

samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Satakunta University of Applied Sciences

MELISSA LAINOJA

# **Selvitys betonielementin ympäris- töselosteen (EPD) laatimisproses- sista**

RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIIKAN TUTKINTO-  
OHJELMA  
2025

## TIIVISTELMÄ

Lainoja, Melissa: Selvitys betonielementin ympäristöselosteen (EPD) laatimisprosessista

Opinnäytetyö, AMK

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Marraskuu 2025

Sivumäärä: 45

Rakennusala aiheuttaa merkittävän osan maailmanlaajuisesta energiankulutuksesta ja kasvihuonepäästöistä, minkä vuoksi alan toimijoilla on keskeinen rooli kestäväen kehityksen edistämiseksi. Rakennusten käytönaikaista energiatehokkuutta on kehitetty pitkään, mutta viime vuosina on alettu kiinnittää yhä enemmän huomiota myös rakennusmateriaalien elinkaariaikaisiin ympäristövaikutuksiin. Näiden vaikutusten arvioimiseksi käytetään ympäristöselosteita eli EPD:tä (Environmental Product Declaration), jotka esittävät tuotteen ympäristövaikutukset standardoidulla tavalla ja kolmannen osapuolen varmistamana.

Tässä opinnäytetyössä selvitettiin EPD-prosessin vaiheet ja elinkaariarvioinnissa (LCA) tarvittavat lähtötiedot ja laskentamenetelmät sekä arvioitiin elinkaariarvioinnin luotettavuutta ja vertailukelpoisuutta. Työssä toteutettiin toimeksiantona elinkaariarviointi valitulle betonielementille standardien mukaisesti. Varsinainen EPD-ympäristöseloste on toimeksiantajayrityksen luottamuksellista aineistoa, eikä sitä julkaista tämän työn liitteissä.

Työssä kuvattujen menetelmien ja yleistettyjen tulkintojen avulla todettiin, että EPD ei ole pelkästään tekninen asiakirja, vaan konkreettinen työkalu vastuullisemman rakentamisen edistämiseen ja vähähiilisempien ratkaisujen kehittämiseen. Se tarjoaa yrityksille välineen ympäristövaikutusten hallintaan ja mahdollistaa vertailuja eri tuotteiden välillä. Lisäksi työ osoitti, että elinkaariarvioinnin tuloksia voidaan hyödyntää rakennesuunnittelussa sekä tukemaan koko rakennusalan siirtymää kohti vähähiilisempiä ratkaisuja.

Avainsanat: elinkaariarviointi, EPD, ympäristöseloste, rakennustuotteet, betonielementti, kestävä rakentaminen, rakennusala, kehdosta portille, kehdosta hautaan, GWP

## ABSTRACT

Lainoja, Melissa: Study on the Process of Creating an Environmental Product Declaration (EPD) for a Concrete Element

Bachelor's thesis

Construction and municipal engineering

November 2025

Number of pages: 45

The construction sector accounts for a significant share of global energy consumption and greenhouse gas emissions, which gives the industry's stakeholders an essential role in promoting sustainable development. While improving the operational energy efficiency of buildings has long been a focus, in recent years increasing attention has also been paid to the life cycle environmental impacts of construction materials. To assess these impacts, Environmental Product Declaration (EPDs) are used to present a product's environmental impacts in a standardized and third-party verified format.

This thesis examined the stages of the EPD process, and the input data and calculation methods required for life cycle assessment (LCA). The reliability and comparability of the assessment results were also evaluated. As a commissioned work, a life cycle assessment was conducted for a selected concrete element in accordance with applicable standards. The actual EPD document constitutes confidential material owned by the commissioning company and is therefore not published in the thesis.

Based on the methods applied and generalized interpretations, it was concluded that an EPD is not merely a technical document but a practical tool for promoting more sustainable construction and for supporting the development of low-carbon solutions. It provides companies with a means to manage environmental impacts and enables comparisons between products. Furthermore, the study demonstrated that life cycle assessment results can be utilized in structural design and in supporting the construction sector's transition towards more sustainable practices.

Keywords: life cycle assessment, environmental product declaration, EPD, construction products, concrete element, sustainable construction, construction industry, cradle-to-gate, cradle-to-grave, GWP

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	7
2 OPINNÄYTETYÖN TAUSTA JA TAVOITE .....	9
2.1 Tarkoitus, tavoitteet ja tutkimuskysymysten rajaus .....	9
2.2 Tutkimusmenetelmät .....	9
3 BETONIN OMINAISUUDET JA YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET .....	11
3.1 Betoni rakennusmateriaalina .....	11
3.2 Betonin osa-aineet .....	11
3.2.1 Sementti .....	12
3.2.2 Kiviaines ja vesi .....	13
3.2.3 Lisäaineet ja seosaineet .....	13
3.3 Betonielementtien valmistus ja tuotannonsuunnittelu .....	14
3.4 Betonin ympäristövaikutukset .....	15
3.4.1 Vähähiilinen betoni .....	16
3.4.2 BY-Vähähiilisyysluokitus .....	17
4 ELINKAARIARVIOINTI (LCA) .....	18
4.1 Yleistä .....	18
4.2 Standardit ja säännöt .....	19
4.3 Informaatiomoduulit .....	19
4.4 LCA-laskenta .....	21
4.5 Epävarmuustekijät .....	22
5 EPD-YMPÄRISTÖSELOSTE .....	23
5.1 Yleistä .....	23
5.2 Miksi investoida ympäristöselosteeseen .....	23
5.3 Laadintaprosessi .....	25
6 RAKENNESUUNNITTELIJA VÄHÄHIILISESSÄ RAKENTAMISESSA .....	27
6.1 Ympäristöselosteiden käyttö suunnitteluprosessissa .....	27
7 CASE-ESIMERKKI .....	29
7.1 Kuvaus .....	29
7.2 Elinkaariarvioinnin rajaus .....	30
7.3 Inventaarioanalyysi ja laskentaprosessi .....	31
7.4 Varsinainen elinkaariarviointi .....	34
7.5 Tulosten analysointi ja johtopäätökset .....	35
7.5.1 Tulosten luotettavuus ja epävarmuustekijät .....	35
7.5.2 Tulokset ja niiden analysointi .....	36
7.5.3 Johtopäätökset ja jatkotoimenpiteet .....	37

8 YHTEENVETO.....	39
LÄHTEET.....	41
LIITTEET .....	44

## TERMI- JA LYHENNELUETTELO

### **EPD**

Ympäristöseloste. Rakennustuotteelle tai palvelulle laadittu dokumentti, joka perustuu tuotteen elinkaariarviointiin sen ympäristövaikutusten perusteella.

### **GWP**

Lämmityspotentiaali, joka mittaa kaasun aiheuttamaa lämmitysvaikutusta.

### **Hiilijalanjälki**

Rakennushankkeen aikaiset elinkaaren ilmastopäästöt.

### **Hiilikädenjälki**

Rakennushankkeen aikaiset elinkaaren potentiaaliset ilmastohyödyt.

### **Hydrataatio**

Sementin ja veden välinen reaktio.

### **Karbonatisoituminen**

Hiilidioksidin ja sementtipastaan sisältyvän kalsiumhydroksidin välinen reaktio.

### **LCA**

Elinkaariarviointi. Rakennustuotteelle tai palvelulle lasketut ympäristövaikutukset koko sen elinkaaren ajalta.

### **PCR**

Product Category Rules. EPD:n laadintaan määritellyt rajaukset ja vaatimukset tuotekohtaisesti.

### **Sivuvirta**

Teollisuuden tuotannossa syntyviä sivumateriaaleja, jotka eivät päädy varsinaisiin päätuotteisiin.

## 1 JOHDANTO

Rakennusala on yksi merkittävimmistä ilmastonmuutoksen hillintää vaikuttavista sektoreista. Rakennusten ja rakentamisen osuus globaalista energiankulutuksesta ja kasvihuonekaasupäästöistä on huomattava, minkä vuoksi alan toimijoilla on keskeinen rooli kestävän kehityksen edistämässä. Rakennusten energiatehokkuuden parantaminen ja uusiutuvan energian käyttö ovat jo pitkään olleet keskustelun ytimessä, mutta yhä enemmän huomiota kiinnitetään myös rakennusmateriaalien ja -tuotteiden elinkaarenaikaisiin ympäristövaikutuksiin.

Jotta suunnittelijat, rakentajat ja tilaajat voivat tehdä kestäviä ja tietoon perustuvia valintoja, tarvitaan luotettavaa ja vertailukelpoista tietoa rakennustuotteiden ilmastovaikutuksista. Tähän tarpeeseen vastaavat ympäristöselosteet eli EPD:t (Environmental Product Declaration), jotka esittävät tuotteen elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset standardoidulla tavalla. EPD:n avulla eri tuotteiden ympäristövaikutuksia voidaan verrata keskenään avoimesti ja yhdenmukaisesti, mikä tukee vihreää siirtymää rakennusosalalla ja kannustaa materiaali-toimittajia kehittämään entistä vähäpäästöisempiä ratkaisuja.

Tämän opinnäytetyön päätavoitteena on selvittää, millainen prosessi ympäristöselosteen laatiminen vaatii ja tuottaa valitulle betonielementille alustava, suuntaa antava ympäristöseloste. Työssä perehdytään erityisesti EPD:n laadintavaiheisiin, tarvittaviin lähtötietoihin ja laskentamenetelmiin sekä siihen, millaiset tekijät vaikuttavat laskennan luotettavuuteen ja vertailukelpoisuuteen. Lisäksi tarkastellaan, miten ympäristöselosteet kytkeytyy rakennesuunnitteluun ja millaisia mahdollisuuksia se tarjoaa suunnittelun ympäristötehokkuuden parantamiseen.

Työn lähtökohtana on osoittaa, että ympäristöselosteen laatiminen ei ole pelkkä tekninen laskentatehtävä, vaan kokonaisvaltainen prosessi, joka edellyttää kattavaa tiedonkeruuta, prosessien ymmärrystä ja huolellista menetelmävalintaa. Työ pyrkii myös tuomaan esiin, kuinka EPD toimii paitsi tuotekohdaisesti läpinäkyvyyden välineenä myös tärkeänä työkaluna, joka tukee vähähiillistä rakentamista ja rakennusalan siirtymää kohti kestävämpiä ratkaisuja.

## 2 OPINNÄYTETYÖN TAUSTA JA TAVOITE

### 2.1 Tarkoitus, tavoitteet ja tutkimuskysymysten raja

Toimeksiantajana toimi Oripään Elementti Oy, joka valmistaa betonisia rakennuselementtejä. Yritys on kiinnostunut selvittämään, mitä ympäristöseloste tarkoittaa ja millaisia hyötyjä ja kustannuksia sen laatiminen voisi tuoda yritykselle. Tämän työn tarkoituksena oli tarjota toimeksiantajalle käytännön tietoa ympäristöselosteen rakenteesta, sisällöstä ja merkitysestä sekä laatia alustava elinkaariarviointi valitusta betonielementistä.

Opinnäytetyön tavoitteena oli auttaa toimeksiantajaa ymmärtämään ympäristöselosteen merkitys sekä tarjota pohja mahdollisen ympäristöselosteen laatimiselle. Koska opinnäytetyö on julkinen, sen tuottama tieto voi hyödyttää myös muita rakennusalan toimijoita, jotka ovat kiinnostuneita ympäristöselosteiden laatimisesta ja niiden merkityksestä.

Tutkimus rajattiin käsittelemään vai elinkaariarvioinnin moduuleja A1-A3, jotka kattavat tuotteen valmistuksen vaiheet. Muita vaiheita eli tuotteen käyttöä ja loppusijoitusta ei sisällytetty tarkasteluun, sillä työn painopiste on tuotteen valmistusvaiheen ympäristövaikutusten ymmärtämisessä. Opinnäytetyössä EPD-pohjaa ei kuitenkaan julkaista sellaisenaan, sillä se ei ole kolmannen osapuolen verifioima. Sen sijaan työssä esitetään ainoastaan laskentojen tulokset, joiden perusteella ympäristöseloste voidaan koostaa.

### 2.2 Tutkimusmenetelmät

Opinnäytetyö toteutettiin yhdistämällä kirjallisuuskatsaus ja käytännön dokumentointi. Työn viitekehystenä toimivat eurooppalaiset ja kansainväliset standardit sekä alan ohjeistukset.

Elinkaariarvioinnin (LCA) tietopohja rakennettiin ensisijaisesti toimeksiantajalta saatujen lähtötietojen ja betonin toimittajan tietojen pohjalta, joita täydennettiin tarpeen mukaan julkisista lähteistä, kuten ympäristötietokannoista, tilastoista ja aiemmista tutkimuksista. Laskennallinen osuus toteutettiin OpenLCA-ohjelmistolla käyttäen alan yleisesti hyväksytyjä menetelmiä ja tietokantoja (GreenDelta GmbH, 2025).

Tulokset raportoitiin voimassa olevien standardien mukaisesti ja niissä esitettiin betonielementin elinkaaren keskeiset vaiheet, niihin liittyvät materiaalivirrat ja merkittävimmät ympäristövaikutusluokat. Lopuksi laskennan tuloksia arvioitiin vertaamalla niitä saman tuotekategorian vertailukelpoisiin ympäristöselosteisiin. Vertailu alan EPD-arvoihin mahdollisti tulosten realistisuuden ja suurusluokan arvioinnin.

## 3 BETONIN OMINAISUUDET JA YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

### 3.1 Betoni rakennusmateriaalina

Betoni on maailman käytetyin rakennusmateriaali, jota tuotetaan arviolta noin 13 miljardia kuutiometriä vuosittain. Sen suosiota selittää monikäyttöisyys, sillä betonia voidaan hyödyntää niin suurten rakennuselementtien, kuten siltojen ja kantavien rakenteiden, kuin myös pihakivien ja laattojen valmistuksessa. (Betoni, n.d.)

Betonirakenteet suunnitellaan kestäväksi vuosikymmeniä: nykyiset normit ohjaavat rakennusten suunnittelua yleensä 50 tai 100 vuoden käyttöiälle. Käyttöään päättyessä betonin uudelleenkäyttö ja kierrätys nousevat keskeiseen rooliin ympäristövaikutusten minimoimisessa. Kierrätyksessä betoni voidaan murskata ja hyödyntää esimerkiksi maarakentamisessa tai uusien betonituotteiden runkoaineena. (Ympäristöministeriö, n.d.).

Betonin merkittäviä etuja ovat sen lujuus, palonkestävyys sekä muunneltavuus muottien avulla. Toisaalta sen valmistus, erityisesti sementin tuotanto aiheuttaa huomattavan osan globaaleista hiilidioksidipäästöistä. Näin ollen betoni tarjoaa sekä välttämättömiä rakennusteknisiä hyötyjä että suuria haasteita kestävä kehityksen näkökulmasta.

### 3.2 Betonin osa-aineet

Betoni valmistetaan pääasiassa sementistä, vedestä ja kiviaineksesta ja sen ominaisuuksia voidaan muokata erilaisilla seos- ja lisäaineilla (Betoni, n.d.). Betoni voidaan valmistaa joko työmaalla betonimyllyllä, siirrettävällä betoniasemalla tai teollisesti valmisbetoniasemilla. Elementtiteollisuudessa käytetään yleensä valmisbetonia, joka kuljetetaan betoniasemilta tuotantoon. Tämä nopeuttaa merkittävästi betonielementtien valmistusta ja varmistaa tasalaatuisuuden. (Betoni, n.d.)

Betonin osa-aineet määrittää betonin valmistaja siten, että se säätää betonin reseptin täyttämään sekä lujuus- että säilyvyysvaatimukset. Suunnitelmissa esitetyt tekijät kuten rakenteen käyttöikä, rasitusluokka sekä esitetty lujuusluokka ovat lähtökohtana, joiden perusteella betonin koostumus määritetään. (Finnsementti, n.d.).

### 3.2.1 Sementti

Sementti, joka valmistetaan pääosin kalkkikivestä, toimii betonin tärkeimpänä sideaineena. Sen hydrataatioreaktion seurauksena sementti ja vesi sitoutuvat kiinteäksi rakenteeksi. Sementin laatu ja annostelu vaikuttavat merkittävästi betonin lujuuteen, kestävyYTEEN ja käyttöominaisuuksiin. Koska sementin valmistus on betonin suurin yksittäinen ympäristökuormituksen aiheuttaja, siihen liittyviä päästöjä käsitellään tarkemmin luvussa 3.4.

Käytettävän sementin täytyy olla CE-merkitty ja täyttää standardin SFS-EN 197-1 *Sementti. Osa 1: Tavallisten sementtien koostumus, laatuvaatimukset ja vaatimustenmukaisuus* asetettuja vaatimuksia. Standardointi varmistaa sementin tasalaatuisuuden ja turvallisen käytön eri rakenteissa. Näin voidaan varmistaa, että sementti täyttää sekä tekniset, että ympäristöön liittyvät vaatimukset riippumatta sen valmistuspaikasta. (SFS-EN 197-1, 2012). Sementit määritellään standardin mukaisesti viiteen päälajiin koostumuksen perusteella:

CEM I Portland sementti

CEM II Portlandseossementti

CEM III Masuunikuonaseimentti

CEM IV Pozzolaaniseimentti

CEM V Seossementti

(BetonitekniiKAN oppikirja by 201 2018, 29)

Sementtilajit eroavat erityisesti sideaineen koostumuksen, ominaisuuksien ja käyttökohteiden perusteella. Esimerkiksi masuunikuonaseimentit (CEM III) ja seossementit (CEM V) sisältävät merkittävästi teollisuuden sivutuotteita, mikä

vähentää neitseellisten raaka-aineiden tarvetta ja pienentää valmistuksen hiilijalanjälkeä.

Kestävän rakentamisen ohella on tuotu markkinoille myös vähähiilisiä sementti- ja betonituotteita, joissa pyritään pienentämään hiilidioksidipäästöjä esimerkiksi vaihtoehtoisten sideaineiden avulla ja näitä käsitellään tarkemmin kohdassa 3.4.1.

### 3.2.2 Kiviaines ja vesi

Kiviaineksella tarkoitetaan hiekkaa, soraa ja kalliomurskettä, joita käytetään betonin runkoaineena. Kiviaineksen osuus betonin tilavuudesta on keskimäärin 70 %. Rakeisuusjakauma vaihtelee hienosta hiekasta karkeaan soraan ja murskeeseen, ja se vaikuttaa betonin tiiviyyteen, lujuuteen ja työstettävyyteen. (Betonitekniikan oppikirja by 201 2018, 43). Joissakin tapauksissa voidaan hyödyntää myös murskattua betonia uudelleen runkoaineena, mikä edistää materiaalien kierrätystä ja vähentää luonnon kiviaineksen tarvetta.

Betonin valmistuksessa käytettävän veden tulee olla puhdasta ja haitta-aineista vapaata. Esimerkiksi humuspitoiset vedet suosta tai järvestä voivat häiritä sementin hydrataatiota ja heikentää betonin ominaisuuksia. Tarvittaessa voidaan käyttää myös muuta vettä, jos sen soveltavuus on varmistettu standardien mukaisin testein. Veden määrä suhteessa sementtiin eli vesi-sementtisuhte on betonin lujuuden ja kestävyuden kannalta ratkaiseva tekijä. (Betonitekniikan oppikirja by 201 2018, 59).

### 3.2.3 Lisäaineet ja seosaineet

Betoni ominaisuuksia voidaan muokata erilaisilla lisä- ja seosaineilla. Kemiallisilla lisäaineilla, kuten notkistimilla, hidastimilla ja kiihdyttimillä voidaan vaikuttaa esimerkiksi massan työstettävyyteen, kovettumisnopeuteen tai pakkasenkestävyyteen (Betonitekniikan oppikirja by 201 2018, 60). Mineraalisilla seosaineilla, kuten masuunikuonalla, lentotuhkalla ja silikalla voidaan

puolestaan parantaa betonin lujuutta ja tiivyyttä sekä pienentää sementin tarvetta, mikä vähentää valmistuksen hiilidioksidipäästöjä. Enimmäismäärän seosainetta määrittelee käytettävän sementin seosainemäärät sekä betonirakenteen rasitusluokka (Betonitekniikan oppikirja by 201 2018, 58).

Lisä- ja seosaineiden käyttö on yleistynyt erityisesti vähähiilisessä rakentamisessa, sillä niiden avulla voidaan saavuttaa parempi ympäristösuorituskyky ilman, että rakenteiden laatu heikkenee. Näiden aineiden osuus on kuitenkin pieni verrattuna betonin pääraaka-aineisiin.

### 3.3 Betonielementtien valmistus ja tuotannosuunnittelu

Betonielementtejä käytetään monipuolisesti asuinrakennuksissa, teollisuushalleissa, maatalousrakennuksissa ja infrarakentamisessa. Elementit valmistetaan valmisbetonista, joka mahdollistaa teollisen mittakaavan valmistuksen tehokkaasti. Elementtirakentamisen osuus voi olla runkorakenteissa merkittävä, jopa noin 80 % asuinkerrostalossa. (Betonitieto, n.d.)

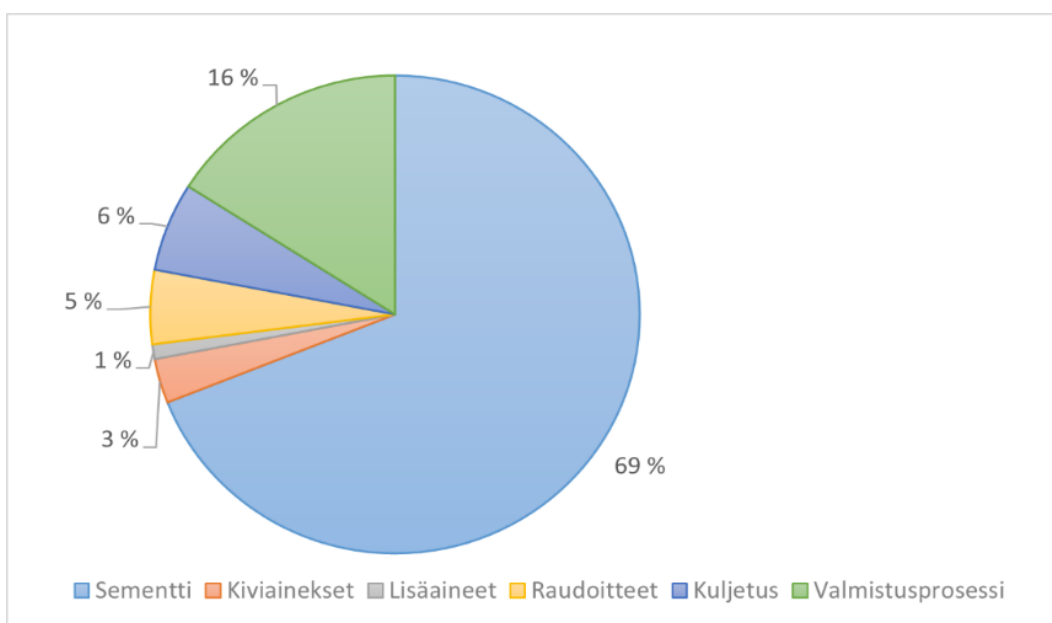
Betonielementit suunnitellaan rakennesuunnittelijan toimesta asiakkaan vaatimusten ja kohteen erityispiirteiden mukaisesti. Suunnitelmien pohjalta laaditaan elementtipiirustukset, jotka toimivat tuotannon työohjeina. (Suomen betoniyhdistys ry, 2018)

Tuotannon suunnittelu ja aikataulutus vaikuttavat materiaalitehokkuuteen ja valmistusprosessin optimointiin, mikä voi vähentää hukkamateriaalia ja tehostaa resurssien käyttöä. Näillä ratkaisuilla on suora yhteys tuotteen elinkaaren aikaisiin ympäristövaikutuksiin ja EPD-selosteessa esitettävään tietoon.

### 3.4 Betonin ympäristövaikutukset

Betoniteollisuuden ympäristövaikutukset ovat nousseet viime vuosina keskeiseksi keskustelunaiheeksi. Valtioneuvoston tavoite tehdä Suomesta hiili-neutraali vuoteen 2035 mennessä lisää painetta tarkastella rakennusmateriaalien ilmastovaikutuksia entistä huolellisemmin. Betoniteollisuudessa on julkaistu useita eri toimijoiden laatimia betonituotteiden ympäristöselosteita. (Elementtisuunnittelu, 2022.) Nämä selosteet muodostavat tärkeän vertailupohjan, sillä ne mahdollistavat tuotteiden ympäristövaikutusten tarkastelua silloin, kun ilmoitettu yksikkö, rajaukset ja laskentasäännöt vastaavat toisiaan.

Suurin yksittäinen betonin hiilijalanjäljen aiheuttaja on sementti ks. kuva 1. Eli valtaosa betonin ilmastovaikutuksista syntyy jo valmistusvaiheessa. Seosaineita on käytetty betoni valmistuksessa jo pitkään, mutta viime vuosina niiden rooli on korostunut erityisesti ympäristövaikutusten näkökulmasta. Teollisuuden sivuvirtojen hyödyntäminen, kuten masuunikuonan, lentotuhkan, kalkkikivijauheen ja silikan käyttö, vähentää neitseellisen sementin tarvetta ja siten pienentää tuotannon päästöjä. (Moolchandani, 2025) Tutkimusten mukaan seosaineiden käytöllä voidaan vähentää betonin hiilidioksidipäästöjä parhaimmillaan jopa 90 % verrattuna perinteiseen sementtiin. (Suomen betoniyhdistys ry, 2018.)



Kuva 1. Tyypillinen betonielementin CO<sub>2</sub> päästöjen jakautuminen. Mukailtu lähteestä Betonitekniikan oppikirja by 201 2018, 147.

Ympäristövaikutusten tunnistaminen ja vähentäminen onkin keskeinen osa betonielementtien suunnittelua ja tuotantoa. Elinkaariarviointi ja ympäristöselosteet tarjoavat konkreettisia työkaluja, joilla voidaan mitata ja viestiä betonituotteiden ilmastovaikutukset läpinäkyvästi. Niiden avulla suunnittelijat ja valmistajat voivat tehdä tietoon perustuvia päätöksiä, jotka tukevat vähähiilisiä ratkaisuja koko rakennushankkeen elinkaaren ajan.

Betonin valmistuksessa aiheutuvat päästöt peittävät usein betonirakenteiden hiilikädenjäljen. Käytön aikana betonirakenteet toimivat kuitenkin hiilinieluna, sillä ne sitovat hiilidioksidia ilmasta karbonatisoitumisprosessin kautta. Tutkimusten mukaan rakenteisiin sitoutuu takaisin keskimäärin 5–10 % valmistusvaiheen hiilidioksidipäästöistä koko suunnitellun käyttöiän aikana. Purkuvaiheessa betonin murskaaminen kasvattaa huomattavasti karbonatisoitumattoman pinta-alan määrää, mikä nopeuttaa ja lisää hiilen sidontaa. (Xi ym., 2023).

#### 3.4.1 Vähähiilinen betoni

Markkinoille on tuotu vähähiilisiä betonilaatuja, joissa osa portlandsementistä on korvattu pienipäästöisillä seosaineilla. Näitä seosaineita on käsitelty tarkemmin luvussa 3.2.3. Vähähiiliselle betonille on tyypillistä korkea loppulujuus, mutta sen lujuudenkehitys on tavanomaista betonia hitaampaa (Betoni, n.d.). Hitaampi lujuudenkehitys voi hidastaa elementtituotantoa, sillä muottien purku viivästyy. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää tehokkaampaa lämmitystä, mikä kuitenkin lisää energiankulutusta.

Valitsemalla vähähiilisiä betonivaihtoehtoja voidaan pienentää rakennushankkeen hiilijalanjälkeä ilman, että lopputuotteen suorituskyky kärsii. Lisäksi vähähiilisen betonin käytön vaikutus näkyy suoraan tuotteen EPD:ssä, sillä sementin valmistus muodostaa merkittävän osan betonin elinkaaren aikaisista päästöistä. Näin materiaalivalinnoilla voidaan tukea hankkeen ympäristötavoitteita ja parantaa rakennuksen vertailtavuutta esimerkiksi hiilijalanjälkilaskelmissa.

### 3.4.2 BY-Vähähiilisyysluokitus

Betonyhdistyksen BY-Vähähiilisyysluokitus on vapaaehtoinen järjestelmä, jonka tarkoituksena on vähentää betonin valmistuksessa aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä. Luokitus perustuu GWP-arvoihin, jotka sisältävät valmistusvaiheen päästöt moduuleista A1-A3. Luokitus tarjoaa tuotemerkeistä riippumattoman ja yhdenmukaisen tavan kuvata eri vähähiilisiä betonilaatuja, mikä helpottaa vertailua sekä suunnittelijoille, tilaajille että valmistajille. (Vähähiilinen betoni, n.d.)

Taulukko 1. BY-Vähähiilisyysluokituksen elementtien betonilaadut sekä BY-Vähähiilisyysluokkien raja-arvot. Yksikkö on kgCO<sub>2</sub>e/betoni-m<sup>3</sup>. (Betonyhdistys ry, n.d.)

Tuoteryhmä	Betoni	GWP.REF	GWP.85	GWP.70	GWP.55	GWP.40
Muut elementit <sup>2</sup>	C30/37	290	245	205	160	115
	C30/37 huokostettu	310	265	215	170	125
	C35/45	320	270	225	175	130
	C35/45 huokostettu	340	290	240	185	135
	C40/50	350	300	245	195	140

GWP-luokilla on viisi tunnusta: GWP.REF, GWP.85, GWP.70, GWP.55 ja GWP.40. Näitä tunnuksia voidaan käyttää ainoastaan silloin, kun betoni täyttää BY-Vähähiilisyysluokituksen mukaiset vaatimukset. On kuitenkin huomiotava, että luokitus koskee vain betonia, ei valmiita betonielementtejä tai niiden osia, kuten raudoituksia. Tämän vuoksi koko rakennetta ei voida luokitella GWP-luokkien perusteella. Rakennustuotteille onkin kehitetty laajempia ympäristöselosteita, joita käsitellään tarkemmin luvussa 5. (Vähähiilinen betoni, n.d.)

Tässä opinnäytetyössä tarkastelun kohteena on seinäelementtirakenne. BY-Vähähiilisyysluokituksen taulukon 1 perusteella seinäelementit kuuluvat tuoteryhmään *muut elementit*. Tämän perusteella voidaan määrittää elementissä käytettävän betonin laatu ja siihen liittyvä GWP-arvo.

## 4 ELINKAARIARVIOINTI (LCA)

### 4.1 Yleistä

Elinkaariarviointi (LCA) on menetelmä, jolla arvioidaan tuotteen tai palvelun ympäristövaikutukset sen koko elinkaaren ajalta. Se kattaa kaikki vaiheet raaka-aineiden hankinnasta, tuotannosta, käytöstä aina hävittämiseen tai kierrätykseen saakka. (European Commission, n.d.)

LCA:n avulla voidaan tunnistaa merkittävimmät päästölähteet ja ympäristövaikutukset tuotantoketjun jokaisessa vaiheessa, mikä mahdollistaa tehokkaiden päästövähennystoimien suunnittelun ja kohdentamisen. Lisäksi elinkaariarviointi toimii tärkeänä työkaluna tuotesuunnittelussa ja valmisteluprosessien kehittämisessä, koska sen avulla voidaan löytää konkreettisia keinoja materiaallivalintojen, energiatehokkuuden ja kierrätettävyyden parantamiseen. (Barbhuiya & Das, 2023). Yrityksille LCA tarjoaa myös mahdollisuuden vastuullisuusviestinnän ja ympäristötuoteselosteiden kautta osoittaa tuotteidensa ympäristövaikutukset läpinäkyvästi ja vertailukelpoisesti, mikä voi vahvistaa brändiä ja tarjota kilpailuetua nykypäivän liiketoimintaympäristössä.

Ilmastovaikutusten lisäksi LCA kattaa myös muita ympäristövaikutuksia, kuten vesistökuormitusta ja luonnonvarojen kulutusta. Sen hyödyntäminen tukee erityisesti tulevaisuuden hiilineutraaliustavoitteiden saavuttamista tarjoamalla kokonaisvaltaisen näkemyksen tuotteen tai palvelun ympäristövaikutuksista. (BM Certification, 2025). Yhteiset laskentasäännöt on määritelty eurooppalaisissa SFS-EN-standardeissa ja varsinainen elinkaariarviointi suoritetaan LCA-laskentaan tarkoitetulla työkalulla.

## 4.2 Standardit ja säännöt

Elinkaariarviointia ohjaavat useat kansainväliset standardit, joista keskeisemmät ovat ”Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja suuntaviivoja SFS-EN ISO 14044:2006 + A1:2018 + A2+2020” ja ”Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet. SFS-EN ISO 14040:2006 + A1:2006” (ISO 14040, 2006; ISO 14044, 2006). Näissä standardeissa määritellään elinkaariarvioinnin periaatteet, vaatimukset ja menetelmät, jotka varmistavat laskennan johdonmukaisuuden ja vertailukelpoisuuden. Rakennustuotteiden elinkaariarvioinnissa kulmakivenä toimii lisäksi eurooppalainen standardi ”Kestävä rakentaminen. Rakennustuotteiden ympäristöselosteet. Laadinnan yleissäännöt. SFS-EN 15804”, joka täsmää EPD-ympäristöselosteiden sisältöä, elinkaarivaiheiden rajauksia ja raportointia rakennussektorilla (SFS EN 15804, 2012).

EN 15804 -standardi edellyttää, että elinkaariarvioinnissa käytetään selkeästi määriteltäviä toiminnallista tai ilmoitettua yksikköä, joiden avulla tuotteen materiaalivirrat ja ympäristövaikutukset normalisoidaan vertailukelpoiseen muotoon. Toiminnallinen yksikkö kuvaa tuotteen teknisen toiminnon ja viitemäärän rakennuksessa. Ilmoitettua yksikköä käytetään silloin, kun tuotteen tarkkaa toimintoa ei voida määritellä tai elinkaariarviointi rajoittuu valmistusvaiheeseen. Standardin mukaan ilmoitettu yksikkö voi perustua esimerkiksi massa (kg), tilavuuteen (m<sup>3</sup>) tai pinta-alaan (m<sup>2</sup>). Yksikön valinnan tulee perustua tuotteen käyttötarkoitukseen ja alan yleisiin käytäntöihin, jotta tulokset ovat vertailukelpoisia muiden vastaavien tuotteiden ympäristöselosteiden kanssa. (SFS EN 15804, 2012)

## 4.3 Informaatiomodulit

Elinkaariarviointi koostuu vaiheista, joita kutsutaan informaatiomoduleiksi. Ne merkitään kirjaimilla A-D, kuten kuvassa 2 on havainnollistettu. Moduulit A1-A3 kattavat tuotevaiheen, johon sisältyvät raaka-aineiden hankinta, kuljetus valmistuspaikalle sekä itse tuotteen valmistus. Moduulit A4-A5 kuuluvat rakentamisvaiheeseen, joka sisältää tuotteen kuljetuksen työmaalle ja

työmaatoiminnot. Käyttövaiheeseen liittyvät moduulit B1-B7 kuvaavat rakennuksen käytön ja ylläpidon aikaisia vaiheita, nämä voidaan usein jättää laskennan ulkopuolelle, mikäli perusteet ovat riittävät. Moduulit C1-C4 kattavat purkuvaiheen, joka sisältää rakennuksen purkamisen, jätteiden kuljetukset, käsittelyn ja loppusijoituksen. Vaihe D puolestaan tarkastelee elinkaaren jälkeisiä mahdollisia hyötyjä tai haittoja. (SFS-EN 15804:2012 + A2:2019. 18)



Kuva 2. Rakennustuotteen elinkaariarvioinnin vaiheet. Mukailtu lähteestä Anavitor (2024).

Elinkaariarviointi voidaan toteuttaa usealla eri rajausvaihtoehdolla riippuen tarkastelun tavoitteesta ja laajuudesta. Yleisimmin käytetyt rajaukset ovat cradle-to-gate (kehdosta portille) ja cradle-to-grave (kehdosta hautaan). (European Commission 2013/179/EU) Näitä rajauksia voidaan myös soveltaa, erityisesti cradle-to-gate vaihtoehtoa, joka on käytännössä yleisin lähestymistapa elinkaariarvioinneissa.

Cradle-to-gate rajauksessa tarkastelu kattaa tuotteen elinkaaren vaiheet raaka-aineiden hankinnasta ja tuotantoprosessista tehtaan portille saakka. Tässä rajauksessa tulee vähintään huomioida A1-A3 moduulit, jotka käsittelevät raaka-aineiden tuotannon, kuljetukset ja valmistuksen. Usein arviointiin voidaan kuitenkin sisällyttää myös A4-A5 moduulit (kuljetus rakennuspaikalle ja asennus) sekä C moduulit (käyttöään jälkeinen käsittely ja kierrätys), mikäli tietoa on saatavilla.

Cradle-to-grave rajauksessa tarkastelu kattaa tuotteen koko elinkaaren aina raaka-aineiden hankinnasta käytön ja ylläpidon kautta loppukäsittelyyn tai kierrätykseen. Tämä rajaus perustuu usein useampiin oletuksiin, sillä tuotteen käytön ja elinkaaren loppuvaiheiden osalta tarkkaa tietoa on harvemmin saatavilla. A1-A3 moduuleihin sisältyvä tieto on yleensä luotettavinta, sillä se perustuu konkreettisiin ja mitattavissa oleviin valmistusvaiheisiin. (European Commission 2013/179/EU)

#### 4.4 LCA-laskenta

LCA-laskenta ei ole varsinaista yksittäistä laskutoimitusta, vaan kokonaisvaltaista arviointia, jossa tarkastellaan tuotteen tai palvelun ympäristövaikutuksia sen koko elinkaaren ajalta. Laskentaa varten on kehitetty erillisiä ohjelmistoja, jotka perustuvat kansainvälisiin standardeihin ja asetuksiin. LCA:n voi toteuttaa joko yritys itse hyödyntämällä käytettävissä olevia työkaluja tai se voidaan teettää ulkopuolisella asiantuntijalla palveluna. Elinkaariarvio on usein työläs prosessi, sillä se vaatii tiedon keruuta koko sen tuotteen elinkaaren ajalta. (Ecobio, 2025).

LCA koostuu neljästä keskeisestä vaiheesta:

1. **Tavoitteen ja rajauksen määrittäminen**, jossa määritellään analyysin tarkoitus, tarkasteltava järjestelmä ja sen rajat.
2. **Inventaarioanalyysi (Life Cycle Inventory, LCI)**, jossa kerätään tiedot kaikkien järjestelmään kuuluvien syötteiden ja tuotosten määristä, kuten energian kulutus ja päästöt.
3. **Vaikutusten arviointi (Life Cycle Impact Assessment, LCIA)**, jossa inventaarion tiedot muunnetaan ympäristövaikutuksiksi, kuten ilmastonmuutokseksi, happamoitumiseksi tai rehevöitymiseksi.
4. **Tulosten tulkinta**, jossa analyysin löydökset arvioidaan, jaetaan merkityksellisiksi havainnoiksi sekä tehdään suosituksia. (European Comissio, n.d.)

Laskenta perustuu toiminalliseen yksikköön, jonka tarkoituksena on kuvata tuotteen tarjoama toiminto selkeällä ja mitattavalla tavalla. Toiminnallinen yksikkö voi tuotteen mukaan olla esimerkiksi kilogramma, yksi kappale tai yksi neliömetri tuotetta. Ilman asianmukaisesti määriteltyä toiminnallista yksikköä elinkaariarvioinnin tulokset voivat olla epäluotettavia tai harhaanjohtavia. Vertailu eri tuotteiden välillä on mahdollista ainoastaan silloin, kun laskennassa käytetään samaa toiminnallista yksikköä ja yhteneviä rajauksia. (Ecobio, 2025).

#### 4.5 Epävarmuustekijät

Elinkaariarviointiin liittyy aina epävarmuustekijöitä, sillä laskennan tulokset perustuvat keskimääräisiin prosessitietoihin ja oletuksiin. Esimerkiksi ELCD-tietokannan tiedot kuvaavat yleisiä keskiarvoja, mikä voi vaikuttaa yksittäisen rakennusmateriaalin arviointiin. Epävarmuudet on tärkeää tunnistaa ja esittää avoimesti, jotta tulokset ovat mahdollisimman läpinäkyviä ja vertailukelpoisia muihin tutkimuksiin ja ympäristöselosteisiin.

Kokonaisvaltaisessa elinkaariarvioinnissa epävarmuus- ja herkkyysanalyysi ovat keskeisiä menetelmiä tulosten luotettavuuden arvioinnissa. Epävarmuusanalyysi keskittyy kvantifioimaan ja kuvaamaan epävarmuuksien lähteitä, joita voivat olla esimerkiksi datan laatu, mittausvirheet, parametri- ja mallioletukset. Yleisesti käytetty menetelmä on Monte Carlon -simulaatio, jonka avulla epävarmuudet voidaan levittää koko malliin ja tuloksista voidaan muodostaa todennäköisyysjakaumia. Herkkyysanalyysi puolestaan tarkastelee, miten syötteiden muutokset vaikuttavat tuloksiin ja mitkä tekijät ovat vaikutuksiltaan merkittävämpiä. (Barbhuiya & Das, 2023).

## 5 EPD-YMPÄRISTÖSELOSTE

### 5.1 Yleistä

EPD eli Environmental Product Declaration on standardoitu ja todennettu-asiakirja, joka sisältää tietoa tuotteen ympäristöprofiilista standardin EN 15804 mukaisesti (SFS EN 15804, 2012). Toistaiseksi EPD:n laatiminen on vapaaehtoista, mutta yhä useammin suunnittelijat, urakoitsijat ja rakentajat hyödynnevät ympäristöselosteita rakennusmateriaalien valinnassa, sillä elinkaaren seuranta ja ympäristövaikutusten huomioiminen korostuvat vuosi vuodelta entistä enemmän (Rakentaja.fi, 2025). EPD perustuu elinkaariarviointiin, jonka avulla arvioidaan tuotteen ympäristövaikutuksia sen elinkaaren eri vaiheissa avoimesti ja vertailukelpoisesti. Näitä hyödynnetään erityisesti yritysten välisessä viestinnässä ja ympäristövaikutusten vertailussa. Kenellä tahansa on oikeus laatia EPD tuotteelleen, mutta verifiointi tapahtuu kolmannen osapuolen toimesta. (Mercader-Moyano & Porras-Pereira, 2025)

EPD-ympäristöselosteet määritellään ISO-standardin mukaisiksi ympäristömerkeiksi. Kansainvälinen ISO-standardointijärjestö jakaa ympäristömerkit kolmeen tyyppiin: Tyypin I ympäristömerkki on Joutsenmerkki, Tyypin II merkki on valmistajan oma ilmoitus ympäristöväittämistä ja Tyypin III ympäristömerkki on EPD, joka pohjautuu kattavaan elinkaariarviointiin. (SFS-EN ISO 14025, 2010)

### 5.2 Miksi investoida ympäristöselosteeseen

Ympäristöselosteet tuovat kilpailuetua rakennustuotteiden valmistajille. Kustannukset ovat keskimäärin noin 15 000 € per EPD. Kallis kustannus kuitenkin aiheuttaa kyseenalaistusta, että onko se tarpeellinen investointi rakennustuotteen valmistajalle.

OneClickLCA tarjoaa EPD- ja LCA-laskentaan liittyviä palveluja, ja niiden kautta voidaan nähdä, miksi ympäristöselosteeseen investointi on kannattava pitkällä aikavälillä:

### **1. Vastaa sääntelyyn ja standardeihin**

EPD:n avulla tuotteet täyttävät kansalliset ja kansainväliset vaatimukset, kuten YM:n vähähiilisuuden arviointimenetelmä. Se helpottaa raja-arvojen alittamista ja varmistaa kilpailukyvyn kiristyvässä sääntelyssä.

### **2. Sertifikaattipisteet asiakkaille**

Noin 70 % kansainvälisistä vihreän rakentamisen sertifikaateista (kuten LEED, BREEAM, DGNB ja Living Building Challenge) myöntää pisteitä EPD:llä varustettujen materiaalien käytöstä. Usein jo pelkkä EPD riittää pisteytykseen ilman erillisiä päästövaatimuksia tuotteille.

### **3. Vähähiilisyys ja kilpailukyky**

Yhä useammat asiakkaat haluavat valita vähähiilisiä tuotteita ja saada läpinäkyvää tietoa niiden ympäristövaikutuksista.

### **4. Sitoutuminen kestävyteen**

EPD kertoo asiakkaille ja sidosryhmille, että yrityksesi on aidosti sitoutunut kestävyteen ja läpinäkyvään raportointiin. Kolmannen osapuolen varmennettu tieto vahvistaa luottamusta ja tukee markkinointia erityisesti, kun vähähiiliset ratkaisut ovat osa ydintarjontaa.

### **5. Päästö- ja kustannussäästöt**

Päästöjen ja kustannusten vähentäminen kulkevat usein käsikädessä. LCA ja EPD auttavat tunnistamaan ilmastoraskaat materiaalit ja prosessit, jolloin päästöjä ja tuotantokustannuksia voidaan leikata.

### **6. Kestävä tuotekehitys**

Uusi sääntely tiukentuu jatkuvasti, ja yritykset, jotka tunnistavat päästövähennysmahdollisuudet ajoissa, pystyvät vastaamaan muuttuviin vaatimuksiin ja ohjaamaan tuotekehityksen kohti vähähiilisyyttä ja ekologista suunnittelua. (OneClickLCA, 2024).

### 5.3 Laadintaprosessi

EPD:n laadintaprosessi voidaan jakaa selkeisiin vaiheisiin:

#### **1. Tavoitteen ja soveltamisalan määrittely**

Selvitetään, miksi EPD laaditaan ja mitä tuotetta tai tuoteryhmää se koskee.

#### **2. Elinkaariarvioinnin (LCA) suorittaminen**

Kerätään tiedot tuotteen elinkaaresta ja lasketaan ympäristövaikutukset standardien mukaisesti.

#### **3. Tulosten raportointi standardien mukaisesti**

Tulokset esitetään yhtenäisessä muodossa hyödyntäen esimerkiksi EN 15804 ja ISO 14025 standardeja.

#### **4. Kolmannen osapuolen verifiointi**

Riippumaton taho tarkistaa, että EPD ja sen LCA täyttävät vaatimukset.

#### **5. EPD:n julkaisu ja rekisteröinti**

Hyväksytty EPD julkaistaan alan tietokannoissa ja on julkisesti saatavilla. (EPD Hub, 2022)

Julkaistu EPD on voimassa viisi vuotta, minkä jälkeen se tulee päivittää. Prosessin läpinäkyvyyttä tukee se, että kaikki vaiheet dokumentoidaan ja mahdolliset reklamaatiot käsitellään järjestelmällisesti (EPD Hub, 2022). EPD:n verifiointi ja julkaisu edellyttävät taustaraportin, johon kootaan yksityiskohtaiset tiedot elinkaariarvioinnin suorittamisesta. Taustaraporttia ei kuitenkaan tarvitse julkaista julkisesti.

Ympäristöselosteen laadintaa ohjaa ympäristövaikutuksia kuvaavat yleisindikaattorit, jotka on esitetty taulukossa 2. Nämä indikaattorit on määritelty EN 15804 standardissa. (SFS EN 15804, 2012)

Taulukko 2. Ympäristövaikutuksia kuvaavat yleisindikaattorit. (SFS-EN 15804:2006. 38).

Vaikutusluokka	Indikaattori	Yksikkö (ilmoitettuna toiminnallista tai ilmoitettua yksikköä kohti)
Ilmastonmuutos <sup>a</sup>	Vaikutuspotentiaali ilmaston lämpenemiseen, kokonaisvaikutus (GWP-total)	kg CO <sub>2</sub> ekvivalentti
Ilmastonmuutos, fossiiliset	Vaikutuspotentiaali ilmaston lämpenemiseen, fossiiliset polttoaineet (GWP-fossil)	kg CO <sub>2</sub> ekvivalentti
Ilmastonmuutos, eloperäiset	Vaikutuspotentiaali ilmaston lämpenemiseen, eloperäinen (GWP-biogenic)	kg CO <sub>2</sub> ekvivalentti
Ilmastonmuutos, maankäyttö ja maankäytön muutos <sup>b</sup>	Vaikutuspotentiaali ilmaston lämpenemiseen, maankäyttö ja maankäytön muutos (GWP-luluc)	kg CO <sub>2</sub> ekvivalentti
Otsonikato	Vaikutuspotentiaali yläilmakehän otsonikatoon (ODP)	kg CFC 11 ekvivalentti
Happamoituminen	Vaikutuspotentiaali happamoitumiseen, kertynyt ylittymä (AP)	mol H <sup>+</sup> ekvivalentti
Rehevöityminen, makea vesi	Vaikutuspotentiaali rehevöitymiseen, makeaan veteen siirtyvien ravinteiden osuus (EP-freshwater)	kg PO <sub>4</sub> ekvivalentti
Rehevöityminen, merivesi	Vaikutuspotentiaali rehevöitymiseen, meriveteen siirtyvien ravinteiden osuus (EP-marine)	kg N ekvivalentti
Rehevöityminen, maaperä	Vaikutuspotentiaali rehevöitymiseen, kertynyt ylittymä (EP-terrestrial)	mol N ekvivalentti
Valokemiallisen otsonin muodostuminen	Vaikutuspotentiaali alailmakehän otsonin muodostumiseen (POCP)	kg NMVOC ekvivalentti
Uusiutumattomien luonnonvarojen ehtyminen, mineraalit ja metallit <sup>c d</sup>	Vaikutuspotentiaali uusiutumattomien luonnonvarojen ehtymiseen, mineraalit ja metallit (ADP-minerals&metals)	kg Sb ekvivalentti
Uusiutumattomien luonnonvarojen ehtyminen, fossiiliset polttoaineet <sup>c</sup>	Vaikutuspotentiaali uusiutumattomien luonnonvarojen ehtymiseen, fossiiliset polttoaineet (ADP-fossil)	MJ, alempi lämpöarvo
Veden käyttö	Vaikutuspotentiaali veden niukkuuteen, niukkuudella painotettu veden kulutus (WDP)	m <sup>3</sup> , globaali niukkuusekvivalentti

## 6 RAKENNESUUNNITTELIJA VÄHÄHIILISESSÄ RAKENTAMISSESSÄ

Rakennesuunnittelijalla on merkittävä rooli rakennushankkeen hiilijalanjäljen pienentämisessä. Materiaalivalinnat, rakenteiden optimointi ja elinkaariajattelu vaikuttavat suoraan rakennuksen ympäristökuormitukseen. (A-Insinöörit, 2022)

Vaikka viralliset arviointimenetelmät eivät välttämättä huomioi rakennuksen elinkaarelle tärkeimpiä ympäristövaikutuksia, kuten tilojen muunneltavuutta, ilmastomuutokseen sopeutumista tai materiaalien kiertotalouden mahdollisuuksia, näillä on pitkän aikavälin merkitys etenkin rakennetun ympäristön kokonaispäästöille. Rakennesuunnittelijan tehtävä onkin löytää kokonaisvaltaisesti optimaalisia ratkaisuja, joissa yhdistyvät sekä tekniset vaatimukset että kestävyystavoitteet, hiilijalanjälki mukaan lukien.

Konkreettisia toiminta periaatteita suunnittelussa:

1. Materiaalitehokkuus ja vähähiiliset materiaalit
2. Kiertotalous ja uudelleenkäytettävyys
3. Pitkäaikaiskestävyys ja muuntojoustavuus

### 6.1 Ympäristöselosteiden käyttö suunnitteluprosessissa

Suunnittelijalla on merkittävä rooli ympäristöselosteiden hyödyntämisessä, sillä suunnittelija määrittelee rakennusmateriaaleille asetettavat tekniset ja toiminnalliset vaatimukset. Suunnitelmat laaditaan tilaajan vaatimusten mukaisesti tai niitä tukien, jolloin tilaaja voi valita eri tuotteista sellaisen vaihtoehdon, joka täyttää suunnitelmissa esitetyt vaatimukset. Näin EPD-tietoja voidaan käyttää vertailuperusteena tuotteiden ympäristövaikutusten vähentämiseksi. Ympäristöselosteita ei kuitenkaan voida hyödyntää sellaisenaan tuotteiden keskinäiseen vertailuun, vaan vertailu on tehtävä rakennushankkeen tasolla koko elinkaari huomioiden (Rakentaja.fi, 2025).

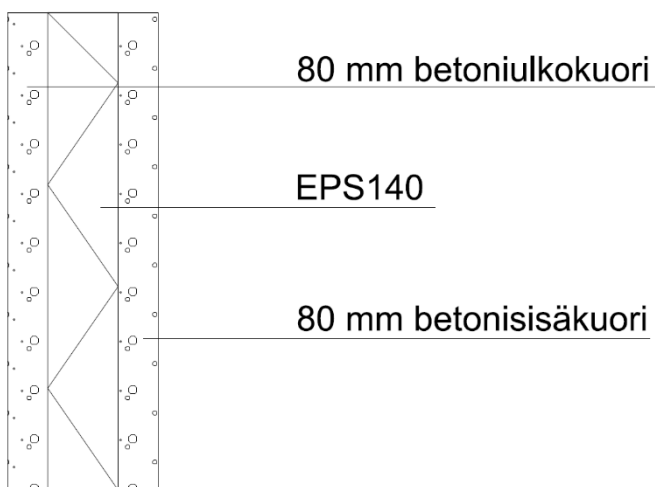
Rakennesuunnittelijan näkökulmasta EPD-tiedot vaikuttavat erityisesti materiaalmäärien optimointiin ja betonin sekä teräksen valintaan. Varhaisessa suunnitteluvaiheessa tehtävät ratkaisut, kuten elementtien mitoitus, raudoituksen määrä ja liitostapojen valinta, määrittävät käytettävien materiaalien määrän ja laadun. Näillä päätöksillä on suora vaikutus elementtien hiilijalanjälkeen ja sitä kautta koko rakennuksen elinkaaripäästöihin.

Esimerkiksi vähähiilisten betonien hyödyntäminen tai raudoituksen määrän optimointi voivat vähentää ympäristövaikutuksia merkittävästi ilman, että rakenteiden turvallisuus tai toiminnallisuus kärsivät. Suunnittelijan on kuitenkin varmistettava, että valitut tuotteet täyttävät vaatimukset lujuuden, käyttöiän ja palonkestävyyden osalta. Ympäristöselosteiden hyödyntäminen onkin osa kokonaisvaltaista suunnitteluprosessia, jossa yhdistyvät tekniset, taloudelliset ja ympäristönäkökulmat.

## 7 CASE-ESIMERKKI

### 7.1 Kuvaus

Opinnäytetyöhön sisältyi case-tutkimus, jonka tavoitteena oli syventää ymmärrystä ympäristöselosteen ja elinkaariarvioinnin periaatteista sekä laatia alustava ympäristöseloste valitulle rakennustuotteelle EN 15804 -standardin mukaisesti (SFS EN 15804, 2012). Tutkimuksen kohteena oli Oripään Elementti Oy, joka on valmisbetonielementtejä valmistava yritys. Yrityksen tuotannossa yksi yleisimmistä tuotteista on sandwich-elementti, minkä vuoksi se valittiin tarkastelun kohteeksi. Sandwich-elementti on rakenteeltaan laajasti käytetty tuote, ja sen monikerroksinen rakenne soveltuu hyvin elinkaariarvioinnin eri vaiheiden havainnollistamiseen. Kuvassa 3 on esitetty sandwich-elementin rakenne.



Kuva 3. Case-tutkimukseen valitun sandwich-elementin rakenne.

Ilmoitetuksi yksiköksi määritettiin  $1 \text{ m}^2$  sandwich-elementtiä, mikä on yleisesti käytetty yksikkö vastaavien elementtituotteiden ympäristöselosteissa ja mahdollistaa tulosten vertailun alan muihin EPD:hin. Tässä työssä esitetyt lähtötiedot ja laskelmat perustuvat havainnollistaviin esimerkkietoihin, jotka mukailevat yrityksen alkuperäisiä reseptitietoja ja tuotantoprosessin tyyppikoostumuksia. Työssä ei käytetty yrityksen tarkkoja betonireseptitietoja, sillä valmisbetonin toimittaja ilmoitti, ettei reseptikohtaisia tietoja yleensä jaeta ulkopuoliseen

käyttöön. Tämän vuoksi laskennassa käytettiin mukailevia arvoja. Nämä tiedot mahdollistavat elinkaariarvioinnin menetelmän havainnollistamisen ilman luotamuksellisten prosessitietojen paljastamista.

## 7.2 Elinkaariarvioinnin rajaus

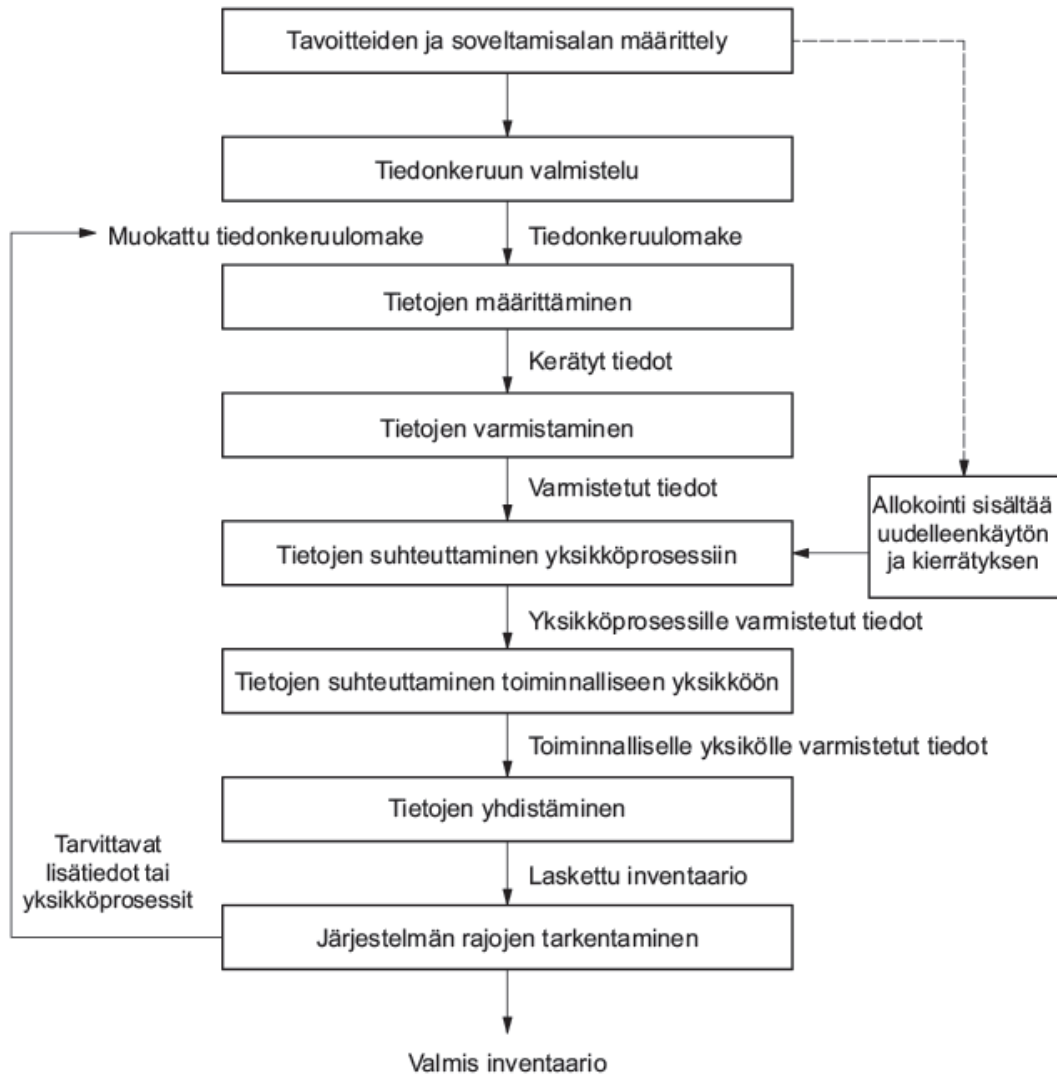
Tässä opinnäytetyössä elinkaariarviointilaskenta toteutettiin käytettävissä olleen prosessi- ja materiaalidatan sekä tietokantojen perusteella. Laskennan ensisijaisena tavoitteena oli selvittää, millaisia vaiheita ja tietotarpeita ympäristöselosteen laatiminen käytännössä edellyttää, ei tuottaa täydellistä EPD:tä. Laskenta tarjoaa yleiskuvan betonituotteen ympäristövaikutuksista, mutta yksityiskohtaisempi analyysi ja virallisen ympäristöselosteen laatiminen rajattiin työn ulkopuolelle.

Elinkaariarvioinnin laskenta suoritettiin maksuttomalla OpenLCA-ohjelmistolla, joka soveltuu elinkaariarviointien laskemiseen ja ympäristövaikutusten mallintamiseen (GreenDelta GmbH. n.d.). Laskennassa hyödynnettiin openLCA LCIA Methods 2.7.5-tietokantaa ja ELCD 3.2-tietokantaa (GreenDelta GmbH. 2025). Tietokannat sisältävät laadunvarmistettua ja eurooppalaisiin keskiarvoihin perustuvaa dataa eri materiaaleista, prosesseista ja energialähteistä. Tietokannat noudattavat ISO 14040-sarjan ja EN 15804-standardin periaatteita ja sen avulla voitiin täydentää puuttuvia prosessi- ja materiaalitietoja silloin, kun tarkkoja yksityiskohtaisia lukuja ei ollut saatavilla.

Elinkaariarviointi rajattiin Cradle-to-Gate -rajauksella, eli huomioon otettiin moduulit A1-A3. Näin varmistettiin, että oletuksia on mahdollisimman vähän ja tulokset ovat todenmukaisia. Tämä rajaus on perusteltu rakennustuotteen valmistajan näkökulmasta, sillä portin ulkopuolisista vaiheista ei yleensä ole tarkkoja tietoja saatavilla. Myös opinnäytetyön laajuus ei riittänyt kokonaisvaltaiseen ympäristöselosteen laadintaan, sillä EPD:n laadinta vaatii usein työryhmän ja paljon tiedonkeruuta.

### 7.3 Inventaarioanalyysi ja laskentaprosessi

Inventaarioanalyysi toteutettiin EN ISO 14044:2006-standardin kohdan 4.3.2 mukaisesti (ks. kuva 4). Analyysin tavoitteena oli kerätä tarvittavat lähtötiedot sandwich-elementin ympäristöselosteen laadintaa varten. Kaikkia yksityiskohtaisia tietoja ei ollut saatavilla toimeksiantajalta, minkä vuoksi laskennassa hyödynnettiin yleisiä tietokantoja ja alan keskiarvoja.



Kuva 4. Yksinkertaistetut inventaarioanalyysimenettelyt. (ISO EN 14044:2006, 23)

Toimeksiantajan erityisosaamista on pesupintainen betoni, jota käytetään usein ulkokuorien pintaratkaisuna. Tässä työssä päädyttiin kuitenkin sileään harmaaseen betonipintaan, sillä pesupinnan valmistukseen ja käsittelyyn

liittyvää prosessidataa ei ollut saatavilla tietokannoista. Ratkaisulla varmistettiin, että inventaario pysyi yhtenäisenä ja vertailukelpoisena.

Taulukko 3. Mistä lähtötiedot on saatu.

Lähtötieto	Toimeksiantajalta	Mukaileva arvo / viitearvo	Ei käytettävissä
Betoniresepti	✓		
Raudoitus	✓	✓	
Eriste	✓		
Lisäaineet	✓		✓
Kuljetusmatka	✓		
Energiankulutus		✓	
Prosessitiedot		✓	

Taulukossa 3 esitetään, mistä elinkaariarvioinnissa käytetyt lähtötiedot on saatu. Rajauksen tavoitteena oli hyödyntää mahdollisimman paljon toimeksiantajalta saatuja todellisia tietoja, mutta käytännössä kaikkia lähtötietoja ei ollut mahdollista saada täydellisinä. Tämä näkyy erityisesti raudoituksen ja lisäaineiden kohdalla.

Raudoituksen osalta toimeksiantajalta saatiin tieto käytettävästä terästyypistä, mutta ei tarkkaa määrää yhtä neliometriä kohden. Tämän vuoksi raudoitus jouduttiin arvioimaan mukailevana arvona. Vaikka tieto ei ole täysin eksakti, se antaa luotettavan suuruusluokan ympäristövaikutusten arviointia varten.

Lisäaineista saatiin koostumustietoa betonin toimittajalta, mutta käytetyissä tietokannoissa ei ollut saatavilla vastaavaa prosessidataa niiden mallintamiseen. Lisäaineet jätettiin tämän vuoksi laskennan ulkopuolelle. Poissulku katsottiin perustelluksi, koska lisäaineiden osuus betonin kokonaismassasta on hyvin pieni, eikä niiden arvioitu vaikuttavat merkittävästi lopputulokseen.

Laskennan ilmoitetuksi yksiköksi valittiin aikaisemmin mainittu 1 m<sup>2</sup>, sillä elementin koko vaihtelee hankekohtaisesti. Taulukossa 4 on esitetty betonikuorien reseptitiedot ja niiden kuljetusmatka betoniasemalle.

Taulukko 4. Betonikuorien reseptitiedot ja kuljetusmatka betoniasemalle.

	Sisäkuori (kg/m <sup>3</sup> )	Ulkokuori (kg/m <sup>3</sup> )	Kuljetusmatka (km)
<b>Filleri</b>	360	340	95
<b>Kiviaines</b>	1550	1430	15
<b>Vesi</b>	145	150	0
<b>Sementti</b>	345	370	80

Sandwich-elementin valmistus edellyttää betonikuorten lisäksi myös muita rakennusosia ja tarvikkeita. Lämmöneristeenä käytettiin EPS 140 -eristettä, jonka kuljetusmatka tehtaalle on 50 km. Valmisbetoni kuljetetaan elementtitehtaalle 5 km:n etäisyydeltä.

Laskennasta rajattiin pois hankekohtaisesti vaihtelevat tarvikkeet, kuten ansaat, nostolenkit ja vaijerilenkit. Näiden määrät riippuvat elementin mitoituksista, asennusratkaisuista ja kohteen erityisvaatimuksista, eikä luotettavia, yksittäiseen neliometriin skaalattavia arvoja ollut mahdollista määrittää. Rajaus katsottiin perustelluksi, sillä kyseisten komponenttien vaikutus kokonaispäästöihin on tyypillisesti hyvin pieni verrattuna betonin ja eristemateriaalien päästöihin.

Sandwich-elementin käyttöikäksi oletettiin 50 vuotta. Molemmat kuoret ovat lujuusluokkaa C32/40, mutta rasitusluokat eroavat toisistaan. Sisäkuori sijoittuu kuivaan sisätilaympäristöön (XC1), kun taas ulkokuori altistuu ulko-olosuhteille (XC4 ja XF1). Tämä vaikuttaa betonin koostumukseen ja mahdollisesti tarvittaviin lisäaineisiin. Sisäkuori toimii rakenteen kantavana osana.

Energiankulutustietoa ei ollut saatavilla toimeksiantajalta eikä luotettavia tehdaskohtaisia arvoja löytynyt kirjallisuudesta, sillä energiankulutus vaihtelee merkittävästi tuotantolaitoksittain. Arvot arvioitiin ja pidettiin tarkoituksella pieninä, koska laskenta tehtiin yhdelle neliömetrille ja arvioinnin tavoitteena oli menetelmän havainnollistaminen, ei tarkan energiankulutuksen mallintaminen.

#### 7.4 Varsinainen elinkaariarviointi

Varsinainen elinkaariarviointi toteutettiin maksuttomalla OpenLCA-ohjelmistolla, jonka avulla mallinnettiin sandwich-elementin elinkaaren vaiheet A1-A3 (Cradle-to-Gate). Ohjelmistossa jokaiselle informaatiomodulille laadittiin oma osionsa, ja laskenta eteni vaiheittain siten, että moduulit linkitettiin toisiinsa loogiseksi kokonaisuudeksi. Näin varmistettiin, että aine- ja energiavirrat siirtyivät moduulista toiseen oikeassa suhteessa (ks. Liite 2).

A1- ja A2- vaiheiden mallinnus oli suoraviivaista, sillä reseptitiedot, materiaalmäärät ja kuljetusetäisyydet olivat hyvin saatavilla. Laskenta suoritettiin yhtä neliometriä kohden, mikä mahdollisti tulosten vertailtavuuden ja mallin tarkkuuden säilymisen. Tarkasteltava sandwich-elementti koostuu kolmesta erillisestä kerroksesta, minkä vuoksi jokaiselle kerrokselle laadittiin oma prosessinsa A1-A2-vaiheiden osalta. A3-vaiheessa mallinnettiin elementin valmistusprosessiin liittyvä energiankulutus. Koska elementtikohtaisia energiankulutustietoja ei ollut saatavilla, arvot jouduttiin arvioimaan. Tämän vuoksi A3-vaiheen tuloksiin liittyy enemmän epävarmuutta kuin A1-A2-vaiheisiin.

Laskentaan käytettiin ELCD 3.2 -tietokantaa sekä OpenLCA LCIA Methods 2.7.5-menetelmäpakettia, jotka tarjoavat standardien mukaisia prosessi- ja päästö tietoja. Kaikki vaiheet linkitettiin toisiinsa OpenLCA:ssa (ks. Liite 2), jotta aine- ja energiavirrat siirtyivät oikein moduulien välillä ja tulokset muodostuivat luotettavasti. Valmis kokonaisuus vietiin Exceliin, jossa ne koottiin selkeään taulukkoon. Tulokset on listattu taulukkoon ja esitetty taulukossa 5.

## 7.5 Tulosten analysointi ja johtopäätökset

### 7.5.1 Tulosten luotettavuus ja epävarmuustekijät

LCA-laskennan tulosten tulkinta on olennainen vaihe, sillä siihen sisältyy aina epävarmuuksia, jotka johtuvat muun muassa tietokantojen oletuksista, lähtötietojen tarkkuudesta ja rajauksista. Tässä työssä erityisesti se, että betonin reseptitiedot jouduttiin laatimaan alkuperäisten tietojen perusteella niitä muokkailleen. Sillä valmisbetonitoimittaja ilmaisi, ettei yleensä tarkkoja koostumuksia julkaista yleiseen käyttöön. Joten ainemääriä muutettiin niin, että ne pysyivät samoissa suhteissa alkuperäisten ainemäärien kanssa. Mutta tämä on kuitenkin olennainen epävarmuustekijä, sillä pienet muutokset betonin koostumuksessa, voivat vaikuttaa elinkaariarvioinnin tuloksiin.

Lisäksi osa prosessi- ja energiankulutustiedoista jouduttiin arvioimaan, koska tarkat tehdaskohtaiset kulutusluvut eivät olleet saatavilla. Arvojen pitäminen maltillisina oli perusteltua, koska laskenta kohdistui vain yhteen neliömetriin elementtiä.

On myös huomioitava tulosten tulkinnassa, että ilmaisen OpenLCA-ohjelmiston käyttö ilman kattavia käyttöohjeita saattoi aiheuttaa mallinnukseen liittyviä virheitä. Ohjelmisto on laaja ja tekninen, ja sen ensimmäinen käyttökerta voi johtaa esimerkiksi prosessien linkityksessä, tietokantojen valinnoissa tai vaikutusarvomenetelmissä syntyviin epätarkkuuksiin. Näin ollen osa tulosten epävarmuudesta voi johtua myös käyttäjistä ja työssä tehdyistä mallinnusratkaisuista.

Näiden syiden vuoksi tulokset ovat suuntaa antavia ja kuvaavat ennen kaikkea laskentamenetelmän soveltamista, eivät tarkkaa tehdastason ympäristövaikutusten määrää. On tärkeää huomioida, että tulokset eivät anna yhtä absoluuttista totuutta tuotteen ympäristövaikutuksista, vaan ne kuvaavat arvioitua kokonaisuutta valituilla lähtötiedoilla ja rajauksilla.

### 7.5.2 Tulokset ja niiden analysointi

Elinkaariarvioinnin perusteella sandwich-elementin ilmastomuutosvaikutus (GWP) on yhteensä 187 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenttia per neliometriä elementtiä (ks. taulukko 5). Tulosten mukaan vaikutus jakautuu moduuleihin siten, että A1 vastaa noin viidennestä kokonaisvaikutuksesta, kun taas A2- ja A3-moduulien osuudet ovat lähes yhtä suuria ja kumpikin noin 40 % kokonaispäästöistä. Tämä tarkoittaa, että tuotantovaiheen A3 vaikutus on poikkeuksellisen suuri verrattuna saman tyyppisiin ympäristöselosteisiin, joissa raaka-ainevaihe A1 yleensä dominoi tulosta.

Teorian ja aiempien tutkimusten perusteella sementin valmistus on betonituotteiden selvästi merkittävin ympäristökuormituksen lähde (ks. Liite 1), ja sen odotetaan näkyvän pääosin A1-moduulissa. Tässä laskennassa sementti toki muodostaa edelleen keskeisen osan kokonaispäästöistä, mutta A3-moduulin korkea arvo viittaa siihen, että osa kuormituksesta on saattanut siirtyä tuotantovaiheeseen joko energiankulutuksen mallinnuksen tai prosessien linkityksen seurauksena. Tämä voi johtua esimerkiksi siitä, että OpenLCA:ssa käytetyt taustaprosessit sisältävät laajempia ylävirran vaikutuksia kuin alun perin oletettiin, tai siitä, että energiankulutus on kohdistunut osittain päällekkäisesti raaka-aineiden kanssa.

Koska A3-moduulia varten energiankulutus arvioitiin ilman tehdaskohtaisia mittaustietoja ja ohjelmiston käyttö perustui rajalliseen kokemukseen, on mahdollista, että moduulin suuruus sisältää mallinnusperäistä epävarmuutta. Tästä syystä A3-vaiheen tuloksia tulee tulkita erityisen varovasti ja niiden suuruusluokkaa on pidettävä enemmän suuntaa antavana mahdollisesta vaikutussuuruudesta kuin täsmällisenä arvona. Kokonaisuutena tulokset kuitenkin vahvistavat keskeisen johtopäätöksen, että sandwich-elementin ilmastovaikutus määräytyy lähes kokonaan betonin ja erityisesti sementin kautta ja suurimmat vähentämismahdollisuudet liittyvät sideaineen valintaan ja määrään sekä tuotantovaiheen energiatehokkuuteen.

Taulukko 5. Elinkaariarvioinnin tulokset vaiheista A1-A3.

Ympäristövaikutukset	Yksikkö	A1	A2	A3	A1-A3
Ilmastonmuutos - kokonaisvaikutus	kg CO <sub>2</sub> eq	3,96E+01	7,29E+01	7,50E+01	1,87E+02
Otsonikato	kg CFC11 eq	2,95E-06	2,96E-06	2,96E-06	8,86E-06
Rehevytyminen, maaperä	mol N eq	5,81E-01	2,04E+01	2,61E+01	4,71E+01
Happamoituminen	mol H+ eq	2,34E-01	2,40E-01	2,50E-01	7,25E-01
Valokemiallisen otsonin muodostuminen	kg NMVOC eq	1,63E-01	1,72E-01	1,77E-01	5,12E-01
Uusiutumattomien luonnonvarojen ehtyminen, mineraalit ja metallit	kg Sb eq	1,47E-09	1,47E-09	4,63E-08	4,92E-08
Uusiutumattomien luonnonvarojen ehtyminen, fossiiliset polttoaineet	MJ	5,65E+02	5,79E+02	6,03E+02	1,75E+03
Ionisoiva säteily	kBq U-235 eq	1,07E+00	1,07E+00	1,86E+00	3,99E+00
Ekotoksisuus, makea vesi	CTUe	2,02E+01	2,04E+01	2,61E+01	6,67E+01
Ihmisten toksisuus, ei-syöpäriski	CTUh	3,90E-07	3,90E-07	4,00E-07	1,18E-06
Ihmisten toksisuus, syöpäriski	CTUh	5,23E-09	5,25E-09	5,44E-09	1,59E-08
Veden käyttö	m <sup>3</sup> depriv.	1,47E+00	1,48E+00	3,20E+00	6,15E+00

Lisäksi tulosten arvioinnissa hyödynnettiin kahta julkisesti saatavilla olevaa sandwich-elementtien ympäristöselostetta, joiden ilmoitettu yksikkö oli sama: Porin Elementtitehdas Oy:n EPD, jonka GWP arvo on 89,2 kg CO<sub>2</sub>e (Porin Elementtitehdas Oy, 2025), sekä Tenel Oy:n EPD, jonka GWP arvo on 79,9 kg CO<sub>2</sub>e (Tenel Oy, 2024). Näitä arvoja ei käytetty suoraan vertailulukuina, mutta ne antavat suuntaa siitä, millaisia päästöjä saman tuoteryhmän elementille tyypillisesti raportoidaan.

On kuitenkin tärkeää huomioida, että sandwich-elementit eivät ole rakenteeltaan tai resepteiltään identtisiä. Erot kerrospaksuuksissa, raidoitusmäärissä ja sementtilaadussa vaikuttavat huomattavasti EPD:n arvoihin.

### 7.5.3 Johtopäätökset ja jatkotoimenpiteet

Tämän opinnäytetyön perusteella voidaan todeta, että elinkaariarvioinnin ja ympäristöselosteen laadinta on huomattavan laaja ja tietointensiivinen prosessi, joka edellyttää täsmällisiä materiaalivirtoja, prosessikohtaista kulutusdataa sekä standardien yksityiskohtaista tuntemusta. Näiden vaatimusten vuoksi laskenta rajattiin ”kehdesta tehtaan portille”-rajaukseen ja keskityttiin A1-A3-moduuleihin, mikä mahdollisti tulosten tuottamisen käytettävissä olleen tiedon puitteissa. Rajaus tuki tulosten luotettavuutta, mutta samalla korosti

sitä, että EPD:n laatiminen virallisessa muodossa vaatisi huomattavasti laajemman tiedonkeruun sekä useiden sidosryhmien tiivistä yhteistyötä. Työn suorittamisen aikana kävi selväksi, että ilman työryhmää, mittaustietoja ja yrityksen sisäisiä prosessidokumentteja laskennan oikeellisuus voi kärsiä merkittävästi.

Vaikka LCA-tulokset ovat lähtökohtaisesti tuotekohtaisia, vertailua voidaan tehdä silloin, kun käytetty yksikkö, rajaukset ja tietolähteet vastaavat toisiaan. Betonituotteiden osalta vertailu on kuitenkin haastavaa, sillä reseptit, kerrospaksuudet, sideaineiden suhteet, rauditusmäärät ja eristemateriaalit vaihtelevat valmistajittain. Tämän työn tulokset ovatkin ensisijaisesti suuntaa antavia ja kuvaavat menetelmän soveltamista, eivät absoluuttista tehdastason ympäristövaikutusten määrää.

Jatkossa elinkaariarviointia voitaisiin kehittää laajentamalla tarkastelua myös tuotteen elinkaaren loppuvaiheisiin (A4-C ja D). Tämä mahdollistaisi kokonaisvaltaisemman kuvan tuotteen ympäristövaikutuksista ja tukisi parempaa päätöksentekoa esimerkiksi kierrätysmahdollisuuksien arvioinnissa. Lisäksi tehdään omien energiankulutus-, materiaalihukka- ja kuljetusdatan kerääminen parantaisi laskennan tarkkuutta huomattavasti ja loisi edellytykset virallisen EPD:n laadinnalle.

Tulokset osoittivat selvästi, että suurimmat päästövähennyspotentiaalit liittyvät betonin ja erityisesti sementin valintaan. Vähähiilinen betoni, vaihtoehtoiset sideaineet tai sementin osittainen korvaaminen voisivat pienentää tuotteen ilmastovaikutuksia merkittävästi. Näillä ratkaisuilla on kuitenkin myös tuotantonnollisia vaikutuksia, esimerkiksi tietyt vähähiiliset sementtilaadut voivat hidastaa kovettumista, pidentää muottiaikoja ja siten lisätä resurssien käyttöä. Lisäksi vähähiilisten ratkaisujen saatavuus on alueellista, ja niiden hankinta voi kasvattaa kuljetusetäisyyksiä, mikä voi osittain kumota saavutettuja hyötyjä. Tästä syystä ympäristövaikutusten optimointi on aina tehdaskohtaista ja parhaat ratkaisut löytyvät usein tasapainottamalla päästövähennykset tuotantotehokkuuden ja logistiikan realiteettien kanssa.

## 8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää elinkaariarvioinnin ja ympäristöselosteen merkitys ja käyttötarkoitus sekä havainnollistaa niiden laadinta case-esimerkin avulla. Esimerkkirakenteena tarkasteltiin sandwich-elementtiä, laskenta toteutettiin standardin SFS-EN ISO 14040 mukaisesti OpenLCA-ohjelmalla. Työn rajaus tehtiin ”kehdosta tehtaan portille”, koska nämä vaiheet sisältävät vähiten oletuksia ja niiden tietoja oli parhaiten saatavilla.

Tulokset vahvistivat teoreettisen viitekehyksen keskeisen havainnon, että sementin valmistus on suurin yksittäinen betonituotteen ympäristövaikutusten aiheuttaja. Laskenta osoitti myös, että lähtötietojen puutteet ja arviot, kuten mukailtu resepti ja arvioitu energiankulutus, lisäävät epävarmuutta ja rajoittavat tulosten tarkkuutta. Mallinnus tehtiin käytettävissä olevien tietojen pohjalta, joten tulokset ovat suuntaa antavia eivätkä vastaa virallisen EPD:n tasoa.

Työ osoitti, että luotettavan ympäristöselosteen laatiminen edellyttää huomattavasti laajempaa tiedonkeruuta, prosessien dokumentointia ja toimittajakohtaista dataa. Lisäksi se edellyttää tiivistä yhteistyötä tuotannon, laadunhallinnan ja rakennesuunnittelun kanssa. Rakennesuunnittelulla on keskeinen rooli elementtien ympäristövaikutusten vähentämisessä, sillä esimerkiksi kerros-paksuuksien optimointi, raudoituksen tarkka mitoitus ja materiaalitehokkaat rakenneratkaisut voivat pienentää betonin ja sementin kokonaiskulutusta jo suunnitteluvaiheessa.

Jatkossa laskentaa voidaan kehittää laajentamalla tarkastelua myös tuotteen elinkaaren myöhempisiin vaiheisiin sekä hyödyntämällä tehdaskohtaisia energiankulutus- ja materiaalivirtoja tarkemmin. Lisäksi yritys voi tarkentaa ympäristövastuutaan arvioimalla mahdollisuuksia hyödyntää vähähiilisiä betonilaatuja tai vaihtoehtoisia sideaineita, kuitenkin huomioiden niiden vaikutukset tuotantoon, toimitusketjuun ja käytännön toteutettavuuteen.

Kokonaisuutena työ tarjoaa yritykselle selkeän kokonaiskuvan LCA- ja EPD-menetelmistä ja toimii lähtökohtana tuleville, tarkemmille ja virallisille ympäristöselosteille.

## LÄHTEET

A-Insinöörit. (2022). Pikaopas vähähiiliseen rakennuttamiseen - Rakennesuunnittelija. <https://www.ains.fi/hubfs/Oppaat/pikaopas-vahahiiliseen-rakennuttamiseen-rakennesuunnittelija.pdf>

Anavitor. (2024). *LCA:n vaiheet*. Haettu 27.5.2025 osoitteesta <https://anavitor.ai/fi/ecobuild/lcan-vaiheet>

Barbhuiya, S., & Das, B. B. (2023). Life Cycle Assessment of construction materials: Methodologies, applications, and future directions for sustainable decision-making. *Case Studies in Construction Materials*, 19, e02326. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02326>

Betoni (n.d.). *Betoni rakennusmateriaalina*. Haettu 30.5.2025, osoitteesta <https://betoni.com/tietoa-betonista/betoni-rakennusmateriaalina/>

Betonitieto. (n.d.). Betonielementit. Haettu 30.5.2025 osoitteesta <https://www.betonitieto.fi/betoniteollisuus/betonielementit.html>

BM Certification. (2025). *Elinkaariarvioinnin (LCA) tärkeimmät edut nykypäivän liiketoimintaympäristössä*. Haettu 28.5.2025 osoitteesta <https://fi.bmcertification.com/elinkaariarvioinnin-lca-tarkeimmat-edut-nykypaivan-liiketoimintaymparistossa/>

Ecobio (12.6.2025) Mitä on LCA eli elinkaariarviointi (Life Cycle Assessment)? <https://ecobio.fi/mita-on-lca-eli-elinkaariarviointi-life-cycle-assessment/>

Elementtisuunnittelu (5.11.2022) Betoniteollisuuden ympäristötavoitteet. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/valmisosarakentaminen/ymparistoominaisuudet/betoniteollisuuden-ymparistotavoitteet>

EPD Hub. (2022). EPD Basics. Haettu 28.7.2025 osoitteesta <https://www.epdhub.com/epd-basics>

European Commission 2013/179/EU, annettu 9 päivänä huhtikuuta 2013, tuotteiden ja organisaatioiden elinkaaren ympäristösuorituksen mittaamisessa ja viestimisessä käytettävien yhteisten menetelmien käytöstä. s.10–50. <http://data.europa.eu/eli/reco/2013/179/oj>

European Commission. (n.d.) European Platform on Life Cycle Assessment. Life Cycle Assessment. <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/lifecycleassessment.html>

Finnsementti Oy. (n.d.). Betonin valmistaja valitsee betonin osa-aineet. Haettu 11.9.2025 osoitteesta <https://finnsementti.fi/sementti/tietoa-betonista/tietoa-betonista-tietoa-betonista-suunnittelijalle/betonin-valmistaja-valitsee-betonin-osa-aineet/>

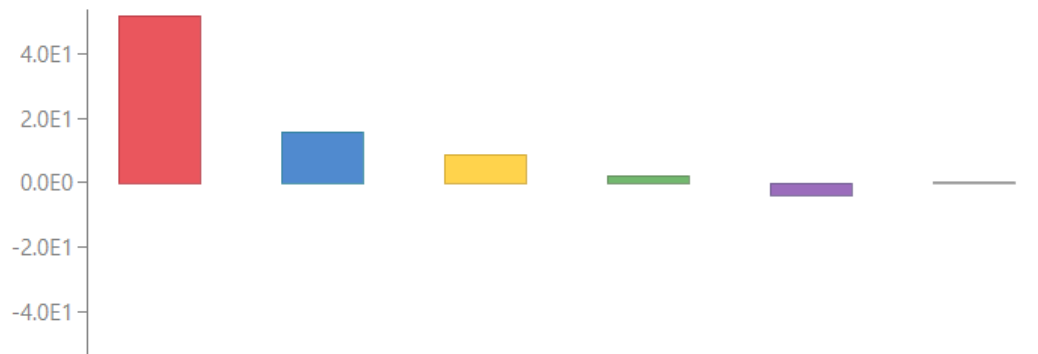
- GreenDelta GmbH (2025). OpenLCA [software] <https://www.openlca.org/>
- GreenDelta GmbH. (2025). *openLCA LCIA Methods (version 2.7.5)* [Data-set]. openLCA Nexus. <https://nexus.openlca.org/data-base/openLCA%20LCIA%20Methods>
- Mercader-Moyano, P., & Porras-Pereira, P. (2024). Life cycle analysis based on nanoparticles applied to the construction industry: A comprehensive curriculum.
- Moolchandani, K. (2025). Industrial byproducts in concrete: A state-of-the-art review. *Next Materials*, 8, 100593  
<https://doi.org/10.1016/j.nxmte.2025.100593>
- OneClickLCA (17.7.2024) Miksi investoida ympäristöselosteisiin (EPD) Haettu osoitteesta 15.9.2025 <https://oneclicklca.com/fi/resources/case-studies/the-business-case-for-investing-in-epds/>
- Porin Elementtitehdas Oy. (7.3.2025). *EPD HUB-3032: Sandwich-elementti, 1 m<sup>2</sup>* (Environmental Product Declaration). EPD Hub. [https://elementtitehdas.fi/wp-content/uploads/2025/04/EPD\\_HUB-3032\\_2025-03-26.pdf](https://elementtitehdas.fi/wp-content/uploads/2025/04/EPD_HUB-3032_2025-03-26.pdf)
- Rakentaja.fi (14.5.2025) Ympäristöselosteet (EPD) jo vuodesta 2013. Haettu 1.9.2025 osoitteesta <http://rakentaja.fi/artikkelit/ymp%C3%A4rist%C3%B6selosteet-epd-jo-vuodesta-2013/>
- SFS-EN 15804:2012 + A2:2019. (2020). *Kestävä rakentaminen. Rakennustuotteiden ympäristöselosteet. Laadinnan yleissäännöt. Suomen Standardisoimisliitto*. <https://online.sfs.fi/>
- SFS-EN 197-1. (2012). *Sementti. Osa 1: Tavallisten sementtien koostumus, laatuvaatimukset ja vaatiuksenmukaisuus. Suomen Standardisoimisliitto*. <https://online.sfs.fi/>
- Suomen Betoniyhdistys ry. (2018). *Betonitekniikan oppikirja* by 201. 9.painos. BY-koulutus Oy.
- Tenel Oy. (8.2.2024). *EPD HUB-1068: Econcrete Sandwich CL, 1 m<sup>2</sup>* (Environmental Product Declaration). EPD Hub. [https://tenel-elements.fi/wp-content/uploads/2024/05/EPD\\_Tenel\\_Oy\\_Econcrete\\_Sandwich\\_CL\\_HUB-1068\\_2024-03-01.pdf](https://tenel-elements.fi/wp-content/uploads/2024/05/EPD_Tenel_Oy_Econcrete_Sandwich_CL_HUB-1068_2024-03-01.pdf)
- Vähähiilinen betony. (n.d.) BY-Vähähiilisyysluokitus. Haettu 1.10.2025 osoitteesta <https://vahahiilinenbetoni.fi/>
- Xi, F., Davis, S., Ciais, P., Crawford-Brown, D., Guan, D., Pade, C., Shi, T., Syddall, M., Lv., J., Ji, L., Bing, L., Wang, J., Wei, W., Yang, K., Lagerblad, B., Galan, I., Andrade, C., Zhang, J., Liu, Z. (7.11.2023). Global carbon uptake of cement carbonation accounts 1930-2021. *Earth System Science Data*, 15. [https://essd.copernicus.org/articles/15/4947/2023/?utm\\_source=chatgpt.com](https://essd.copernicus.org/articles/15/4947/2023/?utm_source=chatgpt.com)

Ympäristöministeriö. (n.d.). Rakennusmateriaalien tietopankki: Betoni. Haettu 10.9.2025

## LIITTEET

Liite 1. Sandwich-elementin ilmastonmuutosvaikutuksen jakauma eri materiaaleille (A1–A3).

Impact category



- 52.015 kg CO2 eq: Portland cement (CEM I), CEMBUREAU production mix, at plant, CEMBUREAU technology mix, EN 197-1 - RER
- 15.805 kg CO2 eq: Polystyrene expandable granulate (EPS), production mix, at plant - RER
- 8.750 kg CO2 eq: Steel rebar, production mix, at plant, blast furnace and electric arc furnace route, - GLO
- 2.088 kg CO2 eq: Electricity grid mix 1kV-60kV, consumption mix, at consumer, AC, 1kV - 60kV - FI
- 3.800 kg CO2 eq: Polyethylene terephthalate (PET) granulate, production mix, at plant, amorphous - RER
- 0.097 kg CO2 eq: Other

Liite 2. Sandwich-elementin tuotejärjestelmä, tehdasta tehtaan portille.

