

Jens Nenonen

# HIILIJALANJÄLKI RAKENTUVASTA KOHTEESTA SEKÄ MATERIAALIEN MUUTOSTEN VAIKUTUS

Opinnäytetyö

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikan koulutus

2024



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**



Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Jens Nenonen
Työn nimi	Hiilijalanjälki rakentuvasta kohteesta sekä materiaalien muutosten vaikutus
Toimeksiantaja	Rakennuttajapalvelu Olli Oy
Vuosi	2024
Sivut	33 sivua
Työn ohjaaja(t)	Anu Kuusela, Viivi Etholén

## TIIVISTELMÄ

Tässä opinnäytetyössä käsiteltiin, mistä puu- ja betonirakennusmateriaalien hiilijalanjälki muodostuu. Työssä tutkittiin myös rakentuvan kohteen hiilijalanjälkeä ja kuinka hiilijalanjälkilaskelman hyödyt saadaan tehokkaasti ohjattua käytännön tasolle suunnitteluvaiheessa, sekä luotiin sisältövaatimuksia uuteen suunnitteilla olevaan hiilijalanjälkilaskentaohjelmaan. Työ tehtiin Rakennuttajapalvelu Olli Oy:lle.

Työssä pureudutaan puu- ja betonirakennusmateriaalien muodostamaan hiilijalanjälkeen, sekä näistä syntyviin ongelmakohtiin. Työssä on eritelty puun ja betonin hiilijalanjälki, sekä puu- ja betonirakentamisen hiilijalanjälki. Työssä tutkitaan myös, miten kohteen hiilijalanjälkeä pystytään pienentämään kohteen käyttövaiheessa.

Etsimällä ratkaisuja hiilijalanjäljen pienentämiseen ja yhteensovittamalla se rakennushankkeisiin, on merkittävä vaikutus tulevaisuuden rakennusteollisuudelle ja luonnon monimuotoisuuden säilyttämiselle. Rakentuvan kohteen hiilijalanjälki laskettiin käyttämällä ympäristöministeriön luomaa hiilijalanjäljen arviointityökalua.

**Asiasanat:** hiilijalanjälki, sisältövaatimus, ympäristöministeriö, hiilikädenjälki

Degree title	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Jens Nenonen
Thesis title	Carbon footprint of the constructed site and the impact of material changes
Commissioned by	Rakennuttajapalvelu Olli Oy
Time	2024
Pages	33 pages
Supervisor	Anu Kuusela, Viivi Etholén

## ABSTRACT

This thesis examined the carbon footprint of wood and concrete building materials and the carbon footprint of the constructed site. The study also investigated how the benefits of carbon footprint calculations can be effectively directed to practical application during the planning phase. Additionally, content requirements were established for a new carbon footprint calculation program currently in development. The work was carried out for Construction Management Services Olli Ltd.

The thesis delves into the carbon footprint generated by wood and concrete building materials and the associated challenges. It outlines the carbon footprint of wood and concrete as material, as well as the carbon footprint of wood and concrete construction. Furthermore, the study explores how the carbon footprint of a site can be reduced during its operational phase. The carbon footprint of the constructed site was calculated using the carbon footprint assessment tool developed by the Ministry of the Environment.

By seeking solutions to reduce carbon footprint and integrating them into construction projects, there is a significant impact on the future construction industry and the preservation of biodiversity.

**Keywords:** carbon footprint, content requirement, Ministry of the Environment, carbon handprint

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	KANSALLINEN RAKENTAMISEN PÄÄSTÖTIETOKANTA JA VÄHÄHIILISEN RAKENTAMISEN TIEKARTTA.....	5
3	KOHTI HIILINEUTRAALEJA KUNTIA JA ALUEITA SUOMESSA.....	6
4	BETONIN HIILIJALANJÄLKI .....	8
5	PUUN HIILIJALANJÄLKI .....	11
5.1	Hiilikädenjälki.....	15
5.2	Hiilikädenjälki rakennushankkeessa .....	15
6	MATERIAALIEN VAIKUTUS HIILIJALANJÄLKEEN.....	16
6.1	Betonirakentamisen hiilijalanjälki .....	16
6.2	Puurakentamisen hiilijalanjälki.....	19
7	HIILIJALANJÄLKI RAKENNUKSEN KÄYTTÖVAIHEESSA.....	22
8	SISÄLTÖVAATIMUKSET UUTEEN HIILIJALANJÄLKILASKENTAOHJELMAAN .....	24
9	TULOKSET JA YHTEENVETO .....	25
	LÄHTEET.....	30

## **1 JOHDANTO**

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on kerätä sisältövaatimuksia uuteen hiilijalanjälkilaskentaohjelmaan, sekä kuinka eri rakennusmateriaaleille voidaan vaikuttaa hiilijalanjäljen pienentämiseen rakennushankkeessa. Käsittelen aihetta sisältövaatimuksina ohjelmaa varten, hiilijalanjälkeä käsitteenä, puu- ja betonielementin alkuperää, sekä molempien materiaalien hiilijalanjälkeä koko tuotannon elinkaarelta. Työn on myös tarkoitus huomioida hiilijalanjälki rakennuksen käyttövaiheen osalta. Opinnäytetyön tutkimuskysymyksiä ovat miten hiilijalanjälkilaskelman hyödyt saadaan tehokkaasti ohjattua käytännön tasolle jo suunnitteluvaiheessa, saadaanko hyöty kanavoitua rakennuksen käyttövaiheelle sekä miten materiaalien muutosten vaikutus vaikuttaa hankkeen hiilijalanjälkeen ja kokonaiskustannuksiin.

Tämä työ toteutettiin toimeksiantona Rakennuttajapalvelu Olli Oy:lle, joka on rakennuttamiseen, rakentamisen valvontaan ja suunnittelun ohjaukseen erikoistunut yritys.

## **2 KANSALLINEN RAKENTAMISEN PÄÄSTÖTIETOKANTA JA VÄHÄHIILISEN RAKENTAMISEN TIEKARTTA**

Rakentamisen päästötietokanta on vuonna 2021 julkistettu osa rakennetun infrastruktuurin tietojärjestelmäkokonaisuutta. Päästökannan tavoitteena on saavuttaa yhtenäisyys rakennusten koko elinkaaren aikaisten ilmastovaikutusten arvioinnissa ja näin edistää vähähiilistä rakentamista. Päästölaskennan menetelmien ollessa vertailukelpoisia, se tukee oppimista ja auttaa asettamaan mittavia tavoitteita. Tutkimuksen tukena päästötietokanta on ollut hyödyllinen tiedonlähde arvioitaessa materiaalivaihtoehtojen hiilijalanjälkiä. Vähähiilistä rakentamista tuetaan laajentamalla säädösohjausta siten, että se kattaa käytönaikaisen energian lisäksi myös rakennuksen koko elinkaarenaikaiset päästöt. Uuden rakentamislain mukaan rakennuksen ja rakennuspaikan tulee sisältää ilmastaselvitys, joka kattaa kaikki vaiheet raaka-aineiden hankinnasta jätteiden käsittelyyn. Suomen ympäristökeskus on veloitettu ylläpitämään kansallista päästötietokantaa tukemaan tätä laskentaprosessia. (Kansallinen rakentamisen päästötietokanta s.a.)

Rakennusmateriaalien osuus koko elinkaaren aikana aiheutuvista hiilidioksidipäästöistä on merkittävä ja sen rooli korostuu, kun rakennettavien kohteiden energiatehokkuus tehostuu ja käytön aikaiset päästöt vähenevät. Valtaosa kyseisistä päästöistä muodostuu materiaalien valmistusvaiheessa. Tällä hetkellä kyseisten päästöjen hallintaa pyritään edistämään erilaisilla vapaasti käytettävillä arviointivälineillä, kuten Rakennustiedon ympäristöluokitus ja kansainvälinen LEED. Sertifiointijärjestelmiä käyttämällä kyetään hillitsemään rakennuksien hiilidioksidipäästöjä sekä edistämään energiatehokkuutta, joka on olennaista kestäväen kehityksen näkökulmasta. (Vähähiilisen rakentamisen tiekartta 2017.)

Tiedot ovat peräisin julkisista lähteistä, kuten rakennustuotteiden ympäristötiedoista, joita on käytetty vertailun, valinnan ja arvioinnin tukena yhdessä infrarakentamisen asiantuntijoiden kanssa. Tämä tietokanta on suunnattu erityisesti rakennusalan ammattilaisille, mutta se tarjoaa hyödyllistä tietoa kaikille, jotka ovat kiinnostuneita rakentamisen ilmastovaikutuksista. Palvelussa on koottuna yleisimpien ja tyypillisimpien rakennustuotteiden keskimääräisiä tietoja eikä se sisällä yksittäisten tuotteiden ympäristöselosteita. (Kansallinen rakentamisen päästötietokanta s.a.)

### **3 KOHTI HIILINEUTRAALEJA KUNTIA JA ALUEITA SUOMESSA**

EU:n Life-ohjelma on rahoittanut hankkeen nimeltä Kohti hiilineutraaleja kuntia ja alueita Suomessa. Hanke on kuusivuotinen (2018–2024) Suomen ilmasto- ja ympäristöpolitiikan hanke. Tarkoituksena on toteuttaa eritoten energia- ja ilmastostrategian sekä keskipitkän aikavälin ilmastonmuutospoliittikasunnitelman linjauksia. Tutustumalla hankkeen hyötyihin voi saavuttaa rakennettavissa kohteissa pienemmän hiilijalanjäljen, joka reflektoi suoraan hankkeen kokonaiskustannuksiin. (Canemure – Towards Carbon Neutral Municipalities and Regions 2021.)

Hanke on ollut pohjana kansalliselle ilmastostrategialle. Kansallinen ilmastostrategia puolestaan on perustana rakentamisen kestäväälle kehitykselle, jonka kysymyksiä tämä tutkimus pyrkii osaltaan ratkaisemaan. Suomen kansallisen energia- ja ilmastostrategian (NECS) päätavoitteena on vähentää kasviuonekaasupäästöjä erityisesti edistämällä kustannustehokasta siirtymistä

pois hiilidioksidipäästöistä ja kohti puhdasta, uusiutuvaa energiaa sekä tehostamalla energiankäyttöä. Suomi on odottanut saavuttavansa EU:n vuoden 2020 ilmasto- ja energiatavoitteet, NECS:n perusskenaarion mukaan EU:n vuoden 2030 ilmasto- ja energiatavoitteiden saavuttamiseksi tarvitaan uusia lähestymistapoja talouden sektoreille, jotka eivät ole mukana EU:n päästökauppajärjestelmässä. Asetettu tavoite on vähentää kasvihuonekaasupäästöjä 39 prosenttiin vuoteen 2030 mennessä, verrattuna vuoden 2005 tasoon niillä sektoreilla, jotka eivät kuulu päästökauppajärjestelmään. Erityisen haasteellisenä odotetaan turvemaan hiilidioksidipäästöjen vähentämistä. Turpeen hiilidioksidipäästöjen vähentäminen on tutkimuksen kannalta relevantti huomio, sillä turvetta käytetään esimerkiksi tuotantolaitoksissa, jotka tuottavat rakennusteollisuuden materiaaleja. (Towards Carbon Neutral Municipalities and Regions in Finland 2023.)

Kohti hiilineutraaleja kuntia ja alueita Suomessa-hankkeen keskeinen tarkoitus on tukea Suomen ilmastonmuutospolitiikan toteutusta NECS:n ja Suomen keskipitkän ilmastopolitiikan suunnitelman puitteissa vuosille 2018–2024. Projekti yhteistyössä seitsemän Suomen maakunnan – Uusimaan, Varsinais-Suomen, Satakunnan, Päijät-Hämeen, Tampereen seudun, Etelä-Karjalan ja Pohjois-Pohjanmaan – sekä 39 muun kunnan kanssa, jotka kattavat noin kolmanneksen Suomen pinta-alasta ja yli kaksi kolmasosaa sen väestöstä. Tähän kokonaisuuteen kuuluu myös 12 kuntaa, jotka ovat edelläkävijöitä ja ovat asettaneet tavoitteekseen vähentää 80 prosenttia tuottamistaan kasvihuonekaasupäästöistä. Tavoite koskee päästöjä vuoden 2007 kasvihuonekaasupäästöistä. Tavoite tulisi täyttää vuoteen 2030 mennessä. Nämä kunnat toimivat esimerkkeinä ja innostavat muita kuntia toimimaan samoin rakennusteollisuuden hiilijalanjäljen pienentämisessä. (Towards Carbon Neutral Municipalities and Regions in Finland 2023.)

Erityisiä tavoitteita ovat muun muassa luoda vähähiilisiä liikkumismahdollisuuksia, maatalouden sekä metsien hiilidioksidipäästöjen vähentäminen orgaanisesta maaperästä, kasvattaa rakennusten energiatehokkuutta ja kehittämällä ilmastolle kestäviä ratkaisuja kuten hiilinielut. Hanke keskittyy kapasiteetin rakentamiseen, infrastruktuuriin, teknologisiin ratkaisuihin ja käyttäytymismalleihin vähentääkseen kasvihuonekaasupäästöjä. Kunnat tavoittelevat 60

prosenttia vaaditusta vähennyksestä hiilidioksidipäästöissä päästökauppajärjestelmän ulkopuolella. Tavoite voidaan saavuttaa, jos nykyisessä infrastruktuurissa olisi 20 prosenttia enemmän sähkö- tai biokaasuautoja, asuinrakennusten lämmityskustannuksia pudotetaan 10 prosenttia, lisäämällä lähialueilla tuotettua uusiutuvaa energiaa 10 prosenttia ja lisäämällä aurinkopaneelien tuottamaa energiaa 15 prosenttia. (Towards Carbon Neutral Municipalities and Regions in Finland 2023.)

#### **4 BETONIN HIILIJALANJÄLKI**

J. Koskenmäki Oy:n mukaan (2020) betonia valmistetaan Suomessa vuositasolla noin 10 miljoonaa tonnia. Betonin ympäristövaikutuksista suurin tekijä on sementti. Betonissa sementin osuus on pieni, noin 8–16 painoprosenttia, mutta kokonaisuudessaan betonin kasvihuonekaasupäästöistä syntyy sementin päästöistä, joka on noin 60–80 prosenttia.

Merkittävä osa betonin hiilidioksidipäästöistä syntyy klinkkerin valmistukseen tarvittavasta energiasta sekä valmistuksessa käytettävän kalkkikiven muodonmuutoksesta. Sementin valmistusprosessissa kalkkikivi, sekä muut sementin sisältävät raaka-aineet kuumennetaan uunissa noin 1450° celsiusasteeseen. Korkean lämpötilan saavuttamiseksi ilmakehään vapautuu runsaasti hiilidioksidipäästöjä, mutta tärkeämpi hiilidioksidipäästönlähde on kalsinaatio, joka on kalkkikiven valmistuksessa tapahtuva koostumuksen muutos. (J. Koskenmäki Oy 2020.)

Uunin korkeassa lämpötilassa jauhettu kalkkikivi sulaa, jonka jälkeen sen mineraalit reagoivat keskenään. Kuumennusprosessissa kalkkikiveen sitoutunut fossiilinen hiilidioksidi vapautuu ilmaan, josta syntyy 1,5 % koko Suomen hiilidioksidipäästöistä. (Hiilidioksidin sitoutuminen betoniin 2021.)

Sementtiä valmistettaessa, hiilidioksidipäästöjen lisäksi syntyy hiukkas-, rikkioksidi-, ja typpioksidipäästöjä. Suomessa hiukkas- ja rikkioksidipäästöt on saatu madallutettua kiitettävälle tasolle, mutta typpioksidipäästöjen madaltamisessa ei olla vielä yhtä pitkällä. (J. Koskenmäki Oy 2020.)



Betonin valmistus on kieltämättä ympäristötaakka, mutta negatiivisista ympäristövaikutuksista huolimatta betoni on yhteiskuntien infrastruktuurin toimivuuden kannalta tärkeä. Betonin lujuus, äänieristävyys, palonkesto, kosteuden- ja lämmöntasaamiskyky, pitkäikäisyys ja edullisuus on tehnyt siitä lähes korvaamattoman rakennusmateriaalin. Pitkällä aikavälillä betonilla on myös ominaisuuksia, jotka edesauttavat ilmastokriisin torjumista ja lieventävät sen vaikutuksia. Betonirakenteiden käyttöikä voi olla jopa sadoissa vuosissa, sekä siitä valmistettuja rakennuksia. Koskenmäki (2020) väittää, että rakennusten osia on helppo muokata materiaalin muuntojoustavuuden ansiosta. Nykyisissä yhteiskuntien normeissa rakennuksilta vaaditaan monikäyttöisyyttä ja tässä betoni on erinomainen vaihtoehto. Tällöin vältetään turhalta purkamiselta ja uudelleenrakentamiselta. (J. Koskenmäki Oy 2020.) Henkilökohtaisesti olen sitä mieltä, että betoniosien muokkaaminen ei ole helppoa, sillä betonin purkaminen ja uudelleen rakentaminen on kohteesta riippuen työlästä. Kohde tulisi suunnitella ensimmäisellä kerralla monikäyttöiseksi, jotta turhalta purkamiselta ja uudelleen rakentamiselta vältyttäisiin, jolloin rakennuksen hiilijalanjälki pysyy sille lasketussa arvossa.

Rakennusaineena betonissa otetaan huomioon ekologiset, taloudelliset ja myös sosiaaliset näkökulmat. Betoni on erittäin emäksinen rakennusaine, mikä johtuu siihen kovettumisen aikana muodostuneesta kalsiumhydroksidista, eli sammutetusta kalkista. Ilmassa oleva hiilidioksidi reagoi sen kanssa, jolloin sementin aikana ilmakehään vapautunut hiilidioksidi sitoutuu takaisin rakennuksen betonipintoihin. Tällöin kalsiumhydroksidi saa muotonsa uudelleen kalkkikivenä. Tätä ilmiötä kutsutaan karbonatisoitumiseksi. Betonin karbonatisoitumista pidetään haitallisena ilmiönä, vaikka rakennus sitookin itseensä hiilidioksidia. Karbonatisoitumisen aiheuttama neutralisoituminen aiheuttaa rakenteiden betoniteräksissä ruostumista, jos materiaalissa on riittävästi kosteutta. Tätä voidaan ensisijaisesti pyrkiä estämään sijoittamalla teräkset tarpeeksi syväälle betoniin esimerkiksi suojabetonikerroksella. Myös toinen merkittävä tekijä karbonatisoitumisen hidastamiseksi on valmistaa betoni mahdollisimman tiiviiksi, jolloin hiilidioksidin tunkeutuminen betoniin hidastuu. (Hiilidioksidin sitoutuminen betoniin 2021.)

Hiilijalanjälkitarkastelun näkökulmasta tällä on merkitystä erityisesti hiilidioksidipäästöjen, hiilivaraston ja karbonatisoitumisen vaikutuksen kannalta. Sisäis-tämällä miten betoni sitoo hiilidioksidia ilmasta prosessin aikana, voidaan arvioida miten karbonatisoitumista voidaan hidastaa vielä entisestään. Rakennus-ten toimiessa hiilivarastona, saadaan tarkkaa tietoa, kuinka paljon hiilidioksidia betoni sitoo, joka on tärkeä ottaa huomioon hiilidioksidipäästöjen kokonaislas-kennassa. Karbonatisoitumisen vaikutukset on myös tärkeä huomioida, jolloin voidaan kiinnittää huomiota betonirakenteiden kestävyteen pitkällä aikavä-lillä. (Hiilidioksidin sitoutuminen betoniin 2021.)

Betonin hiilijalanjälkeä tarkastellessa on otettava huomioon myös betonin pin-tarakenteen karbonatisoitumisominaisuus, koska betonirakenteen pintakerros on aina altis karbonatisoitumiselle, vaikka rakennus olisikin valmistettu mää-räysten mukaisesti. Tällöin rakennuksen ulkopuolinen pintakerros sitoo hiilidi-oksidia itseensä, ilman rakenteen raudoitusten käyttöiän vaarantumista. Tie-tyissä tapauksissa rakenteen raudoituksissa voidaan käyttää ruostumatonta terästä, jolloin pitkällekin edennyt karbonatisoituminen ei aiheuta ruosteon-gelmia ja rakennus voi sitoa vapaasti hiilidioksidia itseensä ilman rajoituksia (Hiilidioksidin sitoutuminen betoniin 2021.)

Tästä voidaankin huomioida, että CO<sub>2</sub>crete Solution -projektissa todettiin, että betonin on mahdollista sitoa itseensä pysyvästi noin 85 % kalsinoinnin hii-lidioksidipäästöistä. Betonisen rakenteen käyttöaikana siihen sitoutuu hiiltä 15–50 % kalsinoinnin päästöistä. Koko elinkaarensa aikana, johon sisältyy myös murskauksen jälkeinen uusiokäyttö, betoni kykenee sitomaan jopa 90 % kaikista kalkin polton päästöistä. (Betoni on hiilinielu 2020.)

Hiilijalanjälkitarkastelun tulee olla laaja-alaista ja ulottua valmistuksen lisäksi raaka-aineiden hankintaan ja jalostukseen, koska luonnonvaroja tulee käyttää rakentamisessa mahdollisimman taloudellisesti, sekä rakennusjätteen määrää tulisi vähentää kierrättämällä, koska betonirakennukselle on mahdollista suunnitella pitkä käyttöikä, josta seuraa materiaalin kulutuksen väheneminen. Ra-kennuksen saavuttaessa käyttöikänsä päähän, on betoni viisainta murskata ja uusiokäyttää, sillä murskattu betoni imee itseensä enemmän hiilidioksidia il-makehästä, jolloin karbonatisoituminen lisääntyy. (Koivisto 2021, 10.)

Betonikerrostalo sitoo itseensä sen käyttöaikana n. 15 % rakentamisen aikana käytetyn betonin kalsinoinnin päästöistä. Elinkaaren päättyessä ja rakennuksen purkamisen jälkeen on mahdollista käyttää kyseinen murskattu betoni siten, että siihen on sitoutuneena n. 85 % vastaavan määrän kalsinoinnin päästöistä. Tämä huomioidessa jo ennen rakentamista, voidaan huolellisella suunnittelulla vähentää hankkeen hiilijalanjälkeä, kun elinkaaren lopussa murskattu betoni lasketaan hiilijalanjälkeen mukaan. (Betonin hiilensidonta 2023.)

Taulukossa 1 on kerätty helmikuussa 2024 julkaistua tilastotietoa eri valmisbetonien, hiilijalanjälkiä. Taulukosta voi todeta lujuusluokan noustessa, nousee myös hiilijalanjälki. Poikkeuksena ovat C45/55, huokostettu GWP.70 ja C50/60, huokostettu, GWP.70 jossa arvo pysyy samana, sekä C50/60, ei huokostettu ja GWP.70 jossa arvo laskee hieman.

Taulukko 1. Hiilijalanjäljet eri lujuusluokille (SYKE 2024)

Valmisbetonin lujuusluokka	Hiilijalanjälki CO <sub>2</sub> e, kg/kg
C20/25, ei huokostettu, GWP.70	0,073
C25/30, ei huokostettu, GWP.70	0,08
C30/37, huokostettu, GWP.70	0,11
C45/55, huokostettu, GWP.70	0,14
C50/60, huokostettu, GWP.70	0,14
C50/60, ei huokostettu, GWP.70	0,12

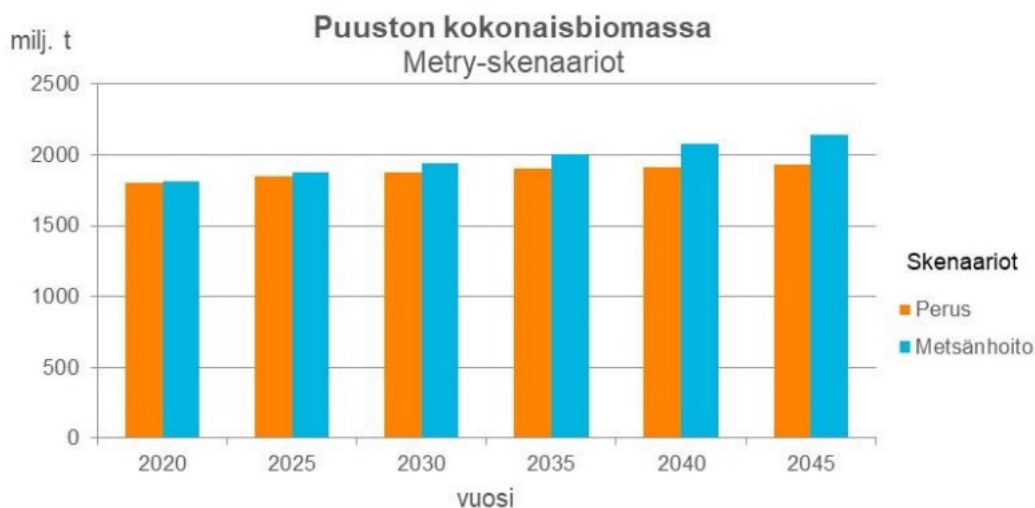
## 5 PUUN HIILIJALANJÄLKI

Puun käyttöä rakennusmateriaalina korostuu ympäristövaikutuksia arvioi-  
dessa, sillä nykyaikainen uudisrakentaminen on energiatehokasta ja käytönai-  
kaista hiilijalanjälkeä on saatu laskettua. Puurakentamisesta on keskusteltu  
viime aikoina paljon. Vuonna 2019 puurakentamisesta oli vastakkainasettelua  
metsien hakkuiden ja suojelun välillä hiilen sidonnan kannalta. Sopu löydettiin  
asiaan hyödyntämällä puuta mahdollisimman pitkäikäisissä kohteissa, sillä  
puurakenteiden laskettu elinkaari on parhaimmillaan jopa vuosisatoja. (Kat-  
saus teolliseen puurakentamiseen – puuelementit 2020, 11; Puurakentamisen  
hiilijalanjälkivertailut 2020.)

Puulla on rakennusmateriaalina pieni hiilijalanjälki verrattuna muihin rakennusmateriaaleihin. Noin puolet puuaineksesta koostuu hiilestä ja hyvänä nyrkkisääntönä pidetään, että kasvava puu sitoo itseensä 750 kilogrammaa hiilidioksidia yhtä kuutiometriä kohti. Tästä voidaan todeta metsien toimivan hiilinieluna, sekä puiden toimivan hiilivarastoina koko elinkaarensa ajan. (Puuhun sitoutuu hiiltä 2023.)

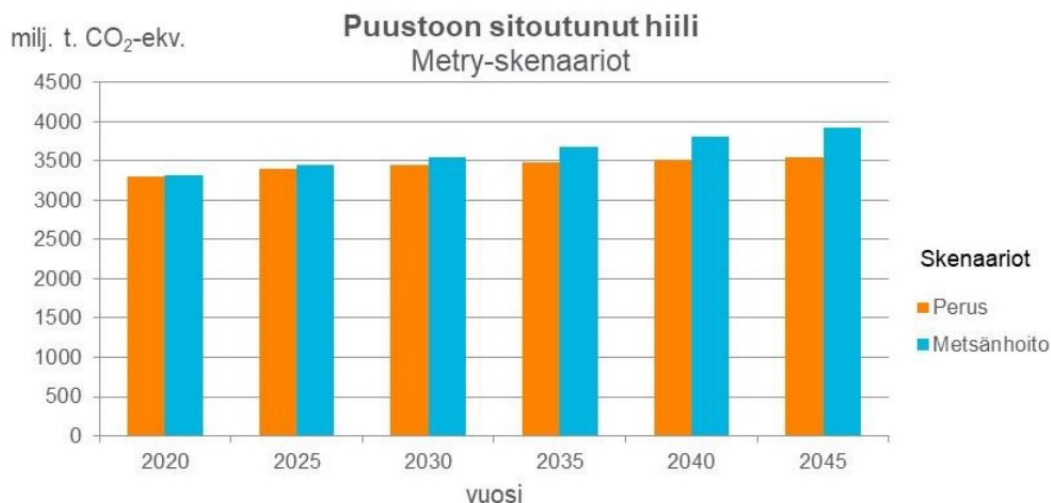
Puun kyky sitoa hiilidioksidia tehokkaasti takaa sille pienen hiilijalanjäljen, ja tällä saadaan harjoitettua vähähiilistä rakentamista. Edellytyksenä kuitenkin on, että puumateriaali on peräisin kestävästi hoidetusta metsästä. Kestävä metsänhoito tarkoittaa metsästä hakatuiden puiden määrän vuositasolla olevan pienempi, verrattuna kokonaiskasvumäärään. Tällöin metsä toimii hiilinieluna, sillä puuston kasvu sitoo enemmän hiilidioksidia kuin mitä hakkuut vapauttavat sitä (Puurakentamisen hiilijalanjälki Suomessa 2021.)

Metsäteollisuus ry:n mukaan (2020) puuston kehitys ja hiilensidonta kasvaa tasaisesti tulevaisuudessa. Oletuksena pidetään, että metsäpinta-ala, suojelupinta-alat ja rajoitetun puuntuotannon pinta-alat säilyvät nykyisellään. Raportissa käsitellään aihetta kahden eri skenaarion näkökulmista. Ensimmäisenä on perusskenario ja toisena Metsänhoitoskenario. Perusskenariossa metsänhoito pysyy nykyisellä tasolla ja metsänhoitoskenariossa metsien kasvua lisätään tehostamalla metsänhoitoa talousmetsissä ja hakkuutasot yltävät suurimpaan mahdolliseen tasoon 72,4 miljoonasta kuutiometristä 89,5 miljoonaan kuutiometriin vuoteen 2045 mennessä. Laskenta käsittelee koko maata, pois lukien Ylä-Lappi (Metsien käsittelyskenaarit 2020, 4.)



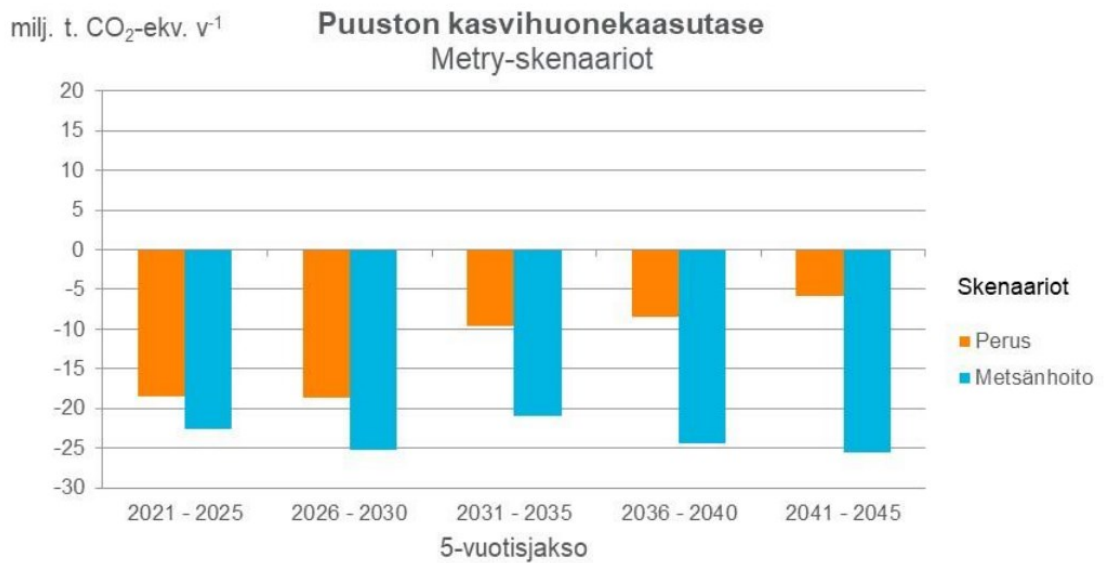
Kuva 1. Puuston kokonaistilavuuden oletus (Metsäteollisuus ry 2020)

Kestävä metsänhoito lisää myös puuston kasvua, joka taas lisää sitoutuvan hiilen määrää. Metsäteollisuuden (2020) perusskenaariossa vuoteen 2045 mennessä valtakunnan puuston hiilivarastot kasvavat 240 miljoonalla hiilidioksidiekvivalenttikilotonnilla, kun taas metsänhoitoskenaariolla kasvulisäystä saadaan 600 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttikilotonnia. (Metsien käsittelyskenaariot 2020, 4.)



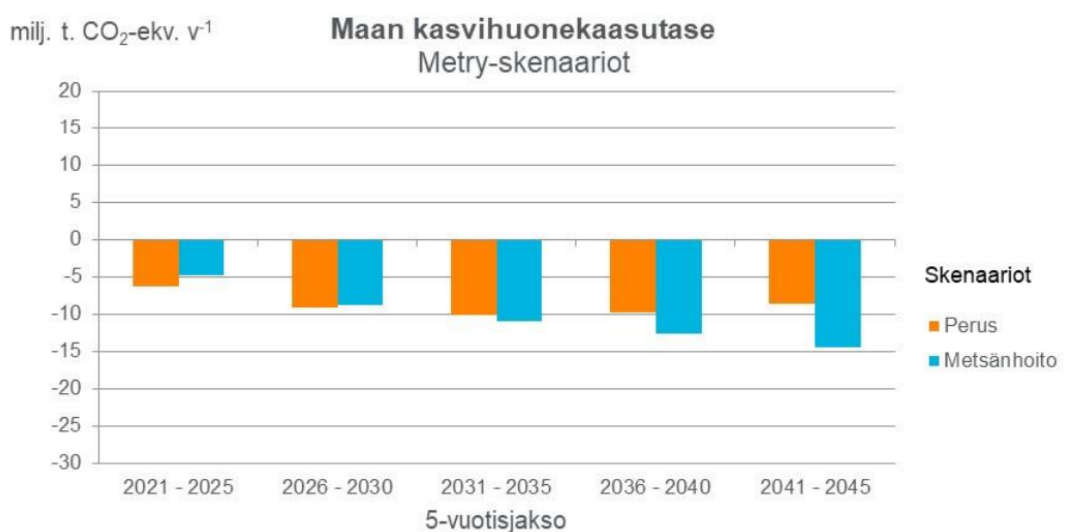
Kuva 2. Puustoon sitoutuneen hiilen oletus (Metsäteollisuus ry 2020)

Molempien skenaarioiden mukaan metsät tulevat säilymään hiilinieluinä. Metsänhoitoa tulisi kuitenkin tehostaa, sillä hiilinielut tulevat pienentymään hakkuiden takia. Metsänhoitoskenaarion mukaan hiilinielu säilyy korkealla tasolla, vaikka hakkuita lisättäisiinkin. (Metsien käsittelyskenaariot 2020, 13.)



Kuva 3. Puuston kasvihuonekaasutaseen oletus (Metsäteollisuus ry 2020)

Lupaavista tuloksista huolimatta hiilen sitoutumista maaperään metsien käsittelyssä ei vielä tunneta kovin hyvin ja nykyiset mallit eivät anna riittävän tarkkaa kuvaa maahiilivarastoista metsänkäsittelyssä. Tutkimusten mukaan molempien skenaarioiden tulokset ovat huomattavasti pienemmät maaperän kasvihuonetaseessa, kuin vastaavat erot puuston kasvihuonetaseessa. (Metsien käsittelyskenaariot 2022, 14.)



Kuva 4. Maaperän kasvihuonetaseen oletus (Metsäteollisuus ry 2020)

Teknologiakeskus VTT arvioinnin mukaan nykypäivänä Suomessa valmistetut metsäteollisuuden tuotteet ovat arvokkaassa asemassa, sillä ne tuottavat globaalia ilmastohyötyä. Hyöty on vuositasolla noin 16 miljoonaa hiilidioksiditonnia. Ilmastohyöty syntyy käytettäessä tuotteita, joissa pääraaka-aineena käytetään puuta. (Virtanen 2021, 4.)

## **5.1 Hiilikädenjälki**

Hiilikädenjälki on termi, jota ei olisi olemassa ilman jotain olemassa olevaa ja rakennettua. Hiilikädenjälki kuvaa tietyn tuotteen positiivisia ilmastovaikutuksia. Käytännön tasolla rakennetun rakennuksen ilmastohyötyjä voisivat olla esimerkiksi tuotettu ylimääräinen uusiutuva energia, betoni-, tai puurakennusmateriaaleihin sitoutunut hiilidioksidi, materiaaleihin varastoitunut eloperäinen hiili ja kierrätyksellä vältetyt kasvihuonepäästöt. (Virtanen 2021, 3.)

Hiilikädenjälkijattelu on luotu korostaakseen positiivisia vaikutuksia raskauttavan hiilijalanjäljen vierelle. Tämänkaltainen ajattelu on nähty tarpeelliseksi sen tuoman mahdollisuuden vuoksi toimia vastuullisesti ilmastonmuutosta ja luonnon monimuotoisuuden köyhtymistä vastaan. (Mikä on hiilikädenjälki ja miten se lasketaan? 2021.)

Konkreettisia tekoja hiilikädenjäljen edistämiseksi on muun muassa materiaalien käytön vähentäminen, jätteeksi menevän materiaalin vähentäminen, materiaalien kierrätys, elektroniikkalaitteiden elinkaaren pidentäminen ja kiertotalous (Hiilikädenjälki – mitä uudesta ilmastomittarista pitää tietää? 2023).

## **5.2 Hiilikädenjälki rakennushankkeessa**

Rakennetusta kohteesta arvioidaan ilmastoselvityksessä hiilijalanjäljen lisäksi hiilijalanjälki. Hiilikädenjälki annetaan erillään hiilijalanjäljestä, omana arvona. Hiilikädenjäljen mittayksikkö on sama kuin hiilijalanjäljellä, mutta se raportoidaan negatiivisena itseisarvona, - kg CO<sub>2e</sub>. (Hiilijalanjälkilaskenta.)

Ympäristöministeriön (2019) mukaan vähähiilisellä rakennushankkeella on pieni hiilijalanjälki ja suuri hiilikäden jälki. Menetelmä on suunniteltu käytettäväksi uudisrakentamisen ja laajan korjausrakentamisen hiilijalanjäljen ja hiilikädenjäljen arviointiin.

Hiilikädenjälki rakennetusta kohteesta lasketaan siten, että summataan koko elinkaaren eloperäiset hiilivarastot, hiilinielut ja elinkaaren jälkeen tapahtuvan materiaalin uudelleenkäytön, kierrätyksen tai energiahyödyntämisen avulla vältetyt päästöt. Laskentahetkellä tulee käyttää käytössä olevaa tavanomaista tuotanto-, kierrätys- tai energiateknologiaa. Hiilikädenjälkeä ei saa vähentää hiilijalanjäljestä. (Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä 2019.)

## **6 MATERIAALIEN VAIKUTUS HIILIJALANJÄLKEEN**

Hiilijalanjälki on mittari tuotteen tai palvelun muodostamasta ilmastovaikutuksesta. Rakennusalalla mittaria käytetään selvittämään rakennetun kohteen tuottamia päästöjä aina rakennustuotteiden valmistuksesta päättyen rakennuksen purkamiseen. Elinkaaren aikaisen hiilijalanjäljen mittaaminen on välttämätöntä, sillä nykyaikaisen rakentamiseen tulee sisällyttää hiilijalanjälkilaskelma. Hiilijalanjälki ilmoitetaan hiilidioksidiekvivalentteina. Hiilidioksidiekvivalentti on hiilijalanjäljen yksikkö, jossa kasvihuonekaasujen ilmaston lämpenemisen vaikutus on muunnettu hiilidioksidin vastaavaksi vaikutukseksi ilmakehässä. (Leppälä 2022, 2).

Suomessa rakennusteollisuus tuottaa yli kolmanneksen kasvihuonekaasupäästöistä. Ilmaston lämpeneminen on kiihtyvä globaali ilmiö, joten päästöjen vähentämiselle tulisi kehittää tehokkaita keinoja estääksemme luonnon monotoisuuden köyhtyminen (Koivisto 2021, 26.)

Rakentamisessa käytettävien materiaalien valinnalla voidaan vaikuttaa merkittävästi rakennetun kohteen hiilijalanjälkeen. Suosimalla vähäpäästöisiä-, kierrätettäviä- tai uudelleenkäytettäviä rakennusmateriaaleja säästetään muun muassa neitseellisiä, eli suoraan luonnosta otettujen raaka-aineiden käyttöä. (Kiertotalous rakentamisessa s.a.)

### **6.1 Betonirakentamisen hiilijalanjälki**

Vahanen Environment Oy:n mukaan (2021) betonituotteiden hiilijalanjälkilaskelmat edesauttavat hankkeiden osapuolia ymmärtämään rakennustuotteiden



ja -hankkeiden ympäristökysymykset kokonaisuudessaan. Betonirakentamisen elinkaariarviointi sisältää rakentamisesta johtuvien päästöjen sekä rakennuksen purkamisen ja loppusijoittamisen lisäksi muut elinkaaren aikana syntyneet ympäristövaikutukset, kuten happamoituminen, rehevöityminen, energia-  
varojen käyttö ja muiden tarvittavien resurssien käyttö. Elinkaariarvioinnissa on huomioitu myös hiilikädenjälki. (Suomalaisen betonin hiilijalanjälki 2021, 88.)

Elinkaariarviointi tukeutuu kattavaan Betoniteollisuus ry:n jäsenyrityksiltä vuonna 2020 kerättyyn lähdeaineistoon, jonka pohjalta on tehty laskentatyötä eri laatuksille valmisbetoneille ja elementeille, kuten seinä- ja laattaelementit ja betoniharkoille. Eri tuotteiden tuoteryhmien sisäiset kokoerot on otettu huomioon muuntokerrointaulukolla. Tuotteiden lasketut ympäristövaikutukset reflektivat keskimääräistä koostumusta ja tuotantoa vuonna 2019. (Suomalaisen betonin hiilijalanjälki 2021, 88.)

Elinkaariarvioinnissa huomioitu materiaalien kierrätys tai uusiokäytöstä syntyneet hyödyt syntyvät pääosin murskatun kierrätysbetonin käytöstä, jolloin maanrakennustöissä ei tarvita neitseellistä, louhittua ja murskattua kiviainesta. Kierrätettyä betonia voidaan myös hyödyntää betonituotteiden raaka-aineena. Markkinoilla löytyy ympäristöbetonituotteita, joissa on hyödynnetty murskattua betonia. (Suomalaisen betonin hiilijalanjälki 2021, 88.)

Vahanen Environment Oy toteuttamassa suomalaisen valmisbetonin ja betonivalmisteiden elinkaariarvioinnissa tuotteen elinkaari on merkitty raaka-aineista uudelleenkäyttöön tai kierrätykseen asteikolla A1–D (Suomalaisen betonin hiilijalanjälki 2021, 86).

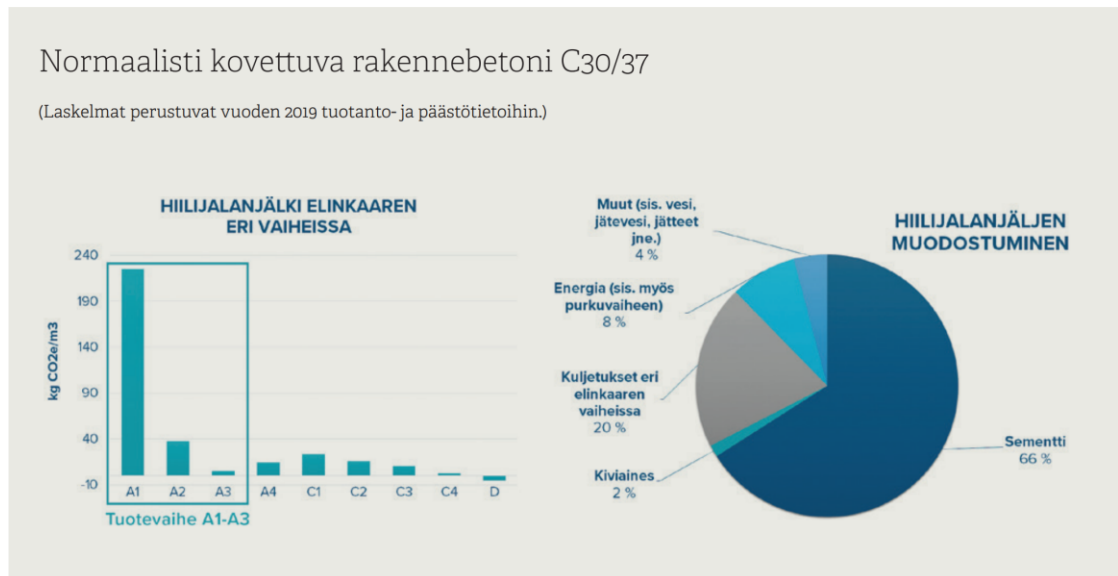
Kuva 1  
Elinkaaren vaiheet



Kuva 5. Elinkaariarvioinnin järjestelmäraajat (Vahanen Environment Oy 2021)  
Laskelmien perusteella C30/37 normaalisti kovettuvan rakennebetonin valmistuksessa sementin hallitsevan osan hiilidioksidipäästöistä jälkeen sijoittuu kuljetukset koko elinkaaren aikana, 20 % osuudella. Kuljetusten osuus hiilidioksidipäästöistä on vähintäänkin merkittävä ja näissä laskelmissa on huomioitu tyhjät paluukuormat. (Suomalaisen betonin hiilijalanjälki 2021, 89.)

### Normaalisti kovettuva rakennebetoni C30/37

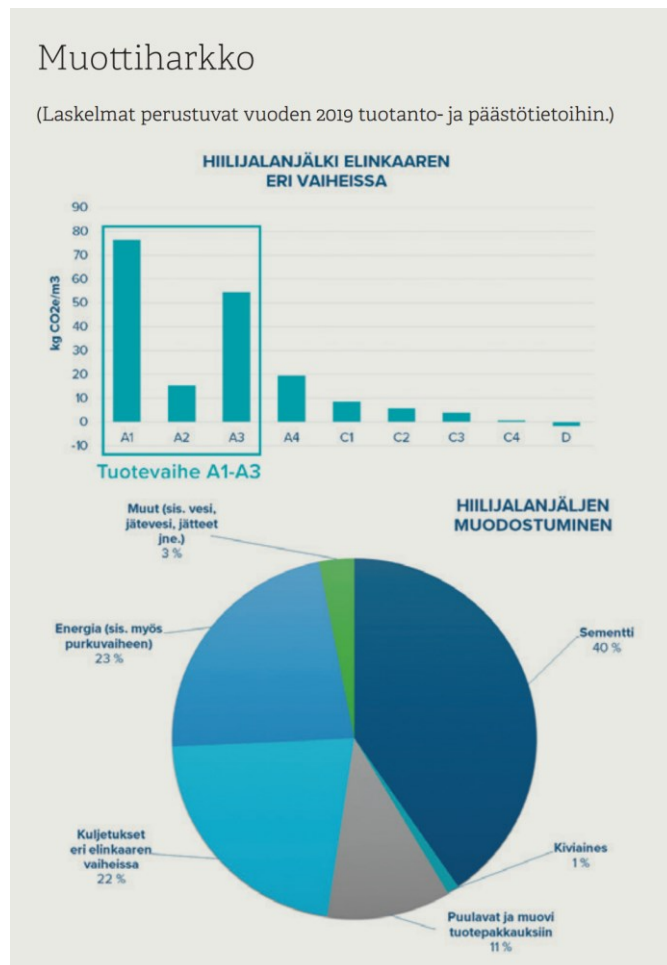
(Laskelmat perustuvat vuoden 2019 tuotanto- ja päästötietoihin.)



Kuva 6. Normaalisti kovettuvan rakennebetonin C30/37 hiilijalanjälki (Vahanen Environment Oy 2021)

Betoniharkkotuotteiden hiilidioksidipäästöjä korostaa kuormalavat, jotka ovat kertakäyttöisiä arviointien mukaan. Harkkojen hiilidioksidipäästöjä nostavat

myös niissä käytetyt eristeet sekä raudoitteet. (Suomalaisen betonin hiilijalan-  
 jälki 2021, 89.)



Kuva 7. Muottiharkon hiilijalanjälki (Vahanen Environment Oy 2021)

Väittäisinkin, että betonimuottiharkon hiilijalanjälkeä saataisiin pienennettyä jo pelkästään uusiokäyttämällä kuormalavat, jossa muottiharkot kuljetetaan. Kuormalavoja voi käyttää esimerkiksi koko työmaan ajan rakennusmateriaalien säilytysalustana ulko- ja sisätiloissa. Ulkosäilytyksessä kuormalava on kätevä valinta tavaran säilytykseen, jolloin maaperän kosteus ei pääse kosketuksiin materiaalin kanssa. Sisäkäytössä kuormalavat ovat helppoja liikutella pumppukärryn avulla, jolloin raskaidenkin lavojen siirtäminen onnistuu nopeasti.

## 6.2 Puurakentamisen hiilijalanjälki

Puumateriaalien käyttö rakentamisessa edesauttaa fossiilisten rakennustuotteiden korvaamista rakennusteollisuudessa. Mitä enemmän puuta käytetään,

sitä suurempi on ilmastovaikutus. Tätä kutsutaan substituutioksi. (Puurakentamisen ilmastovaikutukset s.a., 9.)

Vuositasolla suomalainen sahateollisuus sitoo sen valmistamiin tuotteisiin jopa 9 miljoonaa tonnia hiilidioksidia, jolloin sahatavaraan on sitoutuneena 20-kermainen määrä hiilidioksidia kuin sen tuotannosta aiheutuneet päästöt ovat (Puurakentamisen ilmastovaikutukset s.a., 10).

Sahateollisuuden tuotteiden käyttö rakentamisessa leikkaa päästöjä, sillä puurakennukset ovat hiilivarastoja. Vaikka puutuotteiden valmistuksessa syntyvä hiilijalanjälki on pieni, on kuitenkin etsittävä keinoja saada sahausprosessin hiilijalanjälkeä pienemmäksi. (Puurakentamisen ilmastovaikutukset s.a., 12.)

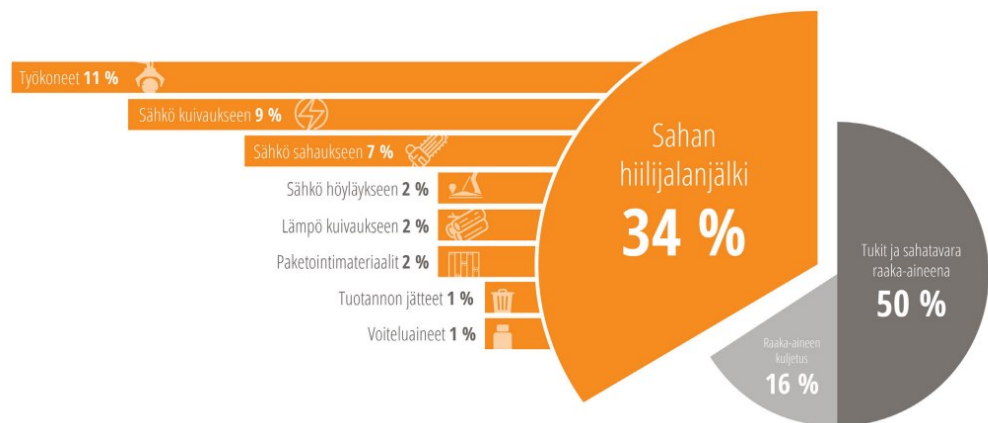
Saha- ja puutuoteteollisuuden mukaan (Puurakentamisen ilmastovaikutukset s.a., 14) puurakentamisen osuutta Suomessa yritetään nostaa jopa 65-prosenttiin optimistisessä skenaariossa. Perus-skenaariossa tavoitellaan puurakentamiselle Suomessa 50-prosentin osuutta. Tämän toteuttamiseksi sahatavaran tuotantoa pitäisi lisätä enintään 0,7 miljoonaa kuutiometriä. Suomessa sahatavaran kulutus on noin 3 miljoonaa kuutiometriä vuodessa, joten sahatavaran kulutus lisääntyisi n. 20 % nykyisestä. (Puurakentamisen ilmastovaikutukset s.a., 14.)

Talonrakentamisen päästöt muodostuvat suurimmaksi osaksi rakennusaikaisista päästöistä, joita ovat rakennusmateriaalien valmistus, rakentaminen sekä kuluttajavaiheen päästöt, lämmitys ja sähkönkäyttö. Rakennuksen valmistumishetkellä lasketaan tuotesidonnaiset päästöt, jota kutsutaan kohteen hiilipiikiksi. Puurakentamisen hiilipiikki on 20–30 % pienemmät kuin muilla veratuilla rakennuksilla. (Puurakentamisen ilmastovaikutukset s.a., 18.)

Suomalaisen sahatavaran hiilidioksidipäästöistä jo puolet syntyvät metsää hoidettaessa, puun korjuussa sekä lähialueiden puutavarakuljetuksien aikana. 16 % hiilidioksidipäästöistä syntyvät itsessään raaka-aineen kuljetuksista sahoille. Sahoilla syntyy hieman alle kolmannesosa koko sahateollisuuden hiilijalanjäljestä. Tästä kolmanneksesta suurin yksittäinen osa syntyy sahoilla käytössä olevista työkoneista, kuten pyöräkuormaajat ja trukit, jolloin koneista

muodostuvat 11 % päästöt kokonaispäästöissä. Sähköä tuotannon prosessissa kuluu kokonaisuudessaan 18 %, mutta se on jaoteltava pienempiin osiin, joita ovat kuivaus (9 %), sahaus (7 %), ja höyläys (2 %). (Ilmastoviisas sahateollisuus, 2019, 6.)

Osa tuotetusta sahatavarasta peitetään muovihupuilla kuljetuksen ja mahdollisen ulkovarastoinnin ajaksi, jolloin muovin käytöstä muodostuu 2 % osuus sahatavaran hiilijalanjäljelle, kuten alla olevassa kuvassa 8, joka kuvaa sahateollisuuden hiilijalanjäljen jakautumista, havainnollistetaan. (Mistä sahateollisuuden hiilijalanjälki koostuu 2020).



Kuva 8. Sahateollisuuden hiilijalanjäljen jakautuminen (Sahateollisuus 2019)

Laskelmien pohjana on käytetty arvioitua yhteistuotantoa 12 miljoonaa kuutiota, muodostuu hiilijalanjäljeksi taulukon 1 mukaisesti 421 000 tonnia hiilidioksidiekvivalenttia. Sahat voivat kontrolloida suoranaisesti tästä osuutta, 141 000 tonnia hiilidioksidiekvivalenttia. Sahoilla puutavaran tuotannossa sähkönkäyttö luo 52 % koko hiilijalanjäljestä. Laskelmissa käytetään ominaispäästönä 111 grammaa hiilidioksidiekvivalenttia / kilowattitunti. Tiedot perustuvat Energiateollisuus ry:n raportoimiin sähkötuotannon ominaispäästöjen keskiarvoksi vuosilta 2015–2019 ja lisäksi tietoon tuontienergian määrästä ja tuontimaista kyseiseltä ajanjaksolta. Yhdistys käyttää energianjakomenetelmää laskeissaan ominaispäästöjä. Energianjakomenetelmä pitää sisällään pelkästään energiantuotannon varsinaiset päästöt. Tuontisähkön osalta päästöjen laskenta perustuu ecoinvent -tietokantaan. Laskelmissa on myös huomioitu jännitehäviöt sähkönsiirron aikana. Tilastokeskuksen mukaan laskettu ominais-

päästö vuonna 2018 energiajakomenetelmällä 114 grammaa hiilidioksidiekvivalenttia / kilowattitunti. Samoilla arvoilla hyödynjakomenetelmällä laskettuna tulos on 144 grammaa hiilidioksidiekvivalenttia / kilowattitunti. (Ilmastoviisas sahateollisuus, 2019, 7.)

Tuotannon vaihe	1000 t CO <sub>2</sub> ekv.	Tuotannon vaihe	1000 t CO <sub>2</sub> ekv.
Raaka-aine (tukit)	210,9	Sähkö höyläykseen	7,0
Raaka-aineen kuljetus	69,0	Lämpö höyläykseen	0,5
Sähkö sahaukseen	30,2	Paketointimateriaalit	7,6
Lämpö sahaukseen	1,0	Työkoneet	45,1
Sähkö kuivaukseen	36,8	Voiteluaineet	3,0
Lämpö kuivaukseen	7,9	Tuotannon jätteet	2,1
<b>Toimialan hiilijalanjälki, sahatavaralle</b>	<b>421</b>	<b>Sahatavarakuutiota kohden</b>	<b>35,1 kg CO<sub>2</sub> ekv m<sup>-3</sup></b>
<b>Sahojen hiilijalanjälki</b>	<b>141,1</b>	<b>Sahatavarakuutiota kohden</b>	<b>11,8 kg CO<sub>2</sub> ekv m<sup>-3</sup></b>

Kuva 9. Sahateollisuuden arvioitu hiilijalanjälki vuonna 2019 (Sahateollisuus 2019)

## 7 HIILIJALANJÄLKI RAKENNUKSEN KÄYTTÖVAIHEESSA

Hiilijalanjälki kiinteistönhuoltoa ajatellen tutkimuskysymyksenä osoittautui erittäin haastavaksi kiinteistönhuollon laaja-alaisuuden vuoksi, joten tutkimuksessa pyritään hakemaan ratkaisuja eri vaihtoehtoihin, joilla asukkaat voivat saada hiilijalanjälkeä pienemmäksi. Väitänkin, että nykypäivänä yhä useammin asiakkaat ja sidosryhmät ovat kiinnostuneita ympäristöystävällisistä ratkaisuista. Pientämällä rakentuvan kohteen hiilijalanjälkeä voidaan vastata tähän kasvavaan kysyntään ja parantaa rakennushankkeiden ympäristöarvoa. Tämä tutkimus pyrkii osaltaan antamaan erilaisia ratkaisuja hiilijalanjäljen pienentämiseksi yksittäisen asukkaan kohdalla.

Ekologinen ratkaisu keittiökalusteiden osalta voisi olla keittiön hankkiminen palveluna. Hiilijalanjälkeä ajatellen rakennuksen käyttövaiheessa, keittiö voitaisiin asentaa asukkaalle määräajaksi, jonka jälkeen keittiökalusteet puretaan ja vaihdetaan uusiin. Vanhat kalusteet viedään pois uudelleenkäyttöä varten. Tähän tarkoitukseen sopisi Puustellin Miinus-keittiö. Miinus-keittiön hiilijalanjälkilaskelmassa on huomioitu materiaalien koko elinkaari. Materiaalit on suunniteltu uudelleenkäytettäväksi ja täysin kierrätettäväksi, joissa runkomateriaalina

on käytetty biokomposiittia. Keittiö saa uuden ilmeen ympäristöä rasittamatta. (Huomisen keittiö – tässä ja nyt s.a.)

Todennäköisenä pidänkin, että kohteen valmistuessa opiskelija-asuntolaksi, muutosluonteisuutta ei välttämättä löydy kauhean helposti hiilijalanjäljen pienentämiseen. Vaihtuvuus tulee olemaan suurta opiskelija-asuntoloissa, joten uskoisin myös siihen, että välillä muutoshalukkuutta löytyy rakennuksen käyttäjien keskuudesta. Tästä herääkin ajatus, voisiko esimerkiksi huoneen lämpötilaa säädellä automaattisesti. Ratkaisuna voisi toimia pörssisähkön osalta laitteet, jotka automaattisesti seuraavat pörssisähkön hintoja ja niille asetettuja raja-arvoja, jolloin suurimmat lämmityskustannukset ohjataan halvimmalle ajalle. Myös automaattisesti sammuvat valot voisivat olla apuna hiilijalanjäljen pienentämiselle, kun ketään ei ole asunnossa paikalla ja valot ovat unohtuneet päälle.

Taloyhtiöissä, joissa on viisi-, tai enemmän asuinhuoneistoja, vaatii uudistunut jätelaki keräämään biojätteen, kartongin, lasin, muovin ja metallin. Lisäksi taloyhtiön kierrätyspisteestä olisi hyvä löytyä keräysastiat paperille, energiajätteelle sekä sekajätteelle. Kierrätyspisteen välittömästä läheisyydestä tulee myös löytyä ohjeet jätteen lajittelua varten. Voinkin todeta, että tämä mahdollisuus jätteen kierrätykseen varten voisi innostaa kohteen käyttäjiä kierrättämään ja lajittelemaan jätteensä, joka tällöin pienentää asukkaan hiilijalanjälkeä. On muistettava, että on asukkaan oma päätös, kierrättääkö vaiko ei. (Uusi jätelaki – taloyhtiöt 2023.)

Tämä aihe on mielenkiintoinen käsitellä, sillä se johtaa väistämättä tilanteeseen, jossa asukkaalla on mahdollisuus kierrättää, mutta vastuu jää käyttäjälle. Valitsinkin tässä osiossa jätteen kierrätyksen ja energian säästön aiheeksi, johon otan kantaa. Ajatuksen tasolla tästä valinnasta seuraakin todennäköisesti auttamatta hiilijalanjäljen pienentyminen, sillä jos asukas ei kierrätä kotitalousjätteitään, automaatio voi hoitaa huoneenlämpötilan- ja valaistuksen säätelyä. Tästä seuraa energiakustannusten putoaminen, jolla on suora yhteys asukkaan hiilijalanjälkeen.

## 8 SISÄLTÖVAATIMUKSET UUTEEN HIILIJALANJÄLKILASKENTA-OHJELMAAN

Uusi hiilijalanjätkilaskentaohjelma suunnitellaan tarjoamaan käyttäjälleen tarkkoja sekä luotettavia tuloksia rakennusmateriaalien hiilipäästöistä. Ohjelman sisältövaatimuksia on tullut myös huomioida tämän tutkimuksen ohessa. Ohjelmassa on oltava laaja ja päivitetty tietokanta, jolloin eri rakennusmateriaalien hiilijalanjätkivertailu keskenään olisi selkeää ja työtä helpottavaa. Ohjelmaan syötettäessä projektikohtaisia tietoja, tulosten tulisi olla selkeästi havaittavissa. Tulokset voisi esittää numeraalisina, sekä graafisena esityksenä, esimerkiksi taulukkona tai diagrammina. Tiivistettynä, uusi hiilijalanjätkilaskentaohjelma pyrkii tarjoamaan kattavan työkalun opinnäytetyön tilaajalle.

Ohjelman tulisi sisältää laaja tietokanta eri rakennusmateriaalien hiilijalanjätkijstä. Tietokantaan tulisi sisällyttää esimerkiksi erilaisia puu- ja betonityyppejä, sekä pohjarakentamisen materiaaleja, pilari- ja palkkirakenteet, alapohja- ja sokkelirakenteet, seinärakenteet, lämpö- ja kosteuseristeet, ulkoverhoilu ja vesikate, ikkunat ja ovet, pintakäsittelymateriaalit, LVI- ja sähköosat sekä uusiutuvan energian käyttömahdollisuudet. Ohjelman tulisi myös mahdollistaa elinkaarianalyysi, joka sisältää raaka-aineiden hankinnan, valmistuksen, kuljetuksen, rakentamisen, käytön ja purkamisen tai uudelleenkäytön vaiheet. Ohjelmassa tulisi olla myös huomioon paikalliset olosuhteet, joihin vaikuttavat sää, energian tuotantotavat, kuljetusmatkojen etäisyydet. Pohdinkin, voisiko tässä hyödyntää tekoälyä.

Ohjelmassa tulisi hyödyntää standardisoituja menetelmiä, kuten ISO 14404- ja 14044-standardia. Tämä elinkaariarvointiin tehty menetelmä voisi olla hyvä valinta hiilijalanjätkjen laskentaa varten. Kyseinen standardi on tieteellisesti perusteltu menetelmä, joka muodostaa perustan suojellakseen ympäristöä. Elinkaariarvioinnilla on tänä päivänä merkittävä rooli sääntelyssä. ISO-14404 ja 14044-standardi ovat toisiaan täydentäviä, jossa elinkaariarviointi perusteet kuvataan ISO 14040-standardissa, kun taas vaatimukset ovat kuvattuna ISO 14044-standardissa. (ISO 14040 ja 14044 – Elinkaariarviointien validointi 2024.) Olisi myös hyvä huomioida ohjelmaa suunnitellessa, onko rakennusmateriaalit uusia, vai uusiokäytettyjä. Ohjelmassa voisi myös olla osio, joka



vertailee eri materiaalien hiilijalanjälkiarvoja, jolloin kahden eri materiaalin hiilijalanjälki on laskettuna ja tulokset esitetty graafisesti ja numeroina, jolloin eri materiaalivaihtoehtoja on helppo vertailla. Ohjelma voisi myös sisältää toimintoja tai työkaluja, jotka auttavat arvioimaan eri materiaalivalintojen kustannusvaikutuksia sekä niiden vaikutusta rakennuksen elinkaarikustannuksiin. Tämä toiminto auttaisi käyttäjiä arvioimaan eri materiaalivalintojen ja suunnitteluratkaisujen kustannusvaikutuksia pitkällä aikavälillä. Ohjelma voisi esimerkiksi antaa käyttäjille mahdollisuuden vertailla eri materiaalien hankintakustannuksia, rakennuskustannuksia ja ylläpitokustannuksia sekä laskea niiden vaikutuksen rakennuksen kokonaiskustannuksiin ja kannattavuuteen. Ohjelman tulisi olla yhteensopiva muiden rakennusalalla yleisesti käytettyjen ohjelmien kanssa kuten CAD-ohjelmiston, helpottamaan tiedonjakoa eri osapuolten välillä. Ohjelman käytöstä tulisi kustannustehokasta ja nopeaa, jos suunnitteluohjelmalla luotuja kuvia voi tuoda hiilijalanjälkilaskentaohjelmaan, jolloin ohjelma laskee kustannuksia ja hiilijalanjälkeä kuvien mukaan. Ajansäästön lisäksi tämä vähentäisi virheiden mahdollisuutta verrattuna manuaalisesti syötettyihin tietoihin.

Lopputulosten ja raporttien tulisi olla visuaalisesti selkeitä, jotka havainnollistavat lopputuloksen selkeästi niin rakennuttajalle, kuin tilaajalle. Ohjelma tulisi myös suunnitella siten, että muutokset ja päivitykset on helppo suorittaa. Tämänkaltaiset vaatimukset voisivat olla hyödyksi uudelle ohjelmalle, jolloin ohjelma tarjoaa käyttäjälleen tarkkaa ja informatiivista tietoa.

## **9 TULOKSET JA YHTEENVETO**

Työn tavoitteena oli tuottaa opinnäytetyön tilaajalle hiilijalanjälkilaskelma rakentuvasta kohteesta, sekä sisältövaatimuksia uuteen hiilijalanjälkilaskentaohjelmaan, joka toteutui havainnoimalla ja ideoimalla sisältövaatimuksia työn edetessä. Tarkoituksena on, että uusi hiilijalanjälkilaskentaohjelma olisi nopea ja kattava käyttäjälleen työtuntien minimoimiseksi ohjelmaa käytettäessä. Saa-dakseen enemmän sisältövaatimuksia uuteen ohjelmaan, aikataulun olisi tullut olla pidempi. Myöskään materiaalien muutosten vaikutusta ei ehditty käsittelemään aikatauluongelmien vuoksi kolmannen osapuolen takia.

Kohteessa Halkotorinkuja 4 asuntoja on yhteensä 62 kappaletta, joista yksi-  
öitä 26 kappaletta, kaksioita 30 kappaletta ja kolmioita 6 kappaletta. Kerrosne-  
liömetrejä kohteessa yhteensä 3302 m<sup>2</sup>

<b>1h</b>	<b>kpl</b>	<b>m<sup>2</sup> yht.</b>
23,5 m <sup>2</sup>	6	141m <sup>2</sup>
27 m <sup>2</sup>	20	540 m <sup>2</sup>
<b>2h</b>		
34,5 m <sup>2</sup>	6	207 m <sup>2</sup>
39,5 m <sup>2</sup>	18	711 m <sup>2</sup>
41,5 m <sup>2</sup>	6	249 m <sup>2</sup>
<b>3h</b>		
58 m <sup>2</sup>	6	348 m <sup>2</sup>

Taulukko 2. Asuntojen määrä (Määräluettelo Halkotorinkuja 4)

Laskenta suoritettiin kohteelle tehdyn määräluettelon mukaisesti. Laskentaoh-  
jelmanä käytettiin ympäristöministeriön laatimaa Microsoft Excel –pohjaista ra-  
kennusten hiilijalanjäljen arviointityökalua (Rakennusten hiilijalanjäljen arvioin-  
tityökalu 2019). Laskentaohjelman materiaaliluetteloön syötetään raken-  
nusosa, materiaalin tyyppi, materiaali ja määrä. Ohjelma määrittää automaatti-  
sesti määrän yksikön, kun tiedoston alavetovalikosta valitsee materiaalin tyy-  
pin ja materiaalin. Laskentaohjelma muuttaa syötetyt arvot hiilijalanjäljeksi.  
Ohjelma erittelee hiilijalanjäljen erillisiksi osioiksi, joita ovat tontti, kantavat ra-  
kenteet, vaippa, kevyet rakenteet ja talotekniikka. Lopuksi ohjelma laskee  
kaikkien osioiden hiilijalanjäljen, hiilikädenjäljen, sekä vaihdettavien rakennus-  
osien tuottaman hiilijalanjäljen lopulliseksi arvoksi.

Materiaaliluetteloön syötettyjen rakennusosien hiilijalanjäljeksi saatiin 751 691  
hiilidioksidiekvivalenttia ja hiilikädenjäljeksi -15 089 ekvivalenttia. Vaihdetta-  
vien rakennusosien hiilijalanjäljeksi saatiin 6 049 ekvivalenttia. Lopullinen hiili-  
jalanjälki jaetaan kerrosneliömetreillä, jolloin hiilijalanjäljeksi saadaan neliö-  
metrille 227,65 ekvivalenttia.

Littera	Rakennusosa	Materiaalin tyyppi	Materiaali	Määrä	yks	Hiilijalanjälki	Hiilikädenjälki
	Väestönsuojan perusmuurien betonointi	PAIKALLAVALUBETONI JA RAUDOITTEET	Valmisbetoni C35 (portland)	38 400	kg	5 600	
	Väestönsuojan alapohjan betonimassa	PAIKALLAVALUBETONI JA RAUDOITTEET	Valmisbetoni C35 (portland)	26 400	kg	3 850	
	Maanvaraisen laatan raudoitus	PAIKALLAVALUBETONI JA RAUDOITTEET	Betoniteräs	1 192	kg	565	
	MV-laatan nurkkien ja reunojen lisäteräksset	PAIKALLAVALUBETONI JA RAUDOITTEET	Betoniteräs	200	kg	95	
	MV-laatan laatan betonimassa	PAIKALLAVALUBETONI JA RAUDOITTEET	Valmisbetoni C35 (portland)	79 200	kg	11 550	
		PIHA JA POHJARAKENTEET					
	Kantavien väliseinäbetonielementtien hankinta	SEINÄT JA SOKKELIT	Betoniväliseinä	706 800	kg	142 477	
	Hissikuilun seinäelementin hankinta	SEINÄT JA SOKKELIT	Betoniväliseinä	63 200	kg	12 740	
	Laattojen paikallavalukaistojen raudoitus	PAIKALLAVALUBETONI JA RAUDOITTEET	Betoniteräs	3 917	kg	1 857	
	Laattojen paikallavalukaistojen betonointi	PAIKALLAVALUBETONI JA RAUDOITTEET	Valmisbetoni C35 (portland)	117 600	kg	17 150	
	OL 32	LAATAT	ontelolaatta 320	940 000	kg	167 179	
	Saumaraudoitus	PAIKALLAVALUBETONI JA RAUDOITTEET	Betoniteräs	5 803	kg	2 751	
	Porrashuoneen massiivilaattojen hankinta	LAATAT	(massiivilaatta), betoni + teräksset	114 800	kg	18 368	
	Hissikuilun katon massiivilaatan hankinta	LAATAT	(massiivilaatta), betoni + teräksset	1 600	kg	256	
	Kantavat sisäkuorielementit	SEINÄT JA SOKKELIT	betonielementti, sisäkuori, 150 mm+musta teräs	184 000	kg	35 540	
	Ei-kantavat sisäkuorielementit	SEINÄT JA SOKKELIT	betonielementti, sisäkuori, 100 mm+musta teräs	202 000	kg	38 667	
	Parvekeseinien puurunko	PILARIT JA PALKIT	Puuranka, sahatavara	4 785	kg	440	-7 417
	Parvekelaatat	PAIKALLAVALUBETONI JA RAUDOITTEET	Valmisbetoni C35 (portland)	170 800	kg	24 909	
	YP ristikot	PILARIT JA PALKIT	Puuranka, sahatavara	4 950	kg	455	-7 673
	Tiilimuraus (julkisivu)	SEINÄT JA SOKKELIT	Muurattu rak. poltettu tiili 130+laasti	92 383	kg	22 254	
	Verkkoraudoitus	PAIKALLAVALUBETONI JA RAUDOITTEET	Betoniteräs	815	kg	386	

Kuva 9. Yleisnäkymä laskentaohjelmasta.

#### KERROSALA

	pääkäyttötarkoituksen mukaiset tilat	aputilat	kr-s-m <sup>2</sup>
1.KRS	128,5	371,5	500
2.KRS	467	-	467
3.KRS	467	-	467
4.KRS	467	-	467
5.KRS	467	-	467
6.KRS	467	-	467
7.KRS	467	-	467
yht.	2930,5	371,5	3302

Kuva 10. Kerrosala (Määräluettelo Halkotorinkuja 4)

Saatujen tuloksien mukaan hiilijalanjälkilaskenta hankkeen suunnitteluvaiheessa voisi olla tehokas ratkaisu miettimään ympäristöystävällisiä rakennusmateriaaleja ja -tapoja. Ympäristöministeriön laatiman arviointityökalun avulla materiaalien hiilijalanjäljen vertailu on helppoa, sillä eri materiaalien laskennal-

liset arvot hiilijalanjäljen kannalta antavat mahdollisuuden vertailla erilaisia rakentamisvaihtoehtoja keskenään. Tämä auttaa löytämään optimaalisia ratkaisuja jo suunnitteluvaiheessa, jotka minimoivat ympäristövaikutukset. Hiilijalanjäljen laskennan avulla tunnistetaan kohteen suurimmat päästöt ja aiheuttavat rakennusmateriaalit, jolloin resursseja voidaan ohjata näiden rakennusvaiheiden materiaalien hankintaan.

Hiilijalanjäljen arviointityökalu on myös jo suunnitteluvaiheessa tehokas väline kommunikointiin sidosryhmien välillä, sillä ohjelma on selkeä ja helppolukuisen. Tämän avulla saataisiin luotua yhteisymmärrys projektin ympäristövaikutuksista ja sitouttamaan kaikki osapuolet kestävän kehityksen tavoitteisiin.

Opinnäytetyön tutkimustulokset korostavat, että rakennuksen käyttövaiheen hiilijalanjäljen hallinta ja pienentäminen vaativat monipuolisia toimenpiteitä sekä kiinteistöhuollon että asukkaiden aktiivisen osallistumisen kautta. Erilaiset innovatiiviset lähestymistavat, kuten keittiökäytösten palveluna hankkiminen ja niiden suunnittelu uudelleenkäyttöä varten, ovat lupaavia keinoja hiilijalanjäljen pienentämiseksi. Tämä edistää paitsi ympäristöystävällistä rakentamista myös materiaalien elinkaaren pidentämistä.

Lisäksi asuntojen energiankäytön automatisointi, kuten lämpötilan ja valaistuksen säätely, sekä energiatehokkuutta tukevat toimet, kuten pörssiin reagoivat lämmitysjärjestelmät, ovat tehokkaita tapoja operatiivisen hiilijalanjäljen hallintaan. Jätteen kierrätyksen ja lajittelun tehostaminen asuinrakennuksissa antaa asukkaille mahdollisuuden vaikuttaa omiin ympäristövaikutuksiinsa, mikä on erityisen tärkeää uudistetun jätelain myötä.

Uuden hiilijalanjälkilaskentaohjelman kehittäminen tuo lisäarvoa näille toimille tarjoamalla tarkan ja käyttäjäystävällisen työkalun rakennusmateriaalien hiilijalanjälkien vertailuun ja hallintaan. Ohjelman sisältämät laajat tietokannat ja elinkaarianalyysi mahdollistavat kattavan ymmärryksen eri materiaalien ympäristövaikutuksista ja auttavat suunnittelijoita ja rakennuttajia tekemään kestävämpiä valintoja jo suunnitteluvaiheessa.

Näiden toimien integrointi ja tehokas käyttöönotto rakennusprojekteissa ei ainoastaan vähennä hiilijalanjälkeä, vaan myös parantaa rakennushankkeiden

ympäristöarvoa ja vastaa kasvavaan kysyntään kestävien ja energiatehokkaiden ratkaisujen osalta.

Tämä opinnäytetyö ei vastannut tutkimuskysymykseen, miten materiaalien muutosten vaikutus vaikuttaa hankkeen hiilijalanjälkeen sekä kokonaiskustannuksiin, joten tuloksista jäänyt tutkimuskysymys siirretään jatkokysymykseksi.

## LÄHTEET

Koivisto, J. 2021. Hiilijalanjälki betoni- ja puukohteissa. Tampereen yliopisto. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti. Saatavissa <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/132931/KoivistoKiia.pdf?sequence=2&isAll> [viitattu 5.2.2024]

Leppälä, S. 2022. Betonirakentamisen hiilijalanjälki talonrakennuksessa. Oulun yliopisto. Teknillinen tiedekunta. Kandidaatintyö. PDF-dokumentti. Saatavissa <https://oulurepo.oulu.fi/bitstream/handle/10024/20468/nbnfioulu-202205302446.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [viitattu 5.2.2024]

Betonin ympäristövaikutukset. 2020. WWW-dokumentti. Saatavissa <https://www.jkoskenmaki.fi//betonin-ymparistovaikutukset/> [viitattu 6.2.2024]

Hiilidioksidin sitoutuminen betoniin. 2021. WWW-dokumentti. Saatavissa <https://concretesolution.fi/karbonatisoituminen/> [viitattu 9.2.2024]

Rakentamisen päästötietokanta. 2024. WWW-dokumentti. Saatavissa <https://co2data.fi/rakentaminen/> [viitattu 12.2.2024]

Katsaus teolliseen puurakentamiseen – puuelementit. 2020. WWW-dokumentti. Saatavissa [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162338/TEM\\_2020\\_16.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162338/TEM_2020_16.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [viitattu 13.2.2024]

Puurakentamisen hiilijalanjälkivertailut. 2020. WWW-dokumentti. Saatavissa <https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/document/puurakentamisen-hiilijalanjalkivertailut.pdf> [viitattu 19.2.2024]

Puuhun sitoutuu hiiltä. 2023. WWW-dokumentti. Saatavissa <https://puu-info.fi/puutieto/ymparistovaikutukset/puuhun-sitoutuu-hiilta/> [viitattu 19.2.2024]

Puurakentamisen hiilijalanjälki Suomessa. 2021. Tampereen yliopisto. Rakennustekniikan insinööri. Kandidaatin työ. PDF-dokumentti. Saatavissa

<https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/131845/VirtanenJanina.pdf?sequence=2> [viitattu 19.2.2024]

Metsien käsittelyskenaariot. 2020. WWW-dokumentti. Saatavissa <https://assets-global.website-fi->

[les.com/5f33b1bfbd4fdb69d3afe623/5fd363c220057bccdff506b\\_Ilmastotiekartta\\_mets%C3%A4skenaariot\\_loppuraportti\\_Luke\\_16\\_06\\_2020.pdf](https://les.com/5f33b1bfbd4fdb69d3afe623/5fd363c220057bccdff506b_Ilmastotiekartta_mets%C3%A4skenaariot_loppuraportti_Luke_16_06_2020.pdf) [viitattu 19.2.2024]

Mikä on hiilikädenjälki ja miten se lasketaan? 2021. WWW-dokumentti. Saatavissa <https://www.granlund.fi/mika-on-hiilikadenjalki/> [viitattu 19.2.2024]

Kiertotalous rakentamisessa. WWW-dokumentti. Saatavissa <https://rt.fi/tietoa-alasta/ymparisto-ja-ilmasto/kiertotalous-rakentamisessa/> [viitattu 29.2.2024]

Suomalaisen betonin hiilijalanjälki. 2021. PDF-dokumentti. Saatavissa [https://betoni.com/wp-content/uploads/2021/03/BET2101\\_86-91.pdf](https://betoni.com/wp-content/uploads/2021/03/BET2101_86-91.pdf) [viitattu 4.3.2024]

Kansallinen rakentamisen päästötietokanta. WWW-dokumentti. Saatavissa <https://ryhti.syke.fi/esimerkkeja-ja-toteutuksia/rakentamisen-paastotietokanta/> [viitattu 11.3.2024]

Hiilikädenjälki – mitä uudesta ilmastomittarista pitää tietää? 2023. WWW-dokumentti. Saatavissa <https://www.fortum.fi/yrityksille-ja-yhteisoiille/sahkosopimus/ajankohtaista/mita-hiilikadenjaljesta-pitaa-tietaa> [viitattu 11.3.2024]

Puurakentamisen ilmastovaikutukset. WWW-dokumentti. Saatavissa <https://www.hankeportaali.fi/assets/files/uploads/file-274.pdf> [viitattu 11.3.2024]

Mistä sahateollisuuden hiilijalanjälki koostuu. 2020. WWW-dokumentti. Saatavissa <https://sahateollisuus.com/mista-sahateollisuuden-hiilijalanjalki-koostuu/> [viitattu 11.3.2024]

Ilmastoviisas sahateollisuus. 2019. PDF-dokumentti. Saatavissa [https://www.sahateollisuus.com/wp-content/uploads/2020/06/st\\_hiilikartta\\_ra-portti.pdf](https://www.sahateollisuus.com/wp-content/uploads/2020/06/st_hiilikartta_ra-portti.pdf) [viitattu 11.3.2024]

Towards Carbon Neutral Municipalities and Regions in Finland. 2023. WWW-dokumentti. Saatavissa <https://webgate.ec.europa.eu/life/publicWebsite/project/LIFE17-IPC-FI-000002/towards-carbon-neutral-municipalities-and-regions-in-finland> [viitattu 25.3.2024]

Canemure – Towards Carbon Neutral Municipalities and Regions. 2021. WWW-dokumentti. Saatavissa <https://www.hiilineutraalisuomi.fi/en-US/Canemure> [viitattu 26.3.2024]

Vähähiilisen rakentamisen tiekartta. 2017. WWW-dokumentti. Saatavissa <https://ym.fi/vahahiilisen-rakentamisen-tiekartta> [viitattu 7.4.2024]

Betonin hiilensidonta. 2023. WWW-dokumentti. Saatavissa <https://betoni.com/betoni-ja-ymparisto/vahahiilinen-betoni/hiilen-sidonta/> [viitattu 7.4.2024]

Betoni on hiilinielu. 2020. WWW-dokumentti. Saatavissa <https://concretesolution.fi/betoni-hiilinielu/> [viitattu 7.4.2024]

Hiilijalanjätkilaskenta. WWW-dokumentti. Saatavissa <https://vesitaito.fi/palvelut/hiilijalanjalkilaskenta/> [viitattu 7.4.2024]

Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä. 2019. WWW-dokumentti. Saatavissa [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) [viitattu 7.4.2024]

Huomisen keittiö – tässä ja nyt. WWW-dokumentti. Saatavissa <https://www.puustelli.fi/miinus-keittiot/miinus-story> [viitattu 17.4.2024]

Uusi jätelaki – taloyhtiöt. 2023. WWW-dokumentti. Saatavissa <https://tietopankki.lt.fi/uusi-jatelaki-taloyhtiot> [viitattu 18.4.2024]



ISO 14040 ja 14044–Elinkaariarviointien validointi. 2024. WWW-dokumentti. Saatavissa <https://www.dqsglobal.com/fi-fi/sertifioi/iso-14040-ja-14044-elin-kaariarviointien-validointi> [viitattu 22.4.2024]

Määräluettelo. 2024. PDF-dokumentti. Julkaistu 22.4.2024. Saatavissa [Määräluettelo\\_opinnäytetyö.pdf](#) [viitattu 29.4.2024]

Rakennusten hiilijalanjäljen arviointityökalu. 2019. WWW-dokumentti. Saatavissa [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Rakennusten-hiilijalanjaljen-arviointityokalu-9.12.2019-D4EE18D2\\_E07C\\_48A2\\_88A5\\_D266705A0498-149235.xlsm/f3182a07-d5f5-b879-d663-1d28003cf5a4?t=1603259829955](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Rakennusten-hiilijalanjaljen-arviointityokalu-9.12.2019-D4EE18D2_E07C_48A2_88A5_D266705A0498-149235.xlsm/f3182a07-d5f5-b879-d663-1d28003cf5a4?t=1603259829955) [viitattu 29.4.2024]