

SAVONIA

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

HYBRIDIRUNKOISEN KOULURAKENNUKSEN HIILIJALANJÄLJEN LASKENTA

TEKIJÄ Hanni Linja

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Rakennusmestarin tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä Hanni Linja	
Työn nimi Hybridirunkoisen koulurakennuksen hiilijalanjäljen laskenta	
Päiväys	30.10.2024
Sivumäärä/Liitteet	30/5
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Brado Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyössä käsiteltiin hybridirunkoisen koulurakennuksen hiilijalanjäljen laskentaa ja uuden rakentamislain vaikutuksia vähähiiliseen rakentamiseen. Rakentamisen hiilidioksidipäästöjen vähentäminen on ajankohtainen aihe, sillä rakennussektori vastaa noin 30 % Suomen päästöistä. Työn taustalla oli tarve selvittää, miten uudistettu rakentamislaki ja sen määräykset vaikuttavat vähähiiliseen rakentamiseen. Lisäksi haluttiin laskea konkreettisesti yhden koulurakennuksen hiilijalanjälki ja tuottaa tietoa ympäristöstävällisempien rakennusratkaisujen edistämiseksi. Työn toimeksiantajana toimi Brado Oy, joka on kiinteistö- ja rakennusalalla toimiva asiantuntijayritys.</p> <p>Opinnäytetyössä käytettiin One Click LCA -ohjelmistoa hybridirunkoisen koulurakennuksen kantavien rakenteiden hiilijalanjäljen laskemiseen. Laskennassa keskityttiin erityisesti runkorakenteisiin, kuten kantavaan runkoon, vaakarakenteisiin ja julkisivuun. Laskennan aineistona käytettiin rakennuspiirustuksia ja määrälaskentaluetteloita. Hiilijalanjälki laskettiin rakennuksen tuotevaiheen ajalta, ja tarkastelu kohdistettiin erityisesti rakennusmateriaalien valmistuksesta aiheutuviin päästöihin. Laskenta suoritettiin vaiheittain ohjelmiston ohjaamien prosessien mukaisesti.</p> <p>Tuloksissa ilmeni, että suurimmat hiilidioksidipäästöt syntyivät betonirakenteista, erityisesti kantavista elementeistä, kuten välipohjista ja perustuksista. Puumateriaalien käyttö vähensi merkittävästi rakennuksen hiilijalanjälkeä, mutta betonin käyttö kantavissa rakenteissa nosti päästöjä. Johtopäätöksensä todettiin, että hybridirakenteet voivat tarjota ratkaisun vähähiiliseen rakentamiseen, mutta materiaalivalinnoilla on merkittävä vaikutus lopullisiin päästöihin. Tulokset osoittivat tarpeen jatkotutkimukselle erityisesti erilaisten materiaalien elinkaari vaikutuksista sekä vähähiilisemmän rakentamisen lisäämisestä suunnitteluvaiheessa. Hybridirakenteiden kehitystä pidettiin tärkeänä vähähiilisen rakentamisen tavoitteiden saavuttamiseksi.</p>	
Avainsanat Hiilijalanjälki, rakentamislakiuudistus, ympäristöosaaminen, vähähiilinen rakentaminen	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	5
1.1	Taustat työn toimeksiannolle	5
1.2	Toimeksiantaja ja tavoitteet.....	5
2	ILMASTONMUUTOS JA SEN VAIKUTUKSET RAKENTAMISEEN	6
2.1	Ilmastonmuutos.....	6
2.2	Ympäristövaikutusten ehkäiseminen	6
2.3	Vähähiilinen rakentaminen.....	8
3	UUSITTU RAKENTAMISLAKI JA SEN MUUTOKSET	10
3.1	Rakentamisen lainsäädäntö ja määräykset.....	10
3.2	Hiilijalanjäljen laskeminen uudessa Rakentamislaisissa	11
3.3	Ilmastaselvitys.....	12
4	RAKENNUKSEN HIILIJALANJÄLKI	15
4.1	Rakentamisen hiilijalanjälki	15
4.2	Hiilijalanjäljen laskenta	15
4.3	One Click LCA -sovellus	17
5	HYBRIDIRUNKOINEN KOULURAKENNUS.....	19
5.1	Laskennan kohde: hybridirunkoinen koulurakennus.....	19
5.2	Laskenta	20
5.3	Tulokset ja yhteenveto	21
6	POHDINTA.....	24
	LÄHTEET	26
	LIITE 1: ONE CLICK LCA, KANTAVAN RAKENTEEN RAKENNUSMATERIAALIT	29
	LIITE 2: ONE CLICK LCA, HYBRIDIRUNKON RAKENNUSMATERIAALIT	31
	LIITE 3: ONE CLICK LCA, KANTAVAN RAKENTEEN TULOSRAPORTTI	33
	LIITE 4: ONE CLICK LCA, HYBRIDIRUNKON TULOSRAPORTTI.....	34
	LIITE 5: ONE CLICK LCA, KANTAVAN RAKENTEEN PÄÄSTÖVAIKUTUKSET ENNEN KÄYTTÖÄ.....	35

KUVALUETTELO

KUVA 1. Rakennuskannan päästöjen vähennyspotentiali (Eurooppa-neuvosto 2024c)	7
KUVA 2. Kuvaleike Ympäristöministeriön julkaisemasta videosta (Ympäristöministeriö julkaisuaika tuntematon f)	8
KUVA 3. Esimerkkejä rakennusmateriaalien hiilijalanjäljistä (RT 103170 Ilmastonmuutos 2020. Hillintä ja sopeutuminen rakennetussa ympäristössä.).....	15
KUVA 4. Hiilen sitoutumisen kiertokulku elinkaariarvioinnin vaiheissa (Woodworks 2024).....	17
KUVA 5. Karstulan Yhtenäiskoulu (Paloranta 2024).....	19
KUVA 6. Kantavat rakenteet Talo 2000-nimikkeistön litteroinnin mukaisesti. (Ympäristöministeriö 2019)	20
KUVA 7. Rakennusten hiilijalanjälkien tuloksia (Kinnunen 2023)	22
KUVA 8. Rungon osuus kantavasta rakenteesta (Linja 2024).....	23

1 JOHDANTO

1.1 Taustat työn toimeksiannolle

Rakentamisen osuus kaikista hiilidioksidipäästöistä Suomessa on noin 30 %. Rakentamisessa tehtävien ratkaisujen kautta voimme osaltamme vaikuttaa tulevaan ilmastonmuutoksen etenemisvauhtiin. Tähän mennessä pääpainopiste vaikutusten vähentämisessä on ollut energiatehokkuuden parantamisessa, mutta tulevaisuudessa on kehitettävä uusia tapoja vähähiilisemmän rakentamisen toteuttamiseen. EU-tasolla on valmisteltu direktiiviä hiilineutraalisuudesta, jolla on vaikutusta Suomen Maankäyttö- ja rakentamislakiin. Tavoite on saada Suomi hiilineutraaliksi vuoteen 2035 mennessä. Uusi rakentamislaki astuu voimaan 1.1.2025. (Ympäristöministeriö julkaisuaika tuntematon a.)

Aihepiiri on erittäin ajankohtainen ja tulee esiin monessa eri yhteydessä. Rakennusalalla eletään taantumaa, joten erilaisille kehityshankkeille on tilaa. Ympäristöystävällisyys ja kiertotalousajattelu ovat puhuttaneet rakennusalalla toimivia jo tovin. Näkemykseni on, että tälle työlle on tarve ja aloitettua tutkimusta sekä sen tuloksia on helppo hyödyntää ja jatkojalostaa erilaisten hankkeiden yhteydessä.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksen on selvittää uuden tulevan Maankäyttö- ja rakentamislain vaikutuksista sekä määräyksistä vähähiilisemmästä rakentamisesta sekä laskea hybridirunkoisen koulurakennuksen hiilijalanjälki. Työn teoriaosassa keskitytään hiilijalanjäljen laskentaan liittyviin Rakentamislain muutoksiin ja laskennassa käytetään One Click LCA -ohjelmistoa.

1.2 Toimeksiantaja ja tavoitteet

Työn tilaajana toimii Brado Oy, joka on kiinteistö- ja rakennusalalla toimiva asiantuntijayritys, joka toimii koko Suomen alueella erilaisissa rakentamisen ja kiinteistökehityksen hankkeissa. Yrityksen toimialoja ovat kiinteistökehitys, rakennuttaminen ja valvonta, rakennusterveys sekä koulutus- ja auditointipalvelut. Bradon vahvuus on RALA-sertifioitu laadukas ja nopea asioiden hoito sekä vankka Terve Talo-osaaminen. (Brado 2024.)

Tämän työn ensisijainen tarkoitus on lisätä Brado Oy:n ympäristöosaamista rakennuttamisen hankkeissa. Työn tutkimuksellinen osuus suoritetaan laskennallisin keinoin valmista hiilijalanjälkilaskuria käyttäen. Tutkimusprosessia voidaan verrata aiemmin tehtyihin vastaaviin tutkimuksiin. Saatujen tulosten avulla tehdään kehitystyötä tulevien rakentamisen hankkeiden hiilineutraalimman rakentamisen aikaansaamiseksi.

Tässä työssä keskitytään vain rakennuksen runkorakenteiden laskentaan. Laskenta tulee sisältämään perustukset, rungon ja vesikaton osuudet. Laskennasta on jätetty pois pintamateriaalit, koska ne olisivat olleet joka tapauksessa samat. Oletettavasti runko on suurin hiilidioksidipäästöjen tuottaja. Tarkempi hiilijalanjäljen tarkastelu tehdään rakennuksen hybridirakenteisen rungon osalta.

2 ILMASTONMUUTOS JA SEN VAIKUTUKSET RAKENTAMISEEN

2.1 Ilmastonmuutos

Ilmastonmuutos on seurausta ihmisen toiminnasta. Sen seurauksena maapallon keskilämpötilan arvioidaan nousevan seuraavien vuosikymmenien aikana. Vaikka Suomessa on laajaa ympäristöosaamista, ympäristöajattelu on edelleen alkutekijöissään. Tietoisuutta asiasta pitää jakaa ja ympäristöosaamista kehittää. Rakennuttajat ovat siinä avainasemassa. Rakennuttajakonsulttina Brado Oy voi olla eturintamassa tässä muutostyössä.

Ilmastonmuutos vaikuttaa rakentamiseen monella tavalla. Uusi rakentamislaki asettaa merkittäviä vaatimuksia sekä uusille että olemassa oleville rakennuksille. Rakentamisen sektori on samalla sekä ilmastonmuutoksen haasteiden kohtaaja että osa ratkaisua. Tärkeitä vaikutuksia ja vaatimuksia ovat ilmastonmuutoksesta seuraaviin sään ääri-ilmiöihin sopeutuminen, energiatehokkuus ja vähähiilinen rakentaminen. Lisäksi huomioon on otettava materiaalivalinnat ja rakennusosien kiertotalous, sääntely ja standardit sekä kustannusvaikutukset. (Ympäristöministeriö julkaisuaika tuntematon d). Näiden tekijöiden perusteella ilmastonmuutos on keskeinen osa nykypäivän ja tulevaisuuden rakentamista, ja se vaikuttaa niin rakennusten suunnitteluun, materiaalivalintoihin kuin sääntelyynkin.

Ilmastoneutraali EU 2050 -hanke on aloitettu joulukuussa 2019. Suomi on mukana kansainvälisessä yhteistyössä hidastamassa ilmastonmuutosta. Muutoksia pyritään saada aikaiseksi EU:n lainsäädännön avulla. Tämä ohjaa Suomessa lakimuutoksia muun muassa Maankäyttö- ja rakentamislakiin. EU:lla on tavoite muuttaa Euroopan Unioniin kuuluvat maat ilmastoneutraaleiksi 2050 mennessä. Tämä tarkoittaa, että kasvihuonekaasuja on vähennettävä 55 % vuoteen 2030 mennessä vuoden 1990 tasosta. Eurooppalainen ilmastolaki on osa keskeistä vihreän kehityksen ohjelmaa. Ehdotuspaketin tavoitteena on johdonmukainen ja tasapainoinen kehitys, jolla varmistetaan tasapuolinen siirtymä, ylläpidetään EU:n teollisen sektorin innovatiivisuutta sekä tuetaan EU:n asemaa ilmastonmuutoksen edelläkävijänä maailmanlaajuisesti. (Eurooppa-neuvosto 2024b).

Monet hankkeet hakevat Rakennustiedon ympäristöluokitusta rakentamisen hankkeiden lisäksi myös kiinteistöjen ylläpidon toteuttamiselle koko elinkaaren ajalle jo olemassa olevalle rakennukselle. Ympäristöluokitukset on kehitetty ohjaamaan ilmastonmuutoksen vaikutuksien ehkäisyä. Rakennustiedon ympäristöluokitus on rakennusalan kansallinen rakennusten ympäristösuorituskyvyn johtamis- ja luokitusjärjestelmä. (Rakennustieto 2023). Hiilijalanjäljen laskeminen on osa tätä prosessia. Vähähiilinen rakentaminen edellyttää uusia vähähiilisiä ratkaisuja sekä materiaaleja. Muita ympäristöluokitusjärjestelmiä ovat muun muassa Euroopan johtava luokitus BREEAM, globaali luokitusjärjestelmä LEED sekä pohjoismaiden tunnetuin ympäristömerkki Joutsenmerkki. (Green Building Council Finland 2023; YM Vähähiilisen rakentamisen tiekartta.)

2.2 Ympäristövaikutusten ehkäiseminen

Maailman kiinteistökanta on merkittävä hiilidioksidipäästöjen lähde. Kiinteistö- ja rakennussektorin osuus kaikista globaalista hiilidioksidipäästöistä on arvioiden mukaan noin 39 %. Rakennusten

käyttövaiheen energiankulutus tuottaa noin 28 % maailman kokonaispäästöistä. Suomessa vastaava luku on 32 % (RT 103170 Ilmastonmuutos 2020. Hillintä ja sopeutuminen rakennetussa ympäristössä, 3). Merkittävimpiä rakennusmateriaalien valmistus- ja rakentamisprosessien hiilidioksidipäästöjä edustavat ovat sementin, teräksen ja betonin tuotanto (Rakennuslehti 2021). Kiinteistökannan ja rakentamisen päästöjä pyritään vähentämään muun muassa energiatehokkuustoimenpiteillä, uusiutuvien energialähteiden käytöllä sekä vähähiilisten rakennusmateriaalien suosimisella (Ympäristöministeriö julkaisuaika tuntematon b.)

Kaikkien julkisten hankintojen arvo Suomessa on 47 miljardia euroa. Julkisten rakennushankkeiden hiilijalanjäljen osuus Suomessa on 30 % kaikista julkisista hankinnoista ja niihin käytetään vuosittain yli 7 miljardia euroa. Vuonna 2021 julkisten rakennushankkeiden osuus oli vielä 25 %.

Vähähiilisuuden hankintakriteereitä ovat energia, materiaalit ja innovaatiot. Vihreillä rakentamisen hankinnoilla on siis iso vaikutus ympäristövaikutusten ehkäisemiseen Suomessa. Vähähiilisen rakentamisen ohjaaminen vaikuttaa osaltaan siihen, miten markkinamme näyttäytyvät suhteessa muuhun Eurooppaan. (Kestävien ja innovatiivisten julkisten hankintojen verkostomainen osaamiskeskus, 3–4; Ympäristöministeriö julkaisuaika tuntematon f.)

Suomessa oli vuosina 2021–2023 käynnissä EU:n rahoittama KIRAilmasto -hanke, joka on osa vähähiilisen rakennetun ympäristön ohjelmaa. Sen päätavoite on kehittää vähähiilisemmän rakentamisen ja rakennustuotteiden innovointia kohti ilmastonmuutosta hidastavia ratkaisuja. Ohjelma toteutti Suomen kestävän kasvun ohjelmaa ja tuki yli 100 hanketta vuosina 2021–2023 yli 40 miljoonalla eurolla mahdollistaen vähähiilisempien ratkaisujen kehittämistyötä rakentamisen hankkeissa. Olemassa olevassa rakennuskannassa on suuri vähennyspotentiaali päästöjen vähentämiseen. Vain noin 25 % rakennuksista on energiatehokkaita (kuva 1). (Ympäristöministeriö julkaisuaika tuntematon e.)

Suuri vähennyspotentiaali

lähes **75%** olemassa olevista rakennuksista ei ole energiatehokkaita ja edellyttää laajaa energiaperuskorjausta



KUVA 1. Rakennuskannan päästöjen vähennyspotentiaali (Eurooppa-neuvosto 2024c)

Euroopan Unionissa tuli voimaan uudistettu energiatehokkuusdirektiivi (2018/44/EU), joka osaltaan edesauttaa vähentämään ilmastoa lämmittävien hiilidioksidipäästöjen määrää.

Energiatehokkuussäädökset perustuvat 2010 voimaan tullutta EU:n rakennusten energiatehokkuusdirektiiviä. Säädöksen keskeinen tarkoitus on toteuttaa uudet rakennukset lähes

nollaenergiarakennuksina. (Ympäristöministeriö julkaisuaika tuntematon b.)

Energiatehokkuusdirektiivin päivitetty versio on hyväksytty EU-parlamentissa maaliskuussa 2024. Uudistus on osa EU:n 55-valmiuspakettia (Eurooppa-neuvosto 2024a). Tämä tarkoittaisi käytännössä päästöttömiä rakennuksia. Keinoja ympäristöystävällisempää rakentamista ja päästöttömiä rakennuksia kohti ovat energiatehokkuuden parantaminen, vähähiiliset materiaalit, rakennusten elinkaaren pidentäminen, rakentamisen digitalisaatio ja suunnitteluprosessien optimointi, päästöjä vähentävät rakennustekniikat sekä vedenkäyttö ja jätehuollon optimointi (Ympäristöministeriö julkaisuaika tuntematon f). Tähän asti päästöjen vähennyksiä on tavoiteltu käytönaikaisilla energiansäästöratkaisuilla ja energiatehokkuuden parantamisella. Tuloksia pitää jatkossa saada rakennuksen koko elinkaaren ajalta (kuva 2).



KUVA 2. Kuvaleike Ympäristöministeriön julkaisemasta videosta (Ympäristöministeriö julkaisuaika tuntematon f)

2.3 Vähähiilinen rakentaminen

Vähähiilinen rakentaminen pyrkii vähentämään rakennusten ja rakentamisen ympäristövaikutuksia, erityisesti kasvihuonekaasupäästöjä. Näistä yksi tärkeä keino on rakennusten hiilijalanjäljen pienentäminen. Tämä on vähähiilisen rakentamisen keskeinen tavoite. Hiilijalanjälki sisältää rakennuksen elinkaaren aikaiset päästöt. Niitä syntyy materiaalien tuotannosta, kuljetuksista, rakennusvaiheista, käytöstä ja purkamisesta. Rakennusmateriaalien valinta ja energiaratkaisut vaikuttavat merkittävästi hiilijalanjälkeen. Myös rakennusten energiatehokkuus on keskeinen asia. Rakennushankkeiden täytyy täyttää tiukat energiatehokkuusvaatimukset, ja vähimmäisosuus energiasta on oltava uusiutuvaa. (Ympäristöministeriö julkaisuaika tuntematon f.)

Materiaalivalinnoilla on vaikutus vähähiilisempään rakentamiseen. Rakentamisessa tulisi suosia kierrätettäviä ja uusiutuvia materiaaleja, sekä vähentää haitallisten aineiden käyttöä. Vähähiilinen rakentaminen edistää osaltaan kiertotaloutta. Materiaalit ja rakennusosat suunnitellaan niin, että ne

voidaan käyttää uudelleen tai kierrättää elinkaarensa lopussa. Vähähiilinen rakentaminen korostaa rakennusten pitkää elinkaarta ja muunneltavuutta. Tavoitteena on suunnitella rakennuksia, joita voidaan käyttää mahdollisimman pitkään ilman suuria peruskorjauksia. Hyvä elinkaarisuunnittelu vähentää korjaus- ja purkuprosessien aiheuttamia päästöjä ja lisää rakennuksen kestävyysominaisuuksia. Suomessa on jo nyt kansallisia päästötietokantoja, jotka auttavat arvioimaan rakennusmateriaalien ja -tuotteiden hiilijalanjälkeä. Tämä auttaa suunnittelijoita ja rakentajia tekemään ympäristöystävällisempiä valintoja. Nämä tekijät yhdistävät kestävästä rakentamisesta ja ilmastonmuutoksen torjunnasta. (Ympäristöministeriö julkaisuaika tuntematon f.)

Ilmastonmuutoksen ehkäiseminen on yhteistyötä vaativa asia eikä kukaan ratkaise asiaa yksin. Rakennusmateriaalin tuottajilla on iso rooli, mutta rakennuttajilla, hankintayksiköillä sekä suunnittelijoilla on ensisijainen vastuu vähähiilisen rakentamisen toteuttajina. Green Building Council Finland -järjestön toimitusjohtajan Antti Ruuskan mukaan jopa pankit voisivat olla ratkaisevassa asemassa lainaa myöntäessään. Ruuskan mielestä hiilijalanjäljen laskenta hankkeelle voisi olla edellytys lainan saannille. Jo vuonna 2023 vähähiilisen rakentamisen asiantuntija, tekniikan tohtori Tarja Häkkinen pohti uuden rakentamislain asettavan saavutettavissa olevia raja-arvoja rakentamisen hiilidioksidipäästöille. Hän arveli, että tulevaisuudessa rakennuksien vähähiilisyyttä voisi olla markkinointiargumentti. (Ympäristöministeriö 2023d).

Osana Euroopan Unionin 2050-hanketta on kestävästä rahoituksen luokittelujärjestelmästä taksonomia. Rakentamisessa järjestelmä määrittelee, millaiset taloudelliset toimet ja investoinnit ovat ympäristön kannalta kestäviä. Rakentamisessa EU-taksonomialla on erityisen suuri merkitys, sillä se ohjaa rakennus- ja kiinteistöalan toimijoita tekemään ympäristön kannalta kestäviä ratkaisuja. Taksonomia asettaa selkeät kriteerit ja periaatteet. Niiden avulla voidaan arvioida, täyttääkö rakennusprojekti kestävästä kehityksen tavoitteet. Taksonomia tukee rakennusalan siirtymistä kohti vähähiilisyyttä ja kestävästä kehitystä asettamalla konkreettisia tavoitteita ja vaatimuksia taloudellisille toimille. Rakennus- ja kiinteistöalan toimijat, jotka täyttävät nämä kriteerit, voivat saada ympäristön kannalta kestävästä toiminnan statuksen EU-taksonomian mukaisesti. Tämä voi houkuttaa sijoittajia, jotka etsivät kestävästä kehityksen mukaisia investointikohteita, ja edistää vihreitä rahoitusmarkkinoita. (Rakennusteollisuus RT 2024.)

3 UUSITTU RAKENTAMISLAKI JA SEN MUUTOKSET

3.1 Rakentamisen lainsäädäntö ja määräykset

Rakentamiseen vaikuttavat sekä kansalliset että kansainväliset määräykset. Niiden yhteisvaikutus on merkittävä monella tasolla. Kansalliset määräykset, kuten Suomen maankäyttö- ja rakennuslaki (MRL) ja rakentamismääräyskokoelma, määrittelevät tarkat tekniset vaatimukset ja prosessit. Näitä kaikkia on noudatettava rakennuslupien saamiseksi, rakennusten turvallisuuden, terveellisyden sekä energiatehokkuuden varmistamiseksi. Kansainväliset määräykset puolestaan tulevat usein EU-direktiivien ja -asetusten kautta. Ne määrittävät minimivaatimukset, joihin kansallisten määräysten on sopeuduttava. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999.)

EU:n energiatehokkuusdirektiivi (EPBD) velvoittaa jäsenmaita, kuten Suomea, parantamaan rakennusten energiatehokkuutta. Se vaikuttaa suoraan kansallisiin energiamääräyksiin. (Ympäristöministeriö julkaisuaika tuntematon b.) Rakennustuoteasetuksen (CPR) kautta taas varmistetaan, että rakennusmateriaalit täyttävät yhteiset eurooppalaiset standardit. Nämä standardit varmistavat, että kaikki EU:n alueella käytettävät rakennusmateriaalit täyttävät tietyt turvallisuus- ja ympäristövaatimukset. Tämä helpottaa tuotteiden vertailua ja käyttöä koko unionin alueella. (Valtioneuvosto 2023.) EU:n ilmastopolitiikka ja kiertotalousstrategiat ohjaavat myös kansallista rakentamista kohti vähähiilisiä ratkaisuja, mikä vaikuttaa materiaalivalintoihin ja rakennusten elinkaarisuunnitteluun. Näin kansalliset ja kansainväliset määräykset yhdessä luovat kattavan sääntelykehikon, joka varmistaa, että rakentaminen on kestävä, turvallista ja energiatehokasta sekä kansallisella että kansainvälisellä tasolla. (Eurooppa-neuvosto 2024c.)

Suomessa rakentamista säätelee ja ohjaa useat lait, määräykset ja asetukset, jotka kattavat sekä kaavoituksen että itse rakennusprosessin. Tärkeimpänä näistä on vuonna 1999 voimaan tullut Maankäyttö- ja rakentamislaki. Lain tarkoituksena on ohjata alueiden käyttöä ja rakentamista siten, että syntyy hyvän elinympäristön edellytykset sekä edistetään kestävä kehitystä ekologisesta, taloudellisesta, sosiaalisesta ja kulttuurisesta näkökulmasta. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999, luku 1§.)

Voimassa oleva Maankäyttö- ja rakennuslaki eriytetään 2025 uudistuksessa kahdeksi erilliseksi laiksi. Jäljelle jäävä Alueidenkäyttölaki keskittyy kaavoitukseen ja alueiden käyttöön liittyviin sääntelykysymyksiin. Rakentamislaki puolestaan käsittelee rakentamisen sääntelyä, kuten rakennuslupia, vähähiilistä rakentamista ja muita rakentamiseen liittyviä vaatimuksia. Uusi laki painottaa rakennusten vähähiilisyyttä ja energiatehokkuutta. Rakennushankkeissa tulee jatkossa raportoida rakennuksen hiilijalanjälki ja -kädenjälki, ja ostoenergiasta tietty osuus tulee olla uusiutuvaa energiaa. Uudistettava rakentamislaki on hyväksytty 1.3.2023 ja se on tarkoitus astua voimaan 1. tammikuuta 2025 (Ympäristöministeriö 2023b). Tämä eriyttäminen on osa laajempaa lainsäädännön uudistusta, jonka tavoitteena on parantaa rakentamisen sujuvuutta ja ekologista kestävyttä sekä helpottaa kaavoituksen prosesseja. (Ympäristöministeriö julkaisuaika tuntematon a.)

Rakentamismääräyskokoelma sisältää teknisiä määräyksiä, jotka koskevat rakennusten turvallisuutta, terveellisyttä, energiatehokkuutta ja esteettömyyttä. Rakentamismääräykset ovat

sitovia ja ne määrittävät tekniset yksityiskohdat rakennuslupaprosesseissa. Rakentamiseen liittyvät asetukset täsmentävät lakien säädöksiä ja antavat yksityiskohtaisempia ohjeita rakentamisprosessiin liittyen, esimerkiksi rakennuslupien hakemisesta ja teknisistä vaatimuksista. Ympäristönsuojelulla ja siihen liittyvällä asetuksella varmistetaan, että rakentaminen ei vaaranna ympäristönsuojelua. Näiden säädösten tarkoituksena on taata, että rakentaminen tapahtuu ympäristön kannalta kestävällä tavalla ottaen huomioon luonnon suojelun ja ekosysteemien tasapainon säilyttämisen. Laki koskee muun muassa rakennusjätteiden käsittelyä, rakennuspaikkojen saastumista ja energian käyttöä. Energiatodistuslaki säätelee rakennusten energiatehokkuuden todentamista. Jokaisesta uudesta rakennuksesta on laadittava jatkossakin energiatodistus, joka osoittaa rakennuksen energiatehokkuusluokan ja auttaa valvomaan rakennusten energian käyttöä Näiden määräysten lisäksi paikalliset rakennusjärjestykset voivat tuoda lisävaatimuksia, erityisesti koskien esimerkiksi kaavoitusta ja rakentamisoikeutta kunnissa. (RT 103607 Rakentamislaki. Suomen säädöskokoelma 751/2023; Ympäristöministeriö julkaisuaika tuntematon c.)

Ympäristöministeriö aloitti uuden, vähähiilisemmän rakentamisen säädösohjauksen valmistelun vuonna 2016 ja Maankäyttö- ja rakennuslain kokonaisuudistaminen käynnistyi 2018 (Ympäristöministeriö 2019, 9; Ympäristöministeriö 2023a). Tavoitteena on saada rakennussektori mukaan päästöjen vähennyksiin. Uuden rakentamislain muutosten tavoitteena on hillitä ilmastonmuutosta, edistää rakentamisen kiertotaloutta, mahdollistaa rakentamisen päätösten ja tietosisällön digitaalisuuta sekä tuottaa parempaa laatua päätöteuttajan vastuiden tarkentamisen avulla. Asetusehdotus on ollut syksyyn 2024 mennessä jo kaksi kertaa lausuntokierroksella. 'Korjaussarjan' uudistuksista on keskusteltu erilaisten sidosryhmien sekä kansalaisten kanssa niin sanotun keskustelupaperin avulla, tiedottaa Ympäristöministeriö. (Ympäristöministeriö 2021.)

Lakiuudistuksen korjaussarja on saanut huomattavaa kiinnostusta osakseen saaden lähes 280 lausuntopalautetta. Korjaussarjassa esiin nostettuja asioita ensimmäisellä lausuntokierroksella vähähiilisen rakentamisen osalta liittyivät ilmastoselvitykseen, rakennuksen vähähiilisyyteen sekä elinkaariominaisuuksiin. Kommentteja annettiin ilmasto- ja materiaaliselvityksen laatimisesta, hiilijalanjäljen raja-arvojen arvioinnista erityistilanteissa, rakennuspaikan roolista ilmastoselvityksessä sekä yleisesti hiilijalanjäljen arviointimenetelmistä jo 2021 ennakkolausunnoilla (Ympäristöministeriö 2023c). Olisi tärkeää, että ilmastoselvitys otettaisiin käyttöön mahdollisimman pian, jotta Suomi pääsee liikkeelle konkreettisisissa toimissa rakentamisen päästöjen leikkaamisessa. Keskeisimpiä muutoksia tulevat olemaan uusien rakennusten ilmastoselvitys, materiaaliselosteen korvaaminen rakennustuoteluettelolla helpottamaan rakennusosien uudelleenkäyttöä, kansalliseen päästöskenaarioon perustuva rakennuksen käytönaikaisten päästöjen laskenta sekä hiilijalan- ja kädenjäljen laskenta. Asetusehdotus on lähetetty EU:n tekniseen notifiointiin kesällä 2024 ja seuraava lausuntokierros Eduskunnassa on vuoden 2025 alkupuolella. (Ympäristöministeriö 2024c; Ympäristöministeriö 2024a, 1.)

3.2 Hiilijalanjäljen laskeminen uudessa Rakentamislaisissa

Suomessa ei ole tällä hetkellä lainsäädäntöä, joka arvioisi rakennusten vähähiilisyyttä (HE 139/2022 vp. Hallituksen esitys eduskunnalle rakentamislaki ja siihen liittyviksi laeiksi, 22). Uudistettava rakentamislaki tulee huomioimaan tämän ja asettaa hiilijalanjäljelle raja-arvot. Jatkossa

rakennushankkeen toteuttajan on varmistettava, että rakennus suunnitellaan ja toteutetaan vähähiilisenä. Uudistuvassa rakentamislaissa raja-arvot erotettaisiin ilmastaselvityksestä omaksi pykäläkseen 38 a §.

Rakennusten vähähiilisyyden sääntelyllä on tavoitteena ohjata rakennusten koko elinkaaren vähähiilisyyttä neutraalein keinoin. (RT 103170 Ilmastonmuutos 2020. Hillintä ja sopeutuminen rakennetussa ympäristössä, 6.)

Raja-arvo tullaan määrittämään rakennusten käyttötarkoitukseluokittain;

- 1) rivitalot
- 2) asuinkerrostalot
- 3) toimisto- ja terveystalot
- 4) liikerakennukset, tavaratalot, kauppakeskukset, myymälärakennukset, myymälähallit, teatterit, ooppera-, konsertti- ja kongressitalot, elokuvateatterit, kirjastot, arkistot, museot, taidegalleriat ja näyttelyhallit
- 5) majoitusliikerakennukset, hotellit, asuntolat, palvelutalot, vanhainkodit ja hoitolaitokset
- 6) opetusrakennukset ja päiväkodit
- 7) liikuntahallit
- 8) sairaalat
- 9) lämmitetyltä nettoalaltaan yli 1 000 neliömetrin suuriset varistorakennukset, liikenteen rakennukset, uimahallit ja jäähallit.

Hiilijalanjälkilaskennan asetus astuu voimaan asteittain. Suomessa asetus astuu voimaan vasta 1.1.2026 poiketen muista uudistuksista ja se tullaan erottamaan omaksi pykäläkseen selkeyden vuoksi. Raja-arvot tullaan säätämään valtioneuvoston erillisellä asetuksella. EU-direktiivin uusi asetus energiatehokkuuden säätämisestä astuu voimaan Suomessa 1.1.2027. (HE 101/2024 vp. Hallituksen esitys eduskunnalle laiksi rakentamislain muuttamisesta ja eräksi siihen liittyviksi laeiksi, 8; Ympäristöministeriö 2024b.)

Rakennustiedon mukaan vähähiilisen rakentamisen huomioon otettavia asioita uuden lain myötä ovat vähähiilisen rakennuksen suunnittelu, käyttötarkoituksenmukaisuus, hiilijalan- sekä kädenjäljen laskenta osana ilmastaselvitystä, elinkaariajattelu ja hiilijalanjäljen arviointimenettely sekä rakennuksen koko elinkaareen perustuvat hiilijalanjäljen raja-arvot. Ilmastaselvitys tulee olemaan pakollinen osa rakentamislupaprosessia. (RT 103607 Rakentamislaki. Suomen säädöskokoelma 751/2023, 6.) Uuden rakentamislain mukainen hiilijalanjäljen laskenta keskittyy arvioimaan rakennuksen koko elinkaaren aikaisia kasvihuonekaasupäästöjä. Laskennassa on otettava huomioon useita eri tekijöitä, jotta saadaan kattava ja tarkka arvio. Näiden tekijöiden huomioiminen on välttämätöntä uuden rakentamislain mukaisessa hiilijalanjäljen laskennassa, jotta rakennushankkeet vastaavat kestävyys- ja ilmastotavoitteisiin. (HE 139/2022 vp, 157–160.)

3.3 Ilmastaselvitys

Jatkossa rakentamislupaan kuuluu myös ilmastaselvityksen ja rakennustuoteluettelon tekeminen. Rakennustuoteluettelo korvaa aiemmassa lupaprosessissa olleen materiaaliselosteen. Ilmastaselvitykseen kuuluvat oleellisena osana hiilijalan- ja hiilikädenjälkien laskenta. Tuleva

ilmastoselvitys osana uudistetun rakentamislain mukaista rakentamislupaprosessia tulee sisältämään useita osa-alueita, jotka liittyvät rakennushankkeen ympäristövaikutuksiin. Selvityksessä tulee arvioida rakennuksen elinkaaren aikainen hiilijalanjälki, joka kattaa rakentamisessa käytetyt materiaalit, rakennuksen energiatehokkuuden sekä sen käyttö- ja huoltovaiheen päästöt. Ilmastoselvityksen tulee sisältää tiedot käytettävien materiaalien ympäristövaikutuksista. Niihin kuuluvat tiedot kierrätysmateriaalien ja uusiutuvien materiaalien osuudesta sekä mahdollisten haitallisten aineiden käytöstä. Myös materiaalien hiilidioksidipäästöt esimerkiksi kuljetusten aikana tulevat olemaan osa selvitystä. Rakennushankkeen on täytettävä energiatehokkuuteen liittyvät vähimmäisvaatimukset. Ostoenergiasta on oltava tietty osuus uusiutuvaa energiaa (RT 103607 Rakentamislaki. Suomen säädöskokoelma 751/2023, 2). Selvityksessä tulee osoittaa laskelmin, että rakennus täyttää nämä vaatimukset koko sen elinkaaren ajan. Tämä ilmastoselvitys on osa laajempaa pyrkimystä rakentamisen vähähiilisyden edistämiseksi ja ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi tulevaisuudessa. Ympäristöministeriön valmistelemissa asetuksessa annetaan ohjeistus rakennuksen elinkaaren vähähiilisydestä, ilmastoselvityksen laatimisesta ja sisällöstä sekä Suomessa kehitetystä arviointimenetelmästä. Näitä tullaan käyttämään hiilijalanjäljen ja hiilikädenjäljen laskentaan ilmastoselvityksessä. Asetuksen odotetaan tuovan myönteisiä ilmastovaikutuksia, sillä vähähiilisyden arvioinnilla pyritään vähentämään rakennuksen elinkaaren kasvihuonekaasupäästöjä perusteellisen ennakkosuunnittelun avulla. (Rakennustieto 2023; Ympäristöministeriö 2021.)

Tulevassa rakentamislaissa pääsuunnittelijan rooli korostuu erityisesti rakennuksen hiilijalanjäljen laskennan ja ilmastoselvityksen laadinnan osalta. Pääsuunnittelija vastaa rakennushankkeen kokonaisvaltaisesta suunnittelun ohjaamisesta ja koordinoinnista varmistaen, että suunnitteluprosessissa huomioidaan rakennuksen elinkaaren vähähiilisyys. Pääsuunnittelija huolehtii, että tarvittavat hiilijalanjäljen ja -kädenjäljen laskelmat tehdään ajoissa ja että niiden tiedot sisällytetään ilmastoselvitykseen. Lisäksi pääsuunnittelijan tehtävänä on varmistaa, että kaikki hankkeeseen osallistuvat suunnittelijat ja asiantuntijat toimivat vähähiilisyttä edistävien tavoitteiden mukaisesti. Laskelmat tehdään hankesuunnitteluvaiheessa osana ilmastoselvitystä, ja prosessia seurataan rakennushankkeen edetessä. Lopputarkastusvaiheessa laskelmia ei välttämättä tarvitse korjata, mutta pääsuunnittelija varmistaa, että lopulliset raportit ovat ajan tasalla ja että rakennusprojekti täyttää kaikki lain edellyttämät vaatimukset. (HE 139/2022 vp; Rakennustieto 2024b.)

Hiilijalanjälki kuvaa rakennuksen ja rakentamisen aikaansaamia päästöjä. Hiilikädenjälki puolestaan mittaa rakennuksen positiivista ilmastovaikutusta, kuten kierrätettävien tai uusiutuvien materiaalien käyttöä. Se antaa tietoja rakennuksen aikaansaamista päästöjen vähenemisistä. Hiilikädenjälki tarkoittaa tuotteista, palveluista tai rakennushankkeista syntyvää positiivista ympäristövaikutusta, joka edistää ilmastonmuutoksen torjuntaa. Hiilijalanjälki mittaa toiminnan tai tuotteen ympäristölle aiheuttamia haitallisia vaikutuksia, kuten päästöjä, kun taas hiilikädenjälki kuvaa toiminnan kykyä vähentää muiden aiheuttamaa ympäristökuormitusta ja edistää kestävä kehitystä. Hiilikädenjälkeä voidaan pitää eräänlaisena ”ilmastohyvityksenä”. Sen avulla toimijat eivät ainoastaan pyri vähentämään omia päästöjään, vaan edistävät aktiivisesti ilmastonmuutoksen torjumista tarjoamalla ratkaisuja, jotka hyödyttävät muita. Tämä tarkoittaa esimerkiksi hiiltä sitovien materiaalien

käyttämistä rakennusmateriaaleina. Hiilikädenjälki on tärkeä erityisesti vähähiiliseen rakentamiseen ja kestäviin tuotteisiin keskittyvissä projekteissa, koska se kannustaa kehittämään ratkaisuja, joilla on laajempi positiivinen vaikutus ympäristöön (RT 103170 Ilmastonmuutos 2020. Hillintä ja sopeutuminen rakennetussa ympäristössä.)

4 RAKENNUKSEN HIILIJALANJÄLKI

4.1 Rakentamisen hiilijalanjälki

Rakennushankkeen hiilijalanjälki rakentamisvaiheessa muodostuu tuotannosta, kuljetuksista ja työmaatoiminnoista. Ne on jaoteltu rakennuksen eri elinkaaren vaiheisiin. Raaka-aineiden tuotannossa syntyy päästöjä rakennusmateriaalien valmistuksesta ja kuljetuksesta.

Rakennusvaiheen aikana itse rakennustyön koneiden käyttö ja energiankulutus aiheuttavat lisäpäästöjä. Käyttövaiheessa rakennuksen energiankulutus, lämmitys, jäähdytys ja valaistus ovat merkittäviä päästölähteitä, kun taas kunnossapidon ja korjausten aikana syntyy ylläpitopäästöjä.

Rakennuksen elinkaaren lopussa purkutyöt ja materiaalien hävitys tuottavat päästöjä, erityisesti jos kierrätysmahdollisuuksia ei hyödynnetä. Materiaali- ja rakennustuotevalinnoilla on suuri merkitys päästöjen vähentämisessä (kuva 3). Uusiutuvien ja kierrätettyjen materiaalien käyttö sekä vähäpäästöisten vaihtoehtojen, kuten puun, suosiminen sementin ja teräksen sijaan voi merkittävästi pienentää rakennuksen hiilijalanjälkeä. Puukerrostalon rakentamisvaiheen hiilijalanjälki on yleensä 30–50 % pienempi kuin vastaavan betonikerrostalon, mutta myös puurakennuksessa perustukset muodostavat huomattavan osan hiilijalanjäljestä.

Materiaali	Tiheys kg/m ³	Hiilijalanjälki g CO ₂ e/kg	Hiilijalanjälki g CO ₂ e kg/m ³	Hiilivarasto g CO ₂ e/kg
Betoni	2 400	140...210	336...504	-
Teräs	7 850	1 090	8 557	-
Puu	480	70	34	1600
CLT	440	330	145	1600
Tiili	1 300	220	286	-
Polyeteeni	940	2 410	2 265	-

KUVA 3. Esimerkkejä rakennusmateriaalien hiilijalanjäljistä (RT 103170 Ilmastonmuutos 2020. Hillintä ja sopeutuminen rakennetussa ympäristössä.)

Rakennuksen energiatehokkuus on keskeinen tekijä käyttöiän aikana. Hyvä lämmöneristys, ilmanvaihto ja uusiutuvan energian käyttö, kuten aurinkopaneelit, vähentävät hiilijalanjälkeä huomattavasti. Hiilikädenjälki kuvaa rakennuksen tai materiaalien positiivista ilmastovaikutusta, kuten hiiltä sitovien materiaalien käyttöä tai uusiutuvan energian tuotantoa rakennuksessa. Rakennuksen elinkaaren pidentäminen ja muunneltavuus ovat tärkeitä ympäristövaikutusten vähentämisessä. Kestävä ja joustava rakennus, joka on helposti muunneltavissa, voi pidentää käyttöikää ja vähentää purku- ja uudisrakentamisen tarvetta.

(RT 103170 Ilmastonmuutos 2020. Hillintä ja sopeutuminen rakennetussa ympäristössä, 13.)

4.2 Hiilijalanjäljen laskenta

Hiilijalanjälki on tuotteen, palvelun tai toiminnan koko elinkaarensa aikana aiheuttamaa ilmastokuormaa. Rakennuksen hiilijalanjälki kuvaa rakentamisesta aiheutuvien hiilidioksidipäästöjen

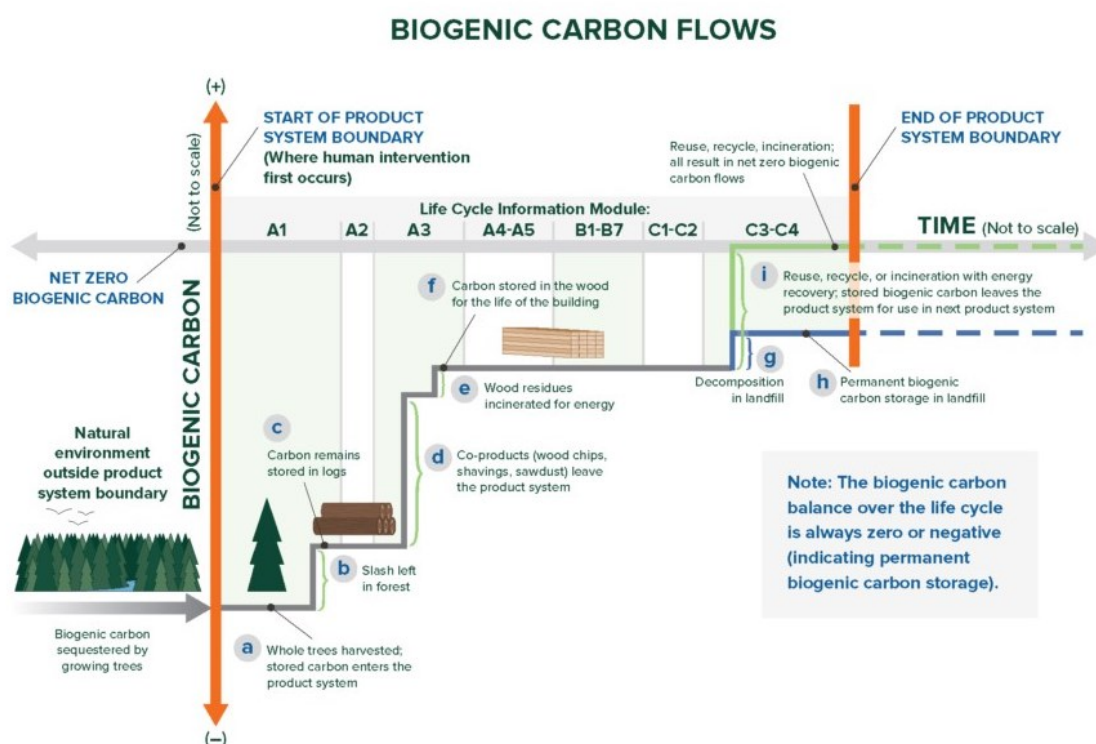
määrää. Laskennan tarkoituksena on selvittää rakennuksen koko elinkaaren aikana tuottamat päästöt suunnittelusta rakennuksen purkamiseen. Hiilijalanjäljen laskennassa käytetään erilaisia tietokantoja ja työkaluja, jotka tarjoavat tietoa rakennustuotteiden ympäristövaikutuksista. Suomessa on kehitetty kansallinen päästötietokanta, joka tukee arviointia. Hiilijalanjäljen laskeminen on myös osa tulevia lainsäädännöllisiä vaatimuksia, joiden tavoitteena on ohjata rakentamista kohti vähähiilisiä ratkaisuja EU:n ilmasto- ja energiatehokkuustavoitteiden mukaisesti. (RT 103170 Ilmastomuutos 2020. Hillintä ja sopeutuminen rakennetussa ympäristössä, 2; Ympäristöministeriö julkaisuaika tuntematon d.)

Rakennusten hiilijalanjälkeä voidaan Suomessa laskea useilla erilaisilla työkaluilla ja ohjelmistoilla, jotka tukevat kestävästä rakentamisesta tavoitteita ja auttavat täyttämään Suomen kansalliset ilmastotavoitteet. Nämä työkalut tarjoavat mahdollisuuden arvioida rakennusten ympäristövaikutuksia koko niiden elinkaaren ajan sekä auttavat suunnittelijoita tekemään ilmastoystävällisempiä päätöksiä. Yksi yleisimmistä työkaluista on One Click LCA:n kehittämä elinkaariarviointiin erikoistunut ohjelmisto. Se laskee rakennusten ja infrastruktuurin ympäristövaikutuksia ja auttaa optimoimaan suunnitteluratkaisuja hiilijalanjäljen vähentämiseksi. (One Click LCA 2024.) Suomessa kehitetty CO2data.fi tarjoaa rakennusalan toimijoille puolueetonta tietoa eri rakennusmateriaalien hiilijalanjäljistä ja auttaa tekemään kestävämpiä materiaalivalintoja. Se on maksuton palvelu ja sen ylläpidosta ja kehityksestä vastaa Suomen ympäristökeskus SYKE. Palvelu on ensimmäinen avoin päästötietokanta, joka perustuu yleisimpiin ja tyypillisimpiin rakennustuotteisiin. (CO2data-palvelu 2024).

Rakennustietosäätöön kehitetty ja ylläpitämä RT-ympäristötyökalu on väline rakennusten ympäristövaikutusten arvioinnissa. Se on suunniteltu erityisesti Suomen rakennusalan tarpeisiin ja vastaamaan paikallisia standardeja. RT-ympäristötyökalu on kehitetty helpottamaan tulevan Ilmastoselosteen kokoamista. Tiedot perustuvat EN 15804 standardissa esitettyihin hiilijalanjäljen GWP-indikaattoreihin. Tulokset esittävät tuotteen ympäristövaikutukset, käytetyt skenaariot ja lisätiedot elinkaaren eri vaiheista, kuten kuljetuksista, työmaalla syntyvästä hukasta, elinkaaren loppuvaiheesta sekä jätteen käsittelystä. (Rakennustieto 2024a). Edellä mainittujen työkalujen ja ohjelmistojen lisäksi Green Building Council Finland: in verkkosivusto tarjoaa hiilijalanjälkilaskureita ja oppaita, jotka tukevat kestävästä rakentamisesta ja ympäristövaikutusten laskemisesta (Green Building Council Finland 2023).

GWP-indikaattorit (Global Warming Potential, suom. "ilmastonlämmityspotentiaali") eli lämmityspotentiaali-indikaattorit ovat mittareita, joita käytetään arvioimaan eri kasvihuonekaasujen vaikutusta ilmaston lämpenemiseen suhteessa hiilidioksidiin (CO₂). Ne ovat olennainen osa hiilijalanjäljen laskentaa ja erityisesti rakennusalan ympäristöarviointia. GWP-arvo ilmaisee, kuinka paljon tietty kasvihuonekaasu lämmittää ilmastoa verrattuna hiilidioksidiin tietyllä aikavälillä. Tarkasteltava ajanjakso on yleensä 20, 100 tai 500 vuotta. Rakennusten hiilijalanjäljen laskennassa GWP-indikaattorit ovat tärkeitä, koska eri rakennusvaiheissa ja -materiaaleissa syntyy erilaisten kasvihuonekaasujen päästöjä. Hiilidioksidi ei pysty läpäisemään ilmakehää ja säteilee takaisin maanpinnalle aiheuttaen niin sanotun kasvihuoneilmaston (Ilmasto-opas julkaisuaika tuntematon). Laskelmissa kaikki nämä päästöt muutetaan hiilidioksidiekvivalenteiksi (CO₂e), jotta niitä voidaan

vertailla keskenään yhdenmukaisella tavalla. Eri kasvihuonekaasut, kuten metaani (CH_4) ja dityppioksidi (N_2O), vaikuttavat ilmaston lämpenemiseen eri voimakkuuksilla, mutta CO_2 -ekvivalentti ilmaisee näiden kaasujen vaikutuksen samalla mittarilla kuin hiilidioksidin. Yhdenmukaistaminen mahdollistaa erilaisten päästöjen yhteisvaikutuksen arvioinnin ja helpottaa päästöjen vertailemista ja hallintaa, koska kaikki päästöt ilmaistaan yhteismitallisesti CO_2 kautta. Hiilidioksidin lämmityspotentiaalikerroin on 1 CO_2e . Tämä antaa kokonaiskuvan rakennuksen tai hankkeen ilmastovaikutuksista. GWP-indikaattoreita käytetään hiilijalanjäljen laskennassa esimerkiksi standardien, kuten EN 15804, mukaisesti, ja ne auttavat rakennusalan toimijoita tekemään päätöksiä vähähiilisen rakentamisen edistämiseksi. (OpenCO₂.net 2024; SFS-EN 15804:2012 + A2:2019.)



KUVA 4. Hiilen sitoutumisen kiertokulku elinkaariarvioinnin vaiheissa (Woodworks 2024)

Mittayksikkönä laskennassa käytetään hiilidioksidiekvivalenttipainoa, jonka yksikkö on kgCO_2e . Rakennuksen hiilijalanjälkilaskenta perustuu muun muassa standardeihin EN 15978 (Hiilijalanjäljen laskenta 2012) ja EN 15804 (Kestävä rakentaminen 2019). Standardiin EN 15978 perustuvassa laskennassa käytetään neliöpohjaista laskentatapaa. Ne jakavat rakennuksen sekä rakennustuotteiden elinkaaren helpommin ymmärrettäviin vaiheisiin. Vaiheita ovat kuvassa 4 näkyvät tuotevaihe (A1-A3), rakentaminen (A4-A5), rakennuksen käyttö (B1-B5) sekä purkaminen, kuljetukset ja käsittely (C1-C4). (RT 103170 Ilmastonmuutos 2020. Hillintä ja sopeutuminen rakennetussa ympäristössä, 14.)

4.3 One Click LCA -sovellus

Tässä työssä tarkoituksena on laskea runkorakenteen hiilijalanjälki olemassa olevan ohjelman, One Click LCA:n avulla. Se on yksi johtavista rakennuslalle kehitetyistä laskentaohjelmistoista ja se on

suomalainen tuote. LCA-laskennan pohjana toimivat standardit EN 14040 (Elinkaariarviointi, periaatteet ja pääpiirteet 2020) ja EN 14044 (Elinkaariarviointi, vaatimukset ja suuntaviivoja 2020) sekä jo aiemmin mainittu EN 15978. One Click LCA on globaali ohjelmisto ja se noudattaa rakennusmääräyksiä maailmanlaajuisesti. Euroopan unionin alueella ohjelmisto noudattaa lisäksi kaupallisia sertifiointeja mukaan lukien LEED ja BREEAM. Ohjelmiston verkkosivujen mukaan taustalla on yli 80 erilaista sertifiointia. LCA lyhenne tulee sanoista Life Circle Assessment, joka tarkoittaa elinkaariarviointia. One Click LCA:n tietokannassa on yli 250 000 tuotetta. Tietokanta sisältää sekä valmistajakohtaisia että paikallisia keskimääräisiä päästötietoja lähes kaikista EPD-tietokantalähteistä. Lisäksi tietokannassa on tietoja, joita muut tietokannat eivät ole julkaisseet. EPD-prosessi on täysin automatisoitu. Tiedot on luokiteltu, jäsennelty ja esitetty dynaamisen algoritmin avulla varmistaen, että käyttäjälle näytetään juuri ne tiedot, jotka ovat tarpeellisia sijainnin ja sertifikaattien (esimerkiksi LEED, BREEAM tai Energie Carbone) perusteella. Ohjelmistoalusta vähentää hiilidioksidipäästöjä ja edistää kestävyyttä koko rakentamisen arvoketjussa tieteelliseen tietoon perustuvalla, helppokäyttöisellä ja automatisoidulla elinkaariarvioinnilla (LCA) sekä ympäristötuoteselosteilla (EPD), joiden avulla lasketaan ja vähennetään rakennus-, infrastruktuuri- ja korjaushankkeiden sekä tuotteiden ympäristövaikutuksia. Alusta mahdollistaa myös kiertotalouden, elinkaarikustannusten ja biodiversiteetin arvioinnin. (One Click LCA 2024.)

5 HYBRIDIRUNKOINEN KOULURAKENNUS

5.1 Laskennan kohde: hybridirunkoinen koulurakennus

Hiilijalanjäljen laskennan kohteena on Karstulaan vuonna 2021 valmistunut hybridirunkoinen koulurakennus. Rakennuksessa toimii päiväkotia, alakoulu, yläkoulu sekä lukio ja se on Karstulan ainoa peruskoulu (Karstulan kunta julkaisuaika tuntematon). Rakennuksen pinta-ala on 2264 m² ja sen bruttotilavuus on 22 087 m³. Tämän opinnäytetyön tilaajayritys on ollut rakennuttamassa ja valvomassa rakennuksen toteutusta. Rakennuksen kantava rakenne on teräsbetoninen pilari-palkkijärjestelmä ja kuori on CLT-rakenteinen.



KUVA 5. Karstulan Yhtenäiskoulu (Paloranta 2024)

Kantavaa rakennetta katsotaan olevan rakennuksen talo-osat. Niitä ovat kuvassa 6 kuvatut talo-osat kuten perustukset, alapohjat, runko, julkisivut, ulkotasot sekä vesikatot (Ympäristöministeriö 2019, 42). Tässä työssä tarkastellaan tulosten osalta vain rakennuksen rungon hiilijalanjälkeä esimerkin omaisesti. Muut rakennusosat on jätetty pois tarkastelusta, koska ovat rungosta riippumatta samoja. Tarvittavat tiedot laskennan suorittamiseen saadaan kohteen määräluettelosta. Laskennassa otetaan huomioon moduulit A1-A3 eli materiaalien tuotevaihe. Laskentaohjelma huomioi tulokseen automaattisesti moduulit A4 (kuljetus työmaalle) sekä C eli käytön jälkeiset päästövaikutukset. Tämä tarkoittaa käytännössä purkuvaihetta. Tulosten tulkinnassa huomioidaan vain vaiheiden A1-A3 päästöjen määrät.

Kantavat rakenteet	
Rakennusten perustukset ja vedenpoisto	1211 Anturat 1212 Perusmuurit, -pilarit ja -palkit
Alapohjat	1221 Alapohjalaatat 1222 Alapohjakanaalit
Runko	1231 Väestönsuojat 1232 Kantavat seinät 1233 Pilarit 1234 Palkit 1235 Valipohjat 1236 Runkoportaat
Julkisivut	1241 Ulkoseinät 1242 Ikkunat 1243 Ulko-ovet
Ulkotasot	1251 Parvekkeet 1252 Katokset 1253 Erityiset ulkotasot
Vesikatot	1261 Vesikattorakenteet 1262 Räystäärakenteet 1263 Vesikatteet 1265 Lasikattorakenteet 1266 Kattoikkunat ja -luukut

KUVA 6. Kantavat rakenteet Talo 2000-nimikkeistön litteroinnin mukaisesti. (Ympäristöministeriö 2019)

5.2 Laskenta

Laskenta aloitettiin luomalla projekti ja syöttämällä laskettavan kohteen perustiedot. Kohteesta syötettiin nimitiedot sekä bruttotilavuus. Lisäksi tietoihin syötettiin tieto maanpäällisten tilojen tilavuudesta. Laskennan rajaus suoritettiin kohteen laskentapohjaa luotaessa. Laskentapohjasta valittiin tarkastelussa haluttu analyysin laajuus ja tyyppi. Laskennan pohjana käytettiin oletusasetuksena Ympäristöministeriön tietokantaa. Hankkeen tyyppiä valittiin uudisrakennus ja oletusrunkotyyppiä olemassa oleva runko. Viimeisenä valittiin tarkastelun laajuus rakennusosittain valmiista osa-alueista. Niitä olivat perustukset ja pohjarakenteet, runko ja ulkovaippa, pintamateriaalit, ulkoalueet sekä talotekniikka. Tässä tarkastelussa laajuus rajautui perustuksien sekä rungon ja ulkovaipan osioille. Laskentaan tarvittavat materiaali- ja määrätiedot saadaan tyyppillisesti rakennuksen piirustuksista sekä hankkeen aikana tehdystä tietomallista. Tässä kohteessa tietomallit eivät sisältäneet tietoja määrälaskentaa varten vaan määrätiedot saatiin pääurakoitsijan määrälaskentaluettelosta sekä rakennepiirustuksista. Rakennuksen materiaalien tiedot ja määrät koostettiin laskentaa varten omaksi laskentaprosessia helpottavaksi taulukoksi. Laskennassa ei huomioitu kiinnikkeiden, ruuvien, tiivisteiden tai käytettyjen liimojen osuutta. Laskennassa käytettiin ohjelman automaattisesti luomia arvoja materiaalien hukkaprosenttien osalta.

Ensin laskettiin koko rakennuksen kantavien rakenteiden hiilijalanjälki, jotta saataisiin kokonaiskäsitys olemassa olevan rakennuksen kokonaishiilijalanjäljestä. Laskenta suoritettiin syöttämällä tiedot jokaisesta rakennusmateriaalista ja sen menekistä. Kaikki rakennusosat syötettiin ohjelmiston mukaisten valmiiden otsikoiden alle. Alussa tehtyjen tarkastelu- ja laajuusrajausten perustella sovellus loi pääotsikot. Niitä ovat perustukset ja pohjarakenteet, pystyrakenteet ja julkisivut sekä vaakarakenteet: pohjat, katot ja palkit. Perustuksiin ja pohjarakenteisiin syötettiin tiedot perustuksista, maanalaisista rakenteista sekä perusmuureista. Tässä laskennassa tarkasteltavia rakennusosia olivat anturat, perusmuuri, sokkeli-elementit sekä maanvarainen laatta. Seuraavaksi syötettiin tiedot pystyrakenteista ja julkisivusta. Tässä osiossa syötettiin tiedot

ulkoseinistä ja julkisivuista, pilareista ja kantavista pystysuorista rakenteista sekä väliseinistä ja muista ei-kantavista rakenteista. Ohjelmiston tietokannasta valittiin tuote, joka vastaa parhaiten käytettyä rakennustuotetta. Kun kaikki tiedot oli syötetty, laske ohjelma tuloksen annettujen tuote- ja määrätietojen perusteella (liite 1). Tulossivulta löytyi tiedot hiilijalanjäljestä sekä -kädenjäljestä osioittain. Lisäksi tulossivulla oli nähtävissä tiedot eniten ilmastonlämpenemiseen vaikuttavista materiaaleista sekä erilaisia yhteenvetokaavioita. Tämän tarkastelun kannalta oleellisimpia kaavioita olivat tiedot ilmaston lämpenemiseen vaikuttavista päästöistä rakennusosittain sekä lähtötietoluokittain.

Työn varsinainen tarkastelu suoritettiin hybridirakenteisen rungon osalta. Tässä arvioinnissa käytettiin apuna ensin laskettua kantavan rakenteen hiilijalanjäljen laskentapohjaa. Runkoa tarkasteltaessa laskennasta jätettiin pois perustukset ja pohjarakenteet sekä kattorakenteet (liite 2). Lisäksi väestönsuojan rakenteet jätettiin huomioimatta tarkastelussa, koska se on muuttumaton muun rungon materiaaleista riippumatta. Tässä tapauksessa väliseinät olivat mukana tarkastelussa, koska ne ovat rakennuksen kantavia rakenteita tukevia rakenneosia. Väliseinät eivät ole Talo 2000 -nimikkeistön mukaan kantavia rakenteita vaan tilanjako-osia. Lisäksi väliseinien materiaalivalinnat vaikuttavat koko rakennuksen hiilijalanjälkeen.

5.3 Tulokset ja yhteenveto

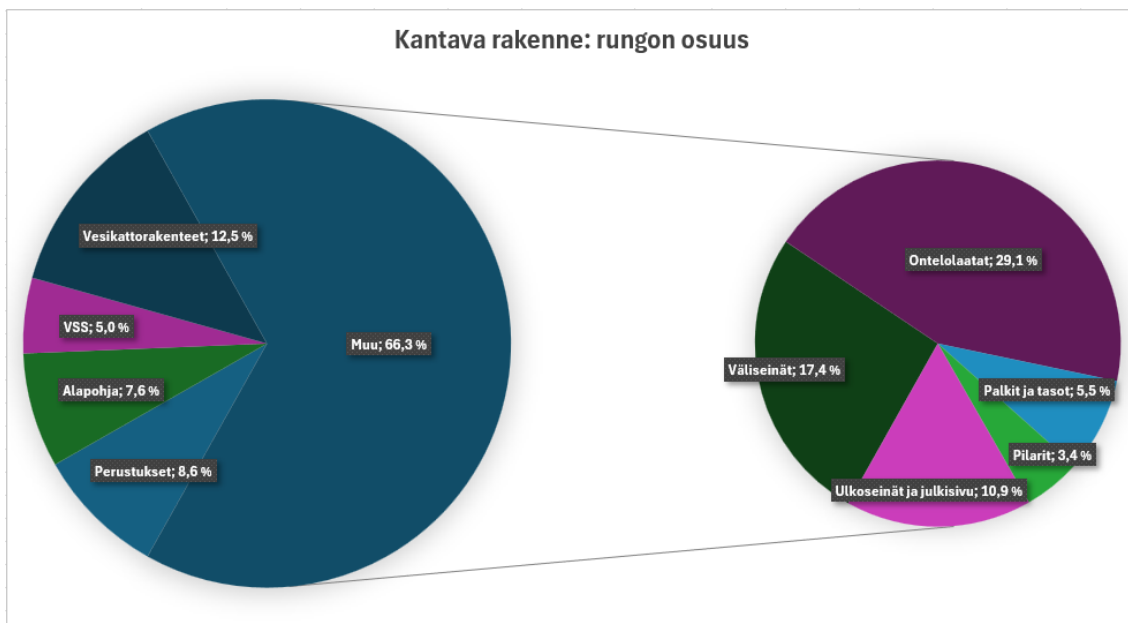
Laskennan tuloksena saatiin kantavan rakenteen (liite 3) sekä rungon (liite 4) laskennalliset arviot toteutuneista hiilijalanjäljistä. Tulokseksi saatiin rakennuksen arvo hiilidioksidipäästöistä rakennusmateriaalien koko elinkaarelle. Tämä sisältää tiedot päästövaikutuksista ennen käyttöä (moduulit A1-A5) sekä käytön jälkeen (moduuli C). Purkuvaiheen tuloksissa on otettu huomioon materiaalien laskennallinen osuus purkutyömaan toiminnoista, jätteenkuljetuksesta, jätteen tuotannosta sekä purkujätteen käsittelystä. Tämän työn tulosten tarkastelussa huomioidaan vain tuotevaiheen päästöjen osuus. Kantavan rakenteen kokonaispäästöt tuotevaiheelle on 958 674,41 kg CO₂e ja laskennallinen hiilijalanjälki on 8,47 kg CO₂e/m²/a (hiilidioksidiekvivalenttikiloa suhteessa rakennuksen lämmitettyyn nettopinta-alaan ja arviointiajanjakson pituuteen). Tämä sisältää päästövaikutuksen ennen käyttöä. Hybridirungon tulos tuotevaiheen päästöille on 705 141,79 kg CO₂e ja hiilijalanjälki on 6,23 kg CO₂e/m²/a. Käytetty arviointiajanjakso on 50 vuotta Ympäristöministeriön Rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmän mukaisesti.

Tulosten suuruusluokan vertailuun voidaan käyttää esimerkiksi Siponkosken saamia tuloksia rakennuksen tuotevaiheen päästöistä. Hän laske 1970-luvun sandwich-rakenteisen rakennuksen moduulien A1-A3 hiilijalanjäljeksi 3,75 kg CO₂e/m²/a (Siponkoski, 78.) Kinnunen vertaili opinnäytetyössään vuonna 2023 usean rakennuksen tuotevaiheen hiilijalanjälkeä (Kinnunen 2023, 55). Hän sai tulokseksi, että rakennusten moduulien A1-A3 tulokset ovat välillä 5,68–12,08 kg CO₂e/m²/a (kuva 7). Luvut eivät ole suoraan vertailukelpoisia keskenään, koska tämän työn laskennassa ei ole huomioitu koko rakennuksen tuotetietoja. Vertailu on kuitenkin suuntaa antava. Vähähiilisuuden raja-arvoihin tuloksia ei voi vielä verrata, koska esitys säädöksen raja-arvoista on vielä kesken.

Case building	Case status	Calculation method & tool	Calculating author	CF result of product phase A1-A3	Initial data source
Case H	Commissioned building 2022	YM2021, One Click LCA	Sweco	5.68 kgCO ₂ e/m ² /a	By Sweco (BIM, plans)
		YM2021, Esti Model	Scenario as part of Thesis	7.4 kgCO ₂ e/m ² /a*	Mass list based on space information
Case J	Under construction	YM2021, GBP tool, 50y	Green Building Partners	6.95 kgCO ₂ e/m ² /a	By Green Building Partners & NCC Suomi Oy mass listing
		YM2021, Esti Model	Scenario as part of Thesis	9.22 kgCO ₂ e/m ² /a*	Mass list based on space information
Case K	Under construction	YM2021, GBP tool, 50y	Green Building Partners	7.87 kgCO ₂ e/m ² /a	By Green Building Partners & NCC Suomi Oy mass listing
		YM2021, Esti Model	Scenario as part of Thesis	12.08 kgCO ₂ e/m ² /a*	Mass list based on space information
Case M/L	Development stage scenario	YM2021, One Click LCA	Sweco	8.61 kgCO ₂ e/m ² /a	By Sweco (BIM, plans)
		YM2021, Esti Model	NCC internal cost estimation scenario	10.2 kgCO ₂ e/m ² /a*	Mass list based on space information
Case E	Draft of planning stage scenario	YM2019, One Click LCA	Sweco	5.95 kgCO ₂ e/m ² /a	N/A
		YM2021, One Click LCA		Estimation 6.48 kgCO ₂ e/m ² /a**	
		YM2021, Esti Model	NCC internal cost estimation scenario	6.8 kgCO ₂ e/m ² /a*	N/A

KUVA 7. Rakennusten hiilijalanjälkien tuloksia (Kinnunen 2023)

Tulosten vertailun perusteella hybridirungon osuus koko rakennuksen kantavista rakenteista on noin 66,3 % kaikista päästöistä tuotevaiheessa (kuva 8). Koko rakennuksen kantavien rakenteiden tarkastelussa suurimmat päästöarvot tulevat väli- ja yläpohjien ontelolaatoista sekä betoniseinäelementeistä. Seuraaviksi suurimmat päästöjen lähteet ovat väliseinien kahitiilet sekä maanvarainen betonilaatta. Suurin päästövaikutus ennen rakennuksen käyttöä on rakennuksen vaakarakenteilla. Alapohjan, välipohjien, yläpohjien sekä katon rakenteet kattavat noin 52 % koko rakennuksen laskennallisesta GWP-arvosta. Tämä tarkoittaa melkein 400 000 kg CO₂e. Ilmaston lämpenemisen vaikutus näillä rakennusosilla on jopa 59 % koko rakennuksen yhteisarvosta. Vastaavasti ulkoseinien puuosat sitovat hiilidioksidia. Se tarkoittaa, että kyseiset rakennusosat pienentävät ilmastonlämpenemiseen vaikuttavia päästöjä laskennallisesti noin 18 % verran kokonaispäästömäärästä (liite 5).



KUVA 8. Rungon osuus kantavasta rakenteesta (Linja 2024)

Tulosten perusteella voidaan päätellä, että rakennuksen hiilijalanjäljen laskennassa kantavilla rakenteilla, kuten välipohjilla, yläpohjilla, pilareilla ja perustoilla, on merkittävä vaikutus kokonaispäästöihin. Erityisesti rungon osuudella on vaikutus kokonaishiilijalanjälkeen. Betonin käyttö runkorakenteissa ja välipohjissa aiheuttaa huomattavia hiilidioksidipäästöjä. Puupohjaisten materiaalien käyttö vähentäisi rakennuksen hiilijalanjälkeä, mikä korostaa entisestään materiaalivalintojen merkitystä ympäristöystävällisessä rakentamisessa. Kevyemmät ja uusiutuvat materiaalit, kuten puu ja kivillaeristeet, voivat vähentää rakennuksen kokonaispäästöjä merkittävästi. Materiaalivalintojen lisäksi on otettava huomioon, että rakennusmateriaalien kuljetusmatkat vaikuttavat merkittävästi kokonaispäästöihin, mikä tuo esille logistiikan tärkeyden ympäristövaikutusten hallinnassa. Kuljetusmatkat ja materiaalien käyttöikä ovat keskeisiä tekijöitä hiilijalanjäljen laskennassa. Laskentaprosessi on toteutettu tarkasti erittelemällä eri rakennusosat ja materiaalit, mikä antaa realistisen kuvan rakennuksen ympäristövaikutuksista.

6 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli arvioida uuden rakentamislain vaikutuksia vähähiiliseen rakentamiseen ja selvittää hybridirunkoisen koulurakennuksen hiilijalanjälki. Työssä käytettiin One Click LCA -ohjelmistoa rakennuksen kantavien rakenteiden sekä rungon osuuden hiilijalanjäljen laskentaan. Tulokseksi saatiin kaksi hiilijalanjälkilaskentatulosta. Tulosten perusteella betonirakenteiden osuus rakennuksen kokonaispäästöistä oli merkittävä, erityisesti perustusten ja runkorakenteiden osalta, kun taas puurakenteet vähensivät laskennallisesti rakennuksen hiilijalanjälkeä. Tulokset osoittavat, että vähähiilisempään rakentamiseen voidaan vaikuttaa merkittävästi materiaalien valinnoilla ja niiden optimoinnilla suunnitteluvaiheessa. Hybridirakenteisessa runkoratkaisussa suurin osa rakennuksen kantavan rakenteen hiilidioksidipäästöistä syntyy runkorakenteessa käytetystä teräsbetonista, vaikka julkisivu ja ulkoverhoilu ovat puuta. Tuloksista voidaan siis päätellä, että betonin käyttö kasvattaa rakennuksen hiilijalanjälkeä, kun taas puun käyttö pienentää sitä. Hybridirakenteiset rakennukset tarjoavat mahdollisuuden vähentää hiilidioksidipäästöjä puumateriaalien käytön avulla, mutta betonin käyttöä ei voida täysin välttää kantavissa rakenteissa. Vähähiilisten rakennusmateriaalien rooli tulee olemaan jatkossa entistä tärkeämpi.

Hiilijalanjäljen laskennan tulos ei ole absoluuttinen, vaan suuntaa antava. Laskenta on osa rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen arviointia. Arviointi sanana kertoo menetelmästä ja tulosten tulkinnasta. Ilman tarkkoja materiaalitietoja ja -määriä laskennan tulokseen vaikuttaa arviointia suorittavan henkilön tuotevalinnat. Hiilijalanjälkilaskennan tarkoitus on ohjata suunnitteluvaiheessa vähähiilisempiin ratkaisuihin materiaalivalintoja tehdessä. Jälkilaskentaa tehdessä todellisten käytettyjen materiaalien valmistajat ja määrät tulisi olla tiedossa luotettavan tuloksen saamiseksi. Laskentatyökaluna käytetty One Click LCA -ohjelmisto tarjosi kuitenkin luotettavat tulokset, vaikka joidenkin materiaalien tuotevalinta vaikutti laskennan totuudenmukaisuuteen.

Tutkimuksen eettisyys ja luotettavuus huomioitiin työssä varmistamalla, että kaikki käytetyt laskentamallit perustuivat ajankohtaisiin standardeihin ja luotettaviin lähteisiin. Ohjelmiston tietokanta ja käytetyt laskentamallit täyttivät kansalliset ja kansainväliset vaatimukset, mikä lisää tulosten luotettavuutta. Laskennassa vältettiin manipuloimasta tai tulkitsemasta laskelmia tarkoitushakuisesti, ja työssä pidettiin objektiivisuutta ensisijaisena tavoitteena. Tuloksia voidaan peilata aiempiin tutkimuksiin ja selvityksiin, jossa puurakenteiden on todettu pienentävän hiilijalanjälkeä verrattuna betoniin. Tämä työ tukee aiempia havaintoja ja antaa tietoa erityisesti hybridirakenteiden käytöstä rakennuksien rungoissa. Aiemmat selvitykset osoittavat samanlaisia suuntaviivoja materiaalien valinnan tärkeydestä vähähiilisessä rakentamisessa ja tämä työ vahvistaa näitä löydöksiä käytännön esimerkin kautta.

Omaa työskentelyä arvioiden laskentaprosessi sujui hyvin. Haasteita laskentaan toi materiaalitietojen läpikäynti ja suodattaminen. Lisätietojen ja tarkennusten selvittäminen sekä yhteistyö urakoitsijan kanssa todellisten materiaalitietojen käyttämisestä voisi parantaa lopputuloksen tarkkuutta. Tämän työn tavoite oli tarkastella vain rakennuksen rungon hiilijalanjälkeä isommassa mittakaavassa, joten tarkennuksille ei ollut tarvetta. Tulosten tulkinta oli mielestäni haastavaa. Erilaisten raporttien määrä oli kattava ja monipuolinen. Tulosraporteista oli vaikea löytää juuri se tieto, johon tulosten

tulkinnassa halusi painottaa. Uskoisin, että tämä johtui kokemattomuudesta ohjelman käytön suhteen.

Opinnäytetyö tarjosi hyvän tilaisuuden ammatilliseen kasvuun ja antoi tärkeää tietoa tulevasta lakimuutoksesta sekä vähähiilisen rakentamisen vaatimusten taustoista. Laskentaohjelman käytön oppiminen ja sen soveltaminen todellisessa rakennusprojektissa olivat arvokkaita taitoja, jotka vahvistivat omaa osaamistani erityisesti vähähiilisen rakentamisen arvioinnissa ja ennakkosuunnittelun tarpeellisuudessa. Rakentamislainsäädännön muutosten ymmärtäminen auttaa jatkossa soveltamaan teoreettista tietoa käytännön projekteihin ja jakamaan tietoa omassa organisaatiossa sekä yhteistyötahoille. Yksi työn tavoitteista oli lisätä tilaajaorganisaation ympäristöosaamista vähähiilisen rakentamisen saralla. Tämä mielestäni toteutui.

Tulevaisuudessa hiilijalanjäljen laskennan kattavuuteen ja tarkkuuteen on pakko kiinnittää enemmän huomiota tulevien lakimuutosten kautta. Jatkona tälle työlle voisi tutkia hybridirakenteiden vaikutusta rakennuksen koko käyttöiän päästöihin ja tehdä vertailevaa tutkimusta eri rakennusmateriaalien käytöstä elinkaariarvioinnista. Lisäksi jatkotutkimusta voitaisiin tehdä siitä, miten erilaiset rakennustekniset ratkaisut, kuten energiatehokkuuden parantaminen, vaikuttavat kokonaisvaltaisesti hiilijalanjälkeen sekä kustannuksiin. Toimenpide-ehdotuksena olisi lisätä rakennuttajaorganisaatioiden tietoisuutta materiaalivalintojen merkityksestä rakennushankkeissa jo varhaisessa suunnitteluvaiheessa, jotta kestävyttä edistäviä ratkaisuja voidaan tehdä systemaattisesti.

LÄHTEET

Työssä on käytetty seuraavasti tekoälyä:

ChatGPT 2024. OpenAI. ChatGPT 4o. Käytetty kielentarkistukseen, lokakuu 2024.

<https://chatgpt.com/>

Brado 2024. Rakentamisen Koutsi. Verkkojulkaisu. <https://www.brado.fi/>. Viitattu 11.4.2024.

CO2data-palvelu 2024. Rakentamisen päästötietokanta. Verkkojulkaisu. CO2data-palvelu. Päivitetty 30.5.2024. <https://co2data.fi/rakentaminen/>. Viitattu 17.08.2024.

Eurooppa-neuvosto 2024a. 55-valmiuspaketti. Verkkojulkaisu. Päivitetty 12.4.2024. <https://www.consilium.europa.eu/fi/policies/green-deal/fit-for-55/>. Viitattu 20.5.2024.

Eurooppa-neuvosto 2024b. 55-valmiuspaketti: neuvostolta keskeistä lainsäädäntöä vuoden 2030 ilmastotavoitteiden tueksi. Lehdistötiedote. Päivitetty 14.1.2024. <https://www.consilium.europa.eu/fi/press/press-releases/2023/04/25/fit-for-55-council-adopts-key-pieces-of-legislation-delivering-on-2030-climate-targets/>. Viitattu 25.10.2024.

Eurooppa-neuvosto 2024c. 55-valmiuspaketti: tehdään rakennuksista ympäristöystävällisempiä. Verkkojulkaisu. Päivitetty 12.4.2024. <https://www.consilium.europa.eu/fi/infographics/fit-for-55-making-buildings-in-the-eu-greener/>. Viitattu 20.5.2024.

Green Building Council Finland 2023. Ympäristöluokitukset. Verkkojulkaisu. <https://figbc.fi/ymparistoluokitukset>. Viitattu 17.9.2024.

HE 101/2024 vp. Hallituksen esitys eduskunnalle laiksi rakentamislain muuttamisesta ja eräksi siihen liittyviksi laeiksi. https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/HallituksenEsitys/Documents/HE_101+2024.pdf. Viitattu 28.10.2024.

HE 139/2022 vp. Hallituksen esitys eduskunnalle rakentamislainsäädäntöä ja siihen liittyviksi laeiksi. https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/HallituksenEsitys/Documents/HE_139+2022.pdf. Viitattu 17.4.2024.

Ilmasto-opas julkaisuaika tuntematon. Kasvihuoneilmio ja ilmakehän koostumus. Verkkojulkaisu. <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/kasvihuoneilmio-ja-ilmakehan-koostumus>. Viitattu 28.10.2024.

Karstulan kunta julkaisuaika tuntematon. Verkkojulkaisu. <https://karstula.fi/kasvatus-ja-koulutus/perusopetus/>. Viitattu 25.4.2024.

Kestävien ja innovatiivisten julkisten hankintojen verkostomainen osaamiskeskus. Vähähiilisten hankintojen pelikirja 2021. Pdf-tiedosto. Julkaistu 7.12.2021. <https://www.hankintakeino.fi/sites/default/files/media/file/KEINO-pelikirja-08122021.pdf>. Viitattu 20.5.2024.

Kinnunen, Elina 2023. Buildings' carbon footprint calculations from company's perspective. Opinnäytetyö. Master's Programme in Circular Economy Lappeenranta-Lahti University of Technology LUT. <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/166120/Master's%20Thesis%20Elina%20Kinnunen.pdf?sequence=3>. Viitattu 28.10.2024.

Linja, Hanni 2024. Rungon osuus kantavasta rakenteesta. Valokuva 14.10.2024. Jyväskylä: Hanni Linjan kokoelmat.

Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999. <https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132#L5P38>. Viitattu 7.4.2024

One Click LCA 2024. Verkkojulkaisu. <https://oneclicklca.com/>. Viitattu 23.9.2024.

OpenCO2.net 2024. Verkkojulkaisu. <https://www.openco2.net/fi/co2-tietoa>. Viitattu 23.9.2024.

Paloranta, Arttu 2024. Karstulan yhtenäiskoulu. Valokuva. <https://peda.net/karstula/laaksolan-koulu>. Viitattu 25.4.2024.

Rakennuslehti 2021. Sementin ja teräksen ilmastopäästöt tulevat jo valmistusprosessista. Artikkel. Julkaistu 22.4.2021. <https://www.rakennuslehti.fi/2021/04/sementin-ja-teraksen-ilmastopaastot-tulevat-jo-valmistusprosessista-teras-puhdistuu-pian-vetypelkistyksella/>

Rakennusteollisuus RT 2024. EU-taksonomian uudet kiertotaloutta edistävät vaatimukset. Pdf-tiedosto. Julkaistu 17.4.2024. https://tiedostot.rakennustieto.fi/170424/Vuorinen%20Pekka_Rakennustuoteteollisuus%20RTT_EU%20taksonomian%20uudet%20kiertotaloutta%20edista%CC%88va%CC%88t%20vaatimukset_17-04-2024.pdf. Viitattu 10.10.2024.

Rakennustieto 2024a. Rakennustiedon ympäristöluokitus. Verkkojulkaisu. <https://ymparisto.rakennustieto.fi/rakennustiedon-ymparistoluokitus>. Viitattu 18.9.2024.

Rakennustieto 2024b. Rakennustieto seuraa rakentamislain uudistusta. Verkkojulkaisu. <https://www.rakennustieto.fi/rakentamislaki>. Viitattu 18.10.2024.

Rakennustieto 2023. Uusi rakentamislaki tulee voimaan 2025. Verkkojulkaisu. Julkaistu 3.3.2023. <https://uutiset.rakennustieto.fi/kortistot/rt-kortisto/uusi-rakentamislaki-tulee-voimaan-2025/>. Viitattu 25.5.2024.

RT 103170 Ilmastonmuutos 2020. Hillintä ja sopeutuminen rakennetussa ympäristössä. Helsinki: Rakennustieto Oy, Rakennustietosäätiö RTS. <https://rt.rakennustieto.fi/etusivu>. Viitattu 22.5.2024.

RT 103607 Rakentamislaki. Suomen säädöskokoelma 751/2023. Helsinki: Rakennustieto Oy, Rakennustietosäätiö RTS. <https://rt.rakennustieto.fi/etusivu>. Viitattu 22.4.2024.

SFS-EN 15804:2012 + A2:2019. Kestävä rakentaminen. Rakennustuotteiden ympäristöselosteet. Laadinnan yleissäännöt. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Viitattu 25.9.2024.

Siponkoski, Teppo 2023. Opetusrakennuksen peruskorjauksen hiilijalanjäljen tarkastelu. Opiinätetyö, ylempi AMK. Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma YAMK. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2023052212644>. Viitattu 28.10.2024

Valtioneuvosto 2023. Rakennustuoteasetuksesta alustava sopu. Tiedote. Julkaistu 14.12.2023. <https://valtioneuvosto.fi/-/1410903/rakennustuoteasetuksesta-alustava-sopu>. Viitattu 18.4.2024.

Ympäristöministeriö 2024a. Lausuntoyhteenveto luonnoksesta rakentamislain muuttamisesta VN/34558/2023. Pdf-tiedosto. Julkaistu 19.4.2024. https://api.hankeikkuna.fi/asiakirjat/fc6d3341-ddd1-4860-872c-2c70e23a3d24/81a57a82-109f-40fc-abae-2c8e81f9f364/YHTEENVETO_20240422084407.PDF. Viitattu 15.5.2024.

Ympäristöministeriö 2024b. Valtioneuvoston asetus uuden rakennuksen hiilijalanjäljen raja-arvoista. Säädösvalmistelu. <https://ym.fi/hankesivu?tunnus=YM056:00/2024>. Viitattu 18.5.2024.

Ympäristöministeriö 2024c. Ympäristöministeriö sai lähes 280 lausuntoa rakentamislakiin esitetyistä muutoksista – keskeiset linjaukset lain muuttamisesta tehty. Tiedote. Julkaistu 22.4.2024.

<https://ym.fi/-/ymparistoministerio-sai-lahes-280-lausuntoa-rakentamislakiin-esitetyista-muutoksista-keskeiset-linjaukset-lain-muuttamisesta-tyty>. Viitattu 20.5.2024.

Ympäristöministeriö 2023a. Alueidenkäyttölaki. Säädosvalmistelu. <https://ym.fi/hankesivu?tunnus=YM057:00/2023>. Viitattu 18.5.2024.

Ympäristöministeriö 2023b. Hallituksen esitys eduskunnalle laiksi rakentamislain muuttamisesta ja eräksi siihen liittyviksi laeiksi. Säädosvalmistelu. <https://ym.fi/hankesivu?tunnus=YM078:00/2023>. Viitattu 25.9.2024.

Ympäristöministeriö 2023c. Lausuntoyhteenveto: ympäristöministeriön asetus rakennuksen ilmastaselvityksestä. Julkaistu 3.2.2023. https://api.hankeikkuna.fi/asiakirjat/034d0bd9-2c32-4131-9dd1-796facde0f86/0d1840f4-2341-4007-a08a-f5da0fe36fc7/YHTEENVETO_20230203120052.pdf. Viitattu 20.5.2024

Ympäristöministeriö 2023d. Vähähiiliseen rakentamiseen on monta reittiä. Artikkelit. <https://ym.fi/-/vahahiiliseen-rakentamiseen-on-monta-reittia>. Viitattu 20.5.2024.

Ympäristöministeriö 2021. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ilmastaselvityksestä. Säädosvalmistelu. <https://ym.fi/hankesivu?tunnus=YM027:00/2021>. Viitattu 20.5.2024.

Ympäristöministeriö 2019. Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä. Ympäristöministeriön julkaisu 2019:22. Verkkojulkaisu. Julkaistu 30.8.2019. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-029-3>. Viitattu 10.4.2024.

Ympäristöministeriö julkaisuaika tuntematon a. Maankäyttö- ja rakennuslaki. Verkkojulkaisu. <https://ym.fi/maankaytto-ja-rakennuslaki>. Viitattu 15.4.2024.

Ympäristöministeriö julkaisuaika tuntematon b. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin uudistus. Verkkojulkaisu. <https://ym.fi/rakennusten-energiatehokkuusdirektiivin-uudistus>. Viitattu 20.5.2024.

Ympäristöministeriö julkaisuaika tuntematon c. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Verkkojulkaisu. <https://ym.fi/rakentamismaaraykset>. Viitattu 18.5.2024.

Ympäristöministeriö julkaisuaika tuntematon d. Vähähiilisen rakentamisen tiekartta. Verkkojulkaisu. <https://ym.fi/vahahiilisen-rakentamisen-tiekartta>. Viitattu 16.4.2024.

Ympäristöministeriö julkaisuaika tuntematon e. Vähähiilisen rakennetun ympäristön ohjelma (KIRA-ilmasto). Verkkojulkaisu. <https://ym.fi/kirailmasto>. Viitattu 18.5.2024.

Ympäristöministeriö julkaisuaika tuntematon f. Vähähiilinen rakentaminen. Verkkojulkaisu. <https://ym.fi/vahahiilinen-rakentaminen>. Viitattu 15.10.2024.

Woodworks 2024. Hiilen sitoutumisen kiertokulku elinkaariarvioinnin vaiheissa. Valokuva. <https://www.woodworks.org/resources/how-to-include-biogenic-carbon-in-an-lca/>. Viitattu 15.9.2024.

LIITE 1: ONE CLICK LCA, KANTAVAN RAKENTEEN RAKENNUSMATERIAALIT

1. Perustukset ja pohjarakenteet 🌱 269 Tonnia CO₂e - 21 %

Perustusmateriaaleja ei lasketa koskaan korvattaviksi, riippumatta arviointijakson pituudesta.

Perustukset, maanalaiset rakenteet ja perusmuuri ⇄ Näytä muut vastaukset - 📁 Luo ryhmä ➕ Siirrä materiaalit

Aloita kirjoittamaan tai klikki

Resurssi	Maara	CO ₂ e	Kommentti	Rakennusosa
Betoni C30/37 ?	231.0 m ³	66t - 5%	Anturat	1211 Perustukset: Anturat
Teräs, harjateräs (betoniraidoit) ?	9445.0 kg	4.4t - 0.3%	Anturat	1211 Perustukset: Anturat
Teräs, harjateräs (betoniraidoit) ?	4751.0 kg	2.2t - 0.2%	Perusmuuri	1210 Perustukset
Betoni C30/37 ?	41 m ³	12t - 0.9%	Perusmuuri	1210 Perustukset
EPS-eriste, L = 0.031 W/mK, R = 1 K ?	263 m ² x 70 mm	1.1t - 0.1%	Perusmuuri	1210 Perustukset
Sandwich-sokkeli-elementti, U-value ?	272 m ²	28t - 2%	Sokkeli-elementti	1212 Perustukset:
EPS-eriste, L = 0.031 W/mK, R = 1 K ?	170 m ² x 70 mm	0.7t - 0.1%	Sokkeli	1212 Perustukset:
EPS-eriste, L = 0.031 W/mK, R = 1 K ?	30.0 m ² x 150 mm	0.27t - 0.0%	VSS-sokkeli	1212 Perustukset:
Kumibitumikermi perustuksiin (EWA) ?	275 m ² x 4.3 mm	1.2t - 0.1%	Sokkelin vedeneristys	1212 Perustukset:
Teräs, harjateräs (betoniraidoit) ?	19272.0 kg	8.9t - 0.7%	VSS	1231 Runko: Vaestönsuojat
Teräsprofiili ja -verkko, kevytrake ?	340.0 kg	0.98t - 0.1%	VSS sirpaleverkko	1231 Runko: Vaestönsuojat
Betoni C30/37 ?	160 m ³	46t - 4%	VSS	1231 Runko: Vaestönsuojat
EPS-eriste, L = 0.031 W/mK, R = 1 K ?	144 m ² x 200 mm	1.7t - 0.1%	VSS	1231 Runko: Vaestönsuojat
Vahtolasimurske, 10-60 mm grain ?	31 m ³	1.6t - 0.1%	VSS	1231 Runko: Vaestönsuojat
Teräs, harjateräs (betoniraidoit) ?	14309 kg	6.6t - 0.5%	Maanvarainen laatta	1220 Alapohjat
Normaalisti kovettuva rakennebetoni ?	204 m ³	65t - 5%	Maanvarainen laatta	1220 Alapohjat
EPS-eriste, L = 0.031 W/mK, R = 1 K ?	2005 m ² x 200 mm	24t - 2%	Maanvarainen laatta	1220 Alapohjat

2. Pystyrakenteet ja julkisivu 🌱 404 Tonnia CO₂e - 32 %Ulkoseinät ja julkisivu ⇄ Näytä muut vastaukset - 📁 Luo ryhmä ➕ Siirrä materiaalit

Aloita kirjoittamaan tai klikki

Resurssi	Maara	CO ₂ e	Kommentti	Rakennusosa
Ulkoseinä, hirsirakenne, P2 ?	1032 m ²	35t - 3%	Julkisivu	1241 Julkisivut: Ulkoseinät
Betonielementtiseinä (eristämätön) ?	848 m ² x 200 mm	68t - 5%	Sisäkuorielementit	1241 Julkisivut: Ulkoseinät
Sahatavara, 474 kg/m ³ ?	9660 kg	1.3t - 0.1%	Puurunko 50 x 200 mm, 48 x 148	1241 Julkisivut: Ulkoseinät
Höyrynsuku, PE, 0.2 mm, 0.40 kg/m, ?	882 m ² x 0.2 mm	0.57t - 0.0%	Ilman- ja höyrynsulkumuovi	1241 Julkisivut: Ulkoseinät
Stone wool insulation, L=0.036 W/mK ?	882 m ² x 200 mm	4.3t - 0.3%	Ulkoseinä	1241 Julkisivut: Ulkoseinät
Stone wool insulation, 33 mm, 110.0 ?	899 m ² x 33 mm	4.3t - 0.3%	Ulkoseinät	1241 Julkisivut: Ulkoseinät
Kumibitumikermi vedeneriste (EWA) ?	450 m ² x 4.4 mm	2t - 0.2%	Puurunkon irroitus betoniseinästä	1241 Julkisivut: Ulkoseinät
Vaneri, koivuvaneri, pinnoittamaton ?	14 m ² x 15 mm	86kg - 0.0%	Ulkoseinät	1241 Julkisivut: Ulkoseinät
Gypsum plasterboard, hardened, 12.5 ?	28.0 m ²	81kg - 0.0%	Kipsilevy (palosuojaus)	1241 Julkisivut: Ulkoseinät
Steel faced fire proof sandwich pan ?	56 m ²	2.4t - 0.2%	Ulkoseinä Paroc AST T 240 mm	1241 Julkisivut: Ulkoseinät
Ulko-ovi ?	90 m ²	7.7t - 0.6%	Ulko-ovet	1243 Julkisivut: Ulko-ovet
Kaksoislasitettu ikkuna, sis ?	52 m ²	3.9t - 0.3%	Alumiinirunkoinen ikkuna	1241 Julkisivut: Ulkoseinät
Kolminkertaiset ikkunat, puu ?	120 m ²	7.7t - 0.6%	Puuikkunat	1241 Julkisivut: Ulkoseinät
Teräs, harjateräs (betoniraidoit) ?	765 kg	0.35t - 0.0%	Ulkotasot ja parvekkeet	1250 Ulkotasot
Normaalisti kovettuva rakennebetoni ?	13 m ³	4.1t - 0.3%	Ulkotasot ja parvekkeet	1250 Ulkotasot
XPS insulation panel with cement mo ?	73 m ²	0.54t - 0.0%	Ulkotasot ja parvekkeet	1250 Ulkotasot

Pilarit ja kantavat pystysuorat rakenteet [Näytä muut vastaukset](#) [Luo ryhmä](#) [Siirrä materiaalit](#)

Aloita kirjoittamaan tai klikki

Resurssi	Määrä	CO ₂ e	Kommentti	Rakennusosa	Ki
Kakki-hiekkatiilet ja harkot, o ?	192 m ² x 85 mm	4,3t - 0,3%	Muurattu homiseinä	1232 Runko: Kantavat seinät	
Betonivalmisosat, pilari, 380 x 380 ?	156 ton	39t - 3%	Runko	1233 Runko: Pilarit	

Väliseinät ja ei-kantavat rakenteet [Näytä muut vastaukset](#) [Luo ryhmä](#) [Siirrä materiaalit](#)

Aloita kirjoittamaan tai klikki

Resurssi	Määrä	CO ₂ e	Kommentti	Rakennusosa
Betonielementiseinä (eristämätön), ?	650 m ² x 200 mm	5,2t - 4%	Väliseinäelementit	1311 Väliseinät Väliseinät
Stone wool insulation, 33 mm, 110.0 ?	483 m ² x 33 mm	2,3t - 0,2%	Väliseinät	1311 Väliseinät Väliseinät
Stone wool insulation, L=0.036 W/mK ?	508 m ² x 36 mm	0,44t - ~0%	Väliseinät	1311 Väliseinät Väliseinät
Vaneri, koivuvaneri, pinnoittamaton ?	533 m ² x 15 mm	3,3t - 0,3%	Väliseinät	1311 Väliseinät Väliseinät
Sand-lime masonry blocks, 1850 kg/m ?	400 m ³	12,1t - 10%	Väliseinät 130 mm	1311 Väliseinät Väliseinät
Sand-lime masonry blocks, 1850 kg/m ?	18 m ³	5,5t - 0,4%	Väliseinät 85 mm	1311 Väliseinät Väliseinät
Kakki-hiekkatiilet ja harkot, o ?	50,3 m ² x 130 mm	1,7t - 0,1%	Aukonylityspalkit	1311 Väliseinät Väliseinät
Gypsum plasterboard, hardened, 12.5 ?	1324 m ²	3,8t - 0,3%	Väliseinät	1311 Väliseinät Väliseinät
Sahatavara, 474 kg/m ³ ?	4260 kg	0,59t - ~0%	Väliseinät	1311 Väliseinät Väliseinät
Steel faced fire proof sandwich pan ?	255 m ²	11t - 0,9%	Väliseinät	1311 Väliseinät Väliseinät
Steel faced, fire proof, sandwic ?	94 m ²	2,6t - 0,2%	Väliseinät	1311 Väliseinät Väliseinät
Teräs, harjateräs (betoniraidot) ?	3254,0 kg	1,5t - 0,1%	Väliseinät	1311 Väliseinät Väliseinät
Teräsrunkokoolaus 66 mm, k400 (sis. ?	154 m ²	0,32t - ~0%	Väliseinäranka	1311 Väliseinät Väliseinät
Metallinen palo-ovi, 99 cm x 210 cm ?	9 unit	1,9t - 0,2%	Palo-ovet	1316 Väliseinät Erityisovet
Concrete stair element, reinforced, ?	36 ton	8,4t - 0,7%	Rudus Elemento 9 porrselementit	1317 Väliseinät Tilaportaat

3. Vaakarakenteet: pohjat, katot ja palkit 583 Tonnia CO₂e - 46 %Alapohjat, välipohjat ja yläpohjat, palkit ja katto [Näytä muut vastaukset](#) [Luo ryhmä](#) [Siirrä materiaalit](#)

Aloita kirjoittamaan tai klikki

Resurssi	Määrä	CO ₂ e	Kommentti	Rakennusosa
Ontelolaatta, 320 mm laatta, ?	920 m ²	95t - 8%	Välipohja 1 krs	1235 Runko: Välipohjat
Ontelolaatta, 320 mm laatta, ?	1012 m ²	105t - 8%	Yläpohja 1. krs	1236 Runko: Yläpohjat
Ontelolaatta, 400 mm, 446 kg/m ² ?	750 m ²	65t - 5%	Välipohja 1.krs	1235 Runko: Välipohjat
Ontelolaatta, 400 mm, 446 kg/m ² ?	1000 m ²	87t - 7%	Yläpohja 2. krs	1236 Runko: Yläpohjat
Massiivilaattaelementti, 280 mm, 67 ?	46,22 ton	8,6t - 0,7%	Massiivilaattaelementit	1235 Runko: Välipohjat
Parvekelaattaelementti, 280 mm, 660 ?	31,1 ton	6,1t - 0,5%	Ulkotasoelementit	1250 Ulkotasot
Teräspunos esijännitettuihin rakent ?	4924 kg	6,3t - 0,5%	Ontelolaatan rengasteräs	1235 Runko: Välipohjat
Ontelolaattakannake, 7850 kg/m ³ , li ?	480 kg	0,52t - ~0%	Petra-ontelolaattakannakkeet 16 kpl	1235 Runko: Välipohjat
Deltapalkki, galvanisoitu, 7850 kg/?	26,45 ton	43t - 3%	Delta-palkit	1234 Runko: Palkit
Betoni C30/37 ?	53 m ³	15t - 1%	Delta-palkkien betonointi	1234 Runko: Palkit
LVL, vilupuu, pilari- ja palkkirak ?	109,48 m ³	26t - 2%	NR-ristikot k900	1236 Runko: Yläpohjat
LVL, vilupuu, pilari- ja palkkirak ?	2052,75 m ² x 23 mm	11t - 0,9%	Koolaus k200 (NR-ristikkoon) +	1236 Runko: Yläpohjat
Höyrynsulku, PE, 0,2 mm, 0,40 kg/m. ?	2737 m ² x 0,2 mm	1,8t - 0,1%	Ilman- ja höyrynsulkumuovi	1236 Runko: Yläpohjat
Kiivillaeriste, puhallusvilla, kes ?	681 m ³	37t - 3%	Puhallusvilla	1236 Runko: Yläpohjat
Stone wool insulation, L=0.036 W/mK ?	2672 m ² x 100 mm	6,5t - 0,5%	Kiivilla	1236 Runko: Yläpohjat
Stone wool insulation, L=0.036 W/mK ?	68 m ² x 125 mm	0,21t - ~0%	YP3 Kiivilla	1236 Runko: Yläpohjat
Kipsi-kartonkilevy, erikoiskova, 87 ?	1428 m ² x 15 mm	6,3t - 0,5%	Palosuojaus	1236 Runko: Yläpohjat
Vaneri, koivuvaneri, pinnoittamaton ?	2737 m ² x 19 mm	21t - 2%	Aluskatelevy RAK mukaan	1236 Runko: Yläpohjat
Sinkitty ja maalattu teräspelti ?	2737 m ² x 0,6 mm	41t - 3%	Vesikate	1260 Vesikatot

4. Muut rakenteet ja materiaalit - laskentarakuksen ulkopuolella - [Lisää laskentarakukseen](#)5. Alue- ja piharakentaminen - laskentarakuksen ulkopuolella - [Lisää laskentarakukseen](#)6. Rakennuksen talotekniikka - laskentarakuksen ulkopuolella - [Lisää laskentarakukseen](#)

LIITE 2: ONE CLICK LCA, HYBRIDIRUNKON RAKENNUSMATERIAALIT

1. Perustukset ja pohjarakenteet - laskentarajauksen ulkopuolella - [Lisää laskentarajaukseen](#)2. Pystyrakenteet ja julkisivu 404 Tonnia CO₂e - 48 %

Ulkoseinät ja julkisivu Näytä muut vastaukset Luo ryhmä Siirrä materiaalit

Aloita kirjoittamaan tai klikki

Resurssi	Määrä	CO ₂ e	Kommentti	Rakennusosa
Ulkoseinä, hirsirakenne, P2	1032 m ²	35t - 4%	Julkisivu	1241 Julkisivut: Ulkoseinät
Betonielementiseinä (eristämätön)	848 m ² x 200 mm	68t - 8%	Sisäkuorielementit	1241 Julkisivut: Ulkoseinät
Sahatavara, 474 kg/m ³	9660 kg	1.3t - 0.2%	Puurunko 50 x 200 mm, 48 x 148	1241 Julkisivut: Ulkoseinät
Höyrynsulku, PE, 0.2 mm, 0.40 kg/m	882 m ² x 0.2 mm	0.57t - 0.1%	Ilman- ja höyrynsulkumuovi	1241 Julkisivut: Ulkoseinät
Stone wool insulation, L=0.036 W/mK	882 m ² x 200 mm	4.3t - 0.5%	Ulkoseinä	1241 Julkisivut: Ulkoseinät
Stone wool insulation, 33 mm, 110.0	899 m ² x 33 mm	4.3t - 0.5%	Ulkoseinät	1241 Julkisivut: Ulkoseinät
Kumibitumikermi vedeneriste (EWA)	450 m ² x 4.4 mm	2t - 0.2%	Puurunkon irroitus betoniseinästä	1241 Julkisivut: Ulkoseinät
Vaneri, koljuvaneri, pinnoittamaton	14 m ² x 15 mm	86kg - ~0%	Ulkoseinät	1241 Julkisivut: Ulkoseinät
Gypsum plasterboard, hardened, 12.5	28.0 m ²	81kg - ~0%	Kipsilevy (palosuojaus)	1241 Julkisivut: Ulkoseinät
Steel faced fire proof sandwich pan	56 m ²	2.4t - 0.3%	Ulkoseinä Paroc AST T 240 mm	1241 Julkisivut: Ulkoseinät
Ulko-ovi	90 m ²	7.7t - 0.9%	Ulko-ovet	1243 Julkisivut: Ulko-ovet
Kaksoislasitettu ikkuna, sis	52 m ²	3.9t - 0.5%	Alumiinirunkoinen ikkuna	1241 Julkisivut: Ulkoseinät
Kolminkertaiset ikkunat, puu	120 m ²	7.7t - 0.9%	Puukkunat	1241 Julkisivut: Ulkoseinät
Teras, harjateräs (betoniraidoit)	765 kg	0.35t - ~0%	Ulkotasot ja parvekkeet	1250 Ulkotasot
Normaalisti kovettuva rakennebetoni	13 m ³	4.1t - 0.5%	Ulkotasot ja parvekkeet	1250 Ulkotasot
XPS insulation panel with cement mo	73 m ²	0.54t - 0.1%	Ulkotasot ja parvekkeet	1250 Ulkotasot

Pilarit ja kantavat pystysuorat rakenteet Näytä muut vastaukset Luo ryhmä Siirrä materiaalit

Aloita kirjoittamaan tai klikki

Resurssi	Määrä	CO ₂ e	Kommentti	Rakennusosa
Kalkki-hiekkatillit ja harkot, o	192 m ² x 85 mm	4.3t - 0.5%	Muurattu hormiseinä	1232 Runko: Kantavat seinät
Betonivalmisosat, pilari, 380 x 380	156 ton	39t - 5%	Runko	1233 Runko: Pilarit

Väliseinät ja ei-kantavat rakenteet [Näytä muut vastaukset](#) [Luo ryhmä](#) [Siirrä materiaalit](#)

Aloita kirjoittamaan tai klikk

Resurssi	Määrä	CO ₂ e	Kommentti	Rakennusosa
Betonielementtiseinä (eristämätön) ?	650 m2 x 200 mm	52t - 6%	Väliseinäelementit	1311 Väliseinät: Välisei
Stone wool insulation, 33 mm, 110.0 ?	483 m2 x 33 mm	2,3t - 0,3%	Väliseinät	1311 Väliseinät: Välisei
Stone wool insulation, L=0.036 W/mK ?	508 m2 x 36 mm	0,44t - 0,1%	Väliseinät	1311 Väliseinät: Välisei
Vanerit, koivuvaneri, pinnoittamaton ?	533 m2 x 15 mm	3,3t - 0,4%	Väliseinät	1311 Väliseinät: Välisei
Sand-lime masonry blocks, 1850 kg/m ?	400 m3	121t - 15%	Väliseinät 130 mm	1311 Väliseinät: Välisei
Sand-lime masonry blocks, 1850 kg/m ?	18 m3	5,5t - 0,7%	Väliseinät 85 mm	1311 Väliseinät: Välisei
Kalkki-hiekkatiilet ja harkot, o ?	50,3 m2 x 130 mm	1,7t - 0,2%	Aukonylityspalkit	1311 Väliseinät: Välisei
Gypsum plasterboard, hardened, 12.5 ?	1324 m2	3,8t - 0,5%	Väliseinät	1311 Väliseinät: Välisei
Sahatavara, 474 kg/m3 ?	4260 kg	0,59t - 0,1%	Väliseinät	1311 Väliseinät: Välisei
Steel faced fire proof sandwich pan ?	255 m2	11t - 1%	Väliseinät	1311 Väliseinät: Välisei
Steel faced, fire proof, sandwic ?	94 m2	2,6t - 0,3%	Väliseinät	1311 Väliseinät: Välisei
Teräs, harjateräs (betoniraudot) ?	3254.0 kg	1,5t - 0,2%	Väliseinät	1311 Väliseinät: Välisei
Teräsrankakoolaus 66 mm, k400 (sis.) ?	154 m2	0,32t - ~0%	Väliseinaranka	1311 Väliseinät: Välisei
Metallinen palo-ovi, 99 cm x 210 cm ?	9 unit	1,9t - 0,2%	Palo-ovet	1316 Väliseinät: Erityisi
Concrete stair element, reinforced. ?	36 ton	8,4t - 1%	Rudus Elemento 9 porraselementit	1317 Väliseinät: Tilapoi

3. Vaakarakenteet: pohjat, katot ja palkit 433 Tonnia CO₂e - 52 %

Alapohjat, välipohjat ja yläpohjat, palkit ja katto [Näytä muut vastaukset](#) [Luo ryhmä](#) [Siirrä materiaalit](#)

Aloita kirjoittamaan tai klikk

Resurssi	Määrä	CO ₂ e	Kommentti	Rakennusosa
Ontelolaatta, 320 mm laatta ?	920 m ²	95t - 11%	Välipohja 1. krs	1235 Runko: Välipohjat
Ontelolaatta, 320 mm laatta ?	1012 m ²	105t - 13%	Yläpohja 1. krs	1236 Runko: Yläpohjat
Ontelolaatta, 400 mm, 446 kg/m2 ?	750 m2	65t - 8%	Välipohja 1. krs	1235 Runko: Välipohjat
Ontelolaatta, 400 mm, 446 kg/m2 ?	1000 m2	87t - 10%	Yläpohja 2. krs	1236 Runko: Yläpohjat
Massiivilaattaelementit, 280 mm, 67 ?	46,22 ton	8,6t - 1%	Massiivilaattaelementit	1235 Runko: Välipohjat
Parveke-laattaelementit, 280 mm, 660 ?	31,1 ton	6,1t - 0,7%	Ulko-osaelementit	1250 Ulkotasot
Teräspunos esijännitettyihin rakent ?	4924 kg	6,3t - 0,8%	Ontelolaatan rengasteräs	1235 Runko: Välipohjat
Ontelolaattakannake, 7850 kg/m3, li ?	480 kg	0,52t - 0,1%	Petra-ontelolaattakannakkeet 16 kpl	1235 Runko: Välipohjat
Deltapalkki, galvanisoitu, 7850 kg/ ?	26,45 ton	43t - 5%	Delta-palkit	1234 Runko: Palkit
Betoni C30/37 ?	53 m3	15t - 2%	Delta-palkkien betonointi	1234 Runko: Palkit

4. Muut rakenteet ja materiaalit - laskentarakouksen ulkopuolella - [Lisää laskentarakoukseen](#)

5. Alue- ja piharakentaminen - laskentarakouksen ulkopuolella - [Lisää laskentarakoukseen](#)

6. Rakennuksen talotekniikka - laskentarakouksen ulkopuolella - [Lisää laskentarakoukseen](#)

LIITE 3: ONE CLICK LCA, KANTAVAN RAKENTEEN TULOSRAPORTTI

Rakennuksen vähähillisuuden arviointimenetelmä 2021

Osio	Osa-alue	GWP (pl. eloperäinen hiili) kg CO2e/m2/a	Ilmaston lämpeneminen, rakennus kg CO2e/m2/a	GWP, r-p (pl. eloperäinen hiili) kg CO2e/m2/a	Ilmaston lämpeneminen, rakennuspaikka kg CO2e/m2/a
A1-A5	Päästövaikutukset ennen käyttöä (moduulit A1-5)	1 053 613,45	613 293,02	102 552,18	102 552,18
A1-A3	Valmistus	958 674,41	518 353,97	91 573,49	91 573,49
A4	Kuljetus rakennuspaikalle	53 218,49	53 218,49	8 182,45	8 182,45
A5	Rakennustuotteiden työmaahävikki	41 720,56	41 720,56	2 796,24	2 796,24
A5-YM	Uudisrakennustyömaan toiminnot				
B4	Rakennusosien vaihto	0	0	0	0
B4-replacement	Rakennusosien vaihto	0	0	0	0
B4-EPD	B4-EPD				
B6	Energiankulutus				
C	Päästövaikutukset käytön jälkeen (moduuli C)	88 668,52	528 988,95	12 781,21	12 781,21
C1	Purkutyömaan toiminnot				
C2	Jätteenkuljetus	53 125,85	53 125,85	8 181,06	8 181,06
C3	Jätteen tuotanto	32 555,57	472 876,01	4 483,75	4 483,75
C4	Purkujätteen käsittely	2 987,09	2 987,09	116,4	116,4
A-C	Hiilijalanjälki (elinkaaren moduulien A-C summa)	1 142 281,97	1 142 281,97	115 333,4	115 333,4

LIITE 4: ONE CLICK LCA, HYBRIDIRUNKON TULOSRAPORTTI

Rakennuksen vähähiilisyiden arviointimenetelmä 2021

Osio	Osa-alue	GWP (pl. eloperäinen hiili) kg CO ₂ e/m ² /a	Ilmaston lämpeneminen, rakennus kg CO ₂ e/m ² /a	GWP, r-p (pl. eloperäinen hiili) kg CO ₂ e/m ² /a	Ilmaston lämpeneminen, rakennuspaikka kg CO ₂ e/m ² /a
A1-A5	Päästövaikutukset ennen käyttöä (moduulit A1-5)	769 160,55	512 573,83		
A1-A3	Valmistus	705 141,79	448 555,07		
A4	Kuljetus rakennuspaikalle	41 640,08	41 640,08		
A5	Rakennustuotteiden työmaahävikki	22 378,68	22 378,68		
A5-YM	Uudisrakennustyömaan toiminnot				
B4	Rakennusosien vaihto	0	0		
B4-replacement	Rakennusosien vaihto	0	0		
B4-EPD	B4-EPD				
B6	Energiankulutus				
C	Päästövaikutukset käytön jälkeen (moduuli C)	67 427	324 013,72		
C1	Purkutyömaan toiminnot				
C2	Jätteenkuljetus	41 632,97	41 632,97		
C3	Jätteen tuotanto	24 959,75	281 546,47		
C4	Purkujätteen käsittely	834,28	834,28		
A-C	Hiilijalanjälki (elinkaaren moduulien A-C summa)	836 587,55	836 587,55		

LIITE 5: ONE CLICK LCA, KANTAVAN RAKENTEEN PÄÄSTÖVAIKUTUKSET ENNEN KÄYTTÖÄ

Karstulan yhtenäiskoulu: Kantava rakenne

Rakennuksen vähähiilisyysarviointimenetelmä 2021: Päästövaikutukset ennen käyttöä (moduulit A1-5)

Rakenne	Resurssi	Käyttäjän syöte	GWP (pl. eloperäinen hiili) kg CO ₂ e/m ² /a	Ilmaston lämpeneminen, rakennus kg CO ₂ e/m ² /a	GWP, r-p (pl. eloperäinen hiili) kg CO ₂ e/m ² /a	Ilmaston lämpeneminen, rakennuspaikka kg CO ₂ e/m ² /a	Kommentit
Rakennusmateriaalit > Perustukset ja pohjarakenteet > Perustukset, maanalaiset rakenteet ja perusmuuri							
		Osion osuus	13,2 %	22,7 %	100 %	100 %	
Rakennusmateriaalit > Pystyrakenteet ja julkisivu > Ulkoseinät ja julkisivu							
		Osion osuus	12,39 %	-17,93 %			
Rakennusmateriaalit > Pystyrakenteet ja julkisivu > Pilarit ja kantavat pystysuorat rakenteet							
		Osion osuus	3,87 %	6,65 %			
Rakennusmateriaalit > Pystyrakenteet ja julkisivu > Väliseinät ja ei-kantavat rakenteet							
		Osion osuus	18,75 %	29,66 %			
Rakennusmateriaalit > Vaakarakenteet: pohjat, katot ja palkit > Alapohjat, välipohjat ja yläpohjat, palkit ja katto							
		Osion osuus	51,79 %	59,03 %			