

Rakennustyömaan hiilijalanjäljen laskenta

LAB-ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK), Rakennustekniikka
2023
Teemu Koikkalainen

Tiivistelmä

Tekijä(t) Koikkalainen, Teemu	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Valmistumisaika 2023
	Sivumäärä 31	
Työn nimi Rakennustyömaan hiilijalanjäljen laskenta		
Tutkinto Insinööri (AMK), rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus		
Organisaatio LAB-ammattikorkeakoulu		
Organisaatio Rakennusliike Evälahti Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia rakennustyömaan hiilidioksidipäästöjä ja laskea työn esimerkkikohteen rakennustyömaan hiilijalanjälki. Tavoitteena oli kehittää laskenta-alusta, jonka avulla voidaan selvittää rakennustyömaalla materiaalien valmistuksesta, materiaalien kuljettamisesta työmaalle ja työmaatoiminnoista aiheutuvat päästöt. Laskennasta rajattiin pois rakennuksen elinkaaripäästöt. Hiilijalanjäljen laskenta rakennustyömailla on tärkeää muutoksessa kohti vähähiilistä rakentamista. Työn tilaajana toimi Rakennusliike Evälahti Oy.</p> <p>Työn teoriaosuudessa on koottu tietoa hiilidioksidipäästöistä, hiilijalanjäljestä sekä rakentamisen hiilidioksidipäästöistä. Lähdemateriaalina käytettiin useita eri lähteitä, kuten tutkimuksia, asiantuntijoiden artikkeleja sekä tiedotteita. Laskennassa lähteenä käytettiin Suomen ympäristökeskuksen CO₂ päästötietokantaa sekä materiaalien valmistajien ympäristöselosteita.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena luotiin Excel laskenta-alusta, jonka avulla työn tilaaja voi laskea rakennustyömaan hiilijalanjäljen. Laskenta-alusta on muokattavissa, joten sitä pystytään käyttämään myös tulevissa kohteissa. Tutkimuksessa selvisi, että rakennustyömaat aiheuttavat merkittävän määrän päästöjä, ja että rakennusmateriaalit aiheuttavat suurimman osan rakennustyömaan päästöistä.</p>		
Asiasanat hiilidioksidipäästöt, CO ₂ , hiilijalanjälki, rakennustyömaa, vähähiilinen rakentaminen		

Abstract

Author(s) Koikkalainen, Teemu	Type of Publication Thesis, UAS Number of Pages 31	Published 2023
Title of Publication Carbon footprint calculation of a construction site		
Name of Degree Engineer (UAS), Civil and Construction Engineering		
Organization of the supervising teacher LAB University of Applied Sciences		
Organization of the client Rakennusliike Evälahti Oy		
Abstract <p>The purpose of the study was to study the carbon dioxide emissions from a construction site and to calculate the carbon footprint of a construction site. The purpose was to develop a calculation platform that can be used to determine the emissions caused by the manufacture of materials, transport of materials to the construction site and site operations. The life cycle emissions of a building were excluded from the calculation part of the thesis. Calculating the carbon footprint of construction sites is important in the transition towards low-carbon construction. The work was commissioned by Rakennusliike Evälahti Oy.</p> <p>The theoretical part of the thesis contains information on carbon dioxide emissions, carbon footprint and carbon dioxide emissions caused by construction. Several sources, such as studies, expert articles and press releases were used as a material. The sources used in the calculation were the Finnish Environmental Institute's CO₂ emissions database and the environmental product declarations of material manufacturers.</p> <p>As a result of the thesis, an Excel calculation platform was created. It allows the client to calculate the carbon footprint of a construction site. The calculation platform is customisable, so it can be used for future projects. The study found that construction sites are a significant source of emissions, and that construction materials are the main source of emissions from construction sites.</p>		
Keywords carbon dioxide emissions, CO ₂ , carbon footprint, construction site, low carbon construction		

Sisällys

1	Johdanto.....	3
2	Hiilidioksidipäästöt ja rakentaminen.....	4
2.1	Hiilidioksidipäästöt ja niiden ympäristövaikutukset	4
2.2	Rakentamisen hiilidioksidipäästöt.....	5
2.3	Betonirakentamisen hiilidioksidipäästöt.....	7
2.4	Tavoitteet Suomessa	8
3	Hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki	11
3.1	Hiilijalanjälki.....	11
3.2	Hiilikädenjälki	12
4	Esimerkkikohte	14
4.1	Kohteen yleistiedot.....	14
4.2	Kohteen rakennusmateriaalit ja rakennetyypit	15
4.3	Perustukset	16
4.4	Runko	16
4.5	Täydentävät rakenteet	21
4.6	Pintarakenteet	21
5	Rakennustyömaan hiilijalanjäljen laskeminen	23
5.1	Laskennan tavoite	23
5.2	Laskentamenetelmät.....	23
5.3	Laskennan eteneminen	24
5.4	Laskennan tulokset	26
6	Yhteenveto ja pohdinta	29
	Lähteet	31

Käsitteet

CO ₂ :	Hiilidioksidi on kemiallinen yhdiste, joka koostuu hapesta ja hiilestä. Se on luonnollinen ilmakehässä esiintyvä, maapallon ekosysteemeille välttämätön yhdiste. Sitä syntyy luonnollisesti kaikessa palamisessa, ja suurina määrinä se on haitallista terveydelle.
CO ₂ e:	Hiilidioksidiekvivalenttia käytetään kasvihuonekaasujen yhteismittana. Sen avulla lasketaan yhteen eri kasvihuonekaasujen päästöjen vaikutus kasvihuoneilmiön voimistumiseen.
EPD:	Environmental Product Declaration, ympäristöseloste. Sen avulla voidaan esittää tuotteen tai palvelun elinkaarianalyysi.
Fossiilinen energianlähde:	Tarkoittaa uusiutumattomia fossiilisia polttoaineita, jotka ovat muodostuneet maaperässä miljoonia vuosia sitten. Niitä ovat esimerkiksi kivihiili ja raakaöljystä jalostetut polttoöljyt.
Hiilidioksidipäästöt:	Ovat palamisreaktioissa syntyviä päästöjä. Fossiilisten energianlähteiden käyttö on lisännyt hiilidioksidipäästöjen määrää. Hiilidioksidipäästöjen lisääntyminen nostaa maapallon lämpötilaa, joka taas aiheuttaa ilmastonmuutoksen.
Hiilijalanjälki:	Tuotteesta, palvelusta tai toiminnasta aiheutuva ilmasto-kuorma, eli negatiivinen ilmastovaikutus.
Hiilikädenjälki:	Tuotteesta, palvelusta tai toiminnasta aiheutuva ilmastohyöty eli positiivinen ilmastovaikutus.
Hiilineutraali:	Tarkoittaa, että hiilidioksidipäästöjä tuotetaan korkeintaan sen verran, mitä ilmakehä pystyy niitä sitomaan hiilinieluihin.
Hiilinielu:	Imee hiilidioksidia ja sen sisältämää hiiltä ilmakehästä itseensä. Tärkeimpiä hiilinieluja ovat esimerkiksi metsät, maaperä ja meret. Hiilinielut ovat ilmastonmuutoksen hillitsemisen kannalta tärkeitä.
Muunnosmassakerroin:	Tarkoittaa suhdelukua, jolla muunnetaan luku mittayksiköstä toiseksi mittayksiköksi.

Portland-sementti:	Betonin tuotannossa käytettävä sementtityyppi, joka tuottaa 30 % vähemmän hiilidioksidipäästöjä, kuin perinteinen sementti.
Ppm:	Parts per million, prosentin kymmenestuhannesosa.
U-arvo:	Lämmönläpäisykerroin, kuvaa rakenteen lämmöneristyskykyä.
W/m ² K:	Lämmönläpäisykerroimen yksikkö, watti neliometriä ja kelviniä kohti.

1 Johdanto

Opinnäytetyön aihe on rakennustyömaan hiilijalanjäljen laskenta. Viime vuosikymmeninä kasvaneet hiilidioksidipäästöt ovat herättäneet paljon huolta ja niiden vähentämiseksi on jo aloitettu useita toimia. Nykyään niiden laskentaa vaaditaan luonnollisesti myös rakennustyömailta, jotka ovat esimerkiksi Suomessa yksi suurimpia päästöjen aiheuttajia. Toimeksiantajalle esitti Rakennusliike Evälahti Oy. Lähitulevaisuudessa esimerkiksi metsäteollisuusyhtiö Stora Enso alkaa vaatia urakoitsijoiltaan rakennustyömaiden hiilijalanjälkilaskelmat, joten toimeksiantajalla oli tarve niitä tutkivalle työlle.

Aihe on erittäin ajankohtainen ja tärkeä nyky maailmassa. Tällä hetkellä rakennusalan voidaan katsoa olevan eräänlaisessa murrosvaiheessa, jossa esimerkiksi maapallon kantokyky ja ympäristökysymykset määräävät suunnan. Esimerkiksi uudessa, vuonna 2025 voimaan astuvassa rakentamislaisissa, on vahvasti mukana ilmastonäkökulma. Laissa tullaan vahvistamaan esimerkiksi vähähiilistä rakentamista sekä rakentamisen kiertotaloutta. (Ympäristöministeriö 2023.)

Työn ensimmäisissä luvuissa perehdytään yleisesti hiilidioksidipäästöihin, hiilijalanjälkeen, hiilikädenjälkeen, rakentamisen hiilidioksidipäästöihin sekä Suomen tavoitteisiin vähähiilisessä rakentamisessa. Teoriaosuuden jälkeen perehdytään työn esimerkkikohteeseen ja lopuksi laskennan vaiheisiin sekä tuloksiin.

Työn laskentaosiossa ei lasketa elinkaaren päästöjä. Laskenta on rajattu materiaalien valmistuksesta, työmaalle kuljettamisesta ja materiaalien paikalleen laittamisesta aiheutuvien hiilidioksidipäästöjen laskentaan. Työssä ei myöskään vertailla, mitkä rakennusmateriaalit aiheuttaisivat vähiten hiilidioksidipäästöjä, vaan tarkoituksena on selvittää esimerkkikohteessa käytettyjen rakennusmateriaalien hiilidioksidin ekvivalenttipäästöt sellaisena kuin ne kohteen rakentamisen aikana olivat.

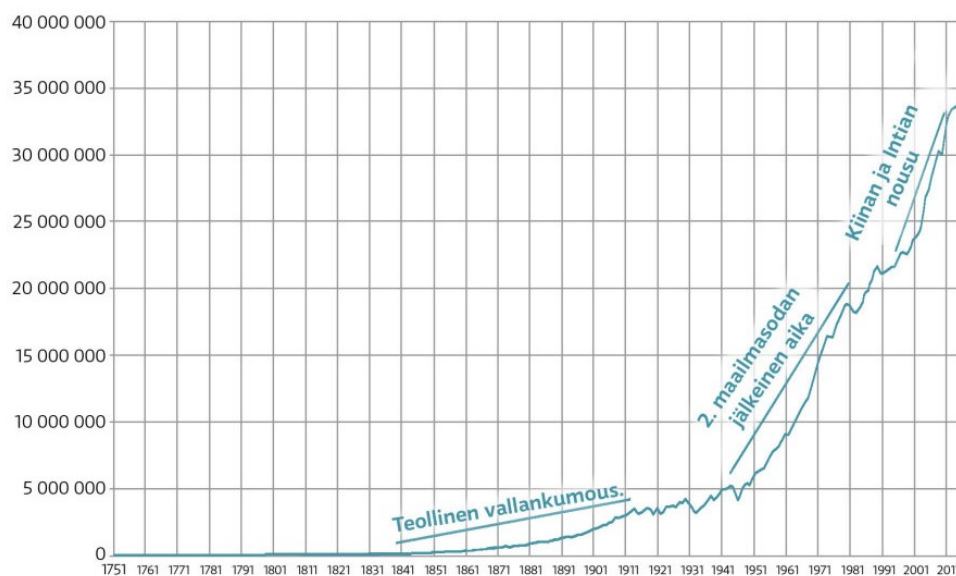
Työn toimeksiantaja, Rakennusliike Evälahti Oy, on vuonna 1950 perustettu rakennusalan yritys, jonka päätoimisena toimialueena on Etelä-Karjala. Tytäryrityksen, Rakennusliike Evälahti Uusimaa Oy:n, myötä rakennustoiminta on kuitenkin laajentunut myös pääkaupunkiseudulle. Rakennusliike Evälahti Oy on Suomen kolmanneksi vanhin, saman suvun omistuksessa oleva rakennusalan yritys, ja se työllistää 90–120 henkilöä. (Rakennusliike Evälahti Oy a.)

2 Hiilidioksidipäästöt ja rakentaminen

2.1 Hiilidioksidipäästöt ja niiden ympäristövaikutukset

Hiilidioksidi, kemialliselta kaavaltaan CO₂ on merkittävin ihmisten tuottama kasvihuonekaasu. CO₂ on luonnollinen ilmakehässä esiintyvä yhdiste, joka on maapallon ekosysteemeille välttämätön. Hiilidioksidipäästöjä syntyy luonnollisesti kaikessa palamisessa, mutta ihmisten aiheuttamat hiilidioksidipäästöt ovat kasvaneet haitallisen suuriksi. (Gaardsted 2022.) Ilmakehän hiilidioksidipitoisuus on noussut teollistumista edeltävän ajan, noin 270 ppm:stä, jo noin 420 ppm:ään ja kasvaa edelleen noin 2 ppm:ää vuodessa (Ilmasto-opas a; Eskonen & Pietarinen 2021).

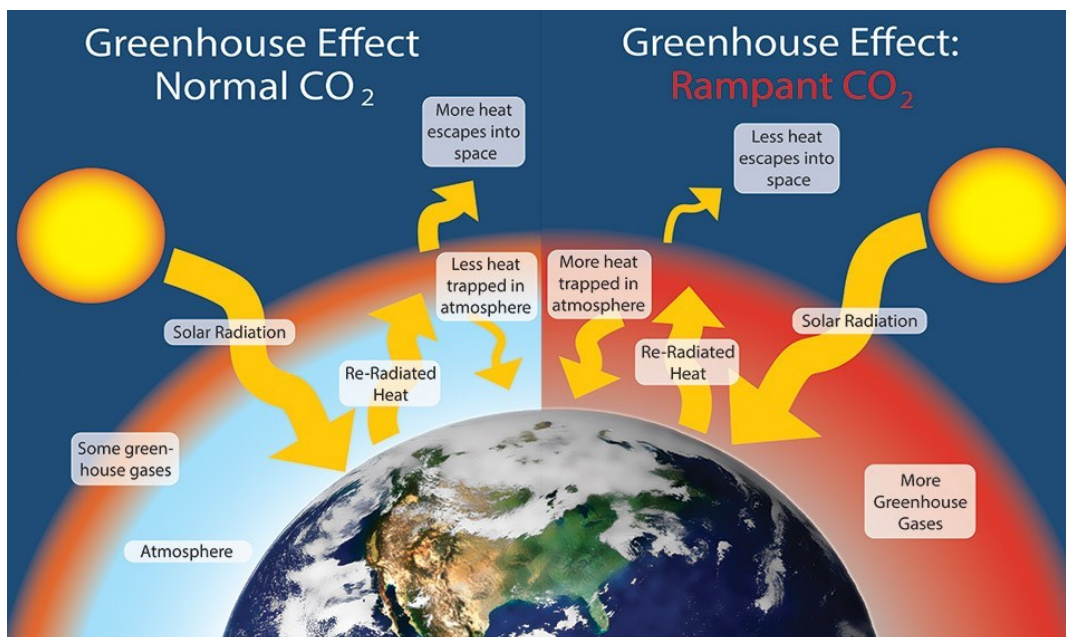
Kuviossa 1 on esitetty kolme merkittävää vaihetta, joista käy ilmi hiilidioksidipäästöjen kasvu maapallolla tiettyinä vuosina. Kuviossa on huomattavissa teollisen vallankumouksen aikana alkanut hiilidioksidipäästöjen kasvu sekä nyky maailman tilanne, jossa Kiinan ja Intian päästöt aiheuttavat suuren osan maailman hiilidioksidipäästöistä.



Kuvio 1. Kolme vaihetta maapallon vuotuisten hiilidioksidipäästöjen kasvussa (Heikkinen 2018)

Valtaosa hiilidioksidipäästöistä, joita ihmiskunta tuottaa on peräisin fossiilisten polttoaineiden, esimerkiksi öljyn, kivihiilen ja maakaasun käytöstä. Maailman ylivoimaisesti suurin hiilidioksidipäästöjen tuottaja on Kiina, jonka osuus koko maailman hiilidioksidipäästöistä on yli 30 %. (Ilmasto-opas 2022b.) Suomen päästöistä ylivoimaisesti suurin osa, noin 72 % syntyy energian tuotannosta ja kulutuksesta, kuten fossiilisten polttoaineiden ja turpeen käytöstä (Ilmasto-opas 2022c). Professori Esa Vakkilaisen mukaan Suomen hiilidioksidipäästöt ovat 0,14 % koko maailman hiilidioksidipäästöistä (Koskinen 2018).

Ilmakehässä hiilidioksidi imee maanpinnasta heijastuvaa lämpöä itseensä ja sitoo sen ilmaan estäen lämmön pääsyn takaisin avaruuteen. Tämän ansiosta maapallon lämpötila pysyy riittävän lämpimänä mahdollistaakseen elämän. Hiilidioksidipäästöjen kasvamisen seurauksena hiilidioksidia on ilmakehässä entistä enemmän ja ilmakehän läpi avaruuteen pääsee entistä vähemmän lämpöä takaisin. Tätä seuraa ilmaston lämpeneminen. (Euroopan parlamentti 2021.) Kuvassa 1 havainnollistetaan luonnollinen kasviuoneilmiö sekä vahvistunut kasviuoneilmiö.



Kuva 1. Luonnollinen kasviuoneilmiö ja hiilidioksidipäästöjen liiallisesta kasvamisesta aiheutuva ilmaston lämpeneminen (US National Park Service 2020)

Ilmaston lämpenemisellä on suuret vaikutukset maapallon ekosysteemeihin, ihmiskuntaan ja talouteen (Ilmasto-opas b). Esiteollisesta ajasta ilmasto on lämmennyt keskimäärin jo reilun asteen verran, jonka vaikutuksia on jo huomattavissa. Esimerkiksi sään ääri-ilmiöt kuten rankkasateet, myrskyt ja kuivuus ovat yleistyneet. (WWF.) Sään ääri-ilmiöiden yleistymisestä koituu ihmiskunnalle suuria taloudellisia- sekä henkilövahinkoja. Esimerkiksi vuonna 2021 Eurooppaa runnelleet tulvat aiheuttivat yli 200 ihmisen kuoleman (Omarjee ym. 2021).

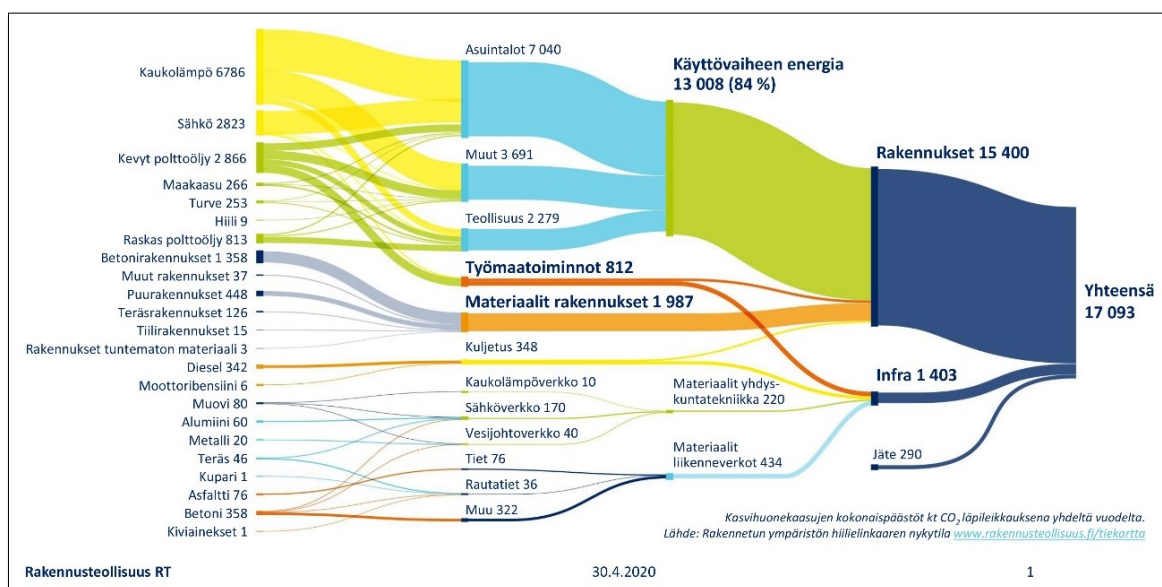
2.2 Rakentamisen hiilidioksidipäästöt

Koko maailman energiankulutuksesta noin 36 % aiheutuu rakennuksista. Energiantuotantoon liittyvistä kasviuonekaasupäästöistä taas 39 % on rakennuksien aiheuttamia. Rakennusten arvioidaan aiheuttavan Euroopassa 40 % energiankulutuksesta ja 36 % kaikista hiilidioksidipäästöistä. Suomessa rakennusten osuus kaikista päästöistä on samaa luokkaa

kuin Euroopassa (Sankelo & Alhola 2020, 1). Varsinaisen rakentamisen osuus sekä energiankäytöstä että päästöistä on noin 5 % (Rakennusteollisuus ry 2020).

Rakentamisessa päästöjä syntyy materiaalien valmistuksesta, materiaalien kuljettamisesta työmaalle, työmaatoiminnoista, rakentamisen aikaisesta lämmittämisestä, rakennuksen käytönaikaisesta energiankulutuksesta ja lopulta rakennuksen purkamisesta. Näistä päästöistä kolme neljäsosaa syntyy rakennuksen käytönaikaisesta energiankulutuksesta. Viimeisestä neljänneksestä noin puolet syntyvät rakennusmateriaaleista ja toinen puolikas työmaatoiminnoista ja kuljetuksista. (Rakennusteollisuus ry 2020.)

Kuviossa 2 on esitetty, mitkä rakennetun ympäristön tekijät aiheuttavat päästöjä ja missä määrin. Kuvioista voi huomata esimerkiksi käyttövaiheen energianpäästöjen suuruuden sekä kuinka pienen osan päästöistä työmaatoiminnot aiheuttavat. Työmaatoimintojen osuus kokonaispäästöistä on vajaat 5 %, kuvioista karkeasti laskettuna.



Kuvio 2. Rakennetun ympäristön hiilijalanjäljen nykytila (Rakennusteollisuus Ry 2020)

Vaikka vähäpäästöisempiin energialähteisiin siirtyminen on viime vuosikymmenellä pienentänyt käyttövaiheen hiilijalanjälkeä reilulla neljänneksellä, on silti rakennuksen käyttövaiheen energiankulutus ylivoimaisesti suurin päästöjen aiheuttaja (Rakennusteollisuus ry 2020). Rakennuksen käyttövaiheen energiankulutuksella tarkoitetaan energiankulutusta, joka aiheutuu rakennuksen käyttövaiheessa, esimerkiksi rakennuksen lämmittämisestä ja viilentämisestä.

Päästäkseen Pariisin ilmastopimuksen tavoitteisiin pitäisi rakennusten keskimääräisen energiatehokkuuden parantua vuoteen 2030 mennessä 30 %. Tähän päästäkseen ei pelkästään riitä, että uusien rakennusten hiilijalanjälkeä pienennetään. Keskeistä on korjata ja

parantaa olemassa olevia rakennuksia, esimerkiksi parantamalla rakennuksien eristystasoa ja hukkalämmön talteenottoa. (Sankelo & Alhola 2020, 1–8.)

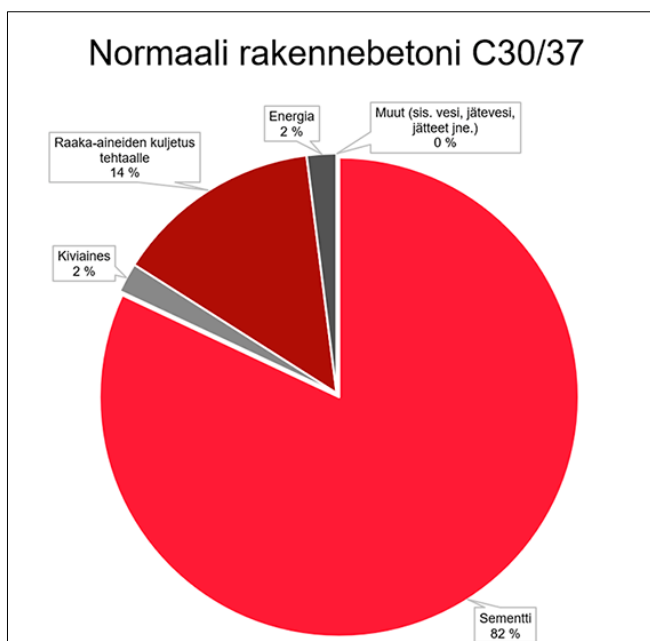
2.3 Betonirakentamisen hiilidioksidipäästöt

Opinnäytetyön esimerkkikohteessa pääasiallisena rakennusmateriaalina on teräsbetoni. Rakennusmateriaalina betoni on vanha ja sitä on käytetty jo antiikin Roomassa. Esimerkiksi Pantheonin temppeli on yksi varhaisimpia rakennuksia, jossa on käytetty betonirakentamistekniikkaa. Keskiajalla betonirakentaminen jäi unohduksiin, koska betonissa käytettyä tulli-voorituhkaa oli saatavilla vain tietyillä alueilla. 1800-luvulla keksittiin Portland-sementti, jonka jälkeen betonin käyttö laajeni nopeasti. (Betoni.)

Suomeen betonirakentamista on tullut 1800-luvun lopulla ja on alkuun ollut käytössä vain rakennusten portaikoissa. Betonin käytön laajentuessa Suomessa rakennusten runkomateriaaliksi nousi Helsingissä nopeasti uudella betoniteknikalla tehtyjä rakennuksia, kuten rautatieasema, eduskuntatalo ja Stockmann. (Betoni.)

Rakennusmateriaalina betoni on suosittu ominaisuuksiensa takia. Betonilla on todella hyvä puristuskestävyys, se on saatavuudelta ja käsiteltävyydeltään suhteellisen hyvä ja se on suhteellisen halpaa. Juuri näistä syistä betoni on kerrostaloissa todella suosittu materiaali.

Betonirakentamisessa suurin osa päästöjä syntyy betoniin tarvittavan sementin valmistuksesta. Kuten kuviossa 3 on esitetty, yhdestä kuutiosta normaalia C30/37 lujuista rakennebetonia syntyy hiilidioksidipäästöjä 268 kg. Betonin valmistamisesta aiheutuvista päästöistä 82 % tulee sementin valmistuksesta. Kaikista Suomen hiilidioksidipäästöistä noin 2 % tulee sementin valmistamisesta. Suomi on kaikkien sementtiä valmistavien maiden hiilidioksidipäästövertailussa sijalla 106. (Anttila.)



Kuvio 3. Normaalista rakennebetonista C30/37 aiheutuvat hiilidioksidipäästöt (Anttila)

2.4 Tavoitteet Suomessa

Suomella on tavoitteena olla hiilineutraali valtio vuoteen 2035 mennessä. Kaikista Suomen kasvihuonekaasupäästöistä yli 70 % aiheutuu energiantuotannosta ja -käytöstä. Tavoitteen saavuttamiseksi olennaisinta on muuttaa energiantuotantoa mahdollisimman vähähiiliseksi, jotta kasvihuonekaasuja ei syntyisi niin paljoa. (Ilmasto-opas 2022a.)

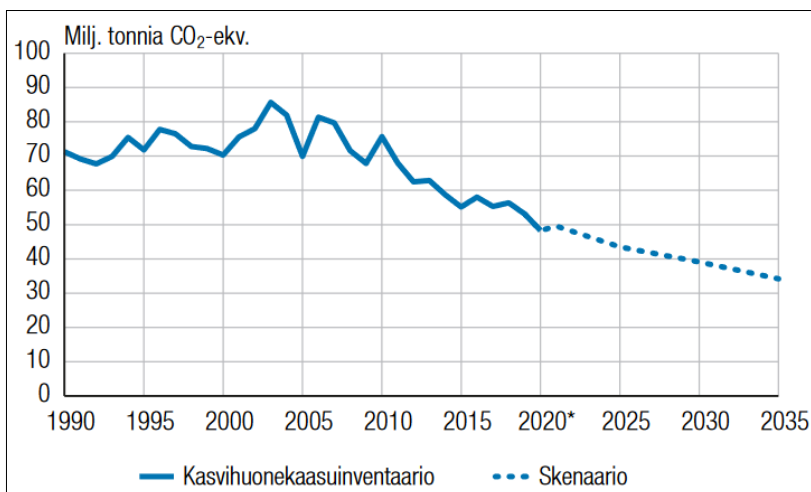
Tämä edellyttää useita eri toimia. Esimerkiksi fossiilisten energianlähteiden korvaamista vähähiilillä energianlähteillä, kuten uusiutuvalla energialla ja ydinvoimalla sekä hukkalämmön hyödyntämisellä. Tavoitteiden saavuttamiseksi myös luonnonvarojen kulutuksen tulee kääntyä laskuun ja Suomen hiilinieluja täytyy ylläpitää sekä kasvattaa. (Ilmasto-opas 2022a.)

Merkittävimmät luonnonvaroja käyttävät ja kasvihuonekaasuja tuottavat alat Suomessa ovat kiinteistö- ja rakennusala. Rakennusten elinkaareissa luonnonvarojen käyttöä voidaan vähentää eri vaiheissa: rakennusmateriaalien valmistamisesta, edeten rakennuksen käytön kautta lopulta rakennuksen purkamiseen. (Ilmasto-opas 2022a.)

Jotta päästään Pariisin sopimuksen vuoden 2030 tavoitteisiin, tulisi uusien rakennusten keskimääräisen lämmitysenergiatarpeen pienentyä noin 9–24 %. Olemassa olevien rakennusten lämmitysenergiatarpeen tulisi pienentyä noin 12–23 %. Olemassa olevan rakennuksen korjaaminen kustannustehokkaalla tavalla, esimerkiksi energiakorjauksilla ja lämmitysjärjestelmien vaihdolla, voi vähentää rakennuksen päästöjä jopa 80 %.

Rakennuskannan uusiutuessa vuodessa 1–2 %, olisi tavoitteisiin päästäkseen, jo olemassa olevien rakennusten päästöjä pienennettävä nopeasti. (Sankelo & Alhola 2020, 1–2.)

Kuviossa 4 on esitetty mahdollinen skenaario kasvihuonekaasujen päästökehityksestä vuoteen 2035. Kuviossa kasvihuonekaasupäästöjen määrä vuonna 2020 on noin 50 miljoonaa tonnia CO₂e. Vuoteen 2035 tulisi CO₂e skenaarion mukaan olla reilu 30 miljoonaa tonnia.

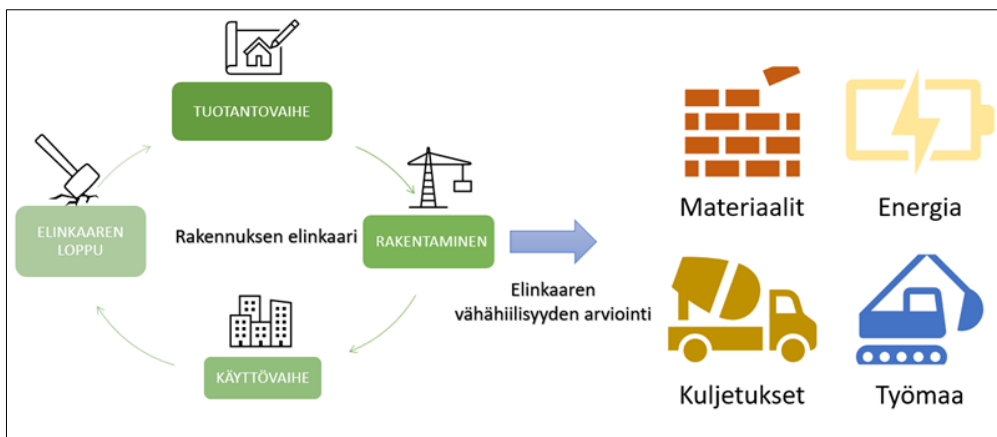


Kuvio 4. Suomen kasvihuonekaasupäästöt vuosina 1990–2020 sekä arvioitu päästökehitys vuoteen 2035 (Tilastokeskus 2021, Ilmasto-opas 2022c mukaan)

Nykyään enemmässä määrin rakennuksia tarkastellaan energiantehokkuuden ja hiilijalanjäljen kannalta, koko rakennuksen elinkaaren ajalta, pelkän käytönaikaisen energiantehokkuuden ja hiilijalanjäljen sijaan. Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkeen sisältyvät kaikki päästöt, joita rakennuksesta aiheutuu. Sen avulla pystytään arvioimaan, mihin elinkaarivaiheeseen panostamalla saadaan rakennuksen päästöjä vähennettyä tehokkaimmin. (Sankelo & Alhola 2020, 2–3.)

Suomessa rakentamisen ympäristöohjauksessa on toistaiseksi keskitytty rakennuskannan energiatehokkuuden parantamiseen ja käytönaikaisten päästöjen vähentämiseen. Nyt huomiota on alettu siirtämään lisäksi myös rakennuksen elinkaaren alku- ja loppupäähän, eli rakennusmateriaalien valmistukseen, rakentamiseen, rakennusjätteen syntymisen ehkäisyyn ja kierrätykseen. (Ympäristöministeriö.)

Kuviossa 5 on esitetty rakennuksen elinkaaren vaiheet sekä tekijät, joita käytetään rakennuksen elinkaaren vähähiilisyyden arvioinnissa. Tekijöitä ovat esimerkiksi materiaalit, energia, kuljetukset ja työmaa. Näiden tekijöiden suunnittelu sekä toteuttaminen vähähiilisesti on erityisen tärkeää rakentamisessa tulevaisuudessa, jotta päästöjä saadaan vähennettyä.



Kuvio 5. Rakennuksen elinkaari ja elinkaaren vähähiilisyden arviointi (Vinkki 2021)

Suomessa useat rakennusalan yritykset ovat alkaneet seuraamaan omia hiilidioksidipäästöjään ja tekemään ratkaisuja niiden vähentämiseksi. Myös useat materiaalien valmistajat ovat alkaneet kiinnittää huomiota hiilidioksidipäästöihin kehittämällä vähähiilisiä rakennusmateriaaleja ja vähentämällä tuotannostaan aiheutuvia päästöjä. Esimerkiksi Rudus on tuonut markkinoille Vihreän betonin, joka aiheuttaa jopa 60 % vähemmän hiilidioksidipäästöjä kuin tavallinen betoni (Rudus b).

3 Hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki

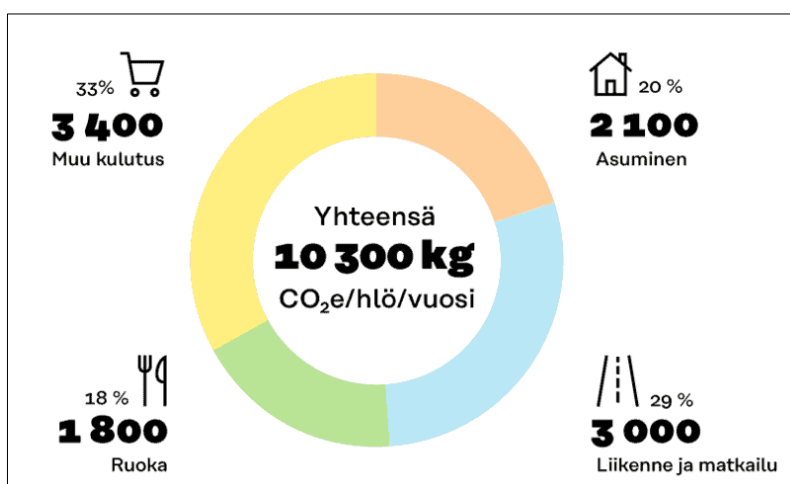
3.1 Hiilijalanjälki

Hiilijalanjäljellä tarkoitetaan ilmastokuormaa, jonka tietty tuote, palvelu tai toiminta aiheuttaa. Ilmastokuormalla tarkoitetaan kasvihuonekaasupäästöjä, jotka ovat syntyneet ja päässeet ilmaan tuotteen tai toiminnan elinkaaren aikana. (Puuteollisuus Ry 2021.)

Hiilijalanjälki on tapana ilmoittaa kasvihuonekaasujen yhteenlaskettuna määränä (CO₂e) eli hiilidioksidiekvivalentteina. Joissain tapauksissa hiilijalanjälki ilmoitetaan ainoastaan hiilidioksidin määränä, sillä hiilidioksidipäästöt kattavat 80 % kasvihuonekaasupäästöistä. (Puuteollisuus Ry 2021.) Hiilijalanjäljen laskennassa on kiinnitettävä huomiota esimerkiksi laskennan tavoitteeseen, rajaukseen, lähtötietoihin sekä toteutukseen (Siitonen 2022).

Jotta hiilijalanjäljen laskennan tulos on luotettava, tulee sen noudattaa tiettyjä sääntöjä sekä periaatteita. Hiilijalanjäljen laskentastandardit perustuvatkin elinkaariarvion standardeihin ISO 14040 sekä ISO 14044. (Siitonen 2022.) Standardilla tarkoitetaan yksinkertaisesti sanottuna kirjallista julkaisua, joka sisältää yhteisesti sovittuja vaatimuksia ja suosituksia (Suomen standardisoimisliitto Ry).

Kuvassa 2 on esitetty keskivertosuomalaisen hiilijalanjälki. Tulokset on ilmoitettu hiilidioksidiekvivalentteina ja jaoteltu kategorioihin. ”Muu kulutus” on isoin hiilijalanjäljen aiheuttaja, kattaen 33 % kokonaispäästöistä. Muuhun kulutukseen kuuluvat esimerkiksi vapaa-aika, palvelut, lemmikit sekä mökkeily (Sitra 2019).



Kuva 2. Keskivertosuomalaisen hiilijalanjälki (Sitra 2019)

Hiilijalanjäljen laskennan avulla esimerkiksi yritykset saavat tietoa tuotteensa tai palvelunsa aiheuttamista kasvihuonekaasupäästöistä. Hiilijalanjäljen laskenta voidaan myös

kohdentaa yksittäisille toiminnoille, kuten kuljetuksille. Laskennan tuloksien pohjalta voidaan pohtia päästöjä vähentäviä toimenpiteitä kustannustehokkaasti. (Green carbon.)

Hiilijalanjäljen laskennan avulla yritykset voivat myös välittää tietoa päästöistään asiakkailleen, mikä on nykypäivänä yhä tärkeämpi osa ekologisesti vastuullista yritystoimintaa. Tieto yrityksen hiilijalanjäljestä kiinnostaa niin yksittäisiä kansalaisia kuin toisia yrityksiäkin. Myös esimerkiksi julkisissa hankinnoissa kasvihuonekaasupäästöille on asetettu tarkat kriteerit. Kilpailussa etulyöntiasemassa ovatkin yritykset, jotka ovat tietoisia hiilijalanjäljestään sekä osaavat kertoa tavoitteistaan negatiivisten ilmastovaikutusten pienentämisen suhteen. (Siitonen 2021.) Tämä on nykypäivänä tärkeää myös rakennusalalla, jossa kilpailutuksessa saatetaan vaatia esimerkiksi tarkat hiilijalanjälkilaskelmat.

3.2 Hiilikädenjälki

Hiilijalanjäljen vastakohtana voidaan pitää hiilikädenjälkeä. Sillä tarkoitetaan esimerkiksi tuotteen, palvelun tai toiminnan aiheuttamaa ilmastohyötyä eli positiivista vaikutusta ympäristöön: vältettyä hiilidioksidipäästöä korvaamalla suurempipäästöinen vaihtoehto vähäpäästöisemmällä. (Gaia 2021, 8 & Puuteollisuus Ry 2021.)

Hiilikädenjäljen laskentaa ei ole vielä kansainvälisesti standardoitu, mutta laskentamenetelmiä kehitetään jatkuvasti. Valtion tekninen tutkimuslaitos (VTT) ja Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto ovat yhdessä kehittäneet menetelmän hiilikädenjäljen laskemiseen. Alkuperäinen menetelmä ja ohjeistus julkaistiin vuonna 2018, mutta sen jälkeen sitä on tarkennettu sekä laajennettu. (Vatanen 2021.) Hiilikädenjälki ilmoitetaan absoluuttisina nettoilmastovaikutuksina ja sitä ei vähennetä hiilijalanjäljestä (Ympäristöministeriö b).

Kuten hiilijalanjäljestä myös hiilikädenjäljestä hyötyvät niin yritykset kuin kuluttajat. Hiilikädenjäljen laskentaa voidaan hyödyntää tuotteen tai tuotannon kehityksessä maksimoiden positiiviset ympäristövaikutukset. Tuotteen käyttäjä pystyy siis perustelemaan valintojaan mahdollisuudella vähentää aiheuttamia negatiivisia ympäristövaikutuksia. ”Mitä suurempi kädenjälki on, sen parempi”, toteaa Lappeenrannan-Lahden yliopiston tutkijatohtori Kaisa Grönman kertoessaan yksinkertaisesta logiikasta hiilikädenjäljen taustalla. (Vatanen 2021.)

Kuvassa 3 on esitetty rakennuksen hiilikäden- sekä hiilijalanjälkeen vaikuttavia tekijöitä. Rakentamisessa hiilikädenjäljellä tarkoitetaan myönteisiä ilmastovaikutuksia, joita ei ilman rakennushanketta syntyisi. Näitä ovat esimerkiksi rakennuksen tuotteiden uudelleenkäyttö, materiaalien kierrätyksellä vältettävät päästöt sekä pitkäaikaiset hiilivarastot. Rakentamisessa hiilikädenjälkeä pystytään hyödyntämään esimerkiksi kaavoituksessa, suunnittelun ohjauksessa, tontinluovutusehdoissa sekä hankintakriteereissä. Maaperän sekä kasvillisuuden hiilinielut kasvattavat hiilikädenjälkeä, mutta niiden arviointi on merkittävästi

haasteellisempaa, kuin esimerkiksi rakennustuotteiden päästöjen laskenta. (Ympäristöministeriö b.)

Kuvassa 3 yhtenä tekijänä on mainittu rakenteisiin sitoutunut hiili. Rakennusmateriaaleista esimerkiksi betoni sitoo itseensä hiilidioksidia eli karbonatoituu. Ilmiössä hiilidioksidi reagoi sementtikiven kanssa ja muodostaa kalkkikiveä, jota alun perin käytettiin sementin valmistamiseen. Betoni sitoo hiilidioksidia itseensä koko käyttöikänsä ajan noin 5–10 % määrästä, joka sen valmistusvaiheessa syntyi. Betonin purkuvaiheessa karbonatoituminen tehostuu, kun esiin tulee huomattavasti lisää karbonatoitumatona pinta-alaa. (Rudus a.)



Kuva 3. Hiilikäden- ja hiilijalanjälkeen vaikuttavia tekijöitä (Hoivatilat 2020)

4 Esimerkkikohde

4.1 Kohteen yleistiedot

Tarkastelun kohteeksi valikoitui Evälahti Oy:n kerrostalokohde, As Oy Helsingin Kirjekyyhky 7, Helsingin Pasilassa. Kohde on kahdeksan kerroksinen uudisrakennus, jossa on 46 asuntoa. Kohde on osa Pasilan Postipuistoon valmistuvaa asuinalueita, johon rakentuu asuntoja noin 6000 asukkaalle. (Rakennusliike Evälahti Oy b.) Kuva 4 on havainnekuva esimerkkikohteesta. Kuvasta nähdään millaiselta valmis kohde tulee näyttämään ja millaisiin pintapuolisiin arkkitehtonisiin valintoihin kohteessa on päädytty.



Kuva 4. Havainnekuva esimerkkikohteesta (Rakennusliike Evälahti Oy b)

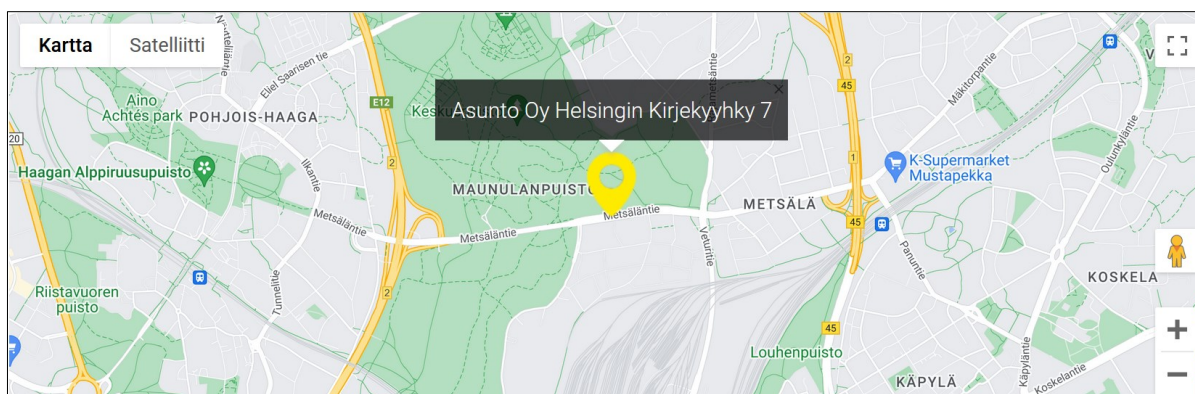
Rakennuksen kokonaispinta-ala on 4768 m², joista 3660 m² on asuintiloja ja porrashuoneita, 910 m² lisäkerrosalaa ja 198 m² on muuta alaa. Lisäkerrosalassa sijaitsee asukkaiden yhteistiloja, kuten irtaimistovarastot ja saunatilat. Muu ala sisältää teknisiä tiloja, kuten ilmanvaihtokonehuoneen. Kohteen suunniteltu käyttöikä on 50 vuotta. (Haikarainen 2021a, 2–8.)

Kuvassa 5 on havainnekuva korttelista, joka muodostuu alueelle rakentuvista kerrostaloista. Kerrostalot ovat osa samaa rakennuksista muodostuvaa kompleksia, jossa

opinnäytetyön esimerkkikohde on mukana. Kuvassa 6 on esitetty kohteen sijainti kartalla, Pohjois-Pasilassa. Kartasta voi huomata, että kohdetta ympäröi paljon luontoa. Esimerkiksi asuntojen takapihalta on suora yhteys Helsingin keskuspuistoon.



Kuva 5. Havainnekuva Kirjekyyhkyjen korttelista (Rakennusliike Evälahti Oy b)



Kuva 6. Esimerkkikohteen sijainti kartalla (Rakennusliike Evälahti Oy b)

4.2 Kohteen rakennusmateriaalit ja rakennetyypit

Kohteessa pääasiallisena rakennusmateriaalina on teräsbetoni ja pääasiallisina rakennustapoina ovat paikallavalu sekä elementtirakentaminen. Paikallavalussa kohteessa on rakennettu muotti, joka raudoitetaan, jonka jälkeen betoni valetaan muottiin.

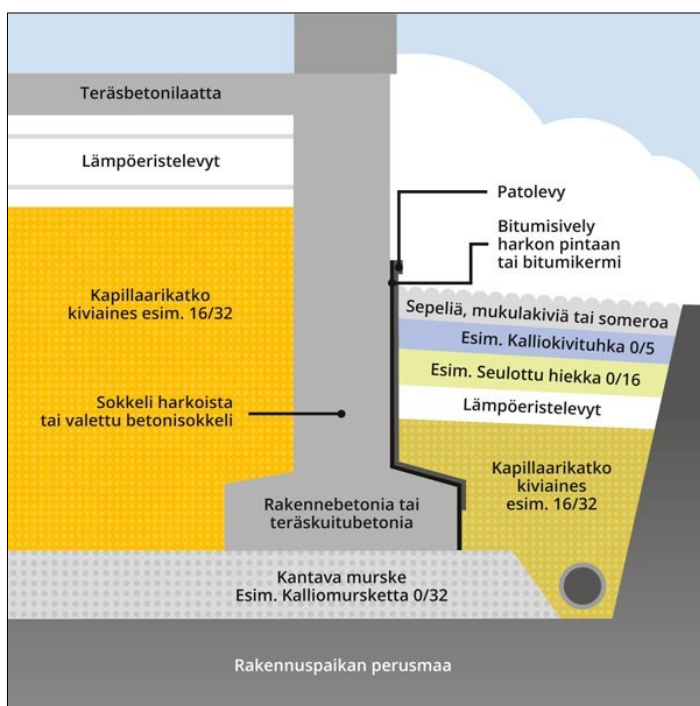
Elementtirakentamisessa kohteeseen tuodaan valmiiksi tehtaalla tehdyt elementit, jotka nostetaan paikalleen.

Kohteen rakenteissa noudatetaan Suomen rakentamismääräyskokoelman asetusta rakennuksen energiatehokkuudesta ja sen mukaisia U-arvoja. Lämmöneristeenä kohteessa on käytetty vain CE-merkittyjä tuotteita.

4.3 Perustukset

Perustukset, eli rakennuksen alimmat osat, siirtävät rakennuksen kuormat maahan. Perustuksia on useita erilaisia ja ne valitaan aina rakennettavan kohteen ja sen maaperän mukaan.

Esimerkkikohteessa perustuksina ovat teräsbetonista valetut nauha-anturat ja anturan päälle valettu sokkeli. Tämä on kerrostaloissa yleinen perustustapa, jos vain maaperä on riittävän kestävä. Perustusten materiaalina teräsbetoni on ylivoimainen, koska se kestää koko rakennuksen kuormat. Kuvassa 7 on esitetty taloissa tyypillisesti käytettävä maanvarainen perustus.



Kuva 7. Talon perustukset sokkeli harkoista tai betonista valettuna (Rudus 2019)

4.4 Runko

Rakennuksen runkoksi kutsutaan useammasta osasta koostuvaa kokonaisuutta. Rungon muodostavat ala-, väli- ja yläpohja, kantavat seinät sekä vesikatto. Runko toimii

rakennuksissa kuormien välittäjänä. Se välittää esimerkiksi vesikaton kuormat perustuksille ja perustuksilta edelleen maahan. Rungoille asetetaan vaatimuksia esimerkiksi palonkestävyyden ja ulkoisten rasiusten, kuten tuulen suhteen.

Rakennuksille on useita erilaisia runkoratkaisuja. Pienrakennuksissa kuten omakotitaloissa yleisimpiä runkoratkaisuja ovat puu- tai tiilirunko. Kerrostaloissa yleisimpänä runkomateriaalina on teräsbetoni, mutta ratkaisuja rungon suhteen on erilaisia. Yleisimmät kerrostalojen runkoratkaisut ovat teräsbetoniset elementtiseinät ja joko teräsbetoniset ontelolaatat tai paikallavaletut teräsbetonilaatat. Kuvassa 8 betonista elementtiseinää nostetaan paikalleen. Tämä näky on yleistynyt työmailla yhä enemmän viime vuosina elementtirakentamisen tehokkuuden ansiosta.

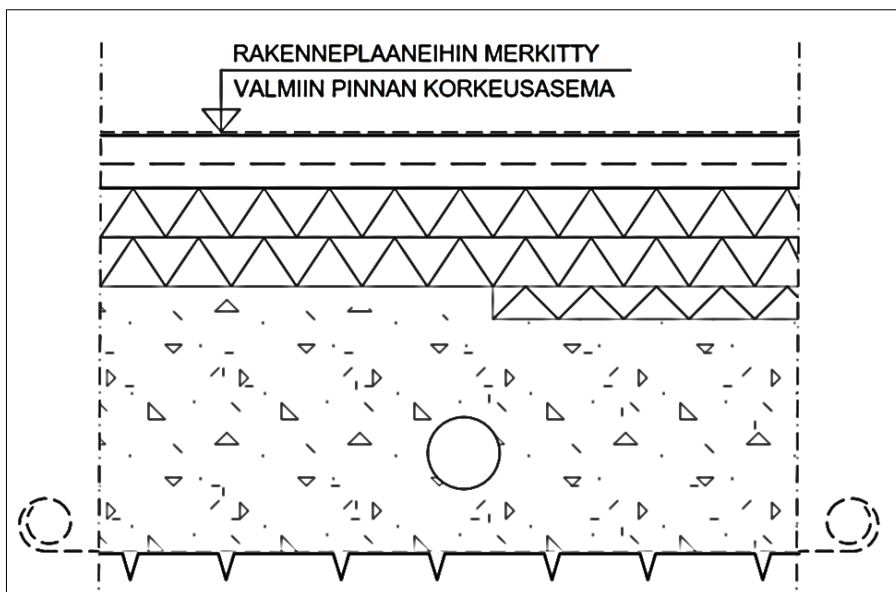


Kuva 8. Betonisen elementtiseinän paikalleen nostaminen (Takala 2021)

Alapohja

Alapohja on nimitys, jota käytetään rakennuksen alimmasta lattiasta. Yleisimpiä käytettyjä alapohjia ovat maanvarainen laatta ja rossipohja eli tuulettuva alapohja. Maanvarainen laatta valetaan nimensä mukaisesti maata vasten, kun taas rossipohja valetaan siten, että se ei ole maata vasten, jolloin alapohjasta tulee kantava.

Kuvassa 9 on esitetty esimerkkikohteen alapohjan yleisin rakennetyyppi. Esimerkkikohteessa tyypillinen alapohjarakenne on seuraavalainen: louhittu kallio, 300 mm paksu kapillaarisen vedennousun katkaiseva sepelikerros, 150 mm paksu EPS lämmöneristyskerros (yhden metrin sisällä ulkoseinistä 200 mm) ja 80 mm paksu teräsbetonilaatta. Koko rakenteen U-arvo on 0,16 W/m²K.



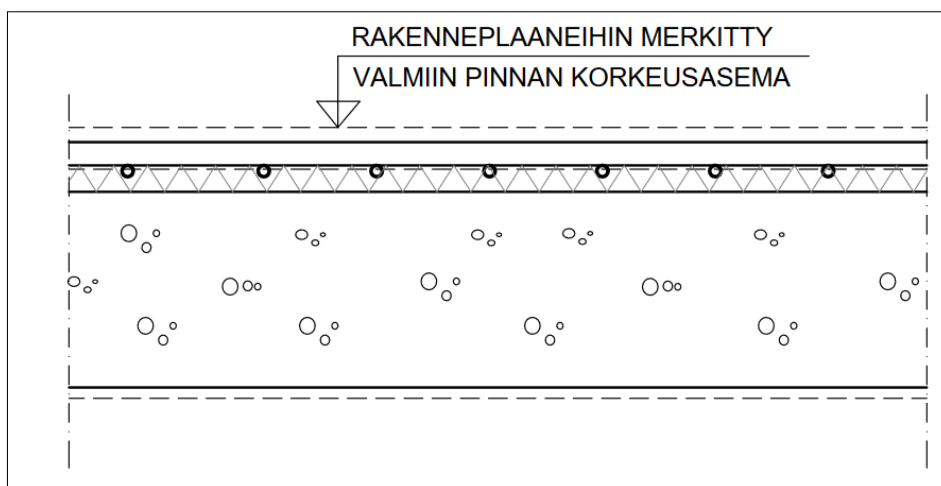
Kuva 9. Alapohjan yleisin rakennetyyppi (Haikarainen 2021)

Välipohjat ja yläpohja

Välipohja on rakennuksen osa, joka jakaa rakennusta vaakasuuntaisesti kerroksiin. Niemensä mukaisesti välipohja on alapohjan ja yläpohjan välissä. Välipohja on rakennuksen osa, jota ei välttämättä ole rakennuksessa ollenkaan. Esimerkkinä yksi kerroksiset rakennukset, joissa on vain alapohja ja yläpohja. Kerrostaloissa yleisimpiä välipohjia ovat paikallavaletut teräsbetoni-laatat ja tehtaalla valmiiksi tehdyt teräsbetoniset ontelolaatat.

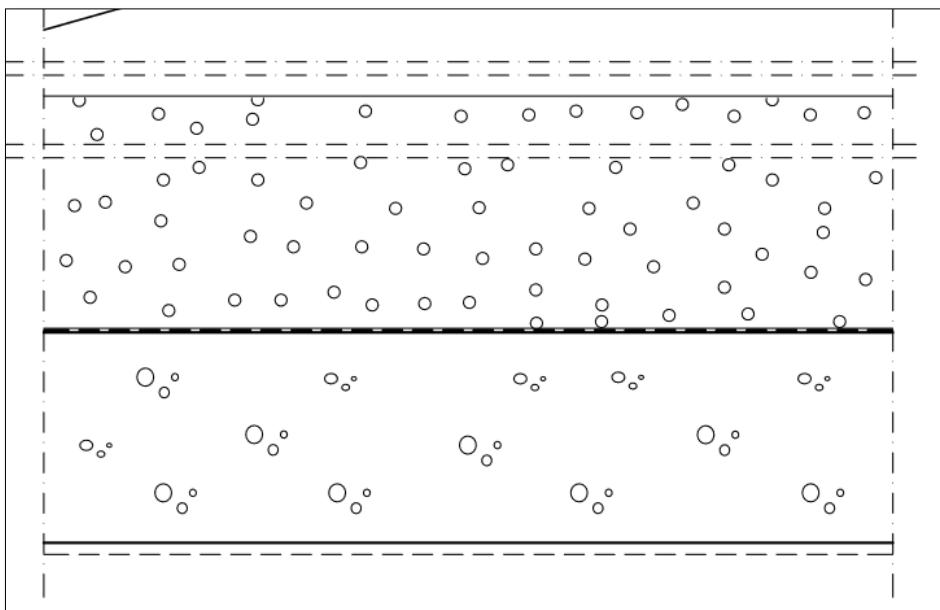
Yläpohja on rakennuksen ylimpiä osia. Yläpohjaksi kutsutaan tilaa, joka on rakennuksen ylimmän kerroksen ja vesikaton välissä. Rakennuksen osista yläpohjalla on kovimmat U-arvo vaatimukset, jotta ylöspäin nousevan lämpimän ilman karkaaminen saataisiin estettyä mahdollisimman tehokkaasti. Yläpohjan yleisin lämmöneriste on puhallusvilla.

Kuvassa 10 on esitetty esimerkkikohteen välipohjan yleisin rakennetyyppi. Esimerkkikohteen tyypillisenä välipohjarakenteena toimii paikallavalettu teräsbetoni-laatta. Kohteen välipohjarakenne on kokonaisuudessaan seuraavanlainen: 260 mm paksu teräsbetoni-laatta, 35 mm paksu askelääntä vaimentava EPS-levy ja lattialämmitys putket ja 30 mm paksu lattiata-soite.



Kuva 10. Välipohjan yleisin rakennetyyppi (Haikarainen 2021)

Kuvassa 11 on esitetty esimerkkikohteen yläpohjan yleisin rakennetyyppi. Esimerkkikohteessa tyypillinen yläpohjarakenne on seuraavanlainen: 260 mm paksu kantava teräsbetoni-laatta, 430 mm paksu lämmöneristekerros puhallusvillaa ja 200 mm korkea, tuuletettu tila (kuva 9). Tuuletetun tilan yläpuolella on vesikatto. Yläpohjan U-arvo on 0,09 W/m²K.



Kuva 11. Yläpohjan yleisin rakennetyyppi (Haikarainen 2021)

Kantavat seinät

Kantavat seinät ovat seiniä, jotka kantavat rakennuksen pystysuuntaisia kuormia ja välittävät alaspäin esimerkiksi välipohjien aiheuttamat kuormat. Rakennuksissa ulkoseinät ovat yleensä aina kantavia seiniä. Ne eivät kuitenkaan yksinään riitä, joten myös rakennuksien sisätiloissa on kantavia seiniä. Sisällä olevat kantavat seinät toimivat väli- ja yläpohjien

tukipintoina, joka lyhentää rakennuksen jännevälejä. Tämän ansiosta esimerkiksi välipohjarakenteiden ei tarvitse olla niin massiivisia tai jännitetyjä rakenteita.

Pientaloissa yleisimpiä kantavia seiniä ovat puu- tai tiilirunkoiset seinät. Kerrostaloissa kantavat seinät ovat yleisimmin teräsbetonia: joko paikallavalettuja seiniä tai elementtiseiniä. Näistä kahdesta yleisempiä ovat elementtiseinät, niiden helpon sekä nopean asennettavuuden ansiosta. Varsinkin kerrostalojen ulkoseinät tehdään melkein poikkeuksetta elementeillä, koska paikallavaletut ulkoseinät aiheuttavat paljon haasteita.

Esimerkkikohteessa kantavia seiniä on molempia, sekä paikallavalettuja teräsbetoniseiniä että teräsbetonisia elementtiseiniä. Kohteen kantavat seinät ovat paksuudeltaan 150–300 mm. Ulkoseinien U-arvo on 0,17 W/m²k.

Vesikatto

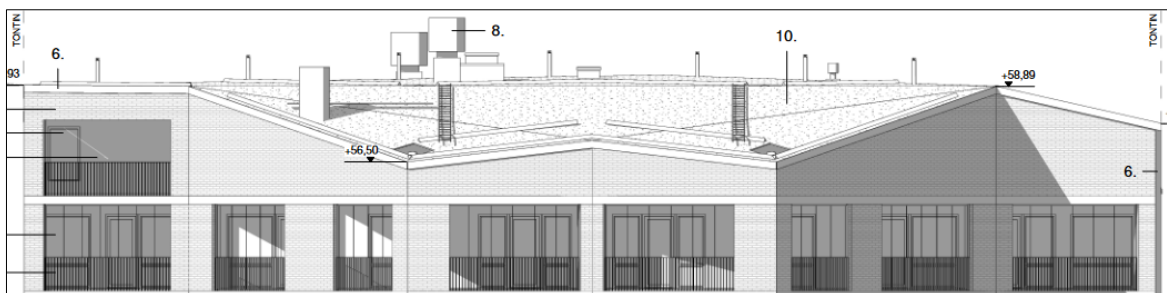
Vesikatto on rakennuksen ylin osa. Vesikaton tärkein tehtävä on estää veden pääsy yläpohjaan. Vesikaton tiiveys on siis todella tärkeää. Vesikaton yleisin runkomateriaali on puu, mutta päällysmateriaaleja on useita. Yleisimpiä vesikaton päällysmateriaaleja on tiili, pelti ja bitumikermi. Vesikattotyyppejäkin on useita. Yleisimpiä ovat tasakatto, harjakatto ja pulpettikatto.

Kattotyypeistä harjakatto on omakotitaloissa yleisin. Harjakatto koostuu yleensä kahdesta lappeesta, jotka kohtaavat toisensa katon harjalla. Harjakaton materiaaleiksi soveltuu lähes mikä tahansa materiaalivaihtoehdoista ja katon kaltevuuteen on helppo vaikuttaa. (Kattoremontti Pro.)

Pulpettikatto on kattotyyppi, joka koostuu yhdestä lappeesta ja kallistaa yhteen suuntaan. Pulpettikaton etu tasakattoon verrattuna on se, että lape on yleensä loivassa kulmassa. Tällöin vesi poistuu katolta paremmin. (Kattoremontti Pro.) Pulpettikatto on yleisin kattotyyppi kerrostaloissa.

Tasakatto on yleisimmistä kattotyypeistä riskialttein kosteusvaurioille, koska katto on tasainen eikä vesi pääse helposti poistumaan katolta. Kattotyypeistä ainoastaan tasakatto luokitellaan nykyisin riskirakenteeksi. Tasakatto on ollut yleisin kattotyyppi 1960- ja 1970-luvuilla, mutta on nykyisin uudessa rakennuksessa melko harvinainen. (Kattoremontti Pro.)

Esimerkkikohteessa vesikatto ei ole mikään näistä yleisimmistä vesikattotyypeistä, vaan se on monimuotoinen katto, jossa on kaatoa useampaan suuntaan. Monimuotoiset katot ovat arkkitehtonisesti näyttäviä, ja ovat yleistyneet uusissa kerrostaloissa, varsinkin alueilla, joihin rakennetaan taloja tiiviisti. Kuvassa 12 on esitetty esimerkkikohteen vesikaton monimuotoisuus.



Kuva 12. Vesikaton monimuotoisuus (Salmi 2021)

4.5 Täydentävät rakenteet

Rakennuksen täydentäviä rakenteita ovat esimerkiksi ikkunat, ovet ja kevyet väliseinät, eli seinät, jotka eivät ole kantavia rakenteita. Täydentävistä rakenteista ovia ja kevyitä väliseiniä käytetään tilanjakajina huoneistoissa.

Esimerkkikohteen asunnoissa yleinen kevytväliseinä tyyppi on 91 mm paksu, keskellä on 66 mm teräsranka ja teräsranan molemmilla puolilla on 12,5 mm paksu kipsikartonkilevy. Märkätilojen, esimerkiksi kylpyhuoneiden, seinät ovat kevytsorabetonisia AKO Wall elementtiseiniä. Kohteen yhteistiloissa, kuten varastotiloissa väliseinät on toteutettu tiilestä muuraamalla.

Ikkunat esimerkkikohteessa ovat puu-alumiini-runkoisia, eli ikkunan sisälle päin näkyvät karmit ovat puuta ja ulospäin näkyvät alumiinia. Kohteen ikkunoille asetettu -arvo vaatimus on $1 \text{ W/m}^2\text{k}$.

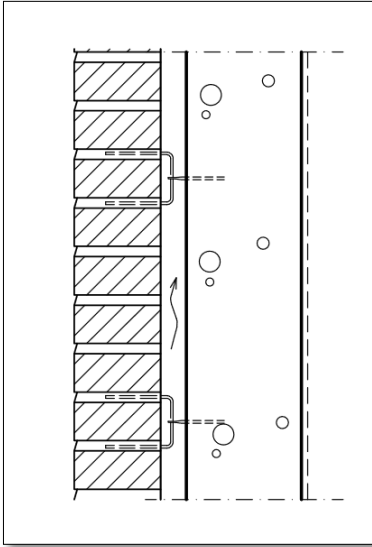
4.6 Pintarakenteet

Pintarakenteilla tarkoitetaan rakenteiden pinnassa olevia materiaaleja ja niiden vaatimia apurakenteita. Pintarakenteita ovat esimerkiksi ovien listoitukset, alakatot, laatoitukset, julkisivuverhous ja vesikate.

Esimerkiksi ennekuin kylpyhuoneen lattiaa voidaan laatoittaa, pitää kylpyhuoneeseen tehdä välipohjan päälle tasoitusvalu ja veden eristys. Tasoitevalussa tehdään kylpyhuoneeseen kaadot, jonka jälkeen tasoitevalun päälle laitetaan vedeneristyskerros ja laasti, joka pitää laatat paikallaan. Tässä laatta toimii pintarakenteena, mutta tasoitusvalu, vedeneristys ja laasti toimivat apurakenteina.

Kuvassa 13 on esitetty esimerkkikohteen julkisivuverhoilu ja apurakenne. Esimerkkikohteessa olevia pintarakenteita on esimerkiksi bitumikermi vesikatteena ja tiilimuuraus julkisivuverhouksena. Vesikatteelle apurakenteena on vesikaton runkorakenteet ja umpilaudoitus

katteen alla ja tiilimuuraukselle apurakenteena on teräksiset kiinnikkeet, jotka tulevat kantavaan seinään kiinni.



Kuva 13. Julkisivuverhoilu ja apurakenne (Haikarainen 2021)

5 Rakennustyömaan hiilijalanjäljen laskeminen

5.1 Laskennan tavoite

Laskennan tavoitteena on laskea työn esimerkkikohteen materiaalien valmistuksesta ja rakennuksen rakentamisvaiheesta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt luodun laskenta-alustan avulla. Tulevaisuudessa työn tilaaja voi käyttää laskenta-alustaa laskeakseen työmaidensa hiilidioksidipäästöjä. Saadut hiilidioksidipäästöt ilmoitetaan hiilidioksidiekvivalentti-tonneina (Tn CO₂-ekv).

Kuvassa 14 on esitetty rakennuksen elinkaaren vaiheet. Kyseisistä vaiheista laskennan kohteena olivat A1-A3, A4 ja A5 päästöt, eli materiaalien valmistuksesta, materiaalien kuljettamisesta työmaalle ja työmaatoiminnoista aiheutuvat päästöt. Rakennuksen käytönaikeisia päästöjä ei lasketa tässä työssä. Laskennassa ei myöskään huomioida talotekniikan järjestelmistä aiheutuvia päästöjä, kuten sähkö- ja ilmanvaihtojärjestelmiä.

A1-3	A4-5	B		C	D
TUOTEVAIHE	RAKENTAMINEN	KÄYTTÖVAIHE		PURKUVAIHE	LISÄTIEDOT
A1 Raaka-aineen hankinta	A4 Kuljetus työmaalle	B1 Tuotteen käyttö rakennuksessa	B5 Laajamittaiset korjaukset	C1 Purkaminen	Rakennuksen elinkaaren ulkopuolelle jäävät hyödyt tai haitat
A2 Kuljetus valmistukseen	A5 Työmaatoiminnot	B2 Kunnossapito	B6 Energian käyttö	C2 Kuljetukset	
A3 Tuotteen valmistus		B3 Korjaus	B7 Veden käyttö	C3 Purkujätteen käsittely	
		B4 Osien vaihto		C4 Purkujätteen loppusijoitus	
Kehdosta portille					
Kehdosta portille optioin					
Kehdosta hautaan					

Kuva 14. Rakennuksen elinkaarimalli (Kuittinen & Linkosalmi 2015)

5.2 Laskentamenetelmät

Laskenta-alustassa materiaalien CO₂e arvojen muunnosmassakertoimien lähteenä käytettiin pääsääntöisesti Suomen ympäristökeskuksen CO₂data päästötietokantaa. Materiaalien, joiden tietoja ei löytynyt CO₂datasta, tiedot etsittiin materiaalein valmistajien EPD-tiedoista.

Rakennusmateriaalien määrät esimerkkikohteesta oli laskettu Rakennusliike Evälahden toimesta. Laskenta-alustaan materiaalien määrät syötettiin pääosin kuutiomäärinä, jonka jälkeen laskettiin materiaaliikohtaiset kilomäärät sekä päästöt.

5.3 Laskennan eteneminen

Materiaaleille luotiin laskenta-alustaan omat välilehdet talo 80 -nimikkeistön litteroiden 1–6 mukaan. Kokonaisuudessaan laskenta-alustaan tuli 8 välilehteä. Litteroille 1–6 luotiin omat välilehdet. Litterat 7 ja 8 ovat yhdistettynä yhdeksi välilehdeksi ja lopuksi yhteenvedolle on vielä oma välilehti. Litterointi tarkoittaa tässä yhteydessä nimikkeistön jaottelua kategorioihin määräluettelossa.

1 Maa- ja pohjarakennus

Littera 1 käsittää maa- ja pohjarakennuksen, eli kaikki työmaalla tehtävät maatyöt, alkaen pintamaan poistosta, päättyen valmiisiin rakentamisalueen pintarakenteisiin. Laskenta-alustaan syötetään työmaalta kaivettavat ja pois vietävät materiaalit ja lasketaan kaivamisen sekä täytön kesto ja kaivamisen aiheuttamat päästöt. Samalla lasketaan pois vietävien ja työmaalle tuotavien kuormien määrät sekä niistä aiheutuvat päästöt. Kuvassa 15 on esimerkki laskenta-alustan osiosta, jossa lasketaan kaivinkoneen päästöt työmaalta poistettavien ja työmaalle tuotavien maamäärien ja kaivinkoneen kulutuksen perusteella.

MAA- JA POHJARAKENNUS			
Selite	Poistettavat määrät m ³	Tuotavat määrät m ³	Yhteensä m ³
Asfaltti	5		5
Pintamaa			0
Rakennuspohjat	1361	1916	3277
Kanaalit	60	351	411
Louhinta	1475		1475
Yhteensä	2901	2267	5168
Kaivinkoneen päästöt			
Kaivunopeus (arvio)		25 m ³ /h	
Täyttönopeus (arvio)		15 m ³ /h	
Kulutus		15 l/h	
Päästöt		2,7 kg CO ₂ e/l	
Kaivettava määrä	2901 m ³		
Kesto kaivu	116,0 h		
Polttoaineen kulutus kaivu	1740,6 l		
Päästöt kaivu		4,7 Tn CO₂e	
Täytettävä määrä	2267 m ³		
Kesto täyttö	151,1 h		
Polttoaineen kulutus täyttö	2267,0 l		
Päästöt täyttö		6,1 Tn CO₂e	
Päästöt yht		10,8 Tn CO₂e	

Kuva 15. Kaivinkoneen päästöjen laskeminen

2 Perustukset ja ulkopuoliset rakenteet

Litterassa 2 ”perustukset ja ulkopuoliset rakenteet” on laskettu rakennuksen perustuksien sekä esimerkiksi väestönsuojatilojen materiaalmäärät. Laskenta-alustassa materiaaleja ei ole eritelty eri rakenteille, vaan samassa litterassa käytettävät samat materiaalit on laskettu yhteen. Esimerkiksi betonin määrä on laskettu yhteen, eikä ole eritelty, mikä määrä betonia kuluu anturoihin tai alapohjaan.

Kuvassa 16 on esitetty rakennuksen litteraan 2 kuuluvien EPS lämmöneristeiden, betonin sekä betonin raudoitusten hiilidioksidiekvivalenttipäästöt. Tässä vaiheessa laskentaa on huomioitu ainoastaan A1-A3 päästöt, eli materiaalien valmistuksesta aiheutuvat päästöt. Laskenta-alustaan EPS:n ja betonin määrät syötetään kuutioissa. Tämän jälkeen laskenta-alusta laskee niiden kilomäärän ja sen perusteella hiilidioksidiekvivalenttipäästön.

PERUSTUKSET JA ULKOPUOLISET RAKENTEET							
A1-A3 Materiaalien valmistuksen päästöt							
Materiaali	Määrä	Yksikkö	Hukkakerroin	Tiheys kg/m ³	Määrä kg	CO ₂ e/kg	Tn CO ₂ e
EPS	96,32	m ³	1,03	16	1587,4	3,5	5,6
Betoni c25/30		m ³	1,05	2400	0	0,115	0,0
Betoni c30/37	300	m ³	1,05	2400	756000	0,13	98,3
Betoni c35/47		m ³	1,05	2400	0	0,14	0,0
Raudoitus	19810	kg	1,05		20800,5	0,67	13,9

Kuva 16. Litteran 2 betonin ja raudoituksen päästöjen laskeminen

3 Runko- ja vesikattorakenteet

Litterassa 3 on laskettu materiaalit, joita on käytetty rakennuksen rungossa ja vesikatossa. Litteralle 3 on suoritettu päästölaskelma samalla tavalla kuin litteralle 2. Materiaalien määrät on syötetty laskenta-alustalle kuutioina, poikkeuksena betonin raudoitus, teräsrakenteet ja bitumikermi. Raudoitus ja teräsrakenteet on syötetty kiloina, ja bitumikermin määrä neliömetreinä.

4 Täydentävät rakenteet

Täydentävien rakenteiden osiossa on laskettu päästöt, joita syntyy esimerkiksi kohteen ikkunoiden, ovien ja väliseinämateriaalien valmistuksesta. Poiketen aikaisemmista litteroista, täydentäville rakenteille yleisin materiaalien yksikkö on neliömetri eikä kuutio. Esimerkiksi ovet ja ikkunat on syötetty laskenta-alustaan neliömetreinä.

5 Pintarakenteet

Pintarakenteissa on laskettu rakennuksen pintamateriaalien ja niiden apurakenteiden aiheuttamat päästöt. Pintamateriaaleista suurin osa, esimerkiksi lattiaparketit ja -maalit on syötetty laskenta-alustaan neliömetreinä.

6 Kalusteet, varusteet ja laitteet

Littera 6 sisältää asuntojen sekä yhteiskäyttötilojen, esimerkiksi yhteisen saunatilan, keittiö- ja kylpyhuonekalusteet sekä -tarvikkeet. Kuvassa 17 on esitetty litteran 6 materiaalien, keittiön ala- ja yläkaappien, valmistuksesta aiheutuneiden päästöjen laskeminen.

KALUSTEET, VARUSTEET, LAITTEET				
Keittiöiden määrä	53	kpl		
Keittiöneliöiden määrä	514,4	m ²		
Ala- ja yläkaapin väli	0,47	m		
Kylpyhuoneiden määrä	53	kpl		
Muiden kaapistojen määrä	530,88	m ²		
Nimike	Paino		Päästöt kg/yks	Päästöt Tn CO ₂ e
Keittiö yläkaappi	18 kg/m ²		1,6	7,25 Tn CO ₂ e
Keittiö alakaappi	30 kg/m ²		1,6	12,09 Tn CO ₂ e

Kuva 17. Litteran 6 keittiökaappien päästöjenlaskenta

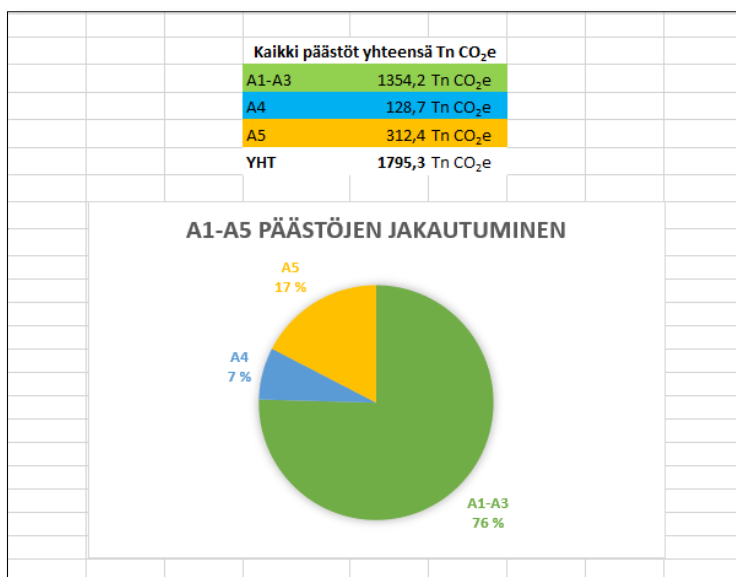
Työmaatoiminnot

Litteroihin 7 ja 8 kuuluu erilaisia työmaatoimintoihin liittyviä päästökijöitä. Niitä ovat esimerkiksi työkoneet, kuten torninosturi ja työmaan sähkönkulutus. Laskenta-alustassa työmaatoimintoihin on otettu huomioon myös materiaalien kuljetuksista aiheutuvat päästöt, eli A4 päästöt.

5.4 Laskennan tulokset

Laskennan tulokset on ilmoitettu hiilidioksidiekvivalenttioneina (Tn CO₂e). Päästöt on ilmoitettu kahdella eri tavalla: litteroiden 1–6 materiaalien valmistuksen päästöinä ja A1-A5 päästöjen yhteenlasketulla tuloksella. A1-A5 päästöjen yhteenlasketuista päästöistä on laskettu lisäksi rakennuksen päästöt yhtä neliometriä kohden.

Esimerkkikohteen kokonaispäästöiksi saatiin 1795,3 Tn CO₂e. Päästöistä 76 % aiheutui rakennusmateriaalien valmistamisesta, 7 % rakennusmateriaalien kuljetuksesta ja 17 % työmaatoiminnoista. Kuvassa 18 on esitetty rakennuksen A1-A5 päästöjen määrät tonneina hiilidioksidiekvivalenttia ja niiden jakautuminen prosentteina.



Kuva 18. A1-A5 päästöjen jakautuminen

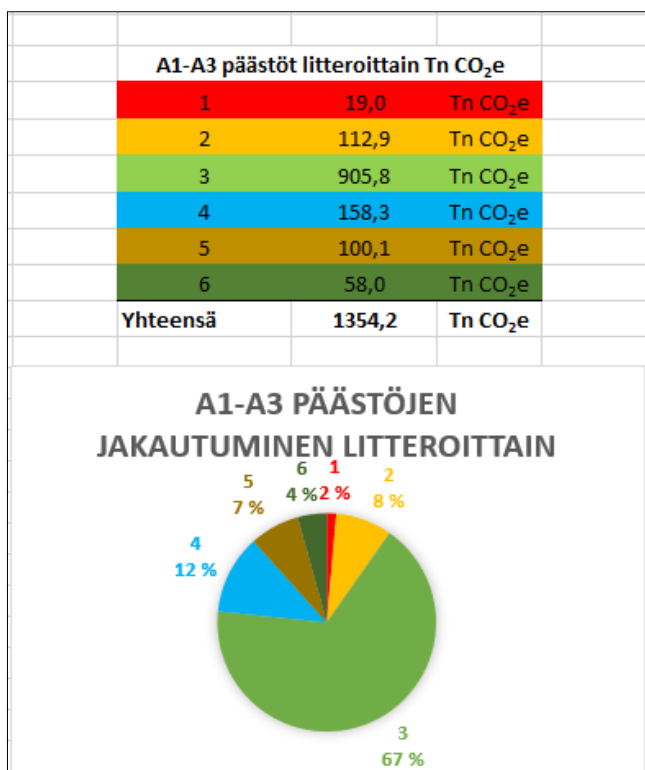
Kuvassa 19 on esitetty rakennuksen päästöjen laskeminen yhtä neliometriä kohden. Laskettaessa rakentamisesta aiheutuvia päästöjä rakennettua neliometriä kohden jaettiin yhteenlasketut päästöt rakennuksen bruttoneliömäärällä. Tulokseksi saatiin 376,5 kg CO₂e/m².

Päästöt rakennettua neliometriä kohden	
Rakennuksen neliömäärä	4768 brm ²
Yhteenlasketut päästöt	1795,3 Tn CO ₂ e
Päästöt/m²	376,5 kg CO₂e/m²

Kuva 19. Päästöt neliometriä kohden

Rakennusmateriaalien valmistuksesta aiheutui 1354,2 Tn CO₂e, joka on 76 % kaikista rakentamisesta syntyneistä päästöistä. Kuvassa 20 on esitetty A1-A3 päästöjen jakautuminen litteroittain. Litteroista suurimmat päästöt aiheutuivat litterasta 3 ”runko- ja vesikattorakenteet”. Tämän selittää se, että kyseinen littera on laajin ja sisältää määrällisesti eniten materiaaleja. Litteran 3 materiaalit muodostavatkin koko rakennuksen painosta noin 80 %.

Kuvasta 20 voidaan myös nähdä, että vähiten päästöjä tuli litterasta 1 ”maa- ja pohjarakennus”. Tämän selittää se, että kyseisessä litterassa ei ole materiaaleja, joiden päästöjä laskea, vaan pelkästään työkoneiden päästöt. Materiaalien valmistuksesta aiheutuvat päästöt ja niiden jakautuminen on esitetty kuvassa.



Kuva 20. A1-A3 päästöjen määrät ja jakautuminen

6 Yhteenveto ja pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia rakentamisen hiilidioksidipäästöjä ja luoda hiilijalanjäljen laskenta-alusta. Tavoitteena oli laskea materiaalien valmistuksesta ja rakennuksen rakentamisvaiheesta aiheutuvat päästöt. Opinnäytetyö koostui teoria- sekä laskentaosuudesta. Työssä perehdyttiin myös esimerkkikohteeseen, jonka materiaalmääristä laskenta-alusta luotiin.

Teoriaa käsitteleviin lukuihin materiaalia löytyi paljon, sillä aihe on ollut pitkään erittäin ajankohtainen ja tärkeä. Hiilidioksidipäästöistä, hiilijalanjäljestä sekä rakentamisen hiilidioksidipäästöistä on saatavilla todella paljon tietoa. Haasteena olikin teoriaosuuden rajaaminen niin, että se on tarpeeksi informoiva, muttei liian laaja. Siksi työssä pyrittiin käsittelemään hiilidioksidipäästöihin liittyviä kysymyksiä, kuten hiilijalanjälkeä ja rakentamisen hiilidioksidipäästöjä. Esimerkiksi aiheeseen liittyvään ilmaston lämpenemiseen sekä ilmastomuutokseen ei tässä työssä perehdytty tarkasti edellä mainitusta syystä.

Laskenta-alusta onnistuttiin toteuttamaan niin, että sen avulla pystytään laskea talo 80-nimikkeistön mukaisten litteroiden materiaalien päästöt. Laskenta-alustan toteuttamisen alkuvaiheessa haasteeksi osoittautui laskenta-alustan ulkomuodon ideointi niin, että se on selkeä ja tarkoituksenmukainen. Lopulta toteutus kuitenkin täytti nämä kriteerit.

Myös materiaalien tarkkojen päästötietojen löytäminen oli ajoittain haasteellista ja päästötietoja joutui joidenkin materiaalien kohdalla etsiä useilta materiaalienvalmistajien sivuilta. Päästötiedot saattoivat myös vaihdella eri materiaalienvalmistajien mukaan, mikä aiheutti hankaluuksia luotettavan tiedon käyttämisessä. Päästötiedot ovat kuitenkin pääsääntöisesti Suomen ympäristökeskuksen CO₂data päästötietokannasta, jonka tietoja voidaan pitää luotettavana. Tulosten yleistettävyyttä voidaan kuitenkin epäröidä päästötietojen vaihtelun vuoksi.

Laskenta-alusta luotiin vain työn tilaajan käyttöön. Tulevaisuudessa se ei kuitenkaan välttämättä riitä täyttämään tilaajan tarpeita kokonaisvaltaisesti. Laskennassa ei ole otettu huomioon esimerkiksi rakennuksen elinkaarta. Tilaajat saattavat kuitenkin vaatia yritykseltä elinkaarilaskelman, jota tässä työssä ei ole laskettu. Työn tilaaja pystyy kuitenkin halutesaan muokkaamaan ja tekemään tarpeelliseksi kokemiaan lisäyksiä Excel laskenta-alustaan, sillä se on täysin muokattavissa.

Opinnäytetyön tulosten perusteella voidaan todeta, että rakennusmateriaalien valmistuksesta, materiaalien kuljetuksesta työmaalle sekä työmaatoiminnoista syntyy suuri määrä päästöjä. Puhutaan kuitenkin vajaan 1,8 miljoonasta kilosta hiilidioksidin ekvivalenttipäästöjä. Laskennan tuloksista voidaan todeta myös rakennusmateriaalien suuri osuus

rakentamisen päästöistä. Ne kattavat nimittäin 76 % päästöistä. Nykypäivänä vähähiilisempiä rakennusmateriaaleja on kuitenkin jo kehitetty ja rakennusteollisuus kehittyä jatkuvasti luoden uusia vihreämpiä innovaatioita.

Työn kautta esiin nousseita jatkotutkimusideoita ovat rakennuksen elinkaaren päästöjen sekä talotekniikasta aiheutuvien päästöjen liittäminen mukaan hiilijalanjäljen laskenta-alueeseen. Silloin saataisiin kokonaisvaltainen kuva rakennuksen hiilijalanjäljestä. Toinen mielenkiintoinen jatkotutkimusidea voisi olla betonin hiilikädenjäljen eli ilmastohyödyn tutkiminen. Vaikka betonin valmistuksesta ja käytöstä aiheutuu hiilidioksidipäästöjä, alkaa betoni ajan saatossa karbonatisoitumaan eli sitomaan hiilidioksidia takaisin itseensä, jolloin se ikään kuin kompensoi aiheuttamiaan päästöjä.

Lähteet

Anttila. Normaali rakennebetoni C30/37. Viitattu 19.3.2023. Saatavissa <https://www.ruskon-betonietela.fi/puhtaampaa-betonia-osa-1-betoniteollisuuden-hiilidioksidipaastot/>

Eskonen, H. & Pietarinen, I. 2021. Ilmaston lämpenemisen kriittiset hetket. Yle. Viitattu 6.3.2023. Saatavissa <https://yle.fi/a/3-12113578>

Euroopan parlamentti. 2021. Kasvihuonekaasupäästöt EU:ssa ja maailmalla. Viitattu 6.3.2023. Saatavissa <https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20180301STO98928/kasvihuonekaasupaastot-eu-ssa-ja-maailmalla-infografiikka>

Gaardsted, N. 2022. Mistä vapautuu eniten hiilidioksidia? Tieteen kuvalehti. Viitattu 6.3.2023. Saatavissa <https://tieku.fi/ilmast/ilmastonmuutos/mista-vapautuu-eniten-hiilidioksidia>

Green carbon. Päästöjen laskenta. Viitattu 27.3.2023. Saatavilla https://greencarbon.fi/paastojenlaskenta/?utm_term=rakentaminen%20hiilijalanj%C3%A4lki&utm_campaign=Rak+tarvike+laskenta&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&hsa_acc=4063989603&hsa_cam=13512592507&hsa_grp=127253688367&hsa_ad=527572028626&hsa_src=q&hsa_tgt=kwd-1672572576945&hsa_kw=rakentaminen%20hiilijalanj%C3%A4lki&hsa_mt=b&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&gclid=Cj0KCQjww4-hBhCtARIsAC9gR3YXrveGSO1j2En02LYiT-jtdmDg1U0FFs4NkQbdUgNZ9s7rx_ik1S5oaAI9iEALw_wcB

Haikarainen, M. 2021. Rakenteiden suunnittelun ja toteutuksen perusteet. SokoPro. Viitattu 9.3.2023. Saatavilla rajoitetusti https://www.sokopro.fi/Download/39016104/RAK-948-0_RAKENTEIDEN%20SUUNNITTELUN%20JA%20TOTEUTUKSEN%20PERUSTEET.pdf

Haikarainen, M. 2021. Alapohja yleensä. SokoPro. Viitattu 27.3.2023. Saatavilla rajoitetusti <https://www.sokopro.fi/Download/43746779/RAK-948-601%20RAKENNETYY-PIT%20E7.pdf>

Haikarainen, M. 2021. Välipohja yleensä, lattialämmitys. SokoPro. Viitattu 27.3.2023. Saatavilla rajoitetusti <https://www.sokopro.fi/Download/43746779/RAK-948-601%20RAKENNETYY-PIT%20E7.pdf>

Haikarainen, M. 2021. Yläpohja yleensä, kermikate. SokoPro. Viitattu 27.3.2023. Saatavilla rajoitetusti <https://www.sokopro.fi/Download/43746779/RAK-948-601%20RAKENNETYY-PIT%20E7.pdf>

Haikarainen, M. 2021. Tiiliverhoiltu parvekepieli yleensä. SokoPro. Viitattu 27.3.2023. Saatavilla rajoitetusti <https://www.sokopro.fi/Download/43746779/RAK-948-601%20RAKEN-NETYYYPIT%20E7.pdf>

Heikkinen, S. 2018. Kolme vaihetta maapallon vuotuisten hiilidioksidipäästöjen kasvussa. Viitattu 19.3.2023. Saatavissa <https://yle.fi/aihe/artikkeli/2018/12/12/ilmastonmuutos-on-ihmiskunnan-kohtalonkysymys-tutki-kuka-paastoista-oikeastaan>

Hoivatilat Oyj. 2020. Hiilijalanjälki, hiilikädenjälki?. Viitattu 29.3.2023. Saatavilla <https://hoivatilat.fi/hiilijalanjalki-hiilikadenjalki/>

Ilmasto-opas. 2022a. Suomi vähentää kasvihuonekaasupäästöjään. Viitattu 6.3.2023. Saatavissa <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/suomi-vahentaa-kasvihuonekaasupaastojaan>

Ilmasto-opas. 2022b. Maailman kasvihuonekaasupäästöt kasvavat yhä. Viitattu 7.3.2023. Saatavissa <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/maailman-kasvihuonekaasupaastot-kasvavat-yha>

Ilmasto-opas. 2022c. Suomen kasvihuonekaasupäästöt ovat laskussa. Viitattu 6.3.2023. Saatavissa <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/suomen-kasvihuonekaasupaastot-ovat-laskussa>

Ilmasto-opas. 2022c. Suomen kasvihuonekaasupäästöt vuosina 1990–2020 sekä arvioitu päästökehitys vuoteen 2035. Viitattu 19.3.2023. Saatavissa <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/suomen-kasvihuonekaasupaastot-ovat-laskussa>

Ilmasto-opas a. Hiilidioksidi ja hiilen kiertokulku. Viitattu 6.3.2023. Saatavissa <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/hiilidioksidi-ja-hiilen-kiertokulku>

Ilmasto-opas b. Vaikutukset yhteiskuntaan. Viitattu 6.3.2023. Saatavissa <https://www.ilmasto-opas.fi/vaikutukset-yhteiskuntaan>

Koskinen, M. 2018. Professori kummeksuu Suomen ilmastokeskustelua: ”Suomi on yksi siitä kourallisesta maita, jotka ovat vähentäneet päästöjään”. Iltalehti. Viitattu 6.3.2023. Saatavissa <https://www.iltalehti.fi/politiikka/a/fa049a6e-927f-42a4-b127-7a5433e74160>

Kuittinen, M. & Linkosalmi, L. 2015. Rakennuksen elinkaaren vaiheet ja ympäristöselosteiden kattavuus. Viitattu 2.4.2023. Saatavissa <https://puutuoteteollisuus.fi/images/pdf/ohje%20ymp%C3%A4rist%C3%B6selosteiden%20laatiminen.pdf>

Omarjee, Y., Arimont, P., Fitto, R., Krehl, C., Nienau, N., Donato, F., Knotek, O. & Michels, M. 2021. Kesän 2021 katastrofitulvat Euroopassa. Euroopan parlamentti. Viitattu 7.3.2023. Saatavissa https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/O-9-2021-000056_FI.html

Puuteollisuus Ry. 2021. Hiilijalanjälki, hiilikädenjälki ja hiilidioksidipäästöt. Viitattu 27.3.2023. Saatavilla <https://puutuoteteollisuus.fi/tietoa-puusta-ja-tuotteista/hiilijalanjalki-hiilikadenjalki>

Rakennusliike Evälahti Oy a. Evälahti – monipuolinen ja arvostettu rakentaja. Viitattu 6.3.2023. Saatavissa <https://evalahti.com/>

Rakennusliike Evälahti Oy b. Asunto Oy Helsingin kirjekyyhky 7. Viitattu 9.3.2023. Saatavilla <https://evalahti.com/asunnot/helsinki/asunto-oy-helsingin-kirjekyyhky-7/>

Rakennusteollisuus Ry. 2020. Leijonanosa rakennetun ympäristön päästöistä aiheutuu kiinteistöjen lämmityksestä. Viitattu 7.3.2023. Saatavissa <https://www.rt.fi/Ajankohtaista/Tiedotteet1/2020/leijonanosa-rakennetun-ympariston-paastoista-aiheutuu-kiinteistojen-lammityksesta/>

Rakennusteollisuus Ry. 2020. Rakennetun ympäristön hiilijalanjäljen nykytila. Viitattu 17.3.2023. Saatavissa <https://www.rt.fi/Ajankohtaista/Tiedotteet1/2020/leijonanosa-rakennetun-ympariston-paastoista-aiheutuu-kiinteistojen-lammityksesta/>

Rudus. 2019. ”Nyt on vihdoinkin oikeasti rakennettu jotakin” – Syvälahden perheen talo sai vankat perustukset betonista. Viitattu 28.3.2023. Saatavilla <https://www.rudus.fi/blogi/2019/10/02/syvalahden-perheen-talo-sai-vankat-perustukset-betonista>

Rudus a. Betoni hiilinieluna. Viitattu 31.3.2023. Saatavissa <https://www.rudus.fi/vastuullisuus/betoni-hiilinieluna>

Rudus b. Vihreä betoni – Luonto kiittää, betoni kestää. Viitattu 8.3.2023. Saatavissa <https://www.rudus.fi/tuotteet/betoni/vihrea-betoni-luonto-kiittaa-betoni-kestaa>

Salmi, H. 2021. Julkisivu etelään. SokoPro. Viitattu 27.3.2023. Saatavilla rajoitetusti https://www.sokopro.fi/Download/41880815/212_E6-E7_105-201%20Julkisivu%20etel%C3%A4%C3%A4n%20E7.pdf

Siitonen, S. 2021. Miten hiilijalanjälki lasketaan?. Viitattu 29.3.2023. Saatavilla <https://www.openco2.net/fi/artikkelit/miten-hiilijalanjalki-lasketaan>

Siitonen, S. 2022. Miten hiilijalanjälki lasketaan?. Viitattu 29.3.2023. Saatavilla <https://www.openco2.net/fi/artikkelit/miten-hiilijalanjalki-lasketaan>

Sitra. 2019. Keskivertosuomalaisen hiilijalanjälki. Viitattu 29.3.2023. Saatavilla <https://www.sitra.fi/artikkelit/keskivertosuomalaisen-hiilijalanjalki/>

Suomen standardisoimisliitto Ry. Mitä standardi tarkoittaa?. Viitattu 29.3.2023. Saatavilla <https://sfs.fi/standardeista/mika-on-standardi/>

Takala, L. 2021. Rakentamiseen liittyy riskejä, kuten esimerkiksi kuvassa elementtien nostoihin. Rakennuslehti. Viitattu 28.3.2023. Saatavilla <https://www.rakennuslehti.fi/2021/06/kovan-kysynnän-takia-elementteja-pitaa-nyt-odottaa-jopa-ensi-vuoteen-tarjouspyynnot-kannattaa-lahettaa-ajoissa/>

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. 2022. Ilmastonmuutos. Viitattu 6.3.2023. Saatavissa <https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/ilmastonmuutos#helle>

US National Park Service. Greenhouse Effect Normal CO₂ and Greenhouse Effect Rampant CO₂. Viitattu 19.3.2023. Saatavissa <https://nps.gov/goga/learn/nature/climate-change-causes.htm>

Vinkki, J. 2021. Rakennuksen vähähiilisyden arviointi. Viitattu 22.3.2023. Saatavissa <https://oamk.fi/oamkjournal/2021/rakentamisen-ilmastojalki-ja-elinkaarikustannukset/>

WWF Suomi. Ilmastonmuutos. Viitattu 6.3.2023. Saatavissa <https://wwf.fi/uhat/ilmastonmuutos/>

Ympäristöministeriö. 2023. Eduskunta hyväksyi rakentamisen päästöjä pienentävät ja digitalisaatiota edistävät lait. Valtioneuvosto. Viitattu 29.3.2023. Saatavilla <https://valtioneuvosto.fi/-/1410903/eduskunta-hyvaksyi-rakentamisen-paastoja-pienentavat-ja-digitalisaatiota-edistavat-lait>

Ympäristöministeriö. Vähähiilinen rakentaminen. Viitattu 8.3.2023. Saatavissa <https://ym.fi/vahahiilinen-rakentaminen>