

Vastaanottaja  
**UUMA3**

Asiakirjatyyppi  
**Selvitysraportti**

Päivämäärä  
**7.12.2020**

# UUSIOMAARAKENTAMISEN PÄÄSTÖLASKENTA



Projekti	<b>UUMA3-hanke</b>
Asiakirjatyyppi	<b>Selvitysraportti</b>
Versio	<b>1.0</b>
Päivämäärä	<b>7.12.2020</b>
Laatija	<b>Tuuli Teittinen, Taavi Dettenborn, Saira Pahka- kangas</b>
Tarkastaja	<b>Marjo Koivulahti</b>
Hyväksyjä	
Kannen kuva	Tytti Nguyen

## SISÄLTÖ

<b>ESIPUHE</b>	<b>5</b>
<b>1. Johdanto: infrarakentaminen ja ilmastonmuutos</b>	<b>6</b>
<b>2. Infrarakentamisen ilmastovaikutusten arviointi</b>	<b>8</b>
2.1 Menetelmät	8
2.2 Standardit ja ohjeet	9
2.3 Infrarakenteen elinkaari	10
2.4 Muut ympäristövaikutusindikaattorit	11
2.5 Päästökertoimet	12
2.6 Hiilinielujen muutos	14
<b>3. Uusiomateriaalit päästölaskennassa</b>	<b>15</b>
3.1 Uusiomateriaalien allokointi päästölaskennassa	15
3.2 Uusiomaarakentamisen vertailu perinteiseen rakentamiseen	17
3.3 Esimerkkilaskelmia	17
3.3.1 Esimerkki materiaalien päästöjen laskennasta	17
3.3.2 Esimerkki kuljetusten päästöjen laskennasta	18
3.3.3 Esimerkki työsuoritusten päästöjen laskennasta	19
<b>4. Johtopäätökset ja kehitystarpeet</b>	<b>20</b>
<b>Lähteet</b>	<b>21</b>

## TERMEJÄ

Allokointi, kohdentaminen	Prosessin tai tuotejärjestelmän syöte- ja tuotosvirtojen jakaminen tutkittavan tuotejärjestelmän ja yhden tai useamman muun tuotejärjestelmän välillä.
Elinkaariarviointi	Elinkaariarviointi (LCA, life cycle assessment) on menetelmä tuotteen tai palvelun elinkaaren aikaisten ympäristövaikutusten arviointiin.
Hiilidioksidi- ekvivalentti (CO <sub>2</sub> ekv.)	Kasvihuonekaasupäästöjen yhteismitta, jonka avulla voidaan laskea yhteen eri kasvihuonekaasujen päästöjen vaikutus kasvihuoneilmiön voimistumiseen. Eri kasvihuonekaasujen ilmastoa lämmitävä vaikutus muutetaan lämmityspotentialikertoimen avulla hiilidioksidin vastaavaksi vaikutukseksi ilmakehässä.
Hiilijalanjälki	Hiilijalanjälki kuvaa tuotteen tai palvelun ilmastovaikutusta muunnettuna hiilidioksidiekvivalenteiksi. Rakennus- ja infrahankkeiden osalta hiilijalanjäljellä tarkoitetaan yleensä elinkaaren hiilijalanjälkeä.
Hiilikädenjälki	Hiilikädenjälki kuvaa tuotteesta tai palvelusta syntyviä ilmastohyötyjä, joita ei syntyisi ilman kyseistä tuotetta tai palvelua. Yksikkö hiilidioksidiekvivalentti.
Hiilinielu	Toiminto tai prosessi, joka poistaa ilmakehästä hiilidioksidia. Hiilinielu voi olla joko luonnollinen (kuten kasvava metsä), kemiallinen (kuten sementin karbonisoituminen) tai keinotekoinen (kehitettävät teknologiat) (GBC, 2020).
Infrarakentaminen	Infrarakentaminen on infrastruktuurin rakentamista. Infrarakentamiseen kuuluvat yhteiskunnan toimimisen kannalta välttämättömät tekniset rakenteet kuten liikenneverkot (kadut, tiet, radat, tunnelit ja sillat), tietoliikenneverkot, energia-, jäte ja vesihuollon verkostot, satamat, lentokentät ja ulkoilu- ja virkistysalueet.
Kasvihuonekaasu	Yhdiste, joka ilmakehässä ollessaan absorboi lämpöä ja palauttaa siitä osan takaisin maapallolle. Kasvihuonekaasuja ovat mm. hiilidioksidi (CO <sub>2</sub> ), metaani (CH <sub>4</sub> ) ja CFC-yhdisteet.
Päästö	Päästöillä tarkoitetaan yleisesti ihmisen ympäristöön päästämiä yhdisteitä, joilla on haitallisia vaikutuksia esimerkiksi ilmastoon, ilmaan, vesistöihin tai ihmisen terveyteen.
Päästölaskenta	Päästöjen (erityisesti kasvihuonekaasupäästöjen) arvioimisesta käytettävä termi. Myös elinkaariarviointi ja hiilijalanjälki ovat päästölaskentaa. Päästölaskennassa huomioon otettavien päästöjen laajuus voi vaihdella tapauskohtaisesti ja päästölaskenta voi kattaa esimerkiksi vain tietyn osan tarkasteltavan kohteen elinkaaresta tai keskittyä tiettyjen materiaalien päästöjen vertailuun.
Tuotejärjestelmä	Elinkaariarvioinnissa tarkasteltavaa tuotetta tarkastellaan omana tuotejärjestelmänään. Tuotejärjestelmä kuvaa tuotteen elinkaarta ja koostuu yksikköprosesseista, joilla on syötteitä ja tuotoksia.
Uusiomateriaali	Uusiomateriaaleilla tarkoitetaan monenlaisia sekundäärisiä materiaaleja, jotka soveltuvat sellaisenaan tai jalostettuina käytettäväksi maa- rakentamisessa. Uusiomateriaalit voivat olla sivutuotteita (esim. kuonat), jätteitä (esim. betonimurske), kierrätystuotteita (esim.

vaahtolasimurske) tai ylijäämämaita. Termiä uusiomateriaali ei sellaisenaan tunneta lainsäädännössä tai standardeissa.

Uusiomaarakentaminen	Uusiomaarakentamisella tarkoitetaan uusiomateriaalien hyötykäyttöä maarakentamisessa. Uusiomateriaaleilla voidaan korvata luonnon ki- viaineita maarakentamisessa.
Ympäristökestävyys	Ympäristökestävyys (myös ekologinen kestävyys) on yksi kestävä kehityksen osa-alue. Ympäristökestävyys maarakentamisessa on osa laajempaa kestävä rakentamisen käsitettä, joka ottaa huomioon myös rakentamisen taloudelliset ja sosiaaliset näkökohdat. Ympäristökestävyydellä tarkoitetaan sitä, että pyritään minimoimaan hankkeesta aiheutuvat haitalliset ympäristövaikutukset ja turvaamaan luonnonvarojen kestävä käyttö, luonnon monimuotoisuuden säilyminen sekä ekosysteemien toimivuus.
Ympäristövaikutus	Jonkin tekijän tai joidenkin tekijöiden aiheuttama muutos ympäristössä.

## ESIPUHE

Ilmastovaikutusten arviointi on yleistyvää käytäntö infra-alalla. Infrarakentamisen kasvihuonekaasupäästöjen arvioimiseen ei kuitenkaan toistaiseksi ole olemassa yleistä menetelmäohjeistusta. Uusiomaarakentamisella tavoitellaan resurssisäästöjen lisäksi myös päästövähennyksiä, mutta uusiomateriaalien huomioimisesta päästölaskennassa ei ole ollut yhteisiä pelisääntöjä.

Rakennusten hiilijalanjäljen arviointi ja siihen liittyvä ohjeistus on toistaiseksi pidemmälle kehittyntä kuin infrapuolella. Ympäristöministeriö on laatinut *Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä* -ohjeen rakennusten CO<sub>2</sub>-päästöjen laskentaan. Vastaavanlainen opas tullaan laatimaan myös infrarakentamisen elinkaaren kasvihuonekaasupäästöjen arviointiin.

Uusiomaarakentamisen UUMA3-hankkeessa on pidetty työpajoja uusiomaarakentamisen päästölaskennan kehittämistä. Syyskuussa 2019 pidetyssä työpajassa, jonka aiheena oli elinkaari- ja päästölaskennan kehittäminen, nousi esiin tarve ohjeistukselle, joka sisältäisi esimerkiksi suosituksia ja lisätietoa uusiomaarakentamisen päästölaskennan toteuttamisesta. Kesäkuussa 2020 järjestetyissä Väyläviraston ja UUMA3:n yhteisissä webinaareissa yhtenä ryhmätyöskentelyaiheena oli päästölaskenta. Näissä työpajoissa keskusteltiin muun muassa siitä, millaisia haasteita uusiomaarakentamisen päästölaskentaan liittyy ja millaisista asioista kaivataan lisätietoa. Työpajojen antia on hyödynnetty tämän selvitysraportin laadinnassa.

Tässä selvitysraportissa esitellään infrarakentamisen ilmastovaikutusten arvioinnin periaatteita ja siihen liittyviä ohjeita ja standardeja. Lisäksi käsitellään uusiomaarakentamisen erityispiirteitä ja esitetään suositus siitä, miten uusiomateriaalit tulisi ottaa huomioon päästölaskennassa.

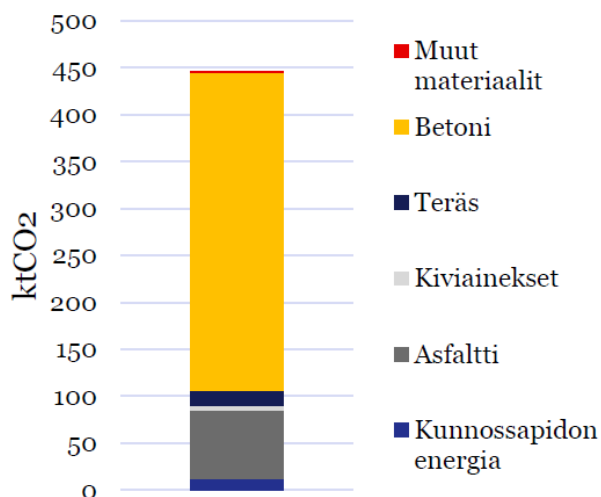
Tässä raportissa keskitytään uusiomaarakentamisen ilmastovaikutusten arviointiin. Uusiomaarakentamisen ympäristökestävyyden arvioimiseen liittyy kuitenkin muitakin indikaattoreita. Uusiomaarakentamisen ympäristö-, talous- ja materiaalikäytön vaikutusten arviointia ja vertailua perinteiseen rakentamiseen käsitellään työ- ja elinkeinoministeriön hankkeessa *UUMA-uusiomaarakentamishankkeiden vaikutukset ja indikaattorit*, joka valmistuu vuonna 2021.

Raportin laadintaan ovat osallistuneet Tuuli Teittinen, Taavi Dettenborn, Saira Pahkakangas ja Marjo Koivulahti Ramboll Finland Oy:stä.

# 1. Johdanto: infrarakentaminen ja ilmastonmuutos

Rakennetulla ympäristöllä on merkittävä rooli ilmastonmuutoksen hillinnässä. Rakennetun ympäristön hiilijalanjälki muodostaa noin kolmanneksen Suomen kasvihuonekaasupäästöistä (RT, 2020). Merkittävä osa rakennetun ympäristön hiilijalanjäljestä muodostuu rakennusten käytön aikaisesta energiankulutuksesta. Infrarakentamisen osalta rakennusmateriaalit puolestaan muodostavat infrahankkeiden hiilijalanjäljestä suurimman osan. Useat infrahankkeiden keskeiset rakennusmateriaalit ovat päästöintensiivisiä joko niiden valmistuksen (esim. sementti, teräs, betoni, asfaltti) tai suurten kuljetusmäärien johdosta (maa- ja kiviainekset).

Rakennusteollisuus on tehnyt osana Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035 -tiekarttatyötä selvityksen rakennetun ympäristön hiilielinkaaren nykytilasta Suomessa (RT, 2020). Selvityksessä rakennetun ympäristön hiilijalanjäljellä tarkoitetaan hiilidioksidipäästöjä, jotka syntyvät yhden vuoden aikana olemassa olevan rakennetun ympäristön energiankäytöstä sekä rakentamisen toiminnoista Suomessa. Selvityksen mukaan infran elinkaaren hiilijalanjälki on noin 1 402 kt CO<sub>2</sub> ekv. vuodessa. Laskennassa on infran osalta huomioitu liikenneverkot (maantiet, kadut, rataverkko), jakeluverkot, siirtoverkko, kaukolämpöverkot sekä vesi ja viemäriverkot. Väylien rakentamisen materiaalien ja kunnossapidon vuosittainen hiilijalanjälki on noin 446 kt CO<sub>2</sub> (Kuva 1). Suurimmat päästöt aiheutuvat materiaalikäytöstä (434 kt CO<sub>2</sub>): betonista (338 kt CO<sub>2</sub>), asfaltista (73 kt CO<sub>2</sub>) ja teräksestä (17 kt CO<sub>2</sub>). Kunnossapidon energiankulutuksen päästö on noin 12 kt CO<sub>2</sub>/vuosi. Laskennassa on käytetty Väylän päästötietokannan (Rapol Oy, 2019) päästökertoimia. Selvityksessä todetaan, että laskennassa on epävarmuuksia ja puutteita erityisesti infran osalta johtuen saatavilla olevan tiedon laadusta ja puutteista.



**Kuva 1. Tien- ja radanpidon vuosittainen materiaalien ja kunnossapidon hiilijalanjälki (RT, 2020).**

Green Building Council Finlandin kestävä infra -toimikunta laati vuonna 2019 ns. kestäväns infran määritelmän, jonka tavoitteena on esittää, mitä kestäväns kehityksen näkökulmat liittyvät infran elinkaaren eri vaiheisiin. Määritelmässä on nostettu esiin 9 kestävyyspäätekriteeriä, jotka ovat:

1. Ilmastonmuutoksen hillintä ja siihen sopeutuminen
2. Resurssiviisaus ja kiertotalouden edistäminen
3. Luonnon monimuotoisuuden turvaaminen ja ympäristöhaittojen vähentäminen
4. Käyttäjien tarpeiden huomioon ottaminen
5. Ympäristön laatutekijöiden toteutuminen
6. Ihmisiin kohdistuvat vaikutukset
7. Tekninen toimivuus
8. Elinkaarivaikutukset
9. Vaikutukset liikennejärjestelmän ja yhdyskuntarakenteen kehittämiseen

Monet kaupungit, kunnat ja muut rakennusalan toimijat ovat asettaneet kunnianhimoisia päästövähennystavoitteita. Kestävä rakentaminen ja ilmastonmuutoksen hillitseminen ovat myös osa

YK:n kestävän kehityksen tavoitteita (Kuva 2). Infrarakentamisessa on paljon päästövähennyspotentiaalia, joka on vielä pääosin hyödyntämättä.



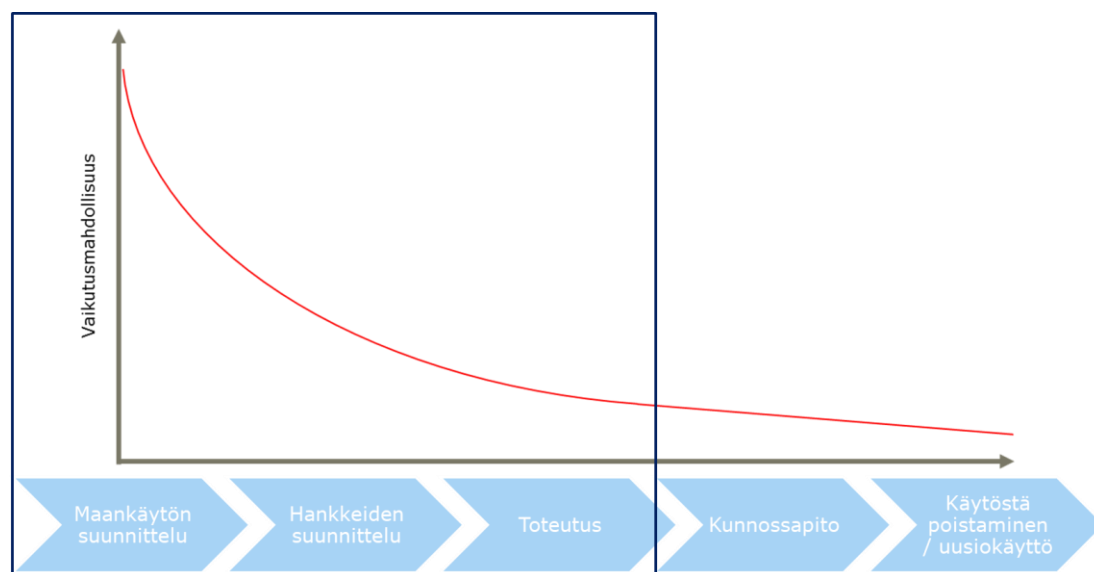
**Kuva 2. YK:n kestävän kehityksen tavoitteet ohjaavat kestävää rakentamista.**

Kestävien ja vähäpäästöisten ratkaisujen pohjaksi tarvitaan tietoa infrarakentamisen päästöistä. Päästölaskennan avulla voidaan tuottaa konkreettista tietoa infrahankkeiden hiilidioksidipäästöistä sekä vertailla vaihtoehtoisten ratkaisujen ja materiaalien vaikutusta hankkeen kokonaispäästöihin. Tätä tietoa voidaan käyttää päätöksenteon tukena suunnittelussa.

Keinoja infrarakentamisen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen ovat esimerkiksi päästöntensiivisten rakenteiden/materiaalien välttäminen ja vaihtoehtoisten vähäpäästöisten ratkaisujen hyödyntäminen. Uusiomateriaalien hyödyntäminen esimerkiksi luonnonkiviainesten korvaajana ja stabiloinnin sideaineena on yksi keino hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen. Päästölaskennan avulla voidaan tarkastella uusiomateriaalien käytön vaikutusta infrahankkeiden päästöihin.

Infrarakentamisessa, kuten muussakin rakentamisessa, merkittävimmät päästöihin vaikuttavat päätökset tehdään jo suunnitteluvaiheessa, joten vaikutusmahdollisuus päästöihin laskee suunnittelun edetessä (kuva 3). Ilmastovaikutusten arvioinnin sisällyttäminen mahdollisimman aikaisiin suunnitteluvaiheisiin on tärkeää parhaiden ja realistisimpien päästövähennysten saavuttamiseksi. Päästölaskennan tarkkuustaso riippuu siitä, missä vaiheessa hankkeen suunnittelua päästölaskenta tehdään. Suunnittelun edetessä ja suunnitelmien tarkentuessa myös päästölaskennan tarkkuus paranee, kun esimerkiksi lähtötiedot käytettävistä materiaaleista ja niiden määristä tarkentuvat.

Rakentamisvaiheen huolellisella suunnittelulla vaikutetaan myös muiden elinkaaren vaiheiden päästöihin, sillä esimerkiksi materiaalivalinnat vaikuttavat kunnostustarpeeseen rakenteen käyttövaiheen aikana ja materiaalien kierrätettävyyteen ja uudelleenkäytettävyyteen rakenteen elinkaaren päätyttyä.



**Kuva 3. Suunnittelussa tehdään merkittävimmät kasvihuonekaasupäästöihin vaikuttavat päätökset.**

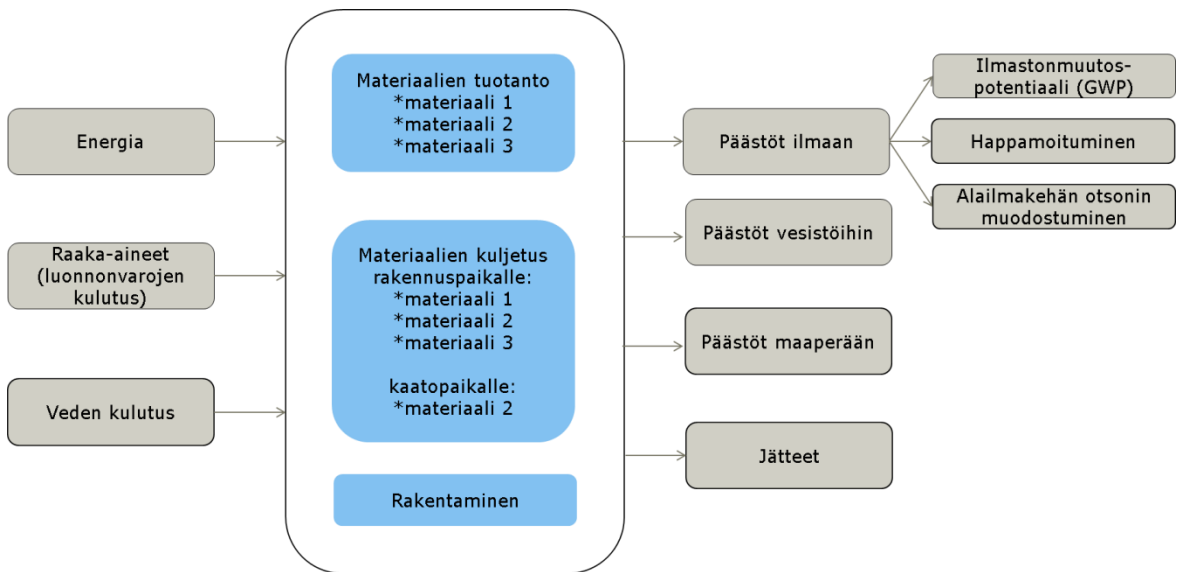


## 2. Infrarakentamisen ilmastovaikutusten arviointi

### 2.1 Menetelmät

**Elinkaariarviointi** (engl. Life Cycle Assessment, LCA) on menetelmä, jonka avulla voidaan arvioida tuotteen, toiminnan tai palvelun koko elinkaaren aikaisia ympäristövaikutuksia. Elinkaariarviointia voidaan käyttää myös infrarakennushankkeiden ympäristövaikutusten arvioimiseen. Elinkaariarvioinnin toteuttamisesta on laadittu kansainvälisen standardisointijärjestön ISO:n 14040-sarjan standardit *ISO 14040 Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet* ja *ISO 14044 Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja suuntaviivoja*. ISO 14040-standardi antaa yleisohjeet siitä, mitä vaiheita elinkaariarviointiin tulee sisällyttää. Elinkaariarvioinnissa käytettävät ympäristövaikutusluokat vaihtelevat tarkasteltavan kohteen mukaan ja usein tarkasteluun valitaan vain arvioinnin tavoitteiden kannalta relevanteimmat vaikutusluokat. Vaikutusluokkia ovat esimerkiksi ilmastonmuutos, rehevöityminen, happamoituminen sekä luonnonvarojen ehtyminen.

Kattavan, useita vaikutusluokkia sisältävän elinkaariarvioinnin tekeminen on työlästä ja vaatii paljon lähtötietoja. Elinkaariarvioinnista voidaan tehdä myös yksinkertaistettu versio (kuva 4). Yksinkertaistuksia voidaan tehdä esimerkiksi vähentämällä tutkittavien ympäristövaikutusten määrää tai rajaamalla tarkastelu koskemaan vain osaa tarkasteltavan kohteen elinkaaresta. Yksinkertaistettu elinkaariarviointi on nopeampi ja helpompi toteuttaa kuin kattava LCA.



**Kuva 4. Esimerkki yksinkertaistetun elinkaaritarkastelun tuotejärjestelmästä.**

**Hiilijalanjälki** (engl. Carbon Footprint) on yksinkertaistettu versio elinkaariarvioinnista, jossa huomioidaan ainoastaan ilmastonmuutos-vaikutusluokka (global warming potential, GWP) eli kasvihuonekaasupäästöt. Hiilijalanjälki on indikaattori, jonka avulla voidaan ilmaista tuotteen tai palvelun elinkaaren aikaiset kasvihuonekaasupäästöt. Hiilijalanjälkilaskelmissa käytetään yksikköä hiilidioksidiekvivalentti (CO<sub>2</sub> ekv.), joka kuvaa eri kasvihuonekaasujen ilmastoa lämmittävää vaikutusta muunnettuna hiilidioksidin vastaavaksi vaikutukseksi ilmakehässä.

Kasvihuonekaasupäästöjen arvioinnista puhutaan usein myös termillä **päästölaskenta**. Myös elinkaariarviointi ja hiilijalanjälki ovat päästölaskentaa, mutta päästölaskenta on laajempi käsite. Päästölaskennassa huomioon otettavien päästöjen laajuus voi vaihdella tapauskohtaisesti ja päästölaskenta voi kattaa esimerkiksi vain tietyn osan tarkasteltavan kohteen elinkaaresta tai keskittyä tiettyjen materiaalien päästöjen vertailuun.

Elinkaariarviointia ja muuta päästölaskentaa on mahdollista tehdä tavallisella taulukkolaskentaohjelmalla, niitä varten on olemassa myös tähän tarkoitukseen suunniteltuja ohjelmistotyökaluja.

Useimpien työkalujen käyttöön tarvitaan lisenssi. Lisäksi konsulteilla saattaa olla käytössään muita, ei kaupallisesti saatavilla olevia päästölaskentaohjelmia.

**Hiilikädenjälki** (engl. Carbon Handprint) kuvaa tuotteesta tai palvelusta syntyviä ilmastohyötyjä. Ympäristöministeriön *Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmässä* hiilikädenjäljellä tarkoitetaan koko elinkaaren aikana syntyviä absoluuttisia ilmastohyötyjä, joita ei syntyisi ilman rakennushanketta (Ympäristöministeriö, 2019a). Muissa määritelmässä hiilikädenjäljellä voidaan kuvata myös esimerkiksi positiivisia ilmastohyötyjä verrattuna tuotteesta tai palvelusta vastaavaan, tavallisen tason tuotteeseen tai palveluun (GBC, 2020). Hiilikädenjälki on suhteellisen uusi käsite ja uusi konsepti rakennusalalla. YM:n menetelmän mukaan hiilikädenjälkeä ei vähennetä hiilijalanjäljestä. Hiilikädenjälki esitetään negatiivisena lukuna.

*Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmän* mukaan hiilikädenjälkeen laskettavia ilmastohyötyjä ovat esimerkiksi:

- rakennusmateriaaleihin varastoitunut eloperäinen hiili,
- rakennusmateriaaleihin elinkaaren aikana mahdollisesti sitoutuva ilmamehän hiilidioksidi,
- rakennuksessa tai tontilla tuotettu ylimääräinen uusiutuva energia,
- rakennusosien uudelleenkäytön tai materiaalien kierrätyksen kautta vältetyt kasvihuonekaasupäästöt.

Hiilivarastot voidaan laskea vain eloperäisille materiaaleille, kuten puulle. Sementtipohjaiset tuotteet sitovat ilman hiilidioksidia karbonatisoitumisreaktiossa. YM:n ohjen mukaan sementin karbonatisoitumisen sitoman hiilidioksidin voi laskea osaksi hiilikädenjälkeä vain, jos sementtiä sisältävien tuotteiden elinkaaren aikana tehtävät mahdolliset karbonatisoitumisesta johtuvat korjaukset otetaan huomioon hiilijalanjäljen laskennassa. Karbonatisoituminen aiheuttaa betoniterästen korroosiota, mikä voi aiheuttaa korjaustarpeen esim. silloissa. Sementin karbonatisoitumisessa sitoutuva ilmamehän hiili tulee laskea standardin EN 16757 *Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Product Category Rules for concrete and concrete elements* liitteen BB *CO2 uptake by carbonation - Guidance on calculation* mukaisesti.

**Hiilineutraalissa** tilanteessa toiminnan tuottamat ilmastopäästöt ja toiminnan ilmamehstä poistamat kasvihuonekaasut (hiilinielut) ovat tasapainossa, jolloin nettoilmastopäästö on nolla. Kun käytetään termiä hiilineutraali, tulee aina ilmoittaa tarkasteltu ajanjakso, laskennan rajaukset ja käytetty laskentamenetelmä. (GBC, 2020)

## 2.2 Standardit ja ohjeet

Eurooppalaisen standardisointijärjestön CEN:n tekninen komitea TC 350 on laatinut rakennushankkeiden ja rakennustuotteiden ympäristövaikutusten hallintaan standardipaketin *Sustainability of construction works* (CEN/TC 350). Standardien tavoitteena on ollut yhteisesti sovittujen pelisääntöjen luominen rakennusten elinkaari pohjaiseen ympäristövaikutusarviointiin sekä rakennustuotteiden ympäristöselosteiden laadintaan. Suomessa standardien toimialayhteistyöstä vastaa Rakennustuoteteollisuus RTT ry (RTT, 2018).

Rakennusten hiilijalanjäljen arviointi ja siihen liittyvä ohjeistus on toistaiseksi pidemmälle kehittynyttä kuin infrapuolella. Rakennushankkeiden ympäristökestävyyden arviointiin on olemassa CEN/TC 350 -sarjan puitestandardi *EN 15643 Sustainability of construction works - Sustainability assessment of buildings* ja menetelmästandardi *EN 15978 Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method*. Rakennustuotteiden ympäristöselosteiden laadintaan puolestaan käytetään standardia *EN 15804 Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products*.

CEN/TC 350 on parhaillaan kehittämässä uutta standardia infrastruktuurihankkeille. Puitestandardi *EN 15643-5 Assessment of building and Civil Engineering Works - Part 5: Framework for the assessment of sustainability performance* julkaistiin loppuvuodesta 2017, mutta

laskentamenetelmästandardi *Sustainability of construction works - Sustainability assesment of civil engineering works - Calculation methods* on vielä valmisteilla.

Ympäristöministeriö on laatinut rakennusten kasvihuonekaasupäästöjen laskentaan ohjeen *Rakennuksen vähähiilisyys arviointimenetelmä* (Ympäristöministeriö, 2019a). Oppaassa on kuvattu Suomen oloihin kehitetty arviointimenetelmä rakennusten elinkaaren kasvihuonekaasupäästöjen arviointiin. Vähähiilisyys arvioinnilla pyritään pienentämään rakenteen elinkaaren kasvihuonekaasupäästöjä huolellisen ennakkosuunnittelun avulla. Ympäristöministeriön arviointimenetelmä perustuu Euroopan komission laatiman Level(s)-menetelmään<sup>1</sup>. Menetelmän pohjana ovat eurooppalaiset kestäväää rakentamista koskevat standardit (mm. EN 15643 –sarja, EN 15978 ja EN 15804) sekä aiheeseen liittyvä tieteellinen tutkimus. Menetelmä on laadittu rakennuksille, mutta soveltuu periaatteiltaan myös infrarakentamiseen. Vastaavanlainen opas tullaan myöhemmin laatimaan myös infrarakentamisen elinkaaren kasvihuonekaasupäästöjen arviointiin.

Pohjoismaisessa NordLCA -hankkeessa (2017-2020) Suomen, Norjan ja Ruotsin väyläviranomaiset pyrkivät yhteistyössä kehittämään tie- ja raitinfrakstruktuurin elinkaariarvioinnin menetelmiä ja työkaluja. Hankkeessa julkaistiin opas *Guide for LCA of Road and Rail Infrastructure*, jossa määritellään, kuinka elinkaariarviointia käytetään tie- ja ratahankkeiden suunnittelussa, rakentamisessa ja kunnossapidossa. Oppaan on tarkoitus toimia pohjana, kun kehitetään tarkempaa kansallista ohjeistusta, jossa huomioidaan kunkin maan maakohtaiset erityispiirteet. (NordLCA, 2020)

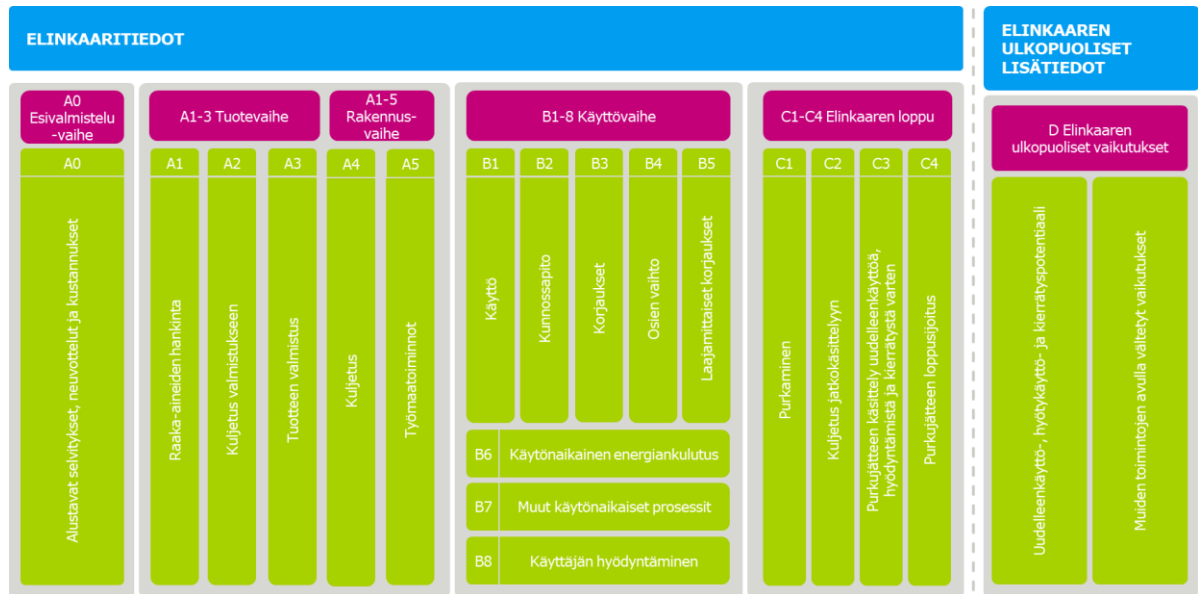
### 2.3 Infrarakenteen elinkaari

Puitestandardi EN 15643-5 mukaan infrarakenteiden elinkaari muodostuu tuotevaiheesta (A1-A3), rakentamisesta (A4-A5), käyttövaiheesta (B1-B8) ja elinkaaren lopusta (C1-C4) (kuva 5). Tuotevaiheeseen kuuluu rakennusmateriaalin tai -tuotteen raaka-aineiden hankinta (A1), kuljetus valmistukseen (A2) ja tuotteen valmistaminen (A3). Rakentamisvaiheeseen kuuluu materiaalien kuljetus työmaalle (A4) ja asennustyö (A5). Käyttövaiheeseen sisältyy rakenteen käyttö ja kunnossapito (B1-2), korjaus, osien vaihto ja kunnostus (B3-5), energian ja veden käyttö (B6-7) ja käytöstä syntyvät vaikutukset (B8). Käytöstä syntyviin vaikutuksiin kuuluu esimerkiksi tietä käyttävä liikenne. Elinkaaren loppuvaihe sisältää rakenteen purkamisen (C1), purkumateriaalien kuljetukset (C2), käsittelyn (C3) ja loppusijoituksen (C4). (EN 15643-5)

Elinkaariarvioinnissa käytetään myös informaatiomodulia D, johon kuuluvat elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset, jotka voivat olla hyötyjä tai kuormituksia. Moduulissa D voidaan ilmoittaa esimerkiksi hyödyt, jotka aikaansaadaan, kun elinkaaren loppuksi kierrätetään tai käytetään uudelleen materiaaleja, jotka voivat pienentää seuraavan rakennuskohteen valmistuksen ympäristövaikutuksia.

---

<sup>1</sup> <http://ec.europa.eu/environment/eussd/buildings.htm>



**Kuva 5. Infranhankkeiden elinkaaren vaiheet puitestandardi EN 15643-5 mukaan.**

Tuote- ja rakentamisvaiheen ympäristövaikutukset on yleensä helpoin arvioida, koska ne tapahtuvat lähitulevaisuudessa. Sen sijaan muut elinkaaren vaiheet tapahtuvat kauempana tulevaisuudessa, joten niiden arviointi perustuu skenaarioihin eli oletuksiin rakenteen käytöstä, ylläpidosta ja purkamisesta. Toistaiseksi infranhankkeiden päästölaskennassa onkin usein keskitytty lähinnä tuote- ja rakentamisvaiheeseen, sillä näistä vaiheista on tavallisesti parhaiten tietoa saatavilla.

Kun tarkastellaan infranhankkeen ilmastovaikutuksia, tarkastelun tavoitteet vaikuttavat siihen, mitä kaikkia elinkaaren vaiheita tarkasteluun sisällytetään. Jos tarkastelun tavoitteena on ainoastaan vertailla erilaisten rakenteiden tai materiaalivaihtoehtojen vaikutusta rakentamisen CO<sub>2</sub>-päästöihin, voidaan tarkastelussa keskittyä tuote- ja rakennusvaiheeseen (moduuli A). Sen sijaan esimerkiksi arvioitaessa suurten väylähankkeiden kokonaisilmastovaikutuksia, on tärkeää huomioida myös hankkeen vaikutus liikennemääriin ja liikenteen kulkutapajakaumaan.


## 2.4 Muut ympäristövaikutusindikaattorit

Laajamittaisessa elinkaariarvioinnissa voidaan tarkastella kaikkia tarkastelun kohteeseen liittyviä panoksia ja tuotoksia, eli luonnonvarojen kulutusta ja päästöjä. Elinkaariarvioinnissa ympäristövaikutuksia arvioidaan indikaattorien avulla. Kasvihuonekaasupäästöt (ilmaston lämpenemispotentiaali eli hiilijalanjälki) on tyypillisin käytetty indikaattori, mutta sen lisäksi on olemassa lukuisia muita ympäristövaikutusindikaattoreita. Tyypillisiä elinkaariarvioinnin ympäristövaikutusindikaattoreita on esitetty kuvassa 6.

**Luokka**  
Ilmaston lämpenemispotentiaali (GWP), eli ns. "hiilijalanjälki"

**Yksikkö**  
Hiilidioksidiekvivalentti


**Haitta**  
Kasvihuonekaasujen lisääntyminen ilmakehässä lämmittää maata lähinnä olevia ilmakerroksia, mikä johtaa ilmastonmuutokseen.



**Luokka**  
Happamoitumispotentiaali (AP)

**Yksikkö**  
Rikkidioksidiekvivalentti


**Haitta**  
Veden kanssa reagoivat happamoittavat aineet voivat johtaa happosateeseen, joka aiheuttaa muun muassa juuristojen hajoamista ja ravinteiden poistumista kasveista.



**Luokka**  
Otsonikatopotentiaali (ODP)

**Yksikkö**  
Trikloorifluorimetaaniekvivalentti


**Haitta**  
Vahingoittaa stratosfäärin otsonikerrosta, joka suojaa elollista luontoa auringon haitalliselta UV-A- ja UV-B-säteilyltä.



**Luokka**  
Rehevöitymispotentiaali (EP)

**Yksikkö**  
Fosfaattiekvivalentti


**Haitta**  
Ravinteiden liikatarjonta aiheuttaa herkissä ekosysteemeissä ei-toivottua kasvinkasvua, esimerkiksi kaloja tappavaa levien kasvua.



**Luokka**  
Valokemiallinen otsoninmuodostuskyky (POCP)

**Yksikkö**  
Etyleeniekvivalentti


**Haitta**  
Muodostaa ultraviolettisäteilyn vaikutuksesta otsonia alailmakehään (summer smog -ilmiö). Otsoni mm. vahingoittaa hengityselimistöä.



**Luokka**  
Ei-fossiilisten luonnonvarojen abiottinen ehtyminen (ADPe)

**Yksikkö**  
Antimoniekvivalentti


**Haitta**  
Abiottisten luonnonvarojen voimakas kulutus voi kiihdyttää käytettävissä olevien materiaalien kuten metallien ja mineraalien ehtymistä.



**Luokka**  
Fossiilisten luonnonvarojen abiottinen ehtyminen (ADPF)

**Yksikkö**  
MJ


**Haitta**  
Voimakas abiottisten luonnonvarojen kulutus voi kiihdyttää käytettävissä olevien fossiilisten energialähteiden kuten öljyn ja hiilen ehtymistä.



**Luokka**  
Uusiutuvien vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttö (Sec)

**Yksikkö**  
MJ tai kWh


**Haitta**  
Vaihtoehtoiset polttoaineet, esimerkiksi jäte, ovat periaatteessa rajallisia resursseja, joten niiden voimakas kulutus voi johtaa epäsuorasti resurssipulaan.



**Luokka**  
Primäärienergian kokonaiskulutus (PEtot)

**Yksikkö**  
MJ tai kWh

**Haitta**  
Voimakas primäärienergian varojen kulutus fossiili- ja uusiutuvista lähteistä voi kiihdyttää luonnonvarojen ehtymistä.



**Kuva 6. Elinkaariarvioinnissa käytettyjä ympäristövaikutusindikaattoreita (Ympäristöministeriö, 2019b).**

## 2.5 Päästökertoimet

Päästölaskennassa tarvitaan tietoa tuotteiden ja materiaalien sekä kuljetusten ja työsuoritteiden päästöistä, eli ns. päästökertoimia. Päästökertoimia on sekä yleisluontoisia, esimerkiksi tietyn tuoteryhmän keskiarvoja kuvaavia kertoimia, että valmistajan ilmoittamia tiettyä tuotetta kuvaavia kertoimia. Päästökertoimia on saatavilla useista eri lähteistä.

Rakennustuotteen ympäristöseloste EPD (Environmental Product Declaration) on vapaaehtoinen seloste, joka antaa tietoa tuotteen tai tuoteryhmän ympäristövaikutuksista. Ympäristöselosteet ovat materiaalien valmistajien julkaisemia ja kolmannen osapuolen verifioimia. Ympäristöseloste

perustuu standardien EN ISO 14044 ja EN 15804 + A1 mukaisesti tehtyyn elinkaariarviointiin ja se sisältää tuotteen tiedot, elinkaariarvioinnin laskentaperusteet sekä elinkaariarvioinnin tulokset. Rakennustuotteen elinkaari sisältää vaiheet raaka-aineiden hankinta ja tuotteen valmistus (A1-A3), asennusprosessit (A4-5), käyttöprosessit (B1-7) ja purkuvaiheen (C1-4). Ympäristöselosteen, joka sisältää vain tuotevaiheen (A1-A3) sanotaan olevan ”kehdosta tehtaan portille” (gradle to gate), kun taas koko tuotteen elinkaaren kattava seloste on ns. ”kehdosta hautaan” (gradle to grave). Ympäristöselosteessa voi myös olla tuotteen elinkaaren ulkopuolisia lisätietoja sisältävä informaatiomoduli D. Ympäristöselosteessa tuotteen ympäristövaikutuksia kuvataan standardin EN 15804 mukaisilla indikaattoreilla, joita ovat mm. kasvihuonekaasupäästöt, rehevöitymistä aiheuttavat päästöt, maaperää ja vesistöjä happamoittavat päästöt ja uusiutumattomien luonnonvarojen ehytyminen. Julkaistuja suomalaisten rakennustuotteiden ympäristöselosteita on koottu Rakennustietosäätiö RTS:n verkkosivuille<sup>2</sup>.

On olemassa myös kansainvälisiä tietokantoja, joihin on koottu tietoja tuotteiden, materiaalien ja prosessien ympäristövaikutuksista. Esimerkiksi Ecoinvent<sup>3</sup> on kansainvälinen tietokanta, joka tarjoaa prosessitietoja tuhansista tuotteista ja on yleisesti käytetty tietokanta elinkaariarvioinneissa. Ecoinventin käyttö vaatii lisenssin. Ilman lisenssiä saatavilla olevia tietokantoja rakennusmateriaalien päästökertoimista ovat esimerkiksi saksalainen ÖKOBAUDAT-tietokanta<sup>4</sup> ja brittiläinen The Inventory of Carbon and Energy (ICE) -tietokanta<sup>5</sup>. On kuitenkin syytä huomata, että ulkomaisista lähteistä peräisin olevat päästökertoimet eivät välttämättä kuvasta Suomen olosuhteita.

Suomessa ei toistaiseksi ole ollut julkista tietokantaa rakennusmateriaalien päästökertoimille. Ympäristöministeriö on käynnistänyt Suomessa käytettävien rakennustuotteiden ja -prosessien päästötietokannan kehittämisen<sup>6</sup>. Rapal Oy on yhdessä VTT:n kanssa luonut Väylävirastolle panospohjaisen päästötietokannan kaupunki- ja väyläinfran päästölaskentaa varten. Tietokanta sisältää päästökertoimet noin 550 panokselle, joita voidaan käyttää infrahankkeiden investointien päästölaskennassa. Päästötiedot pohjautuvat VTT:n olemassa olevaan dataan, kansallisiin ja kansainvälisiin rakennustuotteiden ympäristöselosteisiin (EPD) sekä kirjallisuustietoihin. (Rapal Oy, 2019)

Rapalin ja VTT:n päästötietokannan kehityshankkeen raportissa (Rapal Oy, 2019) annetaan kehitysideoita päästökertoimien määrittämiselle. Raportissa todetaan, että kiviainesten (esim. murske, sora, hiekka) ottoon, seulontaan ja murskaamiseen liittyvät päästöt perustuvat 2000 luvun alun toimintaan ja ovat näin ollen liian vanhaa tietoa käytettäväksi nykypäivänä. Raportin mukaan eurooppalaiset CO<sub>2</sub>-ekv. päästöjen keskiarvot kiviaineksien ostoille ja valmistukselle ovat olleet paljon isompia kuin päästötietokannan kehityshankkeessa käytetyt kertoimet. Raportissa ehdotetaan, että suomalaisten kiviainesten valmistuksen CO<sub>2</sub>-päästötiedot päivitetäisiin ja käynnistettäisiin hanke myös betonimurskeen valmistuksen CO<sub>2</sub>-päästöjen laskemiseksi.

Kuljetusvälineiden ja työkoneiden päästökertoimia on saatavilla VTT:n kehittämässä LIPASTO-yksikköpäästötietokannassa<sup>7</sup>. Yksikköpäästöillä tarkoitetaan liikennevälineiden käytönaikaisia päästömääriä kuljetettua massa- tai henkilöyksikköä ja pituusyksikköä kohden (esim. g CO<sub>2</sub>/tonnikilometri).

Käytettyjen päästökerrointen laatu vaikuttaa merkittävästi laskennan lopputuloksiin. Laskennan tavoiteltu tarkkuustaso vaikuttaa myös käytettävien päästökerrointen laatuvaatimuksiin. Esimerkiksi varhaisemmassa suunnitteluvaiheessa tehtävä päästölaskenta on yleensä karkeampaa, jolloin voidaan käyttää tuoteryhmäkohtaisia päästökertoimia. Laskennan tarkkuustason kasvaessa tarvitaan myös tarkempia lähtötietoja.

<sup>2</sup> <https://cer.rts.fi/epd-ymparistoseloste/selaa-epd-ymparistoselosteita/>

<sup>3</sup> <https://www.ecoinvent.org/>

<sup>4</sup> <https://www.oekobaudat.de/en/database/database-oekobaudat.html>

<sup>5</sup> <https://circularecology.com/embodied-carbon-footprint-database.html>

<sup>6</sup> [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakentamisen\\_paastotietokantahankkeen\\_va\(53009\)](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakentamisen_paastotietokantahankkeen_va(53009)), Rakentamisen päästötietokannan keskustelutilaisuus 7.9.2020

<sup>7</sup> <http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/index.htm>

## 2.6 Hiilinielujen muutos

Hiilinieluilla tarkoitetaan prosesseja, jotka sitovat hiiltä ilmakehästä. Esimerkiksi maanpäällinen kasvillisuus on hiilinielu, johon sitoutuu hiilidioksidia fotosynteesissä. Hiiltä on sitoutunut myös maaperään. Hiilinielut auttavat hillitsemään ilmastomuutosta ja ovat siksi tärkeitä.

Rakentaminen aiheuttaa maankäytön muutoksia ja vaikuttaa siksi myös maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätalous (LULUCF) -sektorin päästöihin. LULUCF-sektori on merkittävä kasvihuonekaasupäästöihin ja -nieluihin vaikuttava sektori. Suomessa raportoidaan hiilivarastojen muutokset kuudesta eri maankäyttöluokasta, jotka ovat metsämaa, viljelysmaa, ruohikkomaa, kosteikot, rakennettu maa ja muu maa. Esimerkiksi metsämaan muuttaminen rakennetuksi maaksi pienentää kasvillisuuden ja maaperän hiilivarastoja. (Rasinmäki & Känkänen, 2014) Rakentamisen aiheuttaman hiilinielun vähenemisen suuruudeksi on arvioitu Suomen kasvihuonekaasuinventaariossa n. 0,7 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia (t CO<sub>2</sub>-ekv) vuodessa (RT, 2020).

Ilmastonkestävä kaupunki (ILKKA) – työkaluja suunnitteluun -hankkeessa on kehitetty hiilitaselaskuri, jonka avulla käyttäjä voi arvioida vaihtoehtoisten maankäyttöratkaisujen vaikutusta alueen hiilivarastoihin<sup>8</sup>. Hiilitaselaskuri on tarkoitettu maankäytön vaikutusten arviointiin kasvillisuusalueiden hiilivarastojen näkökulmasta yleis- ja asemakaavatasolla. Työkalussa on kolme tarkkuustasoa, jotka määräytyvät sen mukaan, millaisia lähtötietoja työkaluun syötetään. Tarkkuustasot mahdollistavat laskennan tulosten tarkentamisen suunnittelun edetessä. Työkalun tuloksena hiilinielujen muutos esitetään sekä hiilidioksidiekvivalenttitonneina (t CO<sub>2</sub>-ekv).

---

<sup>8</sup> <https://ilmastotyokalut.fi/vihrea-infrastruktuuuri/hiilinielut/>

### 3. Uusiomateriaalit päästölaskennassa

#### 3.1 Uusiomateriaalien allokointi päästölaskennassa

Uusiomateriaaleilla (engl. secondary materials tai recovered materials) tarkoitetaan monenlaisia sekundäärisiä materiaaleja, jotka soveltuvat sellaisenaan tai jalostettuina käytettäväksi maarakentamisessa. Uusiomateriaalit voivat olla peräisin mm. (Forsman ym., 2020):

- rakennusteollisuudesta, uudisrakentamis- tai korjausrakentamistyömailta (esim. betonimurske, tiilimurske),
- jätteenpoltosta (esim. käsitelty jätteenpolton kuona),
- energiantuotannosta (esim. lento- ja pohjatuhka, leijupetihiekka),
- metalliteollisuudesta (esim. masuunikuonasta, ferrokromikuonasta tai teräskuonasta valmistettu hiekka tai murske, valimohiekka),
- kaivosteollisuudesta (esim. sivukivi, rikastushiekka, fosfokipsi),
- metsäteollisuudesta (esim. kuituliete, siistausjäte, soodasakka, meesa),
- tuottajavastuukeräyksestä (esim. rengasleike (-rouhe), kokonaiset renkaat, kierrätyslasi, vaahtolasimurske) tai
- maarakennustyömailta (esim. kaivumaat, puretut maarakenteet, asfalttirouhe tai -murske, rakenteesta poistettu kevytsora, lievästi pilaantuneet maat, kasvualustoiksi kelpaavat pintamaa).



**Kuva 7. Erilaisia uusiomateriaaleja: pohjatuhka, lentotuhka, betonimurske.**

Uusiomateriaalit ovat tyypillisesti jäte- tai sivutuoteperäisiä, eli niitä ei varsinaisesti valmisteta maarakennuskäyttöön. Kuitenkin uusiomateriaaleja saatetaan prosessoida tai jatkojalostaa ennen kuin niitä käytetään maarakentamisessa. Esimerkkejä joidenkin uusiomateriaalien prosessoinnista on esitetty taulukossa 1. Uusiomateriaalien prosessointi voi kuitenkin vaihdella tapauskohtaisesti. Esimerkiksi betonimurskeen osalta murskaus voi tapahtua purkukohteessa mobiilimurskaimella, tai betonijäte kuljetetaan erilliselle murskauslaitokselle. Joitakin uusiomateriaaleja kuljetetaan välivarastoon, mistä aiheutuu lastaus- ja kuljetuspäästöjä.

**Taulukko 1. Esimerkkejä joidenkin uusiomateriaalien prosessoinnista**

Uusiomateriaali	Prosessointi
Betonimurske	murskaus, seulonta
Tiilimurske	murskaus
Jätteenpolton kuona	metallien erotus, seulonta
Energiantuotannon lentotuhka	välivarastointi, sekoitus, kostutus
Energiantuotannon pohjatuhka	välivarastointi
Rengasleike/rouhe	leikkaus/rouhinta
Vaahtolasimurske	keräyslasin puhdistus, lasimurskeen tuotanto, lasimurskeen vaahdotus uunissa, murskaus ja seulonta
Ylijäämämaa	(välivarastointi)

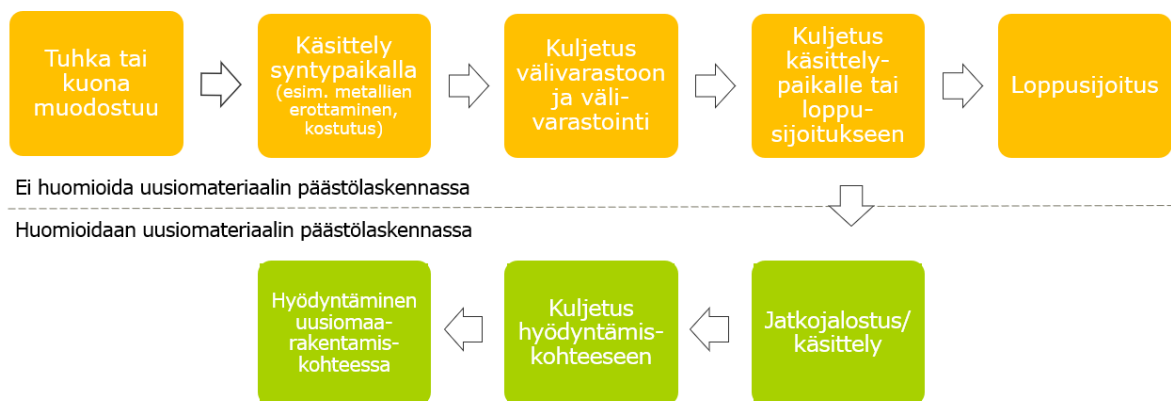


Tarkasteltavan systeemin rajaus on tärkeä vaihe elinkaariarvioinneissa ja muissa päästölaskennoissa, sillä systeemin rajauksella määritellään arviointiin sisällytettävät toiminnot ja prosessit ja päätetään, mitä jätetään tarkastelun ulkopuolelle. Erilaisilla rajauksilla päädytään erilaisiin tuloksiin. (Antikainen, 2010) Uusiomateriaalien huomioiminen päästölaskennassa on herättänyt viime aikoina keskustelua, sillä uusiomateriaalien elinkaaren rajaamisesta infrarakentamisen päästölaskennassa ei ole ollut selkeää ohjeistusta.

Kestävän rakentamisen standardeissa kierrätysmateriaali on määritelty olevan ”käytetyistä tuotevirroista tai jätteistä talteen otettu materiaali, joka korvaa primäärimateriaaleja”. Uusiomateriaalit ovat siis myös kierrätysmateriaaleja. Kestävän rakentamisen standardien mukaan ”kierrätysmateriaalin tuotantoprosessin katsotaan alkavan tarkasteltavan tuotteen osalta, kun kierrätysmateriaali tulee tarkasteltavaan tuotejärjestelmään aikaisemmasta tuotejärjestelmästä”. Standardin EN 15804 + A2 mukaan tuotevaiheeseen A sisältyy kierrätysmateriaalien prosessointi, poissulkien ne prosessit, jotka ovat osa edeltävän tuotejärjestelmän jätteenkäsittelyä.

Uusiomateriaalit ovat usein allokoitu nollapäästöisiksi päästölaskennassa (Teittinen, 2019). Tällainen menettely on hyväksyttävää sellaisten uusiomateriaalien kohdalla, joita ei prosessoida ennen hyötykäyttöä lainkaan (esim. ylijäämämaat). Jos uusiomateriaalia kuitenkin prosessoidaan ennen hyötykäyttöä, eikä prosessoinnin voida katsoa kuuluvan osaksi edellisen tuotejärjestelmän jätteenkäsittelyä, nämä prosessoinnin päästöt tulisi kestävän rakentamisen standardien mukaisesti huomioida uusiomateriaalin hiilijalanjäljessä.

Kuvassa 8 on esitetty esimerkki tuhka- tai kuonapohjaisen uusiomateriaalin prosessoinnin päästöjen huomioimisesta päästölaskennassa. Sellaista käsittelyä ja kuljetuksia, jotka tehtäisiin riippumatta materiaalin loppukäytöstä, ei tarvitse huomioida uusiomateriaalin päästölaskennassa. Uusiomateriaalikäytön edellyttämä mahdollinen jatkojalostus sen sijaan tulisi ottaa huomioon uusiomateriaalin hiilijalanjäljessä.



**Kuva 8. Esimerkki uusiomateriaalin elinkaaren vaiheiden huomioimisesta päästölaskennassa. Oranssien laatikoiden vaiheita ei huomioida uusiomateriaalin päästöjen laskennassa, sillä ne kuuluvat pääprosessin (esim. energiantuotanto) elinkaareen. Vihreiden laatikoiden vaiheet tulee huomioida uusiomateriaalin päästöjen laskennassa.**

Tuotteistetuille uusiomateriaaleille voidaan laatia ympäristöseloste, kuten muillekin rakennusmateriaaleille. Toistaiseksi julkisia EDP-dokumentteja ei ole Suomessa saatavilla muille uusiomateriaaleille kuin vaahtolasimurskeelle<sup>9</sup>. Uusiomateriaalien prosessoinnin päästöistä on toistaiseksi saatavilla hyvin vähän tietoja. Myöskään rajanveto siitä, mitkä prosessit ovat osa edellisen tuotejärjestelmän jätteenkäsittelyä, ei ole kaikkien materiaalien kohdalla yksiselitteistä. Luotettavan tiedon saamiseksi uusiomateriaalien hiilijalanjäljestä olisikin syytä käynnistää hanke, jossa selvitetäisiin tyypillisten uusiomateriaalien prosessointiin kuluva energia ja CO<sub>2</sub>-päästöt yhdessä materiaalintoimittajien kanssa.

<sup>9</sup> <https://foamit.fi/wp-content/uploads/2019/06/Foamit-EPD.pdf>

### 3.2 Uusiomaarakentamisen vertailu perinteiseen rakentamiseen

Uusiomateriaalien päästökertoimen lisäksi päästölaskennassa, jossa vertaillaan uusiomaarakentamista tavanomaisiin materiaaleihin ja rakennustapaan, tulee huomioida myös mahdolliset erot rakenteiden teknisissä ominaisuuksissa ja rakenteiden asennuksessa. Eroja voi olla esimerkiksi kerrospaksuudessa tai uusiomateriaalin käyttö voi edellyttää muiden rakenteiden, kuten reunapenkereiden, tekoa.

Uusiomaarakentamisen päästölaskennassa tulee huomioida myös materiaalien kuljetukset pois lukien sellaiset kuljetukset, joiden voidaan katsoa kuuluvan osaksi edeltävän tuotejärjestelmän jätteenkäsittelyä (esim. uusiomateriaalin kuljetus syntypaikalta käsittelypaikalle).

Hiilijalanjälki on vain yksi indikaattori ympäristökestävyyden arvioimiseen. Rakentamisen materiaalihokkuus ja neitseellisten luonnonvarojen säästö ovat myös merkittäviä uusiomaarakentamisen ympäristökestävyyteen liittyviä tekijöitä. Resurssitehokkuuden parantaminen pienentää usein myös hankkeen kustannuksia. Kestävissä materiaalivalinnoissa ja suunnitteluratkaisuissa tulee ottaa huomioon myös materiaalien kestävyys, huollettavuus ja pitkäikäisyys.

### 3.3 Esimerkkilaskelmia

#### 3.3.1 Esimerkki materiaalien päästöjen laskennasta

Materiaalien päästöjen laskemiseksi tarvitaan tiedot käytettävien materiaalien määrästä ja päästökertoimet kyseiselle materiaalille. Koska päästökertoimia on annettu eri yksiköissä, esimerkiksi kg CO<sub>2</sub> / t tai g CO<sub>2</sub> / m<sup>3</sup>, on päästölaskennassa tärkeää huomioida, että materiaalin määrä on samassa yksikössä, jolle päästöarvo on ilmoitettu. Seuraavassa esimerkissä vertaillaan pilaristabiloinnin sideaineen materiaalien päästöjä (tuotevaihe A1-A3) kahden vaihtoehdon osalta, jossa toisessa vaihtoehdossa osa sideaineen materiaaleista korvataan lentotuhkalla.

*Pilaristabiloinnissa käytetään 90 tonnia sideainetta, josta 65 % on sementtiä ja 35 % kalkkia. Vaihtoehtona on korvata osa perinteisistä sideaineista lentotuhkalla. Kuinka paljon vältetään materiaalipäästöjä, kun käytetään sideaineseosta, josta 60 % on sementtiä, 30 % kalkkia ja 10 % lentotuhkaa? Lentotuhka on peräisin energiantuotannosta, ja oletuksena on, että sitä ei tässä tapauksessa prosessoida ennen hyödyntämistä sideaineena lukuun ottamatta sellaista käsittelyä, joka lentotuhkalle tehtäisiin joka tapauksessa hyötykäytöstä riippumatta. Mikäli lentotuhka vaatisi ylimääräistä käsittelyä ennen hyötykäyttöä, päästö ei olisi nolla.*

Sideaineiden päästökertoimet:

Materiaali	Päästökerroin kg CO <sub>2</sub> -ekv / t	Päästökertoimen lähde
Sementti	611,7	Finnsementin ympäristöseloste 2019 <sup>10</sup>
Kalkki	1100	Nordkalk Sustainability report 2019 <sup>11</sup>
Lentotuhka	0	Koska lentotuhkaa ei prosessoida, se voidaan olettaa nollapäästöiseksi.

Vaihtoehdossa 1 (sementti + kalkki) sideaineen kokonaispäästöt ovat:

$$0,65 * 90 \text{ t} * 611,7 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv/t} + 0,35 * 90 \text{ t} * 1100 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv/t}$$

$$= 70\,434,45 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv}$$

Vaihtoehdossa 2 (sementti, kalkki + lentotuhka) sideaineen kokonaispäästöt ovat:

$$0,60 * 90 \text{ t} * 611,7 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv/t} + 0,30 * 90 \text{ t} * 1100 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv/t} + 0,10 * 90 \text{ t} * 0 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv/t}$$

<sup>10</sup> [https://finnsementti.fi/wp-content/uploads/2019\\_PA\\_Yhteenveto.pdf](https://finnsementti.fi/wp-content/uploads/2019_PA_Yhteenveto.pdf)

<sup>11</sup> [https://www.nordkalk.fi/document/1/1995/f121adb/b32d\\_upload\\_0a11c4c\\_nordkalk\\_sustainability\\_report\\_2019.pdf](https://www.nordkalk.fi/document/1/1995/f121adb/b32d_upload_0a11c4c_nordkalk_sustainability_report_2019.pdf)

= 62 731,80 kg CO<sub>2</sub> ekv

Päästövähennys on siis

70 434,45 kg CO<sub>2</sub> ekv – 62 731,80 kg CO<sub>2</sub> ekv = 7 702,65 kg CO<sub>2</sub> ekv ≈ 7 700 kg CO<sub>2</sub> ekv

### 3.3.2 Esimerkki kuljetusten päästöjen laskennasta

Kuljetusten päästöt voidaan laskea käyttäen VTT:n LIPASTO-tietokannan päästökertoimia liikennevälineiden yksikköpäästöistä. Tietokannassa on esitetty puoliperävaunuyhdistelmien, täysperävaunuyhdistelmien ja maansiirtoautojen päästökertoimet ajoneuvokilometriä ja tonnikilometriä kohden. Päästöarvot on eritelty maantie- ja katuajolle sekä täydelle ja tyhjälle kuormausasteelle. Seuraavassa esimerkissä lasketaan työmaakuljetusten päästöt (infran elinkaaren vaihe A4) kahdelle materiaalille.

*Työmaalla tarvitaan 120 tonnia mursketta. Vaihtoehtoina on tuoda kalliomursketta 25 kilometrin päästä tai hyödyntää betonimursketta, jota on saatavilla purkukohteesta 5 kilometrin päästä. Kuljetukset työmaalle tehdään puoliperävaunulla (kuormakoko 25 t). Kalliomurskeen kuljetusmatkasta 80 % on maantieajoa ja 20 % katuajoa. Betonimurskeen kuljetusmatka on katuajoa. Kuinka paljon kuljetuspäästöjä vältetään, jos käytetään lähempää tuotavaa betonimursketta kalliomurskeen sijaan?*

Poimitaan LIPASTO-tietokannasta puoliperävaunun CO<sub>2</sub>-ekv. päästökertoimet<sup>12</sup>. Koska ajoneuvon EURO-luokkaa ei ole tiedossa, valitaan keskimääräinen päästötaso.

	<b>Päästökerroin</b> g CO <sub>2</sub> ekv. / km	
Kuormausaste	Täysi	Tyhjä
Maantieajo	962	630
Katuajo	1662	965

Lasketaan, kuinka monta kuormaa 120 tonnin kuljettamiseen tarvitaan:

120 t / 25 t = 4,8 eli tarvitaan 5 kuormaa.

Kalliomurskeen kuljetuksen päästöt muodostuvat seuraavasti:

Menomatkat täydellä kuormalla + paluumatkat tyhjällä kuormalla, 80 % matkasta maantieajoa, 20 % katuajoa

$(0,80 * 5 * 25 \text{ km} * 962 \text{ g CO}_2 \text{ ekv/km} + 0,20 * 5 * 25 \text{ km} * 1662 \text{ g CO}_2 \text{ ekv/km})$   
 $+ (0,80 * 5 * 25 \text{ km} * 630 \text{ g CO}_2 \text{ ekv/km} + 0,20 * 5 * 25 \text{ km} * 965 \text{ g CO}_2 \text{ ekv/km})$   
= 224 875 g CO<sub>2</sub> ekv ≈ 225 kg CO<sub>2</sub> ekv

Betonimurskeen kuljetuksen päästöt:

Menomatkat täydellä kuormalla + paluumatkat tyhjällä kuormalla, 100% katuajoa

$5 * 5 \text{ km} * 1662 \text{ g CO}_2 \text{ ekv/km} + 5 * 25 \text{ km} * 965 \text{ g CO}_2 \text{ ekv/km}$   
= 65 675 g CO<sub>2</sub> ekv ≈ 66 kg CO<sub>2</sub> ekv

Lyhyemmällä kuljetusmatkalla aikaansaattava päästövähennys on siis:

225 kg CO<sub>2</sub> ekv – 66 kg CO<sub>2</sub> ekv = 159 kg CO<sub>2</sub> ekv

<sup>12</sup> [http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/tavaraliikenne/tieliikenne/tavara\\_tie.htm](http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/tavaraliikenne/tieliikenne/tavara_tie.htm)

### 3.3.3 Esimerkki työsuoritusten päästöjen laskennasta

VTT:n LIPASTO-tietokannassa on päästökertoimia työkoneille tehonkäyttöä kohden (g/kWh) ja polttoaineen kulutusta kohden (g/l). Työsuoritusten päästöjen laskennassa tarvitaan yleensä myös tietoa työkoneiden polttoaineen kulutuksesta tai työhön käytetystä ajasta. Seuraavassa esimerkissä lasketaan levitys- ja tiivistystyön päästöt.

*Massiivituhrakenteessa käytettyä lentotuhkaa levitetään 3000 m<sup>2</sup> alueelle pyöräkuormaajalla ja tiivistetään täryjyrällä. Urakoitsijalta saadun tiedon mukaan kuormaajan polttoaineen kulutus on 9 l/h ja levitystyöhön kului 15 tuntia. Paljonko työsuorituksista aiheutui päästöjä?*

VTT:n Lipasto-tietokannan mukaan pyöräkuormaajan päästökerroin on 2673 g CO<sub>2</sub> ekv. / polttoainelitra<sup>13</sup>. Levitystyössä aiheutuvat pyöräkuormaajan päästöt ovat:

$$9 \text{ l/h} * 15 \text{ h} * 2673 \text{ g CO}_2 \text{ ekv/l} = 360855 \text{ g CO}_2 \approx 361 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv}$$

Lipasto-tietokannan päästökerroin jyrille on 2672 g CO<sub>2</sub> ekv / polttoainelitra. Maajyrän polttoaineen kulutuksen arvioimiseksi käytetään kulutustietoa 0,017 l/m<sup>2</sup> (Stripple, 2001). Tiivistystyön päästöt ovat:

$$3000 \text{ m}^2 * 0,017 \text{ l/m}^2 * 2672 \text{ g CO}_2 \text{ ekv/l} = 136272 \text{ g CO}_2 \text{ ekv} \approx 136 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv}$$

Levitys- ja tiivistystyön päästöt ovat siis yhteensä:

$$361 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv} + 136 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv} = 497 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv}$$

---

<sup>13</sup> [http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/muut/tyokoneet/tyokoneet\\_litra.htm](http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/muut/tyokoneet/tyokoneet_litra.htm)

## 4. JOHTOPÄÄTÖKSET JA KEHITYSTARPEET

Uusiomaarakentaminen ja sen erityispiirteet tulisi ottaa huomioon, kun kehitetään yleistä infra-alan kansallista päästölaskentaohjeistusta. Laskennassa käytettävät päästökertoimet vaikuttavat oleellisesti päästölaskennan tuloksiin ja luotettavuuteen. Tässä raportissa on esitetty ehdotus siitä, miten uusiomateriaalien prosessoinnin päästöt tulisi ottaa huomioon päästölaskennassa. Uusiomateriaalien hiilijalanjälkeä laskettaessa tulisi huomioida uusiomateriaalien prosessoinnin päästöt siltä osin, kun niiden ei voida katsoa kuuluvan osaksi edellisen tuotejärjestelmän päästöjä.

Uusiomateriaalien prosessoinnin hiilijalanjäljestä on toistaiseksi saatavilla hyvin vähän tietoja. Uusiomateriaalien päästökertoimien puute hankaloitti myös laskentaesimerkkien antamista tässä raportissa. Luotettavan tiedon saamiseksi uusiomateriaalien hiilijalanjäljestä olisikin syytä käynnistää hanke, jossa selvitetäisiin tyypillisten uusiomateriaalien prosessoinnin CO<sub>2</sub>-päästöjä yhdessä materiaalintoimittajien kanssa.

Rakennusmateriaalien päästökertoimille on parhaillaan kehitteillä kansallinen päästötietokanta. Yleisesti käytettyjen uusiomateriaalien päästökertoimet tulisi sisällyttää kehitteillä olevaan kansalliseen päästötietokantaan. Jotta uusiomateriaalien hiilijalanjälkeä voidaan luotettavasti verrata perinteisten materiaalien hiilijalanjälkeen, tarvitaan luotettavaa tietoa myös perinteisten materiaalien hiilijalanjäljestä. Rapalin ja VTT:n päästötietokannan kehityshankkeen raportissa (Rapal Oy, 2019) todettiin esimerkiksi, että suomalaisten kiviainesten päästökertoimet ovat vanhentuneet ja ne tulisi päivittää vastaamaan nykytilannetta.

Hiilijalanjälki on vain yksi indikaattori ympäristökestävyyden arvioimiseen. Uusiomaarakentamisen kokonaiskestävyyttä arvioitaessa tulee ottaa huomioon muitakin tekijöitä, kuten rakentamisen materiaalitehokkuus ja rakenteiden huollettavuus sekä pitkäikäisyys.

## LÄHTEET

### Kirjallisuus

Antikainen, R. 2010. Elinkaarimetodiikkojen nykytila, hyvät käytännöt ja kehitystarpeet. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 7 | 2010.

Forsman, J., Dettenborn, T., Suikkanen, T., Harju, I., Järkkä, H., Kivimäki, J., Teittinen, T., Koi-vulahti, M., Lahtinen, P. 2020. Uusiomateriaalit kaupunkien infrarakentamisessa – käsikirja.

Green Building Council Finland, 2019. Määritelmä: Kestävä infra. 6.2.2019. [https://figbc.fi/wp-content/uploads/sites/4/2019/03/GBC\\_Kestava-infra-maaritelma\\_\\_2019\\_02\\_6.pdf](https://figbc.fi/wp-content/uploads/sites/4/2019/03/GBC_Kestava-infra-maaritelma__2019_02_6.pdf)

Green Building Council Finland, 2020. VÄHÄHIILISYYDEN SANAKIRJA - vähähiilisen rakentamisen ja kiinteistöliiketoiminnan terminologia.

Circular Ecology, 2019. ICE Database V3.0 – 10 Nov 2019. Saatavilla: <https://circularecology.com/embodied-carbon-footprint-database.html>

Kuittinen, M., & Häkkinen, T., 2020. Reduced carbon footprints of buildings: new Finnish standards and assessments. *Buildings and Cities*, 1(1),182–197. DOI: <http://doi.org/10.5334/bc.30>

NordLCA, 2020. Guide for LCA of Road and Rail Infrastructure. NordLCA. Saatavilla: <http://www.nordfou.org/LCAGuide/Documents/Guide%20for%20LCA%20of%20Road%20and%20Rail%20Infrastructure.pdf>

Stripple, H., 2001. Life Cycle Assessment of Road, A Pilot Study for Inventory Analysis, 2nd edition, IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd, Gothenburg, Sweden.

Rakennusteollisuus (RT), 2020. Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035 Osa 1. Rakennetun ympäristön hiilielinkaaren nykytila. 28.5.2020 Gaia Consulting Oy.

Rapal Oy, 2019. Päästölaskennan kehityshanke.

Rasinmäki, J. & Känkänen, R. 2014. Kuntien hiilitasekartoitus osa 1. Helsingin, Lahden, Turun, Vantaan ja Espoon maankäyttösektorin kasvihuonekaasupäästöt, hiilinielut ja hiilivarastot. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 9/2014.

RT, 2020. Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035. Osa 1. Rakennetun ympäristön hiilielinkaaren nykytila. Saatavilla: [https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/ymparisto-ja-energia/vaha-hiili\\_seminaaries/raportit\\_lopulliset/rt-raportti-1\\_rakennetun-ympariston-hiilielinkaaren-nykytila\\_final.pdf](https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/ymparisto-ja-energia/vaha-hiili_seminaaries/raportit_lopulliset/rt-raportti-1_rakennetun-ympariston-hiilielinkaaren-nykytila_final.pdf)

RTT, 2018. Kestävän rakentamisen standardit luovat yhdenmukaiset pelisäännöt. Verkko-julkaisu. Saatavilla: <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Rakentaminen-ja-vaaralliset-aineet/CENCT-350-Kestava-rakentaminen/>.

Teittinen, 2019. Uusiomaarakentamisen ympäristövaikutusindikaattorit ja päästölaskenta tie- ja katurakentamisessa. Diplomityö. Aalto-yliopisto.

Ympäristöministeriö, 2019a. Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä. Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:22.

Ympäristöministeriö, 2019b. Johdatus rakennusten elinkaariarviointiin.

## **Standardit**

*EN 15643 Sustainability of construction works – Sustainability assessment of buildings*

*EN 15978 Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method.*

*EN 15804 Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products.*

ISO 14040. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet.

ISO 14044 Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja suuntaviivoja.