivat olla pie- nempiä rakennettaessa betonista. Lisäksi eri perustusvaihtoehtoja ei olla käyty läpi. Rakennus olisi voitu rakentaa esimerkiksi teräspaalujen varaan. Olisiko päästöero mahdollisesti vielä suurempi, jos olisi laskettu puurakentei- nen rakennus teräspaalujen varaan ja vertailukohta olisi betonirakennus beto- niperustuksilla? Monia asioita siis löytyy, jolla mahdollistettaisiin laskennan tu- losten 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 ympä- ristöasiat ovat yhä enemmän esillä. Kuitenkin suuri osa saatavilla olevasta tie- dosta 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 tar- peidensa mukaan toimivammaksi.

Tulevaisuudessa CO₂- laskelmien perusteella on mahdollisuus sijoittaa esimerkiksi rakennuksen tuloaulaan 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 vähähiilisen rakentamisen ohjauskeinojen vaikutuksista valmistunut – merkittävin päästövähennys saavutettavissa kansallisen raja-arvon asettamisella. 1.3.2018. Ympäristöministeriö. Verkkoteksti. Saatavissa: [http://www.ymparisto.fi/FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Rakentamisen_ohjaus/Arvio_vahahiilisen_rakentamisen_ohjauske\(46172\)](http://www.ymparisto.fi/FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Rakentamisen_ohjaus/Arvio_vahahiilisen_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].

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

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].

Kuittinen, M. Rakennusten ilmastovaikutusten vertailu. 20.10.2014. 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-hahtiilinen_rakentaminen/Tiekartta_rakennuksen_elinkaaren_hiilijalanjaljen_huomioimiseksi [Viitattu 2.5.2018].

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

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 [Viitattu 29.4.2018].

Kuva 3. Sivun 34. 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 6. Alapohja osa A [Liite 2. laskennan kulku kuvat].

Kuva 7. Kokonaispinta-ala rakennuksessa m² [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 koilliseen 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 eriteltyinä [Liite 2. laskennan kulku kuvat].

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

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