



**Sairaalarakennuksen pilari-palkkirungon  
kehityksen vaikutus rungon hiilijalanjälkeen**  
Laakson yhteissairaalan päärakennus

Tinja Ronkainen

OPINNÄYTETYÖ  
Toukokuu 2023

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma  
Talorakennustekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma  
Talonrakennustekniikka

RONKAINEN, TINJA:

Sairaalarakennuksen pilari-palkkirungon kehityksen vaikutus rungon hiilijalanjälkeen  
Laakson yhteissairaalan päärakennus

Opinnäytetyö 38 sivua  
Toukokuu 2023

---

Rakentamisesta aiheutuvien CO<sub>2</sub>-päästöjen vaikutus ilmaston lämpenemiseen on merkittävä. Päästöjen hillitsemiseksi on laadittu lakeja ja säädöksiä sekä asetettu kunnianhimoisia tavoitteita. Suomen tavoite on olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä. Tavoitteen saavuttamiseksi uusi rakentamislaki (tulee voimaan 2025) velvoittaa ilmoittamaan rakennuksen ilmastovaikutukset.

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin Laakson yhteissairaalan päärakennuksen pilari-palkkirungon kehityksen vaikutusta rungon hiilijalanjälkeen. Toimeksiantajana opinnäytetyölle toimi A-Insinöörit Suunnittelu Oy. Opinnäytetyö tehtiin osana sairaalan hiilijalanjälkikartoitusta ja siinä selvitettiin sairaalan päärakennuksen rungon hiilijalanjälki kehitystyön eri vaiheissa.

Työssä tarkastellaan Case-tarkasteluiden kautta suunnittelun aikana tehtyjen päätösten vaikutusta rungon hiilijalanjälkeen. Rakennuksen rungon pääasialliset rakennusmateriaalit ovat betoni ja teräs. Hiilijalanjälkilaskenta on rajattu elinkaarvaiheisiin A1-A3 Tuotevaihe, A4 Kuljetus ja A5 Työmaavaihe ja se koskee sairaalarakennuksen runkoa anturan yläpinnasta ylöspäin.

Laakson yhteissairaalan päärakennuksen hiilijalanjälki laskettiin ympäristöministeriön vuoden 2021 arviointimenetelmää mukailen kolmelle Case-tapaukselle: Lähtötilanne ennen muutoksia (Case 1), yhden kerroksen pois jättämisen vaikutukset (Case 2) ja optimointi käyttämällä vähähiilisiä betonituotteita (Case 3). Laskentaa varten tarvittavat päästötiedot saatiin hankkeeseen valituilta materiaalityypeiltä, Lujalta ja Nordec:lta, sekä määrätiedot rakennesuunnittelijalta A-Insinööreiltä. Laskentaan käytettiin A-Insinööreiltä saatuja Excel-laskentapohjia.

Opinnäytetyön laskennan tulosten perusteella voidaan todeta, että yhden kerroksen poisjättämisen vaikutus verrattuna lähtötilanteeseen on rungon hiilijalanjäljen kannalta noin -8 %. Vähentämällä kerros sekä käyttämällä vähähiilisiä ontelolautoja ja seinäelementtejä pystyttiin hiilijalanjälkeä pienentämään kokonaisuudessaan noin 17 % lähtötilanteeseen verrattuna. Tulokset osoittivat, että betonituotannon aiheuttamien merkittävien päästövaikutuksen takia tehokas tapa pienentää rungon hiilijalanjälkeä on optimoida materiaalmäärät sekä käyttämällä vähähiilisiä betonituotteita.

---

Asiasanat: vähähiilinen rakentaminen, sairaalarakennuksen hiilijalanjälki, hiilijalanjälkilaskenta

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Construction Engineering  
Building Construction

RONKAINEN, TINJA:  
Impact of Developing the Hospital Building Frame on the Carbon Footprint

Bachelor's thesis 38 pages  
May 2023

---

This thesis was commissioned by A-Insinöörit Suunnittelu Oy to study how the Laakso hospital building's frame's development affects its carbon footprint. The building is made of concrete and steel and has a column-beam frame. The study aimed to calculate the carbon footprint of the main building frame in three stages: the initial state, omitting one floor, and using low-carbon concrete products.

The calculation followed the Ministry of Environment's 2021 carbon footprint assessment method, and it only included three stages of the building's life cycle: A1- A3 product stage, A4 transport, and A5 site operations. The emission data necessary for the calculations were obtained from the selected material suppliers for the project, Luja and Nordec, and the quantity information from the structural designer at A-Insinöörit. The calculations were done using Excel templates provided by A-Insinöörit.

The results showed that omitting one floor reduces the building frame's carbon footprint by around 8%, and using low-carbon concrete products can reduce it by approximately 17%. To reduce the carbon footprint of the building frame, it is important to optimize material amounts and use low-carbon concrete products due to the significant impact of concrete production on emissions.

---

Key words: low-carbon construction, carbon footprint of hospital building, carbon footprint calculation

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	KOHTI HIILINEUTRAALIUTTA .....	8
	2.1 Suomen ilmastopolitiikan raamit .....	8
	2.2 Työkaluja ilmastovaikutusten kartoittamiseen .....	10
	2.3 Julkinen sektori tiennäyttäjänä .....	13
3	RUNGON VAIKUTUS HIILIJALANJÄLKEEN .....	17
	3.1 Betonin ilmastovaikutus .....	18
	3.2 Teräksen ilmastovaikutus .....	19
4	HIILIJALANJÄLKILASKENTA .....	21
	4.1 Rakennuksen taustatiedot .....	21
	4.2 Laskentamenetelmät .....	22
	4.3 CASE-tapaukset .....	26
5	TULOKSET .....	29
	5.1 A1-A3 Tuotevaiheen päästöt .....	29
	5.2 A4 Kuljetuksen päästöt .....	31
	5.3 A5 Työmaan päästöt .....	31
	5.4 Yhteenveto .....	32
6	POHDINTA .....	33
	LÄHTEET .....	35

**LYHENTEET JA TERMIT**

CEN/TC 350	Eurooppalaisen standardisointijärjestön CEN:n tekninen komitea TC 350 Sustainability of construction works. Rakentamisen ympäristö-, taloudelliseen ja sosiaalisen kestävyuden arviointiin keskittynyt standardisointikomitea.
CO <sub>2</sub> -ekv.	Hiilidioksidiekvivalentti, ilmastoja lämmittävien eri kasvihuonekaasupäästöjen yhteenlaskettu vaikutus.
EN-standardi	Eurooppalainen standardi, joka täyttää turvallisuus- ja luotettavuuskriteerit. Rakennusalalla standardit vahvistaa Euroopan standardisointikomitea (CEN).
EPD	EPD-ympäristöseloste (Environmental Product Declaration) on tuotteille, -palveluille tai -prosesseille laadittu dokumentti, jossa esitetään tiivistetysti sen ympäristövaikutukset koko elinkaaren ajalta.
GWP.NN.	Lyhenne tulee sanoista Global Warming Potential. Betonin vähähiilisyysluokkia merkitään GWP-tunnuksilla.
Hiilijalanjälki	Rakennuksen koko elinkaaren aikana syntyvien kasvihuonekaasupäästöjen kokonaismäärä.
Hiilikädenjälki	Nettomääräiset ilmastohyödyt, joita ei syntyisi ilman hanketta.
LCA	Lyhenne tulee sanoista Life Cycle Assessment, suomeksi elinkaariarvointi. LCA on menetelmä ympäristövaikutusten mittaamiseen

## 1 JOHDANTO

Ilmastonmuutos ja sen vaikutukset näkyvät jo ympäri maailmaa. Fossiiliset polttoaineet, luonnonvarojen tuhlaus ja kotieläintuotanto ovat saaneet aikaan ilmaston lämpenemisen ennätysvauhtia. Ihmisen nykytoiminnan vaikutuksesta maapallon keskilämpötila nousisi arviolta 2,5 asteeseen esiteollisella kaudella valinneeseen tasoon verrattuna. Lämpötilannousulla on katastrofaalisia seurauksia luonnolle sekä sen monimuotoisuudelle ja sitä kautta ihmisille ja ihmisten terveydelle. Pariisin ilmastopimuksen ansiosta 195 valtiolla on yhteinen tavoite hillitä ilmastonmuutosta. Ilmastonmuutoksen torjunta ja luonnon monimuotoisuuden suojeleminen tulisi ottaa kaikessa päätöksenteossa ja budjetoinnissa huomioon koko Euroopan unionin alueella. (WWF Suomi n.d.)

Rakennusalan päästöjen osuus on noin kolmannes koko Suomen päästöistä, jonka takia siirtyminen vähähiilisiin vaihtoehtoihin on välttämätöntä niin materiaaleissa, valmistustavoissa kuin ylläpidossakin. Rakennetun ympäristön suuren päästövähennyspotentiaalinsa takia, sillä on merkittävä rooli Suomen ilmastotavoitteen saavuttamiseksi. Suomen tavoite on olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä ja hiilinegatiivinen 2040-luvulla. (Valtioneuvosto 2019, 34) Tavoitteen saavuttamiseksi Suomen on tehtävä huomattavia kasvihuonepäästövähennyksiä.

Rakennusten vähähiilisyyden arviointimenetelmän ja kansallisen päästötietokannan avulla pystytään tulevaisuudessa kartoittamaan rakennuksen ilmastohaitat ja -hyödyt. Rakennuksen vähähiilisyyden raportointi tulee olemaan osa uudistuvaa rakennuslakia, joka velvoittaa toimijaa ilmoittamaan rakennuksen ympäristövaikutukset. (Ympäristöministeriö 2023b) Julkisen sektorin suurille hankkeille, kuten esimerkiksi sairaalahankkeille asetetut elinkaaritavoitteet toimivat tiennäyttäjänä ympäristövastuullisempaa rakentamiseen jo ennen lakiuudistuksen voimaantuloa.

Tutkimuksen kohde, Laakson yhteissairaalan päärakennus, on osa Laakson yhteissairaala -rakennushanketta (jäljempänä LYS-hanke).

LYS-hankkeelle on asetettu elinkaaritavoitteet ohjaamaan suunnittelua ja toteutusta. Tavoitteilla pyritään energiatehokkaaseen, elinkaarikestävään, luontoarvot huomioivaan ja resurssiviisaaseen rakentamiseen. (LYS 2023) Opinnäytetyö on osa sairaalan hiilijalanjälkikartoitusta ja tavoitteena on selvittää sairaalarakennuksen rungon hiilijalanjälki kehitystyön eri vaiheissa. Työssä tutkitaan Case-tarkasteluiden kautta suunnittelun aikana tehtyjen päätösten vaikutusta sairaalarakennuksen rungon hiilijalanjälkeen.

Opinnäytetyö sisältää teoriaosuuden, jossa perehdytään kestävän kehityksen nykytilaan ja tulevaisuuteen sekä kehitystä ohjaavaan lainsäädäntöön. Teoriaosuuden jälkeen tarkastellaan tutkimuksen laskennallinen osuus, jossa lasketaan sairaalarakennuksen rungon hiilijalanjälki kolmessa eri kehitysvaiheessa:

Case 1. Lähtötilanne ennen muutoksia

Case 2. Yhden kerroksen poisjättämisen vaikutukset

Case 3. Optimointi vähähiilisiä betonielementtejä käyttämällä.

Laskentaa varten tarvittavat määrätiedot saadaan rakennesuunnittelijalta tietomallista A-Insinööreiltä ja päästötiedot materiaalien osalta hankkeeseen valituilta toimittajilta Lujalta ja Nordtec:ltä. Lopuksi vertaillaan saatuja laskentatuloksia ja tutkitaan, minkälaisilla muutoksilla on voitu pienentää rungon hiilijalanjälkeä.

Opinnäytetyön toimeksiantaja toimii A-Insinöörit Suunnittelu Oy, joka vastaa Laakson Yhteissairaala -hankkeen rakennesuunnittelusta. Tutkimus rajataan koskemaan sairaalarakennuksen runkoa anturan yläpinnasta ylöspäin ja käsittelemään aihetta rakennesuunnittelun näkökulmasta.

## 2 KOHTI HIILINEUTRAALIUTTA

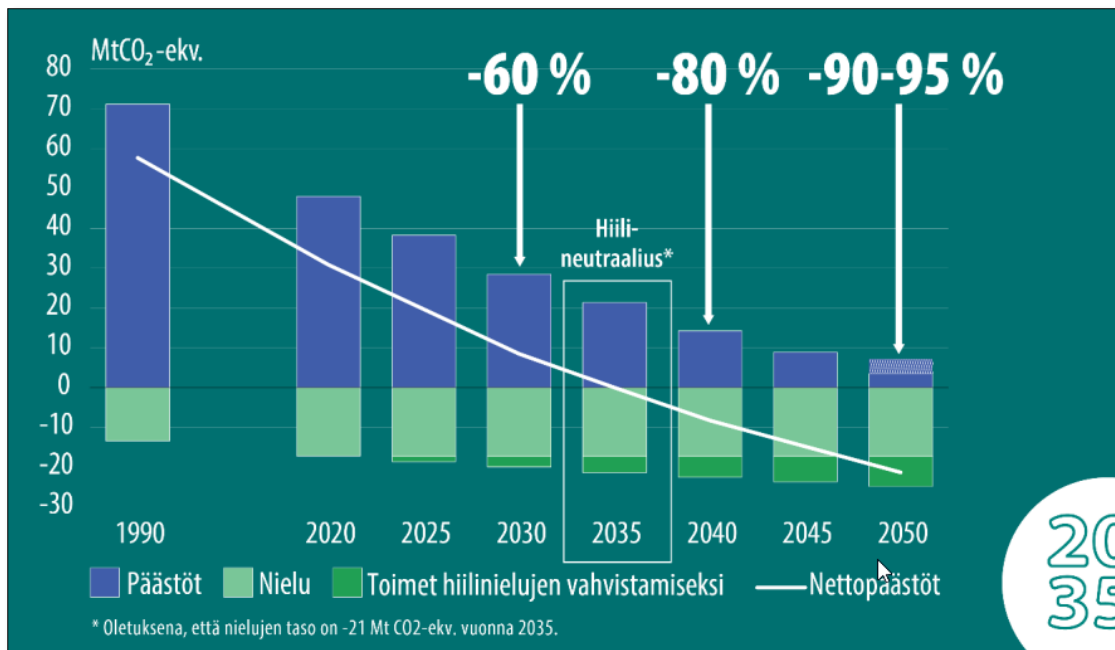
### 2.1 Suomen ilmastopolitiikan raamit

Kansainvälisellä ilmastopolitiikalla pyritään löytämään yhteiset pelisäännöt ilmastomuutokseen sopeutumiselle ja ilmastokestävyydelle. YK:n ilmastopöytäkirja, sitä täydentävä Kioton pöytäkirja ja Pariisin ilmastopöytäkirja ovat pohja Euroopan unionin ilmastopolitiikalle. Kansainvälinen ilmastopöytäkirja pyrkii rajoittamaan maapallon keskilämpötilan nousua 1,5 asteeseen. Lämpötilan nousun estämiseksi EU on sitoutunut vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä vuoteen 2030 mennessä vähintään 55 prosenttia vuoden 1990 tasoon verrattuna. Lisäksi EU:n tavoitteena on saavuttaa hiilineutraalius vuoteen 2050 mennessä. (Valtioneuvosto 2019, 34)

Kehykset Suomen kansalliselle ilmastopolitiikalle saadaan EU:n ilmastotavoitteista sekä kansainvälisten sopimusten kautta. Pariisin ilmastopöytäkirja ei määritä sopimusosapuolten ilmastotavoitteiden suuruutta, vaan osapuolet määrittävät päästövähennystavoitteensa itse. Sopimuksen osapuolilta odotetaan kunnianhimoisia ja vähitellen kiristyviä toimia usean tavoitteen suhteen: päästöjen vähentäminen, ilmastomuutokseen sopeutuminen, ilmatorahituksen lisääminen, teknologian kehittäminen ja siirtäminen, toimintavalmiuksien vahvistaminen sekä läpinäkyvyyden lisääminen (Ympäristöministeriö n.d.a).

Suomen tavoitteena on vähentää päästöjä vuoteen 2030 mennessä -60 %, vuoteen 2040 mennessä -80 % ja vuoteen 2050 mennessä vähintään -90 % tavoitellen kuitenkin -95 % vuoden 1990 tasoon verrattuna (YM 2022a, 4). Kuviossa 1 on esitetty Suomen päästövähennystavoitteet.





KUVIO 1. Suomen päästövähennystavoitteet (YM 2022a, 5).

Pääministeri Sanna Marinin hallituksen hallitusohjelman tavoitteena on ollut asumisen ja rakentamisen hiilijalanjäljen pienentäminen (Valtioneuvosto 2019). Tavoitteiden saavuttamiseksi hallitus on uudistanut ilmastolakia sekä maankäyttö- ja rakennuslakia vastaamaan paremmin päästövähennystavoitteisiin. Merkittävimmät parannukset uudessa ilmastolaissa (voimaan 1.7.2022), sekä uudistetuissa maankäyttö- ja rakennuslaissa on tuoda ilmastonmuutoksen hillitseminen osaksi lainsäädäntöä. Lainmuutoksen yhteydessä aiemmat maankäyttö- ja rakennuslaissa rakentamista koskevat säännökset siirrettiin uudeksi erilliseksi rakentamislaki. Uusi rakentamislaki hyväksyttiin eduskunnassa 1.3.2023 ja se astuu voimaan 1.1.2025. (YM 2023a)

Lakiuudistuksien myötä kehitteillä on työkaluja rakennuksen koko elinkaaren aikana syntyvien ilmastohaittojen ja -hyötyjen arvioimiseen. Ympäristöministeriö ja toimialaa laajasti edustava ohjausryhmä, johon kuului muun muassa Green Building Council Finland, Rakennustieto ja VTT, ovat yhteistyössä kehittäneet tiekartan, jonka tavoitteena on luoda Suomeen vähähiilisen rakentamisen arviointi- ja raportointimenetelmä. Rakentamisen ohjaukseen on suunnitteilla ilmastaselvitys, materiaaliseloste ja myöhemmin tiedon kertyessä rakennustyypeittäin määräytyvät rakennuksen hiilijalanjäljen raja-arvot. Ohjaus on vaiheistettu siten, että ensimmäisessä vaiheessa menetelmä on vapaaehtoinen. Seuraavassa vaiheessa ohjaus on velvoittava julkisille rakennushankkeille, jonka jälkeen siir-

rytään ilmoitusvelvollisuuteen sekä velvoittaviin raja-arvoihin rakennustyypeittäin. (Bionova Oy 2017, 3)

## 2.2 Työkaluja ilmastovaikutusten kartoittamiseen

Suomen ilmastotavoitteet tarvitsevat tuekseen sääntelyä rakennuksen elinkaaren ilmastovaikutuksien arviointiin ja ohjaukseen. Nykyisin rakennusten elinkaaren päästölaskenta on vapaaehtoista, eikä velvoittavaa sääntelyä ole. Uuden rakentamislain myötä on tulossa uusia säännöksiä ohjaamaan rakentamista kohti hiilineutraaliutta. Suunnitteilla olevia asetuksia ovat muun muassa asetukset rakennuksen ilmastaselvityksestä, materiaaliselosteesta ja hiilijalanjäljen raja-arvoista. (YM 2023a)

Säädösohjauksen tavoitteena on kehittää yhdenmukainen ja luotettava rakennusten vähähiilisyyden arviointimenetelmä, joka perustuu eurooppalaisiin EN-standardeihin ja ottaa huomioon myös Level(s)-menetelmän periaatteet. Level(s) on laajassa yhteistyössä EU:n jäsenmaiden sekä rakentamisen ammattilaisten kanssa kehitetty menetelmä rakentamisen resurssitehokkuuden mittaamiseen. Menetelmässä on 6 päätavoitetta, joista yksi on minimoida rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälki. Level(s)-menetelmän tarkoituksena on luoda yhteinen perusta eri maiden resurssitehokkuuden ja ekologisuuden mittareille sekä rakentaa yhteinen kieli ja käsitteistö. (YM n.d.c)

Suomalaisessa vähähiilisyyden arviointimenetelmässä käytetään joko geneerisiä päästötietoja kansallisesta päästötietokannasta (verkkopalvelu CO2data.fi) tai tuotekohtaisia tietoja, mikäli tuote on määritelty. Päästötietokantaan on koottu tietoa muun muassa käytettävien rakennustuotteiden ilmastovaikutuksista. Tietokannassa on esillä yleisimpien ja tyypillisimpien rakennustuotteiden keskimääräisiä tietoja, kuten esimerkiksi tuotteiden ilmastohaitat ja -hyödyt, kierrätysvaihtoehdot ja tekniset käyttöiät. Tiedot perustuvat rakennusteollisuuden asiantuntijoiden vertailemiin ja valitsemiin julkisiin lähteisiin, jotka ovat pääasiassa rakennustuotteiden ympäristöselosteita. Ympäristöseloste (EPD) perustuu elinkaarianalyysiin ja se on standardoitu tapa esittää vertailukelpoiset tiedot valmistetun tuotteen ympäristövaikutuksista. Rakentamisen päästötietokannan verk-

kosivua kehittää ja ylläpitää Suomen ympäristökeskus SYKE ympäristöministeriön toimeksiantamana. Kansallisen päästötietokannan tavoitteena on helpottaa rakennusten koko elinkaaren aikaisten kasvihuonekaasupäästöjen laskentaa ja sitä kautta helpottaa vähähiilisen rakennuksen suunnittelua. (Rakentamisen päästötietokanta 2022)

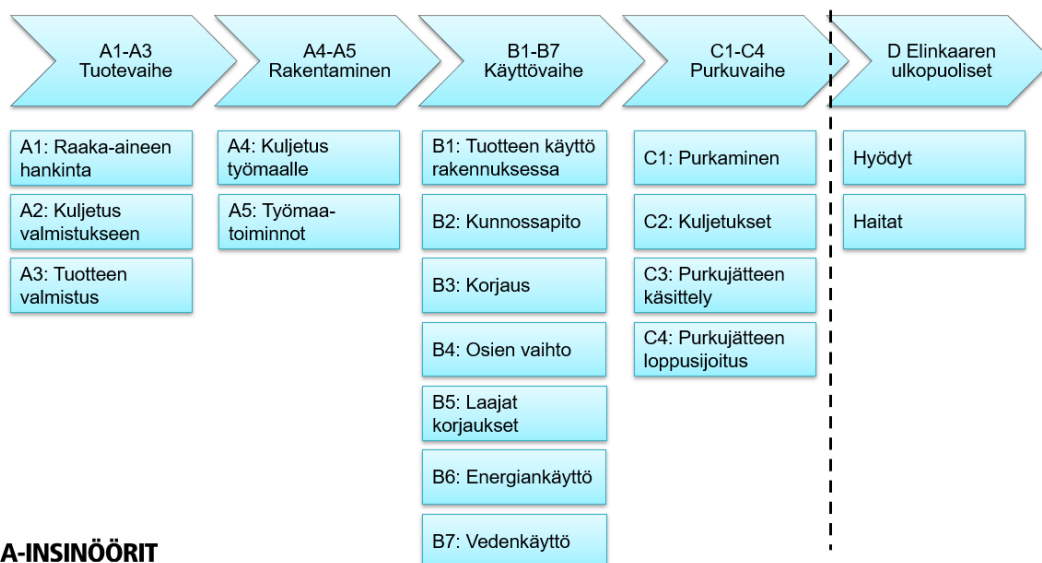
Siitä huolimatta, että rakennuksien päästölaskenta on vielä vapaaehtoista, se on jo osana rakentamisen kulttuuria. Kaupallisten ympäristöluokitusjärjestelmien avulla rakennusten elinkaaren ilmastovaikutuksia pystytään mittaamaan, todentamaan ja vertailemaan. Suomessa käytössä olevia ympäristösertifiointijärjestelmiä on useita, muun muassa suomalaiset käytännöt huomioiva Rakennustiedon RTS-ympäristöluokitus, Euroopassa yleisesti käytetty brittiläinen BREEAM sekä kansainvälinen rakennusten ympäristöluokitusjärjestelmä LEED.

Järjestelmien kriteerit ja käytännöt eivät ole täysin samanlaisia, ja niiden myöntämät luokitukset eroavat hieman toisistaan. Esimerkiksi BREEAM:n sertifioimat rakennukset luokitellaan tiettyjen kriteerien perusteella sanallisesti 5 eri luokkaan, kun taas suomalaisen RTS-ympäristöluokituksen luokitustaso määritetään 1–5 tähteä. (FIGBC n.d.) Laakson yhteissairaala -hankkeessa elinkaaritavoitteiden asettamisessa on käytetty Helsingin kaupungin elinkaaritavoitteita sekä BREEAM-ympäristöluokitusta (BREEAM International New Construction 2016 Bespoke –versiota). Alustavan esiselvityksen perusteella projektissa olisi mahdollista saavuttaa vähintään taso ”Very Good”, joka on luokituksen keskitasoa. (LYS 2023)

Elinkaariarviointi (LCA, Life Cycle Assessment) on olennainen osa monen kestäväen rakentamisen sertifiointijärjestelmää. Se on yksi keskeinen osakokonaisuus myös Suomen uudessa rakentamislaisissa. Elinkaariarviointi on menetelmä, jolla arvioidaan rakentamisen ympäristövaikutuksia ja luonnonvarojen kulutusta. (YM 2017) Rakennuksen ympäristövaikutukset syntyvät rakennuksen elinkaaren eri vaiheissa. Vaiheiden määritelmät ja ympäristövaikutusten laskentamenetelmät on standardisoitu eurooppalaisiksi standardeiksi, jotka tuottaa CEN/TC 350 Sustainability of Construction Works. Elinkaaren vaiheet on jaettu moduuleihin A1-3 Tuotevaihe, A4-5 Rakentaminen, B Käyttövaihe ja C Purkuvaihe sekä D elinkaaren ulkopuoliset hyödyt ja haitat, joita ei olisi syntynyt ilman ra-

kennushanketta. (Bionova Oy 2017, 13; EN 15978) Kuviossa 2 on esitetty rakennuksen elinkaaren vaiheet.

### Rakennuksen elinkaari standardin EN 15978 mukaan



KUVIO 2. Elinkaaren vaiheet standardin EN 15978 mukaan.

Ympäristöministeriössä on valmisteilla asetukset rakennuksen ilmastaselvityksestä ja materiaaliselostuksesta sekä rakennustyyppien hiilijalanjäljen raja-arvoista, joilla on määrä edistää rakentamisen ohjaamista vähähiiliseksi sekä yhdenmukaistaa nykyisiä käytäntöjä. Asetukset tulevat ympäristöministeriön vähähiilisen rakentamisen tiekartan mukaan käyttöön vuoteen 2025 mennessä.

Ilmastaselvityksessä säädetään rakennuksen elinkaaren vähähiilisyydestä, ilmastaselvityksen laatimisesta ja sisällöstä sekä Suomen olosuhteet huomioivasta arviointimenetelmästä. Ilmastaselvityksessä kartoitetaan rakennuksen koko elinkaaren aikana syntyvät ilmastohaitat eli hiilijalanjälki ja ilmastohyödyt eli hiilikädenjälki. Asetuksen tarkoituksena on varmistaa luotettava ja yhdenmukainen rakennuksen vähähiilisyyden arviointi, joka mahdollistaa tulevaisuudessa myös hiilijalanjäljen raja-arvojen asettamisen uusille rakennuksille. (YM 2021)

Uuden rakentamislain voimaantulon myötä rakentamislupaa varten rakennukselle tulee laatia ilmastaselvitys. Ilmastaselvitys pohjautuu eurooppalaisiin EN-standardeihin sekä EU:n yhteiseen Level(s)-menetelmään ja vastaavia selvityksiä on jo osana rakentamisen lainsäädäntöä Ruotsissa, Norjassa, Tanskassa,

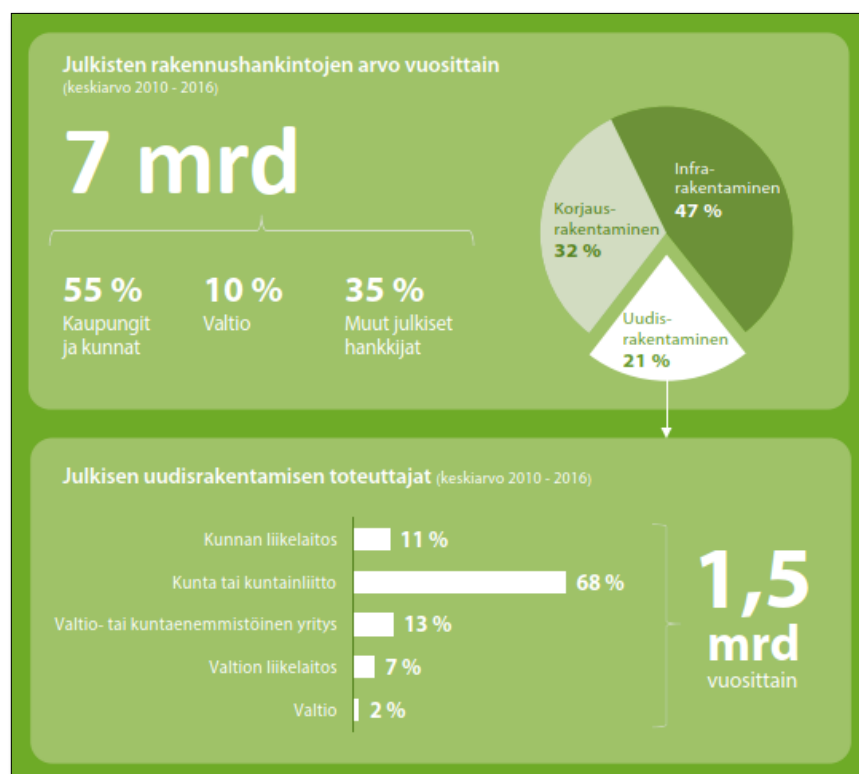
Hollannissa ja Ranskassa. (YM 2023b) Hiilijalanjäljen laskenta on oleellinen osa ilmastaselvitystä. Se kuvaa rakennuksen kielteisiä ilmastovaikutuksia. Hiilijalanjälkilaskennan avulla pystytään arvioimaan rakennuksen hiilidioksidipäästöjen suuruus rakennuksen elinkaaren eri vaiheissa. Yksikkönä kasvihuonekaasupäästöille käytetään  $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2/\text{a}$ , joka tarkoittaa elinkaaren hiilijalanjälkeä lämmitettyä nettoalaa ja käyttövuotta kohden.

Hiilijalanjäljen lisäksi rakennuksen ilmastaselvitykseen sisältyy myös hiilikädenjälki. Hiilikädenjälki lasketaan vastaavasti kuin hiilijalanjälki ja sen tulos ilmoitetaan myös  $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2/\text{a}$ . Kädenjälki kuvaa rakennuksen myönteisiä ilmastovaikutuksia, joita ei syntyisi ilman rakennushanketta. (Kuittinen 2019, 30) Rakennuksen hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki ilmoitetaan ilmastaselvityksessä omina lukuina.

Uusi rakentamislaki vaatii ilmastaselvityksen lisäksi rakennuksessa käytettäville materiaaleille materiaaliselosteen. Selosteessa tulisi ilmoittaa tiedot rakennuksen osista, materiaaleista ja materiaalien alkuperästä. Siinä missä rakennuksen ilmastaselvitys kertoo koko rakennuksen elinkaaren aikaiset ilmastovaikutukset, materiaaliseloste keskittyy valmistetun tuotteen tai tuoteryhmän ympäristövaikutuksiin. (YM 2023b)

### **2.3 Julkinen sektori tiennäyttäjänä**

Julkisiin rakennushankkeisiin käytetään Suomessa vuosittain noin 7 miljardia euroa, joka on noin 30 % kaikista julkisista hankinnoista (Kuittinen, le Roux 2017, 13). Tekemällä energiaviisaita hankintoja julkisen sektorin valtavalla ostovoimalla on sekä mahdollisuus että velvollisuus vaikuttaa positiivisesti ympäristö- ja vastuullisuustavoitteisiin (Motiva 2023). Kaupunkien ja kuntien valintojen vaikutus on merkittävä, sillä kuntien osuus rakentamisen toteuttajana uudisrakentamisen puolella on jopa 68 %. Kuviossa 3 on esitetty julkisten rakennushankintojen arvon jakautumista vuosittain sekä julkisen uudisrakentamisen toteuttajien osuudet kokonaisarvosta.

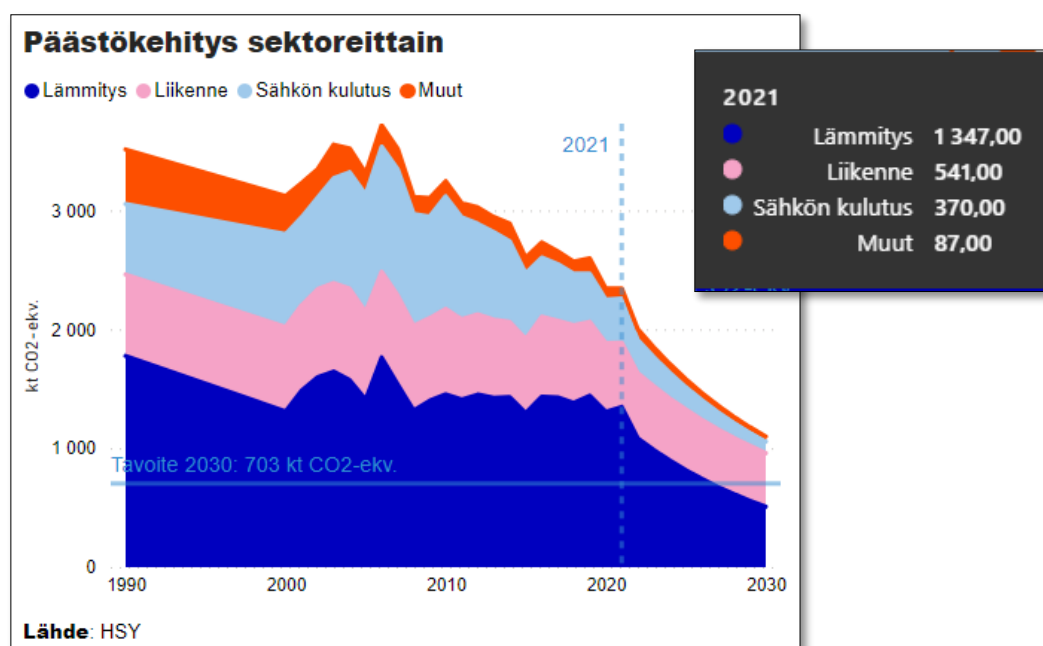


KUVIO 3. Julkisten rakennushankintojen arvo vuosittain sekä uudisrakentamisen toteuttajat (Kuittinen, le Roux 2017)

Helsingissä sijaitsevan Laakson sairaala-alueen uudistus on alkanut vuonna 2022 ja sen on määrä valmistua vuoteen 2030 mennessä. Julkisen sektorin hankkeena sillä on erinomainen tilaisuus toimia ilmastovastuullisen rakentamisen esimerkkinä tulevaisuuden hankkeille.

Helsingin kaupungin ja HUS:n rakennushankkeena sairaalalle on asetettu selkeät elinkaaritavoitteet, jotka pohjautuvat Helsingin kaupungin ja HUS:n omiin ilmastotavoitteisiin. (LYS 2023) Helsingin kaupunki on ilmastotavoitteissaan yleiseen linjaan verrattuna kunnianhimoisempi ja tavoitteena on olla hiilineutraali vuoteen 2030 mennessä, tällöin Helsingin kaupunki sitoo yhtä paljon hiilidioksidia kuin päästää ilmakehään jo viisi vuotta ennen lainsäätämää tavoitetta. Saavutettuaan hiilineutraaliuden Helsingin tavoite on nollata päästöt vuoteen 2040 mennessä ja pyrkiä hiilinegatiivisuuteen tämän jälkeen.

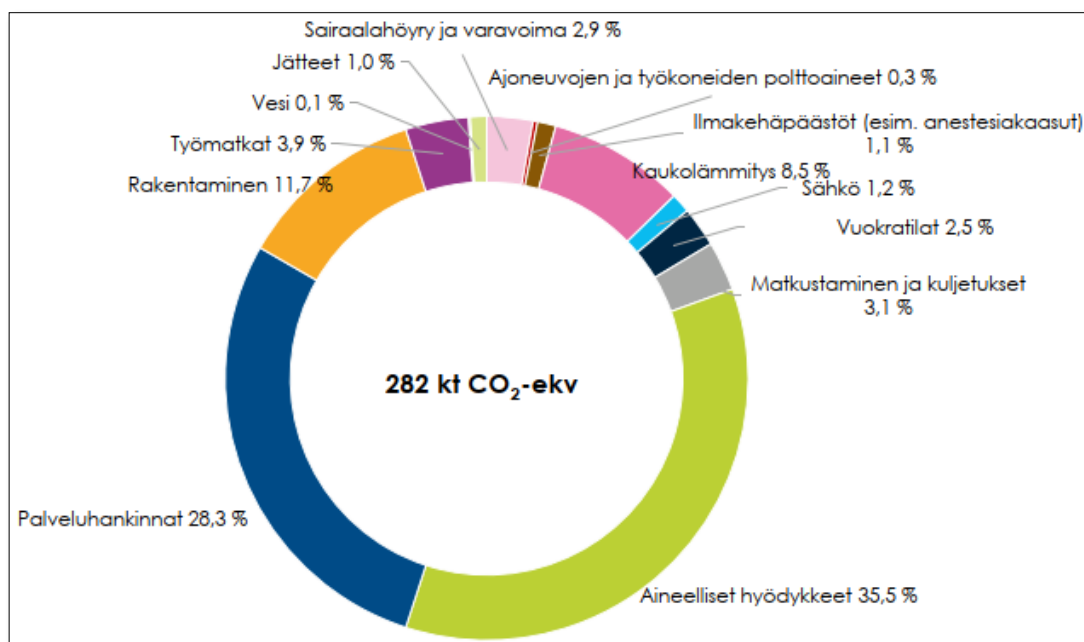
Ennakoivilla ilmastotoimillaan Helsinki on pystynyt leikkaamaan hiilipäästöjään huomattavasti. Helsingin merkittävimmät päästölähteet ovat lämmitys, liikenne ja sähkö. Yli puolet Helsingin päästöistä aiheutuu rakennusten lämmityksestä ja siksi muun muassa parantamalla rakennusten energiatehokkuutta on pystytty edistämään Hiilineutraali Helsinki -ohjelmaa. Jatkuvilla ilmastotyöllä on jo säästetty paljon ja vuonna 2021 päästöt olivat 33 % pienemmät vuoden 1990 tasoon verrattuna. Päästökäytös on esitetty kuviossa 4. (Helsingin ilmastoteot n.d.).



KUVIO 4. Helsingin päästökäytös sektoreittain vuodesta 1990 vuoteen 2021. (Helsingin ilmastoteot n.d.)

Helsingin kaupungin lisäksi LYS-hankkeen ilmastotavoitteisiin vaikuttavat myös Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiirin (HUS) ympäristöpolitiikka. Kuten Helsingin kaupungin myös HUS:n tavoitteena on olla hiilineutraali vuoteen 2030 mennessä. Osana HUS:n ilmastotavoitteita ovat vähähiiliset hankinnat ja vähähiilinen sairaalarakentaminen. HUS on ensimmäisenä yliopistosairaalana Suomessa laatinut ilmastotyön pitkän ajan suunnitelman, ilmastotiekartan.

Ilmastotiekartassa on kuvattuna yli 100 toimenpidettä, joilla vähennetään HUS:n toiminnasta aiheutuvia kasvihuonepäästöjä. Ilmastotoimenpiteet on jaettu kartassa kahdeksaan kategoriaan, joista yhtenä osa-alueena on rakentaminen. Rakentamisen osuus HUS:n hiilijalanjäljestä oli vuonna 2020 11,7 %, joka oli kolmanneksi suurin päästöjen aiheuttaja aineellisten hyödykkeiden ja palveluhankintojen jälkeen. Päästöjen osuudet on esitetty kuviossa 5.



KUVIO 5. Päästöjen osuudet HUS:n hiilijalanjäljestä vuonna 2020 (HUS 2022)

HUS:n tavoite rakentamisen osalta on pienentää rakentamisen hiilijalanjälkeä vähähiilisillä suunnitteluratkaisuilla, materiaalivalinnoilla, työmaatoiminnalla ja noudattamalla kiertotalouden periaatteita. (HUS Ilmastotiekartta 2022)

Helsingin kaupungin ja HUS:n tiukkojen ympäristökriteerien ansiosta LYS-hankkeelle on asetettu kunnianhimoiset elinkaaritavoitteet ohjaamaan suunnittelua ja toteutusta. Sairaala-alueen tavoitteena on olla energiatehokas, elinkaarikestävä, luontoarvot huomioiva ja resurssiviisas koko rakennuksen elinkaaren ajan. Tavoitteiden toteutumista seurataan sekä raportoidaan läpi hankkeen. (LYS 2023)



### 3 RUNGON VAIKUTUS HIILIJALANJÄLKEEN

Ratkaisevimmat päätökset rakennuksen hiilijalanjäljen kannalta tehdään rakennuksen elinkaaren alkupäässä. Ensimmäisessä kehitysvaiheessa tehdyillä valinnoilla pystytään vaikuttamaan rakennuksen päästöihin elinkaaren alusta loppuun saakka esimerkiksi rakennuksen muuntojoustavuuden, energiatehokkuuden ja materiaalien uusiokäytön kautta.

Alkuvaiheen kaksi suurinta päästötekijää ovat materiaalien tuotannossa ja työmaatoiminnoissa, jonka takia alkuvaiheen ohjauksella ja suunnittelulla on merkittävä vaikutus rakentamisen kokonaispäästöihin. Rakennesuunnittelussa rakennuksen hiilijalanjälkeen voidaan vaikuttaa muun muassa rakennusmateriaalien, materiaalimenekin ja -tehokkuuden suunnitteluratkaisuilla. Kuviossa 6 on esitetty päästövaikutusten jakautuminen rakennuksen elinkaaren erivaiheissa.



KUVIO 6. Päästöjen jakautuminen elinkaaren erivaiheissa (Jäätvuori ym. 2021, 11)

Rakennusmateriaalien tuotannon aiheuttamien päästöjen osuus on noin 40 % rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljestä. Materiaalivalintojen lisäksi rakennuksen rungon osuus on noin neljännes koko rakennuksen päästöistä. Huomioimalla materiaalien ja rungon vaikutukset suunnittelussa ja valitsemalla vähähiilisemmät ratkaisut, voidaan rakennuksen hiilijalanjälkeä pienentää huomattavasti tavanomaiseen verrattuna. (A-Insinöörit, FIGBC 2022)

Materiaalien ja rungon merkittävän päästövähennyspotentiaalın takia tässä opinnäytetyössä tutkitaan sairaalarakennuksen rungon kehityksen sekä materiaalien optimoinnin vaikutusta rungon hiilijalanjälkeen.

### 3.1 Betonin ilmastovaikutus

Maailman yleisintä rakennusmateriaalia, betonia, valmistetaan yli 10 miljardia kuutiometriä vuodessa. (Betonin n.d.b) Valtavien käyttömäärien takia betonin CO<sub>2</sub>-päästöjen osuus on huomattava rakennetun ympäristön ilmastovaikutuksista. (Suomen Betonitieto n.d.a)

Betoni koostuu runkoaineesta, sideaineesta, vedestä sekä mahdollisista lisä- ja seosaineista. Betonin ominaisuuksia voidaan muokata pääraaka-aineiden suhteita muokkaamalla. Betonista jopa 80 % on kiviainesta. Kiviaineksen laatuvaatimukset on määritelty eurooppalaisessa yhdenmukaisessa tuotestandardissa *SFS-EN 12620 Betonikiviainekset* ja sen kansallisessa soveltamisstandardissa *SFS 7003 Betonikiviaineksilta eri käyttökohteissa vaadittavat ominaisuudet ja asetetut vaatimustasot*.

Sideaine on betonin tärkein osa-aine. Sideaineena yleisimmin käytetty sementti, Portland-sementti, on betonin hiilijalanjäljen kannalta suurin saastuttaja. Sementtiteollisuuden osuus on noin 7 % globaaleista päästöistä. Sementti valmistetaan kalkkikivestä ja sen louhinnan sivutuotteena syntyvästä rauta- ja alumiiniyhdisteitä sisältävästä sivukivestä. Sementin valmistusprosessiin kuuluu kalkkikiven polttaminen. (BY n.d.c) Polttoprosessista aiheutuvat päästöt ovat sementin suurin hiilidioksidipäästökijä.

Betonin päästöjen kannalta sementin valmistustavan kehittäminen ympäristöystävällisempään suuntaan on tehokkain keino vähentää päästöjä. Sementtiä ei voida vielä täysin korvata betonissa, mutta sen määrää voidaan pienentää korvaamalla osa masuunikuonalla, silikalla, lentotuhkalla tai kalkkikivijauheella. Seosaineet syntyvät teollisuuden sivutuotteena ja tästä syystä niiden hiilidioksidipäästöt ovat pieniä. Niitä käyttämällä voidaan betonin hiilijalanjälkeä pienentää puoleen ja parhaimmillaan jopa 90 %. (Betonin n.d.b)

Sementin valmistuksesta aiheutuvien hiilidioksidipäästöjen lisäksi betonin koko elinkaaren aikana aiheutuvia päästöjä syntyy myös materiaalien kuljetuksista niin betoniasemilla kuin betonitehtailta rakennustyömaille. Tärkeintä päästöjen

vähentämisen kannalta on optimoida koneiden ja laitteiden energiankulutus sekä materiaalin kuljetusmatkat. (BY n.d.a)

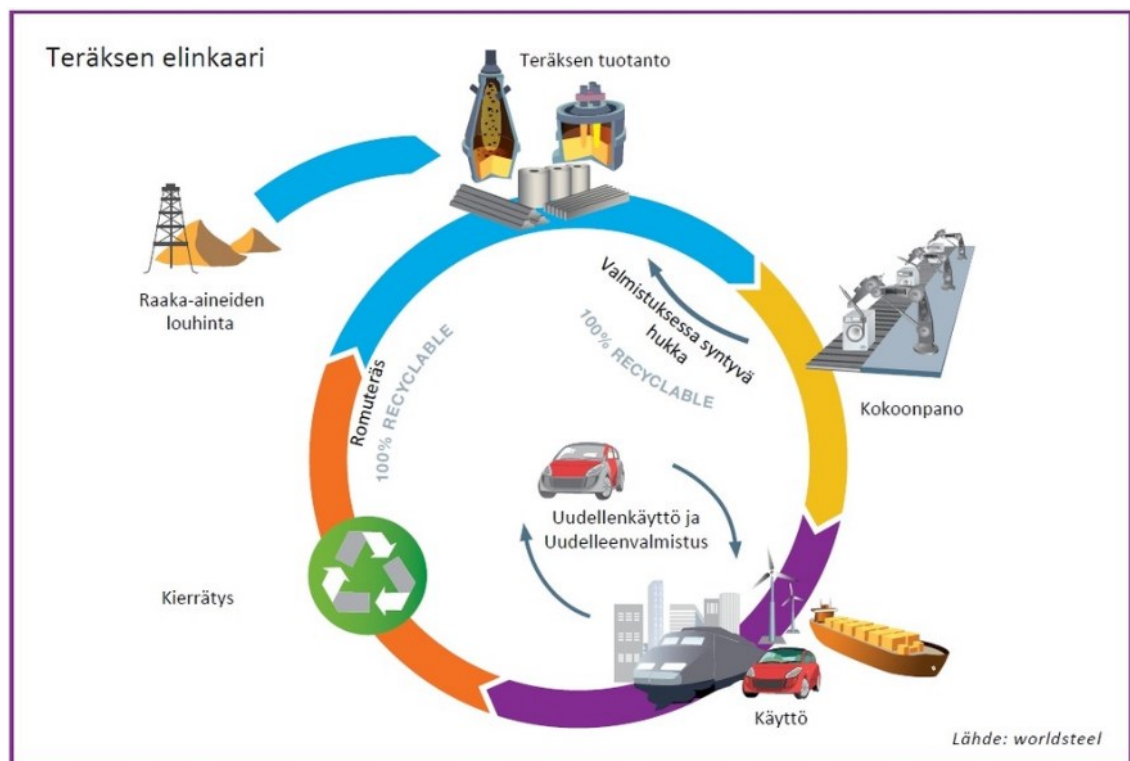
Hiilijalanjäljen lisäksi betonilla on myös hiilikädenjälki. Hiilikädenjäljellä tarkoitetaan materiaalin myönteisiä päästövaikutuksia. Betoni sitoo itseensä hiilidioksidia, joten se toimii hiilinieluna. Sitoutumisreaktiota kutsutaan karbonatisoitumiseksi. Betonin ominaisuudet ja olosuhteet, joissa betoni altistuu ilmalle, vaikuttavat karbonatisaatioon. Rakennuksissa hiilidioksidia sitoutuu betoniin koko sen elinkaaren ajan, jonka lisäksi rakennuksen käyttöiän loputtua betonirakenteet pääsääntöisesti murskataan kierrätystä varten, joka tehostaa hiilidioksidin sitoutumista. Betoni toimii pysyvänä hiilivarastona. (BY n.d.a) Betonin hiilikädenjäljen vaikutukset otetaan huomioon elinkaariarvioinnin D moduulissa.

### **3.2 Teräksen ilmastovaikutus**

Lujuus ja monipuoliset käyttöominaisuudet tekevät teräksestä maailman eniten käytetyn metallin. Teräksen merkittävin käyttökohde on rakentaminen ja infrastruktuuri. Se soveltuu käytettäväksi esimerkiksi perustuksissa, kantavissa rakenteissa ja kiinnikkeissä. Teräksen lujuusomaisuudet tekevät siitä poikkeuksellisen muihin rakennusmateriaaleihin verrattuna. (Teräsrakenneyhdistys n.d.a)

Rakennusteollisuus käyttää n. 30 % kaikesta teräksestä. Terästeollisuuden aiheuttamat hiilidioksidipäästöt ovat noin 8 % koko maailman päästöistä. Päästöjen pienentämiseksi on kehitteillä uutta teknologiaa. Kehitteillä on uusi fossiilivapaa teräksenvalmistusteknologia, jossa raudan pelkistys tehdään vedyn avulla hiilen ja koksen sijaan. (Teräsrakenneyhdistys n.d.b)

Terästä valmistetaan kahdella eri menetelmällä, joko masuunissa rautamalmita tai sähkön avulla kierrätysteräksestä. Teräs on 100 % kierrätettävissä, joten kierrätysteräksen valmistuksessa aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä syntyy hyvin vähän, jos tuotantoon käytettävä sähkö on fossiilivapaata. Kierrätysteräksen hiilijalanjälki on jopa 70 % pienempi neitseelliseen teräkseen verrattuna (Teräsrakenneyhdistys n.d.c). Suurimmat päästöt teräksen valmistuksessa syntyvät masuunivalmistuksessa. Masuunivalmistuksen sivutuotteena syntyy betoniteollisuudelle tärkeää masuunikuonaa, jota käytetään esimerkiksi vähähiilisen betonin valmistuksessa. Kuviossa 7 on esitetty teräksen elinkaari.



KUVIO 7. Teräksen elinkaari. (Lähde. Teräsrakenneyhdistys n.d.b)

Teräksen kierrätysaste on korkea, esimerkiksi purettavien rakennuksien romuteräksestä kierrätetään 95 %. Teräksen uudelleenkäytettävyys ja lujuusominaisuuksien säilyminen sulatuksesta toiseen tekevät teräksestä ekologisesti kestävästä materiaalin. Tavoitteena on fossiilivapaa terästuotanto, joka tarkoittaa uuden teknologian käyttöönottoa malmipohjaisessa terästuotannossa sekä tehokkaampia käytäntöjä kierrätysmenetelmiin, jonka avulla pystytään hyödyntämään paremmin kierrätysterästä. (Teräsrakenneyhdistys n.d.c)

## 4 HIILIJALANJÄLKILASKENTA

### 4.1 Rakennuksen taustatiedot

Helsingin kaupunki ja HUS toteuttavat yhteishankkeen, jossa uudistetaan Laakson sairaala-alue. Osana uudistusta alueelle rakennetaan muun muassa sairaalan uusi päärakennus. Päärakennukseen sijoittuvat somaattinen sairaanhoito, vaativa neurologinen kuntoutus, psykiatrinen sairaanhoito sekä tilat näitä tukeville poliklinikkatoiminnoille, tukipalveluille, opetukselle, tutkimukselle ja hallinnolle. Päärakennus liitetään tunneli- ja kuiluyhteyksin sairaala-alueella sijaitseviin muihin rakennuksiin sekä alapuolisten pysäköinti- ja huoltotiloihin. (LYS 2020)

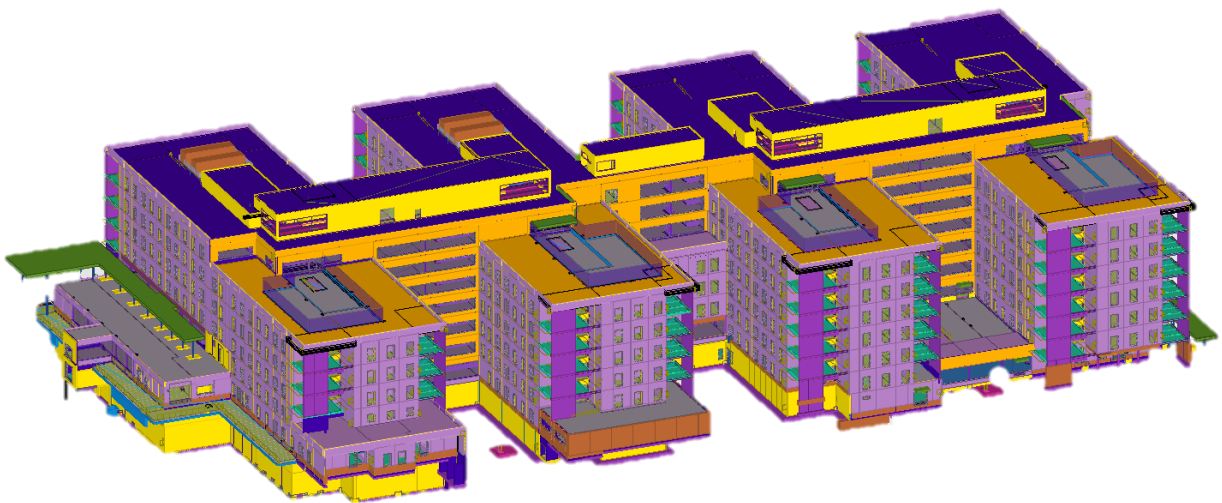
Päärakennuksen runko on pilari-palkkirunko ja sen pääasiallisina rakennusmateriaaleina käytetään betonia ja terästä. Päärakennuksessa oli hankkeen alkuvaiheessa 10 kerrosta, mutta kehitystyön tuloksena lopullisessa toteutuksessa on 9 kerrosta. Alapuoella kuviossa 8 on havainnekuva Laakson sairaala-alueesta, jonka keskellä punaisissa kehyksissä sairaalan päärakennus.



KUVIO 8. Havainnekuva Laakson sairaalan alueesta. (Kuva: LYS-allianssi / Laakson Latu.)

## 4.2 Laskentamenetelmät

Opinnäytetyössä selvitetään sairaalan päärakennuksen pilari-palkkirungon hiilijalanjälki, kehitystyön vaikutus päästöihin sekä optimoinnin kautta rakennusmateriaalien mahdollisuudet päästövähennyksiin. Hiilijalanjäljen arvioinnissa muuallaan ympäristöministeriön vähähiilisen rakentamisen arviointimenetelmää laskettaessa hiilijalanjälkeä ainoastaan rakennuksen rungolle ja huomioimalla laskennassa vain vaiheet A1-A5. Laskenta toteutetaan Excel -laskentapohjaa ja IFC-malleja hyväksi käyttäen. Kuviossa 9 on esitetty rakennesuunnittelussa käytetty Tekla Structures -ohjelmalla tehty IFC-malli.



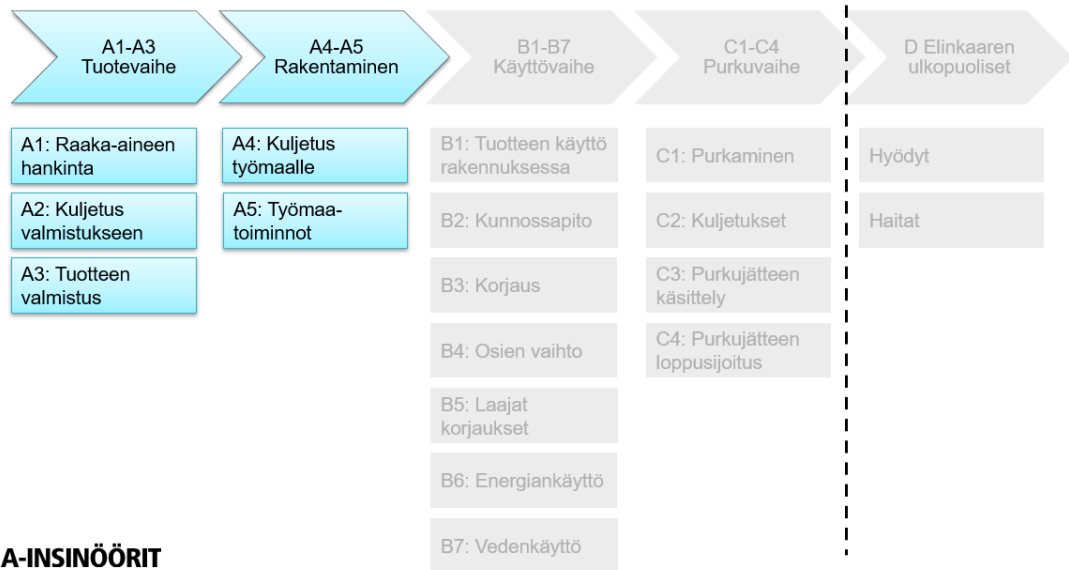
KUVIO 9. Kuvakaappaus rakennesuunnittelussa käytettävästä IFC-mallista.

Lähtötietoina päästölaskennalle käytettiin kohteen rakennesuunnittelun ja arkkitehtien IFC-malleja sekä materiaalien päästötietoja. Päästötiedot laskentaa varten saatiin hankkeeseen valituilta toimittajilta, Lujalta ja Nordec:ltä, sekä määrätiedot rakennesuunnittelijalta A-Insinööreiltä tietomallista. Betonin päästötiedoista vastaa Lujabetoni ja teräksen ympäristöselosteesta (EPD) Nordec. Materiaalien päästötietojen lisäksi tuotetoimittajilta saatiin osittain tiedot tuotteiden kuljetusväilyksistä sekä kuljetusmenetelmistä.

LYS:n päärakennuksen rungon päästölaskennassa huomioidaan rungon hiilijalanjäljen kannalta merkittävimmät osa-alueet eli materiaaleista, kuljetuksesta sekä rakentamisvaiheesta aiheutuvat päästöt. Laskennan osalta alkuvaiheen päästötiedoilla saadaan tarkempi tulos, koska ne perustuvat mitattuihin arvoihin toisin kuin käyttö- ja purkuvaiheiden päästöt, joka perustuvat arvioihin. Opinnäy-

tetyössä päästölaskenta rajataan moduuleihin A1-3 Tuotevaihe ja A4-5 Rakentamisvaihe. Kuviossa 10 on esitetty laskennassa käytetty rajaus.

## Rakennuksen elinkaari standardin EN 15978 mukaan



**A-INSINÖÖRIT**

KUVIO 10. Päästölaskennassa käytetyt rakennuksen elinkaaren vaiheet.

Menetelmän moduuleihin A1-3 sisältyvät A1 Raaka-aineen hankinta, A2 Kuljetus valmistukseen ja A3 Tuotteen valmistus. Materiaalista johtuvien päästöjen lisäksi laskennassa huomioidaan rakentamisen aikana aiheutuvat päästöt, jotka on jaettu vaiheisiin A4 Kuljetus työmaalle ja A5 Työmaatoiminnot.

Materiaalien päästölaskenta suoritettiin käyttäen apuna Excel -laskentapohjaa, jonne syötettiin betonin määrät kuutiometreinä ( $m^3$ ), betonielementtien määrät neliömetreinä ( $m^2$ ) ja teräsosien määrät kiloina (kg). Määrät kerrottiin päästökerroimilla, jotka saatiin materiaalitoimittajien antamista päästötiedoista ja EPD-ympäristöselosteesta. Lujan päästötiedoissa annetut päästöt perustuivat betonin osalta arvioon, joka oli tehty BY-Vähähiilisyyslaskurilla, sekä muiden materiaalien osalta päästöjen arvioinnissa oli käytetty CO2data -verkkopalvelun konservatiivisia arvoja. Kertolaskun tulokseksi saatiin tuotekohtaiset päästötiedot. Laskennassa huomioitavat betoni- ja teräsosat sekä niiden määrät on esitetty alapuolella taulukossa 1. Rajauksen ulkopuolelle jäävät paikallavalurunko, anturavalut sekä julkisivut.

Taulukko 1. Päästölaskennassa käytetyt tuotteet sekä materiaalmääriä casekohtaisesti.

OSALUETTELO	CASE 1		CASE 2		CASE 3		Laskennassa käytetty päästökerroin
	Määrät	Päästöt	Määrät	Päästöt	Määrät	Päästöt	
<b>TERAS</b>	<b>kg</b>	<b>kgCO2</b>	<b>kg</b>	<b>kgCO2</b>	<b>kg</b>	<b>kgCO2</b>	
CWQ-BEAM	1 091 575	2 903 590	1 054 957	2 806 186	2 806 186	7 464 454	Teräksen kertoimet Nordec EPD
KOTELOPALKKI	159 535	424 363	159 535	424 363	418 565	1 113 383	
PALKKI	89 839	228 191	85 211	216 436	355 776	903 670	2,66
WQ-BEAM	526 530	1 400 570	370 719	986 113	986 113	2 623 059	2,54
LIITTOPILARIT	477 849	1 271 079	445 737	1 185 659	1 185 659	3 153 854	
LIITTOPILARIEN TERÄKSET (VALUSSA)	121 325	322 725	115 485	307 190	64 672	172 027	
PUTKIPILARI	21 528	57 265	21 528	57 265	21 528	57 265	
SEINÄSIDE	4 395	11 690	4 395	11 690	4 395	11 690	
TASOSIDE	18 973	50 469	18 973	50 469	18 973	50 469	
<b>BETONIELEMENTIT</b>	<b>m2</b>	<b>kgCO2</b>	<b>m2</b>	<b>kgCO2</b>	<b>m2</b>	<b>kgCO2</b>	
SANDWICH	25 058	3 179 324	23 491	2 960 831	23 491	2 960 831	Betonielementtien osalta päästöt perustuvat Lujalta saatuihin laskelmiin, jotka on arvioitu betonin osalta BY-vähähiiliisyyslaskurilla ja muiden materiaalien osalta käyttäen CO2datan konservatiivisia päästökertoimia.
RÄYSTÄS	1 692	205 745	1 692	205 745	1 692	205 745	
SEINÄELEMENTTI/LAATTA 220 MM	18 171	1 564 696	16 925	1 459 649	16 925	583 859	
ONTELOLAATTA 400 MM	18 069	1 145 521	18 069	1 145 521	18 069	458 208	
ONTELOLAATTA 320 MM	62 673	3 761 283	56 173	3 371 155	56 173	1 348 462	
MASSIIVILAATTA 280 MM	999	93 853	864	81 112	864	81 112	
LAATTAELEMENTTI 310 MM	4 106	458 771	3 731	416 874	3 731	416 874	
KUORIELEMENTIT (AKE) 100 MM	834	55 514	834	55 514	834	55 514	
KUORIELEMENTIT (KE) 100 MM	377	20 241	377	20 241	377	20 241	
MAANPAINESEINÄLEM. 250 MM	1 441	175 254	1 441	175 254	1 441	175 254	
VÄLISEINÄELEMENTTI 150 MM	121	8 264	121	8 264	121	8 264	
PORRASELEMENTIT	145	13 570	145	13 570	145	13 570	
<b>VALMISBETONI</b>	<b>m3</b>	<b>kgCO2</b>	<b>m3</b>	<b>kgCO2</b>	<b>m3</b>	<b>kgCO2</b>	
YLÄPOHJIEN KALLISTUSVALUT	2 071,69	477 317	2 071,69	477 317	2 071,69	477 317	Valmisbetoneiden päästökertoimina on käytetty CO2datasta (5.4.2023) saatuja arvoja
MAAVARAISSET LATTIAT	1 363,94	314 252	1 363,94	314 252	1 363,94	314 252	
PINTALAATAT	6 485,14	1 494 176	6 424,03	1 480 097	6 424,03	1 480 097	
PAIKALLAVALUKAISTAT	822,44	217 124	740,64	195 529	740,64	195 529	
LIITTOPILARIT (BETONI)	756,24	256 601	692,25	231 080	692,25	231 080	
SAUMAVALUT	1 554,50	410 389	1 470,00	388 080	1 470,00	388 080	

Moduulissa A4 päästöjen suuruus saadaan laskemalla päästöt jokaiselle kuljetukselle erikseen käyttämällä eri kuljetusmuodoille ja polttoaineille tyypillisiä päästökertoimia. Kuljetuksista johtuvien päästöjen (moduuli A4) laskentaa varten tarvittiin kuljetusmatkan pituus (km), kuljetettavan kuorman suuruus (kg) ja kuljetuksien lukumäärä. Kertoimet päästölaskentaa varten saatiin päästötietokannasta. Laskennassa otetaan huomioon maantieajo päästökertoimella 0,094 ( $GWP_{tkm,maantie}$ ) ja kaupunkiajo kertoimella 0,15 ( $GWP_{tkm,katuajo}$ ). Laskennassa huomioidaan myös maantieajon ja katuajon pituudet prosenttiosuuksilla, maantieajoa 80 % ja katuajoa 20 % kuljetusmatkasta.

Lujabetonin tuotteet toimitetaan Hämeenlinnasta ja Taavetista. Alihankintana toimitettavien tuotteiden kuljetusmatkojen keskiarvoksi arvioitiin 350 km. Terästuotteiden kuljetusmatkan pituutta ei tiedetty, mutta laskennassa oletetaan, että Nordec toimittaa tuotteet Ylivieskan tehtaalta.



Kuljetuksesta aiheutuvien päästöjen arviointiin tarvittiin kuljetusvälineiden lisäksi arvio kuljetusvälineestä sekä ajoneuvolla kuljetettavan kuorman suuruudesta. Kuljetusvälineeksi oletettiin kaikissa tapauksissa puoliperävaunuyhdistelmä ja sen täyttöasteeksi oletettiin menomatalla 80 % ja paluumatalla 0 %. Täyttöasteen prosentit perustuvat rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmän kuljetusten hiilijalanjäljen laskentaohjeeseen. Kuljetusväline huomioidaan CO<sub>2</sub>-datan kuljetuksen päästöjen laskennassa käytettävässä päästökertoimessa ( $GWP_{tkm,maantie,katuajo}$ ).

Kuljetuksen kuorman keskiarvoksi arvioitiin 30 000 kg. Arvio perustuu kuljetettavien elementtien kokoon ja kuljetustapaan. Täyttöastetta 80 % käytettäessä päästökertoimena käytetään päästötietokannan 40 % kuormaa kuljetuksen meno- ja paluumatkoilla. Kuviossa 11 on kuvakaappaus kuljetusten päästöjen laskentaan käytetystä Excel-pohjasta.

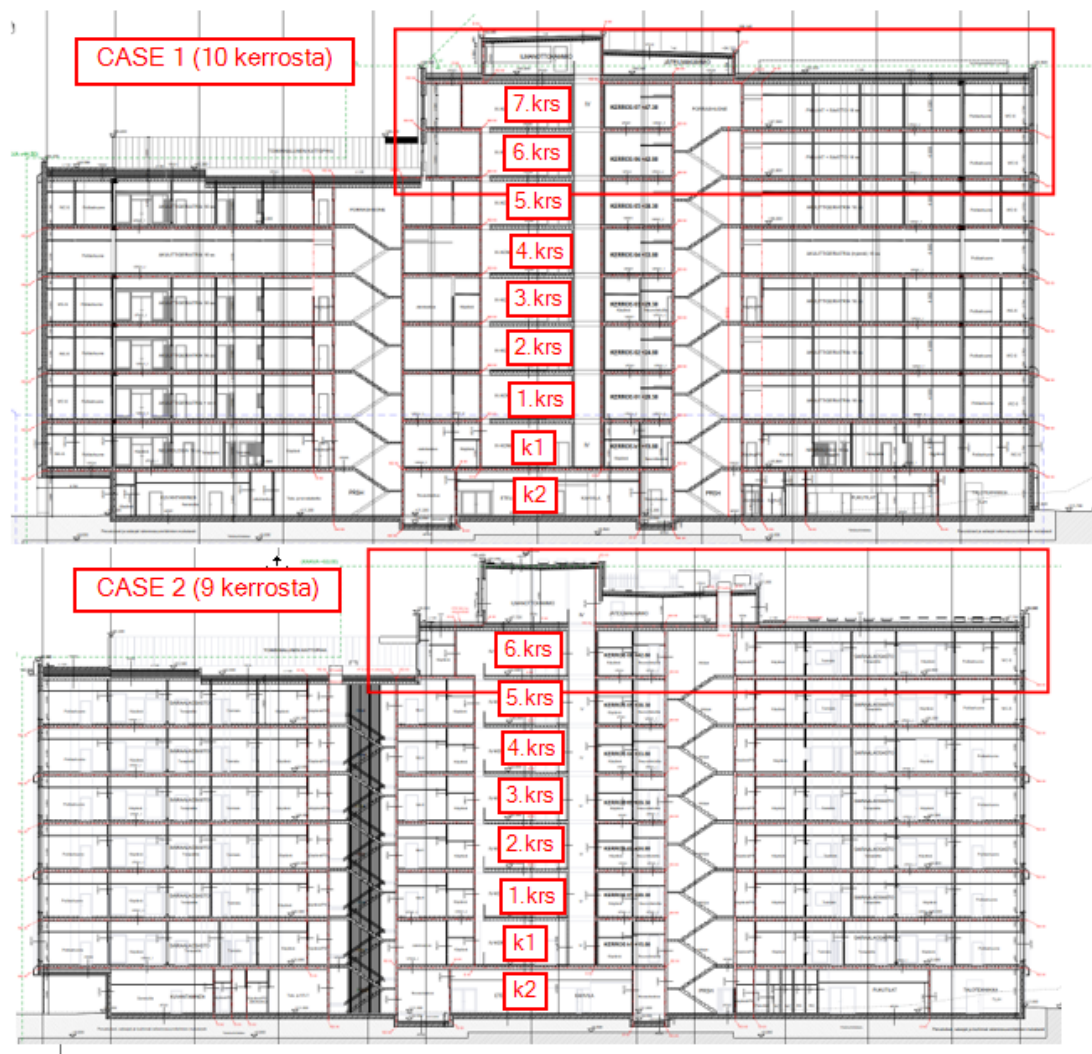
Arvioidaan, että kuljetuksista 80 % on maatieajoa ja 20 % kaupunkiajoa		GWP <sub>maantie</sub>	GWP <sub>katuajo</sub>	Arvioitu kuorma (t)kg		30	Alihankintana toimitettavat elementit etäisyys arvioitu 350 km		
		0,094	0,15	Kuorman oletettu käyttöaste		80 %			
		80 %	20 %	Kuorman täyttöaste 80 %		2			
KULJETUKSET A4		BETONI				TERÄS			
		Hämeenlinna		Taavetti		Alihankinta		Ylivieska	
Kuorma <sub>meno</sub>	(t)kg	12	12	12	12	12	12	12	
Etäisyys <sub>meno</sub>	km	100	190	350	530	530	530	530	
GWP <sub>meno, maantie</sub>	80 %	0,094	0,094	0,094	0,094	0,094	0,094	0,094	
GWP <sub>meno, katuajo</sub>	20 %	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	
Kuorma <sub>paluu</sub>	(t)kg	12	12	12	12	12	12	12	
Etäisyys <sub>paluu</sub>	km	100	190	350	530	530	530	530	
GWP <sub>paluu, maantie</sub>	80 %	0,094	0,094	0,094	0,094	0,094	0,094	0,094	
GWP <sub>paluu, katuajo</sub>	20 %	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	
<b>Päästöt</b> kg CO <sub>2</sub> e/kuljetus		252,48	479,71	883,68	1338,14	1338,14	1338,14	1338,14	
Toimitettavien materiaalien kokonaismäärä (t)kg		<b>Case 1</b>	<b>Case 2</b>	<b>Case 1</b>	<b>Case 2</b>	<b>Case 1</b>	<b>Case 2</b>	<b>Case 1</b>	<b>Case 2</b>
		35 001	32 404	30 196	28 144	34 467	31 690	2 512	2 277
Kuljetuksien määrä (Kokonaismäärä/max.kuormalla)		1 458	1 350	1 258	1 173	1 436	1 320	105	95
<b>KULJETUKSIEN PÄÄSTÖT</b>		368 213	340 887	603 549	562 540	1 269 089	1 166 831	140 034	126 931
<b>Kuljetuksien päästöt YHTEENSÄ</b>									
					<b>CASE 1</b>	<b>2 380 884</b>			
					<b>CASE 2</b>	<b>2 197 190</b>			

KUVIO 11. Kuvakaappaus kuljetusten päästölaskentaan käytetystä Excel-pohjasta.

Työmaatoimintojen (moduuli A5) päästölaskentaa varten käytettiin päästötietokannasta saatua toimistotalon rakentamiselle annettua päästökertoimista, josta rungon pystytystöiden osuudeksi arvioitiin 40 %. Työmaatoimintojen päästöt saatiin kertomalla lämmitetty nettoala pienennetyllä päästökertoimella.

### 4.3 CASE-tapaukset

CASE 1:ssä tarkasteltiin Laakson yhteissairaalan päärakennuksen rungon hiili-dioksidipäästöjä kehitysvaiheen lähtötilanteen tiedoilla. LYS:n päärakennuksessa oli suunnittelun alkuvaiheessa 10 kerrosta. Päärakennuksen kaksi alinta kerrosta ovat k1- ja k2-kerrokset, niiden yläpuolelta alkaa kerrokset 1–7 ja ylimpänä vesikatolla sijaitsee IV-konehuone. Kerrokset esitetty kuviossa 12. Kerrosala pienenee ylöspäin mentäessä ja kerroksien 6 ja 7 kohdalla kerrosala on reilu puolet alempien kerrosten kerrosalasta. Matalan osan kerroksien kerrosala on 11 224 m<sup>2</sup> ja korkean osan kerrosala on 7 282 m<sup>2</sup>.



KUVIO 12. Leikkauspiirustukset (ARK) Laakson yhteissairaalan päärakennuksesta lähtötilanteessa (yläpuolella) ja nykytilanteesta (alapuolella)

Alapuolella kuviossa 13 on pohjapiirustukset (ARK) päärakennuksesta, jossa näkyy rakennuksen matalampi osa (oikealla) ja korkeampi osa (vasemmalla). Bruttoneliöinä 10-kerroksisen päärakennuksen laajuus on noin 98 685 m<sup>2</sup>.



KUVIO 13. Päärakennuksen kerroksien 6–7 kerrosala (vasemmalla) ja kerroksien k2-5 (oikealla)

CASE 1:n laskennassa käytetyt arvot perustuvat arvioihin, jotka on laskettu lisäämällä 9-kerroksisen päärakennuksen (CASE 2) olemassa oleviin tietoihin poistettua kerrosta vastaavan kerroksen määrä- ja pinta-alatiedot. Poistetun kerroksen kerrosala vastaa kuviossa 12 esitettyä pienempää kerrosalaa. Arviota käyttämällä pystyttiin arvioimaan 10-kerroksisen rakennuksen hiilijalanjälki elinkaaren vaiheissa A1-A5.

Kehitystyön tuloksena päärakennuksen kerroslukua laskettiin kymmenestä yhdeksään ja CASE 2:ssa selvitettiin yhden kerroksen pois jättämisen vaikutusta rungon hiilijalanjälkeen. Pois jätetty kerros oli osa rakennuksen korkeampaa puolta, joten poistetun kerroksen kerrosala oli 7 282 m<sup>2</sup>. Kuviossa 12 näkyy yhden kerroksen pois jättämisen vaikutus päärakennuksen leikkauspiirustuksessa (ARK). 9-kerroksisen päärakennuksen laajuus on 91 402,5 m<sup>2</sup>.

Laskennassa käytetyt CASE 2:n määrä- ja pinta-alatiedot vastaavat päärakennuksen nykytilannetta.

CASE 3:ssa tarkasteltiin vähähiilisten tuotteiden käyttämisen vaikutusta hiilijalanjälkeen. Hankkeeseen valitulta elementtitoimittajalta Lujalta oli saatavilla vähähiilisiä seinäelementtejä sekä vähähiilisiä ontelolaattoja. Vähähiilisten tuotteiden hiilijalanjälki on Lujan mukaan jopa 40 % pienempi normaaleihin ontelolaatta ja seinäelementteihin verrattuna. Tarkempia tuotetietoja ei ollut saatavilla, joten laskentaan on käytetty 40 % vähennystä.

Laskennassa moduuleissa A4 kuljetus ja A5 työmaa CASE 3:ssa on käytetty CASE 2:n tietoja, koska optimoinnilla ei ollut vaikutusta määrä- tai pinta-alatietoihin.

## 5 TULOKSET

Laskennan tuloksena pystyttiin toteamaan yhden kerroksen pois jättämisen vaikutukseksi noin -8 % verrattaessa päärakennuksen rungon lähtötilanteeseen (CASE 1). 10-kerroksisen päärakennuksen rungon hiilijalanjäljeksi saatiin 25 823 848 kgCO<sub>2</sub>e ja yhdeksän kerroksisen päärakennuksen (CASE 2) hiilijalanjäljeksi saatiin 23 866 727 kgCO<sub>2</sub>e (taulukko 2). Kokonaisvaikutus verrattaessa CASE 3:sen, jossa yhden kerroksen tiputtamisen lisäksi käytetään vähähiilisiä betonituotteita, vaikutusta CASE 1:seen on jopa 17 %. Tulokset on esitetty taulukossa 2 tarkemmin CASE-kohtaisesti ja ne on eritelty vaiheittain moduuleihin A1-A3, A4, A5 sekä yhteenvedona A1-A5. Seuraavissa kappaleissa on esitetty tuloksien selvitys vaihekohtaisesti.

TAULUKKO 2. Laskennan tulokset eriteltynä elinkaaren eri vaiheisiin

			CASE 1	CASE 2	CASE 3
A1-A3	TUOTE VAIHE	Valmisbetoni	3 169 860	3 086 354	3 086 354
		Betonielementti	10 753 012	9 879 659	7 572 780
		Teräs	6 728 254	6 115 531	6 115 531
A4	KULJETUS		2 380 884	2 197 190	2 197 190
A5	TYÖMAA		2 791 838	2 587 993	2 587 993
A1-A5	KOKONAISPÄÄSTÖT kg CO <sub>2</sub> e		25 823 848	23 866 727	21 559 847
Päästövähennyspotentiaali			-	7,6 %	10 %
Kokonaisvaikutus			17 %		

### 5.1 A1-A3 Tuotevaiheen päästöt

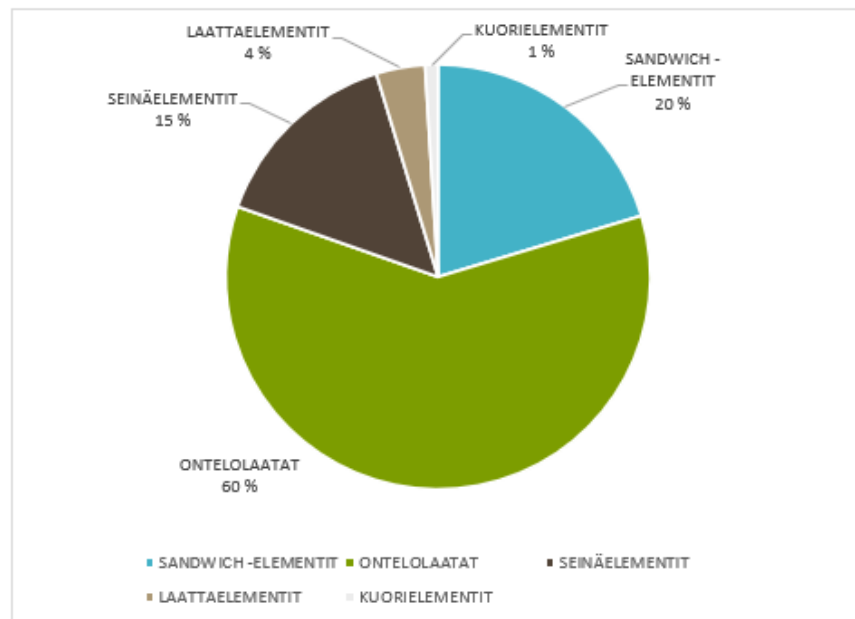
Tuotevaihe (A1-A3) on jaettu kolmeen osa-alueeseen materiaalien mukaisesti: valmisbetoni, betonielementit ja teräsosat. Taulukossa 2 on esitetty vaihekohtaiset hiilidioksidipäästöt ja päästövähennyspotentiaali sekä kokonaisvaikutus verrattaessa vähähiilisten betonituotteiden käytön vaikutusta lähtötilanteen (CASE 1) hiilidioksidipäästöihin.

Valmisbetonin päästöjen osuus jää selkeästi pieneksi kaikissa CASE-tapauksissa, johtuen pienemmistä käyttömääristä. CASE 1:ssä päästöjen määrään vaikuttaa suurempi kerrosmäärä, jolloin valmisbetonin päästöt ovat

3 169 860 kg CO<sub>2</sub>e. CASE 2:ssa ja CASE 3:ssa valmisbetonin päästöjen laskennassa on käytetty samoja määriä, jolloin päästöjen osuus on 3 086 354 kg CO<sub>2</sub>e, koska optimoinnin vaikutukset eivät vaikuta valmisbetonin määriin.

Betonelementtien vaikutus rungon hiilijalanjälkeen oli odotetusti merkittävin, johtuen betonin suurista päästövaikutuksista sekä elementtien suurten käyttömäärien takia. CASE 1:ssä 10-kerroksisen rakennuksen elementtimäärät ovat suuremmat, jolloin päästöjen osuus on 10 753 012 kgCO<sub>2</sub>e. Yhden kerroksen tiputtamisen vaikutuksesta CASE 2:n päätöt ovat 9 879 659 kgCO<sub>2</sub>e, joka tarkoittaa noin 8 % vähennystä CASE 1 päästöihin verrattuna.

Optimointiin käytettiin opinnäytetyössä Lujan vähähiilisiä ontelolaattoja sekä seinäelementtejä, jolloin optimoinnin vaikutus näkyy ainoastaan betonelementtien osuudessa. Päästöjen osuus vähähiilisille betonelementeille oli 7 572 780 kgCO<sub>2</sub>e. Vähähiilisten betonelementtien huomattava vaikutus johtuu ontelolaattojen suuresta käyttömäärästä. Ontelolaattojen osuus rungon elementeistä on jopa 60 %, kuten kuviossa 14 on esitetty.



KUVIO 14. Päärakennuksessa käytettävien betonelementtien jakauma prosentteina

Teräsosien päästöt lähtötilanteessa (CASE 1) olivat 6 728 254 kgCO<sub>2</sub>e. Yhden kerroksen poisjättämisellä saatiin vähennettyä noin -10 % teräsosien hiilidioksi-

dipäästöistä. Koska optimoinnissa huomioitiin ainoastaan betonielementit, CASE 2:n ja CASE 3:n välillä päästöihin ei tullut muutoksia.

## 5.2 A4 Kuljetuksen päästöt

Betonituotteiden ja teräsosien kuljetuksien päästöt laskettiin erikseen tehtaiden sijaintien perusteella. Hämeenlinnasta toimitettavien ontelo- ja kuorilaattojen päästöjen osuudeksi tuli 252,5 (t)kgCO<sub>2</sub>e /kuljetus. CASE 1 kuljetuksien kokonaispäästöiksi saatiin 368 213 kgCO<sub>2</sub>e ja CASE 2 340 887 kgCO<sub>2</sub>e. Taavetista toimitettavien betonielementtien päästöt olivat 479,7 (t)kgCO<sub>2</sub>e /kuljetus, jolloin kokonaispäästöiksi laskettiin CASE 1: 603 549 kgCO<sub>2</sub>e ja CASE 2: 562 540 kgCO<sub>2</sub>e. Alihankinta toimitettavien tuotteiden toimituspaikkojen sijaintien keskiarvo arvioitiin 350 km, jolloin yhden kuljetuksen päästöiksi saatiin 883,7 kgCO<sub>2</sub>e. CASE 1 kokonaispäästöjen osuus oli 1 269 089 kgCO<sub>2</sub>e ja CASE 2 kokonaispäästöjen osuus 1 166 831 kgCO<sub>2</sub>e.

Teräsosien pitkän kuljetusmatkan takia teräksen päästöjen osuudeksi saatiin yhdelle kuljetukselle 1338,1 kgCO<sub>2</sub>e, mutta huomattavasti pienempien materiaalmäärien takia CASE 1:ssä päästöt olivat 140 034 kgCO<sub>2</sub>e ja CASE 2:ssa 126 931 kgCO<sub>2</sub>e. Kuviossa 15 on esitetty kuljetuksesta aiheutuvat päästöt.

KULJETUKSET A4	BETONI						TERÄS	
	Hämeenlinna		Taavetti		Alihankinta		Ylivieska	
Päästöt kg CO <sub>2</sub> e/kuljetus	252,48		479,71		883,68		1338,14	
Toimitettavien materiaalien kokonaismäärä (t)kg	Case 1	Case 2	Case 1	Case 2	Case 1	Case 2	Case 1	Case 2
Kuljetuksien määrä (Kokonaismäärä/max. kuormalla)	1 458	1 350	1 258	1 173	1 436	1 320	105	95
<b>KULJETUKSIEN PÄÄSTÖT</b>	368 213	340 887	603 549	562 540	1 269 089	1 166 831	140 034	126 931
<b>Kuljetuksien päästöt YHTEENSÄ</b>								
			CASE 1		2 380 884			
			CASE 2		2 197 190			

KUVIO 15. Kuljetuksen päästöt materiaaliakohtaisesti ja kokonaispäästöt CASE-tapauksittain

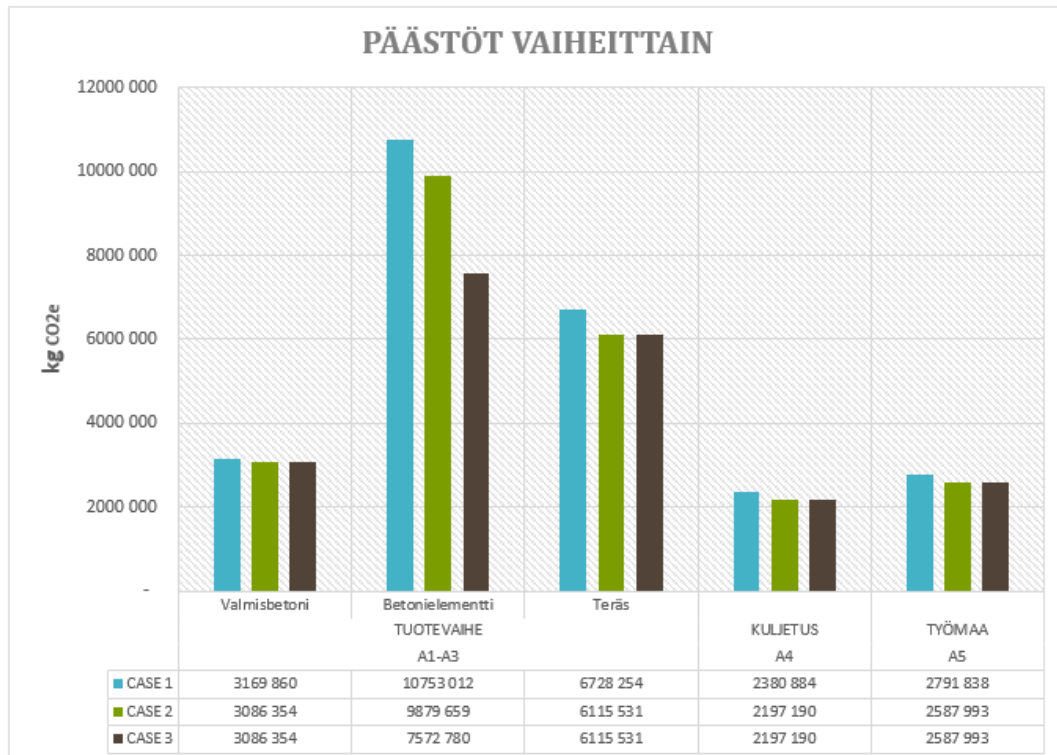
## 5.3 A5 Työmaan päästöt

Työmaan päästöjen osuudeksi saatiin 10-kerroksiselle päärakennukselle (CASE 1) 2 791 838,4 kgCO<sub>2</sub>e. Yhden kerroksen poisjättämisen tuloksena työ-

maan päästöjen osuus tippui noin 8 %, jolloin päästöt olivat 2 587 993,2 kgCO<sub>2</sub>e (CASE 2). Taulukossa 2 on esitetty työmaan päästöjen osuudet CASE-tapauksittain.

## 5.4 Yhteenveto

Suurin tekijä päärakennuksen rungon CO<sub>2</sub>-päästöihin on tuotevaiheen A1-A3 betonielementeillä. Alapuolella kuviossa 16 on esitetty A1-A3 tuotevaiheesta, A4 kuljetuksesta ja A5 työmaatoiminnoista aiheutuvat päästöt CASE-kohtaisesti.



KUVIO 16. Rungon hiilijalanjälki vaiheille A1- A3, A4 ja A5 CASE-tapauksittain

Kokonaisuuden kannalta vaakarakenteilla on suurin vaikutus hiilijalanjälkeen ja ontelolaattojen vaihtaminen vähähiilisempiin ontelolaattoihin tuo merkittävän päästövähennyksen. Ontelolaattojen lisäksi optimoinnissa on otettu huomioon vähähiilisten seinäelementtien vaikutus.



## 6 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia LYS:n päärakennuksen hiilijalanjälki rungon kehitystyön kolmessa eri vaiheessa ja selvittää suunnittelun aikana tehtyjen päätösten vaikutusta LYS:n päärakennuksen rungon hiilijalanjälkeen. Hiilijalanjälkilaskennan lisäksi työssä perehdyttiin hiilijalanjälkeä koskevaan lainsäädäntöön, päästötavoitteisiin säädösohjauksen takana sekä julkisen sektorin rooliin hiilidioksidipäästöjen kannalta.

Opinnäytetyön perusteella päärakennuksen kehitystyön avulla on pystytty pienentämään rungon hiilijalanjälkeä. Yhden kerroksen poisjättämisen merkittävin vaikutus on materiaalimäärien vähentymisessä, sillä materiaalityöstä johtuvia päästöjä on huomattavasti eniten, kuten edellä kuvioista 16 voidaan havaita.

Kerroksen poisjättämisen vaikutus nähdään myös kuljetusvaiheen päästöissä. Materiaalimääriä vähentämällä ei kuitenkaan pystytä vähentämään kuljetuksen päästöjä yhtä tehokkaasti kuin kuljetusmatkan pituuden lyhentämisellä. Kuljetusmatkan pituudesta aiheutuvat päästöt ovat kuljetuksien päästöjen suurin tekijä. Joten jos kuljetuksien päästöistä halutaan mahdollisimman pienet, on kiinnitettävä huomiota toimittavan tehtaan sijaintiin.

LYS-hankkeelle asetettujen elinkaaritavoitteiden kannalta opinnäytetyössä otetaan kantaan resurssiviisaan rakentamisen näkökulmasta. Kehitystyön tuloksena säästäminen materiaalimäärissä vie hanketta kohti haluttua tulosta säästämällä kaikilla opinnäytetyöhön rajatuilla osa-alueilla: tuotevaiheessa, kuljetuksissa sekä työmaatoiminnoissa.

Haasteena rungon hiilijalanjäljen laskennan osalta oli betonituotteiden päästötietojen päästökertoimien taustatietojen oikeellisuus. Lujalta saadut päästötiedot perustuivat BY-vähähiilisyyslaskurin ja CO<sub>2</sub>datan avulla tehtyihin päästökertoimiin, eikä päästökertoimien laskentatapaa ollut esitetty päästötiedoissa. Tarkempaan tulokseen päästäisiin, jos pystyttäisiin käyttämään Lujan tuotekohtaisia päästökertoimia. Betonin päästökertoimien lisäksi tarkkuutta laskentaa olisi

tuonut tieto alihankintana toimitettavien tuotteiden tarkoista kuljetusmatkoista sekä tarkemmin määritettävästä laskentatavasta työmaan (A5) päästöjen laske-  
taan. Koska opinnäytetyö oli rajattu koskemaan ainoastaan runkoa, työmaa-  
toimintojen päästökerroin on laskettu käyttämällä arviota rungon osuudesta  
työmaatoimintoihin.

## LÄHTEET

A-Insinöörit Oy. 2022. BuildingLife Rakennesuunnittelijan pikaopas. Pdf-dokumentti. Viitattu 19.3.2023.

<https://www.ains.fi/opaat/buildinglife-pikaopaat-vahahiiliseen-rakentamiseen>

Betoni. n.d.a. Mihin betonia käytetään. Verkkosivu. Viitattu 17.3.2023.

<https://betoni.com/tietoa-betonista/mihin-betonia-kaytetaan/>

Betoni. n.d.b. Vähähiilinen betoni. Verkkosivu. Viitattu 17.3.2023.

<https://betoni.com/betoni-ja-ymparisto/vahahiilinen-betoni/>

Bionova Oy. 2017. Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioonotamiseksi rakentamisen ohjauksessa. Ympäristöministeriö. Pdf-dokumentti.

Viitattu 8.3.2023. [Vähähiilisen rakentamisen tiekartta - YmpäristöministeriöTiekartta-rakennuksen-elinkaaren-hiilijalanjaljen-huomioonottamiseksi-rakentamisen-ohjauksessa-4B3172BC 4F20 43AB AA62 A09DA890AE6D-129197.pdf \(ym.fi\)](#)

European Commission. n.d. How does Level(s) work?. Verkkosivu. Viitattu 12.4.2023.

[https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy/levels/lets-meet-levels/how-does-levels-work\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy/levels/lets-meet-levels/how-does-levels-work_en)

Euroopan komissio. n.d. Ilmastonmuutoksen syyt. Verkkosivu. Viitattu 28.2.2023.

[https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change\\_fi](https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change_fi)

Gaia Consulting Oy. 2020. Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035. Osa 4. Rakennusteollisuuden ja rakennetun ympäristön vähähiilisyden tiekartta 2020 - 2035 – 2050, 16. Pdf-dokumentti. Viitattu 23.3.2023.

[https://www.rt.fi/globalassets/ymparisto-ja-energia/vahahiilisyys\\_uudet/rt\\_4.-raportti\\_vahahiilisyden-tiekartta\\_lopullinen-versio\\_clean.pdf](https://www.rt.fi/globalassets/ymparisto-ja-energia/vahahiilisyys_uudet/rt_4.-raportti_vahahiilisyden-tiekartta_lopullinen-versio_clean.pdf)

FIGBC. Green Building Council Finland. n.d. Ympäristöluokitukset. Verkkosivu. Viitattu 22.3.2023.

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

Helsingin ilmastoteot. 2022. Helsingin päästöt eivät laske odotetusti – Hiilineutraali Helsinki -ohjelmaa päivitetään. Verkkosivu. Viitattu 13.3.2023

<https://helsinginilmastoteot.fi/helsingin-paastot-eivat-laske-odotetusti-hiilineutraali-helsinki-ohjelmaa-paivitetaan/>

Helsingin ilmastoteot. n.d. Hiilineutraali Helsinki -päästövähennysohjelma ja sen seuranta. Verkkosivu. Viitattu 13.3.2023.

<https://helsinginilmastoteot.fi/city-act/helsingin-ilmastotavoitteet-ja-seuranta/>

HUSin Ilmastotiekartta. 2022. Verkkosivu. Viitattu 6.3.2023

<https://www.hus.fi/tietoa-meista/strategia-ja-vastuullisuus/vastuullisuus/ymparistovastuu/ilmastotiekartta>

Ilmasto-opas. 2022a. Sopimukset ohjaavat kansainvälistä ilmastopolitiikkaa. Verkkosivu. Viitattu 7.3.2023. <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/sopimukset-ohjaavat-kansainvalista-ilmastopolitiikkaa>

Jäätvuori, L., Tepponen, M., Varteva, K., Leino, R., Koskipalo, J. & Kotialho, T. 2021. Vähähiilisen rakentamisen klinikka – tulosraportti. RAKLI ry & A-Insinöörit. Pdf-dokumentti. Luettu 26.2.2023. <https://www.rakli.fi/klinikat/vahahiilinen-rakennuttaminen/>

Kuittinen, M., le Roux, S. 2017. Ympäristöopas. Vihreä julkinen rakentaminen – Hankintaopas. Ympäristöministeriö. Pdf-dokumentti. Viitattu 21.3.2023. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4744-9>

Kuittinen, M. 2019. Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä. Ympäristöministeriö. Pdf-dokumentti. Luettu 26.2.2023. [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161761/YM\\_2019\\_22\\_Rakennuksen\\_vahahiilisyyden\\_arviointimenetelma.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161761/YM_2019_22_Rakennuksen_vahahiilisyyden_arviointimenetelma.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Laakson yhteissairaala. 2020. Hankesuunnitelma. Pdf-dokumentti. Viitattu 22.3.2023. [https://www.hel.fi/static/public/hela/Kaupunginvaltuusto/Suomi/Paatos/2020/Keh\\_a\\_2020-06-10\\_Kvsto\\_11\\_Pk/E3DA2A22-121C-C671-9568-714F84F00000/Liite.pdf](https://www.hel.fi/static/public/hela/Kaupunginvaltuusto/Suomi/Paatos/2020/Keh_a_2020-06-10_Kvsto_11_Pk/E3DA2A22-121C-C671-9568-714F84F00000/Liite.pdf)

Laakson yhteissairaala. 2023. Vastuullisuus. Verkkosivu. Viitattu 9.3.2023. <https://laaksonyhteissairaala.fi/rakentaminen/vastuullisuus/>

Motiva. 2023. Kestävät julkiset hankinnat. Verkkosivu. Viitattu 26.2.2023. [https://www.motiva.fi/julkinen\\_sektori/kestavat\\_julkiset\\_hankinnat](https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kestavat_julkiset_hankinnat)

Rakentamisen päästötietokanta. 2022. Hiilineutraalisuomi. Verkkosivu. Viitattu 21.3.2023. [https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Tyokalut/Rakentamisen\\_paastotietokanta](https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Tyokalut/Rakentamisen_paastotietokanta)

Suomen Betonitieto ry. n.d.a. Hiilijalanjälki. Verkkosivu. Viitattu 17.3.2023. <https://www.betonitieto.fi/betoniteollisuus/valmisbetoni/ymparisto/ymparistovaikutukset/hiilijalanjalki.html>

Suomen Betonitieto ry. n.d.b. Kiviaines. Verkkosivu. Viitattu 20.3.2023. <https://www.betonitieto.fi/oppiminen/opetuksen-tukimateriaali/betonin-valmistus/betonin-osa-aineet/kiviaines.html>

Suomen Betonitieto ry. n.d.c. Sementti. Verkkosivu. Viitattu 20.3.2023. <https://www.betonitieto.fi/oppiminen/opetuksen-tukimateriaali/betonin-valmistus/betonin-osa-aineet/sementti.html>

Teräsrakenneyhdistys. n.d.a. Teräs materiaalina. Verkkosivu. Viitattu 20.3.2023. <https://www.terasrakenneyhdistys.fi/fin/teras/teras-materiaalina/>

Teräsrakenneyhdistys. n.d.b. Teräksen Hiilijalanjälki, Hiilikädenjälki ja Kiertotalous. Verkkosivu. Viitattu 20.3.2023.

<https://www.terasrakenneyhdistys.fi/fin/teras/co2-ja-kiertotalous/>

Teräsrakenneyhdistys. n.d.c. Terästuotteiden hiilijalanjälki

[https://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/1043/59c7ab2/Teraksen\\_hiilijalanjalki.pdf](https://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/1043/59c7ab2/Teraksen_hiilijalanjalki.pdf)

Valtioneuvosto. 2019. Osallistava ja osaava Suomi – sosiaalisesti, taloudellisesti ja ekologisesti kestävä yhteiskunta. Sanna Marinin hallituksen ohjelma 10.12.2019. Valtioneuvoston julkaisuja 2019:31. Pdf-dokumentti. Viitattu 22.2.2023.

[https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161931/VN\\_2019\\_31.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161931/VN_2019_31.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

WWF Suomi. n.d. Ilmastonmuutos. Verkkosivu. Viitattu 28.2.2023.

<https://wwf.fi/uhat/ilmastonmuutos/#ilmastonmuutoksen-hillitseminen-ja-sopeutuminen>

Ympäristöministeriö. 2021. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ilmastaselvityksestä. Verkkosivu. Viitattu 22.3.2023.

<https://ym.fi/hankesivu?tunnus=YM027:00/2021>

Ympäristöministeriö. 2022a. Uusi ilmastolaki. Verkkosivu. Viitattu 6.3.2023.

[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)

Ympäristöministeriö. 2022b. Rakennuksen ilmastaselvityksen ja materiaaliselosteen asetusluonnokset lausuntokierrokselle. Verkkosivu. Viitattu 22.3.2023.

<https://valtioneuvosto.fi/-/1410903/rakennuksen-ilmastaselvityksen-ja-materiaaliselosteen-asetusluonnokset-lausuntokierrokselle>

Ympäristöministeriö. 2023a. Eduskunta hyväksyi rakentamisen päästöjä pienentävät ja digitalisaatiota edistävät lait. Verkkosivu. Viitattu 6.3.2023.

<https://ym.fi/-/eduskunta-hyvakysi-rakentamisen-paastoja-pienentavat-ja-digitalisaatiota-edistavat-lait>

Ympäristöministeriö. 2023b. Rakennuksen ilmastaselvityksen ja materiaaliselosteen lausuntoyhteenvedot julkaistu – avoin keskustelutilaisuus vähähiilisen rakentamisen ohjauksesta tulossa 6.3. Verkkosivu. Viitattu 13.3.2023.

<https://ym.fi/-/rakennuksen-ilmastaselvityksen-ja-materiaaliselosteen-lausuntoyhteenvedot-julkaistu-avoin-keskustelutilaisuus-vahahiilisen-rakentamisen-ohjauksesta-tulossa-6.3>

Ympäristöministeriö. n.d.a. Pariisin ilmastopimus. Verkkosivu. Viitattu 7.3.2023.

<https://ym.fi/pariisin-ilmastosopimus>

Ympäristöministeriö n.d.b. Vähähiilinen rakentaminen. Verkkosivu. Viitattu 14.3.2023.

<https://ym.fi/vahahiilinen-rakentaminen>

Ympäristöministeriö. n.d.c. Level(s) – rakennusten resurssitehokkuuden yhteiset EU-mittarit. Verkkosivu. Viitattu 14.3.2023. <https://ym.fi/levels-rakennusten-resurssitehokkuuden-mittarit>