

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutus

Samuli Hottinen
PUURAKENTEISEN TIETOLIIKENNEMASTON HIILIJALANJÄKLI

Opinnäytetyö
Toukokuu 2019



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2019
Rakennustekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Tekijä
Samuli Hottinen

Nimeke
Puurakenteisen tietoliikennemaston hiilijalanjälki

Toimeksiantaja
Ecotelligent Oy

Tiivistelmä

Tämä työ auttaa ymmärtämään mikä on LCA, sekä mistä tämä koostuu sekä miten tämä lasketaan. Työstä voi olla mahdollisesti hyötyä, jos on kiinnostunut rakennusten elinkaarenarvioinnista. Työssä kuvailtiin standardien asettamia vaatimuksia, sekä toiminnallisia ohjeita, joita on ollut luomassa joukko LCA-asiantuntijoita.

Opinnäytetyössä esitettiin elinkaariarvioinnin osuus rakennusprojekteissa ja elinkaariarvioinnin kulku ja prosessi. Työssä käytiin myös läpi oleellisia asioita rakennuksen elinkaarenarviointiin liittyen. Yksi näistä asioista on EDP, joka mahdollistaa nopeampaa ja helpompaa sekä puolueetonta elinkaariarviointia.

Laskentatyökaluna käytettiin OneClick LCA 2015, joka on suunniteltu rakennusten elinkaariarviointiin. Tämä ohjelma mahdollisti helpomman hiilijalanjälkilaskennan.

Tässä opinnäytetyössä laskettiin puurakenteisen tietoliikennemaston hiilijalanjälki, sekä käsiteltiin teorian näkökulmasta rakennusten elinkaariarviointia. Laskelmien avulla osoitettiin Ecopol-tietoliikennemaston hiilijalanjälki.

Kieli
suomi

Sivuja 38
Liitteet 2
Liitesivumäärä 15

Avainsanat

ilmastonmuutos, hiilijalanjälki, ympäristö, elinkaariarviointi



THESIS
May 2019
Degree Programme In Civil Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author
Samuli Hottinen

Title
Carbon Footprint of a Wooden Telecommunication Tower

Commissioned by
Ecotelligent Oy

Abstract

The aim of this thesis was to explain what LCA (Life Cycle Assessment) is, and how it is composed and calculated. The work may be potentially useful for those interested in life cycle assessment of buildings. The requirements set by the standards as well as the operational guidelines that have been created by a numbers of LCA experts are described in this thesis.

The role of life cycle assessment in construction projects and the progress and process of life cycle assessment are presented in this thesis. The work also covered essential issues related to the life cycle assessment of a building. One of these things is EDP (Environmental Product Declaration) which enables faster and easier and unbiased life cycle assessment.

OneClick LCA 2015 was designed as a computational tool designed for life cycle assessment of buildings. This program made it easier to calculate the carbon footprint.

In this thesis, the carbon footprint of a wood-based telecommunication mast was calculated, and from the theoretical point of view the life cycle assessment of buildings was discussed. The calculations demonstrated the carbon footprint of the Ecopol communications mast.

Language
Finnish

Pages 38
Appendices 2
Pages of Appendices 15

Keywords

climate change, carbon footprint, environment, Life Cycle Assessment

Sisältö

Sanasto	6
Lyhenteet.....	8
1 Johdanto	9
2 Elinkaariarviointi, LCA (Life Cycle Assessment)	11
2.1 Elinkaariarviointi rakentamisessa yleisesti	11
2.2 Elinkaariarvioinnin vaiheet	14
2.2.1 Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely.....	14
2.2.2 Inventaarioanalyysi, LCI (Life Cycle Inventory)	16
2.2.3 Vaikutusarviointi, LCIA (Life Cycle Impact assessment).....	18
2.2.4 Tulosten tulkintavaihe.....	20
2.3 Elinkaariarvioinnin raportointi.....	23
2.4 Elinkaariarvioissa yleisimmin käytetyt indikaattorit	24
2.5 Rakennuksen elinkaaren vaiheet	25
3 Ympäristöseloste, EPD (Environmental Product Declaration)	26
4 Hiilijalanjälki rakennuksissa	27
4.1 Yleistä	27
4.2 Hiilivarasto.....	28
4.3 Hiilikädenjälki.....	29
5 One Click LCA (2015).....	29
5.1 Yleistä	29
5.2 Standardit	29
5.3 Luotettavuus.....	30
5.3.1 Building Research Establishment's Environmental Assessment Method (BREEAM)	30
5.3.2 Leadership in Energy and Environmental Design (LEED).....	30
5.4 Toimivuus ja laajuus	31
6 Laskelmat	31
6.1 Tulokset.....	33
6.2 Analysointi	36
7 Pohdinta	37
Lähteet.....	38

Liitteet

Liite 1	LCA-raportti
Liite 2	Lähtötietojen arviointi

Sanasto

Elinkaariarviointi, LCA (Life Cycle Assessment)

Rakennuksen tai tuotteen elinkaaren aikaisten tuotosten sekä syötteiden koostaminen ja arviointi sen ympäristövaikutuksista.

Inventaarioanalyysi, LCI (Life Cycle Inventory)

Elinkaariarvioinnin yksi vaihe, tässä elinkaariarvioinnin vaiheessa koostetaan ja kuvataan määrällisenä elinkaaren aikaiset tuotokset sekä syötteet.

Tuotejärjestelmä

Yksikköprosessien sarja, johon sisältyy perusvirtoja sekä tuotevirtoja ja nämä toteuttavat useamman tai yhden määritellyjä toimintoja, joka kuvaa rakennuksen/tuotteen elinkaarta.

Toiminnallinen yksikkö

Määrällinen suoritustaso tuotejärjestelmässä, tätä käytetään viiteyksikkönä.

Järjestelmän rajat

Kriteerejä, jotka määrittävät yksikköprosessin osat tuotejärjestelmässä.

Allokointi

Prosessin tuotos- ja syötevirtojen tutkittavan tuotejärjestelmän jakaminen yhden tai useamman tuotejärjestelmän välillä.

Vaikutusluokka

Luokka, joka edustaa ympäristökysymyksiä, joihin inventaarioanalyysistä saadut tulokset sijoitetaan.

Vaikutusluokkaindikaattori

Määrällinen mittari, joka edustaa vaikutusluokkaa.

Vaikutusarviointi

Elinkaariarvioinnin yksi osa, jonka avulla määritellään ympäristövaikutusten merkittävyyttä sekä laajuutta rakennuksen/tuotteen elinkaaren aikana.

Sidosryhmä

Ryhmä tai yksittäinen henkilö, johon elinkaariarvion tuloksien vaikutukset kohdistuvat.

Karakterisointikerroin

Kerroin, jolla muutetaan inventaarioanalyysistä saadut tulokset vaikutusluokkaindikaattoriin sopivaan yksikköön.

Referenssikäyttöikä

Rakennuksen/rakennustuotteen käyttöikä, joka oletetaan saavutettavaksi tietynlaisessa käyttöympäristössä ja joka voi muodostaa lähtökohdat arvioinnille toisenlaisessa käyttöympäristössä.

Yksikköprosessi

Inventaarioanalyysin pienin osa joka on huomioitava, jonka avulla määritellään tuotos- ja syötetiedot.

Herkkyysanalyysi

Menettelytapa, joka perustuu järjestelmällisyyteen, jolla pystytään arvioimaan lähtötietojen ja menetelmien vaikutuksia selvityksessä saatuihin tuloksiin.

Läpinäkyvyys

Perusteellisesti esitetty avoin tieto.

UVA

Vaarattomin ultraviolettisäteily alue, pitkäaikainen altistuminen voi johtaa ihovaurioihin.

UVB

Vaarallinen ultraviolettisäteily, joka aiheuttaa ihon aristelua ja ihosyöpää, sekä on kasveille haitallista.

Lyhenteet

GWP, Global Warming Potential, ilmaston lämpeneminen.

OPD, Depletion Potential of the stratospheric Ozone Layer, otsonikato.

UVA, Ultraviolettisäteily, kategoria A.

UVB, Ultraviolettisäteily, kategoria B.

POCP, Formation Potential of Tropospheric Ozone Photochemical Oxidants, troposfäärin otsonikerroksen valokemiallisten hapettimien muodostuminen.

AP, Acidification Potential, happamoitumispotentiaali.

EP, Eutrophication Potential, rehevöitymispotentiaali.

ADPe, Abiotic Depletion Potential for Non-fossil Resources, abioottinen köyhdytyspotentiaali ei-fossiilisille luonnonvaroilta.

APPf, Abiotic Depletion Potential for Fossil Resources, fossiilisten luonnonvarojen abioottinen köyhtyminen.

PE_{tot}, Total Use of Primary Energy, primaari energian kokonaiskäyttö.

EPD, Environmental Product Declaration, ympäristöseloste.

LCA, Life Cycle Assessment, elinkaariarviointi.

LCI, Life Cycle inventory, inventaarioanalyysi.

LCIA, Life Cycle Impact Assessment, vaikutusarviointi.

1 Johdanto

Ilmastonmuutos on puheenaiheena joka puolella. Rakentaminen on melko suuressa roolissa ilmastonmuutoksessa ja tätä kautta pyritään vaikuttamaan CO₂-päästöjen vähentämiseen Suomessakin. Ympäristöministeriö on laatinut tiekarttaa vähähiiliseen rakentamiseen. Ympäristöministeriön tavoite on, että hiilijalanjälki huomioitaisiin rakentamisen säädöksissä 2020-luvun puoliväliin mennessä. Tavoite on asettaa rakennusmääräyksiin elinkaarenarviointi pakolliseksi. [1, 2-3.]

Kunnilla on suuri rooli hiilipäästöjen vähentämisessä ja Suomessa on sitoutunut jo 36 kuntaa vähentämään 80% kasvihuonepäästöjä vuoden 2007 tasoista. Lisäksi monessa kunnassa on jo allekirjoitettu ”Covenant of Mayour”-sitoumus, joka tarkoittaa vähintään 40% päästövähennystä vuoteen 2030 mennessä. [2, 5-6.] Tämä hanke kannustaa yrityksiä ja kotitalouksia päästövähennyksiin. Hinku tarjoaa kunnille asiantuntemusta, verkostoitumista ja hyvälle teolle näkyvyyttä. [3.]

Toimeksiantajana opinnäytetyössä toimii yritys nimeltä Ecotelligent. Ecotelligent Oy on vuonna 2017 perustettu yritys, joka valmistaa puisia tietoliikennemastoja ja älypylväitä. Ecotelligent avaa markkinoille uuden vaihtoehdon korvaamaan teräksisiä tietoliikennemastoja. Työssä lasketaan Ecotelligentin Ecopol-maston hiilijalanjälki. Laskelmien tarkoitus on tuoda asiakkaiden tietoon telemaston hiilijalanjälki. Tämä tulee auttamaan mastojen valinnoissa, kun halutaan tarkastella näiden hiilidioksidipäästöjä sekä myös vastavasti hiilikädenjälkeä. Lisäksi mastojen ympäristöystävällisyyden lisäksi mastot sulautuvat hyvin Suomen maastoon ja kaupunkikuvaan näiden esteettömän ulkonäön vuoksi. Puurakenteiset tietoliikennemastot täyttävät Eurokoodi 3- standardin EN 1993-3-1, sekä Suomen kansallisen liitteen standardin SFS-EN 1993-1-1 + NA/FI vaatimukset. Puu rakennusmateriaalina on vähemmän ilmastoa kuormittava materiaali verrattuna teräkseen. (Kuva 1)



Kuva 1. Materiaalien elinkaaren aikaiset päästöt [4, 2].

Tässä työssä esitetään laskelmien avulla 40-metrisen puurakenteisen tietoliikennemaston hiilijalanjäljen. Maston jäykistyksessä sekä liitoksissa on käytetty terästä, lisäksi teräsvahvistus mastossa toimii ukkosenjohdattimena.



Kuva 2. Ecotelligentin Ecopol-tietoliikennemasto.

Laskenta-alustana toimii One Click LCA (2015). Työssä perehdytään myös hieman One Click LCA:han (2015), joka on kehitetty elinkaariarvioinnin laskemiseen. One Click LCA (2015) on käytössä yli 50 maassa. One Click LCA (2015) on saanut useita sertifikaatteja ja ne käydään tarkemmin läpi luvussa 4.2.

Työssä kerrotaan teoriatasolla, mikä on LCA (elinkaariarviointi). Työssä kerrotaan myös EPD:stä (ympäristöseloste) ja sen osuudesta elinkaariarvioinnin yhteydessä. Työssä esitetään hiilijalanjälki teoreettisesta näkökulmasta, sekä havainnollistetaan laskelmien avulla.

2 Elinkaariarviointi, LCA (Life Cycle Assessment)

2.1 Elinkaariarviointi rakentamisessa yleisesti

Elinkaariarviointi (LCA) on menetelmä, jolla arvioidaan tuotteiden ja palvelujen ympäristövaikutuksia ja niiden resurssien kulutusta. Elinkaariarviointia käytetään myös rakennusalalla, jossa sillä tarkastellaan rakennuksista aiheutuvia päästöjä ja niiden ympäristövaikutuksia. Sillä pystytään havaitsemaan ympäristölle kuormittavia vaiheita ja kehittämään niitä rakennusvaiheita jo rakennuksen suunnitteluvaiheessa. [5, 1-2.] Elinkaariarviointia tehdään jo useassa EU-maassa, muun muassa Hollannissa, Saksassa ja Ranskassa. Suomen tavoite on luoda toimiva menetelmä ratkaisu elinkaariarviointiin ja tätä kautta kehittää ohjausjärjestelmä ja ottaa ohjaus käyttöön vuoteen 2025 mennessä. [6, 12-19.] Elinkaariarviointi on ohjattu standardien ISO 14044 ja ISO 14040 mukaisesti.

				
Hollanti	Ranska	Ruotsi	Norja	Saksa
<ul style="list-style-type: none"> • Elinkaaren ympäristövaikutusten laskenta pakolliseksi 2018 alusta • 11 ympäristö-indikaattoria, joista ilmastovaikutus yksi. Ympäristöhaitat muunnetaan euroiksi • Kansallinen päästötietokanta • Useita mahdollisia laskentatyökaluja 	<ul style="list-style-type: none"> • Velvoite rakennustuotteiden ympäristöselosteille • CO₂-päästöjen rajat 2020 • Kokeilu: Pienemmät päästöt = lisää rakennusoikeutta 	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂-päästöjen ilmoitusvelvollisuus tulossa 2021 • Huomio myös rakentamisen terveellisyteen 	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂-laskenta pakolliseksi kaikissa valtion rakennushankkeissa • Oma kansallinen laskentastandardi • Kansallinen työkalu laskentaan 	<ul style="list-style-type: none"> • Ympäristövaikutusten arviointimenetelmä erikseen uudisrakentamiseen, käytönaikaiseen ylläpitoon ja korjaustöihin • LCA-laskentasäännöt • Menetelmä pakollinen julkisessa rakentamisessa • Kansallinen päästötietokanta

Kuva 3. EU-maiden elinkaariarviovaatimukset [5, 12].

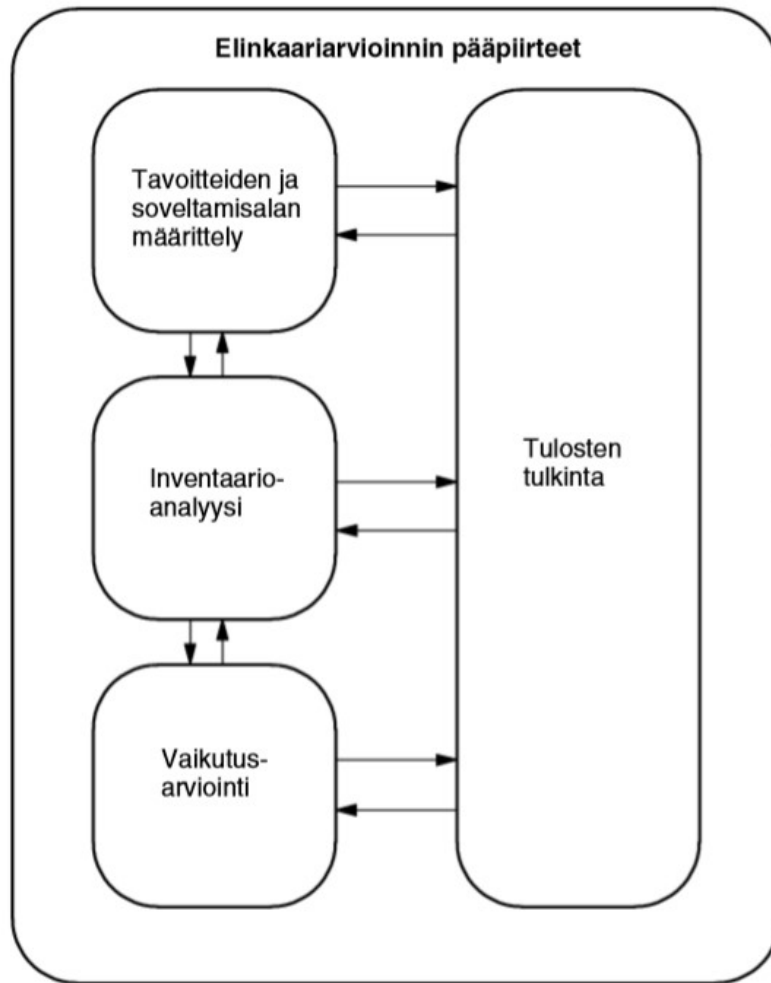
Elinkaariarvioinnin avulla pystyy saamaan yleiskuvan rakennuksen ympäristövaikutuksista sen kaikissa elinkaaren vaiheissa, riippuen elinkaariarvioinnin laajuudesta. Tarkasteltaessa jotakin indikaattoria se voidaan jakaa elinkaaren eri vaiheisiin ja tarkastella ja keskittyä tärkeisiin elinkaaren vaiheisiin ja minimoida tätä kautta haitalliset ympäristövaikutukset. Elinkaariarviointi auttaa arvioimaan yksittäisiä prosesseja rakennuksen eri elinkaarivaiheessa ja tätä kautta saavuttamaan optimaalisen lopputuloksen koko rakennuksen elinkaaren aikana ottaen huomioon ihmisen terveyden ja ympäristön. [7, 13.] Elinkaariarvioinnista saa hyvän yleiskatsauksen siitä, millaisia ympäristövaikutuksia eri rakennusosat tuottavat. Tästä on suurta apua rakennusosien valinnassa suunnitteluvaiheissa, kun halutaan vaikuttaa rakennuksen haitallisiin ympäristövaikutuksiin ja ehkäistä näitä. Elinkaariarviointi mahdollistaa materiaalivertailut, kun on kyse saman kaltaisesta rakennustuotteesta tai voidaan jopa vertailla kokonaisia rakennuksia. [5, 7-8.]

Elinkaariarviossa huomioidaan ihmisten terveyden, luonnonympäristön ja resurssien ominaisuudet. Näitä asioita käsittelemällä yhdessä ja samassa selvityksessä käyttämällä eri tietovälineitä yhdistävää näkökulmaa pystytään arvioimaan ja yhdistämään potentiaallisia kompromisseja. [7, 22.]

Elinkaariarviointi muodostuu neljästä eri vaiheesta, joita ovat

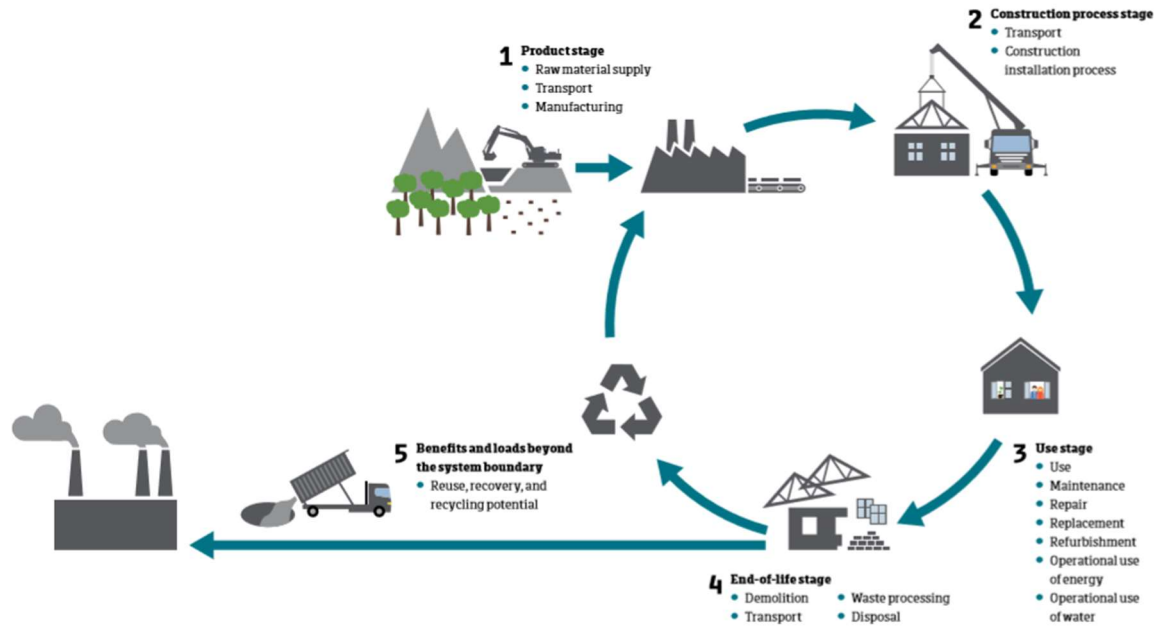
1. tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely
2. inventaarioanalyysi
3. vaikutusarviointi
4. tulkintavaihe.

Kuvassa 4 kuvataan elinkaariarvion kulku (Kuva 4) ja kuvassa 5 on kuvattu rakennuksen elinkaaren vaiheet (Kuva 5).



Kuva 4. Elinikaariarviointi vaiheet [7, 24].

Elinikaariarviointissa huomioidaan koko rakennuksen elinkaari, alkaen materiaalien raaka-aineiden hankinnasta ja energian tuotannon, sekä valmistuksen kautta käyttöön ja käytöstä poistoon aina materiaalien kierrätykseen sekä jätteiden loppusijoitukseen. Elinikaariarviointi perustuu ympäristövaikutusten ja ympäristönäkökohtien käsittelyyn, siinä ei yleensä käsitellä yhteiskunnallisia ja taloudellisia näkökohtia, näitä asioita käsitellään erillisessä elinkaarikustannuslaskennassa. [7, 22.]



Kuva 5. Rakennuksen elinkaari [5, 5].

2.2 Elinkaariarvioinnin vaiheet


2.2.1 Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely

Elinkaariarviointi alkaa tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelystä. Tavoitteita, jotka tulevat määrittää, ovat käyttötarkoitus, selvityksen tekemisen syyt, kohdeyleisö eli kenelle tulokset kohdennetaan, sekä se onko tutkimuksen tuloksia tarkoitus käyttää julkisesti. Soveltamisalaan tulevat seikat pitää suunnitella ja miettiä mitä niissä käyttää. Näitä seikkoja ovat:

- tutkittava järjestelmä
- tuotejärjestelmän toiminnot
- toiminnallinen yksikkö
- järjestelmän rajat
- allokointimenettelyt
- vaikutusluokat
- vaikutusarvioinnissa käytettävät menetelmät
- tiedoille asetetut vaatimukset
- olettamukset
- rajoitukset.

Lisäksi on mietittävä lähtötiedon laatuvaatimuksia, jos käytettävissä on mahdollinen kriittinen arviointi niin silloin arvioinnin tyyppi, sekä selvityksen raporttityyppi ja muoto. Kriittinen arviointi voi lisätä elinkaariarvioinnin uskottavuutta ja ymmärrettävyyttä, kun siihen otetaan mukaan sidosryhmiä. Sidosryhmään voi kuulua esimerkiksi rakennuksen käyttäjän palkkaama asiantuntija, jolla on tarvittava asiantuntemus asiasta. [7, 30-32.] Näitä seikkoja tulee miettiä ja kerätä mahdollisimman pitävät tiedot asioista, sekä huomioida käsiteltävien lähtötietojen laatua ja luotettavuutta. Lähtötietojen laajuutta ja luotettavuutta voidaan käsitellä ympäristöministeriön laatimalla rakennuksen hiilijalanjäljen arviointityökalulla (kuva 6).

Rakennuksen hiilijalanjäljen arviointityökalun luonnos
Luonnos lausuntokierrosta varten 16.11.2018



Ympäristöministeriö
Ministry of the Environment

Lähtötietojen arviointi

Tietojen laatu

Arvioinnissa käytettävien tietojen laatu tulee arvioida, jos arviointi tehdään käyttäen ns. tarkennettua menetelmää. Yksinkertaistettua menetelmää käytettäessä tätä väliä ei tarvitse täyttää.

Alla ehdotettu lähtötietojen arviointitapa perustuu Euroopan komission Level(s)-menetelmään.

Elinkaaren vaiheet	Teknologinen edustavuus	Maan- tieteellinen edustavuus	Ajallinen edustavuus	Epävarmuus	Yhteensä	Vähimmäisvaatimukset
A1-3 Tuotteiden valmistus					0	Tiedot vähintään tasoa 2
A4 Kuljetus työmaalle					0	Maantieteellinen edustavuus oltava tasoa 3
A5 Työmaan toiminnot					0	Maantieteellinen edustavuus vähintään tasoa 2
B3-4 Korjaukset ja vaihdot					0	Maantieteellinen edustavuus vähintään tasoa 2
B6 Energian kulutus					0	Tiedot vähintään tasoa 2
C1 Purkutyöt					0	Ei vähimmäisvaatimuksia
C2 Kuljetus jatkokäsittelyyn					0	Ei vähimmäisvaatimuksia
C3 Jätteenkäsittely					0	Ei vähimmäisvaatimuksia
C4 Loppusijoitus					0	Ei vähimmäisvaatimuksia
D Elinkaaren ulkopuoliset					0	Ei vähimmäisvaatimuksia
Yhteensä	0	0	0	0		

Tietojen laadun arvioinnissa käytettävä pisteytys

	0	1	2	3
Teknologinen edustavuus	Ei arvioitu	Tieto ei vastaa tyydyttävästi tuotteen teknisiä ominaisuuksia	Tieto vastaa osittain tuotteen teknisiä ominaisuuksia	Käytetty tieto vastaa hyvin tuotteen teknisiä ominaisuuksia
Maantieteellinen edustavuus	Ei arvioitu	Tieto viittaa täysin erilaiseen maantieteelliseen kontekstiin (esim. Italia Suomen sijaan)	Tieto viittaa samankaltaiseen maantieteelliseen kontekstiin (esim. Norja Suomen sijaan)	Käytetty tieto viittaa tiettyyn maantieteelliseen kontekstiin
Ajallinen edustavuus	Ei arvioitu	Tiedon validoinnin ja sen hyödyntämisen välillä on yli 6 vuotta	Tiedon validoinnin ja sen hyödyntämisen välillä on 2-4 vuotta	Tiedon validoinnin ja sen hyödyntämisen välillä on alle 2 vuotta
Epävarmuus	Ei arvioitu	Käytetään mallinnettua tai vastaavaa tietoa. Paikkansapitävyys ja täsmällisyys on arvioitu laadullisesti (esim. toimittajan ja prosessin operaattorin asiantuntija-arvio)	Käytetään mallinnettua tai vastaavaa tietoa, joka on arvioitu tyydyttävän paikkansapitäväksi ja täsmälliseksi, ja sitä tukee määrällinen epävarmuusarvio	Käytetään hankekohtaista ja validoitua tietoa, jota voidaan pitää tyydyttävän paikkansapitävänä ja täsmällisenä (esim. tehty vahvistettu EPD)

Selitys käytetyistä lähteistä

Kirjaa alla olevaan tilaan mistä lähteistä arvioinnissa käytetyt tiedot ja oletukset ovat peräisin.

Kuva 6. Lähtötietojen arviointityökalu.

Lähtötietojen arviointityökalu toimii niin, että kirjataan todenmukainen vaihtoehto 0-3. Tämän pohjalta arvioinnin lukija pystyy tekemään johtopäätökset luotettavuudesta.

Elinkaariarviota tehdessä tulee muista, että se on iteratiivinen tekniikka ja kerätessä tietoja on todennäköistä, että niitä tulee muokata alkuperäisten tavoitteiden saavuttamiseksi. [7, 30-32.]

2.2.2 Inventaarioanalyysi, LCI (Life Cycle Inventory)

Inventaarioanalyysi (LCI) koostuu kahdesta vaiheesta, tiedonkeruusta ja laskentamenetelyistä. Tiedon keräämisessä tulee kerätä tietoa jokaisesta järjestelmän rajoihin kuuluvasta yksikköprosessista. Yksikköprosessilla tarkoitetaan inventaarioanalyysissä huomioon otettavaa osaa, jonka suhteen syöte- ja tuotostiedot määritellään. Näitä tietoja käytetään yksikköprosessien ja tuotosten määrien ilmoittamiseen. Nämä kerätyt lähtötiedot voivat olla mitattuja, laskettuja tai arvioituja. Kerättyjen tietojen tulee olla läpinäkyviä ja lähteisiin tulee viitata. [8, 19-20.]

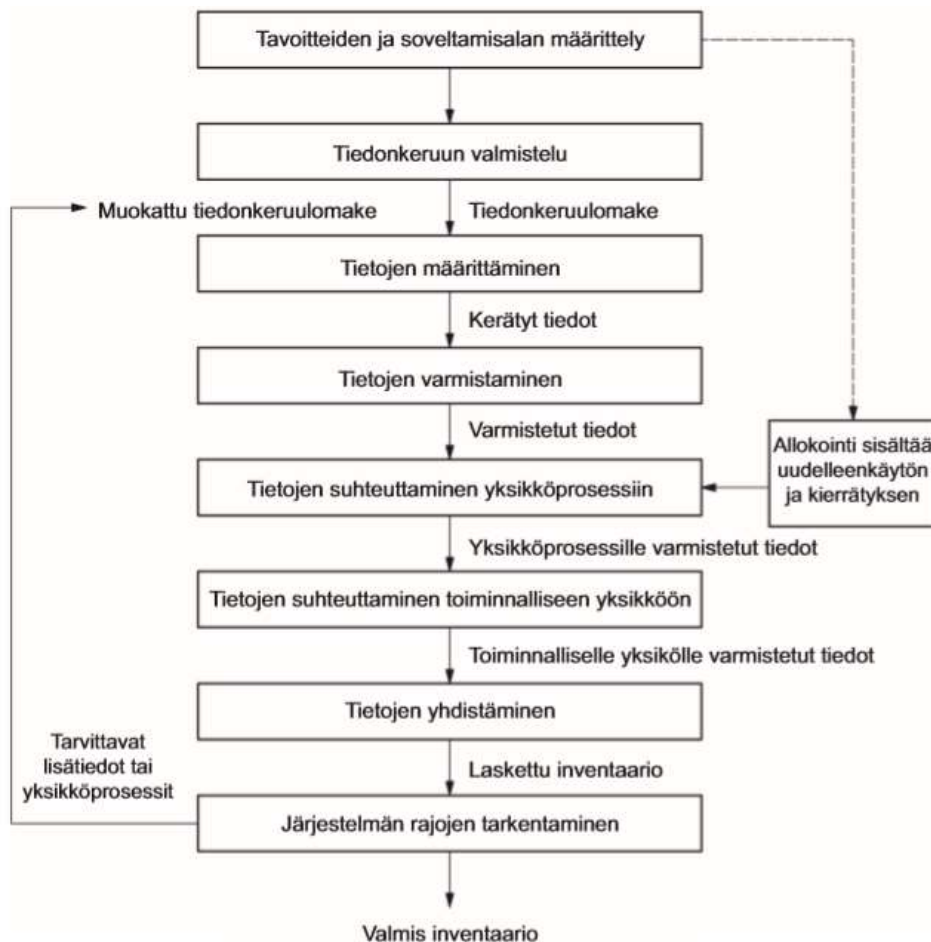
Rajauskriteereiden avulla voidaan yksinkertaistaa LCA-prosessia. Rajauskriteerejä ei saa käyttää siten, että olennaisia tietoja jäisi tarkastelun ulkopuolelle. Kaikki tarkastuksen ulkopuolelle jätetyt materiaali-, tuote- sekä energiavirtojen rajauskriteerit tulee dokumentoida. Tarkastelun ulkopuolelle rajattavissa menettelytavoissa tulee noudattaa rajauskriteereitä (cut-off rules). Sääntöjä ovat seuraavat: Kaikista prosessin materiaali-, tuote- sekä energiavirroista, mistä tiedot ovat saatavilla, ne tulee huomioida laskelmissa. [9, 44.]

Tietoja, jotka puuttuvat, voidaan korvata keskiarvotiedoilla tai yleisellä tiedolla. Kaikki valitut tiedot keskiarvoista tai yleisistä tiedoista tulee dokumentoida. Yksikköprosessiin tulevien materiaali-, tuote- sekä energiavirtojen puuttuminen tai tiedot ovat valinnaisia niin silloin käytettävä cut-off rules on 1% energiavirroille uusiutumattomien ja uusiutuvien ensisijaisesta energian käytöstä yksikköprosessissa. Materiaali- ja tuotevirrat, jotka muodostavat alle 1% rakennuksen kokonaismäärästä voidaan rajata kokonaan pois. Pois jätettävien materiaali-, tuote-, sekä energiavirtojen kokonaismäärä saa olla enintään 5% yksittäisessä informaatiomoduulissa. Näiden kriteereiden täyttymiseksi tulee osoittaa oletuksilla, jotka ovat varmalla puolella sekä yhdistetty perustelu asiantuntija-arvioon. Elinkaariarviointiin tulee sisällyttää ne materiaalit ja energiavirrat, joilla tiedetään olevan

merkittäviä vaikutuksia ympäristöön liittyen, riippumatta näiden absoluuttisesta määrästä. Rajauksilla ei saa piilottaa olemassa olevaa tietoa ja kaikki pois rajatut tiedot tulee dokumentoida raporttiin. [9, 44.]

Tietojen keräämisen jälkeen tiedot varmennetaan ja tiedot suhteutetaan yksikköprosesseihin, sekä suhteutetaan toiminnallisen yksikön vertailuvirtaan. Näiden tietojen avulla muodostetaan inventaariotulokset järjestelmän jokaisesta yksikköprosessista.

Laskennassa käytetyt laskentamenetelmät tulee dokumentoida yksiselitteisesti. Kaikki tehdyt oletukset tulee ilmoittaa ja selittää. Laskennan edetessä tulisi käyttää koko selvityksen läpi samoja laskentamenetelmiä. Tuotantoon liittyviä perusvirtoja määrittäessä tulisi käyttää todellista tuotantojakaumaa, jotta saataisiin todellisia kulutusmääriä luonnonvarojen suhteen. Esimerkiksi energiavirtojen määrittelyssä tulisi huomioida käytetyt polttoaineet ja sähkölaitteet. [8, 22-23.] Kuvassa 7 on kuvattu inventaarioanalyysin kulku (Kuva 7).



Kuva 7. Inventaarioanalyysin kulku [8, 21].

2.2.3 Vaikutusarviointi, LCIA (Life Cycle Impact assessment)

Vaikutusarvioinnin (LCIA) tarkoitus on kerätyistä lähtötiedoista ja inventaarioanalyysistä saaduista tiedoista muuttaa tiedot indikaattorituloksiksi, jotka kuvaavat ihmisen terveyteen, ympäristön vaikutuksiin sekä luonnon varoihin liittyviä tuloksia. Indikaattoreiden tulee olla ympäristön kannalta relevantteja ja näiden tulee kuvata merkityksellisiä asioita ympäristöön liittyen. [10, 109-110.]

Vaikutusarviointi on suhteellinen lähestymistapa, joka perustuu toiminnalliseen yksiköön. Tämä eroaa muista tekniikoista, kuten riskiarvioinnista ja ympäristösuorituskyvyn arvioinnista sekä ympäristövaikutusarvioinnista. Vaikutusarvioinnissa voidaan silti käyttää näiden tekniikoiden keräämiä tietoja. Vaikutusarviointi sisältää pakollisia ja vapaaehtoisia osia.

Vaikutusarviontiin tulee panostaa ja tehdä se huolellisesti, jotta sillä saavutetaan tavoitteet ja soveltamisala. Tämä tulee sovittaa yhteen muiden elinkaariarviointivaiheiden kanssa ottaen huomioon seuraavat pois jätetyt perusteet ja epävarmuustekijät:

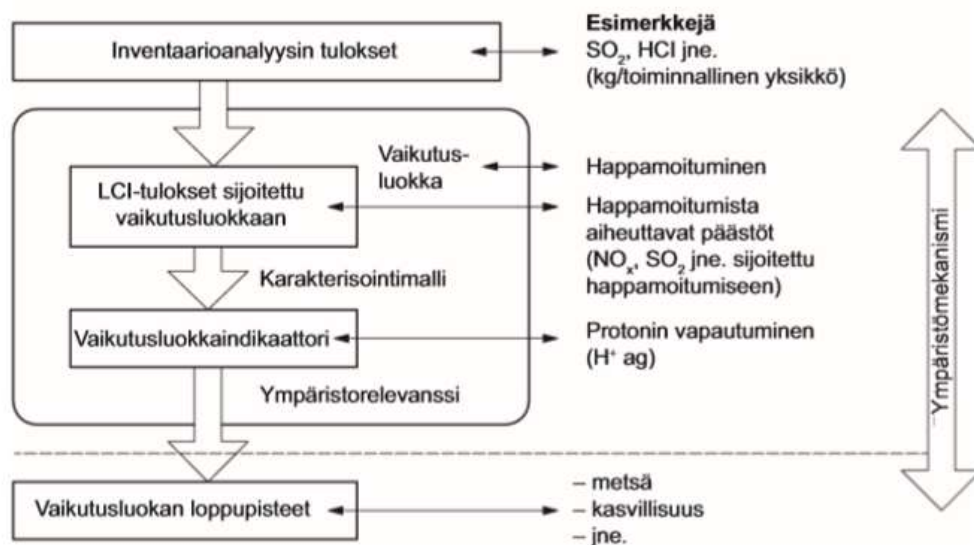
1. Vastaako inventaarioanalyysitietojen ja -tulosten laatu asetettua tavoitetta, jotta pystytään suorittamaan vaikutusarviointi kaikkien tavoitteiden ja soveltavuuden tiimoilta.
2. Miten järjestelmän päätöksiä ja tiedon rajauksia on tehty, ovatko nämä riittäviä varmistamaan välttämättömien inventaarioanalyysin tulosten saatavuus, kun suoritetaan vaikutusarvioinnin indikaattoritulosten laskentaa.
3. Onko ympäristörelevanssi heikentynyt inventaarioanalyysin perustuvan laskennan tai koko järjestelmän keskiarvolaskennan vuoksi.

[7, 34-40.]

Vaikutusarviointi pitää sisällään erityyppisten vaikutusluokkaindikaattorien tulosten keräämisen ja nämä tulokset muodostavat tuotejärjestelmän LCIA-profiilin. [8, 24-25.]

2.2.3.1 Vaikutusarvioinnin pakolliset osat

Vaikutusarvioinnissa on myös pakollinen osio, mitä sen tulee pitää sisällään. Se pitää sisällään vaikutusluokkien sekä vaikutusluokkaindikaattoreiden ja karakterisointimallien valinnan. Siinä pitää myös näkyä luokittelu, missä inventaarianalyysin tulokset sijoitetaan vaikutusluokkiin, sekä valittujen vaikutusluokkien indikaattoritulosten laskeminen. Vaikutusluokkaindikaattoreita, vaikutusluokkia ja karakterisointimalleja valittaessa tulee aina viitata valittuun liittyvään tietolähteeseen ja informaatioon. Vaikutusluokkaindikaattoreille sekä vaikutusluokille tulee antaa näiden perusteita kuvaavat tarkat nimet. Karakterisointimallien, vaikutusluokkaindikaattoreiden ja vaikutusluokkien valintojen tulee olla yhdenmukaisia elinkaariarvioinnin tavoitteiden ja soveltamisalan kanssa. [8, 25-26.] Kuvassa 8 on esitetty vaikutusluokkaindikaattorin käsite (Kuva 8)



Kuva 8. Vaikutusluokkaindikaattorin käsite [8, 26].

2.2.3.2 Valinnoissa käytettävät suositukset

Kohdassa 2.2.3.1 mainittujen pakollisten osioiden lisäksi tulisi noudattaa suosituksia valittaessa vaikutusluokkia, vaikutusluokkaindikaattoreita ja karakterisointimalleja. Näitä suosituksia ovat seuraavat:

Vaikutusluokkien, vaikutusluokkaindikaattoreiden sekä karakterisointimallien tulee olla kansainvälisesti hyväksyttyjä. Nämä hyväksynnit tarkoittavat, että ne ovat jonkin asiantuntevan kansainvälisen yhteisön hyväksymiä tai nämä perustuvat johonkin kansainväliseen sopimukseen.

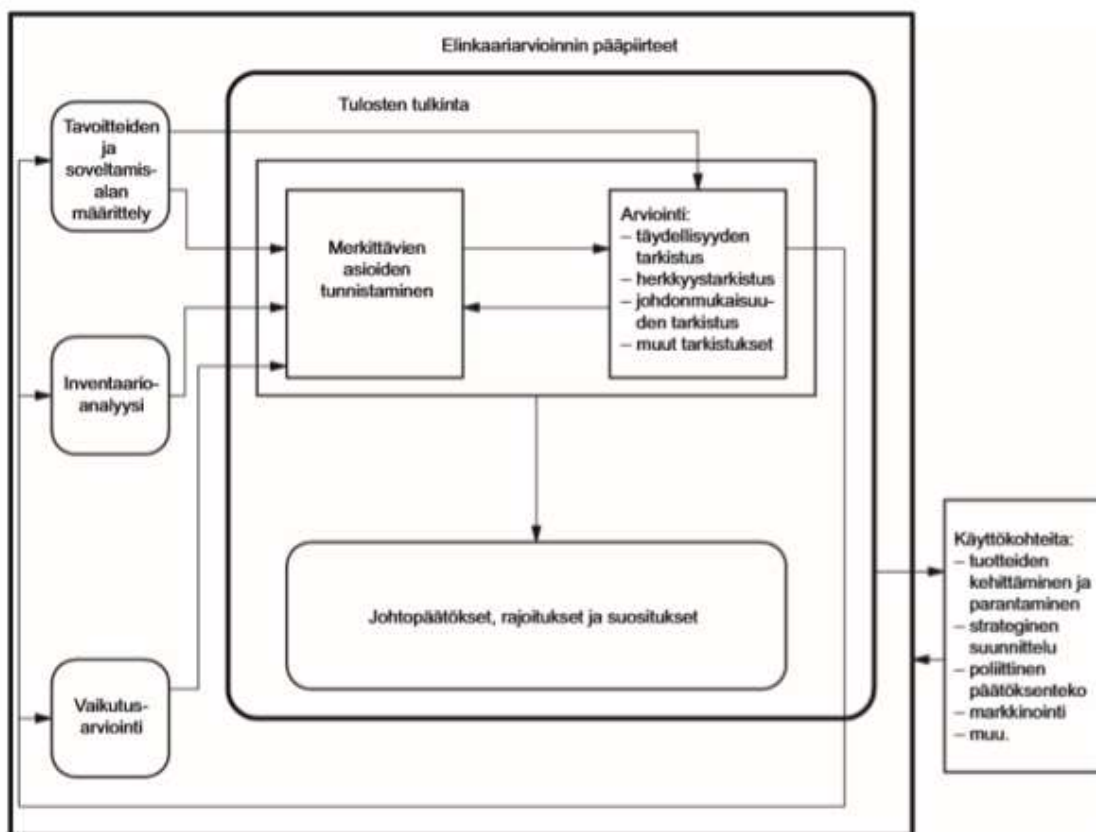
Vaikutusluokkaindikaattoreiden avulla vaikutusluokkien tulisi edustaa tuotejärjestelmän yhdistettyjä vaikutuksia tuotoksista ja syötteistä vaikutusluokan loppupisteeseen. Vaikutusluokkaindikaattoreiden tulee olla ympäristön suhteen relevantteja. Valittaessa vaikutusluokkia, karakterisointimalleja sekä vaikutusluokkaindikaattoreita tulisi vähimmäistää oletukset ja arvovalinnat. Päällekkäistä laskentaa tulisi välttää vaikutusluokkien, vaikutusluokkaindikaattoreiden ja karakterisointimallien osalta, koska tämä voi lisätä vääristynyttä tietoa ja tiedon luotettavuus voi kärsiä, siten ei vastaa tavoitteiden asettamaan vaatimusta.

Vaikutusluokkaindikaattorin karakterisointimallin pitäisi perustua yksilöityyn ja tunnistettavissa olevaan ympäristömekanismiin, sekä niiden pitäisi olla teknisesti ja tieteellisesti päteviä. Nämä tieteelliset ja tekniset pätevyudet tulee määritellä karakterisointimallien ja karakterisointikertoimien osalta. [8, 25-26.]

2.2.4 Tulosten tulkintavaihe

Tulkintavaihe koostuu inventaarioanalyysivaiheen sekä vaikutusarviointivaiheiden tuloksien merkittävien asioiden tunnistamisesta. Tulkintavaiheessa arvioidaan herkkyyden, täydellisyyden sekä johdonmukaisuuden tarkistus. Tulosten tulkintavaiheessa otetaan huomioon rajoitukset, johtopäätökset sekä suositukset. Tämä vaihe on tavoitteiden ja soveltamisalan kaltainen vaihe, koska tässä ei kerätä tietoa tuotejärjestelmistä vaan tässä

vaiheessa kootaan tietoa yhteen. [8, 31-34.] Kuvassa 9 on havainnollistettu tulosten tulkintavaihe. (Kuva 9)



Kuva 9. Tulosten tulkintavaihe kuvattuna [8, 32].

Tuotejärjestelmästä kerättyjen tietojen tulokset tulee tulkita soveltamisalan sekä selvityksen tavoitteiden mukaisesti. Tulosten epävarmuuden ymmärtämiseksi tulokinnassa tulee olla merkittävien menetelmätekniikoiden, tuotosten ja syötteiden herkkyystarkistus ja arviointi.

Tuloksia tulkittaessa tulisi huomioida selvityksen tavoitteiden mukaisesti toiminnallisen yksikön ja järjestelmän toimintojen sisältöjen asianmukaisuus, sekä herkkyysanalyysia tehdessä ja lähtötietojen laatuarvioinnissa tunnistetut rajoitukset.

Kaikki inventaarioanalyysin ja vaikutusarvioinnin tuloksien perusteella tehty suositusdokumentoinnit tulee tarkistaa. Inventaarioanalyysin tulokset eivät viittaa suoraan ympäristövaikutuksiin vaan syötetietoihin ja tuotostietoihin, joten näitä tulisi tulkita varoen.

Näitä tietoja tulisi mahdollisuuksien mukaan aina perustella ja tukea johtopäätöstä tukevalla analyysillä. [8, 32-35.]

Tulosten tulkinnan yksi osa on tunnistaa merkittäviä asioita. Inventaarioanalyysistä ja vaikutusarvioinnista saatuja tuloksia järjestellään siten, että merkitykselliset asiat ovat määriteltävissä tavoitteiden ja soveltamisalaa mukaillen ja nämä ovat yhdessä vuorovaikutuksessa arviointiosion kanssa. Vuorovaikutuksella tavoitellaan, että otetaan huomioon aiemmissa vaiheissa käytettyjen olettamusten ja menetelmien seuraamuksia. Näitä seuraamuksia ovat esimerkiksi vaikutusluokkien valinnoilla ja vaikutusluokkaindikaattoreilla. [8, 32-35.]

Arviointiosuuden tavoite on määritellä elinkaariarvioinnin tulosten luotettavuus ja kehittää ja määritellä luottamusta tuloksiin. Arviointiosio sisältää myös tulosten tulkinnan, joka on saatu ensimmäisessä vaiheessa tehdyn merkittävien asioiden tunnistamisen kautta. Arvioinnin tulosten tulee olla selkeitä ja ymmärrettävissä siten, että toimeksiantaja ja muut sidosryhmät pystyvät tulkitsemaan ja ymmärtämään tuloksia. [8, 32-35.]

Arvioinnissa tulee huomioida kolme eri tekniikkaa, jotka ovat täydellisyyden tarkistus, herkkyystarkistus ja johdonmukaisuuden tarkistus. Johdonmukaisuuden tarkistuksella tarkastellaan, ovatko lähtötiedot yhdenmukaisia soveltamisalan ja tavoitteiden kanssa sekä ovatko menetelmät ja olettamukset yhdenmukaisia. Herkkyystarkistuksen tavoitteeseen kuuluu lopputulosten sekä johtopäätösten luotettavuuden tarkastelu siihen, miten laskennan aikana syntyneet epävarmuustekijät vaikuttavat lopputulokseen. Täydellisyyden tarkistuksen tavoite on tarkastella, että tulosten tulkintaa varten kaikki tarvittavat lähtötiedot ja yleinen tieto ovat riittävää ja ne ovat saatavilla. Olennaisten tietojen puuttumisen huomattua tulee arvioida, onko elinkaariarviointi mahdollista suorittaa. Luotettavuus määritellään arvioimalla lähtötiedot ja vaikutusluokka indikaattoritulosten laskentaan sisältyvät epävarmuutta luovat tekijät. [8, 32-35.] Lähtötietojen arviointiin voidaan käyttää ympäristöministeriön laatimaa työkalua. (Kuva 4)

Tulosten tulkinnan viimeinen osio on johtopäätökset, rajoitukset ja suositukset. Tämän osion tarkoituksena on luoda johtopäätöksiä sekä havainnoida rajoituksia ja jakaa suosituksia kohderyhmälle, johon elinkaariarviointi vaikuttaa. Kaikki johtopäätökset tehdään selvityksen perusteella. Nämä tulee tehdä tulosten tulkintavaiheiden kaikkien osioiden kanssa vuorovaikutuksessa iteratiivisessa mielessä. Prosessilla tulee olla selkeä toteutusjärjestelmä ja sen tulee olla alla mainitussa järjestyksessä,

1. Havaitaan merkitykselliset asiat.
2. Tarkastellaan tulosten täydellisyys, herkkyys sekä johdon mukaisuus ja menetelmätekniikat.
3. Alustavien johtopäätösten teko sekä tarkistetaan, että johtopäätökset ovat tavoitteiden ja soveltamisalan kanssa johdonmukaiset. Tässä pitää tarkastella myös lähtötietojen laatuvaatimukset sekä ennalta tehdyt ja määritellyt olettamukset ja arvot.
4. Kun johtopäätökset ovat saatu tehtyä johdonmukaisesti, niin nämä raportoidaan lopullisina johtopäätöksinä. [8, 32-35.]

Määriteltyjen suositusten tulisi liittyä elinkaariarvion käyttötarkoituksiin. Näiden suositusten tulee pohjautua selvityksen lopullisiin johtopäätöksiin ja suunnata johtopäätösten järkeviä sekä loogisia seuraamuksia. [8, 32-35.]

2.3 Elinkaariarvioinnin raportointi

Lopuksi elinkaariarvioinnin tulokset ja johtopäätökset tulee raportoida, sekä kohdentaen aiotulle kohderyhmälle tarkasti kokonaisuudessaan ja raportin tulee olla puolueeton. Kaikki elinkaariarvioinnista saadut tulokset, tiedot ja käytetyt menetelmät, olettamukset ja rajoitukset pitää olla esitetty läpinäkyvästi ja niiden tulee olla riittävän yksityiskohtaisia, jotta raporttia tutkiva henkilö pystyy ymmärtämään elinkaariarvion moninaisuudet ja kompromissit. Raportista pitää pystyä tulkitsemaan tulosten ja tulkinnan käyttö selvityksessä asetettujen tavoitteiden mukaisilla tavoilla. [8, 35-36.]

2.4 Elinkaariarvioissa yleisimmin käytetyt indikaattorit

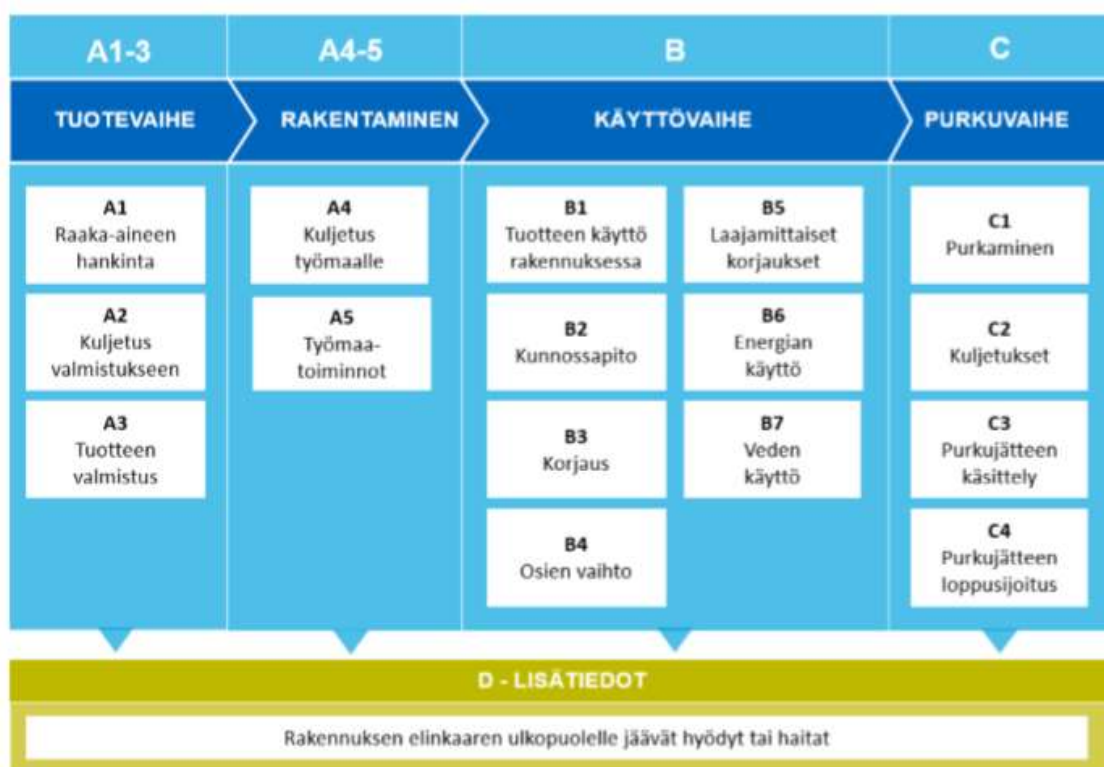
Elinkaariarviointiin sisältyy useita eri ympäristövaikutuksia. Näitä ympäristövaikutuksia tarkastellaan käyttämällä indikaattoreita, jotka kuvaavat ympäristökuormituksia. Näitä ovat seuraavat:

- Global Warming Potential (GWP) mittaa kasvihuonekaasujen määrää ilmassa. GWP:stä johtuva ongelma on, kun ilmakehän kerrokset lähellä maata lämpenevät ja tämä johtaa ilmaston muutokseen. GWP toimii kasvihuonekaasuja yhdistävänä indikaattorina. Kasvihuonekaasut yhteismitallistetaan, jolloin saadaan yhtenäinen tulos, eli CO₂e. GWP ilmaistaan yleensä GWP100- tai GWP20-indikaattorilla, eli 100-vuoden ajalle tai vastaavasti 20-vuoden ajalle. GWP käsitteellä tarkoitetaan hiilijalanjälki-termiä.
- Stratosfäärinen otsonikerroksen heikkeneminen (ODP) mittaa haitallisia UVA- ja UVB-säteilyjä. ODP aiheuttaa stratosfäärisen otsonikerroksen heikkenemistä, tämä kerros suojaa kasvistoa ja eläimistöä UVA- ja UVB-säteilyiltä.
- Troposfäärisen otsonikerroksen valokemiallisten hapettimien muodostuminen (POCP). POCP mittaa vaikutusta UV-säteilyn yhteydessä otsonin muodostumiseen alemmassa ilmakehässä ja tämä voi vahingoittaa hengityselimiä.
- Happamoitumispotentiaali (AP) indikaattorilla mitataan happamoitumis päästöjä. AP reagoi veden kanssa, jolloin syntyy happosateita ja tämä vaikuttaa ravinteiden uuttumiseen kasveissa.
- Rehevöitymispotentiaalilla (EP) mitataan rehevöityspäästöjä. Nämä päästöt aiheuttavat liiallista levän kasvua ja tämä vaikuttaa kalojen elinympäristöön.
- Abioottinen köyhdytyspotentiaali ei-fossiilisille luonnonvaroilta (ADPe) mitataan Sb-ekvivalentti päästöjä, jotka vaikuttavat muun muassa metallien ja mineraalien heikkenemiseen.
- Fossiilisten luonnonvarojen abioottisen köyhtymisen (ADPf) indikaattorilla mitataan abioottisia fossiilisen energiankäyttöä ja tästä ongelmaksi muodostuu fossiilisten polttoaineiden väheneminen.

- Primaari energian kokonaiskäyttö (PEtot) indikaattorilla kuvataan primaarienergian käyttöä, jolla saadaan tietoa käytetyistä energiamuodoista, jotka ovat uusiutuvia ja uusiutumattomia [5, 6.]

2.5 Rakennuksen elinkaaren vaiheet

Rakennusten elinkaari esittelyssä noudatetaan CEN/TC350 mukaista jaottelua erinäisiin informaatiomodouleihin. Informaatiomodulit koostuvat viidestä eri vaiheesta ja näitä vaihteita ovat seuraavat: A1-A3 tuotevaihe, A4-A5 rakentamisvaihe, B1-B7 käyttövaihe, C1-C4 purkamisvaihe, sekä lisäksi D-moduuli eli rakennuksen elinkaaren ulkopuolelle jäävät hyödyt tai haitat. D-moduulissa kuvataan hyötyjä tai haittoja. Niitä ovat muun muassa rakennuksesta purettavien materiaalin käyttö ja niiden käyttämällä saatu hyöty sekä puumateriaalien käyttö. Tämän lisäksi siellä on otettu huomioon kierrätysmateriaaleista saatu hyöty sekä uudelleen käytettävien materiaalien hyöty. [11, 30.] Kuvassa 10 on esitetty rakennuksen elinkaaren informaatiomodulit (Kuva 10).



Kuva 10. Rakennuksen elinkaaren vaiheet esitettynä CEN/TC 350 mukaisesti [1, 13].

3 Ympäristöseloste, EPD (Environmental Product Declaration)

Rakennustuotteesta laadittu ympäristöseloste on tuoteselostuksen kaltainen seloste, joka kattaa ympäristövaikutukset tuotteesta. Ympäristöseloste on standardoitu merkintä tuotteelle tai tuoteryhmälle. Ympäristöselosteet ovat voimassa aina 5 vuotta kerrallaan, jonka jälkeen ne tulee todentaa uudestaan. Ympäristöseloste tulee verifioida ja näitä verifiointeja pystyy tekemään kolmas osapuoli, joka on hyväksytty standardien EN ISO 14025 ja ISO 21930 mukaisesti. Ympäristöseloste kattaa luotettavasti vertailukelpoiset ja olennaiset tiedot valmistetun tuotteen elinkaaresta. Ympäristöseloste on täysin vapaaehtoinen, eikä se ole pakollinen rakennustuotteille Suomessa. Toisin kuin Norjassa, rakennustuotteiden EPD on pakollinen. Tämä kattaa kaikki oleelliset tiedot ympäristöön liittyen, ja ne ovat varmennettuja puolueettomalta kannalta tarkasteltuna. Ympäristöselosteet voivat vaihdella laajuudeltaan ja selostetyyppejä on kolme erilaista ja ne ovat: *”kehdosta tehtaan portille”*, *”kehdosta tehtaan portille optioin”* ja *”kehdosta hautaan”*.

”Kehdosta tehtaan portille” selostetyypissä ei ole määritelty referenssikäyttöikää ja sitä ei ole siten varmennettu laadullisesti tai määrällisesti. Lisäksi tämänkaltaisen seloste ei sisällä myöskään informaatiomoduuleja C tai D vaan pelkästään vain moduulit A1-A3. [9, 20-22, 46.]

”Kehdosta tehtaan portille optioin” seloste voi vaihdella laajuudeltaan monella tapaa. Tämä seloste tyyppi voi sisältää informaatiomoduuleista A1-A3 ja sen lisäksi siihen on voitu valita tuotteen mukaisesti haluttuja informaatiomoduuleja, kuten esimerkiksi informaatiomoduuleista C1-C4 jokin. [9, 20-22, 46.]

”Kehdosta hautaan” kattaa täydellisesti koko rakennusmateriaalin elinkaaren. Tämä selostetyyppi sisältää kaikki informaatiomoduulit A1-C4 ja tämän lisäksi moduulin D. [9, 20-22, 46.]

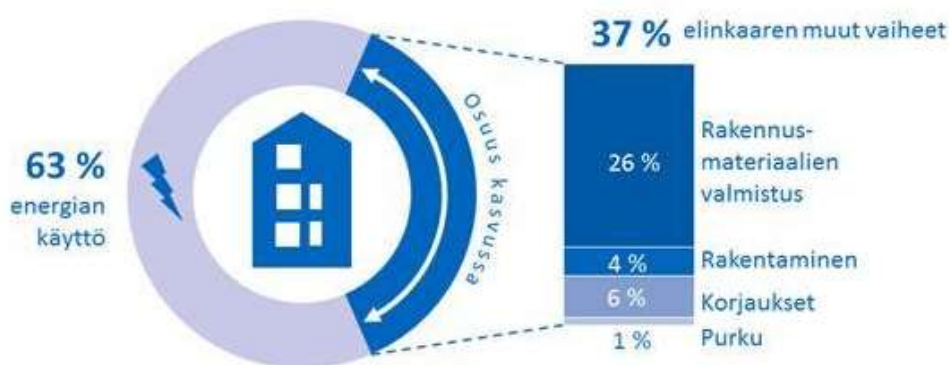
Ympäristöseloste auttaa huomattavasti elinkaariarvioinnissa, koska tästä saadaan suoraan tuotteen päästöt raaka-aineen hankinnasta aina valmiiseen tuotteeseen, mikäli tuote sisältää täydellisen ympäristöselosteen. Ympäristöselosteet ovat hyödyllisiä monella tapaa. Rakennuksen suunnitteluvaiheessa saadaan helposti käsiin tuotteen päästöt, jos käytettävistä tuotteista on laadittu ympäristöselosteet. EPD:n avulla voidaan tehdä alustavaa elinkaariarviointia, vaikka rakennuksesta sitä ei tehtäisikään. Valitsemalla rakennustuotteet EPD:tä hyödyntämällä, pystytään miettimään ympäristöä vähemmän kuormittavia teki-
jöitä.

4 Hiilijalanjälki rakennuksissa

4.1 Yleistä

Rakennuksen hiilijalanjäljen laskeminen on yleistynyt suuresti näinä vuosina. Yleistymiseen on johtanut kiinnostus hiilijalanjäljen seuranta rakennushankkeissa, sekä ympäristöministeriön laadinnassa oleva rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioiminen osana rakentamista.

Hiilijalanjäljen laskenta ja sen arviointi osana rakennusprojektia antaa todellisia näkymiä ympäristövaikutuksista, lisäksi se antaa hyvän vaikutusmahdollisuuden rakennuksen koko elinkaaren hiilijalanjälkeen. Rakentamisvaiheen ympäristövaikutukset vastaavat jopa yli 20 vuoden käyttövaikutuksia, joten tämä on todella nopea tapa vaikuttaa päästöihin. [12.]



Kuva 11. Hiilijalanjäljen muodostuminen rakennuksessa [1].

Hiilijalanjäljen laskennassa käytetään usein siihen kehiteltyjä laskentatyökaluja, jotka helpottavat laskentaprosessia. Laskennassa tulee noudattaa EN 15978 standardia, sekä sen lisäksi Suomen kansallista laskentaohjetta. Laskentaohjeen on luonut GreenBuilding Council Finland yhdessä Bionova consulting kanssa. [11.]

Hiilijalanjälki rakennuksissa muodostuu rakennusmateriaaleista, rakentamisvaiheesta, korjauksista, purkamisesta ja energian kulutuksesta (Kuva 11). Rakennuksen hiilijalanjälki on osa rakennuksen elinkaariarviointia. Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljellä mitataan rakennuksen koko elinkaaren aikana aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä. Hiilidioksidipäästöt aiheuttavat ilmaston lämpenemistä. Hiilijalanjäljen mittayksikkönä toimii hiilidioksidiekvivalentti, joka tarkoittaa, että kasvihuonekaasujen päästöt muutetaan vastaamaan hiilidioksidin lämmittävää vaikutusta ilmastoon. Tämä mahdollistaa yhden selkeän luvun käytön raportoinnissa. [11, 27-28.]

Hiilijalanjäljen mittauksesta on hyötyä muun muassa sijoittajille, jotka haluavat mitata sijoituksiensa hiilijalanjälkeä ja vastaavasti myös ympäristöhyötyjä hiilikädenjäljen kautta. Suuret sijoittajat mittaavat usein sijoitussalkkujensa hiilijalanjälkeä, kuten esimerkiksi työeläkeyhtiö Elo. [13.]

4.2 Hiilivarasto

Hiilivarasto tarkoittaa materiaaliin sitoutunutta hiiltä, joka on ei-fossiilista, ja materiaalin muuttuessa energiaksi vapautuu hiilidioksidiksi ilmakehään. Hiilivarastot ovat väliaikaisia varastoja, koska hiilidioksidi vapautuu materiaalista sen elinkaaren lopussa. [11, 37-40.]

EN 15978 ohjeen mukaisesti puutuotteisiin varastoituneen hiilidioksidin voi merkitä miinusmerkkisenä tekijänä D-moduulissa, kun puu on hankittu kestävästi hoidetusta metsästä.

4.3 Hiilikädenjälki

Hiilikädenjäljellä tarkoitetaan rakennuksen elinkaarenaikana saatuja ilmastohyötyjä. Nämä hyödyt koostuvat materiaalien uusiokäytöstä, kierrätyksestä ja materiaaleihin sitoutuneesta hiilestä [6, 52-53]. Kasvattamalla hiilikädenjälkeä pystytään kompensoimaan hiilijalanjälkeä ja tätä kautta vaikuttamaan positiivisesti ympäristökuormiin [14]. Hiilikädenjäljen hyödyn voi mitata D-moduulissa, jos laskelmat on suoritettu standardin EN 15978 mukaisesti.

5 One Click LCA (2015)

5.1 Yleistä

One Click LCA on kehitetty ohjelmisto elinkaariarvioinnin, elinkaarikustannusten, hiilijalanjäljen ja muiden ympäristövaikutusten laskemiseen. One Click LCA:ta voidaan käyttää rakentamisen ekologiseen suunnitteluun, tällä tarkoitetaan, että laskelmien avulla huomioidaan ympäristövaikutuksia ja luonnonvarojen käyttöä rakentamisessa. [15.]

5.2 Standardit

One Click LCA:n rakennuksen elinkaariarviointi menetelmät pohjautuvat standardiin EN 15978. Standardi EN 15978 on standardin ISO 14044 ja ISO 14040 mukainen, mikä tarkoittaa, että One Click LCA on myös standardin ISO 14044 ja ISO 14040 mukainen ohjelmisto. Ohjelmisto on myös vahvistettu kolmannen osapuolen taholta standardien EN 15978, ISO 21931-1, ISO 21929 mukaan ja ISO 14040/44- ja EN 15804 standardien syötötietojen osalta. [15.]

5.3 Luotettavuus

One Click LCA on BREEAM-arvioitu LCA-ohjelmisto, joka on saanut 100% MAT 01 laatuarvioinnissa ja se on korkein mahdollinen tulos. One Click LCA on myös sertifioitu usean muun Green Building -sertifiointijärjestelmän kanssa. Näitä ovat muun muassa LEED, Energie Carbone, DGNB ja HQE. [15.]

5.3.1 Building Research Establishment's Environmental Assessment Method (BREEAM)

Building Research Establishment's Environmental Assessment Method (BREEAM) on kestävän kehityksen arviointimenetelmä, joka on luotu ja kehitetty parantamaan maailmanlaajuisesti rakennushankkeiden ympäristöllistä-, sosiaalista ja taloudellista kestävyyttä, ja kannustaa rakennusteollisuutta omaksumaan kehittyneempi ja tieteellisesti helpompi lähestymiskeino vihreisiin ja terveisiin rakennuksiin. [16.]

5.3.2 Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)

Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) on ympäristö sertifiointijärjestelmä, jonka on kehittänyt Yhdysvaltalainen Green Building Council. LEED:n tarkoitus on vähentää rakentamisen käytön aikaisia haitallisia ympäristövaikutuksia. LEED:n avulla määritellään, onko rakennus suunniteltu ympäristöystävällisesti. LEED:n sisältämiin kriteereihin kuuluu hiilidioksidipäästöjen vähentäminen, energiatehokkuus, vedenkulutuksen vähentäminen ja sisäilmanlaadun parantaminen. LEED-sertifikaattiin tarvittavat arvioinnit suorittaa kolmas osapuoli, joka on puolueeton. LEED-sertifikaatin myöntää Green Building Certification institute. [17.]

5.4 Toimivuus ja laajuus

One Click LCA tukee kaikkia 24 vaikutuskategoriaa, jotka on lueteltu standardissa EN 15804 CML-menetelmien ja 6 TRACI-vaikutuskategorian perusteella. Lisäksi One Click LCA tukee kaikkien elinkaarivaiheiden laskelmia standardin EN 15978 mukaisesti, mukaan lukien rakennustuotteet ja prosessit A1-A5:ssä, rakennusten käyttö, huolto, energian ja veden kulutus B1-B7:ssä elinkaaren loppu- ja purkuvaiheessa C1-C4:ssä ja ulkoiset vaikutukset D-moduulissa ”*kehdestä hautaan*” menetelmän mukaisesti.

Tällä hetkellä One Click LCA sisältää yli 10 000 datapistettä ja sillä on markkinoiden suurin LCA-tietokanta materiaaleista, jotka sisältävät tuhansia ympäristömerkittyjä tuotteita. Laskelmat voidaan automatisoida alkuperäisillä integraatioilla suunnittelun ja energian mallinnusohjelmistojen kanssa, kuten Revit, ArchiCAD, IES-VE ja DesignBuilder. [18.]

6 Laskelmat

Tässä työssä esitetyt laskelmat on suoritettu standardin EN 15978 ohjeen mukaisesti. Laskelmat suoritettiin elinkaariarviointiin suunnitellulla ohjelmalla nimeltä One Click LCA 2015. Laskelmat suoritettiin Ecotelligent yrityksen tietoliikennemastosta. Laskelmien tarkoitus on tuoda esille maston hiilijalanjälki sekä ilmastohyötyjä eli hiilikädenjälki.

Ennen laskelmien aloitusta suoritettiin tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, jossa pääasiaksi nousi selvityksen tarve ja kohdeyleisö. Nämä asiat käytiin läpi yhdessä Ecotelligentin toimitusjohtajan kanssa ja yhdessä määriteltiin tarvittavat seikat. Selvityksen tarpeen syy oli, että halutaan tietää Ecopol-maston hiilijalanjälki. Tämä hiilijalanjälki haettiin esittää mahdollisille asiakkaille, joten asiakkaat valikoituivat kohdeyleisöksi.

Tavoitteiden määrittelyn jälkeen alkoi inventaarioanalyysi. Inventaarioanalyysi alkoi tiedon keräämisellä. Kerättyjä tietoja olivat maston pystytyksestä aiheutuvat päästöt ja maston rakennusmateriaalit. Pystytyksestä aiheutuvat päästöt aiheutuivat nosturiauton energian kulutuksesta. Rakennusmateriaalien aiheuttamat päästöt koostuvat perustuksista ja

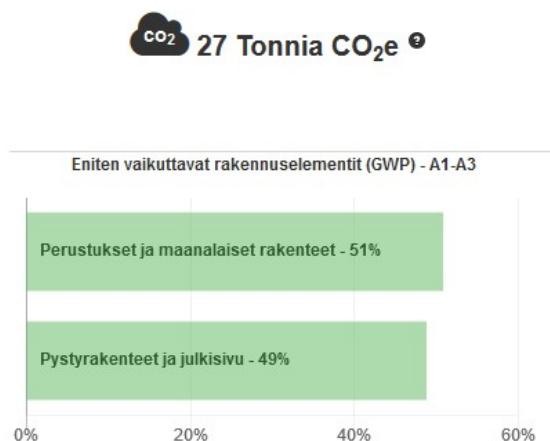
rungosta. Runko koostuu kertopuusta ja liimapuusta. Rungon sisällä kulkee teräsjäykistyksen, jotka toimivat samalla ukkosenjohdattimena. Inventaarioanalyysin aikana rajauksena tuli, että huoltokäynnit maston luona jätetään pois. Huoltokäyntejä maston luona kertyy elinkaaren aikana vain muutama, joten nämä ovat merkityksettömiä. Kiinnike materiaalit huomioitiin osana teräksistä jäykistettä ja ne on laskettu yleisteräksen ilmasto-kuormilla. Tiedon keräämisen jälkeen kävimme tiedot yhdessä läpi Ecotelligentin toimitusjohtajan kanssa. Laskennassa käytettiin One Click LCA:ta, jonka avulla saatiin helpposti tulokset yhdistettyä.

Vaikutusarviointi osuus tapahtui täysin One Click LCA:lla, joka laskee ja yhdistää kaiken tarvittavan tiedon standardin EN 15978 mukaisesti. Vaikutusluokkaindikaattoreiksi valikoitui GWP, AP, EP, ODP, PEtot. Näistä kaikkein tärkein toimeksiantajalle oli GWP. Nämä kaikki indikaattorit ovat kansainvälisesti hyväksytyjä, joten näitä pystytään käyttämään julkisessa raportissa.

Viimeisessä osiossa, tulosten tulkintavaiheessa käytiin läpi merkittävät asiat ja tehtiin niiden pohjalta johtopäätöksiä ja suosituksia. Suurimpana ja merkittävimpänä asiana nousi esille perustukset. Perustukset muodostavat noin 47% CO₂e-päästöistä, joten perustusratkaisu, jolla voitaisiin säästää betonia, olisi merkittävä asia tässä tilanteessa. Toinen asia millä pystyttäisiin vähentämään CO₂e-päästöjä, on teräsosien määrän vähentäminen. Tässä tapauksessa teräksen päästöt ovat noin kolme kertaa suuremmat kuin puun.

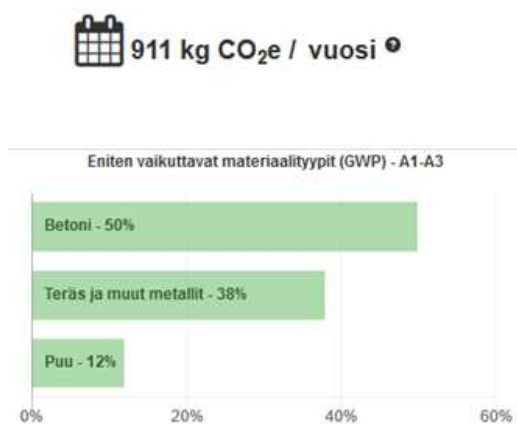
6.1 Tulokset

Tuloksissa huomioidaan pääasiallisesti vain Global Warming Potential, koska tämä nousi tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyssä pääaiheeksi. GWP:n lisäksi tuloksissa esitetään hiilikädenjälki, joka muodostuu D-moduulin ilmastohyödyistä.



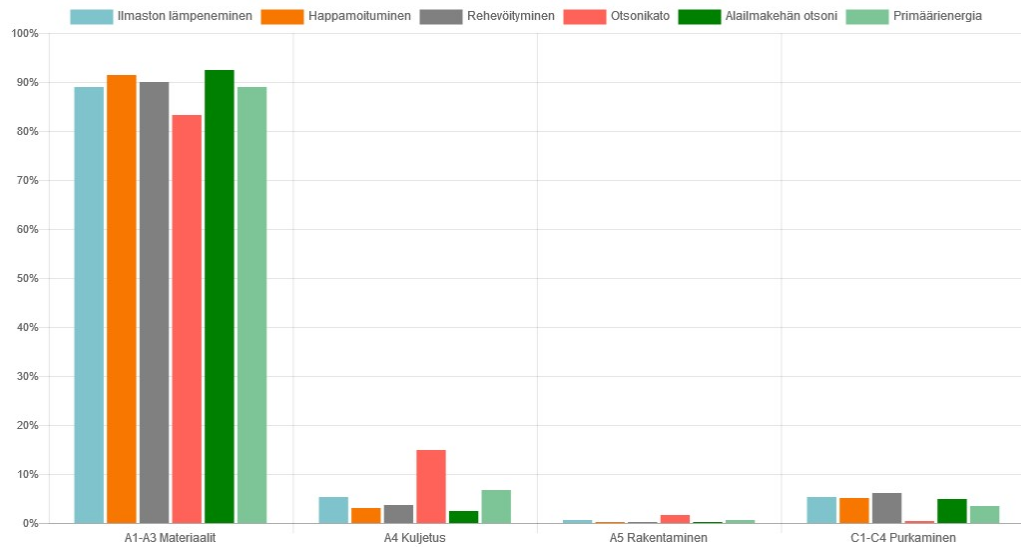
Kuva 12. Tietoliikennemaston hiilidioksidipäästöt [Liite 1, 9].

Kuvassa 12 Näkyy CO₂e-päästöjen jakautuminen moduuleissa A1-A3 Ecopol-mastossa (Kuva 12). Perustukset aiheuttavat 51% kategorian A1-A3 päästöistä, jotka ovat kokonaispäästöistä noin 47%. Maston puurakenteet aiheuttavat 12% päästöistä (Kuva 12).



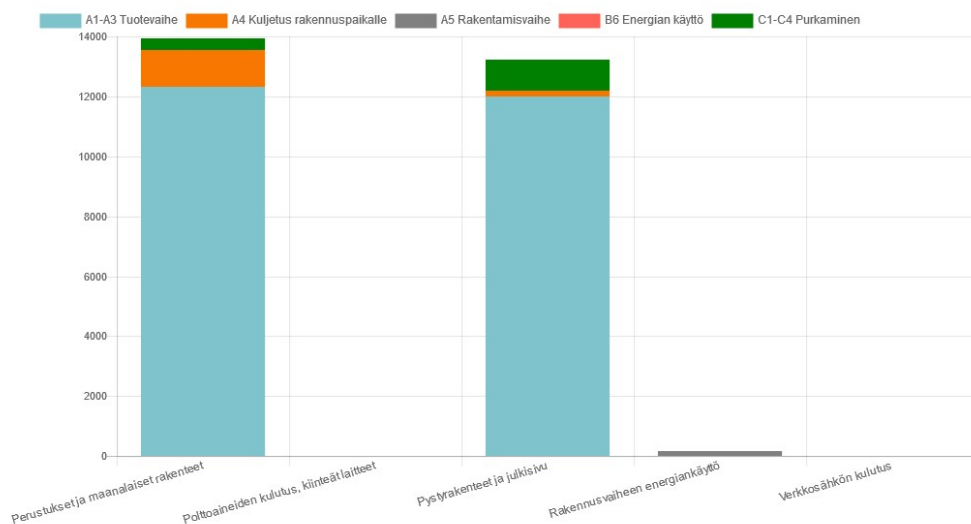
Kuva 13. Hiilidioksidipäästöt eri materiaaleille [Liite 1, 9].

Ecopol-maston päästöt jaettuna sen elinkaarelle ovat 911kg CO₂e / vuosi (Kuva 13). Nämä tulokset tulevat siitä, kun maston elinkaaren aikaiset päästöt jaetaan maston elinikäällä, joka on 30 vuotta.



Kuva 14. Tietoliikennemaston elinkaari tulosten jakautuminen elinkaaren vaiheissa [Liite 1, 4].

Kuten kuvasta 14 pystyy näkemään, materiaalien osuus on maston elinkaariarvioinnissa suurin (Kuva 14). Tämä johtuu siitä, että mastolla ei ole käytönaikaisia energiakulutuksia, jotka aiheuttaisivat päästöjä.



Kuva 15. Tietoliikennemaston GWP muodostuminen [Liite 1, 9].

Perustusten CO₂e-päästöt ovat noin 12,5 tonnia. Perustusten päästöt ovat melkein saman verran kuin maston rakenteiden päästöt.

Result summary

		Global warming kg CO ₂ e	Acidification kg SO ₂ e	Eutrophication kg PO ₄ e	Ozone depletion potential kg CFC11e	Formation of ozone of lower atmosphere kg Ethenee	Primary energy MJ
A1- A3	Construction Materials	2,43E4	7,72E1	1,49E1	4,16E-4	6,39E0	4,73E5
A4	Transportation to site	1,43E3	1,86E0	4,02E-1	9,97E-5	4,75E-2	1,27E4
A5	Construction/installation process	1,56E2	3,29E2	2E2	1,3E-2	1,12E1	1,7E6
B1- B5	Maintenance and material replacement						
B6	Energy use						
B7	Water use						
C1- C4	Deconstruction	1,44E3	1,77E0	4,05E-1	3,98E-9	2,36E-1	5,02E3
D	External impacts (not included in totals)	-1,27E4	-2,9E1	1,53E1	1,65E-3	8,35E0	3,56E5
	Total	2,73E4	8,6E1	1,531E1	1,65E-3	8,35E0	3,56E5

Kuva 16. Elinkaariarvioinnin tulokset taulukkomuodossa [Liite 1, 8].

Kuvasta 16 käy ilmi maston elinkaaren aikaiset päästöt (Kuva 16). Sieltä voidaan nostaa esiin sen GWP, joka on noin 27 tonnia CO₂e. GWP kuvastaa maston hiilijalanjälkeä, kun taas D-moduuli kuvaa maston hiilikädenjälkeä, joka on noin -12,7 tonnia CO₂e.

6.2 Analysointi

Laskelmien suorittamisen jälkeen voidaan todeta, että tulokset ovat lähellä todellisuutta, koska materiaalien tietolähteet ja materiaalien määrät ovat hyvin lähelle todellisia tietoja. Huomioitavaa on, että jäykistyksessä käytettävät teräkset ovat 30% kierrätysterästä ja todellisuudessa käytettävä teräs voi vaihdella 30-60% asti, joten tässä ollaan varmalla puolella. Toinen laskelmissa huomioitava asia on liimapuu, jonka ympäristötiedot tulevat Norjan EPD tietokannasta ja tätä ajatellen voidaan todeta tämän olevan hyvinkin lähellä todellista materiaalia. Laskelmissa käytettävä betoni on suomalaisiin keskiarvo tietoihin perustuva betoni, joten tämä on lähelle todellisuutta ajatellen sen ympäristövaikutuksia. Lähtötietojen arviointi on suoritettu Ympäristöministeriön laatimalla arviointityökalulla. [Liite 2]

Ajatellen maston hiilijalanjäljen pienentämistä, perustukset ovat suuri tekijä missä voitaisiin kehitellä vaihtoehtoinen perustusratkaisu. Maston suuren koon vuoksi se tarvitsee suuren perustuksen, koska mastoon kohdistuu suuret tuulikuormat. Toinen huomioitava asia maston hiilijalanjäljen kehittämiseksi on sen teräksinen vahvistus. Teräksisen vahvistuksen pienentämisellä olisi suuri vaikutus maston hiilijalanjälkeen (kuva 13). Teräsosien osuus on 36% materiaalien hiilijalanjäljestä. Pystyrakenteiden osuus hiilijalanjäljessä on noin 12 tonnia CO₂e, johon sisältyy teräksinen jäykistys ja kiinnitys materiaalit, jotka on huomioitu teräksen määrässä. 12 tonnista noin 76% CO₂e-päästöistä tulee teräksestä. Teräsosien päästöt ovat siis noin 9,4 tonnia CO₂e.

Maston puurakenteet ovat täysin uudelleen käytettävissä muun muassa leikkipuiston rakenteisiin, kun maston elinkaari päättyy. Puuosien ei tarvitse käydä läpi pitkiä kierrätysprosesseja ja niistä on mahdollista rakentaa pienellä hävikillä uusia tuotteita. Maston jäykistyksessä toimineet teräkset voidaan kierrättää ja tätä kautta ottaa uudelleen käyttöön, mutta teräosat joudutaan sulattamaan ja osa teräksestä häviää kierrätyksen aikaisessa prosessissa hävikkinä tuotantovaiheessa. Perustuksissa toimiva betoni voidaan murskata ja käyttää sitä kautta täyteaineena. Ajatellen maston materiaalien kierrätystä, melkein kaikki siihen käytettävät materiaalit ovat kierrätettäviä ja osa niistä täysin uudelleen käytettäviä.

7 Pohdinta

Opinnäytetyön päätarkoitus oli laskea Ecopol-maston hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki. Lisäksi työssä tarkasteltiin rakennusten elinkaariarviointia teorian näkökulmasta. Ecopol-maston hiilijalanjälki on 27,3 tonnia CO₂e. On vaikea verrata maston hiilijalanjälkeä vastaavanlaiseen teräksiseen mastoon, koska teräksisestä vastaavasta mastosta ei löydy hiilijalanjälkilaskelmaa. Ajatellen teräksisen maston hiilijalanjälkeä, teräksen valmistuksen hiilijalanjälki on noin 3 kertaa suurempi kuin puun. Sen lisäksi, että teräksellä on suurempi hiilijalanjälki, teräksen käytöstä ei saada samanlaisia ilmastohyötyjä mitä puusta saadaan. Ecopol-maston hiilikädenjälki on -12,7 tonnia CO₂e. Tämä on melkein puolet maston hiilijalanjäljestä. Opinnäytetyön toimeksiantaja Ecotelligent pystyy käyttämään Ecopol-maston hiilijalanjälkeä osana markkinointia ja esittämään maston hiilijalanjäljen siitä kiinnostuneille asiakkaille.

Työhön liittyvät epävarmuudet ovat suurimmaksi osaksi elinkaariarvioinnissa käytettyjen materiaalien ympäristövaikutusten tiedot. Osa materiaaleista on samoja mitä mastossa on käytetty, osa niistä on yleiseen tietokantaan perustuvia ja osa vastaavanlaisia, mutta eri valmistajan materiaaleja, mitä mastossa on käytetty. Ajatellen maston hiilijalanjäljen luotettavuutta, laskelmia ei ole suoritettu optimistisesti, joten tulokset pysyvät positiivisella puolella. Tästä tehdyt oletukset ja rajaukset on kerrottu opinnäytetyössä.

Ajatellen työn kehittämistä ja jatkamista, Ecopol-mastosta voitaisiin tehdä elinkaarikustannuslaskenta ja selvittää, missä valmistuksen yksikköprosessissa voitaisiin säästää kustannuksia, ja miettiä voitaisiinko sitä kautta kehittää maston hiilijalanjälkeä käyttäen apuna elinkaarikustannuslaskentaa. Tämän avulla voitaisiin kehittää myös tuotteen materiaalikustannuksia ja tuotannossa syntyviä energiakustannuksia. Tästä voisi syntyä kehitysideoita maston hiilijalanjälkeä ajatellen.

Rakennuslalla hiilijalanjälkilaskenta on melko uusi asia Suomessa. Ympäristöministeriö on laatimassa lakia, joka ohjaa hiilijalanjäljen seurantaan osana rakentamista. Uskon, että tämän avulla saadaan uudenlaista kilpailua rakennuslalle, sekä kehitettyä rakennusmateriaaleja, joiden haitalliset ympäristövaikutukset ovat pienempiä.

Lähdeluettelo

1. Bionova. 2017. Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi sirakentamisen ohjauksessa. Ympäristöministeriö. https://www.ym.fi/fi-FI/Maan-kaytto_ja_rakentaminen/Rakentamisen_ohjaus/Vahahiilinen_rakentaminen/Tie-kartta_rakennuksen_elinkaaren_hiilijalanjaljen_huomioimiseksi (Luettu 11.3.2019)
2. Rakennustarkastusyhdistys. 2017. Viranomaisnäkökulma rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkihjaukseen. Helsinki: Ympäristöministeriö.
3. Suomen ympäristökeskus. 2013. Kohti hiilineutraalia kuntaa. Hinku-foorumi. http://www.hinku-foorumi.fi/fi-FI/Tietoa_foorumista/Hinkukunnat (Luettu 14.3.2019)
4. Rakennustietosäätiö. 2003. ympäristö raportti rakennusmateriaaleista.
5. Danish Transport and Construction Agency. 2016. Introduction to LCA of Buildings. København: Danish Transport and Construction Agency.
6. Ympäristöministeriö ja toimialan asiantuntijat. 2018. Taustamuistio rakennusten elinkaariarvioinnin menetelmä ohjeeseen. Helsinki: Ympäristöministeriö.
7. SFS-EN ISO 14040. 2007. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet (ISO 14040:2006) Helsinki: Suomen Standardisointiliitto SFS
8. SFS-EN ISO 14044:2006 + A1:2018. 2018. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja suuntaviivoja. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto SFS
9. SFS-EN 15804+A1. 2015. Kestävä rakentaminen. Rakennustuotteiden ympäristöselosteet. Laadinnan yleissäännöt. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto SFS
10. Luxembourg: Publications Office of the European Union. 2010. International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook General guide for Life Cycle Assessment Detailed guidance. Bryssel: Joint Research Centre: Institute for Environment and Sustainability
11. Green Building Council Finland. 2013. Rakennuksen elinkaarimittarit 2013. Green Building Council Finland 2013. <https://figbc.fi/elinkaarimittarit/>. (Luettu 25.3.2019)
12. Green Building Partners Oy. 2019 Hiilijalanjäljen laskenta. Green Building Partners Oy. <https://gbp.fi/service/palvelut-rakennushankkeissa/hiilijalanjaljen-lakenta/> (Luettu 15.4.2019)
13. Keskitalo, K. 2017. Haussa positiivisia ympäristövaikutuksia. 17.3.2017. <https://elomedia.elo.fi/blogi/haussa-positiivisia-ymparistovaikutuksia>
14. SitraFund. 2016. Hiilikädenjälki. <https://www.youtube.com/watch?v=yCquOxbzG3k> (katsottu 25.3.2019)
15. Bionova. 2015. International schemes. OneClick LCA. <https://www.oneclicklca.com/support/faq-and-guidance/documentation/compliance-and-certifications/> (Luettu 22.4.2019)
16. Bionova. 2015. BREEAM LCA and LCC credits. OneClick LCA <https://www.oneclicklca.com/certifications/breeam/> (Luettu 22.4.2019)
17. U.S. Green Building Council. 2018. LEED. U.S. Green Building Council. <https://new.usgbc.org/leed> (Luettu 29.4.2019)
18. Bionova. 2015. One Click LCA proudly supports the following integrations. OneClick LCA. <https://www.oneclicklca.com/support/faq-and-guidance/documentation/integrations/> (Luettu 22.4.2019)

Results for building life cycle assessment

According to EN 15978



Ecopol

Address: Patteristontie 21, Suomi

Assessor: Samuli Hottinen

Client for assessment: Ecotelligent

Date: 30.04.2019

Contents

1. Purpose of the study and description of the building	3
2. Life cycle impact assessment result summary	3
3. The life cycle assessment scope and system boundaries.....	4
4. Assessed impact categories.....	5
5. Analysis material scope	6
6. Environmental data sources.....	7
7. Project data sources and assumptions.....	7
8. Detailed assessment results	8
9. Description of One Click LCA calculation tool	14
Attachment 1, sources:	15

1. Purpose of the study and description of the building

Assessment basic information:

Purpose of the study: calculating carbon footprint and carbon handprint

Project type: point of assessment in building's life cycle

Assessment method: EN 15978:2011

Assessed building, general information:

Building type: traffic and communication buildings

Construction year: 2018

Building area: -

Building function and service: Telecommunication tower

Extent of use: 1-5 telecommunications operators

Relevant technical and functional requirements: Eurocode 3, EN 1993-3-1 and SFS-EN 1993-3-1

-Type: Free standing

-Structure: Triangle

-Angle of rotation max: 0,5 °

-Windload: EN 1993-3-1/ B.3.2.2

-Standard: Eurocode Standards

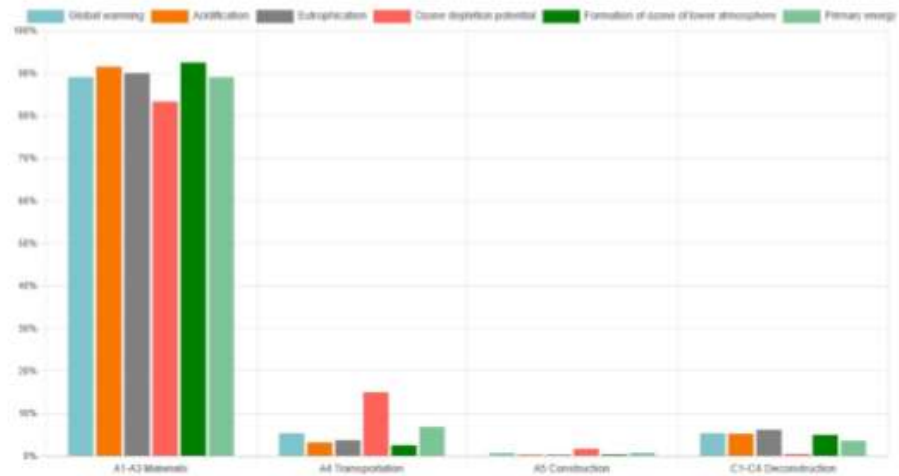
-EU -protection: Protected

Required service life: 30 years, typical service life

2. Life cycle impact assessment result summary

The life cycle assessment was calculated using One Click LCA. The results are summarized in the following table. The results represent the total life cycle impact during 30 year service life.

Impact category	Unit	Results
Global warming potential (greenhouse gases)	kgCO ₂ eq	2,73E4
Acidification potential	kgSO ₂ eq	8,6E1
Eutrophication potential	kgPO ₄ -eq	1,53E1
Ozone depletion potential	kgCFC ₁₁ eq	1,65E-3
Formation of ozone of lower atmosphere	kgC ₂ H ₄ eq	8,35E0
Primary energy	MJ	3,56E5



3. The life cycle assessment scope and system boundaries

In the assessment following life cycle stages according to EN 15804:2012 were included:

Product Stage			Construction Process Stage		Use Stage								End-of-Life Stage				Benefits and loads beyond the system boundary		
Raw material supply	Transport	Manufacturing	Transport to building site	Installation into building	Use/application	Maintenance	Repair	Replacement	Refurbishment	Operational energy use	Operational water use	Deconstruction/demolition	Transport	Waste processing	Disposal	Reuse	Recovery	Recycling	
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D	D	D	
	X		X	X			-			-	-		X			X			

Description of the life cycle stages and analysis scope are provided in the table below:

A1-A3 Construction Materials	Raw material supply (A1) includes emissions generated when raw materials are taken from nature, transported to industrial units for processing and processed. Loss of raw material and energy are also taken into account. Transport impacts (A2) include exhaust emissions resulting from the transport of all raw materials from suppliers to the manufacturer's production plant as well as impacts of production of fuels. Production impacts (A3) cover the manufacturing of the production materials and fuels used by machines, as well as handling of waste formed in the production processes at the manufacturer's production plants until end-of-waste state.
A4 Transportation to site	A4 includes exhaust emissions resulting from the transport of building products from manufacturer's production plant to building site as well as the environmental impacts of production of the used fuel.
A5 Construction/installation process	A5 covers the exhaust emissions resulting from using energy during the site operations, the environmental impacts of production processes of fuel and energy and water as well as handling of waste until the end-of-waste state.
B1-B5 Maintenance and material replacement	The environmental impacts of maintenance and material replacements (B1-B5) include environmental impacts from replacing building products after they reach the end of their service life. The emissions cover impacts from raw material supply, transportation and production of the replacing new material as well as the impacts from manufacturing the replacing material as well as handling of waste until the end-of-waste state.
B6 Energy use	The considered use phase energy consumption (B6) impacts include exhaust emissions from any building level energy production as well as the environmental impacts of production processes of fuel and externally produced energy. Energy transmission losses are also taken into account.
B7 Water use	The considered use phase water consumption (B7) impacts include the environmental impacts of production processes of fresh water and the impacts from waste water treatment.
C1-C4 Deconstruction	The impacts of deconstruction include impacts for processing recyclable construction waste flows for recycling (C3) until the end-of-waste stage or the impacts of pre-processing and landfilling for waste streams that cannot be recycled (C4) based on type of material. Additionally deconstruction impacts includes emissions caused by waste energy recovery.
D External impacts/end-of-life benefits	The external benefits include emission benefits from recycling recyclable building waste. Benefits for re-used or recycled material types include positive impact of replacing virgin based material with recycled material and benefits for materials that can be recovered for energy cover positive impact for replacing other energy streams based on average impacts of energy production.

4. Assessed impact categories

Impact category	Unit	Description
Global warming potential (greenhouse gases)	kgCO ₂ eq	Describes changes in local, regional, or global surface temperatures caused by an increased concentration of greenhouse gases in the atmosphere. Greenhouse gas emissions from fossil fuel burning has been strongly correlated with two other impact categories: acidification and smog. Often called "carbon footprint".
Acidification potential	kgSO ₂ eq	Describes the acidifying effect of substances in the environment. Substances such as carbon dioxide dissolve readily in water, increasing the acidity, which contributes to global phenomena such as ocean acidification (IPCC 2014).

Eutrophication potential	kgPO ₄ -eq	Describes the effect of adding mineral nutrients to soil or water, which causes certain species to dominate an ecosystem, compromising the survival of other species and sometimes resulting in die-off of populations.
Ozone depletion potential	kgCFC ₁₁ -eq	Describes the effect of substances in the atmosphere to degrade the ozone layer, which absorbs and prevents harmful solar UV rays from reaching Earth's surface.
Formation of ozone of lower atmosphere	kgC ₂ H ₄ -eq	Describes the effect of substances in the atmosphere to create photochemical smog. Also known as summer smog.
Primary energy	MJ	

5. Analysis material scope

The LCA analysis included following building elements:

Element	Included	Comments
SUPERSTRUCTURE		
Frame	Yes	Massive wooden element reinforced with steel
Upper floors	No	Building does not include
Roof	No	Building does not include
Stairs	Yes	Steel ladders
External Walls	No	Building does not include
Windows & External doors	No	Building does not include
Internal Walls and Partitions	No	Building does not include
Internal Doors	No	Building does not include
INTERNAL FINISHES		
Wall Finishes	No	
Floor Finishes	No	Building does not include
Ceiling Finishes	No	Building does not include
BUILDING FITTINGS & FURNISHINGS		
Fixed fittings and equipment	No	Building does not include
SERVICES		
Sanitary Fittings	No	Building does not include
Services Equipment	No	Building does not include
Disposal Installations	No	Building does not include
Water Installations	No	Building does not include
Heat Source	No	Building does not include
Space Heating and Air Treatment	No	Building does not include
Ventilation Systems	No	Building does not include
Electrical Installations	No	Building does not include
Gas Installations	No	Building does not include
Lift Installations	No	Building does not include
Protective Installations, inc. internal CCTV	No	Building does not include
Communication Installations	No	Building does not include
Specialist Installations	No	Building does not include
EXTERNAL WORKS		
Site works	No	Building does not include
Drainage	No	Building does not include
External services	No	Building does not include

6. Environmental data sources

One Click LCA EN-15978 tool was used in the assessment. The tool supports CML (2002 - November 2012 or newer) methodology and all assessed impact categories. All of the datasets in the tool follow EN 15804 standard. A complete list of data sources is presented in attachment 1.

7. Project data sources and assumptions

The proposed building was calculated in One Click LCA based on design data from the CEO of Ecotelligent.

Area of analysis	Data sources
Material quantities (A1-A3)	Material quantities are calculated by Ecotelligent
Building material transport distances (A4)	The case specific transport distances were used
Construction and installation process (A5)	Mobilecranes emissions are considered in the calculations by the working hours.
Material service life (B1-B5)	not included in the calculations
Building use phase energy consumption (B6)	not included in the calculations
Building use phase energy consumption (B7)	not included in the calculations

Other assumptions (if relevant):

The service visits to the tower were cut-off of the calculations, because they do not accumulate as few during the life cycle of the tower. Service visits consist of only checking the condition of the tower. Calculations do not include B1-B7 categories because the tower has no water or energy consumption. Glulam which was used in the calculations is not the same as the one used in the structures because the database did not include the Versowood glulam. However, this material is closest to reality. As well as steels that reinforces structures are all-steel and may not be the same as those used in the tower but are similar compared to them.

Material / construction / area of LCA	Comment

8. Detailed assessment results

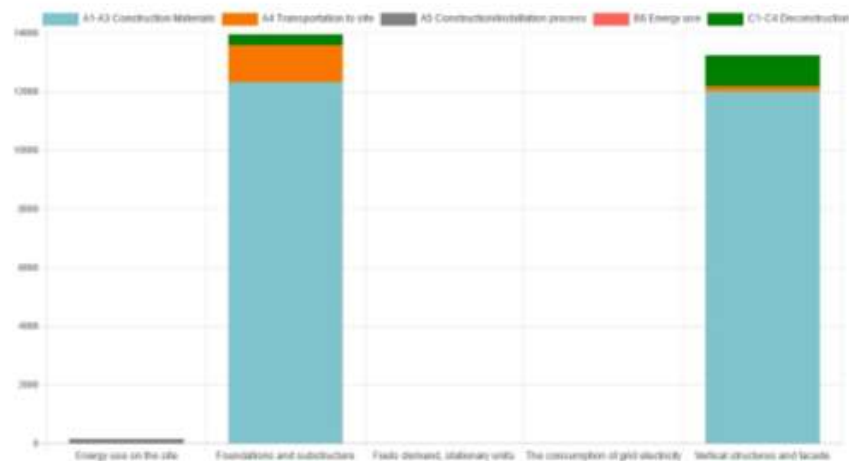
Result summary

		Global warming kg CO2e	Acidification kg SO2e	Eutrophication kg PO4e	Ozone depletion potential kg CFC11e	Formation of ozone of lower atmosphere kg Ethenee	Primary energy MJ
A1- A3	Construction Materials	2,43E4	7,72E1	1,49E1	4,16E-4	6,39E0	4,73E5
A4	Transportation to site	1,43E3	1,86E0	4,02E-1	9,97E-5	4,75E-2	1,27E4
A5	Construction/installation process	1,56E2	3,29E2	2E2	1,3E-2	1,12E1	1,7E6
B1- B5	Maintenance and material replacement						
B6	Energy use						
B7	Water use						
C1- C4	Deconstruction	1,44E3	1,77E0	4,05E-1	3,98E-9	2,36E-1	5,02E3
D	External impacts (not included in totals)	-1,27E4	-2,9E1	1,53E1	1,65E-3	8,35E0	3,56E5
	Total	2,73E4	8,6E1	1,531E1	1,65E-3	8,35E0	3,56E5

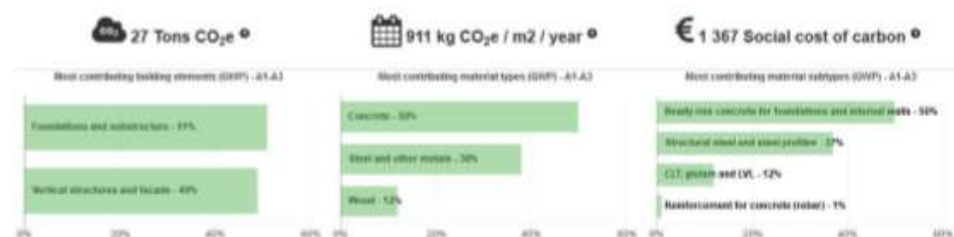
Results for Global warming potential (GWP), kgCO₂ eq

Describes changes in local, regional, or global surface temperatures caused by an increased concentration of greenhouse gases in the atmosphere. Greenhouse gas emissions from fossil fuel burning has been strongly correlated with two other impact categories: acidification and smog. Often called "carbon footprint".

The major contributors for global warming potential GWP emissions were building materials. As you can see the foundations make the biggest CO₂e emissions. An alternative foundation style could reduce CO₂e emissions. In addition, by reducing the amount of steel parts it is possible to reduce large amounts of CO₂e emissions.



Emissions mainly consist of building components and transport.

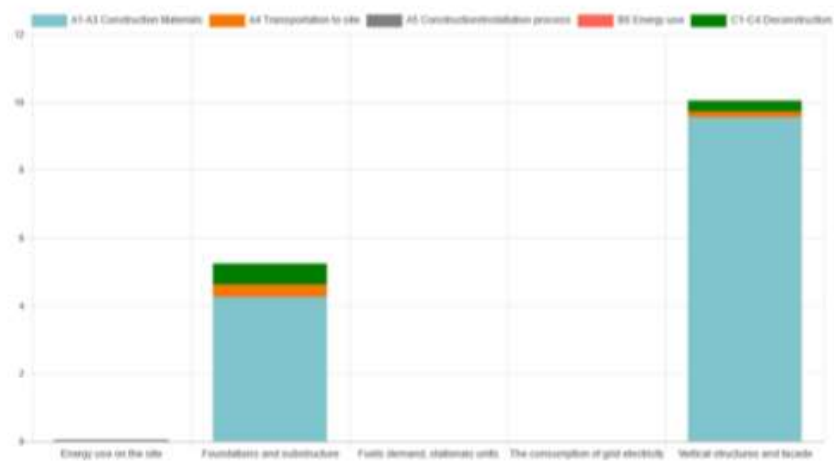


The highest emissions are due to the A1-A3 category. The biggest factors are foundations and vertical structures stiffening steel.

Results for Eutrophication potential (EP) kgPO₄-eq

Describes the effect of adding mineral nutrients to soil or water, which causes certain species to dominate an ecosystem, compromising the survival of other species and sometimes resulting in die-off of populations.

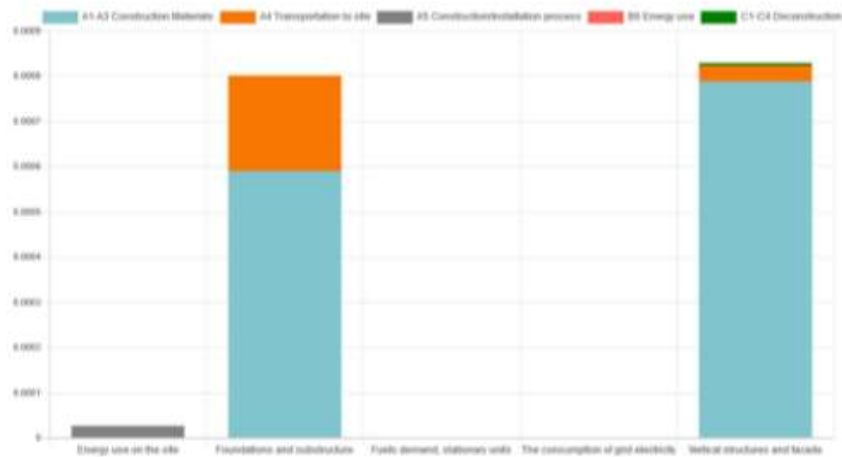
The major contributors for eutrophication potential were construction materials. Steel emissions are the highest of all materials on this analysis.



Results for Ozone depletion potential (ODP), kgCFC11eq

Describes the effect of substances in the atmosphere to degrade the ozone layer, which absorbs and prevents harmful solar UV rays from reaching Earth’s surface.

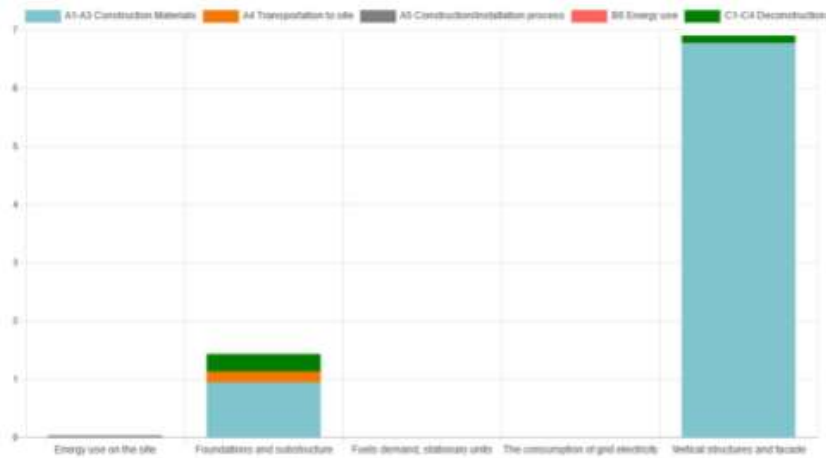
The major contributors for ozone depletion potential were construction materials.

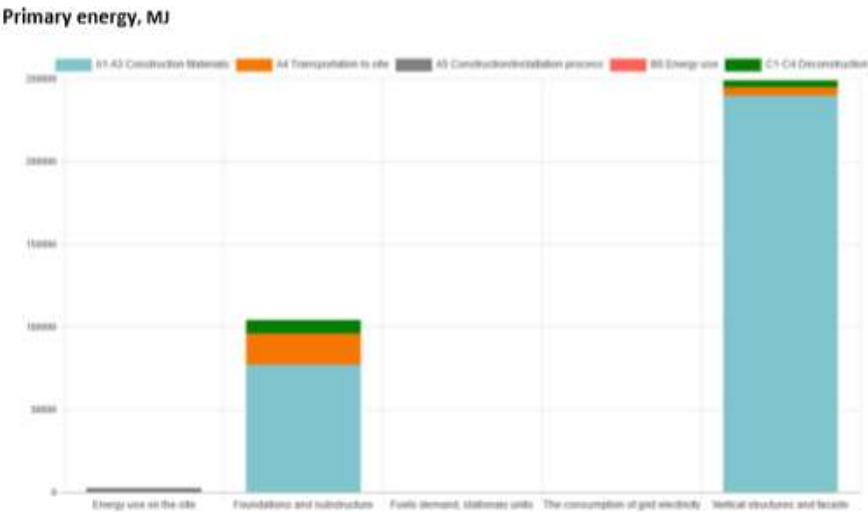


Results for Formation of ozone of lower atmosphere (POCP), kgC2H4eq

Describes the effect of substances in the atmosphere to create photochemical smog. Also known as summer smog.

The major contributors for formation of ozone in lower level atmosphere were construction materials.





9. Description of One Click LCA calculation tool

The calculations were performed with One Click LCA calculation tool. The software is fully compliant with EN 15978 standard. One Click LCA has been third party verified by ITB for compliancy with the following LCA standards: EN 15978, ISO 21931-1 and ISO 21929, and data requirements of ISO 14040 and EN 15804. You can find the official letters of compliancy here: <https://www.oneclicklca.com/wp-content/uploads/2016/11/360optimi-verification-ITB-Certificate-scanned-1.pdf>.

ITB is a certification organization and a Notified Body (EC registration nr. 1488) to the European Commission designated for construction product certification. Polish Accreditation Board assures the independence and impartiality of ITB services (Accreditation Certificates are: AB 023, AC 020, AC 072, AP 113). ITB activities are conducted in accordance to the requirements of the following assurance standards: ISO 9001, ISO/IEC 27001, ISO/IEC 17025, EN 45011, and ISO/IEC 17021.

Lähtötietojen arviointi

Tietojen laatu

Arvioinnissa käytettävien tietojen laatu tulee arvioida, jos arviointi tehdään käyttäen ns. tarkennettua menetelmää. Yksinkertaistettua menetelmää käytettäessä tätä välilehteä ei tarvitse täyttää.

Alla ehdotettu lähtötietojen arviointitapa perustuu Euroopan komission Level(s)-menetelmään.

Elinkaaren vaiheet	Teknologinen edustavuus	Maan- tieteellinen edustavuus	Ajallinen edustavuus	Epävarmuus	Yhteensä	Vähimmäisvaatimukset
A1–3 Tuotteiden valmistus	2	2	2	2	8	Tiedot vähintään tasoa 2
A4 Kuljetus työmaalle	2	2	2	2	8	Maantieteellinen edustavuus oltava tasoa 3
A5 Työmaan toiminnot	2	2	2	2	8	Maantieteellinen edustavuus vähintään tasoa 2
B3–4 Korjaukset ja vaihdot	0	0	0	0	0	Maantieteellinen edustavuus vähintään tasoa 2
B6 Energian kulutus	0	0	0	0	0	Tiedot vähintään tasoa 2
C1 Purkutyöt	0	0	0	0	0	Ei vähimmäisvaatimuksia
C2 Kuljetus jatkokäsittelyyn	0	0	0	0	0	Ei vähimmäisvaatimuksia
C3 Jätteenkäsittely	0	0	0	0	0	Ei vähimmäisvaatimuksia
C4 Loppusijoitus	0	0	0	0	0	Ei vähimmäisvaatimuksia
D Elinkaaren ulkopuoliset					0	Ei vähimmäisvaatimuksia
Yhteensä	6	6	6	6		

Tietojen laadun arvioinnissa käytettävä pisteytys

	0	1	2	3
Teknologinen edustavuus	Ei arvioitu	Tieto ei vastaa tyydyttävästi tuotteen teknisiä ominaisuuksia	Tieto vastaa osittain tuotteen teknisiä ominaisuuksia	Käytetty tieto vastaa hyvin tuotteen teknisiä ominaisuuksia
Maantieteellinen edustavuus	Ei arvioitu	Tieto viittaa täysin erilaiseen maantieteelliseen kontekstiin (esim. Italia Suomen sijaan)	Tieto viittaa samankaltaiseen maantieteelliseen kontekstiin (esim. Norja Suomen sijaan)	Käytetty tieto viittaa tiettyyn maantieteelliseen kontekstiin
Ajallinen edustavuus	Ei arvioitu	Tiedon validoinnin ja sen hyödyntämisen välillä on yli 6 vuotta	Tiedon validoinnin ja sen hyödyntämisen välillä on 2-4 vuotta	Tiedon validoinnin ja sen hyödyntämisen välillä on alle 2 vuotta
Epävarmuus	Ei arvioitu	Käytetään mallinnettua tai vastaavaa tietoa, paikkansapitävyys ja täsmällisyys on arvioitu laadullisesti (esim. toimittajan ja prosessin operaattorin asiantuntija-arvio)	Käytetään mallinnettua tai vastaavaa tietoa, joka on arvioitu tyydyttävän paikkansapitäväksi ja täsmälliseksi, ja sitä tukee määrällinen epävarmuusarvio	Käytetään hankekohtaista ja validoitua tietoa, jota voidaan pitää tyydyttävän paikkansapitävänä ja täsmällisenä (esim. tehty vahvistettu EPD)

Selvitys käytetyistä lähteistä

Kirjaa alla olevaan tilaan mistä lähteistä arvioinnissa käytetyt tiedot ja oletukset ovat peräisin.

One Click LCA 2015 tietokannasta, EPD Norge, Metsä Wood EPD, International EPD system