

**SAVONIA**

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# RAKENNESUUNNITTELUN VAIKUTUS RAKENNUKSEN HIILIJALANJÄLKEEN

Vähähiilinen rakentaminen

TEKIJÄ Riina Kuikka

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä Riina Kuikka			
Työn nimi Rakennesuunnittelun vaikutus rakennuksen hiilijalanjälkeen			
Päiväys	23.5.2023	Sivumäärä/Liitteet	43/11
Toimeksiantaja IdeaStructura Oy			
Tiivistelmä Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia rakennesuunnittelun vaikutusta rakennuksen hiilidioksidipäästöjen syntymiseen. Työssä laskettiin betonisen kerrostalon rakenteiden hiilidioksidipäästöjä, joita verrattiin kerrostalolle tyypillisiin vaihtoehtoisin rakenteisiin. Kerrostalolle laskettiin myös koko elinkaaren aikana syntyvät hiilidioksidipäästöt, jotta saataisiin kokonaiskuva siitä, mitä vaikutusta rakenteiden suunnittelulla oli. Opinnäytetyössä selvitettiin myös vihreän betonin todelliset käyttömahdollisuudet.  Rakennuksen rakenteiden ja koko elinkaaren aikana syntyviä hiilidioksidipäästöjä laskettiin One Click LCA-ohjelmalla. Työssä käytettiin laskentaohjelman apuna Tekla Structures- ja Excel- ohjelmia. Rakenteiden hiilijalanjälki laskenta rajattiin elinkaaren A1-3, C ja D vaiheisiin. Opinnäytetyössä haluttiin keskittyä rakennusmateriaalien päästöihin ja niiden vaikutuksiin rakentamisessa.  Opinnäytetyön tulokseksi saatiin, että asuinkerrostalon rakennetyyppien suunnittelulla oli vaikutusta kokonaishiilidioksidipäästöihin. Vaihtoehtoisten rakennetyyppien hiilidioksidipäästöt olivat pienemmät. Niiden avulla rungon hiilidioksidipäästöjä saataisiin pienennettyä 3,4 % kokonaispäästöistä. Yhteensä kokonaishiilidioksidipäästöjä olisi saatu pienennettyä vaihtoehtoisilla rakennetyypeillä 81,8 tonnia CO <sub>2</sub> e.  Lopputuloksena opinnäytetyöstä syntyi rakennetyyppikansio, johon ilmoitettiin kokonaishiilidioksidipäästöt, sekä eriteltynä jokaisen materiaalin hiilidioksidipäästöt. Opinnäytetyöstä voisi tehdä jatkotutkimuksen, jossa laskettaisiin eri tutkimusmenetelmillä rakennetyyppien neliö kohtaisia hiilidioksidipäästöjä. Tämän avulla saataisiin selvyys, onko One Click LCA-ohjelma kaikista tarkin ohjelma hiilidioksidipäästöjen laskemiseen.			
Avainsanat Hiilidioksidi, hiilijalanjälki, kerrostalo, ekologinen rakentaminen			

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Civil Engineering	
Author Riina Kuikka	
Title of Thesis Impact of Structural Design on a Building`s Carbon Footprint	
Date 23 May 2023	Pages/Appendices 43/11
Client Organisation IdeaStructura Oy	
<p><b>Abstract</b></p> <p>The aim of the thesis was to investigate the impact of structural design on the generation of carbon dioxide emissions of a building. The study calculated the carbon dioxide emissions of a concrete apartment building`s structures and compared them to the alternative structures typical of apartment buildings. The total carbon dioxide emissions generated throughout the lifespan of the building were also calculated to provide an overall picture of the impact of structural design. The thesis also studied the real possibilities of using green concrete.</p> <p>The carbon dioxide emissions generated by the building`s structures and throughout the building`s lifespan were calculated using the One Click LCA software. The Tekla Structures and Excel programs were used as tools for the calculation software. The calculation of the carbon and environmental footprint of the structures was limited to the A1-3, C and D phases of the lifespan. The thesis aimed to focus on the emissions generated by construction materials and their impact on construction.</p> <p>The result of the thesis showed that the design of building types of a residential multistorey building had an impact on total carbon dioxide emissions. Alternative building types had a smaller carbon dioxide emissions, which could reduce the carbon dioxide emissions of the frame by 3,4 % of the total emissions. In total, the overall carbon dioxide emissions could have been reduced by 81,8 tonnes of CO<sub>2</sub>e with alternative building types.</p> <p>As a result of the thesis, a building type portfolio was created, which reported total carbon dioxide emissions, as well as the carbon dioxide emissions of each material separately. A follow- up study could be conducted from the thesis, in which the per square meter carbon dioxide emissions of building types would be calculated using different research methods. This would clarify whether the One Click LCA program is the most accurate program for calculating carbon dioxide emissions.</p>	
<p><b>Keywords</b></p> <p>Carbon dioxide, carbon footprint, apartment building, ecological construction</p>	

## SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO .....	6
2	ILMASTON LÄMPENEMINEN .....	7
2.1	Suomen ilmastopolitiikka .....	8
2.2	Maankäyttö- ja rakentamislaki .....	8
3	RAKENNUKSEN HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖT .....	10
3.1	Rakennesuunnittelun keinot päästöjen vähentämiseksi .....	10
3.1.1	Rakennusmateriaalit .....	11
3.1.2	Työmaan aikaiset päästöt.....	11
3.1.3	Tuotteiden vaihto .....	11
3.1.4	Energian kulutus.....	12
3.1.5	Jätteen käsittely .....	12
4	KOHTTEEN ESITTELY .....	13
5	TUTKIMUSMENETELMÄT .....	13
5.1	Tekla Structures.....	13
5.1.1	Tekla Structures- ohjelman käyttäminen .....	14
5.2	One Click LCA .....	15
5.2.1	One Click LCA-ohjelman käyttäminen .....	15
6	RAKENNETYYPPIEN HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖLASKUT .....	16
6.1	Päärakennetyypit .....	17
6.1.1	US1 .....	17
6.1.2	VP1.....	18
6.1.3	YP1.....	19
6.1.4	VS1 .....	20
6.1.5	VS2 .....	21
6.1.6	Paalut 1 .....	22
6.2	Vaihtoehtoiset rakennetyypit .....	23
6.2.1	US2 .....	23
6.2.2	VP2.....	24
6.2.3	YP2.....	24
6.2.4	VS3 .....	25
6.2.5	Paalut 2 .....	25

7	RAKENNETYYPPIEN VERTAILU .....	26
8	PAALUJEN KÄSINLASKENTA .....	27
8.1	Teräspaalut .....	27
8.2	Betonipaalu .....	28
8.3	Paalujen tulokset .....	28
9	ELINKAAREN HIILIJALANJÄLKI .....	29
9.1	Elinkaarilaskennan rajaus .....	29
9.2	Elinkaarilaskentaan sisältyvät rakennusosat .....	30
9.3	Elinkaarilaskennan materiaalit .....	30
10	MARINAN PORTIN TULOKSET .....	31
11	RAKENNETYYPPIEN VAIKUTUS KOKONAISPÄÄSTÖIHIN.....	34
12	VIHREÄ BETONI.....	36
12.1	Todelliset käyttömahdollisuudet .....	36
12.2	Vihreän betonin käyttö .....	36
12.3	BY-Vähähiilisyysluokitus.....	37
13	POHDINTA.....	39
	LÄHTEET .....	41
	LIITTEET .....	43

## 1 JOHDANTO

Suomessa 30 % ilmastopäästöistä aiheutuu rakentamisesta (Rakennusteollisuus). Rakennusalaa on lähdetty kehittämään vähemmän ympäristöä kuormittavaksi Ympäristöministeriön johdolla. Ympäristöministeriö julkaisi vuonna 2017 tiekartan, jonka avulla vähennetään rakentamisen hiilijalanjälkeä. Tiekartassa keskitytään erityisesti rakennusmateriaalien hiilijalanjäljen pienentämiseen. Näillä ohjeilla Suomessa kaupungit ja kunnat voivat toteuttaa vähähiilistä rakentamista. (Ympäristöministeriön tiekartta, 2017).

Toimeksiantajana opinnäytetyössä on IdeaStructura Oy. Yritys on kotimainen korjaus- ja uudisrakentamiseen erikoistunut suunnittelutoimisto. Yrityksellä on vankka osaaminen vaativasta rakennesuunnittelusta, rakennusfysikaalisesta suunnittelusta, projektinjohdosta, valvonnasta ja erilaisista tutkimuksista. Yrityksestä löytyy myös osaamista korjausrakentamisen ja vaativien kohteiden arkkitehtisuunnittelusta.

Opinnäytetyön aihe lähti kehittymään toimeksiantajan kanssa loppu kesästä 2022. Suurimmaksi kiinnostuksen kohteeksi nousi hiiliviissaus. Aihe on ajankohtainen, jonka takia sitä lähdettiin kehittämään. Samalla haluttiin saada yritykselle yksi referenssi kohde, jossa on laskettu rakennuksen hiilijalanjälki. Näin yritys pystyy hyödyntämään opinnäytetyötä tulevissa tarjouskilpailuissa. Lisäksi aihetta hiottiin yhdessä koulun ja toimeksiantajan kanssa pidetyssä aloituskokouksessa.

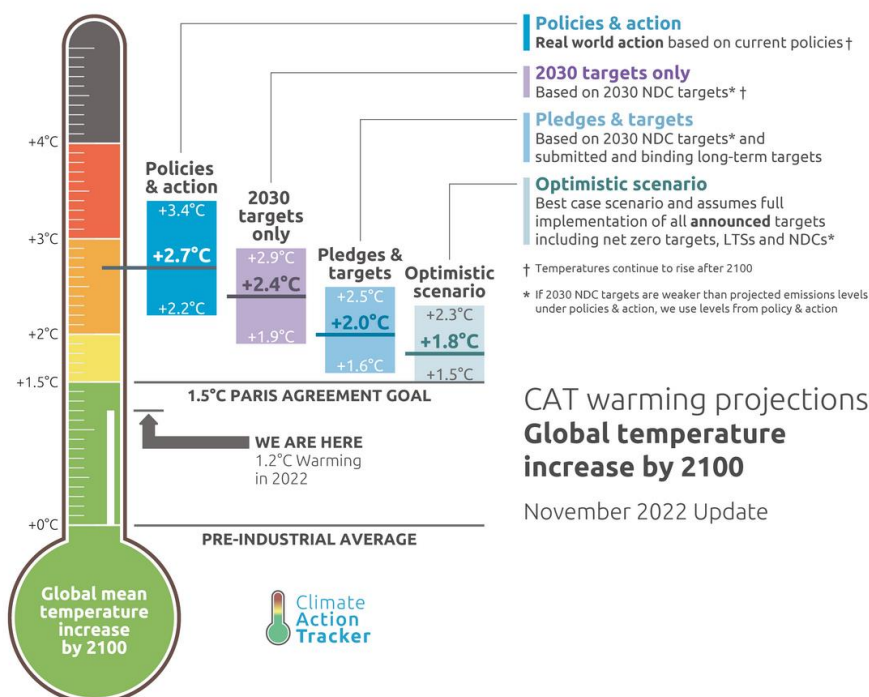
Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia rakennesuunnittelun mahdollisuuksia pienentää esimerkkikohteen hiilijalanjälkeä. Työssä tutkitaan kerrostalon päärakennetyyppien hiilidioksidipäästöjä, jonka jälkeen rakennetyypille on etsitty kerrostalorakentamiseen tyypillinen vaihtoehtoinen ratkaisu. Molempien rakennetyyppien tuloksia verrataan koko rakennuksen elinkaaren aikana syntyviin hiilidioksidipäästöihin. Näin saadaan todellinen kuvan siitä, miten paljon rakennetyyppien valinnalla voidaan vaikuttaa koko rakennuksen hiilijalanjälkeen. Opinnäytetyössä käydään läpi vihreän betonin todelliset käyttömahdollisuudet.

Tutkimusmenetelminä on käytetty Tekla Structure mallinnusohjelmaa ja One Click LCA-elinkaariarviointiohjelmaa. Rakennetyyppien kuvat on piirretty Auto Cad sovellusta. Työssä on käytetty myös apuna raudoitusten ja rakennetyyppien kokonaishiilidioksidipäästöjen laskemisessa Excel-työkalua.

## 2 ILMASTON LÄMPENEMINEN

Ilmaston lämpeneminen on ihmisen aiheuttama ja tällä hetkellä yksi suurimmista kriiseistä. Ihmisen toiminnasta aiheutuvat päästöt lisäävät suuresti ilmakehässä luonnostaan esiintyvien kasvihuonekaasujen määrää ja vauhdittavat maapallon ilmaston lämpenemistä (Euroopan komissio). Jotta ilmastomuutosta pystytään hidastamaan, joudutaan sen eteen tekemään töitä jokaisella sektorilla. Fossiiliset polttoaineet joudutaan vaihtamaan uusiutuviin. Energian lähteenä tulisi käyttää uusiutuvia energianlähteitä, kuten tuuli-, aurinko-, vesi- ja bioenergia. Hiilinielujen suojeleminen ja kasvattaminen on erittäin tärkeää taistelussa ilmastomuutosta vastaan. Hyviä hiilinieluja ovat metsät, sillä ne pystyvät sitomaan ilmakehstä hiilidioksidia itseensä.

Maapallon keskilämpötilaksi on mitattu 1,2 astetta marraskuussa 2022. (KUVA 1.) Oheisessa kuvassa on esitetty, miten erilaiset vaihtoehdot kasvattavat maapallon keskilämpötilaa vuosisadan lopulle. Laskelmat muodostuvat 40 eri maan ilmastopoliittisista tavoitteista. Jos ilmastopoliittikka jatkuu nykyisillä tavoitteilla, nousee keskilämpötila 2,7 asteeseen. Merkittävä lämpötilan nousu aiheuttaa maailmalla jatkuvasti uusia ääri-ilmiöitä. Jos jokainen maa toteuttaisi tällä hetkellä lyhyen ja pitkän aikavälin ilmastotavoitteet, voisi ilmaston lämpeneminen pysähtyä 2,0 asteeseen. Jos jokainen maa toteuttaisi omat ilmastotavoitteensa, parhaassa tapauksessa ilmastonlämpeneminen voisi jäädä vain 1,8 asteeseen.

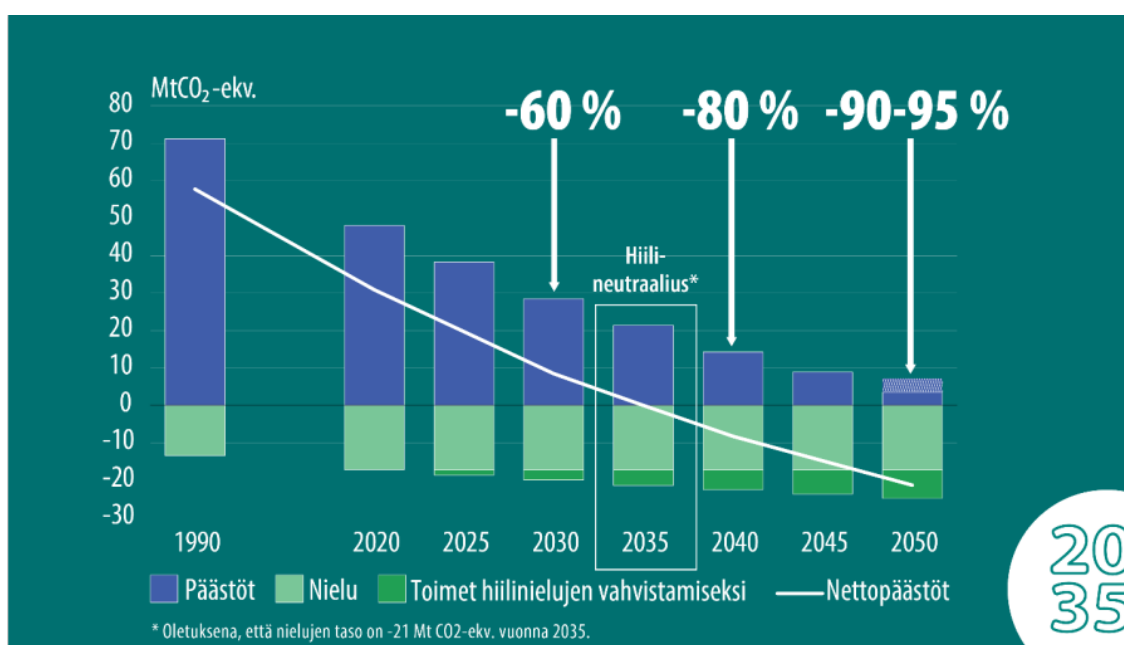


KUVA 1. Kuvaleike maapallon ilmaston CAT lämpömittarista (Climate Action Tracker, 2022).

## 2.1 Suomen ilmastopoliitika

Suomen ilmastopoliitikan tavoitteena on edistää kestävästä kehitystä ja vähentää kasvihuonepäästöjä. Suomi kuuluu kansainvälisiin ilmastopoliitisiin, kuten Pariisin ilmastopoliitukseen. Sopimuksen tavoitteena on rajoittaa maapallon keskilämpötilan nousu alle kahteen asteeseen ja samalla pyrkiä toimiin, joiden avulla lämpeneminen rajoittuisi 1,5 asteeseen. (Ympäristöministeriö.) Tavoitteena on myös vahvistaa maiden kykyä ilmastomuutoksen sopeutumiseen, parantaa tietoisuutta ilmastomuutoksesta ja jakaa tietoa maiden välillä. Pariisin ilmastopoliitus astui voimaan vuonna 2016.

Suomen tavoitteena on olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä (Ilmastolaki 432/2022). Uuden ilmastolain myötä Suomella on päästövähennys tavoitteet vuosille 2030, 2040 ja 2050 (KUVA 2). Vuoteen 2050 mennessä Suomen tulee vähentää päästöjään 95 % verrattuna vuoden 1990 päästötasoon. Samanaikaisesti päästöjä vähentämällä tulee suojella ja vahvistaa hiilinielujä.



KUVA 2. Kuvaleike uuden ilmastolain tavoitteista (Ilmastolaki HE1, 2022).

## 2.2 Maankäyttö- ja rakentamislaki

Uusi maankäyttö- ja rakentamislaki astuu voimaan 1.1.2025. Ilmastomuutoksen hillintä tuodaan osaksi rakentamisen lainsäädäntöä. Lain tarkoituksena on helpottaa rakentamista ja lisätä sen tehokkuutta, edistää kiertotaloutta ja digitalisaatiota sekä parantaa rakentamisen laatua. (Ympäristöministeriön rakennuslaki 2023).

Laki ohjaa rakennusalaan vähähiilisempään suuntaan. Sen myötä rakennuksen elinkaaren aikana syntyvät päästöt tulee ottaa huomioon. Tarkoituksena on vähentää haitallisia ja lisätä myönteisiä ympäristövaikutuksia. (Ympäristöministeriön rakennuslaki 2023). Tulevaisuudessa tullaan asettamaan asetuksia, jotka ohjaavat vähähiiliseen rakentamiseen. Suomen rakentamismääräyskokoelmaan tulee asetuksia rakennuksen ilmastaselvityksestä, materiaaliselosteesta ja hiilijalanjäljen raja-arvoista.

Rakentamisen kiertotalous vahvistuu uudessa laissa. Tulevien teknisten vaatimusten mukaan rakennukset on suunniteltava muunneltaviksi ja pitkäikäisiksi. Laki vaatii selvittämään uudis- ja korjausrakentamisessa käytetyt ja vapautuvat materiaalit sekä niiden ympäristövaikutukset. Mukaan lukien rakennuspaikalta poistettava maa- ja kiviaines sekä vaarallisten jätteiden määrät. (Ympäristöministeriön rakennuslaki 2023).

Toimenpidelupa ja rakennuslupa korvataan yhdellä uudella lupamuodolla. Rakentamisluvalla halutaan nostaa rakennushankkeiden kynnystä lupien hakemiseen. Uuden lain ansiosta alle 30 neliön varasto tai pihasauna voidaan rakentaa ilman erillistä lupaa. Kuitenkin rakentamis- ja kaavamääräykset sekä rantarakentamis-säännökset tulee täyttyä.

Rakentamisen laadun parantaminen on ollut yksi tärkeimmistä tavoitteista uudistaessa maankäyttö- ja rakentamislakia. Laadun parantamiseen pyritään, koska sillä pystytään selkeyttämään rakennushankkeen vastuita. Rakentamishankkeeseen ryhtyjä voi itse valita ottaako vastuun itselleen, vai nieääkö päävastuullisen toteuttajan. Hyvän laadun takaamiseksi molemmat osapuolet ovat velvollisia tekemään yhteistyötä ja vaihtamaan tietoja keskenään. (Ympäristöministeriön rakennuslaki 2023).

Rakennuksen käyttötarkoitusta voidaan muuttaa poikkeamisluvalla. Käyttötarkoituksen muutoksella on tuettava rakennetun ympäristön kiertotaloutta ja vähähiilisyttä, jotta muutokseen katsotaan olevan erityinen syy. Uusi lupamenettely tuo turvaa investointeihin ja vähentää tyhjien tilojen määrää.

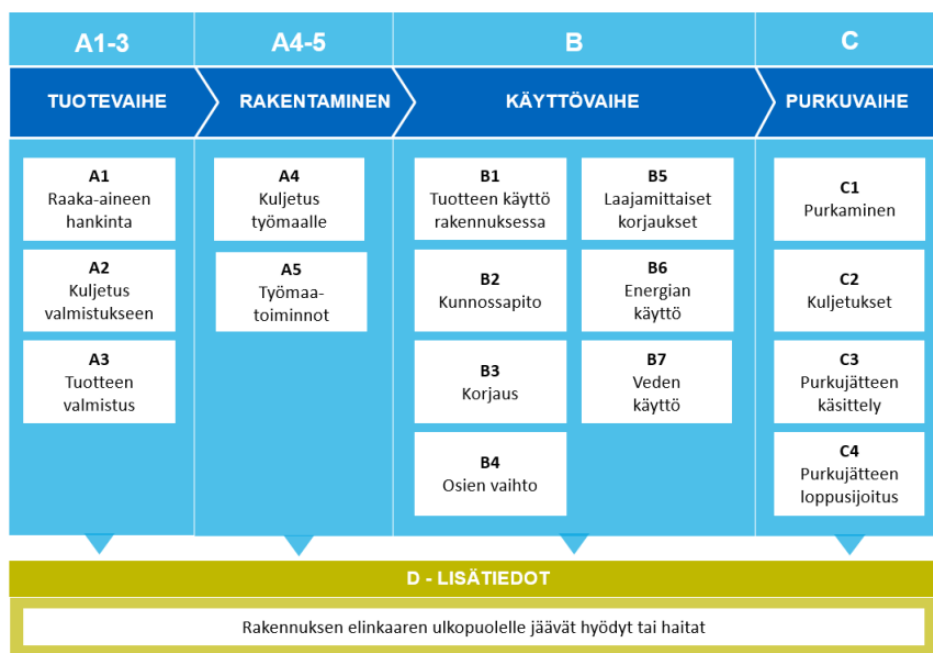
Uusi laki helpottaa rakennuksen purkamisluvan edellytyksiä. Laki mahdollistaa rakennuksen purkamisen alueella, jolla se on menettänyt suuren osan arvostaan. Purkamisen tulee johtaa rakennusmateriaalit uudelleen käyttöön ja kierrätykseen. (Ympäristöministeriön rakennuslaki 2023).

Uudessa laissa määritetään tiedot, jotka kunnat ja maakuntien liitot tulevat tulevaisuudessa toimittamaan uuteen valtakunnalliseen tietojärjestelmään koskien rakennettua ympäristöä. (Ympäristöministeriön rakennuslaki 2023). Rakennetun ympäristön digitaalisuudesta on hyötyä kaikille. Se helpottaa materiaalien seurantaa, ilmastovaikutusten laskentaa, sujuvoittaa prosesseja sekä tukee rakennusten ylläpitoa ja korjaamista.

### 3 RAKENNUKSEN HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖT

Suomessa rakennusalan osuus ilmastopäästöistä on 30 %. Tästä prosenttimäärästä 23 % syntyy käytönaikaisesta energiasta, 7 % uudisrakentamisen tuotteista sekä työmaalla aiheutuvista päästöistä. (A-insinöörit ilmasto-opas).

Rakennuksen hiilidioksidipäästöt syntyvät sen koko elinkaaren aikana, suunnittelu pöydältä purkamiseen asti. Elinkaaren aikana syntyvät hiilidioksidipäästöt muodostuvat tuotevaiheesta, rakentamisesta, käyttövaiheesta ja purkuvaiheesta. (KUVA 3). Jokainen vaihe vaikuttaa rakennuksen ympäristövaikutuksiin, kustannuksiin, kestävytyteen ja käyttöön.



KUVA 3. Ympäristöministeriön tiekartan rakennuksen elinkaaren vaiheet (Ympäristöministeriön tiekartta, 2017).

#### 3.1 Rakennesuunnittelun keinot päästöjen vähentämiseksi

Rakennesuunnittelun tärkein tehtävä on varmistaa, että rakennus on terveellinen, kestävä, toimiva ja turvallinen. Pelkästään yhdellä rakennesuunnittelijalla on merkittävä vaikutus rakennuksen elinkaaren aikana syntyviin hiilidioksidipäästöihin. Uudisrakentamisessa merkittävimmät hiilipäästövähennykset voidaan saavuttaa materiaaliratkaisuilla ja korjausrakentamisessa parantamalla rakenteellisesta energiatehokkuutta. (A-insinöörit pikaopas 2022).

Tehokkaimmin rakennuksen hiilijalanjälkeen pystytään vaikuttamaan, kun asetetaan hiilijalanjälkivaite jo hankesuunnitteluvaiheessa. (Green Building Council Finland askeleet vähähiiliseen rakentamiseen 2023). Hankesuunnitteluvaiheessa tehdään hiilijäljen kannalta merkittäviä päätöksiä, kuten runkomateriaaleista, sijainnista, rakennuksen laajuudesta sekä lämmitysmuodosta.

### 3.1.1 Rakennusmateriaalit

Rakennusmateriaalien tuotanto aiheuttaa 40 % rakennuksen koko elinkaaren aikana syntyvistä hiilidioksidipäästöistä. Tämän takia rakennesuunnittelussa tulee kiinnittää huomiota suurimpiin materiaali menekkeihin. Esimerkiksi runko, joka vastaa koko rakennuksen hiilijalanjäljestä noin neljänneksen. Jos suunnittelussa päädytään vähähiiliseen runkoratkaisuun, voi kokonaispäästöt puolittua. Rakennuksessa muita merkittäviä hiilipäästöihin vaikuttavia tekijöitä ovat betonivalut ja -rakenteet, ikkunat, ovet sekä julkisivu. (A-Insinöörit pikaopas 2022).

Rakennesuunnittelussa on tärkeää mitoittaa rakenteet tehokkaasti, sillä betonia tulisi käyttää vain sen verran, mitä oikeasti tarvitsee (Anfra 2023). Uudisrakentamisen suunnitteluun tulisi käyttää hieman enemmän aikaa, jotta voidaan optimoida tulevat rakenteet paremmin. Näin hiilidioksidipäästöt ja rakentamisen kustannukset pienenevät.

Rakennesuunnittelussa on tutkittava enemmän vähähiilisiä rakennusmateriaali vaihtoehtoja. Rakennuksessa erityisesti suurina määrinä käytettyjen materiaalien hiilidioksidipäästöt tulisi selvittää. Suunnittelussa tulee ottaa käyttöön EPD tietokanta. Materiaalien ympäristöseloste sisältää tuotteen elinkaarianalyysin (IBU.data; RTS-ympäristöseloste). Ympäristöselosteesta selviää myös, onko materiaalissa käytetty kierrätettyjä raaka-aineita. Rakennesuunnittelijan tulee kannustaa hankkeen osapuolia ympäristöselosteen käyttöön.

Kiertotaloutta ja uudelleenkäytettyjä materiaaleja tulee hyödyntää rakennesuunnittelussa. Purettavia materiaaleja ei tule nähdä jätteenä, vaan uutena raaka-aineena. Jokaisessa hankkeessa ennen purkamista on hyvä tehdä purkukartoitus. Kartoituksessa selvitetään mahdolliset haitta-aineet ja kierrätyskelpoiset materiaalit. Kierrätysmateriaalien uudelleen käytön suunnittelu vähentää materiaaleista syntyviä päästöjä ja rakentamisen kustannuksia.

### 3.1.2 Työmaan aikaiset päästöt

5 % rakennuksen koko elinkaaren aikana syntyvistä hiilidioksidipäästöistä aiheutuu työmaan aikana. Päästöt muodostuvat käytetystä energiasta ja lämmityksestä sekä työmaakoneisiin ja kuljetuksiin käytetyistä polttoainekulutuksesta.

Rakennesuunnittelussa voidaan vaikuttaa työmaan aikana syntyviin päästöihin. Suunnittelussa tulee valita rakennusmateriaalit ja tuotteet mahdollisimman läheltä, jotta kuljetuksen aikana syntyvät päästöt jäisivät mahdollisimman pieniksi. Tämän vuoksi lähituotantoa tulisi hyödyntää materiaalien ja tuotteiden valitsemisessa.

Toteutussuunnittelussa tulee valita ratkaisu, joka on työmaalla vähiten aikaa ja energiaa vievä. (A-Insinöörit pikaopas 2022).

### 3.1.3 Tuotteiden vaihto

Teknisen käyttöiän päättymisestä johtuvista tuote ja laitevaihdoista muodostuu 15 % rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljestä. Jos tekninen käyttöikä on lyhyempi, kuin 50 vuotta, tulee se näkyviin hiilijalanjälkiarvioinnissa.

Rakennesuunnittelun lähtökohtana on suunnitella rakennuksia, jotka säilyvät käyttökelpoisina vähintään koko suunnitellun elinkaaren ajan. Rakennukset tulee suunnitella sopeutumaan ilmastonmuutoksen aiheuttamiin ääriolosuhteisiin. Lämpötila- ja kosteuskuormat tuovat uusia haasteita rakennesuunnitteluun. Kun rakennus ja materiaalit palvelevat paremmin tulevaisuuden tarpeita, todennäköisemmin pystytään välttämään uuden rakentamisen tarvetta tai mittavia korjauksia. (A-insinöörit pikaopas 2022).

Suunnittelussa tulee valita sellaisia tuotteita ja materiaaleja, jotka ovat pitkäikäisiä ja huollettavia tuotteita. Rungon käyttöikä tulisi suunnitella 100 vuodelle 50 vuoden sijasta. Tämä auttaa vähentämään elinkaaren aikana syntyviä hiilidioksidipäästöjä. Rakennukset tulee suunnitella purettaviksi, jotta materiaalit voidaan kierrättää elinkaaren päätyttyä. Rakennustuotteet tulee suunnitella helposti irrotettaviksi.

### 3.1.4 Energian kulutus

Käytönaikaisen energiankulutuksen osuus on rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljestä vajaa puolet. Suurimmat vaikutusmahdollisuudet rakennesuunnittelijalla on vaikuttaa rakennuksen energian kulu- tukseen korjausrakentamisen kohteissa, joiden energiatehokkuus on heikko. Näin ollen suunnitte- lussa tulee ottaa huomioon rakenteellinen energiatehokkuus, kuten eristys, tiiveys ja u-arvot. Jokai- sen lisätyn materiaalin päästöt tulee ottaa huomioon.

### 3.1.5 Jätteen käsittely

Rakennusmateriaalien jatkokäsittelystä ja loppusijoituksesta syntyy rakennuksen koko elinkaaren hiilijalanjäljestä noin 5 %. Päästöt pienenevät, kun materiaalit saadaan ohjattua uudelleen kiertoon ja jätteenä päätyvät rakennusmateriaalit minimoitua.

Rakennesuunnittelussa on tärkeää olla tietoinen haitallisista aineista ja tuotteista, sillä nämä pääty- vät rakennuksen elinkaaren loputtua purkujätteeksi. Hyvällä ja tietoisella suunnittelulla voidaan vält- tää purkujätteen syntymistä. Rakentamisessa on suosittava rakennusmateriaaleja, joilla on tulevai- suudessa hyvät kierrätysmahdollisuudet.

Rakennesuunnittelussa tulee ottaa huomioon DfD:n periaatteet. Design for Deconstruction periaat- teena on helpottaa rakennuksen purkamista ja uudelleenkäyttöä. Rakenteiden tulee olla helposti purettavia, jotta ne on helppo erottaa toisistaan ja kierrättää. Rakennesuunnittelussa tulee kiinnittää huomiota erityisesti liitossuunnitteluun.

Kiertotaloutta voidaan hyödyntää rakennuksen purkamisessa ja korjauksessa. Kun rakennuksen elinkaari on lopussa, pyritään materiaalit hyödyntämään. Materiaaleille tulee etsiä uusi käyttötarkoi- tus, jossa niitä pystytään hyödyntämään. Yhteistyötä voi tehdä massakoordinaattien, kiertotalousyrit- täjien ja saman aikaisten hankkeiden kanssa. Uudisrakentamisessa edellytetään materiaalipassit ja rakennuksien purettavaksi suunnitteleminen.

## 4 KOHTEEN ESITTELY



KUVA 4. As Oy Marinan Portti Majakka (NSA Yhtiöt Oy, 2022).

Opinnäytetyön esimerkki kohteena toimi Marinan portti projekti, joka on valmistunut Kalajoelle vuonna 2022. Loma-asunto kerrostalo on 5 kerroksinen, joka sisältää 28–67 m<sup>2</sup> kokoisia asuntoja. Rakennus on rakennettu meren tuntumaan ja paalutettu sen maaperän vuoksi. Marinan portti on betonirunkoinen kerrostalo, jossa on asuinkerrostalolle tyypillisiä rakenteita. Kantavina rakenteina toimii ulkoseinät, kantavat väliseinät ja paikallavalettu välipohja. Kohteen bruttoala on 2784 m<sup>2</sup>.

## 5 TUTKIMUSMENETELMÄT

Opinnäytetyö oli määrällinen tutkimus, jossa tutkimusmenetelminä käytettiin Tekla Structure-, One Click LCA-, Auto Cad- ja Excel- ohjelmistoja. Näiden ohjelmien avulla saatiin laskettua rakennetyyppien, ja Marinan portin koko elinkaaren aikana syntyvät hiilidioksidipäästöt. Ohjelmat tukivat toisiaan hyvin ja helpottivat mm. määrien hallintaa.

### 5.1 Tekla Structures

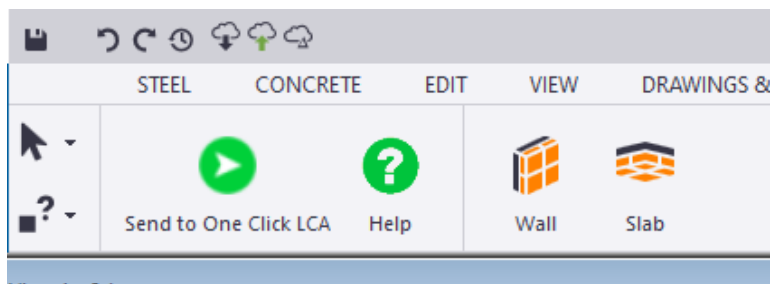
Tekla Structures on rakenne- ja rakennussuunnittelun tietomallinnusohjelmisto, joka mahdollistaa suunnittelun tarkasti ja tehokkaasti. Ohjelmiston avulla pystytään optimoimaan rakenteiden mitoitus ja materiaalien käyttö, joka säästää aikaa ja edistää kestävästä kehityksestä. Teklalla voidaan suunnitella rakennuksen koko elinkaari, aina suunnittelusta ja mallinnuksesta rakennuksen ylläpitoon ja kunnossapitoon asti. (Tekla Structures-ohjelma).

Teklalla pystytään jakamaan helposti tietoa hankkeen sisäisesti eri osapuolien kanssa. Tämä ominaisuus parantaa projektin viestintää ja hallintaa. Näin myös suunnitelmavirheisiin pystytään puuttumaan, mitä varhaisemmassa vaiheessa.

### 5.1.1 Tekla Structures- ohjelman käyttäminen

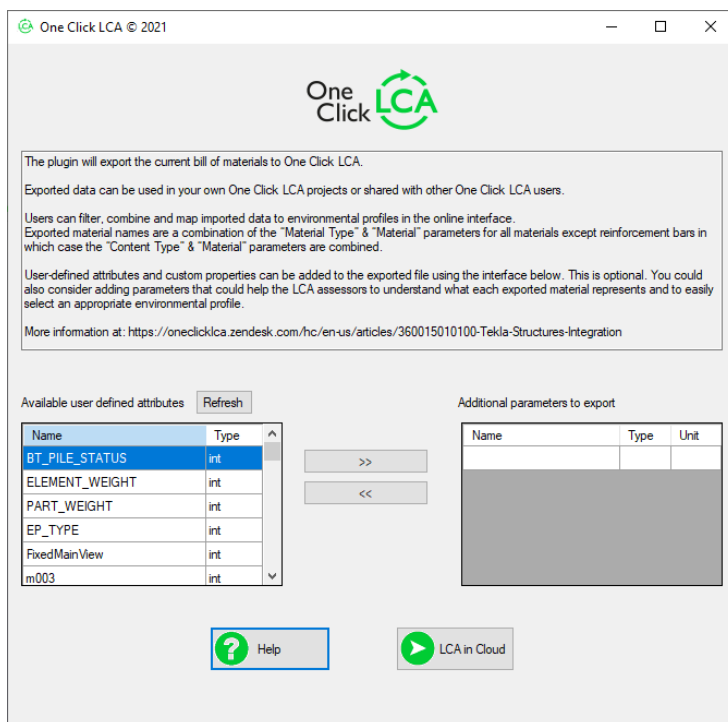
Tekla Structure- mallinnusohjelmaa käytettiin yhtenä työkaluna opinnäytetyössä. Marinan portti asuinkerrostalo mallinnettiin Teklalla, helpottamaan sen suunnittelua. Mallista hyödynnettiin rakennetyyppien ja koko rakennuksen määrätietoja ja materiaaliluetteloja hiilidioksidipäästö laskuihin.

One Click LCA-ohjelmaan pystyttiin viemään helpommin määrä ja materiaaliluetteloja, kuin manuaalisesti. Teklan omasta Warehouse sivustolta saatiin ladattua Teklaan lisäosa, minkä avulla halutut määrät ja tiedot vietiin suoraan One Click LCA:han (KUVA 5). Kuten kaikissa Warehousesta ladatuista lisäosista, jouduttiin Tekla käynnistämään uudelleen, jotta lisäosat saatiin asennettua.



KUVA 5. Tekla Structuren One Click- LCA lisäosa (Tekla Structures- ohjelma).

Tekla mallista maalattiin kaikki rakenteet ja materiaalit, mitä haluttiin viedä elinkaariarviointiohjelmaan "Select assemblies" valikolla. Tämän valikon avulla Tekla valitsi kaikki objektit, jotka ovat samassa kokoonpanossa. Sen jälkeen valitut rakenteet ja materiaalit siirrettiin One Click LCA- ohjelmaan (KUVA 6). Lisäosassa ohjeistettiin selkeästi, että materiaaleja voitiin muokata elinkaariarviointiohjelmistossa. Seuraavat vaiheet toteutetaan One Click LCA-ohjelmassa.



KUVA 6. Teklasta viedään materiaalit One Click LCA-ohjelmaan (Tekla Structures- ohjelma).

## 5.2 One Click LCA

One Click LCA on selainpohjainen elinkaariarvointiohjelma, jonka avulla voidaan laskea rakennus- ja infrastruktuurihankkeiden, materiaalien sekä yritysten ympäristövaikutuksia. Tutkittavia rakennusmateriaaleja voi syöttää sovellukseen manuaalisesti tai tuoda ne Revitistä, Excelistä, Teklasta, IESVE:stä tai energiamalleista. (One Clic LCA-ohjelma).

Elinkaarilaskenta perustuu olemassa oleviin ISO- ja EN-standardeihin sekä kansallisiin ympäristösäädöksiin. One Click LCA:n pohjana toimii vaatimusten ja periaatteiden osalta ISO14040 ja ISO14044. Rakennusalalla elinkaariarviointiin on muodostunut SFS-EN 15978 standardi, jota hyödynnetään kaikissa rakennusten ympäristöluokitusjärjestelmissä. EPD eli ympäristöseloste perustuu EN 15804 standardiin. (Rakennuksen hiilijalanjäljen laskentamenetelmät 2017).

Suomessa elinkaarilaskennan pohjana toimii eurooppalaiset standardit ja EU Level(s) menetelmä, joka tehtiin ohjeeksi EU-tasolle ja tukemaan 2050 vuoden ilmastotavoitteita. Ympäristöministeriön menetelmä antaa tarkemmat tiedot rajaussääntöjen ja laskennan osalta. (Rakennuksen vähähiilisyysarviointimenetelmä 2019).

Opinnäytetyön alussa käytettiin opiskelijalisenssiä. Kyseisen lisenssin kanssa tuli kuitenkin alkumetreillä ongelmia, sillä opiskelijalisenssin laskut pohjautuivat pelkästään EN-15978 standardiin. Toimeksiantaja päätyi ostamaan maksullisen lisenssin, jotta laskuista saatiin Suomen standardien mukaisia.

### 5.2.1 One Click LCA-ohjelman käyttäminen

One Click LCA- ohjelma oli opinnäytetyön tärkein tutkimusmenetelmä ja käytetyin työkalu. Ohjelman avulla laskettiin rakennetyyppien ja koko rakennuksen elinkaaren aikana syntyvät hiilidioksidipäästöt.

Aivan ensimmäiseksi selainpohjaiseen ohjelmaan täytyi olla oikeanlainen lisenssi ja käyttäjätunnus, joiden avulla ohjelmaa pystytiin käyttämään. Ohjelmaan luotiin projekti, johon kirjattiin sen perustietoja, kuten minkälaisesta rakennuksesta on kyse, sen pinta-alasta ja minkälainen kantava runko rakennuksessa on. Projektin alle luotiin osaprojekteja, joissa voitiin laskea erilaisia laskuja.

Kun Tekla Structuresta saatiin materiaalit ja halutut tiedot vietyä One Click LCA:han, valittiin ensimmäisenä, mihin projektiin ja suunnitelmaan tiedot haluttiin viedä. (KUVA 7.) Tässä vaiheessa myös valittiin laskentatyökalu, joka kuului lisenssiin. Filteriasetuksessa tarkennettiin, minkälaisia tietoja vietiin ohjelmaan.

KUVA 7. One Click LCA- ohjelman materiaalien asetukset (Tekla Structures- ohjelma).

Ennen kuin materiaalien päästötietoja päästiin katsomaan, jouduttiin vielä odottamaan, että ohjelma tunnisti kaikki tuodut materiaalit. Tunnistamattomat materiaalit tuli yhdistää resursseihin, jotta niitä ei jätetty huomiotta.

Kun Teklasta tuotiin materiaaleja ja määrätietoja, tuli sen kanssa olla melko kriittinen. Materiaalit kannatti tarkistaa, että ne olivat oikein. Opinnäytetyötä tehdessä huomattiin, että ohjelma tunnisti paalujen materiaalit teräslevynä, eikä teräsputkena. Tämän takia oli hyvä, että materiaaleja pystyttiin muokkaamaan Teklasta tuonnin jälkeen.

Materiaalien ja määrien tietoja voitiin lisätä ja muokata manuaalisesti. Jos tutkittiin yhden materiaalin päästöjä, oli helpompaa ja nopeampaa lisätä tiedot itse. One Click LCA:ssa oli laaja materiaali valikoima, josta pystyttiin valitsemaan halutun materiaalin. Ohjelmasta löytyi myös valmiita rakennetyyppejä, joihin tarvittiin vain muokata materiaalien paksuudet ja valittu laskenta-ala.

## 6 RAKENNETYYPPIEN HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖLASKUT

Opinnäytetyössä rakennetyypit laskettiin Ympäristöministeriön arviointimenetelmän (2021) avulla. Rakennetyyppien laskuissa otettiin elinkaaren vaiheet A1-3, C ja D huomioon (KUVA 8). Taulukkoon on merkattu (x) jokainen elinkaarivaihe, jotka on otettu huomioon. Opinnäytetyössä haluttiin keskittyä pelkästään materiaalien hiilidioksidipäästöihin. Materiaalien päästöt syntyvät tuotteen valmistusvaiheesta ja työmaatoiminnoista. Rakennetyyppien työmaalla syntyviä hiilidioksidipäästöjä ei pysty selkeästi ilmoittamaan ohjelmaan, jonka takia ne jätettiin huomioimatta.

Tuotevaihe			Rakentaminen		Käyttövaihe								Elinkaaren loppu				Rakennuksen elinkaaren ulkopuolelle jäävät hyödyt tai haitat		
Raaka-aineen hankinta	Kuljetus valmistukseen	Tuotteen valmistus	Kuljetus työmaalle	Työmaatoiminnot	Tuotteen käyttö rakentamisessa	Kunnossapito	Korjaus	Osien vaihto	Laajamittaiset korj.	Energian käyttö	Veden käyttö	Purkaminen	Kuljetukset	Purkujätteen käsittely	Purkujäte loppusijoitus	Uudelleenkäyttö	Talteenotto	Kierrätys	
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D	D	D	
x													x				x		

Taulukko 1. Valitut elinkaaren vaiheet rakennetyyppien hiilidioksidilaskuihin (Excel).

Rakennetyyppien hiilidioksidilaskennassa tuli ilmoittaa rakentamisprosessi, energian vuotuinen kulutus, laskentajakso ja rakennuksen pinta-ala. Energian vuotuinen kulutus ja rakentamisprosessi jätettiin pois rakennetyyppien laskennoista. Laskentajaksona käytettiin 50 vuotta, joka on Marinan portin suunniteltu käyttöikä. Marinan portin bruttoala on 2784 m<sup>2</sup> ja lämmitetty nettoala 2441 m<sup>2</sup>.

Päärakennetyypeissä materiaalit ja niiden tiedot tuotiin suoraan Teklasta. Tuotuja tietoja tarkastettiin katsomalla manuaalisesti Teklan määrätietoja. Vaihtoehtoisten rakennetyyppien määrät laskettiin käsin, sillä niitä ei mallinnettu Tekla-ohjelmaan.

One Click LCA-ohjelma huomioi rakennetyypeissä puutavara materiaalit hiilikädenjälkenä, eli ilmasto-  
hyötynä. Materiaalien päästöt luettiin eri kohdasta, kun tuloksissa esitetyistä ympyrädiagrammeista. Sahatavaraa ei pystytä laskuissa käyttämään, sillä ohjelma ei anna materiaalille päästöarvoja. Rakennetyyppien hiilidioksidilaskennoissa puumateriaalit olivat liima- ja kertopuuta.

Ympäristöministeriön arviointimenetelmässä hiilidioksidipäästöjen yksikkönä oli kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a. Tulokset ilmoitettiin hiilidioksidiekvivalenttien painona jaettuna rakennuksen lämmitetyllä nettoalalla ja arviointijakson pituudella (Insinööritoimisto Vesitaito Oy hiilijalan- ja kädenjäljen laskenta 2020, 5). Opinnäytetyössä haluttiin tutkia päästöt kokonaiskuvana, joten saadut tulokset kerrottiin rakennetyypin käyttöiällä.

Lopputuloksena luotiin rakennetyyppikansio, jossa jokaisen materiaalin hiilidioksidipäästöt on ilmoitettu. Ulkoseinissä, välipohjissa, väliseinissä ja yläpohjassa päästöt ilmoitettiin kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Kun taas paaluissa yksikkönä oli kg CO<sub>2</sub>e/m, koska päästöt haluttiin ilmoittaa jokaista paalimetriä kohden. (kts. liitteet).

## 6.1 Päärakennetyypit

### 6.1.1 US1

Marinan portin ulkoseinä on sandwich-elementti. Se koostuu betonisesta sisä- ja ulkokuoresta, jonka välissä on kivivillaeriste. Kohteen julkisivun yhtenä vaatimuksena oli, että se tulisi näyttää puulta. Kohteeseen ei kuitenkaan haluttu julkisivumateriaaliksi puuta meri-ilmaston takia. Projektissa päätettiin tekemään ulkokuorielementtiin urituksia, jotta se näyttäisi hieman puulta. Marinan portti sijaitsee meren rannalla, jonka takia ulkoseinäelementin tulee täyttää kosteusteknisesti vaatimukset. Ulkoseinä-rakennetyyppiin betoniraidoitukset on otettu Teklasta.

#### 6.1.1.1 US 1 tulokset

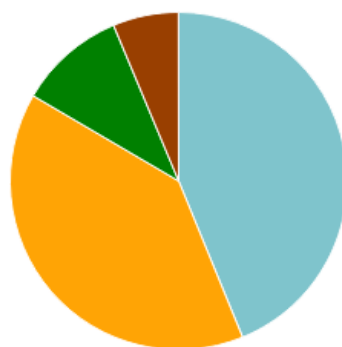
Ulkoseinä rakennetyypin kokonaishiilidioksidipäästöt ovat 54 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Kuvasta 8 huomataan, että betonin hiilidioksidipäästöt ovat rakennetyypissä suurin päästölähde. Betoniset sisä- ja ulkokuoren päästöt ovat yhteensä 26,5 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Seuraavaksi suurin päästölähde on kivivillaeristeet, jonka päästöt ovat 18 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Ulkoseinäelementissä materiaalien pienin päästölähde on betoniraidoitukset, jotka ovat 9,5 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>.





### Ilmaston lämpeneminen kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a - Resurssityypit

Napsauta kaavion osiota nähdäksesi sen yksityiskohdat



Valmisbetoni, perustukset ja seinät ... Bitumi ja muut katteet - 39.6%  
 Kivivillaaeristeet - 10.3% Betonirauditus - 6.3%

KUVA 12. Päärakennetyypin yläpohjan tulokset (One Click LCA-ohjelma).

#### 6.1.4 VS1

Kantavassa väliseinässä on 200 mm betonia ja betoniraudoitukset ovat T12 k200. Betoniraudoitukset laskettiin käsin Excelin avulla (KUVA 13). Kantavan väliseinän raudoitukset laskettiin aluksi yhdelle neliölle, jonka tulokseksi saatiin 17,8 kg/m<sup>2</sup>. Neliökohtainen rauditusmäärä kerrottiin kantavien väliseinien kokonaispinta-alalla. Yhteensä Marinan portin kantavissa väliseinissä raudoituksia on 27,8 tonnia. Betoniraudoitusten kokonaispaino syötettiin suoraan One Click LCA-laskuihin.

Kantava väliseinä rauditus		pysty	vaaka
		T12 k200	T12 k200
		5 kpl	5 kpl
Laskennallinen paino kg/m	0,888	4,44 kg/m <sup>2</sup>	4,44 kg/m <sup>2</sup>
		Yhteensä	17,8 kg/m <sup>2</sup>
		pinta-ala	1562,5 m <sup>2</sup>
			27750 kg
			27,8 ton

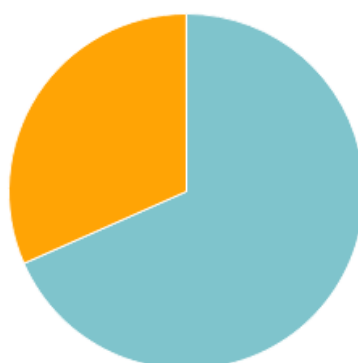
KUVA 13. Kantavan väliseinän rauditus laskut (Excel).

#### 6.1.4.1 VS1 tulokset

Kantavan väliseinän kokonaishiilidioksidipäästöt ovat 54,0 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>, josta betonin päästöt ovat 37,0 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Betoniraudoitusten päästöt ovat koko rakennetyypistä 31,6 % eli 17,0 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>.

### Ilmaston lämpeneminen kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a - Resurssityypit

Napsauta kaavion osiota nähdäksesi sen yksityiskohdat



● Valmisbetoni, perustukset ja seinät ... ● Betoniraudoitus - 31.6%

KUVA 14. Päärakennetyypin kantavan väliseinä tulokset (One Click LCA-ohjelma).

#### 6.1.5 VS2

Kevyissä väliseinissä on teräsranka k600 jaolla, jonka välissä on pehmeä mineraalivilla. Pintamateriaalina väliseinässä molemmilla puolilla on 13 mm kipsilevy. Opinnäytetyössä hyödynnettiin väliseinän laskemisessa One Click LCA:sta löytyvää valmista väliseinä rakennetyyppejä. Rakennetyypin avulla materiaaleja ei tarvittu syöttää erikseen. Rakennetyyppeihin tarvittiin vain syöttää materiaalien oikeat leveydet ja kuinka suuri ala haluttiin laskea (KUVA 15). Kevyiden väliseinien määrät on laskettu Excel-ohjelmalla, sillä niitä ei mallinneta Tekla ohjelmaan. Määrälaskuissa on hyödynnetty projektin arkkitehdin tasokuvia. Väliseinien määräksi on saatu 1081,44 m<sup>2</sup>.

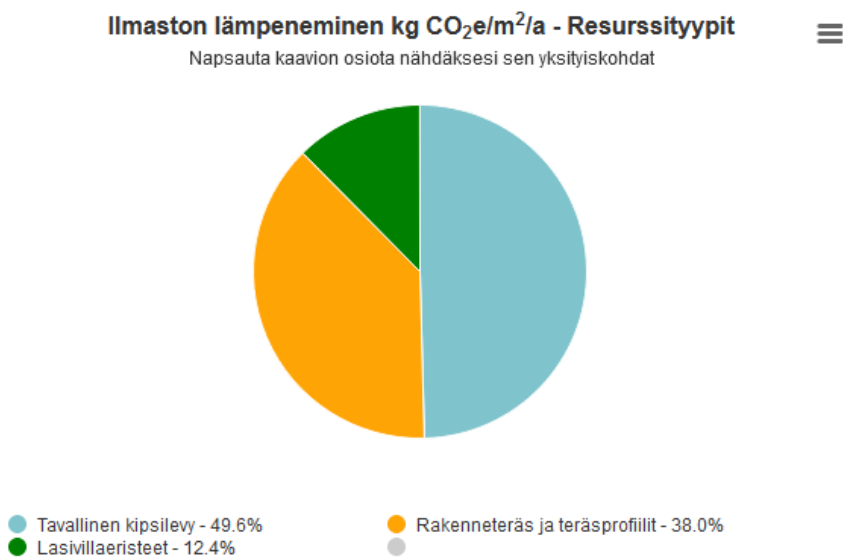
Resurssi	Määrä	CO <sub>2</sub> e
Väliseinä, 70 mm, teräsranka	1081,44 m <sup>2</sup>	0,14kg - 100%
Kipsi-kartonkilevy, erikoiskova, 87	1081 m <sup>2</sup> x 13 mm	0,03kg - 25%
Ohutlevyprofiili, teräsritilä, sink	2217 kg	0,05kg - 38%
Lasivillaeriste, tiheys 20 kg/m <sup>3</sup> , L	1081 m <sup>2</sup> x 70 mm	0,02kg - 12%
Kipsi-kartonkilevy, erikoiskova, 87	1081 m <sup>2</sup> x 13 mm	0,03kg - 25%

KUVA 15. Kevyen väliseinä rakennetyyppi (One Click LCA-ohjelma).

#### 6.1.5.1 VS2 tulokset

Kevyessä väliseinässä päästöt ovat jakautuneet melko tasaisesti kolmeen eri osaan. Suurin päästölähte on kipsilevy, jonka hiilidioksidipäästöt ovat 3,5 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> ja koko rakennetyypistä 49,6 %. Tässä tulee kuitenkin huomioida, että ohjelma on laskenut kahden kipsilevyn yhteen eli yhden kipsilevyn hiilidioksidipäästöt ovat 1,75 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Toiseksi suurimmat päästöt ovat teräsrungeilla. Sen hiilidioksidipäästöt ovat 2,5 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Teräsrungeiden välissä oleva kivivillaeriste on vähähiilisin

tässä rakennetyypissä eli 1 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Kevyen väliseinän kokonaishiilidioksidipäästöt ovat 7 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>.



KUVA 16. Päärakennetyypin kevyen väliseinän tulokset (One Click LCA-ohjelma).

### 6.1.6 Paalut 1

Marinan portissa perustukset on tehty teräspaalujen avulla, jotta perustamistasoa saadaan ylöspäin. Teräspaalut ovat CFCHS 140,0 x 8,0. Teräspaaluilla on myös pienemmät paalutuskoneet verrattuna betoniseen paalutuskoneeseen. Kohde sijaitsee meren äärellä, joten tällaisilla alueilla on haastavaa rakentaa suoraan maaperän päälle. Lähellä maanpintaa on helposti häiriintyvää ja liettyvää pohjaveden kyllästämää hiesua. Jos kohteessa olisi päädytty maanvaraiseen perustamiseen, olisi kohteeseen vaadittu pohjaveden poistamiseen todella isot työkoneet.

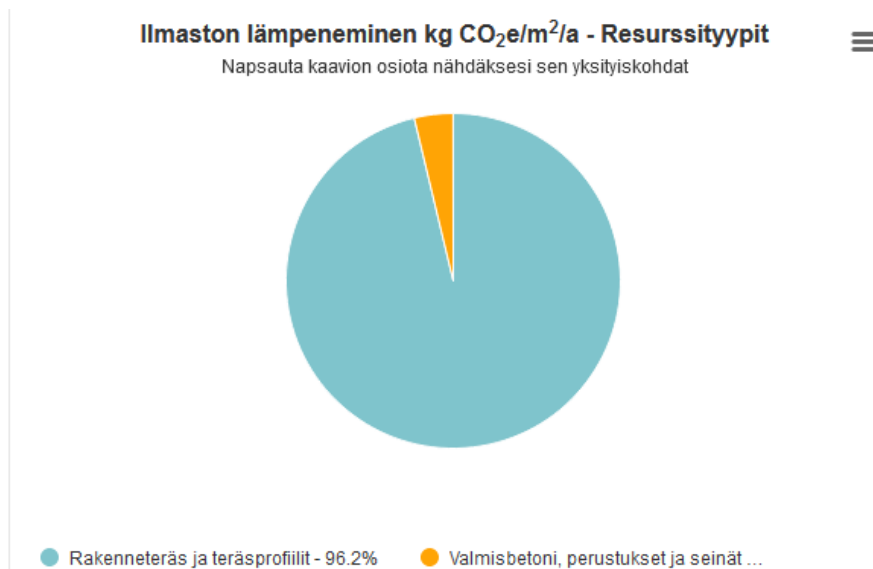
Teräspaalut laskettiin seuraavalla profiililla, joka löytyy valmiiksi One Click LCA- ohjelmasta. Teräsputki- ja paalutus, pehmeä maa, 10 m syvyys, per bruttoala ja paalun halkaisija on 130 mm. Kyseinen valmis rakennetyyppi on kaikista lähimpänä oikeita Marinan portin paalutuksia. Ohjelma ei tunnista paalutuksia oikein, jos materiaalit syötetään yksitellen. Arvot jäävät tällöin todella pieniksi ja ne eivät ole todenmukaisia. Teräsputki- ja paalutus lasketaan per bruttoalaa nähden.

Resurssi	Määrä
Teräsputki- ja paalutus, pehmeä m ?	2784.0 m <sup>2</sup>
Rakenneteräs, yleinen, 60% recycled ?	44538 kg
Valmisbetoni, normaali lujuus, yleinen ?	29278 kg

KUVA 17. Paalujen rakennetyyppi (One Click LCA-ohjelma).

### 6.1.6.1 Paalut 1 tulokset

Teräspaalujen kokonaishiilidioksidipäästöt ovat 14 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Päästöt koostuvat teräsputkesta ja putken sisälle laitettavasta betonista. Betonin päästöt ovat 0,5 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>, kun taas teräspaalun päästöt ovat 13,5 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>.



KUVA 18. Päärakennetyypin paalujen tulokset (One Click LCA-ohjelma).

## 6.2 Vaihtoehtoiset rakennetyypit

Vaihtoehtoiset rakennetyypit on valittu Marinan portin rakennesuunnittelijan kanssa. Lähtökohtana on, että valitut rakennetyypit olisivat voineet olla Marinan portin päärakennetyyppejä. Kyseiset rakennetyypit ovat olleet vaihtoehtoja suunnittelussa, mutta niihin ei olla kuitenkaan päädytty. Vaihtoehtoisten rakennetyyppien määrät on laskettu käsin.

### 6.2.1 US2

Vaihtoehtoisessa ulkoseinärakennetyypissä on 180 mm kantava betoniseinä. Eristeenä toimii Kingspan Kooltherm K15C fenolivahtoeristelevy. Julkisivujärjestelmänä toimii Crembrit Patina Original, jonka materiaali on kuitusementti. Rakennetyypissä kuitusementtilevy on puisen pystykoolauksen avulla kiinni.

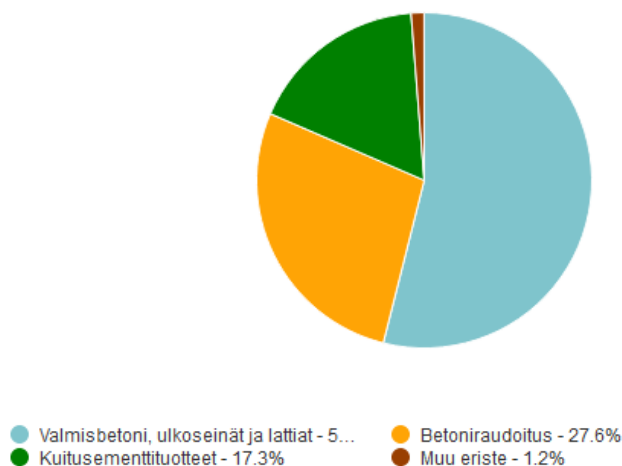
Ulkoseinän hiilidioksidipäästö laskuissa on käytetty samaa rauditusmäärää, kuin kantavassa väliseinässä (KUVA 13).

#### 6.2.1.1 US2 tulokset

Ulkoseinän kokonaishiilidioksidipäästöt ovat 37 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Suurin päästölähde on kantava betoniseinä, jonka päästöt ovat koko rakennetyypistä 53,9 %. Betoniseinän päästöt ovat siis 20 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Kun taas betoniraudoitusten päästöt ovat 10 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Kuitusementtilevyn päästöt on rakennetyypistä 17,3 % eli 6,5 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Rakennetyypin materiaaleista pienimmän päästön aiheuttaa fenolivahtoeristelevy, joka on 0,5 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>.

### Ilmaston lämpeneminen kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a - Resurssityypit

Napsauta kaavion osiota nähdäksesi sen yksityiskohdat



KUVA 19. Vaihtoehdoisen ulkoseinä rakennetyypin tulokset (One Click LCA-ohjelma).

#### 6.2.2 VP2

Paikallavaletulle betonilaatalle vaihtoehdoiseksi rakennetyypiksi valittiin 320 mm ontelolaatta. Ontelolaatan päälle tulevia äänieristysmateriaaleja, paikallavaluja ja pintamateriaaleja ei otettu huomioon. One Click LCA:sta löydettiin ontelolaatalle oikea EPD, jolla sen hiilidioksidipäästöt laskettiin.

##### 6.2.2.1 VP2 tulokset

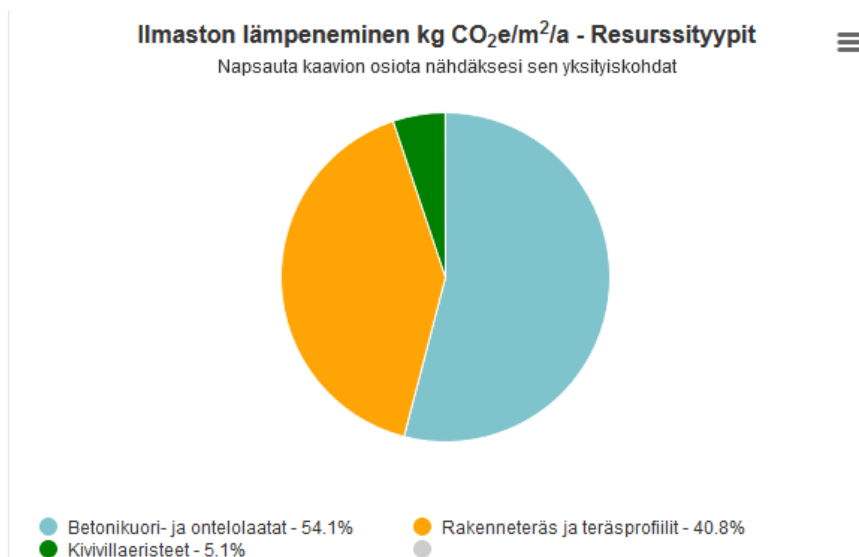
Betonisen ontelolaatan kokonaishiilidioksidipäästöt ovat 50,5 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>.

#### 6.2.3 YP2

Vaihtoehdoisessa yläpohjarakennetyypissä on 200 mm ontelolaatta. Rakennetyypissä on samat eristeet, raakaponttilaudoitukset ja kattotuolirakenteet, kuin päärakennetyypissä. Yläpohjarakennetyypissä pintamateriaalina toimii kuitenkin peltikate. Kyseisellä rakennetyypillä haluttiin selvittää, onko peltikate parempi vaihtoehto, kuin kumibitumikate.

##### 6.2.3.1 YP2 tulokset

Yläpohjan kokonaishiilidioksidipäästöt ovat 18,5 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Ontelolaatan hiilidioksidipäästöt ovat 9,5 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Katon pintamateriaalina toimiva teräspeltikatteen hiilidioksidipäästöt ovat 7 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Vaihtoehdoisessa rakennetyypissä One Click LCA-ohjelma antaa kivivillan hiilidioksidipäästökseksi 1 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Päärakennetyypissä on sama eriste ja eriste määrä, mutta silti eristeiden päästöt eroavat toisistaan 1 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Elinkaariarviointi ohjelma laskee jokaisen puutavaran hiilikädenjäljeksi. Kattoristikon ja raakaponttilaudoituksen materiaali on määritetty kertopuuksi, joiden hiilidioksidipäästöt ovat 0,5 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>.



KUVA 20. Vaihtohtoisen yläpohja rakennetyypin tulokset (One Click LCA-ohjelma).

## 6.2.4 VS3

Väliseinän rakennetyypissä haluttiin saada selville, kumpi on parempi vaihtoehto teräs- vai puuran- kainen väliseinä, ja kuinka suuri hiilidioksidipäästö ero näillä materiaaleilla on.

### 6.2.4.1 VS3 tulokset

One Click LCA-ohjelma tunnistaa puumateriaalin hiilikädenjäljeksi, joten puun hiilidioksidipäästöt on katsottava eri kohdasta, kuin ympyrädiagrammista. Kuvassa 21 on esitetty väliseinän rakennetyyppi ja sen oikeassa reunassa nähdään jokaisen materiaalin päästöt eriteltyinä. Väliseinän kokonaishiilidi- oksidipäästöt ovat 5 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Puurangan hiilidioksidipäästöt ovat 1 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>.

Resurssi	Määrä	CO <sub>2</sub> e
Väliseinä, 70 mm, puuranka-m ?	1081,44 m <sup>2</sup>	0,1kg - 100%
Kipsi-kartonkilevy, erikoiskova, 87 ?	1081 m <sup>2</sup> x 13 mm	0,03kg - 33%
LVL, viilupuu, pilari- ja palkkirak ?	125 m <sup>2</sup> x 73 mm	0,02kg - 17%
Lasivillaeriste, tiheys 20 kg/m <sup>3</sup> , L ?	956 m <sup>2</sup> x 75 mm	0,02kg - 16%
Kipsi-kartonkilevy, erikoiskova, 87 ?	1081 m <sup>2</sup> x 13 mm	0,03kg - 33%

KUVA 21. Vaihtohtoisen kevyen väliseinän rakennetyyppi (One Click LCA-ohjelma).

## 6.2.5 Paalut 2

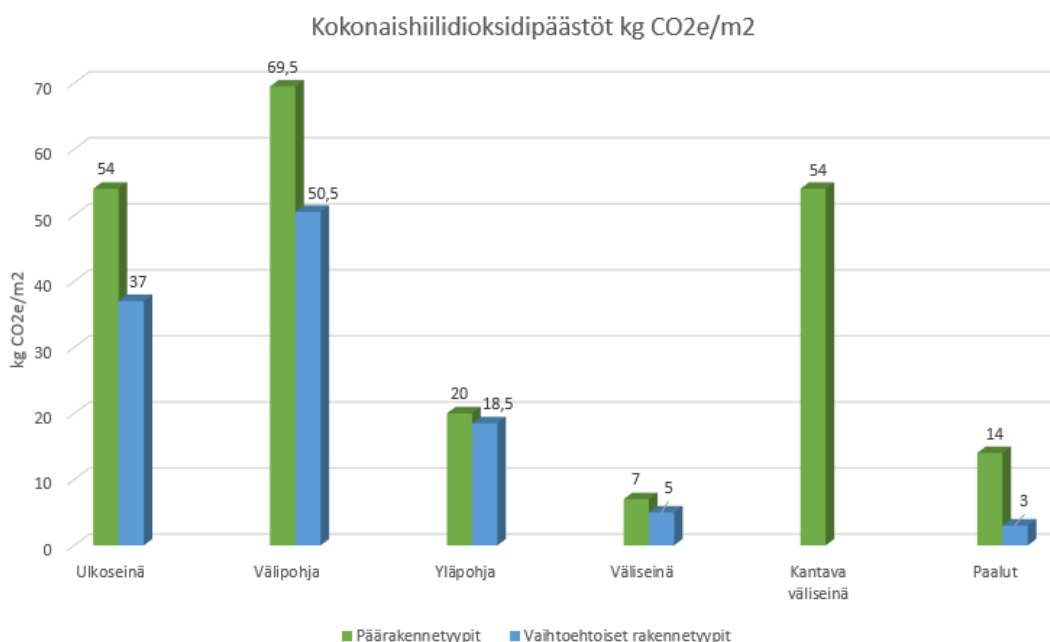
Paalun vaihtoehtoinen rakennetyyppi on 250 x 250 mm betonipaalu. Betonipaaluihin ei laskettu be- toninraudoituksia. Paalujen hiilidioksidipäästöjen vertailu nousi yhdeksi kiinnostavimmaksi Marinan portin suunnittelijoiden kanssa keskustellessa. Yhden betonipaalun paino katsottiin RT tuotelehdessä (Betonipaalu). Betonipaalun paino on 156 kg/m. Paino kerrottiin 6 m, jotta saataisiin yhden kokonai-

sen betonipaalun kokonaispaino. Opinnäytetyössä käytettiin kappale määrältään saman verran betonipaaluja, kuin teräspaaluja on Marinan portissa. Yhteensä betonipaalut painavat 106,7 tonnia, joka syötettiin One Click LCA-ohjelmaan.

#### 6.2.5.1 Paalut 2 tulokset

Betonipaalun kokonaishiilidioksidipäästöt ovat 3 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Betonipaaluissa ei olla huomioitu sen raudoituksia, joten sen päästöt ovat pienemmät.

## 7 RAKENNETYYPPIEN VERTAILU



KUVA 22. Rakennetyyppien kokonaishiilidioksidipäästöjen vertailu (Excel).

Pylväsdiagrammissa verrataan rakennetyyppien hiilidioksidipäästöjä. (KUVA 22) Päärakennetyypit ovat pylväsdiagrammeissa vasemmalla ja vaihtoehtoiset rakennetyypit oikealla puolella. Diagrammiin otettiin mukaan kantavien väliseinien hiilidioksidipäästöt, jotta pystytään vertailemaan niitä muiden päästöjen suuruuteen.

Ulkoseinistä suurempi hiilijalanjälki on päärakennetyypillä. Kyseisessä ulkoseinässä on enemmän betonia, joka nostaa rakennetyypin päästöjä. Suurempiin päästöihin vaikuttaa myös, että päärakennetyypissä on mineraalivillaa, jolla on suuremmat päästöt, kuin fenolivaahtoeristelevyllä. Päärakennetyyppi on 17 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> saastuttavampi, kuin vaihtoehtoinen rakennetyyppi.

Välipohjien vertailussa paremmaksi vaihtoehdoksi nousi 320 mm ontelolaatta. Kun tarkastellaan pelkästään betonilaatta, jossa ei ole raudoituksia, on sen hiilidioksidipäästöt pienemmät. Kuitenkin betonilaatta tarvitsee vahvisteeksi raudotteita. Jos paikallavalettavan betonilaatan raudoituksien määrää saataisiin pienennettyä, voisi se olla vähäpäästöisempi vaihtoehto. Vaihtoehtoinen rakennetyyppi on 19 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> ympäristöystävällisempi vaihtoehto.

Yläpohjarakenteessa haluttiin tarkastella, onko kumibitumikermi vai teräskate ympäristöystävällisempi vaihtoehto. Vaihtoehtoisessa rakennetyypissä on myös vaihdettu paikallavalettu betonilaatta 200 mm ontelolaattaan. Näiden kahden vertailussa paremmaksi vaihtoehdoksi nousi vaihtoehtoinen rakennetyyppi. Teräskatteen hiilidioksidipäästöt ovat 7 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> ja kumibitumikermin 7,5 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Näillä materiaaleilla ei ole merkittävää eroa, joka olisi selkeästi parempi. Vaikka molemmissa rakennetyypeissä on sama eriste määrä ja laskentajakso on sama, jostain syystä ohjelma antaa eri tuloksia. Päärakennetyypissä eristeen hiilidioksidipäästöt ovat 2 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> ja vaihtoehtoisessa rakennetyypissä 1 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>.

Kevyessä väliseinässä tutkimme teräs- ja puurangan päästö eroavaisuuksia. Tätä tutkiessani olin jo valmiiksi tietoinen, että puuranka tulee olemaan parempi vaihtoehto. Rakennetyypistä haluttiin saada selville, että kuinka paljon tämä todellisuudessa tulee olemaan. Puinen väliseinä rakennetyyppi on 2 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> ympäristöystävällisempi vaihtoehto.

Paaluista tällä hetkellä parempi vaihtoehto on teräsbetonipaalu. Kyseiseen paaluun ei olla laskettu sen raudoituksien määrää, joka kasvattaisi hiilidioksidipäästöjä. Kuitenkin molempien tulokset kuulostavat todella vähäisiltä, jolloin 100 % varmuutta sen oikeasta suuruudesta ei ole. Tulosten yksikkönä on myös kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>, jolla ei ole hyvä esittää paalujen hiilidioksidipäästöjä.

## 8 PAALUJEN KÄSINLASKENTA

One Click LCA-ohjelman teräs- ja betonipaalujen tulokset kuulostivat epäluotettavilta, jonka takia haluttiin tarkastaa asia vielä käsin laskettuna. One Click LCA:sta ei saatu myöskään tuloksia haluttuun yksikköön eli kg CO<sub>2</sub>e/m. Laskenta rajattiin paalujen elinkaarenvaiheisiin A1-3.

### 8.1 Teräspaalut

Teräspaalujen hiilidioksidipäästöt laskettiin kertomalla teräspaalunpaino GWP-fossil arvolla. GWP-fossil arvo saatiin SSAB:n julkaisemasta teräspaalujen EPD:stä (SSAB Steel piles EPD 2020, 7). Arvo katsottiin kuvan 23 taulukosta, jossa annettiin teräspaalun A1-3 päästöarvoksi 2,38 kg CO<sub>2</sub>e/kg. Päästöarvo kerrottiin teräspaalun painolla, joka on 26 kg/m (SSAB RR- ja RD-paalut suunnittelu- ja asennusohje 2023).

Results per 1 ton of micro piles											
Indicator	Unit	A1	A2	A3	Tot. A1-A3	A4	C1	C2	C3	C4	D
GWP-fossil	kg CO <sub>2</sub> eq.	2,32E+03	2,61E+01	4,13E+01	2,38E+03	6,74E+01	3,79E-01	4,53E+00	1,77E+01	7,35E-01	-1,49E+03
GWP-biogenic	kg CO <sub>2</sub> eq.	1,93E-01	6,26E-02	-1,06E+01	-1,04E+01	1,24E-01	2,68E-03	9,50E-03	-1,07E+00	2,28E-03	-1,10E+00
GWP-luluc	kg CO <sub>2</sub> eq.	5,73E-01	8,80E-03	2,38E-01	8,20E-01	2,44E-02	1,17E-04	1,26E-03	1,89E-02	1,99E-04	1,01E-01
GWP-total	kg CO <sub>2</sub> eq.	2,32E+03	2,62E+01	3,09E+01	2,37E+03	6,75E+01	3,82E-01	4,54E+00	1,67E+01	7,37E-01	-1,49E+03
ODP	kg CFC 11 eq.	1,22E-10	5,94E-06	2,04E-06	7,98E-06	1,52E-05	6,54E-08	1,06E-06	2,40E-06	3,03E-07	-7,05E-13
AP	mol H <sup>+</sup> eq.	6,38E+00	1,05E-01	1,66E-01	6,65E+00	6,37E-01	3,30E-03	1,87E-02	1,52E-01	6,94E-03	-2,94E+00
EP-freshwater	kg P eq.	1,67E-03	1,76E-03	9,09E-03	1,25E-02	3,99E-03	5,50E-05	2,95E-04	1,16E-02	6,86E-05	-3,51E-04
EP-freshwater	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq.	6,16E-04	6,50E-04	3,36E-03	4,63E-03	1,48E-03	2,04E-05	1,09E-04	4,27E-03	2,54E-05	-1,30E-04
EP-marine	kg N eq.	1,62E+00	3,21E-02	3,06E-02	1,69E+00	1,72E-01	1,39E-03	5,78E-03	4,83E-02	2,42E-03	-4,89E-01
EP-terrestrial	mol N eq.	1,75E+01	3,50E-01	3,26E-01	1,82E+01	1,90E+00	1,51E-02	6,32E-02	5,41E-01	2,65E-02	-4,93E+00
POCP	kg NMVOC eq.	4,80E+00	1,07E-01	9,54E-02	5,01E+00	5,32E-01	4,21E-03	2,03E-02	1,45E-01	7,69E-03	-2,23E+00
ADP-minerals & metals*	kg Sb eq.	3,76E-03	9,42E-05	2,52E-04	4,10E-03	1,72E-04	4,01E-07	1,06E-05	2,21E-03	1,64E-06	-2,56E-03
ADP-fossil*	MJ	2,55E+04	3,95E+02	8,95E+02	2,68E+04	1,00E+03	4,99E+00	7,06E+01	2,46E+02	2,06E+01	-1,32E+04
WDP	m <sup>3</sup>	-1,44E+02	1,08E+00	1,07E+01	-1,32E+02	2,74E+00	7,90E-02	2,25E-01	3,11E+00	9,23E-01	-2,14E+02
Acronyms	GWP-fossil – Global Warming Potential fossil fuels; GWP-biogenic – Global Warming Potential biogenic; GWP-luluc – Global Warming Potential land use and land use change; ODP – Depletion potential of the stratospheric ozone layer; AP – Acidification potential, Accumulated Exceedance; EP-freshwater – Eutrophication potential, fraction of nutrients reaching freshwater end compartment; EP-marine – Eutrophication potential, fraction of nutrients reaching marine end compartment; EP-terrestrial – Eutrophication potential, Accumulated Exceedance; POCP – Formation potential of tropospheric ozone; ADP-minerals&metals – Abiotic depletion potential for non-fossil resources; ADP-fossil – Abiotic depletion for fossil resources potential; WDP – Water (user) deprivation potential, deprivation-weighted water consumption										

\* Disclaimer: The results of this environmental impact indicator shall be used with care as the uncertainties of these results are high or as there is limited experience with the indicator.

## KUVA 23. Teräspaulun EPD (SSAB Steel piles EPD, 2022)

### 8.2 Betonipaalu

Betonipaulun käsin laskennassa ei laskettu sen betoniraidoituksia. Betonin C30/37 elinkaarenvaiheiden A1-3 päästöarvoksi saatiin 0,15 kg/CO<sub>2</sub>e/kg (CO<sub>2</sub>.data). Se kerrottiin betonipaulun painolla eli 156 kg/m (RT betonipaalujen suunnitteluohje).

### 8.3 Paalujen tulokset

Teräspaulun tulokseksi saatiin 61,9 kg CO<sub>2</sub>e/m ja betonipaalulle 23,4 kg CO<sub>2</sub>e/m. Tulokset ovat parempia esittää tässä yksikössä, sillä kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> ei paaluissa ole kauhean selkeä. Kyseiset tulokset ilmoitetaan lopputuloksena syntyviin rakennetyyppeihin.

Teräspaalu		A1-A3		Betonipaalu		A1-3	
139,7x8,0				250x250mm <sup>2</sup>		C30/37	
	GWP- fossil	2,38	kg CO <sub>2</sub> e/kg		CO <sub>2</sub> data	0,15	kg CO <sub>2</sub> e / kg
	paino	26	kg/m		paino	156	kg/m
	Yhteensä	61,9	kg CO <sub>2</sub> e/m		Yhteensä	23,4	kg CO <sub>2</sub> e / m

KUVA 24. Paalujen lasketut hiilidioksidipäästöjen tulokset (Excel).

## 9 ELINKAAREN HIILIJALANJÄLKI

Marinan portin koko elinkaaren aikaiset hiilidioksidipäästöt laskettiin One Click LCA-ohjelmalla. (Taulukko 2.) Arviointimenetelmänä käytettiin Ympäristöministeriön vähähiilisuuden arviointimenetelmää. Elinkaariarvioinnin laskentajaksona käytettiin 50 vuotta, Ympäristöministeriön menetelmän mukaisesti. Marinan portin energiankulutus ilmoitettiin ohjelmaan rakennuksen energiatodistuksen mukaan.

<b>Perustiedot:</b>	
Rakennustyyppi	Asuinkerrostalo
Rakennusvuosi	2022
Lämmitetty nettoala	2441 m <sup>2</sup>
Rakennuspaikka	Kalajoki
Päärakennusmateriaali	Betoni
Rakennuksen toiminnot ja palvelut	Asumistoiminnot
Bruttoala b/m2	2784 m <sup>2</sup>
Kerroslukumäärä	5-kerroksinen kerrostalo
Lämmitys/ jäähdytysjärjestelmä	Kaukolämpö, vesikiertoinen lattialämmitys ja koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä lämmöntalteenotolla
Energiatohokkuusluokka (E-luku)	85 (2018)
Arviointimenetelmä	Ympäristöministeriön vähähiilisuuden arviointimenetelmä
LCA-laskenta-aika	50 vuotta, YM menetelmän mukaisesti
<b>Rakennuksen energiankulutus:</b>	
Vaikoidulla käytöllä laskettu ostoenergia, sähkö (käytetty laskennassa)	93 641 kWh/vuosi
Vaikoidulla käytöllä laskettu ostoenergia, kaukolämpö (käytetty laskennassa)	189 099kWh/vuosi

Taulukko 2. Marinan portin elinkaarilaskun perustiedot (Excel).

Rakennuksen elinkaarilaskenta laskettiin käyttäen apuna Tekla Structures-ohjelmaa. Ohjelmasta on tuotu suoraan kaikki materiaalit ja niiden tiedot One Click-LCA ohjelmaan, kohdan 4.2.1.1 mukaan. Tekla Structures-ohjelmasta tuotiin elinkaarilaskentaan määrä- ja materiaali tietoja, jonka kanssa tulee olla todella kriittinen. Ohjelmien yhteinen linkitys ei ole vielä kauhean hyvä ja on todella vaikea tarkistaa, onko Teklasta tullut kaikki valitut tiedostot, varsinkin näin isoissa laskuissa.

### 9.1 Elinkaarilaskennan rajaus

Marinan portin elinkaarilaskennassa on otettu seuraavat elinkaaren vaiheet huomioon (Taulukko 3). Taulukkoon on merkattu (x) jokaiseen elinkaarivaiheeseen, jotka on otettu huomioon. Vaiheen A4 kuljetus työmaalle huomioitiin laskentaohjelman automaattisella kilometrimäärällä, joka on 91,8 km.

Tuotevaihe			Raken- tami- nen		Käyttövaihe								Elinkaaren loppu				Rakennuk- sen elinkaar- en ulko- puolelle jää- vät hyödyt tai haitat		
Raaka-aineen han-	Kujjetus valmistuk-	Tuotteen valmistus	Kujjetus työmaalle	Työmaatoiminnat	Tuotteen käyttö raken-	Kunnossapito	Korjaus	Osien vaihto	Laajamittaiset korj.	Energian käyttö	Veden käyttö	Purkaminen	Kujjetukset	Purkujätteen käsittely	Purkujäte loppusijoitus	Uudelleenkäyttö	Talteenotto	Kierrätys	
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D	D	D	
	x		x	x				x		x				x				x	

Taulukko 3. Laskentaan kuuluvat elinkaaren vaiheet (Excel).

## 9.2 Elinkaarilaskentaan sisältyvät rakennusosat

Marinan portin elinkaarilaskennassa otettiin huomioon sellaiset rakennusosat ja pintamateriaalit, jotka on mallinnettu Tekla-ohjelmalla. Rakennuksen taloteknisiä asioita ei otettu huomioon laskuissa.

Elinkaarilaskenta sisältää seuraavat rakennusosat:

- Perustukset
- Ulkoseinät
- Välipohjat
- Kantavat rakenteet ja vaippa
- Kantavat väliseinät
- Yläpohja
- Portaat
- Kevyet väliseinät

## 9.3 Elinkaarilaskennan materiaalit

Elinkaarilaskentaohjelma tunnisti osan tuoduista materiaaleista sellaisena, joissa Ympäristöministeriön menetelmät eivät täyty, eikä EN15804+A2/ISO 21930. Tällaisille materiaaleille etsittiin mahdollisimman samalainen EPD, jotta laskut onnistuisivat. Elinkaarilaskentaohjelma tulkitsee osan tuoduista materiaaleista väärin, kuten 200 mm ontelolaatat tunnistettiin 500 mm ontelolaatoiksi.

Jokainen materiaali kuuluu omaan rakennusosaan. Ohjelma ei tunnistanut, mihin osaan kaikki materiaalit kuuluvat. Materiaaleja jouduttiin siirtämään manuaalisesti oikeisiin rakennusosiin, jos ne tunnistettiin, mihin ne kuuluvat. Esimerkiksi raudoitusten ja betonin määriä ohjelma on ripotellut todella pieniin osiin, jolloin niiden oikeaa rakennusosaa on todella vaikea määrittää.

One Click LCA- ohjelmasta on todella vaikea tarkistaa betoniraudoituksia ja betonin oikeita määriä, joka hankaloittaa tarkistusta entisestään. Jos määrät olisivat isompina kokonaisuuksina tarkastaminen helpottuisi suuresti. Laskennassa yritettiin katsoa mahdollisimman tarkasti näitä asioita, mutta kuitenkin 100 % varmuutta ei ole.

One Click LCA-ohjelmaan lisättiin manuaalisesti käsin lasketut kevyiden väliseinien-, yläpohjan eriste-, kantavan väliseinän- ja paikallavaletun välipohjan raudoituksienmäärät. Elinkaarilaskennassa ei otettu huomioon pultteja, sillä ohjelmassa ei ole sopivaa EPD:tä, joka kuvastaisi oikeata vaihtoehtoa.

Elinkaarilaskennasta on korjattu seuraavia materiaaleja ja niiden määrä arvoja.

- Kattoristikoiden määrät
- Ontelolaatan paksuus
- Katon kumibitumikermin määrät
- Teräspaalujen profiilit

## 10 MARINAN PORTIN TULOKSET

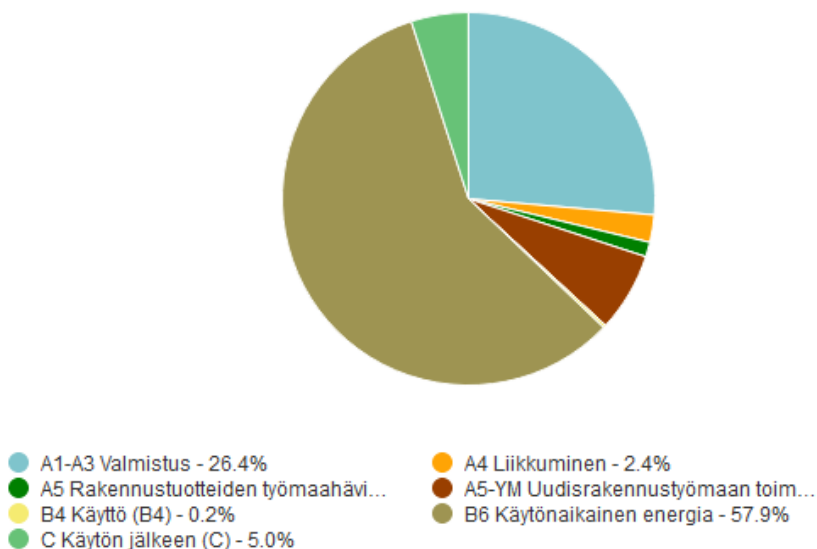
Marinan portin kokonaishiilidioksidipäästöt ovat 1,56 milj. kg CO<sub>2</sub>e. Tulos saatiin, kun kerrotaan vuotuiset päästöt arviointijaksolla ja lämmitetyllä nettoalalla. Vuotuiset hiilidioksidipäästöt ovat 12,76 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a, jotka saadaan rakennuspaikan ja rakennuksen yhteen lasketuista hiilidioksidipäästöistä (KUVA 25).

	Tuloskategoria	Ilmaston lämpeneminen, rakennus kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a ⓘ	Ilmaston lämpeneminen, rakennuspaikka kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a ⓘ
■ A1-A5	Päästövaikutukset ennen käyttöä (moduulit A1-5)	2,51	0,29
A1-A3	Valmistus	1,19	0,27
A4	Kuljetus rakennuspaikalle	0,29	0,01
A5	Rakennustuotteiden työmaahävikki	0,15	0,01
A5-YM	Uudisrakennustyömaan toiminnot	0,87	
■ B4	Rakennusosien vaihto	0,03	
B4-replacement	Rakennusosien vaihto	0,03	
B4-EPD	B4-EPD		
B6 ⓘ	Energiankulutus	7,39	
■ C	Päästövaikutukset käytön jälkeen (moduuli C)	2,53	0,01
C1	Purkutyömaan toiminnot	0,13	
C2	Jätteenkuljetus	0,29	0,01
C3	Jätteen tuotanto	2,08	0
C4	Purkujätteen käsittely	0,02	0
A-C	Hiilijalanjälki (elinkaaren moduulien A-C summa)	12,46	0,3
D	Hiilikädenjälki yhteensä	-3,72	-0,08

KUVA 25. Elinkaarilaskennan rakennuksen ja rakennuspaikan hiilidioksidipäästöjen tulokset (One Click LCA-ohjelma)

Marinan portin elinkaaren vaiheista merkittävimmät päästöt syntyvät käytönaikaisesta energiasta. (KUVA 25.) Toiseksi merkittävimmät päästöt syntyvät materiaalien valmistuksesta. Uskon, että materiaalien päästöt kasvavat, jos materiaalien määristä voitaisiin olla varmoja. Muiden elinkaaren vaiheiden vaikutus on pienempi.

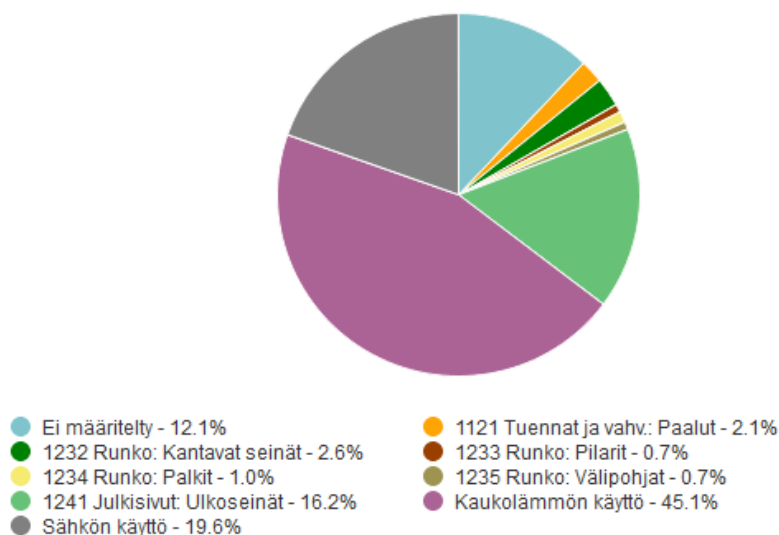
Ilmaston lämpeneminen kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a - Elinkaaren vaiheet



KUVA 26. Marinan portin elinkaarivaiheiden tulokset (One Click LCA-ohjelma).

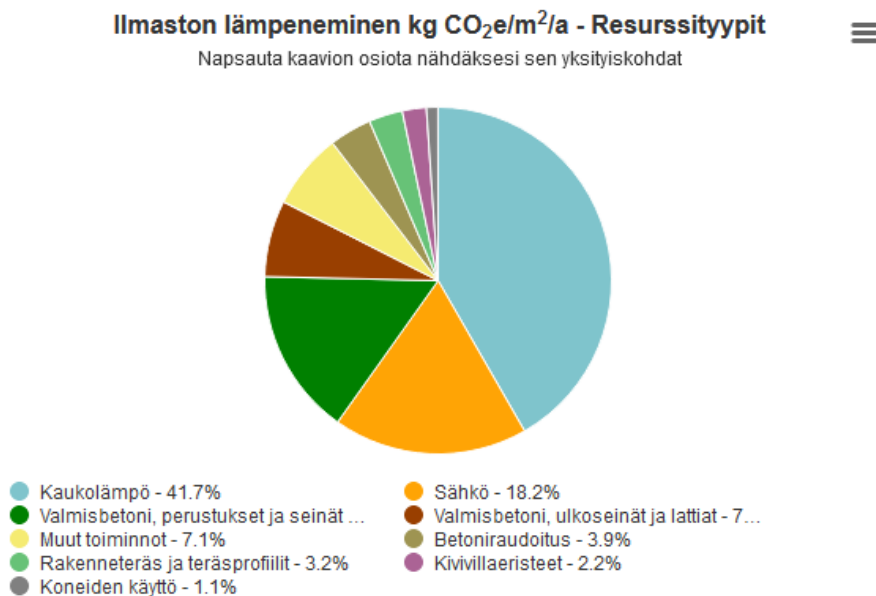
Marinan portin rakennusosien päästöjakaumasta nähdään, että rakenteita ei olla pystytty määrittelemään hyvin (KUVA 24). Määrittelemättömiä materiaaleja on noin 12.1 %. Tähän kategoriaan kuuluu osa betonirauδοituksista ja betonista. Näistä materiaaleista ei ollut varmuutta niiden epäselvien määrien takia, että mihin rakennusosaan ne kuuluvat.

Ilmaston lämpeneminen kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a - Rakennuksen osat



KUVA 27. Marinan portin rakennusosien päästöjakautuma (One Click LCA-ohjelma).

Resurssityypeittäin energiankulutuksen jälkeen suurin päästölähde on betoni. (KUVA 27.) Marinan portti onkin betonirunkoinen kerrostalo. Yhteensä betoni päästöt ovat rakennuksen kaikista päästöistä 22,6 %. Muiden resurssityyppien päästöt ovat pienempiä.



KUVA 28. Marinan portin resurssityyppien tulokset (One Click LCA-ohjelma).

## 11 RAKENNETYYPPIEN VAIKUTUS KOKONAISPÄÄSTÖIHIN

Opinnäytetyössä selvitetään todellinen kuva siitä, miten paljon rakennustyyppien valinnalla voidaan vaikuttaa koko rakennuksen hiilijalanjälkeen. Marinan portin kokonaishiilidioksidipäästöt ovat 1,56 milj. kg CO<sub>2</sub>e. Tässä kohdassa käydään läpi pää- ja vaihtoehtoisten rakennustyyppien kokonaishiilidioksidipäästöt ja niiden osuus Marinan portin kokonaispäästöistä.

Opinnäytetyössä tutkittujen päärakennustyyppien kokonaispäästöt laskettiin Excelissä (KUVA 29). Kokonaispäästöt saatiin kertomalla pinta-ala lasketuilla hiilidioksidipäästöillä. Laskuihin otetut pinta-alat on katsottu Tekla mallista, lukuun ottamatta kevyitä väliseiniä ja paaluja. Kevyen väliseinän pinta-ala on käytetty samaa, mitä rakennustyyppien laskuissa. Paalujen päästöt huomioitiin käsin lasketun tuloksen perusteella. Päästöt on kerrottu paalun pituudella ja kappalemäärällä.

	Pinta-ala		Laketut päästöt		Kokonais päästöt	
Välipohja	1949,3	m <sup>2</sup>	69,5	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	135476,4	kg CO <sub>2</sub> e
Ulkoseinä	925,435	m <sup>2</sup>	54	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	49973,5	kg CO <sub>2</sub> e
Kantava vs	1562,5	m <sup>2</sup>	54	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	84375,0	kg CO <sub>2</sub> e
Kevyt väliseinä	1081,44	m <sup>2</sup>	7	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	7570,1	kg CO <sub>2</sub> e
Yläpohja	374	m <sup>2</sup>	20	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	7480,0	kg CO <sub>2</sub> e
Paalut			61,88	kg CO <sub>2</sub> e/m	42325,9	kg CO <sub>2</sub> e

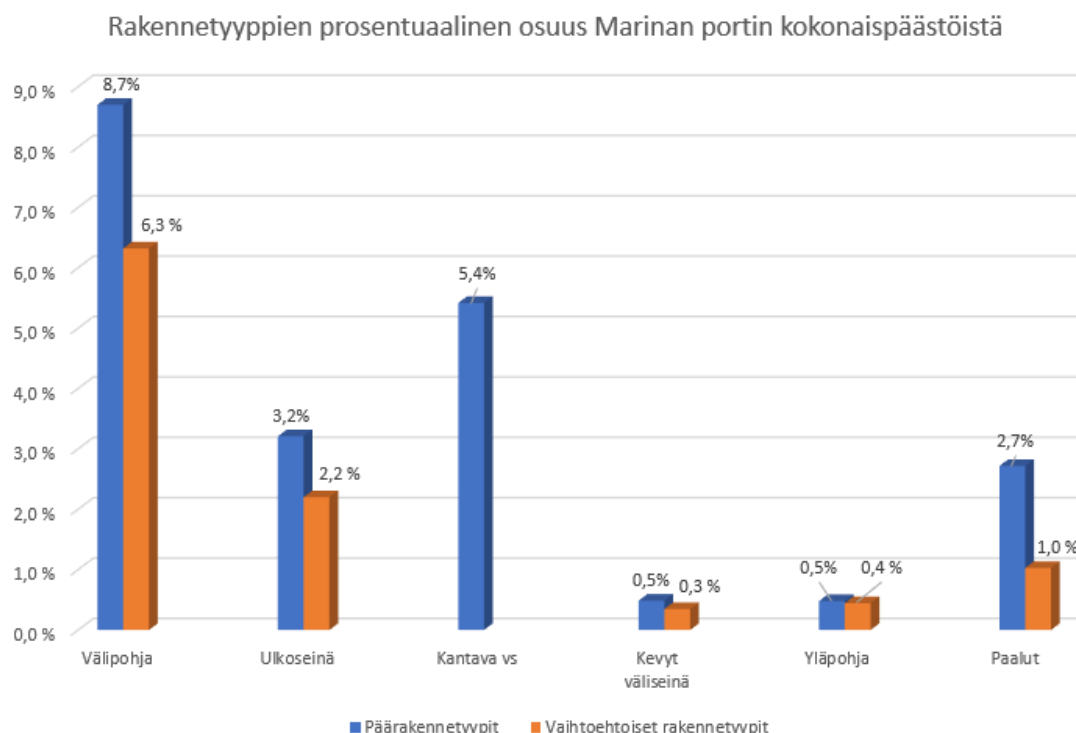
KUVA 29. Päärakennustyyppien kokonaispäästöt (Excel).

Vaihtoehtoisten rakennustyyppien kokonaispäästöt laskettiin Excelissä (KUVA 30). Rakennustyyppien pinta-alat ovat samat ja kokonaispäästöt laskettiin samalla tavalla, kuin päärakennustyypeillekin.

	Pinta-ala		Laketut päästöt		Kokonais päästöt	
Välipohja	1949,3	m <sup>2</sup>	50,5	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	98439,7	kg CO <sub>2</sub> e
Ulkoseinä	925,435	m <sup>2</sup>	37	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	34241,1	kg CO <sub>2</sub> e
Kevyt väliseinä	1081,44	m <sup>2</sup>	5	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	5407,2	kg CO <sub>2</sub> e
Yläpohja	374	m <sup>2</sup>	18,5	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	6919,0	kg CO <sub>2</sub> e
Paalut			23,4	kg CO <sub>2</sub> e/m	16005,6	kg CO <sub>2</sub> e

KUVA 30. Vaihtoehtoisten rakennustyyppien kokonaispäästöt (Excel).

Rakennetyyppien osuus Marinan portin kokonaishiilidioksidipäästöistä on saatu jakamalla rakennetyypin ja Marina portin kokonaishiilidioksidipäästöt toisillaan. (KUVA 31.) Tuloksia vertaillaan pylväsdiagrammeissa prosentteina.



KUVA 31. Rakennetyyppien prosentuaalinen osuus Marinan portin kokonaispäästöistä (Excel).

Suurin vaikutus hiilidioksidipäästöihin on paikallavaletulla välipohjalla. Sen betonin ja rauditusmäärien menekit ovat suurimmat verrattuna muihin rakennetyyppeihin. Jos Marinan portin suunnittelussa välipohjarakenteeksi olisi päädytty ontelolaattaan, olisi saatu kokonaispäästöistä 2,4 % pois.

Toiseksi suurin vaikutus Marinan portin kokonaispäästöihin on kantavalla väliseinällä. Kantavien seinien oikein mitoittamisella saataisiin sen betonin ja raudituksien määrää laskettua. Jokaisessa projektissa pitäisi käyttää jokaista materiaalia vain sen verran, mitä oikeasti tarvitsee.

Marinan portin kantavilla rakenteilla on suurin vaikutus koko rakennuksen hiilidioksidipäästöihin. Yhteensä ne ovat 17,3 %. Näihin kuuluvat välipohjat, ulkoseinät ja kantavat väliseinät. Tuloksista voidaan huomata, että on todella tärkeää suunnitella rakennuksien runkoratkaisut huolella. Rungolla on suurin betonimenekki, joka vaikuttaa eniten hiilijalanjälkeen. Vaihtoehdoilla rakennetyypeillä rungon päästöt olisivat pienentyneet 3,4 %.

Niin kuin kaikissa rakennetyyppien vertailussa saatiin selville, ovat vaihtoehdotiset rakennetyypit ympäristöystävällisempiä vaihtoehtoja. Yhteensä Marinan portin kokonaishiilidioksidipäästöjä olisi saatu pienennettyä vaihtoehdoilla rakennetyypeillä 81,8 tonnia CO<sub>2</sub>e. Jokaisella materiaalilla on merkitys rakennuksen hiilidioksidipäästöihin ja asiaa pitäisi nostaa enemmän esiin. Rakennesuunnittelussa tulisi tarkastaa jokaisen materiaalin päästöt ja valita materiaalit sen mukaan.

## 12 VIHREÄ BETONI

Betoni on rakennusteollisuudessa käytetyin rakennusmateriaali ja se valmistetaan sementistä, kiviaineksesta ja vedestä. Betonin mukaan voidaan sekoittaa, myös seosaineita parantamaan sen ominaisuuksia. Sen tuotanto on yksi merkittävimmistä ihmisen aiheuttamista hiilidioksidipäästöistä. Hiilidioksidipäästöt muodostuvat sementin tuotantoon liittyvistä prosesseista, kuten louhimisesta ja kuljetuksista. Betonilla on myös käytönaikaiset hiilidioksidipäästöt. Se kuljetetaan, asennetaan ja huolletaan työmaalla. (Kivifaktaa).

Vihreän betonin tuotannossa pyritään käyttämään vähemmän hiilidioksidia tuottavia raaka-aineita ja energian käyttöä. Suurin hiilidioksidipäästö vähennys saadaan korvaamalla sementtiä muilla raaka-aineilla. Sementin korvikkeina voidaan käyttää lentotuhkaa, masuunikuonaa, silikahöyryä ja muita sideaineita. (Vähähiilinen betoni 2015.) Betonin hiilidioksidipäästöjä voidaan myös vähentää kehittämällä uusia tuotantotekniikoita, jotka vähentävät sementin valmistuksessa tarvittavaa energiaa.

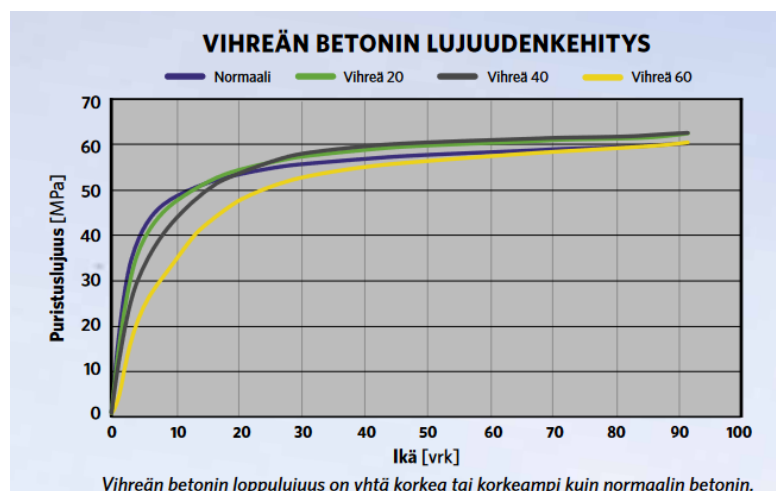
### 12.1 Todelliset käyttömahdollisuudet

Markkinoilta löytyy useampia vaihtoehtoja vihreästä betonista ja sementistä. Tuotteita löytyy esimerkiksi Rudukselta, Ruskon betonilta, Lujabetonilta, Finnsementiltä ja Parma Oy:ltä. Firmat tarjoavat asiakkailleen erilaisia vähähiilisiä tuotteita.

Vihreän betonin hintaa ei eritelty erikseen esimerkiksi Ruduksen betonihinnasto esitteessä. Aineistossa kerrotaan vain, mitä betoniin laitettavat lisäaineet maksavat. Vihreän betonin hinta lasketaan tarjouksen, määrän, käyttökohteen ja rakenteen mukaan (Rudus hinnasto).

### 12.2 Vihreän betonin käyttö

Jokaisella sementtiä korvaavalla sideaineella on vaikutus betonin ominaisuuksiin, kuten lujuuden kehittymiseen, kestävyYTEEN ja työstettävyyteen. Sementti on perinteisesti betonin tärkein sideaine ja sen kemiallinen reaktio veden kanssa muodostaa betonin lujuuden kehityksen (Finsementti betonin lujuudenkehitys). Vihreässä betonissa sideaineena käytetty lentotuhka voi hidastaa vihreän betonin lujuuden kehittymistä alkuvaiheessa ja masuunikuona taas nopeuttaa. (KUVA 32.) Kuitenkin Ruduksen markkinoilta löytyvät vihreät betonit pääsevät loppulujuudeltaan yhtä korkealle tai korkeammalle, kuin normaali betoni (Rudus).



### KUVA 32. Vihreän betonin lujoudenkehitys (Rudus Oy, 2022)

Kyseiset asiat heijastuvat suoraan työmaan toimintaan. Vihreää betonia on tällä hetkellä vähemmän markkinoilla saatavilla, joten tuotteiden saatavuus on varmistettava etukäteen. Vihreän betonin hitaampi kovettuminen aiheuttaa työmaalla aikataulujen huolellista ennakkosuunnittelua. Betonin käyttöön täytyy myös olla osaamista, jolloin työntekijöiden tulee saada lisäkoulutusta betonin ominaisuuksista ja turvallisuuskäytännöistä.

Kylmät olosuhteet eivät ole toistaiseksi vihreälle betonille suotuisia. Se näkyy betonin kovettumisen hidastumisena. Työmaalla tulee varautua pitämään rakenteet lämpimänä kaikissa olosuhteissa. Työmaalla tarvitaan siis tarkempaa vihreän betonin kovettumisolosuhteiden seuranta ja pidempää jälkihoitoa. (Vihreän betonin kovettumisen seuranta 2021).

Työmaalle vihreä betoni tulee olemaan kustannuksiltaan kalliimpaa. Kun rakennusprosessi hidastuu, se lisää kokonaiskustannuksia.

### 12.3 BY-Vähähiilisyysluokitus

BY-Vähähiilisyysluokituksen tarkoituksena on luoda rakennusalalle tuotemerkeistä riippumaton tapa esittää vähähiiliset betonilaadut. Tavoitteena on saada BY-Vähähiilisyysluokitus-menetelmästä kansallinen tapa ilmoittaa eri betonilaatujen hiilidioksidipäästöt. Luokitus helpottaa vähähiilisen betonin käyttöä ja luo yhtenäisen tavan kuvata vähähiilisiä betonilaatuja, joka on betonin valmistajista riippumaton. (Vähähiilisyysluokitus).

Betonit on luokiteltu eri luokkiin niiden hiilidioksidipäästöjen mukaan. Betonituotteelle määritetty luokka on betoniasema- ja betonireseptikohtainen. Luokituksessa on 16 betonilaatua ja 5 vähähiilisyysluokkaa (KUVA 33). Tällä hetkellä vähähiilisyysluokitus on vapaaehtoinen, mutta se tulee tulla voimaan vuoden 2025 uutta maankäyttö- ja rakentamislakia, jossa vaaditaan rakennuksille ilmasto- ja hiilidioksidipäästöjen ilmoittamista. (Vähähiilisyysluokituksen taustaraportti 2022).

BETONILAATU	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>				
	GWP.REF	GWP.85	GWP.70	GWP.55	GWP.40
C20/25 - Ei huokostettu	210	180	145	115	85
C25/30 - Ei huokostettu	230	195	160	125	90
C30/37 - Ei huokostettu	255	215	180	140	100
C35/45 - Ei huokostettu	285	240	200	155	115
C45/55 - Ei huokostettu	320	270	225	175	130
C50/60 - Ei huokostettu	340	290	240	185	135
C30/37 - Huokostettu	290	245	205	160	115
C35/45 - Huokostettu	330	280	230	180	130
C45/55 - Huokostettu	375	320	265	205	150
C50/60 - Huokostettu	395	335	275	215	160
C30/37 P0	270	230	190	150	110
C30/37 P30	300	255	210	165	120
C35/45 P0	300	255	210	165	120
C35/45 P30	330	280	230	180	130
C35/45 P50	340	290	240	185	135
C45/55 P50	375	320	265	205	150

KUVA 33. BY-Vähähiilisyysluokitukset (Vähähiilisyysluokituksen taustaraportti 2022).

BY-Vähähiilisyysluokkia merkitään tunnuksella GWP, joka tulee, sanoista global warming potential. Luokituksia on yhteensä viisi GWP.REF, GWP.85, GWP.70, GWP.55 ja GWP.40. Suomalaisten betonivalmistajien keskimääräistä päästötasoa vuonna 2021 kuvaa referenssitaso GWP.REF. Muut luokitustasot ovat siis päästötasoltaan alhaisempia, kuin referenssitaso. Luokka GWP.85 tarkoittaa, että hiilidioksidipäästöt ovat korkeintaan 85 % verrattuna referenssitasoon. Päästön yksikkönä toimii kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>. (Vähähiilisyysluokituksen taustaraportti 2022).

GWP- päästöt lasketaan Suomen Betoniyhdistyksen tekemällä BY-Vähähiilisyyslaskurilla tai kolmannen osapuolen verifioimalla laskentatyökalulla. Muilla laskentatyökaluilla lasketut tulokset saavat poiketa  $\pm 5$  kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> verrattuna BY- vähähiilisyyslaskuriin. Betonin vähähiilisyysluokitus lasketaan elinkaarenvaiheiden A1-3 mukaan. (Vähähiilisyysluokituksen käyttöohje suunnittelijoilla 2022).

Vähähiilisyysluokiteltujen betonien saatavuus on vielä heikkoa ja tilanne tulee aina tarkastaa betonin valmistajalta. Saatavuus voi vaihdella alueellisesti ja betoniasema kohtaisesti. Vähähiilisyysluokituksen mukaan GWP.40 ei ollut saatavilla vielä vuonna 2022. (Vähähiilisyysluokitus).

## 13 POHDINTA

Tässä opinnäytetyössä oli tarkoituksena selvittää, miten rakennesuunnittelulla voidaan vaikuttaa rakennuksen hiilijalanjälkeen. Työssä vertailtiin Marinan portin päärakennetyyppejä kerrostalolle tyypillisiin vaihtoehtoisiin rakennetyyppeihin. Pää- ja vaihtoehtoisia rakennetyyppejä verrattiin vielä Marinan portin koko elinkaaren aikaisiin hiilidioksidipäästöihin, jotta saataisiin kokonaiskuva siitä, miten suuri vaikutus rakennetyypeillä on rakennuksen hiilijalanjälkeen.

Marinan portin kokonaishiilidioksidipäästöiksi saatiin 1,56 milj. kg CO<sub>2</sub>e. Tuloksisista ilmeni, että kokonaishiilidioksidipäästöjä olisi voitu pienentää vaihtoehtoisilla rakennetyypeillä yhteensä 81,8 tonnia CO<sub>2</sub>e. Suurin päästölähde on sen kantava runko, joka on kokonaispäästöistä 17,3 %. Vaihtoehtoisilla rakennetyypeillä Marinan portin rungon hiilidioksidipäästöjä olisi saatu vähennettyä 3,4 %.

Rakennesuunnittelija pystyy vaikuttamaan rakentamisessa käytettyihin materiaaleihin, joiden merkitys nousee entisestään tulevaisuudessa, kun energiana käytetään vähähiilistä energiaa. Suurin materiaali menekki uudisrakentamisessa on runko, jonka suunnitteluun tulisi kiinnittää huomiota.

Jo hankesuunnitteluvaiheessa rakennukselle ja sen materiaaleille tulisi asettaa kunnianhimoiset tavoitteet, jolla saataisiin koko elinkaaren aikaisia hiilidioksidipäästöjä vähennettyä. Suunnittelussa tulisi valita mahdollisimman vähähiilisiä materiaaleja EPD-tietojen perusteella ja mahdollisesti hyödyntää kiertotaloutta. Tulevaisuutta ajatellen rakennesuunnittelussa tulee ottaa myös huomioon ilmastomuutoksen tuomat ääriolosuhteet jo nyt, ettei seuraavien vuosien aikana tarvitse lähteä korjaamaan jo rakennettuja rakennuksia.

One Click LCA-ohjelman luulin olevan opinnäytetyöhön oikea tutkimusmenetelmä, mutta huomasin ohjelmasta paljon puutteita ja epäselvyyksiä. Tekla Structures ja elinkaariarviointiohjelman välinen yhteys on vielä keskeneräinen. Joten elinkaariarviointiohjelmaa olisi pitänyt käyttää eri tavalla.

Opinnäytetyössä luotettavampi tapa laskea Marinan portin elinkaaren aikaiset hiilidioksidipäästöt olisivat niin, että One Click LCA-ohjelmaan materiaalit ja niiden määrät olisi syötetty manuaalisesti. Näin olisi saatu varmuus, että kaikki halutut materiaalit saataisiin mukaan elinkaarilaskentaan. Apuna tähän voisi tehdä Exceliin listan kaikista rakennusosista ja niiden materiaaleista. Tämä voisi auttaa saamaan virhemarginaalia pienemmäksi.

Jatkotutkimuksena rakennetyyppien neliökohtaisen vertailun voisi tehdä Ympäristöministeriön hiilijalanjäljen arviointimenetelmällä tai tehdä itse oma Excel-pohjainen hiilidioksidilaskuri. One Click LCA-ohjelma on hieman epäselkeän oloinen kyseisiin laskuihin. Ohjelman mukaan osalla materiaaleista päästöt olivat niin pieniä, että ne kuulostivat epätodenmukaisilta. Näitä olivat esimerkiksi fenolivaah-toeristelevy, jolle ohjelma antoi päästöiksi 0,5 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Valmistajan sivuiltakaan ei löydy eristeen päästöistä tietoa.

Opinnäytetyö on ollut haastavaa toteuttaa. Olen opetellut ohjelman käyttöä itsenäisesti, johon kului paljon aikaa. One Click LCA-ohjelmaan liittyy paljon standardeja ja teoriaa, joita oli aluksi vaikea ymmärtää. Opinnäytetyön aikana oli paljon vastoinkäymisiä, eikä ohjelman käyttäminen ollut mutkallista.

Tämä opinnäytetyö oli hyvä läpileikkaus siitä, mistä rakentamisen päästöt muodostuvat ja kuinka niihin pystytään vaikuttamaan. Vaikka tuloksiin ei voida luottaa täysin, voidaan opinnäytetyön pohjalta lähteä kehittämään toimeksiantajalle hiiliviisaan rakentamisen strategiaa. Itselleni opinnäytetyö antoi hyvän pohjan tulevaisuuden rakennesuunnittelijaksi, joka pystyy toteuttamaan Suomen vähähiilisiä tavoitteita.

## LÄHTEET

Rakennusteollisuus. Verkkojulkaisu. <https://www.rt.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Materiaalitehokkuus/>. Viitattu 28.2.2023

Climate Action Tracker. 2022. <https://climateactiontracker.org/global/cat-thermometer/>. Viitattu 1.3.2023.

Euroopan komissio. Verkkojulkaisu. Ilmastonmuutoksen syyt. [https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change\\_fi](https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change_fi). Viitattu 2.3.2023.

Ilmastolaki 432/2022. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2022/20220423?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=HE%20239%2F2022>. Viitattu 10.3.2023.

Ilmastolaki HE1. 2022. [https://ym.fi/documents/1410903/0/Ilmastolaki\\_HE1\\_final.pdf/95e84169-7415-926e-9d0a-502e5614e26d/Ilmastolaki\\_HE1\\_final.pdf?t=1654770493478](https://ym.fi/documents/1410903/0/Ilmastolaki_HE1_final.pdf/95e84169-7415-926e-9d0a-502e5614e26d/Ilmastolaki_HE1_final.pdf?t=1654770493478). Viitattu 8.3.2023.

Ympäristöministeriö. Verkkojulkaisu. Pariisin ilmastosopimus. <https://ym.fi/pariisin-ilmastosopimus>. Viitattu 9.3.2023.

Ympäristöministeriön tiekartta. 2017. [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Tiekartta-rakennuksen-elinkaaren-hiilijalanjaljen-huomioinnoksi-rakentamisen-ohjauksessa-4B3172BC\\_4F20\\_43AB\\_AA62\\_A09DA890AE6D-129197.pdf/1f3642e1-5d58-8265-40c1-337deeab782d/Tiekartta-rakennuksen-elinkaaren-hiilijalanjaljen-huomioinnoksi-rakentamisen-ohjauksessa-4B3172BC\\_4F20\\_43AB\\_AA62\\_A09DA890AE6D-129197.pdf?t=1603260760602](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Tiekartta-rakennuksen-elinkaaren-hiilijalanjaljen-huomioinnoksi-rakentamisen-ohjauksessa-4B3172BC_4F20_43AB_AA62_A09DA890AE6D-129197.pdf/1f3642e1-5d58-8265-40c1-337deeab782d/Tiekartta-rakennuksen-elinkaaren-hiilijalanjaljen-huomioinnoksi-rakentamisen-ohjauksessa-4B3172BC_4F20_43AB_AA62_A09DA890AE6D-129197.pdf?t=1603260760602). Viitattu 13.3.2023.

Ympäristöministeriön rakennuslaki 2023. Verkkojulkaisu. Julkaistu 1.3.2023. <https://ym.fi/-/eduskunta-hyvaksyi-rakentamisen-paastoja-pienentavat-ja-digitalisaatiota-edistavat-lait>. Viitattu 15.3.2023.

A-Insinöörit ilmasto-opas. [https://www.ains.fi/hubfs/Oppaat\\_ja\\_ladattavat\\_materiaalit/A-Insinöörit\\_Ilmastonmuutokseen%20sopeutuminen%20rakentamisen%20suunnittelussa%20-opas.pdf?utm\\_medium=email&\\_hsmi=225981722&\\_hsenc=p2ANqtz--Bh8ioVISpqjz-Cf0yOE5gxMEJtmLMOhweN7Z2iGJD8a6YXjBkkaTyoIUPcaPQynYYdqswMIFEX-hrGshTdB2iOaLFWuYKAs2YiPxbcS0gAScdunQ&utm\\_content=225981722&utm\\_source=hs\\_automation](https://www.ains.fi/hubfs/Oppaat_ja_ladattavat_materiaalit/A-Insinöörit_Ilmastonmuutokseen%20sopeutuminen%20rakentamisen%20suunnittelussa%20-opas.pdf?utm_medium=email&_hsmi=225981722&_hsenc=p2ANqtz--Bh8ioVISpqjz-Cf0yOE5gxMEJtmLMOhweN7Z2iGJD8a6YXjBkkaTyoIUPcaPQynYYdqswMIFEX-hrGshTdB2iOaLFWuYKAs2YiPxbcS0gAScdunQ&utm_content=225981722&utm_source=hs_automation). Viitattu 20.3.2023.

A-insinöörit pikaopas 2022. [https://www.ains.fi/hubfs/Oppaat\\_ja\\_ladattavat\\_materiaalit/pika-opas%20vahahiiliseen%20rakennuttamiseen%20rakennesuunnittelija.pdf?hsCtaTracking=25347596-351b-442d-937e-6b8467444240%7Cb4a20d18-b6da-4490-bff2-40cc5c0286e1](https://www.ains.fi/hubfs/Oppaat_ja_ladattavat_materiaalit/pika-opas%20vahahiiliseen%20rakennuttamiseen%20rakennesuunnittelija.pdf?hsCtaTracking=25347596-351b-442d-937e-6b8467444240%7Cb4a20d18-b6da-4490-bff2-40cc5c0286e1). Viitattu 21.3.2023.

Green Building Council Finland askeleet vähähiiliseen rakentamiseen 2023. [https://figbc.fi/wp-content/uploads/sites/4/2023/03/maaliskuu2023\\_Askeleet-vahahiiliseen-rakentamiseen.pdf](https://figbc.fi/wp-content/uploads/sites/4/2023/03/maaliskuu2023_Askeleet-vahahiiliseen-rakentamiseen.pdf). Viitattu 20.3.2023.

Anfra 2023. Betonirakenteiden ylimioittamisesta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt. Verkkojulkaisu. Julkaistu 28.3.2023. <https://anfra.fi/betonirakenteiden-ylimitoittamisesta-aiheutuvat-hiilidioksidipäästöt/>. Viitattu 3.4.2023.

IBU.data. EPD tietokanta. <https://ibu-epd.com/en/ibu-data-start/>. Viitattu 22.3.2023.

RTS-ympäristöseloste. EPD tietokanta. <https://cer.rts.fi/epd-ymparistoseloste/selaa-epd-ymparistoselosteita/>. Viitattu 22.3.2023.

NSA Yhtiöt Oy 2022. <https://www.nsa.fi/projektit/suunnitteilla/marinan-portti/>. Viitattu 20.4.2023.

Tekla Structure-ohjelma. <https://www.tekla.com/fi/tuotteet/tekla-structures>. Viitattu 17.4.2023.

One Click LCA-ohjelma. [https://www.oneclicklca.com/fi/?utm\\_source=google&utm\\_medium=paidsearch&utm\\_campaign=FI&utm\\_content=brand&gclid=CjwKCAjwvJyjBhApEiwAWz2nLRmgaoPdTLP32aQU2N5BBOKLVC7FjYb3vx3R2Ru\\_EKbVhjZRBj1CBBoc-7YQAvD\\_BwE](https://www.oneclicklca.com/fi/?utm_source=google&utm_medium=paidsearch&utm_campaign=FI&utm_content=brand&gclid=CjwKCAjwvJyjBhApEiwAWz2nLRmgaoPdTLP32aQU2N5BBOKLVC7FjYb3vx3R2Ru_EKbVhjZRBj1CBBoc-7YQAvD_BwE). Viitattu 17.4.2023.

Rakennuksen hiilijalanjäljen laskentamenetelmät 2017. Pdf-tiedosto. [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Tiekartta-rakennuksen-elinkaaren-hiilijalanjaljen-huomioonottamiseksi-rakentamisen-ohjauksessa-4B3172BC\\_4F20\\_43AB\\_AA62\\_A09DA890AE6D-129197.pdf/1f3642e1-5d58-8265-40c1-337deeab782d/Tiekartta-rakennuksen-elinkaaren-hiilijalanjaljen-huomioonottamiseksi-rakentamisen-ohjauksessa-4B3172BC\\_4F20\\_43AB\\_AA62\\_A09DA890AE6D-129197.pdf?t=1603260760602](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Tiekartta-rakennuksen-elinkaaren-hiilijalanjaljen-huomioonottamiseksi-rakentamisen-ohjauksessa-4B3172BC_4F20_43AB_AA62_A09DA890AE6D-129197.pdf/1f3642e1-5d58-8265-40c1-337deeab782d/Tiekartta-rakennuksen-elinkaaren-hiilijalanjaljen-huomioonottamiseksi-rakentamisen-ohjauksessa-4B3172BC_4F20_43AB_AA62_A09DA890AE6D-129197.pdf?t=1603260760602). Viitattu 17.4.2023.

Rakennuksen vähähiilisyiden arviointimenetelmä 2019. [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161761/YM\\_2019\\_22\\_Rakennuksen\\_vahahiilisyiden\\_arviointimenetelmä.pdf](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161761/YM_2019_22_Rakennuksen_vahahiilisyiden_arviointimenetelmä.pdf). Viitattu 17.4.2023.

Insinööritoimisto Vesitaito Oy hiilijalan- ja kädenjäljen laskenta 2020. <https://www.hirsikoti.fi/assets/images/Syysseminaarit/2020/Esitykset/Vesitaito%20Antti%20Virkkunen%20Esitys.pdf>. Viitattu 18.4.2023.

Rauditusverkon paino. Verkkajulkaisu. <https://celsa-steelservice.fi/tuotteet/raudoitusverkot/>. Viitattu 10.4.2023.

SSAB Steel piles EPD. Julkaistu 14.09.2020. Viitattu 17.5.2023.

SSAB RR- ja RD-paalut suunnittelu- ja asennusohje. 2023. Viitattu 17.5.2023.

CO2 data. <https://co2data.fi/rakentaminen/>. Viitattu 17.5.2023.

RT betonipaalujen suunnitteluohje. Pdf-tiedosto. Julkaistu 17.11.2022. <https://betoni.com/wp-content/uploads/2022/11/RT-Betonipaalut-Tuotelehti-17-11-2022.pdf>. Viitattu 17.5.2023.

Kivifaktaa. Pdf-tiedosto. [https://kivifaktaa.fi/wp-content/uploads/2017/02/Betoni-ja-ymparisto\\_2015.pdf](https://kivifaktaa.fi/wp-content/uploads/2017/02/Betoni-ja-ymparisto_2015.pdf). Viitattu 3.5.2023.

Vähähiilinen betoni. 2015. Pdf-tiedosto. [https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/08/BET1502\\_38-43.pdf](https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/08/BET1502_38-43.pdf). Viitattu 3.5.2023.

Finsementti betonin lujuudenkehitys. Verkkajulkaisu. <https://finsementti.fi/palvelut/tietoa-betonista/tietoa-betonista-pienrakentajalle-ja-rautakauppiaalle/betonin-kovettuminen/>. Viitattu 5.5.2023.

Rudus. Verkkajulkaisu <https://www.rudus.fi/ajankohtaista/2021/06/29/vihrea-betoni-pienentaa-rakentamisen-hiilijalanjalkea>. Viitattu 5.5.2023.

Rudus hinnasto. Verkkajulkaisu. Julkaistu 1.9.2022. <https://www.rudus.fi/hinnasto-ja-esitteet/hinnastot/betonihinnasto#>. Viitattu 5.5.2023.

Vihreän betonin kovettumisenseuranta. 2021. Pdf-tiedosto. [https://betoni.com/lehti/wp-content/uploads/sites/4/2021/12/BET2104\\_84-95.pdf](https://betoni.com/lehti/wp-content/uploads/sites/4/2021/12/BET2104_84-95.pdf). Viitattu 5.5.2023.

Vähähiilisyysluokitus. Verkkajulkaisu. <https://vahahiilinenbetoni.fi/#table1>. Viitattu 8.5.2023.

Vähähiilisyysluokituksen taustaraportti. 2022. [https://vahahiilinenbetoni.fi/wp-content/uploads/2022/06/by\\_vahahiilisyysluokitus\\_osa1-1406.pdf](https://vahahiilinenbetoni.fi/wp-content/uploads/2022/06/by_vahahiilisyysluokitus_osa1-1406.pdf). Viitattu 8.5.2023.

Vähähiilisyysluokituksen käyttöohje suunnittelijoilla 2022. [https://vahahiilinenbetoni.fi/wp-content/uploads/2022/06/by\\_vahahiilisyysluokitus\\_osa1-1406.pdf](https://vahahiilinenbetoni.fi/wp-content/uploads/2022/06/by_vahahiilisyysluokitus_osa1-1406.pdf). Viitattu 8.5.2023.

**LIITTEET**

Liite 1. US1 rakennetyyppi

Liite 2. VP1 rakennetyyppi

Liite 3. YP1 rakennetyyppi

Liite 4. VS1 rakennetyyppi

Liite 5. VS2 rakennetyyppi

Liite 6. Paalu 1 rakennetyyppi

Liite 7. US2 rakennetyyppi

Liite 8. VP2 rakennetyyppi

Liite 9. YP2 rakennetyyppi

Liite 10. VS3 rakennetyyppi

Liite 11. Paalu 2 rakennetyyppi

Rakennuskohde

AS OY MARINAN PORTIN MAJAKKA

Sisältö

ULKOSEINÄT KUIVAT TILAT



Työn no

Suunnittelija

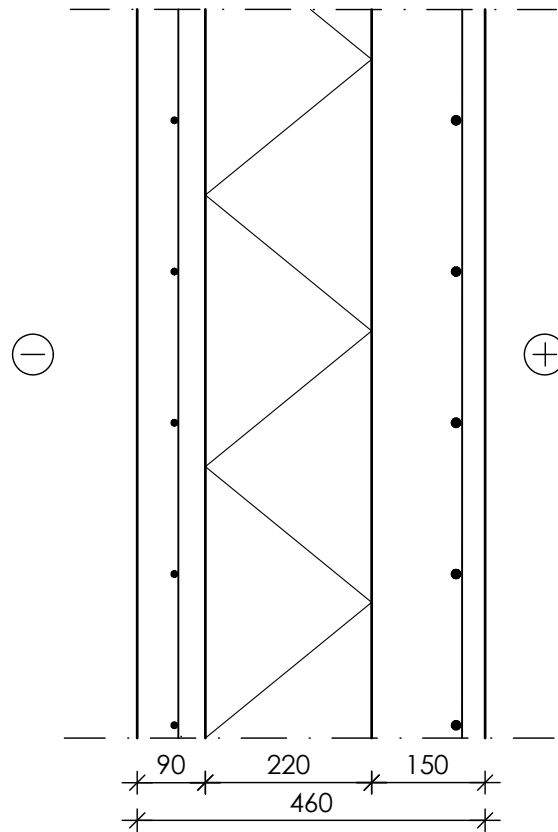
Päiväys

Piirtäjä

US1

Muutos

Mittakaava 1:10



90 mm

Betoninen ulkokuori

10,5 kg CO<sub>2</sub>e / m<sup>2</sup>

Betoni raudoitus

4,75 kg CO<sub>2</sub>e / m<sup>2</sup>

220 mm

Paroc COS 5ggt, uritettu ja urasuojattu kivilla.

18,0 kg CO<sub>2</sub>e / m<sup>2</sup>

150 mm

Betoninen sisäkuori

16,0 kg CO<sub>2</sub>e / m<sup>2</sup>

Betoni raudoitus

4,75 kg CO<sub>2</sub>e / m<sup>2</sup>

Yhteensä: 54,0 kg CO<sub>2</sub>e / m<sup>2</sup>

Rakennuskohde

AS OY MARINAN PORTIN MAJAKKA

Sisältö

VÄLIPOHJAT YLEENSÄ KUIVIEN TILOJEN KOHDILLA



IdeaStructura

Työn no

Suunnittelija

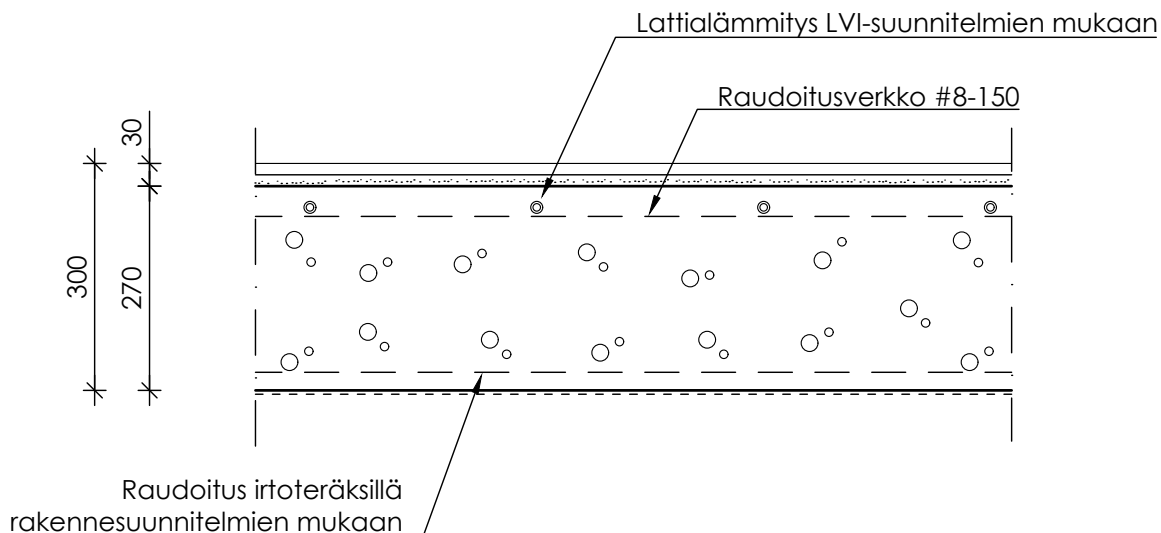
Päiväys

Piirtäjä

VP1

Muutos

Mittakaava 1:10



270 mm

Betonilaatta

47,0 kg CO<sub>2</sub>e / m<sup>2</sup>

Betoni rauditus: 18,8 kg/m<sup>2</sup>

22,5 kg CO<sub>2</sub>e / m<sup>2</sup>

Yhteensä: 69,5 kg CO<sub>2</sub>e / m<sup>2</sup>

Rakennuskohde  
AS OY MARINAN PORTIN MAJAKKA

Sisältö  
YLÄPOHJA YLEENSÄ



Työn no

Suunnittelija

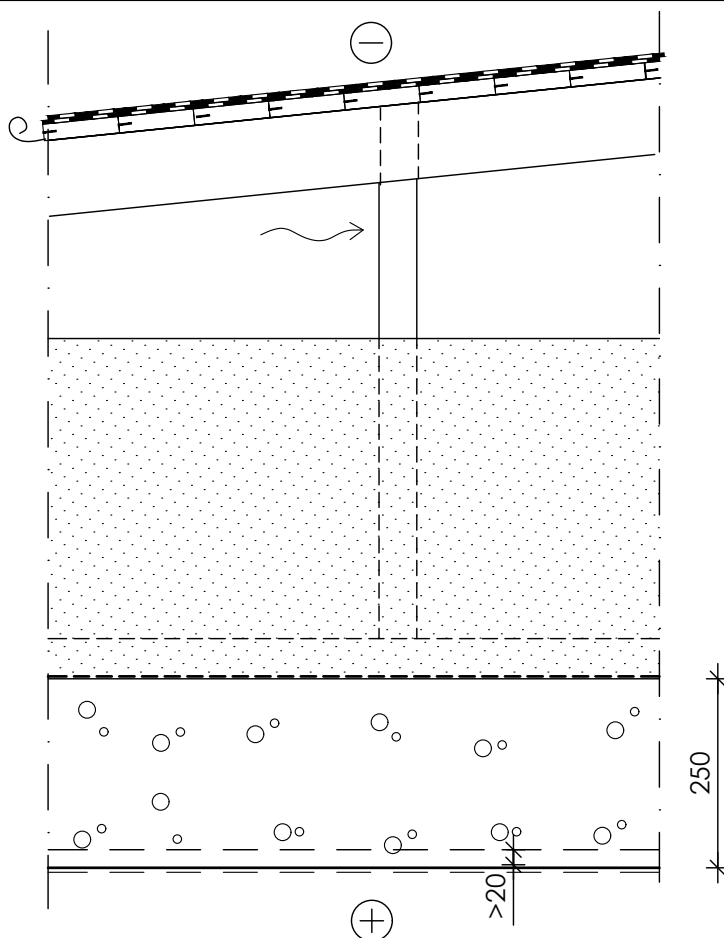
Päiväys

Piirtäjä

YP1

Muutos

Mittakaava 1:10



Kaksinkertainen kumibitumikermieristys (TL2+TL2)

7,5 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>

23 mm

Raakaponttilaudoitus (kertopuu)

0,5 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>

Kattotuolirakenteet (kertopuu)

0,5 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>

450 mm

Puhallusvilla, esim. Isover InsulSafe.

2,0 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>

250 mm

Paikallavalettu betonilaatta

8,5 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>

Betoni raudoitus 14,4 kg/m<sup>2</sup>

1,0 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>

Yhteensä: 20,0 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>

Rakennuskohde  
AS OY MARINAN PORTIN MAJAKKA

Sisältö  
KANTAVA VÄLISEINÄ YLEENSÄ



Työn no

Suunnittelija

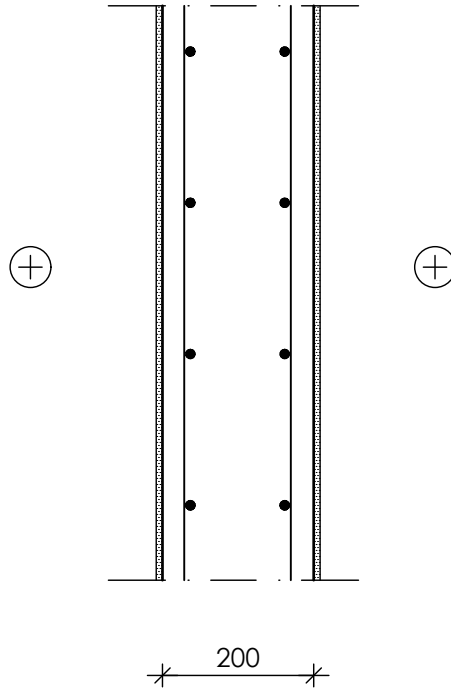
Päiväys

Piirtäjä

VS 1

Muutos

Mittakaava 1:10



200 mm

Kantava betoniseinä

37,0 kg CO<sub>2</sub>e / m<sup>2</sup>

Betoni raudoitus 17 kg/m<sup>2</sup>

17,0 kg CO<sub>2</sub>e / m<sup>2</sup>

Yhteensä: 54,0 kg CO<sub>2</sub>e / m<sup>2</sup>

Rakennuskohde  
AS OY MARINAN PORTIN MAJAKKA

Sisältö  
HUONEISTOJEN SISÄISET VÄLISEINÄT YLEENSÄ



Työn no

Suunnittelija

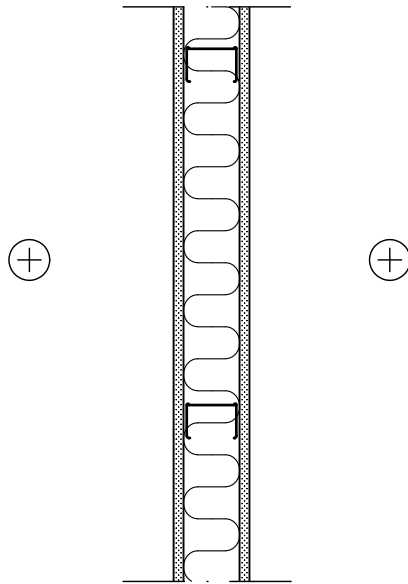
VS 2

Muutos

Päiväys

Piirtäjä

Mittakaava 1:10



13 mm Kipsilevy  
1,75 kg CO<sub>2</sub>e / m<sup>2</sup>

~70 mm Teräsranka k600  
2,5 kg CO<sub>2</sub>e / m<sup>2</sup>

Pehmeä mineraalivilla.  
1,0 kg CO<sub>2</sub>e / m<sup>2</sup>

13 mm Kipsilevy  
1,75 kg CO<sub>2</sub>e / m<sup>2</sup>

Yhteensä: 7,0 kg CO<sub>2</sub>e / m<sup>2</sup>

Rakennuskohde  
AS OY MARINAN PORTIN MAJAKKA

Sisältö  
TERÄS PAALUT



Työn no

Suunnittelija

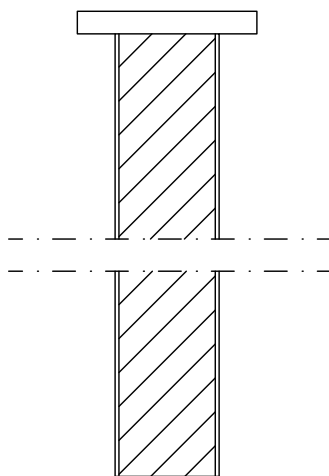
Muutos

Päiväys

Piirtäjä

Paalu 1

Mittakaava 1:10



Teräspaalu CFCHS 140,0x8.0

Yhteensä: 61,9 kg CO2e/m

Rakennuskohde

AS OY MARINAN PORTIN MAJAKKA

Sisältö

ULKOSEINÄT KUIVAT TILAT



IdeaStructura

Työn no

Suunnittelija

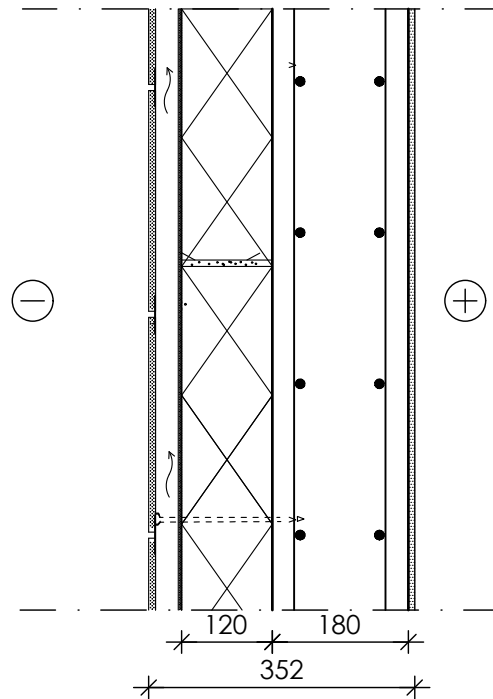
Päiväys

Piirtäjä

US2

Muutos

Mittakaava 1:10



8 mm Julkisivujärestelmä, Cembrit Patina Original

6,5 kg CO<sub>2</sub>e / m<sup>2</sup>

120mm Kingspan Kooltherm K15 C (C-s1, d0).

0,5 kg CO<sub>2</sub>e / m<sup>2</sup>

180 mm Kantava betoniseinä

20,0 kg CO<sub>2</sub>e / m<sup>2</sup>

Betoni rauditus 17 kg/m<sup>2</sup>

10,0 kg CO<sub>2</sub>e / m<sup>2</sup>

Yhteensä: 37,0 kg CO<sub>2</sub>e / m<sup>2</sup>

Rakennuskohde

AS OY MARINAN PORTIN MAJAKKA

Sisältö

VÄLIPOHJAT YLEENSÄ KUIVIEN TILOJEN KOHDILLA



IdeaStructura

Työn no

Suunnittelija

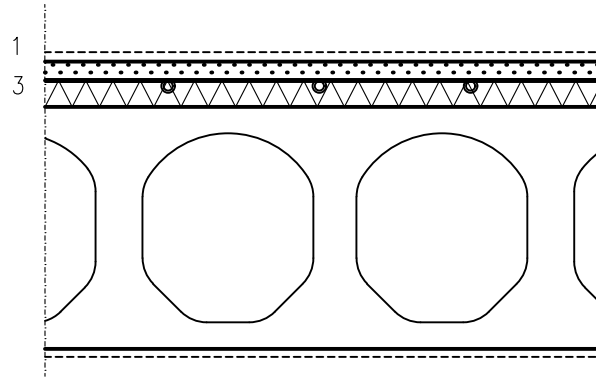
Päiväys

Piirtäjä

VP2

Muutos

Mittakaava 1:10



320 mm

Ontelolaatta

50,5 kg CO<sub>2</sub>e / m<sup>2</sup>

Rakennuskohde

AS OY MARINAN PORTIN MAJAKKA

Sisältö

YLÄPOHJA YLEENSÄ



Työn no

Suunnittelija

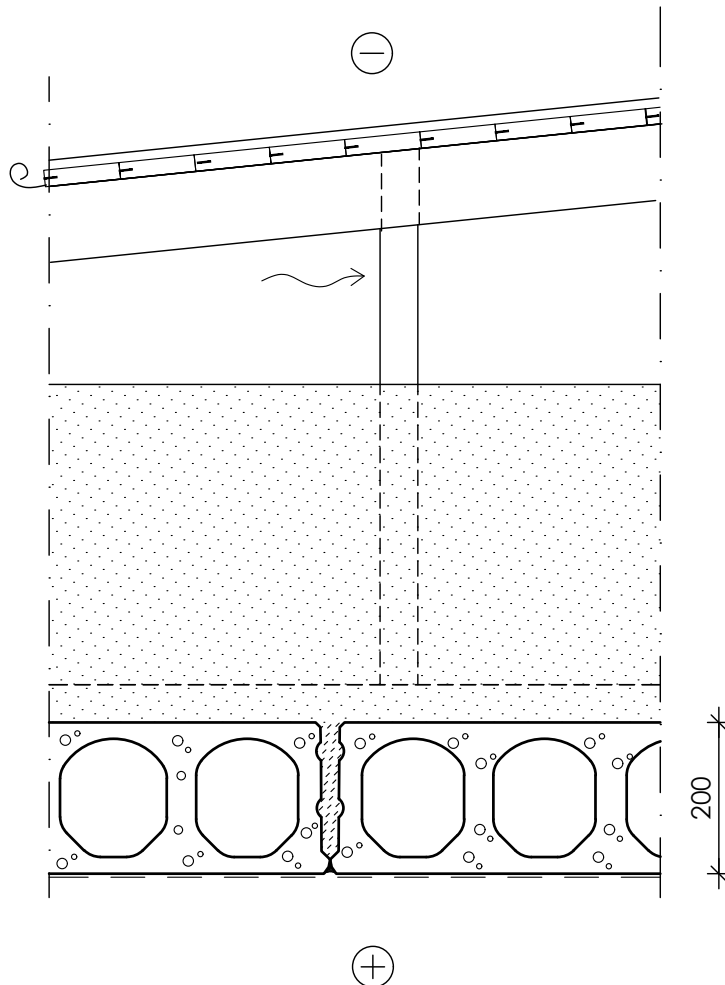
YP2

Muutos

Päiväys

Piirtäjä

Mittakaava 1:10



Peltikatto

7,0 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>

23 mm

Raakaponttilaudoitus (kertopuu)

0,5 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>

Kattotuolirakenteet (kertopuu)

0,5 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>

450 mm

Puhallusvilla, esim. Isover InsulSafe.

1,0 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>

200 mm

Ontelolaatta

9,5 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>

Yhteensä: 18,5 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>

Rakennuskohde

AS OY MARINAN PORTIN MAJAKKA

Sisältö

HUONEISTOJEN SISÄISET VÄLISEINÄT YLEENSÄ



Työn no

Suunnittelija

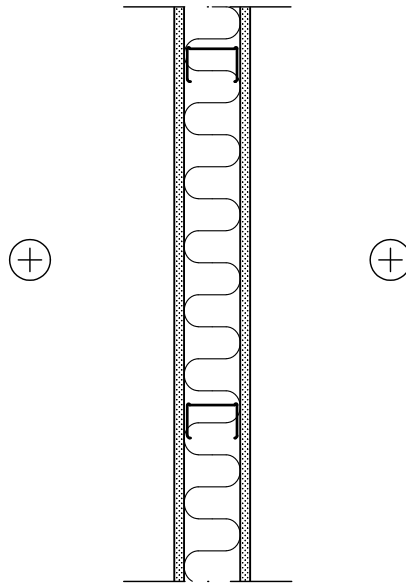
Päiväys

Piirtäjä

VS 3

Muutos

Mittakaava 1:10



13 mm

Kipsilevy

1,75 kg CO<sub>2</sub>e / m<sup>2</sup>

~70 mm

Puuranka k600

0,5 kg CO<sub>2</sub>e / m<sup>2</sup>

Pehmeä mineraalivilla.

1,0 kg CO<sub>2</sub>e / m<sup>2</sup>

13 mm

Kipsilevy

1,75 kg CO<sub>2</sub>e / m<sup>2</sup>

Yhteensä: 5,0 kg CO<sub>2</sub>e / m<sup>2</sup>

Rakennuskohde

AS OY MARINAN PORTIN MAJAKKA

Sisältö

TERÄSBETONI PAALUT



IdeaStructura

Työn no

Suunnittelija

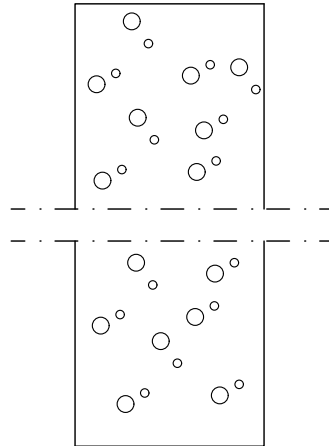
Muutos

Päiväys

Piirtäjä

Paalu2

Mittakaava 1:10



Teräsbetonipaalu 250x250 mm<sup>2</sup>

23,4 kg CO<sub>2</sub>e/m