

Mari Sippu

# TEOLLISUUSHANKKEEN CO<sub>2</sub>-PÄÄS- TÖLASKENTA

Opinnäytetyö

Insinööri (AMK)

Energiatekniikan koulutus

2023



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Mari Sippu
Työn nimi	Teollisuushankkeen CO <sub>2</sub> -päästölaskenta
Toimeksiantaja	Fimpec PMO Oy
Vuosi	2023
Sivut	86 sivua, liitteitä 10 sivua
Työn ohjaaja(t)	Merja Mäkelä (Xamk), Antti Laine (Fimpec)

## TIIVISTELMÄ

Noin kolmannes Suomen kasvihuonekaasupäästöistä tulee rakentamisesta, mikä on merkittävä osuus. Suomi tavoittelee hiilineutraaliutta vuoteen 2035 mennessä ja tavoitteita ollaan vahvistamassa lainsäädännöllä. Tässä opinnäytetyössä tutkittiin One Click LCA -ohjelmiston soveltuvuutta projektinjohtokonsulttiyrityksen päästölaskentaan. Lisäksi tarkasteltiin yrityksen mahdollisuuksia tuottaa päästöjen hallintaan liittyvää palvelua. Tutkimusmenetelminä käytettiin kirjallisuuskatsausta aiheeseen liittyvästä teoriasta sekä ohjelmaa testattiin empiirisesti. Laskenta tehtiin suomalaisen puunjalostuslaitoksen kahdelle osaprosessille: kuitulinjalle ja puunkäsittelylle. Elinkaarilaskennassa huomioitiin vain teollisuusrakentamisen osuus eikä laskentaan sisällytetty prosessilaitteita. Vertailukohteena laskettiin myös kerrostalohanke. Tieto laskentaa varten saatiin yrityksen omista dokumenteista ja materiaalitiedot tietomalleista.

Tulokseksi saatiin hankkeitten hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki ohjelmiston antamana laskentareporttina. Saatiin myös ohjelmiston arvio laskennan mahdollisista virhelähteistä, eniten päästöihin vaikuttavissa materiaaleista sekä visuaaliset erittelyt eri osien ilmastovaikutuksista. Puunkäsittelyn hiilijalanjälki (GWP) oli 204 kg CO<sub>2</sub>e /m<sup>2</sup>/a ja hiilikädenjälki -89 kg CO<sub>2</sub>e /m<sup>2</sup>/a. Noin puolet päästöistä tuli laskennallisesta energiankulutuksesta ja puolet valmistuksesta ja rakentamisesta. Kuitulinjan hiilijalanjälki oli 1891 kg CO<sub>2</sub>e /m<sup>2</sup>/a ja hiilikädenjälki -175 kg CO<sub>2</sub>e /m<sup>2</sup>/a. Valmistuksesta ja rakentamisesta tuli päästöjä 316 kg CO<sub>2</sub>e /m<sup>2</sup>/a (17 %) ja energiankulutuksesta 1554 kg CO<sub>2</sub>e /m<sup>2</sup>/a (82 %). Kuitulinjan hiilijalanjälki oli suurempi kuin puunkäsittelyn. Suurin osa kuitulinjan päästöistä tuli säiliöperustuksista ja erityisesti betonirauδοituksesta. Betonirauδοituksen osuus materiaalien päästöistä oli 78,3 %. Suunnittelussa voisi tarkastella mahdollisuuksia käyttää vihreämpää terästä, vähentää rakennusmateriaalia, tehdä pienempiä säiliöitä tai mahdollisesti muuttaa säiliön muotoa.

Ohjelmiston todettiin soveltuvan elinkaarilaskentaan, mutta käytössä todettiin myös joitakin haasteita. Rakentamissektori on laaja, ja tämänhetkisten tietokantojen ja ohjeiden todettiin soveltuvan paremmin asuin- ja toimistorakentamiseen kuin teollisuusrakentamiseen. Työn haasteita olivat tietomallien suurten tietomäärien käsittely, riittävän tarkkojen energiatietojen saaminen, tulosten vaikea tarkistettavuus ja tämänhetkisten päästöjen raja-arvojen puuttuminen. Raja-arvot ovat tulossa vuoteen 2025 mennessä. Ohjelmiston käyttö vaatii jonkin verran rakennustekniikan ja elinkaarilaskennan tuntemusta.

**Asiasanat:** elinkaariarviointi, elinkaarimallinnus, hiilijalanjälki, päästölaskenta, teollisuushanke

Degree title	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Mari Sippu
Thesis title	Carbon footprint calculation of an industrial building project
Commissioned by	Fimpec PMO Oy
Time	2023
Pages	86 pages, 10 pages of appendices
Supervisor	Merja Mäkelä (Xamk), Antti Laine (Fimpec)

## ABSTRACT

About a third of the greenhouse gas emissions of Finland derive from construction, which is a significant proportion. Finland is aiming for carbon neutrality by 2035 and legislation aims towards the goal. In this thesis, the objective was to research the applicability of the software One Click LCA to the emission calculation of a project management company. In addition, the study examined the possibilities of the company to offer an emission management service. The research methods were a literature review of the theory, and the empirical testing of the program. Carbon footprints of two sub-processes of the wood processing plant, fiber line and wood processing, were calculated. In the life cycle assessment of the study, only the industrial construction was considered while the process equipment was not included in the calculation. For comparison, the carbon footprint of an apartment building project was also calculated.

The result was the carbon footprint and carbon handprint of the projects as a report given by the software. The carbon footprint of wood processing was 204 kg CO<sub>2e</sub> /m<sup>2</sup>/a and the carbon handprint was -89 kg CO<sub>2e</sub> /m<sup>2</sup>/a. About half of the emissions came from energy consumption and the other half from manufacturing and construction. The carbon footprint of the fiber line was 1891 kg CO<sub>2e</sub> /m<sup>2</sup>/a and the carbon handprint was -175 kg CO<sub>2e</sub> /m<sup>2</sup>/a. Manufacturing and construction produced emissions of 316 kg CO<sub>2e</sub> /m<sup>2</sup>/a (17 %) and energy consumption 1554 kg CO<sub>2e</sub> /m<sup>2</sup>/a (82 %). The carbon footprint of the fiber line was larger than that of wood processing. Most of the emissions of the fiber line came from tank foundations, especially from concrete reinforcement. Concrete reinforcement accounted for 78.3 % of material emissions.

The software was found to be suitable for life cycle calculation but also some challenges were discovered. The field of construction is broad, and the current databases were found to be more suitable for residential and office construction than for industrial construction. The challenges were the processing of large amounts of information in building information models, obtaining sufficiently accurate energy data, the difficult verifiability of results and the absence of current emission limit values in Finland (to be expected by 2025). Using the software requires knowledge of civil engineering and life cycle assessment.

**Keywords:** life cycle assessment, carbon footprint, carbon emission calculation, industrial project

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	ELINKAARIARVIOINNIN OHJELMAT .....	8
2.1	Elinkaariarvioinnin periaatteet.....	8
2.2	Rakennusten elinkaariarviointi.....	12
2.3	Ympäristömerkinnät.....	18
2.3.1	Ympäristöseloste .....	18
2.3.2	Informaatiomodulit .....	19
2.4	Hiilijalanjalan laskenta.....	21
2.5	Maankäyttö- ja rakentamislain uudistus.....	25
3	PUUNJALOSTUSLAITOKSEN OSAPROJEKTIT JA TUOTANTOPROSESSIT.....	27
3.1	Puunkäsittely .....	27
3.1.1	Kuorimo .....	28
3.1.2	Hakkeen käsittely.....	29
3.1.3	Kuoren käsittely .....	31
3.1.4	Veden käsittely .....	33
3.2	Kuitulinja .....	34
3.2.1	Keitto.....	34
3.2.2	Pesu.....	35
3.2.3	Lajittelu .....	36
3.2.4	Happidelignifiointi.....	37
3.2.5	Valkaisu .....	37
3.2.6	Jälkilajittelu ja kuivatus.....	38
4	ONE CLICK LCA -OHJELMISTON TESTAAMINEN .....	41
4.1	Opetusmateriaali.....	42
4.2	Säädökset.....	42
4.3	Ohjelmiston tietolähteet .....	44
4.4	Tietojen syöttäminen ohjelmistoon.....	45

4.4.1	Laskentaan tarvittavat tiedot .....	45
4.4.2	Vaihtoehdot materiaalitietojen syöttämiseen.....	50
4.5	Puunjalostuslaitoksen osaprosessien laskenta.....	54
4.5.1	Energiankulutuksen laskenta .....	55
4.5.2	Tulosraportti.....	56
4.5.3	Solibrin One Click LCA -lisäosa .....	58
4.5.4	Carbon Designer -lisäosa .....	60
5	TULOSTEN ANALYYSI .....	63
5.1	Puunkäsittely .....	65
5.2	Kuitulinja .....	70
5.3	Ohjelmiston soveltuvuus yrityksen käyttöön .....	75
6	YHTEENVETO .....	80
	LÄHTEET.....	83

## LIITTEET

Liite 1. Vähähiilisyden arvioinnin menetelmä ja rajaukset

Liite 2. Arvioitavat elinkaaren vaiheet ja arvioinnissa käytettävät tiedot

Liite 3. Elinkaaren eri vaiheiden päästöjen taulukkoarvot

Liite 4. Energiamuotojen päästökertoimet

Liite 5. Uudisrakennuksen vähähiilisyden raportoinnin vähimmäissisältö

## 1 JOHDANTO

Useat julkiset ja yksityiset organisaatiot pyrkivät toiminnallaan hillitsemään ilmastonmuutosta. Lisääntynyt tietoisuus ympäristöstä on saanut monet tavoittelemaan toiminnallaan hiilineutraaliutta ja vaatimaan sitä myös yrityksiltä, joiden palveluita he käyttävät. Jos päästöjä halutaan hallita, on kyettävä laskemaan toiminnan aiheuttama kasvihuonekaasupäästöjen määrä, jotta voidaan luotettavasti vertailla eri ratkaisujen vaikutusta niihin. Päästöjen laskemisen avuksi on kehitetty useita laskentaohjelmia, joiden toiminta perustuu kansainvälisiin standardeihin, muun muassa SFS-EN ISO 14040, SFS-EN 15804, EN 15942 ja SFS-EN 15978. Tässä työssä tutkitaan One Click LCA -laskentaohjelman soveltuvuutta teollisuushankkeen päästölaskentaan. Ohjelmisto on suunniteltu rakentamisen laajamittaiseen ympäristövaikutusten laskemiseen. Sen avulla voidaan tehdä tietokantoihin pohjautuvaa rakennuksen elinkaariarviointia, varhaisen vaiheen optimointia, elinkaarikustannuslaskentaa, seurata materiaalikiertoa sekä selvittää, täyttääkö projekti erilaisten ympäristösertifikaattien vaatimukset (One Click LCA 2023.)

Aihe on ajankohtainen, sillä kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen ja päästölaskenta ovat oleellinen osa ilmastonmuutoksen torjumista. Ympäristöministeriön tiedotteen 1.3.2023 mukaan eduskunta hyväksyi uuden rakentamislain, joka astuu voimaan tammikuussa 2025. Lain mukaan rakentamislupaa haettaessa laaditaan ilmastaselvitys rakennuksen vähähiilisydestä kansallisen päästötietokannan avulla. Rakennukselta vaadittava elinkaarilaskenta tulee pakolliseksi. (Ympäristövaliokunta 2023.) Lakimuutos on perusteltu, sillä rakennusteollisuus on yksi eniten päästöjä aiheuttavista toimialoista (Vanhanen 2022). One Click LCA -sivuston tietokannan mukaan rakennusmateriaalien sisältämä hiili myötävaikuttaa päästöistä 11 %:n syntyyn ja rakentaminen, rakennusten ylläpito ja käyttö tuottavat noin 35 % maailman hiilidioksidipäästöistä.

Tässä työssä on tavoitteena tutkia, soveltuuko ohjelmisto Fimpec Oy:n tarpeisiin ja miten se soveltuisi palvelumuotona Fimpecin liiketoiminnassa kehitettäessä hiilidioksidin päästölaskentaa. Tavoitteena on luoda päästölaskennan baseline eli lähtötaso yrityksen käyttöön myöhempää päästölaskentaa ja

suunnittelua varten. Halutaan saada selville, paljonko päästöjä tarkastelluista osaprosesseista syntyy sekä mitkä ovat ohjelmiston käytön haasteet ja mahdollisuudet Fimpecille. Tutkimusmenetelminä tehdään aluksi pieni kirjallisuuskatsaus LCA-laskentaohjelmiin ja ohjelmiston laskentaperiaatteisiin. Lisäksi perehdytään puunjalostuslaitoksen teollisuushankkeen osaprosesseihin ja niiden tekniseen kuvaukseen. Päästölaskentaohjelman testaamisessa käytetään sisällönanalyysiä ja empiiristä tutkimusmenetelmää. Perehdytyksen jälkeen ohjelman toimintaa testataan syöttämällä data manuaalisesti ja arvioidaan käyttäjäkokemusta. Aineisto analysoidaan kvantitatiivisin menetelmin.

Ohjelmistoa testataan laskemalla puunjalostuslaitoksen kaksi osaprosessia: puunkäsittely ja kuitulinja. Tavoitteena on saada konkreettinen kokemus ohjelmiston käytöstä ja soveltuvuudesta teollisuusrakentamiseen. Tavoitteena on luoda pohjatietoa laskentaan ja saada tuote toimimaan jatkossakin Fimpecin omassa päästölaskennassa ja liiketoiminnassa. Työn tilaaja on Fimpec Oy. Yritys on projektinjohto- ja suunnittelutoimisto, joka toimii projektikonsulttina teollisuuden ja energia-alan investoinneissa sekä kiinteistö- ja infrasektorilla. Fimpecillä on kaksi haaraa: suunnittelupuoli (Fimpec Engineering Oy) ja projektinjohtopuoli (Fimpec PMO Oy). Tämä opinnäytetyö tehdään projektinjohto-osastolle.

## 2 ELINKAARIARVIOINNIN OHJELMAT

Elinkaariarvioinnin ohjelmia (*Life Cycle Assessment, LCA*) käytetään valmiiden sekä suunniteltavien tuotteiden, palveluiden ja valmistusprosessien ympäristöriskien tunnistamiseen ja kehitysmahdollisuuksien löytämiseen. LCA-ohjelmat arvioivat muun muassa käytetyn energian ympäristövaikutuksia, haitallisten aineiden vapautumista ja luonnonvarojen käyttöä. (Sustainability Guide 2018.)

Elinkaariarviointityökaluja on saatavilla ilmaisina LCA-työkaluina, hiilijalanjälkilaskureina sekä maksullisina lisenssillä toimivina laskentaohjelmina. Ohjelmien avulla tuotejärjestelmä voidaan mallintaa yksikköprosesseihin ja määrittellä niiden keskinäinen suhde sekä materiaali- ja energiavirrat. Ohjelmiin liitetty taustatietoa, joiden avulla voidaan laskea materiaalien sekä kuljetusten päästöjä ja luonnonvarojen käyttöä. Osa LCA-ohjelmistoista on yksinkertaisia ja osa sisältää enemmän ominaisuuksia. Ohjelmisto valitaan tutkittavan kohteen ja tulosten käytön mukaan. (Häkkinen & Kuittinen 2020, 58.) Tämä työ käsittelee One Click LCA -elinkaari-laskentaohjelmaa, joka on kehitetty rakennusala varten. Se on kansainvälinen laajasti käytetty ohjelma, joka sopii yhteen usean eri arviointimenetelmän kanssa.

### 2.1 Elinkaariarvioinnin periaatteet

Standardin mukaan elinkaarimallinnus tarkoittaa tuotteen tai palvelun elinkaarisen aikaisten ympäristövaikutusten koostamista ja arviointia raaka-aineen hankinnasta tuotantoon, käyttöön, käytöstä poistoon, kierrätykseen ja jätteiden loppusijoitukseen saakka (SFS-EN ISO 14040:2006). Sen avulla voidaan selvittää useita ympäristövaikutuksia samanaikaisesti. Laskennan yhteydessä voidaan käyttää termiä *cradle-to-grave*, ”kehdosta hautaan”, jolla tarkoitetaan hiilijalanjäljen laskentaa tuotteen koko elinkaarelle. Rakennustuotteiden vaikutukset raportoidaan ”kehdosta hautaan”. Käytössä on myös ilmaisu *cradle-to-gate*, joka sisältää tuotteen hiilijalanjäljen siihen asti, kun se lähtee tehtaan portilta. Termi ei sisällä tuotteen käytön eikä jätteenkäsittelyn hiilijalanjälkeä. Häkkisen ja Kuittisen teoksessa Kohti vähähiillistä rakentamista: opas arviointiin ja suunnitteluun kuvataan, että elinkaariperiaate on vakiintunut kaikkea ympäristövaikutuksien arviointia ja laskentaa ohjaavaksi säännöksi. Luonteeltaan elinkaariarviointi on kvantitatiivista arviointia.



Kuva 1. Rakennuksen elinkaariarviointiin tarvittavat tiedot (Ympäristöministeriö 2022, 10).

Ympäristöministeriön julkaisussa Johdatus rakennusten elinkaariarviointiin esitellään tiedot, jotka tarvitaan elinkaariarviointia varten. Tiedot on kerätty kuvaan 1. Elinkaariarviointia varten tarvitaan käytettyjen materiaalien määrät ja hukkatiedot. Arviointi pyritään tekemään mahdollisimman tarkasti, ja tietoja tarkennetaan suunnittelun edetessä. Käytännön syistä pienimmät yksityiskohdat, kuten ruuvit ja kiinnikkeet jätetään usein arvioinnin ulkopuolelle. Liian suuri tarkkuus hidastaa prosessia vaikuttamatta juurikaan laskennan tulokseen. Tietojen kerääminen on usein elinkaariarvioinnin suuritöisin vaihe. Kun materiaalien määrät ovat tiedossa, voidaan laskenta suorittaa tietokantojen avulla. Laskelmat voidaan tehdä tavallisilla taulukkolaskentaohjelmilla, mutta ne on huomattavasti mukavampi tehdä tarkoitukseen suunnitelluilla laskentatyökaluilla. Työkaluissa on myös vaihtoehtoja tulosten esittämistä ja analysointia varten. Jotta arvioinnin tulokset ovat läpinäkyviä, on tärkeä raportoida elinkaariarvioinnin rajaukset selkeästi. Se helpottaa tulosten ymmärtämistä ja hyödyntämistä.

Elinkaariarvioinnin periaatteet ja pääpiirteet esitellään standardissa SFS-EN ISO 14040:2006. Standardissa SFS-EN ISO 14044:2006 esitellään elinkaariarvioinnin vaatimukset ja suuntaviivoja. Yleensä elinkaariarvioinnissa painotetaan ympäristönäkökuilma. Mikäli halutaan lisätä taloudellisia tai yhteiskunnallisia näkökohtia, yhdistetään arviointiin muita työkaluja. Elinkaariarvioinnin vaiheet ovat tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, inventaarioanalyysi, vaikutusarviointi ja tulosten tulkinta.

- Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyssä määritellään järjestelmän ja tietojen keräämisen rajat sekä toiminnallinen yksikkö. Toiminnallinen yksikkö (*functional unit*) on vertailuyksikkö, jonka suhteen inventaariotiedot lasketaan. Toiminnallinen yksikkö voi olla esimerkiksi yksi toiminto tai yksi kilo tuotetta. Rakennustekniikassa tulokset voidaan esittää hiilidioksidipäästöinä neliometriä kohti. Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyssä selvitetään myös arvioinnin syyt, yksityiskohtaisuus, tarkastelujakso, raportoinnin vaatimukset ja tarkastelua rajoittavat tekijät ja skenaariot. Skenaarioilla tarkoitetaan elinkaariarviointiin vaikuttavia alkuoletuksia, joita ovat esimerkiksi tuotteiden uusimisvälit, kuljetusmatkat tai purettavien materiaalien hyödyntämistä tulevaisuudessa. Käytännössä skenaariot yleensä sisältyvät käytettyyn arviointimenetelmään tai -työkaluun. Suomalaiseen Ympäristöministeriön arviointimenetelmään sisältyvät skenaariot energian hiilijalanjäljen kehityksestä, tuotteiden vaihtoväleistä ja eri materiaalien kierrätyksestä elinkaaren loppuun. (Häkkinen & Kuittinen 2020, 73.)
- Inventaarioanalyysi (*Life Cycle Inventory, LCI*) sisältää tiedon keruun sekä laskennan, joilla elinkaarianalyysiin tulevat tiedot saadaan määrälliseen muotoon (SFS-EN ISO 14040:2006, 5.3). Tiedot on kerättävä energiasta, materiaaleista, päästöistä ja muista ympäristönäkökohdista. Tietojen keräämisen jälkeen tiedot varmennetaan ja suhteutetaan käytettyyn analyysimenetelmään. Inventaarioanalyysissä päätetään päämuuttujat ja rajataan pois muuttujat, joihin laskenta ei kohdistu.
- Vaikutusarviointi (*Life Cycle Impact Assessment, LCIA*) pyrkii ymmärtämään ja arvioimaan potentiaalisten ympäristövaikutusten merkittävyyttä inventaarioanalyysin tulosten pohjalta. Inventaarioanalyysin tuottama data yhdistetään ja arvioidaan vaikutusanalyysin avulla. Analyysin tulokset sijoitetaan eri vaikutusluokkiin (esimerkiksi ilmaston lämpeneminen ja happamoituminen). Tulokset ryhmitellään ja painotetaan vaikutusarviointissa. (SFS-EN ISO 14040:2006, 5.4.; Klöpffer & Grahl, 187.) Esimerkiksi One Click LCA -laskentaohjelma jakaa päästötiedot eri vaikutusluokkiin, jotka esitetään tuloksissa (kuva 2).

### Hiilijalanjäkiraportti [Lataa tulosten yhteenveto](#)

Rakennuspaikan materiaalien päästötiedot ilmoitetaan erikseen 'Ilmaston lämpeneminen, rakennuspaikka' -sarakeessa. Rakennuspaikan materiaalit erotellaan Talo 2000-luokituksen mukaan. Rakennuspaikan päästöt sisältävät kaikki materiaalit, joiden Talo 2000-luokitus on 1.1.1 ja 1.2.1 välillä.

Tuloskategoria	GWP (pl. eloperäinen hiili) kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	Ilmaston lämpeneminen, rakennus kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	GWP (pl. eloperäinen hiili) kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	Ilmaston lämpeneminen, rakennuspaikka kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a
A1-A5 Päästovaikutukset ennen käyttöä (moduulit A1-5)	164 541,43	164 541,43		Yksityiskohdat
B4 Rakennusosien vaihto	0	0		Yksityiskohdat
B6 <a href="#">Energiankulutus</a>				Pillota tyhjät
C Päästovaikutukset käytön jälkeen (moduuli C)	25 301,57	25 301,57		Yksityiskohdat
A-C Hiilijalanjälki (elinkaaren moduulien A-C summa)	189 843	189 843		Yksityiskohdat

Kuva 2. One Click LCA -ohjelmiston esittämiä vaikutusluokkia (One Click LCA 2023).

Ilmaston lämpenemispotentiaali (*Global Warming Potential, GWP*) on yleisesti käytetty vaikutusluokka. Sillä ilmaistaan lämpenemispotentiaali kilogrammaa hiilidioksidiekvivalenttia kohden (kg CO<sub>2</sub>e). GWP:n avulla voidaan vertailla eri kaasujen vaikutusta ilmaston lämpenemiseen. Indikaattori osoittaa, kuinka paljon energiaa tonni kaasua imee itseensä suhteessa tonniin hiilidioksidia. Mitä suurempi GWP-arvo on, sitä enemmän valittu kaasu lämmittää ilmastoa. Hiilidioksidia käytetään referenssiarvona ja sen GWP-arvo on 1. Yleensä aikavälinä käytetään sataa vuotta. (United States Environmental Protection Agency 2023.)

- Lopuksi tulokset tulkitaan. Tässä vaiheessa inventaarioanalyysin ja vaikutusarvioinnin tuloksia tarkastellaan yhdessä. Tulosten tulkinnan tavoitteena on esittää tulokset ymmärrettävässä ja johdonmukaisessa muodossa. Tulosten tulkinnan jälkeen koko prosessia arvioidaan kriittisesti. Arvioinnissa katsotaan, ovatko käytetyt menetelmät yhdenmukaisia standardin ISO 14040/44 kanssa, ovatko käytetyt menetelmät valideja, onko käytetty data linjassa tutkimuksen tavoitteiden kanssa ja onko raportointi läpinäkyvää ja johdonmukaista. (Klöpffer & Grahl 2014, 46.)

Taulukko 1. Elinkaariarviointia koskevat standardit (Ympäristöministeriö 2022).

Elinkaariarviointia koskevat standardit	
Elinkaariarvioinnin menetelmä yleisesti	
EN ISO 14040 Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework.	Elinkaariarvioinnin laatimisen periaatteet
EN ISO 14044 Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and Guidelines.	Elinkaariarvion toteuttamisen vaatimukset
Rakennusten elinkaariarviointi	
EN 15643-2 Sustainability of construction works. Assessment of buildings. Part 2. Framework for the	Rakennusten ympäristövaikutusten vaatimukset ja arviointi

assessment of environmental performance.	
EN 15978 Sustainability of construction works. Assessment of the environmental performance of buildings. Calculation method.	Rakennusten elinkaariarvioinnin laskentamenetelmä
EN 15804 Sustainability for construction works. Environmental product declarations. Core rules for the product category of construction products.	Rakennustuotteiden ympäristötuoteselosteiden rakenne, sisältö ja periaatteet
SFS-EN ISO 14025 Environmental labels and declarations. Type III environmental declarations. Principles and procedures.	Tyyppin III ympäristöselosteiden laadinta. Ohjeet EPD:n luomiseen.

Taulukkoon 1 on listattu elinkaariarviointia koskevat standardit. Standardit ja niitä koskeva taulukko löytyvät Ympäristöministeriön julkaisusta Johdatus rakennusten elinkaariarviointiin. Lisäksi taulukkoon on koottu tässä työssä käytettyjä elinkaarilaskentaan liittyviä standardeita.

## 2.2 Rakennusten elinkaariarviointi

Rakennuksen elinkaariarvioinnissa on huomioitava, että rakennus koostuu monista osista ja tuotteista. Arvioinnissa ei lähdetä liikkeelle eri tuotteiden yksikköprosessien materiaali- ja energiavirtojen mallintamisesta, vaan pohjana käytetään valmista tuotetietoa. Keskeistä on toiminnallisen yksikön oikea määrittely. Usein vähähiilisen rakentamisen arvioinnin yksikkönä käytetään hiilidioksidiekvivalenttia rakennuksen alaa kohti. Alalle on yritetty toimivuusajattelua, jolloin huomioitaisi ISO 21929 -standardin mukaiset toimivuusnäkökohdat, kuten sisäilman laatu, lämpöviihtyvyys, valaistus, turvallisuus ja esteettömyys. Näkökulmat huomioiden valittaisiin vähähiilisin vaihtoehto. Toimivuusnäkökulman ongelmana on kuitenkin sen hankala mitattavuus. (Häkkinen & Kuittinen 2020, 60—61.)

Yleensä rakennustuotteiden käyttöiät ovat pitkiä ja käyttöikä poikkeaa suunniteltu-arvoista. Käyttöikä arvioidaan laskennassa sovittujen tietojen mukaisesti, mikä vaikuttaa päästöarvoon. Rakennuksen käytön aikaiset päästöt muuttuvat vuosien aikana, vaikka käyttö jatkuisi samanlaisena ja talotekniset ratkaisut pysyisivät ennallaan. Pitkä käyttöikä vaikeuttaa rakennuksen loppupään arviointia, kun arvioidaan purkamisen, purkujätteen kierrätyksen ja loppusijoituksen päästöjä. Tulevaisuuden teknistä kehitystä on vaikea ennustaa, kun esimerkiksi energiatehokkuus, kierrätysratkaisut ja -tekniikka muuttuvat pitkällä aikavälillä. Vähähiilisyiden arviointimenetelmä suosittelee tarkastelujaksoksi 50 vuotta, sillä kauas tulevaisuuteen tähtäävien arviointien epätarkkuus kasvaa. Tuona aikana tehdään tavanomaisia korjauksia, muttei usein vielä laajamittaista peruskorjausta. Tarvittaessa pitkäkestoisten rakennustuotteiden, kuten perustusten, kantavan rungon tai tiiliverhosten edut voidaan huomioida skaalaamalla ylijääneen käyttöiän hyödyt. Standardi EN 15978 antaa tähän ohjeita. (Häkkinen & Kuittinen 2020, 61—73.) Yksittäisten tuotteiden päästöistä suuri osa syntyy valmistusprosessissa. Hiilijalanjälkeen vaikuttaa tuotteiden lisäksi rakennuksen energiankulutus, joten energiankulutuksen arviointi on olennainen osa hiilijalanjäljen laskentaa. Jos rakennus on kytketty kaukolämpö- tai sähköverkkoon, sen elinkaaren aikaisiin päästöihin vaikuttavat vuosittainen vaihtelu sekä pitkän ajan kehitys siirryttäessä pois fossiilisista polttoaineista. Laskenta tehdään valittujen skenaarioiden perusteella ja oletetaan joko tuotannon jatkuvan ennallaan tai arvioidaan tuotannon muutokset. (Häkkinen & Kuittinen 2020, 61.)

Jätteiden kierrätys on välttämätöntä, sillä EU:n parlamentin ja neuvoston direktiivin 2008/98/EY 11 artiklan mukaan vuoteen 2020 mennessä tuli 70 % vaarattomasta rakennus- ja purkujätteestä valmistella uudelleenkäytettäväksi, kierrättää tai hyödyntää muulla tavalla. Valitettavasti tavoitteeseen ei ole kuitenkaan päästy. Ympäristöministeriön mukaan jätteiden hyödyntämistä on viime vuosina ollut 50–60 % luokkaa (Jätelaki s.a.). Vuonna 2018 direktiiviin tehtiin lisäys, jonka mukaan rakennus- ja purkujätteen kierrätykseen liittyviä tavoitteita käsitellään uudestaan viimeistään vuonna 2024. Suomessa valtioneuvoston asetuksen 179/2012 § 16 mukaan purkujätteen haltijan täytyy järjestää erilliskeräys jätelakeille. Lisäksi vaaralliset jätteet, kuten asbesti, on kerättävä ja toimitettava nopeasti käsiteltäväksi.

Seuraavat menettelytavat ovat vakiintuneet käyttöön rakennuksen elinkaariarvioinnissa. Arvioinnin vaiheet Häkkisen ja Kuittisen mukaan esitellään kuvissa 3 ja 4. Hankkeissa voidaan liikkua vaiheiden molempiin suuntiin, sillä joskus kesken prosessin tulee esille asioita, joiden takia joudutaan palaamaan edelliseen vaiheeseen.

#### *Vaihe 1 – Määrittele arvioinnin tavoite*

Ensimmäisessä vaiheessa määritellään, miksi vähähiilisyttä arvioidaan. Mikäli vähähiilisyttä arvioidaan rakentamismääräysten vähimmäisvaatimuksen täyttämisen vuoksi, seurataan määräyksen mukaista arviointimenetelmää. Vähähiilisyys voi kuulua myös erilaisiin vihreän rakentamisen sertifikaatteihin, jolloin tavoitteena on varmistaa sertifikaatin toivoma taso. Syitä voivat olla myös kilpailuetu tai halu kehittää vastuullisempaa rakentamista. Vaatimukset ylittävää vähähiilisyttä voidaan tavoitella kilpailuvalttina tai valmistautumisena tulevaan.

#### *Vaihe 2 – Valitse arviointimenetelmä ja työkalut*

Seuraavassa vaiheessa valitaan arvioinnin tavoitetta tukeva arviointimenetelmä. Jos arviointi tehdään sertifikaatteja varten, arviointimenetelmän ohjeet löytyvät sertifikaatin myöntäjiltä. Suomessa on käytössä Ympäristöministeriön arviointimenetelmä, joka sisältää ohjeet siitä, miten arviointi tulee tehdä. Käytössä olevat työkalut voidaan jakaa kolmeen luokkaan: rakennusten elinkaariarvioinnin ohjelmistot, kustannuslaskentapohjaiset ohjelmistot ja taulukkolaskentasovellukset.

#### *Vaihe 3 – Rajaa ja määrittele*

Vaiheessa 3 asetetaan arvioinnin rajaukset ja skenaariot, määritellään tarkastelujakson pituus ja arvioinnin tarkkuus. Rajauksissa määritellään, mitkä rakennuksen osat tai elinkaaren vaiheet sisältyvät arviointiin ja mitkä jätetään ulkopuolelle. Eri arviointimenetelmien taustalla vaikuttaa standardi EN 15978, joka määrittelee, että arviointiin sisältyy rakennus, tontti rakenteineen sekä rakentamisen aikana vaadittavat väliaikaiset rakenteet ja työmaat. Määrittely on laaja, ja usein on päädytty hieman suppeampiin rajauksiin. Ympäristöministeriön arviointimenetelmään sisältyvät tontin maa- ja pohjatyöt, rakennuksen kantava runko, täydentävät rakenteet ja osa talotekniikasta.

## Vähähiilisyiden arvioinnin vaiheet



Kuva 3. Vähähiilisyiden arvioinnin vaiheet 1 (Häkkinen & Kuittinen 2020, 75).



Kuva 4. Vähähiilisyden arvioinnin vaiheet 2 (Häkkinen & Kuittinen 2020, 75).

#### *Vaihe 4 – Inventoi*

Vaiheessa 4 tehdään inventaario, joka yksinkertaisimmillaan sisältää rakennuksen määräluettelon ja energiaselvityksen tiedot. Muut tiedot saadaan arviointiin käytetystä ohjelmistosta tai tietokannoista. Inventaariota varten tarvitsee tietää rakennuksen elinkaaren aikana käytetyt rakennusmateriaalit, energia sekä rakentamiseen, kuljetukseen, purkamiseen ja jätteenkäsittelyyn liittyvät skenaariot.

#### *Vaihe 5 – Valitse päästötiedot*

Kun tiedetään tuotteiden ja prosessien määrät, selvitetään niiden ympäristövaikutukset. Usein ympäristövaikutukset löytyvät suoraan käytetystä laskentaohjelmasta. Päästötietoja voidaan saada myös yleisestä päästötietokannasta. Vähähiilisyiden arvioinnissa voidaan hyödyntää tuotekohtaisia ympäristöselosteita. Niitä ei tosin ole saatavilla kaikille tuotteille, minkä vuoksi ympäristöselosteiden pohjalta ei yksin voi tehdä vähähiilisyiden arviointia. Esimerkiksi eri rakennustöille, kuljetuksille ja jätteenkäsittelyprosesseille ei ole saatavilla ympäristöselosteita.

#### *Vaihe 6 – Laske ja tarkista*

Seuraavaksi tulokset lasketaan ohjelmiston avulla, johon inventaariotiedot ja päästötiedot on syötetty. Vaiheessa 6 oleellimmat seikat liittyvät osatulosten tarkistuksiin. Laskentavaiheessa voidaan vertailla eri rakennetyyppien ja vaihtoehtoisten materiaalien vaikutusta rakennuksen vähähiilisyteen. Laskentatulokset on myös hyvä tarkistaa käymällä läpi suurimmat ja pienimmät vähähiilisyteen vaikuttavat osatekijät ja tarkistamalla niiden lukuarvot. Lisäksi on hyvä tarkastaa tuotteiden uusintavälit.

#### *Vaihe 7 – Raportoi*

Viimeisessä vaiheessa raportoidaan tulokset. Tulokset raportoidaan erikseen rakennukselle ja rakennuspaikalle. Rakennuspaikan tuloksiin kuuluvat rakennuksen ulkopuolella ja alla olevien rakenteiden vaikutukset. Hiilijalanjälki raportoidaan erikseen jokaiselle elinkaaren vaiheelle. Tulokset esitetään kahden desimaalin tarkkuudella. Raportointitapa riippuu valitusta arviointimenetelmästä. Jos arviointi on tehty rakentamismääräysten toteuttamisen vuoksi, myös raportoinnissa noudatetaan määräysten mukaista raportointitapaa. Jos taas arviointi perustuu vihreän rakentamisen sertifikaatteihin, tulos saattaa olla vain yksi osa sertifikaatin kokonaisuutta. Raportoinnissa tavoitellaan avoimuutta ja läpinäkyvyyttä raportointitavasta riippumatta. Erityisen tärkeää on kuvata elinkaaren kohdat ja rakennusosat, joihin liittyy oletuksia. Päästötietoihin liittyvät seikat, kuten tietojen ajallinen, teknologinen ja maantieteellinen edustavuus olisi hyvä raportoida. Raportoinnin havainnollisuus ja visuaalisuus auttaa tulosten viestimisessä ja tulkinnassa.

Elinkaariarvioinnin tekijälle ei ole Suomessa asetettu erityisiä vaatimuksia. Standardin ISO 14071 mukaan arvioijalla tulee olla tieteellistä ja teknistä

osaamista LCA-menetelmän vaatimuksista. Arvioijalla tulee myös olla kriittisen arviointimenetelmän käyttökokemusta, riittävä kielitaito ja tietoa menetelmän ympäristö- sekä teknillisistä näkökulmista. Tietämys osoitetaan ansioluettelon sekä referenssien avulla. (Keskisalo & Matveinen 2020.)

## 2.3 Ympäristömerkinnät

Ympäristömerkintöjen avulla voidaan viestiä rakennuksen hiilijalanjäljestä ja muista arviointituloksista. On olemassa yleisiä merkintäjärjestelmiä erilaisille tuotteille sekä erityisesti rakennuksille suunnattuja merkintöjä. Merkinnät jakautuvat kolmeen päätyyppiin: I, II ja III.

- Tyypin I ympäristömerkit ovat kolmannen osapuolen varmentamia. Ne perustuvat standardiin ISO 14024:2018. Joutsenmerkki on esimerkki pohjoismaisesta ympäristömerkinnästä.
- Tyypin II ympäristömerkit ovat tuottajan omaan ilmoitukseen perustuvia yksinkertaistettuja väittämiä. Ne perustuvat standardiin ISO 14021:2016.
- Tyypin III ympäristöselosteet perustuvat elinkaarimallinnukseen. Niissä kerrotaan elinkaari huomioiden tuotteen aiheuttamista ympäristövaikutuksista. Ne perustuvat standardiin ISO 14025. Rakennustuotteen ympäristöseloste (EPD) on esimerkki tyypin III ympäristömerkistä. (Häkkinen & Kuittinen 2020, 63.)

One Click LCA -ohjelmiston tietokantaan sisältyy päästötietokantojen lisäksi runsaasti eri tuotteiden ympäristöselosteita. Ohjelmiston omilla työkaluilla voidaan myös luoda standardin mukainen ympäristöseloste rakennustuotteelle elinkaarianalyysin jälkeen. Ympäristöselosteet käyvät yhteen kansainvälisen LCA-menetelmän ja EPD-määritelmän kanssa ja noudattavat standardeita ISO 21930, ISO 14044, ISO 14025, ISO 14067, EN 15804, EN 15804+A1, EN 15804+A2 ja EN 15942.

### 2.3.1 Ympäristöseloste

Rakennustuotteiden tyypin III ympäristöseloste eli EPD (*Environmental Product Declaration*) on dokumentti, johon on koottu yhteenveto tuotteen ympäris-

tövaikutuksista koko elinkaaren ajalta. Ympäristöseloste tarjoaa rakennustuotteesta tai rakennuksen ostopalvelusta tieteellisesti perusteltuja ympäristötietoja sekä antaa tietoa rakennuksen käytön aikaisista terveyteen vaikuttavista päästöistä sisäilmaan, maaperään ja veteen. (SFS-EN 15804:2012 5.1). Ympäristövaikutukset lasketaan LCA-tekniikalla eli ne perustuvat elinkaarimallinnukseen. EPD-dokumentointiin kuuluu julkinen dokumentti ja yksityinen taustaselvitys, johon on selvitetty tarkemmin selosteen toteutus, oletukset, parametrit ja datan rajoitteet. Normaalisti ympäristöselosteet ovat viisi vuotta voimassa, koska tuotantotavat ja energian päästöt muuttuvat nopeasti. Yleisimmin EPD:t noudattavat eurooppalaista standardia EN 15804+A2 (Kestävä rakentaminen. Rakennustuotteiden ympäristöselosteet. Laadinnan yleissäännöt), mutta EU:n ulkopuolella on käytössä muitakin standardeja. Ympäristöselosteen avulla yritys voi osoittaa sitoutuneensa ympäristövaikutusten vähentämiseen. (One Click LCA 2020.)

Ympäristöselosteessa on ilmoitettava sen kattaman tuotteen perustiedot. Selosteen täytyy sisältää tuotteen valmistajan tiedot, aiottu käyttötarkoitus sekä tuotteen toiminnallinen yksikkö, tuotteen kuva, nimi ja muut tunnistetiedot sekä kuvaus pääkomponenteista ja -materiaaleista. Lisäksi on kuvattava käytetty ympäristöselosteohjelma, voimassaoloaika ja toteamus tuotteen elinkaaren vaiheista, joita ympäristöseloste ei kata. (SFS-EN 15804:2012, 7.1.)

### **2.3.2 Informaatiomodulit**

Elinkaarilaskennassa rakennustuotteille ja -materiaaleille ilmoitetaan neljä moduulia, jotka ilmaistaan kirjaimin (A...D). Moduulit kuvaavat materiaalin rakentamisen aikaisia vaiheita. Vaiheet esitellään standardissa SFS-EN 15804:2012 + A2:2019.



Kuva 5. Rakennuksen elinkaarimalli (Bionova 2017, 13).

Kuvassa 5 nähdään moduulit listattuna taulukkoon. Kuva on mukailtu Bionova Oy:n teoksesta *Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomiomiseksi rakentamisen ohjauksessa*. Kyseiset moduulit toistuvat elinkaarilas-kennassa ja ne kaikki vaikuttavat rakennuksen kokonaishiilijalanjälkeen.

Tasot A1...A3 kuvaavat materiaalin tuotevaihetta. Tuotevaiheeseen sisältyvät:

- A1, raaka-aineiden hankinta ja käsittely, kierrätysmateriaalien käsittely
- A2, kuljetus valmistukseen
- A3, valmistus

Tasot A4...A5 kuvaavat rakentamisvaihetta, johon sisältyvät:

- A4, kuljetukset työmaalle

- A5, työmaatoiminnot.

Tasot B1...B5 kuvaavat käyttövaihetta, johon sisältyvät:

- B1, käyttö
- B2, kunnossapito
- B3, korjaus
- B4, osien vaihto
- B5, laajamittaiset korjaukset.

Tasot B6...B7 kuvaavat myös käyttövaihetta, ja siihen sisältyvät:

- B6, energian käyttö (esimerkiksi lämmitysjärjestelmän ja muiden talotekniikkalaitteiden käyttö)
- B7, veden käyttö.

Tasot C1...C4 käsittävän rakennuksen purkuvaiheen. Siihen sisältyvät:

- C1, purkaminen
- C2, purkuvaiheen kuljetukset
- C3, purkujätteen käsittely
- C4, purkujätteen loppusijoitus.

Taso D käsittää elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset, johon kuuluvat:

- D, uudelleenkäytöstä, hyödyntämisestä ja kierrätyksestä arvioidut nettovaikutukset.

## 2.4 Hiilijalanjäljen laskenta

One Click LCA määrittelee hiilijalanjäljen tarkoittamaan kaikkien kasvihuonekaasupäästöjen summaa (One Click LCA 2021). Ohjelmisto antaa tulokset hiilidioksidiekvivalenttina neliometriä ja vuotta kohti. Hiilidioksidiekvivalentti kuvaa kasvihuonekaasujen yhteismittaa, jonka avulla voidaan laskea eri kasvihuonekaasujen yhteisvaikutus kasvihuoneilmiöön. Hiilikädenjäljellä taas tarkoitetaan rakennuksen myönteisiä ilmastovaikutuksia.

Hiilijalanjäljen laskenta on matemaattisesti melko yksinkertaista. Pääsääntöisesti päästöt lasketaan kertomalla materiaalin paino ilmoitetulla materiaalikoh- taisella päästökertoimella. Päästökerroin määritellään ilmoittamalla hiilidioksi- dimäärä valittua referenssiyksikköä, kuten kilogrammaa tai kuutiometriä kohti. Kertoimet ovat peräisin yleisistä tietokannoista ja tuotekohtaisista ympäris- töselosteista. One Click LCA-ohjelmisto pyytää materiaalit useimmiten yksi-

köissä kilogramma (kg), kuutiometri (m<sup>3</sup>) tai neliometri (m<sup>2</sup>). Pinta-alayksikössä ilmoitettaessa ohjelmisto pyytää lisäksi kappaleen paksuuden. Kuljetetäisyyden päästöjen laskemiseksi voidaan käyttää valmiita eri maille suunniteltuja skenaarioita. Ympäristöministeriö on antanut rakentamiselle ja purkamiselle oletuspäästökertoimet, joista voidaan rakennetun pinta-alan avulla laskea päästöt. Omat päästökertoimet on ilmoitettu myös käytetylle energialle. Materiaalien vaihtojen määrä lasketaan materiaalin teknisen käyttöiän ja laskentajakson mukaan. Alle on listattu hiilijalanjäljen laskennan kaavoja Häkkinen ja Kuittisen teoksessa *Kohti vähähiillistä rakentamista: opas arviointiin ja suunnitteluun*.

(1)

*TUOTTEEN HIILIJALANJÄLKI*

$$= \text{MATERIAALIN PAINO} \times \text{MATERIAALIKOHTAINEN PÄÄSTÖKERROIN}$$

(2)

*ENERGIAN HIILIJALANJÄLKI*

$$= \text{OSTOENERGIAN MÄÄRÄ} \times \text{ENERGIAMUOTOKOHTAINEN PÄÄSTÖKERROIN}$$

(3)

*KULJETUKSEN HIILIJALANJÄLKI*

$$= \text{RAHTIETÄISYYS} \times \text{KULJETUSMUODON KILOMETRIKOHTAINEN PÄÄSTÖKERROIN}$$

(4)

*RAKENNUSTYÖN HIILIJALANJÄLKI*

$$= \text{KULUTETTU ENERGIA} \times \text{ENERGIAMUOTOKOHTAINEN PÄÄSTÖKERROIN}$$

Ympäristöministeriö ylläpitää rakentamisen päästötietokantaa, jonka ylläpidosta ja kehittämisestä vastaa Suomen ympäristökeskus SYKE ympäristöministeriön toimeksiannosta. Palveluun on koottu yleisimpien rakennustuotteiden keskimääräisiä tietoja. Palvelu ei sisällä yksittäisten tuotteiden ympäristöselosteita. Päästötietokannassa on ilmoitettu lyhyt kuvaus materiaalista ja lueteltu materiaalille päästölaskennassa tarvittavia tietoja. Ilmoitettuja tietoja ovat muun muassa tyypillinen GWP-arvo, hiilikädenjälki, hukkakerroin, uusiutuvien materiaalien osuus, kierrätysmateriaalien osuus, haitallisten materiaalien

osuus ja elinkaaren jälkeiset skenaariot. Päästötietokannasta löytyy myös yleisimpien rakentamisen prosessien ja palveluiden, kuten kuljetuksen, rakentamisen ja jätteenkäsittelyn, päästötietoja. (Suomen ympäristökeskus 2022.) One Click LCA -laskentaohjelma sisältää Ympäristöministeriön rakentamisen päästötietokannan tiedot ja pohjaa laskentansa niihin.

Standardissa SFS-EN 15978: *Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method* esitellään rakennusten elinkaariarvioinnin laskennan sääntöjä ja periaatteita. Standardi sisältää muun muassa laskentaan mukaan otettavat osat ja työvaiheet. One Click LCA -laskentaohjelma noudattaa standardia ja kysyy eri vaiheiden tietoja dataa syötettäessä ja huomioi myös energiankulutuksen. Laskennassa on huomioitava kaikki rakennuselementit, rakennuskomponentit, rakennustuotteet, rakennusmateriaalit ja lisäksi rakentamiseen liittyvät prosessit kuten kuljetus, rakentaminen, kunnossapito, korjaaminen, materiaalien korvaaminen, jätteenkäsittely sekä energiankulutus (SFS-EN 15978, 7.5.2). Standardin mukaan rakennuksen fyysisistä ominaisuuksista pitää tuntea kerrosten lukumäärä, kerrosala, runko ja perustukset, kuormaa kantamattomat rakenteet, ulkoseinät, ikkunat, katto, sisäseinät, ovet ja portaikot, lattia, sisäkatto ja tekniset ratkaisut. Lisäksi standardissa mainitaan monien muiden kohteiden, esimerkiksi saniteettitilojen vedenkäsittelyn, tulipalontorjuntajärjestelmien, pysäköintitilojen ja vedenkäsittelyn huomioiminen. On järkevää arvioida, kuinka suuri vaikutus yksittäisellä osalla on kokonaiskuvaan, mikäli tarkan tiedon hankinta on haasteellista.

Standardin kappaleen 9 mukaan laskettavien materiaalien määrän laskennassa on huomioitava häviöt. Häviöitä voi syntyä kuljetuksessa, käsittelyssä paikan päällä, tai valmistuksessa. Jos laskennan aikana jokin tuote vaihdetaan uuteen, laskentaan täytyy sisällyttää vanhan tuotteen poisto. Datan laadussa on huomioitava, että laskentaa varten kerätyn datan pitäisi olla mahdollisimman tuoretta. Data ei saisi olla yli 10 vuotta vanhaa. Tiedon pitäisi olla kerätty vähintään vuoden pituiselta aikajaksolta. Tuotteiden hävittämisprosessin päästöt pitäisi huomioida vähintään sadalta vuodelta.

Kokonaishiilijalanjälki eli rakennuksen elinkaaren kasvihuonepäästöt laske-  
taan Ympäristöministeriön vähähiilisuuden arviointimenetelmän (2021) mu-  
kaan eloperäisten, fossiilisten ja maankäytön muutosten päästöjen summana  
(kaava 5).

(5)

$$\begin{aligned}
 \text{HIILIJALANJÄLKI} = & \\
 & GWP_{\text{valmistus}} + GWP_{\text{vaihdot}} + GWP_{\text{jätteenkäsittely}} + GWP_{\text{loppusijoitus}} \\
 & + GWP_{\text{kuljetukset}} + GWP_{\text{työmaa}} + GWP_{\text{käyttöenergia}}
 \end{aligned}$$

jossa

$GWP_{\text{valmistus}}$	rakennustuotteiden raaka-aineiden hankinnasta (A1), niiden kuljetuksista (A2) ja valmistuksesta (A3) aiheutuva kasvihuonekaasupäästö
$GWP_{\text{vaihdot}}$	rakennustuotteiden vaihdoista aiheutuva kasvihuonekaasupäästö (B4)
$GWP_{\text{jätteenkäsittely}}$	rakennustyömaalla (A5), rakennustuotteita vaihdettaessa (B4) ja purkutyömaalla (C3) syntyvän rakennus- ja purkujätteen käsittelystä aiheutuva kasvihuonekaasupäästö
$GWP_{\text{loppusijoitus}}$	rakennus- ja purkujätteen loppusijoituksesta aiheutuva kasvihuonekaasupäästö (C4)
$GWP_{\text{kuljetukset}}$	rakennustuotteiden kuljetuksista valmistuspaikalta rakennustyömaalle (A4) ja rakennus- ja purkujätteen kuljetuksista purkupaikalta jätteenkäsittelyyn aiheutuva kasvihuonekaasupäästö (C2)
$GWP_{\text{työmaa}}$	rakennustyömaalla (A5), rakennustuotteita vaihdettaessa (B4) ja purkutyömaalla (C1) kulutetusta energiasta aiheutuva kasvihuonekaasupäästö

*GWP<sub>käyttöenergia</sub>*

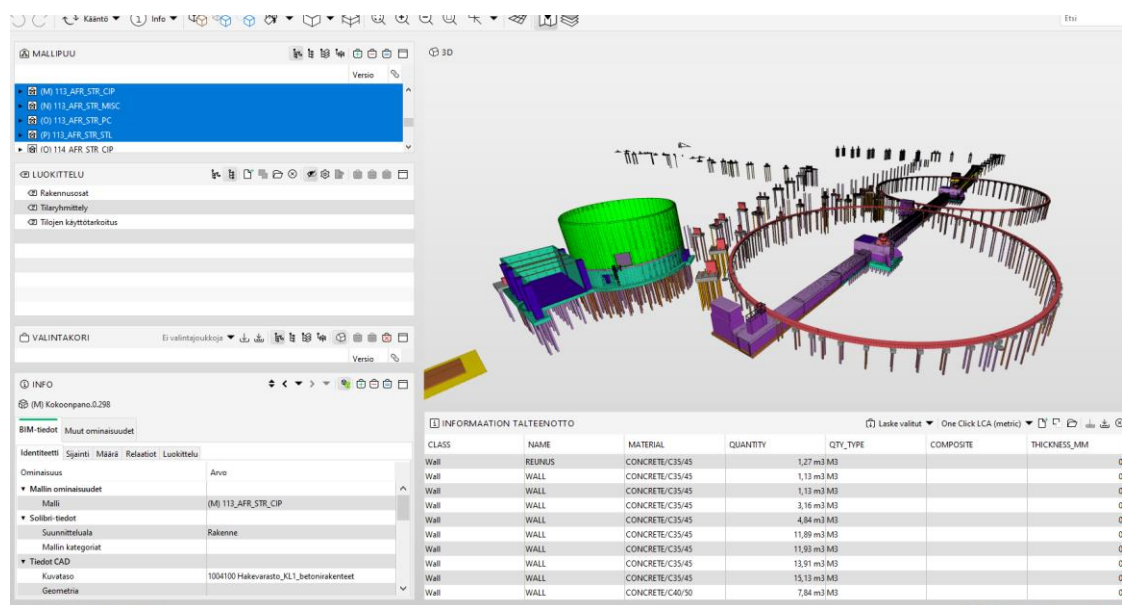
rakennuksen käytön aikana kulutetusta energiasta aiheutuva kasvihuonekaasupäästö (B6)

## 2.5 Maankäyttö- ja rakentamislain uudistus

Ympäristöministeriön tiedotteen 1.3.2023 mukaan eduskunta hyväksyi uuden rakentamislain, joka astuu voimaan 1. päivänä tammikuuta 2025. Suurin muutos nykyiseen maankäyttö- ja rakentamislakiin on ilmastonmuutoksen hillinnän lisääminen osaksi rakentamislainsäädäntöä. Lain mukaan on pyrittävä rakentamaan vähähiilisesti ja huomioimaan rakennuksen koko elinkaarena syntyvät ilmastovaikutukset. Käytännössä se tapahtuu myöhemmin annettavilla asetuksilla. Suomen rakennusmääräyskokoelmaan lisätään asetukset rakennuksen ilmastaselvityksestä, materiaaliselosteesta ja hiilijalanjäljen raja-arvoista. (Ympäristöministeriö 2023.)

Rakentamislakiehdotus toisi ilmastonmuutoksen torjunnan ensi kertaa kattavasti rakentamislainsäädännön osaksi. Rakentamislain uudistuksen 2. luvun 5 § mukaan ”rakentamisen on hillittävä ilmastonmuutosta perustamalla elinkaariominaisuuksiltaan kestäviin ja taloudellisiin, energiatehokkaisiin, sosiaalisesti ja ekologisesti toimiviin sekä kiertotaloutta edistäviin ratkaisuihin”. Hallituksen esityksen mukaan voimassa olevaa maankäyttö- ja rakentamislakia muutettaisiin, että lupaa edellyttävien rakennushankkeiden kynnystä nostettaisiin. Rakentamislupaa haettaessa laadittaisiin ilmastaselvitys rakennuksen vähähiilisyydestä Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmän ja kansallisen päästötietokannan avulla. Rakennukselta vaadittavien elinkaariominaisuuksien tärkeyttä korostettaisiin, mikä edistäisi kiertotaloutta. Esityksen mukaan Suomen ympäristökeskuksen on ylläpidettävä kansallista päästötietokantaa, joka sisältää vähähiilisyyden arvioinnissa vaadittavat yleisluontoiset hiilijalanjäljen ja hiilikädenjäljen tiedot. Hiilijalanjäljen ja hiilikädenjäljen arvioinnin olisi katettava rakennuksen koko elinkaari tai korjattavan rakennuksen korjauksen ja sen jälkeisen elinkaaren vaiheet. Arvioinnissa käytettäisiin vähähiilisyyden arviointimenetelmää, kansallisen päästökannan tietoja tai muita soveltuvia ympäristöominaisuustietoja. (Ympäristövaliokunta 2023.)

Lupaprosessi perustuisi tietomalleihin. Tietomalli tarkoittaa digitaalisessa muodossa olevan rakennelman kolmiulotteista esittämistä ominaisuustietoineen. Mallin avulla pyritään hallinnoimaan rakennelman elinkaarta suunnittelusta toteutukseen ja purkamiseen asti. Tietomallin lyhenne on BIM (*Building Information Model*). BIM-käsite on laajentunut tarkoittamaan rakennuksen ja koko rakennusprosessin elinkaaren aikaisten tietojen kokonaisuutta digitaalisessa muodossa. (Jäväjä & Lehtoviita 2016, 15.) Suunnitelmavaiheessa luotaisiin suunnitelmamalli ja loppukatselmuksen yhteydessä luovutettaisiin toteumamalli. Se antaisi perustan luotettavalle digitaaliselle tallennukselle sekä rakennetun ympäristön ajantasaiselle tietojärjestelmälle. Tietomallipohjaisella suunnittelulla ja yhtenäisillä tiedon rakenteilla saataisiin tietoaineistot hyödynnettäväksi ja prosessien pohjatiedoiksi. (Ympäristövaliokunta 2023.) Tietomallit voivat nopeuttaa ja yleistää laskentaa merkittävästi ja siten tukea sääntelyn käyttöä. Laskennan helppous on merkittävä päästölaskennan houkuttelevuutta lisäävä tekijä. Tietomallien käytöstä laskennassa ei ole kattavaa tilastointia, mutta käyttö on vahvassa kasvussa. Tietomalleille on luotu kansalliset yleiset vaatimukset (*Yleiset tietomallivaatimukset 2012, YTV*). Kuvassa 6 nähdään tietomallin 3D-näkymä Solibri-ohjelmistossa. Kuva on otettu kuvakaappauksella ohjelmistosta.



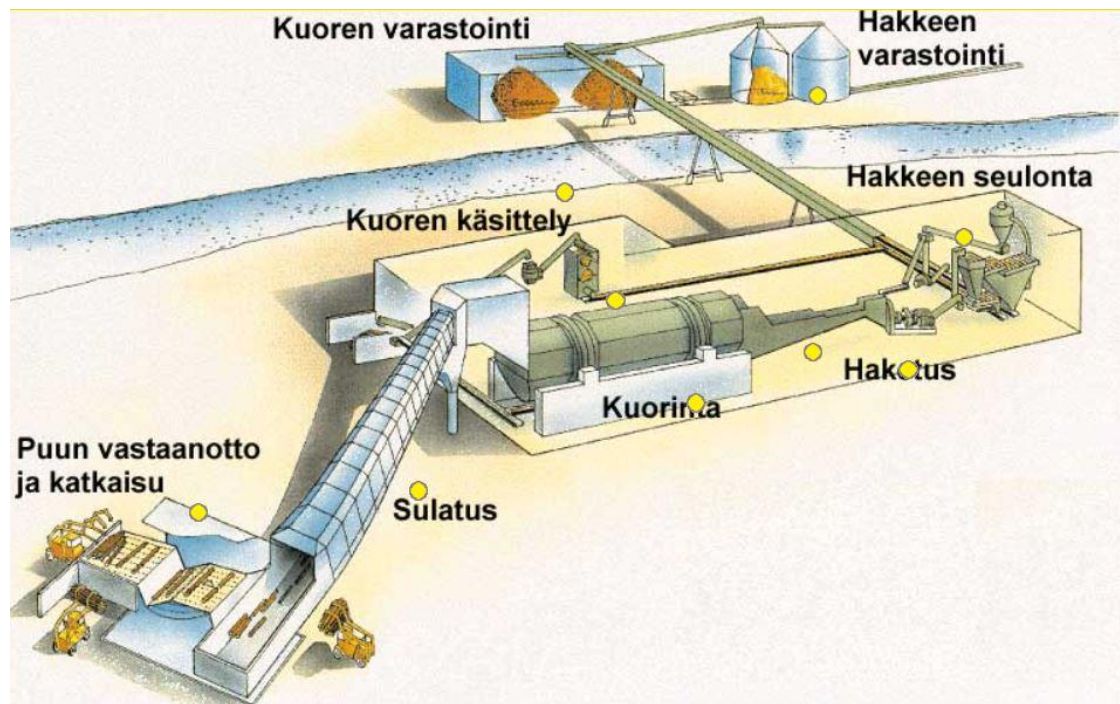
Kuva 6. Puunkäsittelyn hakkeenkäsittely tietomallin 3D-näkymässä.

### **3 PUUNJALOSTUSLAITOKSEN OSAPROJEKTIT JA TUOTANTOPROSESSIT**

Opinnäytetyössä One Click LCA- elinkaarilaskentaohjelmaa testataan laske-  
malla erään suomalaisen puunjalostuslaitoksen kaksi osaprosessia. Lasken-  
nassa tarkasteltavat osaprosessit ovat puunkäsittely ja kuitulinja. Työtä var-  
teen perehdytään molempien osaprosessien tekniseen kuvaukseen. Osapro-  
sessien materiaalitiedot saadaan tietomalleista. Prosessilaitteita ei sisällytetä  
laskentaan. Puunkäsittelyn tarkasteltaviin osiin kuuluvat puukenttä, kuorimo,  
hakkeen käsittely, kuoren käsittely, kuoriveden käsittely ja kuorivarasto. Kuitu-  
linjan laskettavaan osaan kuuluvat keitto, pesu, happidelignifiointi sekä kuitu-  
linjan yleiset osat.

#### **3.1 Puunkäsittely**

Puunkäsittely on selluntuotannon ensimmäinen vaihe. Puut tulevat tehtaalle  
kuitupuutukkeina. Tukit kuoritaan ensin kuorimossa, minkä jälkeen ne hakete-  
taan. Hake lajitellaan puulajeittain hakekasoihin ja kuljetetaan sieltä kuljetti-  
milla keittämölle keitettäväksi. Talteen kerätty kuori voidaan käyttää polttoai-  
neena kuorikattilalla. Nykyaikaisessa puunkäsittelyssä huomioidaan tiukentu-  
neet ympäristömääräykset sekä puun alkuperä, jotta tuotanto olisi mahdolli-  
simman laadukasta ja tehokasta. Puunkäsittelyn eri osaprosesseilla (puiden  
vastaanotto, sulatus, kuorinta, haketus, varastointi ja kuljetus) on suuri merki-  
tys sellun laatuun, eikä tappioita voida enää sellun valmistuksen muissa vai-  
heissa korvata. Saadaan merkittäviä säästöjä, jos kuorintaa pystytään tehos-  
tamaan, hake saadaan tasalaatuiseksi ja hävikki mahdollisimman vähäiseksi.  
Kuvassa 7 nähdään puunkäsittelyn vaiheet puun vastaanotolta hakevaras-  
toille. (KnowPap s.a.)



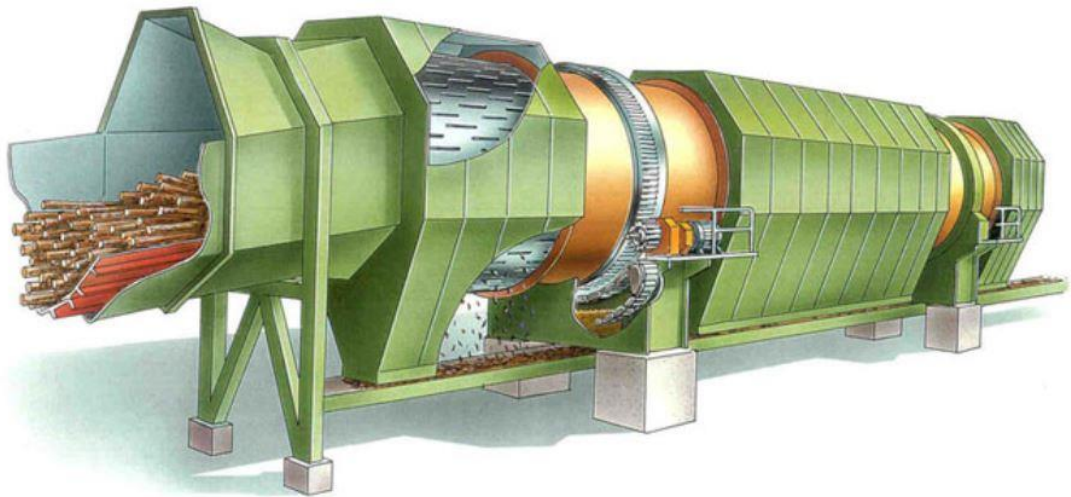
Kuva 7. Puunkäsittelyn vaiheet (KnowPap s.a.).

Puu tuodaan tehtaalle pääsääntöisesti autolla tai junalla, joskus myös vesiteitse. Varsinkin junakuljetuksilla kuormat tulevat tasaisin aikaväleihin, mutta vain osa puusta voidaan syöttää suoraan prosessiin. Loput varastoidaan lähelle purkupaikkaa. Puu tuodaan tehtaalle pääosin vapaamittaisena rankana. Se pyritään syöttämään prosessiin mahdollisimman tuoreena. Puu syötetään prosessiin järeysluokittain eli esimerkiksi normaali kuitupuu ja tukeiksi luokiteltava puu syötetään eri aikaan. Koska puu syötetään mahdollisimman tuoreena, yleensä varastokoot ovat suhteellisen pieniä. Jokaiselle lajikkeelle varataan kuitenkin yleensä oma alueensa, ja tuotannon jaksottaisuus vaikeuttaa varastojen pienentämisyrittämiä. Talviolosuhteissa puun pinnalla oleva kuori täytyy sulattaa ennen puun kuorimista. Yleisimmin sulatus tehdään kuorimarummun syöttökuljettimella. Yleisimmin lämmöntonni väliaineena on lämmin vesi, joskus myös matalapainehöyry. (KnowPap s.a.)

### 3.1.1 Kuorimo

Puut kuoritaan kuorimossa. Kuorinnan tavoite on saada puut jatkoprosessiin mahdollisimman pienin puuhäviöin. Puut kuoritaan mielellään kuivakuorintana kuorimarummuissa. Kuorimarummun toiminta perustuu rummun pyörimiseen, joka vaikuttaa lähes lineaarisesti kuorintatehoon. Lisäksi voidaan tehdä rootto-kuorintaa. Laitteessa on pyörivät roottoriakselit, joissa on kuorintahampaat.

Akselien päällä pyöriessään puut erottuvat kuoresta, ja kuori putoaa roottorien välistä. Viime aikoina markkinoille on tullut kuorimalaitteita, jotka soveltuvat vaikeasti kuorittaville puulajeille ja suurille kapasiteeteille. Puut olisi hyvä syöttää kuorintaprosessiin vaakatasossa, jolloin rungot eivät pääse vahingoittumaan ja tikkuhakkeen määrä pienenee. Kuoret poistetaan, koska kuori alentaa sellumassan vaaleutta ja lujuuksia. Vaaleuden alenema on 1 %:n kuoripitoisuudella 3–4 prosenttiyksikköä vaaleudessa. Lisäksi kuori ja nila näkyvät paperissa ja kartongissa tummina roskina. Huonosti kuorittu koivu voi aiheuttaa kartonkikoneella ajettavuusongelmia. (KnowPap s.a.)



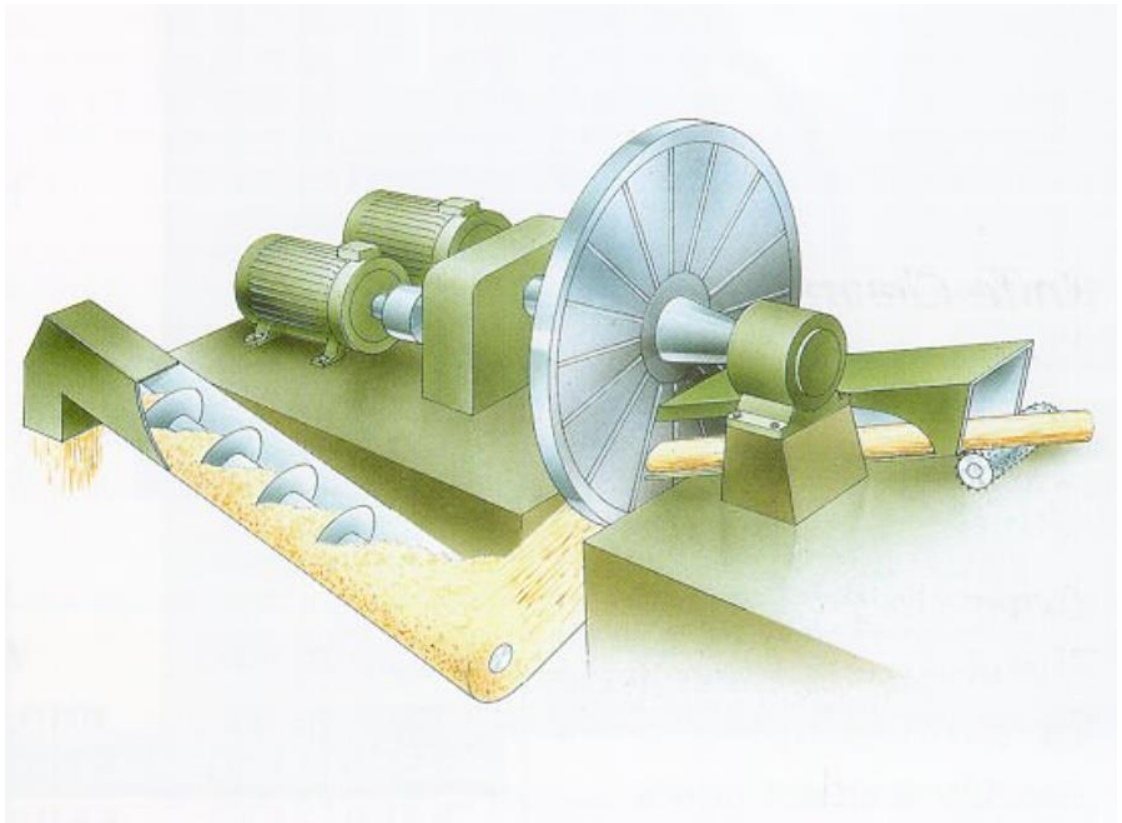
Kuva 8. Rullastokannatteinen kuorimarumpu (KnowPap s.a.).

Kuorimarumputyyppejä ovat muun muassa kuoriaukoton, kumipyöräkannatteinen, teräspyöräkannatteinen ja rullastokannatteinen kuorimarumpu (kuva 8). Kuorimarummun jälkeen purkauskuljetin kuljettaa puut pesu- ja kivienerotusrullasostolle. Kuorittuja puita pestään pesusuihkuverhoilla. Sen jälkeen puut kuljetetaan hakun syöttölinjalle. Syöttölinja pesee puut, erottaa kivet, metallin, ylisuuret puut ja tasoittaa puut ennen hakkaa. (KnowPap s.a.)

### 3.1.2 Hakkeen käsittely

Haketuksen tavoite on tuottaa hyvälaatuista ja homogeenista haketta jatkoprosessiin. Hakku on puunkäsittelyn tärkein yksittäinen prosessilaitte. Käytetyimmät hakkutyyppit ovat kourusyötteisiä. Hakulla on suuri vaikutus hakkeen laatuun, eikä seulontakaan pysty täysin paikkaamaan huonosti tuotettua haketta.

Selluteollisuuden yleisin hakkutyyppi on kiekkohakku (kuva 9). Sahateollisuudessa on käytössä myös rumpuhakkuja lastulevyn ja LDF-levyn hakkeen tuottamiseen sekä pelkkahakkuja tukin pintaosan haketukseen. Hake muodostetaan leikkaamalla puiden päistä ellipsimäisiä kappaleita, jotka halkeavat leikkausvoiman vaikutuksesta hakkeeksi. Hakkeen kokoon vaikuttavat leikkausgeometria, nimellishakepituus, hakun pyörimisnopeus, hakun tyyppi ja hakelettavan puun ominaisuudet. Ylisuurta ja liian paksua haketta voidaan jatkokäsitellä niin, että pääosa hakkeesta saadaan hyväksytyyn muotoon ja voidaan palauttaa hakevirtaan. Liian pientä haketta, kuten purua ja tikkujaetta ei pysty jälkikäteen käsittelemään hyväksyttäväksi hakkeeksi. Ne rejektoidaan pois hakkeen joukosta ja purujae ohjataan poltettavaksi esimerkiksi kuoren kanssa. (KnowPap s.a.)



Kuva 9. Vaakasyöttöinen taaksepurkava kiekkohakku (KnowPap s.a.).

Seulonnassa hakkeen joukosta poistetaan jakeet, jotka eivät sovellu jatko-prosessiin. Seulonta voidaan sijoittaa ennen hakevarastoa tai sen jälkeen. Prosessimielessä järkevämpää olisi seuloa hake varastoinnin jälkeen, sillä silloin voidaan poistaa varastoinnin aikana tulleet epäpuhtaudet ja pienentää lajittu-

misen vaikutuksia. Seulotun hakkeen laatu määrittyy massanvalmistusprosessin vaatimusten sekä seulonnan kustannusten mukaan. Seulonta tehdään yleisimmin reikä- eli tasoseulalla. Tasoseulassa on kolme seulontatasoa. Liian suuri jae poistetaan ylätason päästä hakeleikkuriin, joka purkaa hyväksytyin jakkeen kuljettimille. Ylätason reikäkoko on tyypillisesti 45–55 mm. Välitason avulla kevennetään alatason kuormitusta. Alatason reikäkoko on yleisimmin 6–8 mm. Alatasolta liian hienojakoinen hake kerätään purukuljettimille. (Know-Pap s.a.)

Viime vuosina on kehitetty puruseuloja, joilla päästään tarkempiin purunerotusasteisiin. Tällaisia laitteita ovat kiekkoseulat, täryseulat ja rullaseulat, joista varsinkin rullaseuloilla päästään jopa 90 %:n purunerotuskykyyn ja erittäin pieniin häviöihin. Haketta voidaan seuloa myös impulssiseulonnalla. Impulssilajittelu perustuu impulssiin, joka saadaan aikaan paineilman avulla. Hake lajittuu partikkelien paino/pinta-alasuhteen mukaan. Lajittelurajoja voidaan säätää ilmanpaineen ja säätöluukkujen asennon avulla. Impulssilajittelulla voidaan lajitella suuri kapasiteetti yhdellä laitteella. Lajittelussa on myös vähän liikkuvia mekanismeja, jolloin huollon tarve pienenee. (KnowPap s.a.)

Seulottu hake kuljetetaan kuljettimien avulla varastoitavaksi. Hakevaraston on oltava riittävän suuri tuotantokapasiteettiin nähden. Hakevarastoa käytetään tasaamaan kapasiteettivaihteluita kuorimon ja hiertämön välillä. Hake varastoidaan avovarastoihin tai sillovarastoihin. Sillovarasto pysyy puhtaana ja suojaa haketta sääoloilta. Toisaalta sen haittana ovat suuret investointikustannukset varastotilavuuteen nähden. Siilot ovat usein suoraseinäisiä ja niissä on ”elävä” pohja, joko liikkuva ruuvipurkain tai tankopurkain. Siilot ovat yleensä teräsrakenteisia ja halkaisijaltaan suuria verrattuna korkeuteen. (KnowPap s.a.)

### **3.1.3 Kuorenkäsittely**

Kuorenkäsittelyyn tulee kuorta kuljettimilla puunsyötöstä ja sulatuksesta, rum-pukuorinnasta sekä rummun ja hakun väliltä. Kaikki kuori johdetaan kuorimon kuorijärjestelmään ja vedet kiertovedenkäsittelyyn. Ennen jatkokäsittelyä kuori murskataan, jotta sen kuljetus helpottuu, puristettavuus paranee ja poltto-ominaisuudet paranevat. Murskaus tapahtuu repijällä tai murskaimella. Repijöiden

päätyypit ovat pystyroottoriset repijät ja vaakaroottoriset murskaimet. Pystyroottorisessa repijässä kuoriaines syötetään pyörivien terien päälle, josta se kulkeutuu alas niiden läpi ja ulos laitteesta. Ennen poistumistaan kuori iskeytyy vastateriä vasten suuren pyörimisnopeuden vuoksi ja murskautuu. Vaakaroottorisen murskaimen tyyppejä ovat vasaramurskaimet, hidaskäyntiset murskaimet ja ruuvimurskaimet. (KnowPap s.a.)

Murskauksen jälkeen kuori puristetaan polttoarvon parantamiseksi. Puristuksella poistetaan mahdollisimman paljon vettä. Tyypillisesti märkäkuorinnassa puristukseen tulevan kuoren kuiva-ainepitoisuus on havupuilla 20–30 % ja koivulla 25–35 %. Kuivakuorinnassa maavarastoidun havupuun kuiva-ainepitoisuus talvella on noin 30–36 % ja koivun yli 40 %. Puristuksen jälkeen kuiva-ainepitoisuuden tavoite on vähintään 40 %. Tavoitteena on pyrkiä mahdollisimman korkeisiin kuiva-ainepitoisuuksiin, jokainen lisäprosenttiyksikkö merkitsee satojen tuhansien eurojen säästöjä verrattuna siihen, että sama energiamäärä tuotettaisiin muilla polttoaineilla. (KnowPap s.a.)

Kuorenpuristinmenetelminä on käytössä annospuristus, monipuristus, porraspuristus ja kertapuristus. Annospuristuksessa tietty kuoriannos puristetaan kasaan ja siitä erkanee vettä. Monipuristuksessa kuori joutuu useasti puristusnippiin ja sitä käännellään. Jokaisen puristusjakson aikana kuori kuivuu ja ulos rummista tullessaan on kuivaa ja tasalaatuista polttoainetta. Porraspuristuksessa kuori ohjataan kahden liikkuvan seinän välissä olevaan kuiluun. Kuori puristetaan ja vapautetaan seinien asentoja muuttamalla. Kuori painuu alaspäin ja puristuu. Samalla paine kasvaa ja vesi poistuu kuoriaineksesta. Kertapuristuksessa kuori puristetaan telojen välissä kuivaksi. (KnowPap s.a.)

Kuorimolta kuori kuljetetaan hihnakuljettimilla kuorivarastolle. Kuorivarasto voi olla kokonainen kasavarasto, jonka alla on kääntyvä purkausruuvi tai automaattityyppinen pitkä varasto, joka puretaan ajavalla purkausruuvilla. Yleensä varastoissa on kattorakenne, jotta säilytetään haluttu kuiva-ainepitoisuus. (KnowPap s.a.)

### 3.1.4 Vedenkäsittely

Puunkäsittelyn prosesseissa käytetään kiertovettä tai mekaanisesti puhdistettua vettä. Kiertovettä käytetään puiden sulatukseen, pesemiseen ennen kuorintaa ja sen jälkeen, kivien erotukseen ja pölynerotukseen. Mekaanisesti puhdistettua vettä taas käytetään kuorittujen puiden pesussa ennen haketusta, pölyn sidontaan pölyn poistossa ja puun vastaanotossa, jäähdytykseen ja pumppujen tiivistysvetenä. Jäteveden määrä riippuu puunkäsittelyssä käytetyn veden määrästä. Tavoitteena on vedetön puunkäsittely, mutta toistaiseksi se ei vielä ole mahdollista. Yleensä puunkäsittelyn vedet on liitetty koko tehtaan vedenkäsittelyjärjestelmään, jossa käsitellään myös puunkäsittelyn jätevedet. (KnowPap s.a.)

Kiertovesi tarkoittaa kaikkea kuorimolla kiertävää ja käytettävää vettä. Kiertoveden määrä on puunkäsittelyssä paljon suurempi kuin mekaanisesti käsitellyn veden. Sulatusvedeksi kutsutaan sitä osaa kiertovedestä, joka käytetään puiden sulatukseen ennen kuorintaa. Sulatusvesi pumpataan kiertovesialtaasta ja lämmitetään. Kuoripuristinvedeksi kutsutaan kuorta puristettaessa vapautunutta vettä. Koostumukseltaan kuoripuristinvesi on kuorimolla esiintyvistä vesistä väkevintä. Jos kuorimon vesijärjestelmä suljetaan, märkäkuorinnassa saavutetaan lopulta lähes samanlainen väkevyys kuin kuoripuristinvedessä, sillä kuorinnassa rikkoutuvien kuorisolujen nesteet joutuvat veden joukkoon. Kuorimolta poistettava vesi on jätevettä. Jäteveden määrä riippuu tulevan tuoreveden määrästä. Jätevesi koostuu kiertovesikaivon ylijuuksusta ja kuoripuristinvedestä. Se pumpataan kuorimolta tehtaan puhdistuslaitokselle. Jos jäteveden määrää pienennetään, kiertovesi väkevöityy ja sen pH laskee. Jäteveden määrää voidaan kuitenkin kuivakuorinnassa hieman pienentää, riippuen täydennysveden pH-arvosta tai mahdollisuudesta käyttää lipeä- tai kalkkipuskurointia. Lipeä saattaa aiheuttaa kiertoveden vaahtoamista ja sen käyttöä olisi pyrittävä välttämään. Ihanteellinen pH-arvo kiertovedelle on 6–7, jotta estetään veden kanssa kosketuksissa olevien laitteiden nopeaa kulumista. (KnowPap s.a.)

## 3.2 Kuitulinja

Toinen työssä lasketuista osaprosesseista on kuitulinja. Sellutehdas jakautuu kuitulinjaan sekä talteenottolinjaan. Talteenottolinjan tehtävä on saada keittokemikaalit uudelleen käyttöön ja hyödyntää energia mahdollisimman tarkasti. Kuitulinjalla puusta erotetaan sellu. Puunkäsittely on yksi kuitulinjan osista. Muita osia ovat keitto, massan puhdistus ja valkaisu, kuivaus, paalaus ja varastointi. Tehtaalla voi olla yksi tai useampi kuitulinja. (KnowPap s.a.)

### 3.2.1 Keitto

Keiton tehtävänä on poistaa kuituja sitovaa ligniiniä. Selluloosapitoiset kuidut pyritään säilyttämään mahdollisimman pitkinä ja ehjinä. Ligniinin lisäksi pyritään poistamaan puun uuteaineita, jotka voivat myöhemmin prosessissa aiheuttaa vaahtoamista. Yleisin massan valmistuksen muoto on sulfaattikeitto. Keittokemikaaleina käytetään sulfaattikeitossa valkolipeää, joka on natriumhydroksidin (NaOH) ja natriumsulfidin (Na<sub>2</sub>S) seos. Keittokemikaalit liuottavat mahdollisimman paljon ligniiniä ja mahdollisimman vähän selluloosaa. (KnowPulp s.a.)

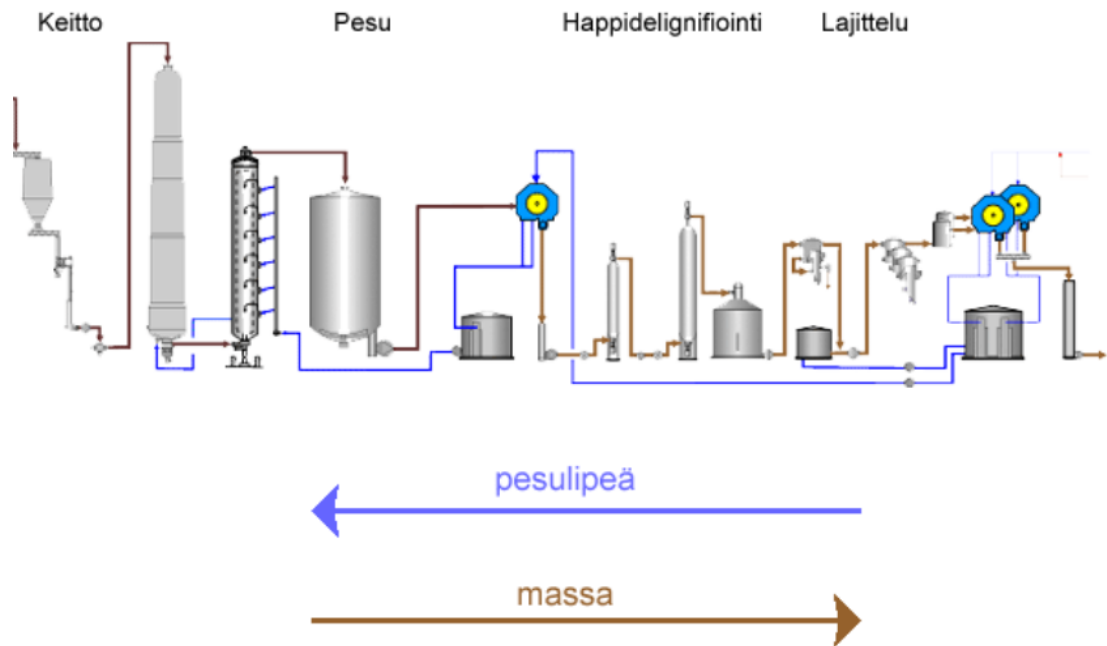
Yleensä keittolämpötila on noin 150–170 °C. Kappaluvulla kuvataan kuiduissa jäljellä olevan ligniinin määrää. Tyypillinen massan kappaluku on lehtipuilla 14–20 ja havupuilla 25–30. Keittoprosessit jaetaan eräkeittoon ja jatkuvatoimiseen keittämöön. Eräkeitössä sellu keitetään vaihe kerrallaan keittimissä. Jatkuvassa keitossa haketta ja kemikaaleja syötetään jatkuvasti keittimen yläpäähän ja massaa poistetaan alapäästä. Jatkuvatoiminen sellunkeitin on esitetty kuvassa 10. Ympäristökuorman vuoksi kappalukua on pyritty laskemaan. Kappaluvun pienentäminen vähentää valkaisussa poistettavan ligniinin määrää ja valkaisukemikaalien kulutusta. Kuitenkaan kappalukua ei voida alentaa liikaa keittovaiheessa, sillä massan lujuusominaisuudet ja saanto putoavat huomattavasti tietyn pisteen jälkeen. (KnowPulp s.a.)



Kuva 10. Sellun jatkuvatoiminen keitin (KnowPulp s.a.).

### 3.2.2 Pesu

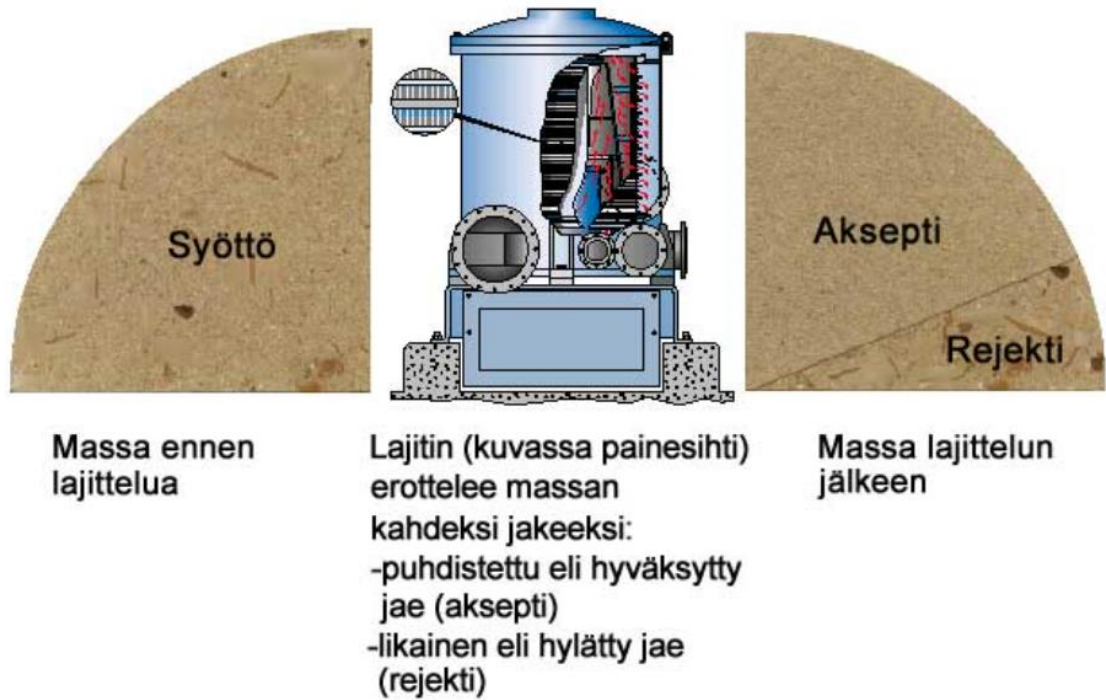
Pesussa massasta erotetaan siihen liuenneita aineita. Massa pestään keiton ja happivaiheen jälkeen. Tavoitteena on orgaanisen aineen (liennut puuainne) ja epäorgaanisen aineen (keittokemikaalit) aineen talteenotto regenerointia varten. Kemikaalit käytetään uudelleen ja liennut puuainne käytetään polttoaineena. Pesua voidaan myös käyttää massan lämpötilan, pH:n ja sakeuden säätöön. Yleensä yksi pesuvaihe tehdään keiton jälkeen keittimessä. Pesu tapahtuu syrjäytysperiaatteella. Pesuneste johdetaan keittimen alaosaan sisään ja suodos poistetaan ylempänä keittimessä. Nykyisin koko kuitulinjan voidaan ajatella olevan sarja delignifiointivaiheita, joiden välissä reaktiotuotteita pestään pois massasta. Pesuvaihetta ei enää erotella niin tarkasti lajittelu- ja valkaisu- vaiheista. Ruskea massa pestään vastavirtapesuna. Pesuvaiheet esitellään kuvassa 11. Pesussa puhdas vesi tuodaan viimeiseen pesuvaiheeseen ja likainen vesi poistetaan ensimmäisestä pesuvaiheesta haihduttamolle. (KnowPulp s.a.)



Kuva 11. Kaaviokuva ruskean massan pesusta (KnowPulp s.a.).

### 3.2.3 Lajittelu

Keiton jälkeen massa tuodaan lajitteluun, sillä massaan jää keiton aikana epäpuhtauksia kuten hakepaloja, kuorta, hiekkaa, kiviä ja metallia. Useissa massanvalmistusprosessin vaiheissa poistetaan epäpuhtauksia, mutta pääasiassa poisto tapahtuu lajittamossa. Epäpuhtauksien määrä pyritään saamaan mahdollisimman alhaiseksi tasaiseksi lopputuotteen laatuongelmien välttämiseksi. Epäpuhtaudet erotetaan osien koon tai painon perusteella. Partikkelin kokoon perustuva erottaminen tehdään sihtilevyjen avulla. Painoon perustuvaan erottamiseen tarvitaan painovoima- tai keskipakovoimakenttä. Lajittelu tehdään useassa vaiheessa mekaanisen lajittelun ja pyörrepuhdistuksen avulla. Lajitin (kuva 12) erottelee massan akseptiin ja rejektiin, hyväksytyyn ja hylättyyn jakeeseen. Havupuun yleisimmät epäpuhtaudet ovat kuitukimput ja kuoriroskat. Koivussa on näiden lisäksi uuteainekasaumia, koska koivupihka liukenee huonommin keittolipeään. (KnowPulp s.a.)



Kuva 12. Lajittelun periaate (KnowPulp s.a.).

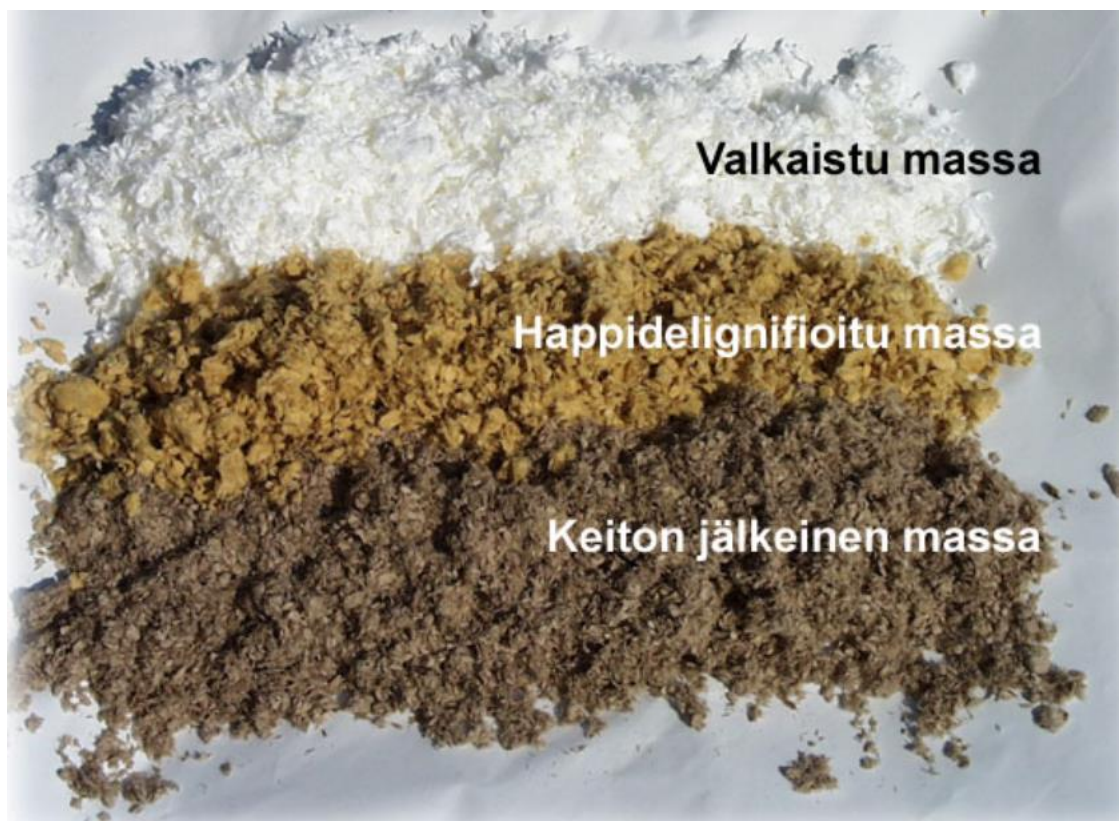
### 3.2.4 Happidelignifiointi

Happidelignifioinnissa poistetaan sellusta jäännösligniiniä hapen ja alkalien avulla. Se on jatkoa keitossa tapahtuneelle ligniinin poistolle. Se on keittoa selektiivisempi ja hellävaraisempi prosessi. Se hajottaa ja hapettaa ligniinin yhdisteitä, tuhoaa ligniinin värillisiä yhdisteitä ja poistaa epäpuhtauksia. Prosessi tehdään lämpimissä ja emäksisissä oloissa. Happidelignifioinnin avulla voidaan vähentää tehtaan päästöjä. Päästöjen väheneminen on suoraan verrannollinen ennen valkaisu poistetun ligniinin määrään. Matalampi kappaluku vähentää valkaisukemikaalien tarvetta ja ympäristölle vaarallisten aineiden määrää jätevedessä. (KnowPulp s.a.)

### 3.2.5 Valkaisu

Valkaisulla pyritään parantamaan massan vaaleutta ja puhtautta. Merkittävin väriä aiheuttava aine on jäännösligniini. Se pyritään poistamaan tai vaalentaamaan. Valkaisun tavoite on jatkaa massan delignifiointia ja poistaa massan jäännösligniini valkaisukemikaalien avulla. Valkaisuvaihetta seuraa pesuri, joka pesee irronneen ligniinin pois massasta. Valkaisu tehdään useassa vaiheessa, joiden välillä massa pestään. Massan värit eri vaiheiden jälkeen näh-

dään kuvassa 13. Yhdellä valkaisuvaiheella ei päästä riittävään vaaleuteen lujuuden kärsimättä. Valkaisussa käytetään aina yhdessä sekä emäksisiä että happamia vaiheita. Perinteisesti valkaisu on tehty elementaari- eli kaasukloorilla, hypokloriitilla sekä klooridioksidilla. 2000-luvulla käynnistyneissä linjoissa on käytetty lähinnä ECF-valkaisua, jossa käytetään klooridioksidia, mutta ei kaasuklooria eikä hypokloriittia. Klooridioksidi sopii hyvin valkaisuun, sillä se ei vahingoita puun hiilihydraatteja täysvaaleuteenkaan valkaistaessa. Klooridioksidivalkaisussa käytetään ylöspäin virtaavia paineettomia torneja. Hapanta vaihetta seuraa pesun jälkeen alkalinen uuttovaihe, jonka tavoitteena on neutraloida jäännösligniinjakeet. Neutraloidut jakeet liukenevat ja ne voidaan pestä massasta alkalivaiheen jälkeisessä pesussa. Valkaisusekvenssiä, jossa käytetään valkaisuun vain happikemikaaleja, kutsutaan happikemikaalivalkaisuksi (TCF). (KnowPulp s.a.)



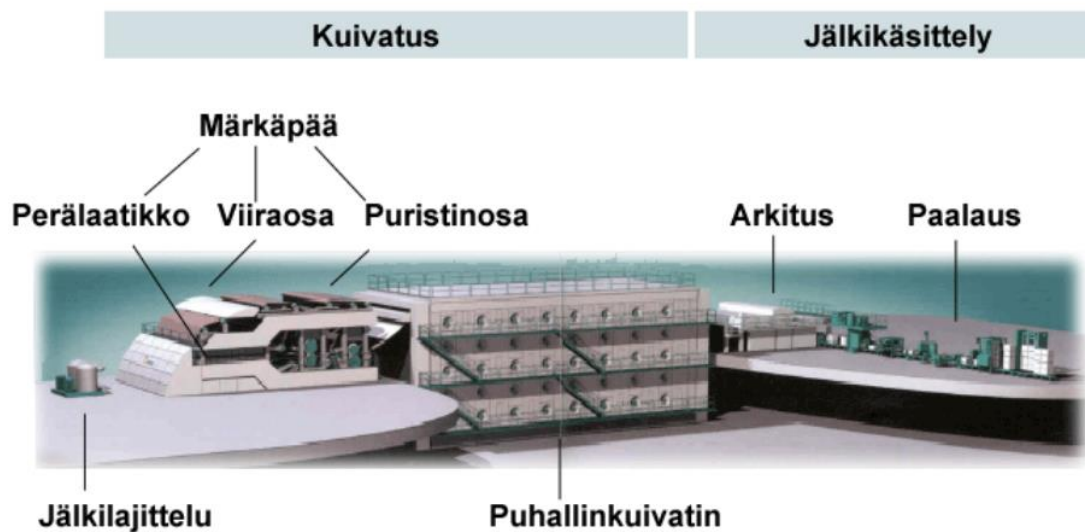
Kuva 13. Massan värit (KnowPulp s.a.).

### 3.2.6 Jälkilajittelu ja kuivatus

Jälkilajittelun tarkoituksena on poistaa valkaistun massan likapartikkelit, kuten kuoren palat, uuteainesakka ja hiili. Jälkilajittelun vaiheet ovat kuivatus ja jälki-

käsittely (kuva 14). Puhdistuksessa voidaan käyttää pyörrepuhdistimia tai paineellisia rako- tai reikäsihtejä. Integroidulla tehtaalla tarkoitetaan sellutehdasta, jonka kuivaamatonta massaa käytetään läheisellä paperitehtaalla. Massa voidaan siirtää pumpaamalla tai kuljettimilla paperitehtaalle. Integroimattoman tehtaan massa kuivataan paalausta, varastointia ja kuljetusta varten. Integroidulla tehtaalla massa pumpataan keskisakeudessa varastosäiliöihin. Silloin jälkilajittelua ei välttämättä ole tai se sijaitsee ennen pesuria viimeisen valkaisu vaiheen jälkeen. Integroimattomalla tehtaalla jälkilajittelu sijaitsee juuri ennen kuivatuskonetta. Kuivatusmenetelminä käytetään märkäässä imusylinteriä, tasoviirakonetta ja kaksoisviirakonetta. Tämän jälkeen massa tuodaan kuivatusosaan, jossa sitä kuivataan lämpöenergialla haihduttamalla. (KnowPulp s.a.)

## Kuivatus ja jälkikäsittely



Kuva 14. Kuivatuksen ja jälkikäsittelyn vaiheet (KnowPulp s.a.).

Opinnäytetyötä varten One Click LCA -ohjelmiston avulla lasketaan teollisuusrakennusten osalta puunjalostuslaitoksen puunkäsittely ja kuitulinja. Prosessilaitteita ei sisällytetä laskentaan. Laskennassa noudatetaan Ympäristöministeriön Vähähiilisyiden arviointimenetelmän 2021 ohjaamaa laajuutta (Liite 1). Jaottelu tehdään kahteen osaprosessiin tietomallien pohjalta. Rakennusosista arvioidaan menetelmän mukaan perustukset, alapohja, runko, julkisivut, ovet, ikkunat, ulkotasot ja kattorakenteet. Talotekniikasta lasketaan lämmitysjärjestelmän pääosat, vesi- ja viemärijärjestelmän pääosat, ilmastointijärjestelmän

pääosat, sprinklerijärjestelmän pääosat ja sähköjärjestelmän pääosat. Arvioinnin ulkopuolelle talotekniikasta ohje neuvoo jättämään tietotekniset järjestelmät, taloautomaation järjestelmät, varavirtajärjestelmät ja erilliset koneet ja laitteet. Ohjeen tulkinta teollisuusrakentamisessa on ajoittain hieman haastavaa. Tietomalleista pyritään rajaamaan pois laskentaan kuulumattomat osat, jotka joka tapauksessa ovat pieni osa kokonaisuudessa. Ohjeen mukaan arvioinnin ulkopuolelle voi jättää enintään yhden painoprosentin arviointiin sisältyvistä rakennusosista. (KnowPulp s.a.)

#### 4 ONE CLICK LCA -OHJELMISTON TESTAAMINEN

One Click LCA on automatisoitu elinkaarimallinnuksen ohjelmisto, jonka avulla voidaan laskea rakennus- ja infrastruktuurihankkeiden, portfolioiden, peruskorjausten, rakennusmateriaalien sekä rakennustuotteiden ympäristövaikutuksia (One Click LCA 2023). Ohjelmisto on kansainvälinen ja käytössä yli 140 maassa. Siinä on päivittyvä päästötietokanta, joka sisältää yli 150 000 datapistettä sekä ympäristöselosteet eli EPD:t. Ohjelmistolla on oma sivu sekä palvelun että datan päivityksille, jonne kootaan kaikki vuosittaiset uudistukset ja käyttäjä pääsee ne sieltä lukemaan. Ohjelmisto tukee elinkaariarvioinnin standardeja sekä ympäristösertifiointijärjestelmiä. Suomalaisista arviointimenetelmistä se tukee Ympäristöministeriön Rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmää 2021. Ohjelmistossa on erilaisia maksullisia työkaluja, joita ovat muun muassa rakennusten elinkaariarviointityökalu, sertifiointityökalut, rakentamisen kiertotaloustyökalu, varhaisen vaiheen optimointi (*Carbon Designer*), infrastruktuurihankkeen LCA ja elinkaarikustannuslaskenta. Työssä käytettiin elinkaariarviointityökalua, sillä se tuki parhaiten työn ja yrityksen tavoitetta. Lisäksi testattiin *Carbon Designer 3D* -laskentaohjelmistoa.

Ohjelma on maksullinen ja vaatii lisenssin. Tarjolla on erilaisia lisenssityyppejä. Fimpec PMO Oy:llä on yhden kelluvan käyttäjän Expert-lisenssi, jossa voi olla useampi käyttäjä, mutta vain yksi käyttäjä voi käyttää järjestelmää kerrallaan. Ohjelmasta on saatavilla myös opiskelijoille ilmaisia kokeilulisenssejä. Käyttöoikeus on annettu kolmelle työntekijälle, joista yksi on määritetty pääkäyttäjäksi. Lisenssi uusitaan vuoden välein. Expert-lisenssiin kuulumattomat työkalut ostetaan verkkokaupasta erikseen. Fimpec PMO Oy:n lisenssissä on käytössä kansainväliset Level(s)-työkalut, Rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmä 2021 ja Kiertokulun rakentaminen -työkalu, joka laskee kierrätetyn materiaalin osuutta suunnitelmasta. *Carbon Designer 3D* -ohjelmisto on Rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmä -työkalun lisäosa ja siten myös yrityksen käytössä.

## 4.1 Opetusmateriaali

One Click LCA -ohjelmistolla on laajasti omaa koulutusmateriaalia elinkaari-mallinnuksesta, siihen liittyvistä säädöksistä ja ohjelmiston käytöstä. Tarjolla on yrityksen julkaisemia e-kirjoja, verkkokursseja ja säännöllisin väliajoin järjestettäviä luentoja elinkaari-mallinnuksesta ja ympäristöselosteista. Opetusmateriaali esittelee käytössä olevat työkalut, säädökset, ohjelmiston tukemat ympäristösertifikaatit, taustalla olevat säädökset sekä maakohtaiset ratkaisut. Käyttäjille on myös tarjolla henkilökohtainen asiakastuki ja mahdollisuus muuttamaan etäkokoukseen kysymysten läpikäymiseksi.

Ohjelmistoon perehtymiseen käytettiin One Click LCA:n omia verkkokursseja. Opiskelua varten ohjelmisto luo käyttäjälle oman työpöydän sivustolle, johon kurssit tallentuvat. Verkkokurssina käytiin aloituskurssi, ympäristöselosteiden luentopohjainen verkkokurssi, rakennusten elinkaariarvioinnin luentokurssi, *Carbon Designer* -verkkokurssi sekä perehdyttiin sivuston omiin opetusartikkeleihin. Click LCA:n asiantuntija Anna-Erika Korven kanssa pidettiin muutama tunnin palaveri, joissa keskusteltiin käyttöön liittyvistä kysymyksistä. Ohjelmistossa on runsaasti työkaluja, joten aluksi eri kurssien, materiaalien ja standardien hahmottaminen vie aikaa ja voi tuntua sekavalta. Kurssien kieli on toistaiseksi englanti, mutta perehdytyskurssi sekä muita materiaaleja on tulossa suomeksi ja useammalle muulle kielelle käännettynä. Ohjelmisto on suomalainen, mutta se palvelee käyttäjiä ympäri maailmaa.

## 4.2 Säädökset

Ohjelmisto seuraa EU:n taksonomiaa, joka tuli pakolliseksi vuonna 2021. Taksonomia on kestävä taloudellisen toiminnan luokittelujärjestelmä (*EU Sustainable Finance Taxonomy Regulation* tai *Regulation (EU) 2020/852*) ja se on osa EU:n vihreän kehityksen ohjelmaa. Taksonomia edistää EU:n tavoitetta olla hiilineutraali vuoteen 2050 mennessä. Lisäksi ohjelma on hyväksynyt ehdotuksen EU-säädöksestä *Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM)* eli hiilirajamekanismi, joka tulee käyttöön kokonaisuudessaan vuoteen 2026 mennessä. (One Click LCA 2023.) Se on väline, jolla ehkäistään hiilivuotoa eli päästöjen ohjautumista EU:n ulkopuolelle. Lisäksi sillä kannustettaisiin yrityksiä ottamaan käyttöön hiilen hinnoittelupolitiikkoja ilmastonmuutoksen torjumiseksi. (EU:n neuvosto 2022.)

Pohjoismaissa on käytössä omat kansalliset standardinsa. Suomi noudattaa rakennusten vähähiilisuuden arviointimenetelmää. One Click LCA -ohjelmisto päivittyy standardin mukaiseksi, kun lakiasetus tulee julkiseksi. Menetelmä on osa vuonna 2017 julkaistua Vähähiilisen rakentamisen tiekarttaa. Hankkeen päämääränä on, että rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkeä voidaan ohjata lainsäädännöllä ja voidaan asettaa raja-arvot vähähiilisuudelle vuoteen 2025 mennessä, jolloin myös maankäyttö- ja rakentamislaki uudistuu. Menetelmän toinen versio on valmis ja raja-arvot ovat valmistelussa. Tällä hetkellä asetukset ovat laadinnassa ja menetelmä on jatkokehityksessä. Asetusten ja lakien arvioidaan astuvan voimaan viimeistään vuoteen 2025 mennessä. (One Click LCA 2023.) Tällä hetkellä Suomen kansainväliset sitoumukset sekä omat tavoitteet liittyvät erityisesti kasvihuonekaasupäästöihin. Paikalliset ympäristövaikutukset huomioidaan ympäristölainsäädännössä. Keskeinen ympäristövaikutus on CO<sub>2</sub>-päästöjen hillintä. Sen toteuttamiseen rakennusten osalta ei ole vielä käytettävissä toimivia säätelykeinoja kansallisten ja kansainvälisten päästövähennystavoitteiden saavuttamiseen. (Bionova Oy 2017.)

Kaikkien laskennassa käytettävien tietojen on noudatettava EN 15804-standardia. Jos tieto on tuotettu menetelmästä poikkeavilla tavoilla (kuten esimerkiksi vuosituhannen vaiheessa tuotetut RT-ympäristöselosteet), sitä ei voi käyttää laskennassa. Poikkeavin tiedoin tuotettu laskenta ei välttämättä huomioi koko elinkaaren aikaisia päästöjä tai nykyisiä rajoja. Elinkaariarviointi nojaa standardeihin ISO 14040 ja ISO 14044. Standardit määrittävät elinkaariarvioinnin yleiset periaatteet ja vaatimukset. Rakennusala seuraa maailmanlaajuisesti elinkaariarvioinnin standardia SFS-EN 15978 *Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method.* (Bionova Oy 2017.) Lisäksi ohjelmisto tukee standardeja EN 15942, ISO 21931-1, ISO 21929-1 ja ISO 21930. One Clickin sivuilla on vuodesta 2018 vuoteen 2022 päivitetty *Service update log*, johon on merkitty ohjelmiston päivitykset, muutokset. Lisäksi samassa paikassa on nähtävillä *Release notes*, jossa voi seurata elinkaari mallinnuksen ohjelmiston päivittymistä, standardien päivittymisen seuranta sekä ohjelmiston seuraaman datan päivittymistä. Raportin voi ladata myös pdf-tiedostona. Tiedoston avulla voi varmistaa, että ohjelma seuraa tuoreimpia standardien muutoksia.

### 4.3 Ohjelmiston tietolähteet

One Click LCA seuraa Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) rakentamisen päästötietokantaa. Ympäristökeskus toimii ympäristöministeriön toimeksiantosta ja vastaa päästötietokannan ylläpidosta ja kehittämisestä. Palvelussa ilmoitetaan Suomessa käytettävien rakennustuotteiden ja rakentamisen prosessien keskimääräisiä päästötietoja. Useimmiten tiedot ilmoitetaan yksikössä CO<sub>2e</sub> /kg, jolloin päästöt on helppo laskea rakennustuotteen kilogrammaa kohti. Tulossivulla esitellään myös tarkemmat taustaselvitykset, joilla arvot on saatu määritettyä. (Suomen ympäristökeskus 2022.)

Ohjelmistoon on myös ladattu rakennustuotteiden saatavilla olevat ympäristöselosteet. Ohjelmiston työkalun avulla voi tuottaa rakennustuotteille ympäristöselosteita. Expert-lisenssillä ohjelmisto tarjoaa pääsyn myös yksityisiin elinkaariarviointitietokantoihin. One Click LCA:n mukaan tietokanta sisältää valmistajakohtaisia- ja keskimääräisiä paikallisia päästötietoja lähes kaikista ympäristöselosteiden tietokantalähteistä sekä elinkaariarviointitietokannoista. Ohjelmisto on listannut kymmenittäin kansainvälisiä tietokantoja, joiden tietoja se käyttää. Suomen tietokannoista on käytössä rakentamisen päästötietokanta. Ohjelmiston tietokanta sisältää myös listattujen tietokantojen ulkopuolisia tietoja. Ympäristöselosteet noudattavat standardeja EN15804 ja/tai ISO 14025. Kaikki sisällytetyt EU-tietokannat noudattavat EN 15804 -standardia. Standardin EN 15804 mukaan käytetyn datan pitäisi olla johdonmukaista, toistettavaa ja vertailtavaa.

Sivustolla on saatavilla *Generic data updates*, josta voi nähdä rakennusmateriaalien ja muiden datalähteiden päivittymiset tarkasti luetteloituina. One Click LCA lupaa asiakaslupauksessaan, että se hankkii tietokantaansa kaiken julkisesti saatavilla olevan ajantasaisimman rakentamiseen liittyvän elinkaarimallinnusdatan. Asiakkaiden on mahdollista itse hallinnoida datapisteitä ja ladata ohjelmaan omia ympäristöselosteita sekä luoda omia ryhmittelyjä ja omia rakennusmateriaaliluokkia, esimerkiksi määrittellä tietynlainen seinä, jota voi myöhemmin käyttää useissa laskennoissa.

#### 4.4 Tietojen syöttäminen ohjelmistoon

Ohjelmistossa on erilaisia työkaluja elinkaarimallinnukseen. Tässä työssä tavoiteltiin päästölaskennan baselinen eli lähtötason määrittämistä. Baselinen avulla voidaan suhteuttaa yrityksen myöhempien teollisuushankkeiden päästölaskelmia nyt saatuihin tuloksiin. Tavoitteeseen sopivin työkalu oli suomalainen Ympäristöministeriön vähähiilisyys arviointimenetelmä 2021. Muun muassa valmistamiseen ja rakennusmateriaaleille oli tarjolla EPD:n eli ympäristöselosteen luomiseen tarkoitettuja työkaluja, mutta ne jätettiin työn ulkopuolelle, eikä yrityksellä ollut lisenssiä niihin. Ympäristöselosteen luomiseen tarkoitettut työkalut soveltuvat paremmin yksittäisten rakennusmateriaalien valmistajille.

##### 4.4.1 Laskentaan tarvittavat tiedot

Tietojen tuominen aloitetaan luomalla ohjelmaan uusi projekti. Ohjelmisto kysyy rakennuksen tyyppiä, johon on mahdollista valita teollisuusrakennus. Ohjelmisto pyytää myös sijaintia ja osoitetta, joita tarvitaan käytettävien tietokantojen ja standardien valintaan ja esimerkiksi kuljetuskustannusten laskentaan. Tietokantaan syötetään myös kerrosala, kerrosten lukumäärä, runkotyyppi ja tavoitellaanko ympäristösertifikaatteja. Suomalaisista sertifikaateista tarjolla on *Rakennuksen vähähiilisyys arviointi* ja *Green Building Council Finland: Building Performance Metrics*. Ohjelmiston Help Centrestä löytyy lisätietoa sertifikaateista. Yleisten tietojen syöttämisen jälkeen edetään suunnitteluvaiheeseen.

Suunnitteluvaiheessa valitaan käytettävät laskentatyökalut. Level(s)-menetelmät soveltuvat koko elinkaaren laskentaan. Level(s) on Euroopan komission laatima menetelmä rakentamisen resurssitehokkuuden mittaamiseen. Sen avulla pyritään saamaan yhteinen lähtötaso EU:n rakennusten arviointiin ja vertailemaan toiminnallisesti samanlaisia rakennuksia. (Ympäristöministeriö a, s.a.) One Click LCA:n e-kirjan *Life Cycle Assessment for Buildings* mukaan Level(s) laskee kasvihuonekaasupäästöjä rakennuksen koko elinkaaren ajalta, kiertomateriaalien elinkaaret ja optimoi elinkaarikustannukset. Level(s)-vaihtoehtoja on valittavana vanhempi EN15804+A1 ja EN15804 +A1/+A2, jolla voi saada myös A2-ympäristöselosteita. *Building low-carbon assessment met-*

*hod 2021* on suomalainen Ympäristöministeriön vähähiilisyden arviointimenetelmä SYKE-päästötietokannan pohjalta. *Building circularity* -työkalu laskee, kuinka paljon kohde sisältää kierrätettyä materiaalia ja sen avulla voi optimoida materiaalien kierrätystä. Kuvassa 15 on esitelty näkymä työkaluista One Click LCA -ohjelmistossa.

#### Available calculation tools - [Get more tools](#) x

Tools available in applied licences

- [Level\(s\)](#) **Level(s) life-cycle carbon (EN15804 +A1)** Carbon footprinting for Level(s) - macro-objective 1: Greenhouse gas emissions along a buildings lif [See all](#)
- [Level\(s\)](#) **Level(s) life-cycle carbon (EN15804 +A1/+A2)** Carbon footprinting for Level(s) - macro-objective 1: Greenhouse gas emissions along a buildings lif [See all](#)
-  **Building low-carbon assessment method 2021** Ministry of Environment, Finland, Building carbon footprint assessment method based on version 2021. [See all](#)
- Building Circularity** Material efficiency and circular economy - for BREEAM MAT 06 and GRI G4 reporting as well as other p [See all](#)

[Toggle all](#)

[Next](#)

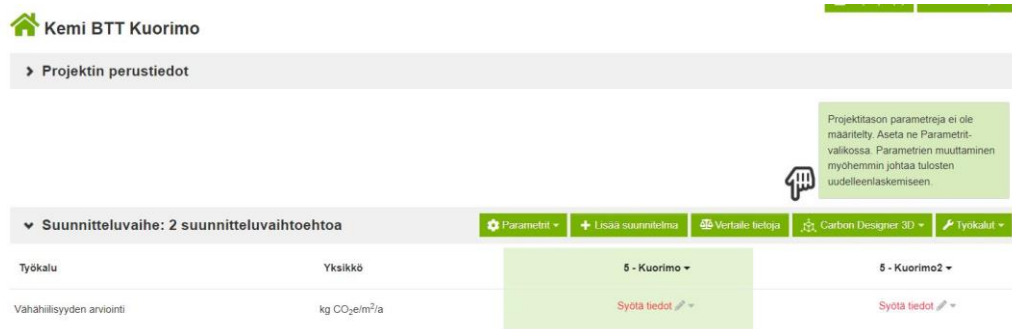
Kuva 15. Saatavilla olevat laskentatyökalut (One Click LCA 2023).

On mahdollista valita kaikki työkalut tai osa niistä. One Click -ohjelmiston asiantuntija Korven palaverissa suositeltiin yritystä käyttämään ensisijaisesti suomalaista Ympäristöministeriön vähähiilisyden arviointimenetelmään pohjautuvaa työkalua, mutta kaikkia voi käyttää tilanteen mukaan.

Tämän jälkeen suunnitteluvaiheessa ohjelmistoon syötetään vielä rakennusprosessin vaihe, hankkeen tyyppi (esimerkiksi onko kyseessä uusi rakennus vai vanhan korjaus), runkotyyppi sekä laskentaan sisällytettävät osat. Suunnitteluvaihe ei vaikuta päästölaskelmiin, mutta osa sen tiedoista menee ”*plausibility checker*”-laskelmaan eli uskottavuuden tarkastukseen. Metodi selvittää, ovatko saadut tiedot realistisia tämän kokoiselle rakennukselle ja onko joukossa reilusti poikkeavia arvoja.

Voidaan käyttää järjestelmän valitsemissä oletusparametreja tai määrittää parametrit itse. Parametrit kannattaa tarkastaa alussa. Ohjelmiston parametrit riippuvat valitusta laskentamenetelmästä. Valittaessa Ympäristöministeriön laskentamenetelmä parametreiksi tarjotaan materiaalien käyttöikä, josta voi valita teknisen käyttöiän, kaupallisen käyttöiän (esimerkiksi julkisissa rakennuk-

sisä kuten hotelleissa), tuotekohtaisen käyttöiän tai RICS-määritelmän mukaisen käyttöiän. Tietoja syöttäessä valittiin Vähähiilisyiden arviointityökalun ohjeesta tuotekohtainen käyttöikä. Se määrittää materiaalien käyttöiät kyseisen tuotteen ympäristöselosteessa ilmoitettujen käyttöikäiden mukaan. Toisena parametrina ohjelmisto kysyi rakennustuotteiden oletuskuljetusväilyä, johon valittiin Pohjoismaat.



Kuva 16. Tietojen tuominen järjestelmään (One Click LCA 2023).

Kuvassa 16 on näkymä ohjelmistosta ennen suunnitelmien lisäämistä. Painamalla *Lisää suunnitelma* saa luotua lisää suunnitteluvaiheita järjestelmään. Projektin suunnitteluvaiheessa voi luoda useita suunnitelmiä. Suunnitteluvaiheita voi vertailla keskenään ja tulokset voi asettaa rinnakkain. On mahdollista vertailla esimerkiksi oleellisesti kasvihuonekaasupäästöjä lisäävän materiaalin vaihtoa toiseen. Kohdasta *Syötä tiedot* voi tuoda tietoja suunnitelmaan. Tietojen syöttämävaiheessa ohjelmisto kysyy rakennusmateriaalien lisäksi monia muita rakennuksen tietoja (kuva 17). Osa tiedoista eivät selviä suoraan tietomalleista, vaan on käytettävä muita rakennuksen suunnittelun dokumentteja. Tietojen ilmoittamatta jättäminen heikentää laskennan todenmukaisuutta. Ohjelmisto ilmoittaa, jos kohtia jää täyttämättä, mutta halutessaan on mahdollista kirjoittaa valintaruutuun "0", jolloin ohjelmisto ohittaa kyseisen laskentakohdan. Työssä pyrittiin tietojen mahdollisimman tarkkaan syöttämiseen, mutta päätettiin, että jos jokaisesta prosessin osasta ei ole saatavilla tarkkaa tietoa, selvitetään realistinen kerroin, jota laskennassa voi käyttää. Laskenta on kuitenkin saatava suoritettua niin, että tietojen todenmukaisuus ei vääristy.

> Rakennusmateriaalit
> **Rakentamisprosessi**
> Energiankulutus, vuotuinen
> Laskentajakso
Muut päästöt ja vähenemät
> Rakennuksen pinta-ala

📌 Katso GUIDE tästä

**1. Rakennustyömaan skenaariot**

Rakennustyömaan skenaariot ⇌ Näytä muut vastaukset

+ Paina lisätäksesi tietoja

---

**2. Purkaminen (C1)**

Purkaminen ⇌ Näytä muut vastaukset

+ Paina lisätäksesi tietoja

---

**3. Rakennusvaiheen energiankäyttö**

Kuva 17. Tietojen syöttäminen ohjelmistoon (One Click LCA 2023).

Rakennusmateriaalien syöttämisen jälkeen ohjelmisto kysyy rakennusprosessin tietoja. Rakennustyömaan skenaarioihin sekä purkamiseen on valittava, minkä tyyppinen rakennus on kyseessä. Tiedot perustuvat Ympäristöministeriön CO2data -päästötietokantaan. Valittavana on vain toimistorakennus, asuinrakennus ja koulu, koska ainoastaan nämä tiedot on määritelty päästötietokannassa. One Click LCA:n tuki suositteli, että lähin vaihtoehto teollisuusrakennukselle vaihtoehtoista olisi toimistorakennus. Valmiit skenaariot laskevat arvion työmaan energiakulutuksesta pinta-aratiedon perusteella. Samassa kohdassa on mahdollista syöttää tarkasti rakennusvaiheen energiankäyttö, johon on eritelty sähkön, kaukolämmön, polttoaineiden kulutus ja työmaakuljetustietoa täydentävät kuljetusmatkat. Mikäli rakennustyömaan energiankulutus on tiedossa, aiemmin mainittuja skenaarioita (toimistorakennus, asuinrakennus tai koulu) ei täytetä. Jos energiakulutusta ei tiedetä, valmiilla skenaarioilla voidaan saada arvio kulutuksesta. Seuraavalla välilehdellä kysytään rakennuksen vuotuista energiankulutusta. Se sisältää rakennuksen sähkön, polttoaineiden ja kaukolämmön kulutuksen sekä kaukojäähdytyksen ja ylijäävän, ulkopuolelle toimitetun energian määrän. Näihin tietoihin suositellaan käytettäväksi rakennuksen energiaselvitystä. Jos rakennukselle ei ole laadittu energiaselvitystä, suositellaan käyttämään energiaselvityksen menetelmän mukaisesti laadittua tietoa ostoenergian määrästä.

Laskentajakso kysyy rakennuksen tavoitekäyttöikä. Jos arviointi tehdään Ympäristöministeriön menetelmällä eikä tavoitekäyttöikä ole määritelty, arviointijakso on 50 vuotta. Tuotteiden vaihto, ylläpito ja energiankulutus lasketaan tälle

jaksolle. Muissa päästöissä ja vähenemissä kysytään sementtipohjaisten tuotteiden hiilinielua. Sementtipohjaiset materiaalit kuten betoni, sementti ja laasti, absorboivat hiilidioksidia ilmasta. Betonin karbonatisaatio rakennekerroksessa lasketaan Rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmä 2021 -julkaisun kaavalla 5 (kaava 6).

(6)

$$\begin{aligned}
 GWP_{\text{karbonatisoituminen}} & \\
 &= - GWP_{\text{karbonatisoitumisvaikutus}} \cdot V_{\text{materiaali}} \cdot D_{\text{sementti}} \\
 &\cdot X_{\text{CaO,sementti}} \cdot X_{\text{karbonatisoituva CaO}}
 \end{aligned}$$

jossa

$GWP_{\text{karbonatisoitumisvaikutus}}$	sementtipohjaisen materiaalin sisältämän kalkin enintään sitoma ilmakehän hiilidioksidi 100 vuoden aikajänteellä, 0,786 kgCO <sub>2</sub> e/kg (0,786 kg hiilidioksidia kilogrammaa tuotetta kohti), joka on sama kuin hiilidioksidin molekyylimassa (44 g/mol) kalkin (CaO) molekyylimassaa (56 g/mol) kohti
$V_{\text{materiaali}}$	sementtipohjaisen materiaalin määrä tilavuutena [m <sup>3</sup> ]
$D_{\text{sementti}}$	sementtipohjaisessa materiaalissa käytetyn sementin määrä tilavuuspainona käytetyn sementtityypin mukaisesti [kg/m <sup>3</sup> ]
$X_{\text{CaO,sementti}}$	sementtipohjaisessa materiaalissa käytetyn kalkin osuuden määrä sementin määrää kohti käytetyn sementtityypin mukaisesti [kg/kg]

$X_{\text{karbonatisoituva CaO}}$ 

sementtipohjaisessa materiaalissa karbonatisoitumiselle alttiina olevan kalkin osuuden määrä kalkin kokonaismäärää kohti uuden aiotun käyttökohteen olosuhteiden mukaisesti arvioituna [kg/kg]

Ohjelmisto pyytää syöttämään sementtipohjaisten tuotteiden määrän kilogrammoina, minkä jälkeen se suorittaa laskennan kaavan mukaan. Lopuksi kysytään rakennuksen pinta-alamäärittelyitä. Rakennuksen standardin mukainen bruttosisäpinta-alan ilmoittaminen on pakollista. Luvun tulee sisältää kellarit, mutta ei pysäköintialueita. Mahdollista on lisätä vielä tarkempia tietoja kuten lämmitetty nettoala ja rakennuksen käyttötunnit. Kun vaadittavat tiedot on syötetty, järjestelmä on valmis suorittamaan laskennan ja ilmoittamaan tulokset.

#### 4.4.2 Vaihtoehdot materiaalitietojen syöttämiseen

Rakennusmateriaalien tietoja voi syöttää järjestelmään valitsemalla rakennusmateriaalit ohjelmiston valikoista. Materiaalit ryhmitellään perustuksiin, vertikaalisiin rakenteisiin, horisontaalisiin rakenteisiin, muihin rakenteisiin, ulkoalueisiin ja sivuston elementteihin sekä rakennusteknologiaan. Materiaalia voi hakea suodatinten ja hakutoimintojen avulla. Halutessaan ohjelmistoon voi luoda ryhmiä, jotka voi tallentaa yrityksen käyttöön, esimerkiksi mikäli jonkin rakente toistuu usein suunnittelussa. Materiaalien tuominen käsin on kuitenkin melko hidasta, mikäli tarvitsee tuoda isoja kokonaisuuksia. Pienien kappaleiden tai kokonaisuuksien tuomiseen materiaalitietojen syöttäminen manuaalisesti on varmasti paras vaihtoehto. Koska tehdashakkeen osaprosessit ovat suuria kokonaisuuksia ja osia on paljon, materiaaleja ei ollut järkevää syöttää käsin järjestelmään.

Dataa on mahdollista tuoda monesta erilaisesta lähteestä. Sitä voi tuoda Autodesk Revit -ohjelmistosta, Autodesk Platform Services (APS) -pilvipalvelusta (aiemmin Forge) tai suoraan Excel- ja gbXML-tiedostoista. Muita datan One Click LCA -ohjelmistoon tuomiseen soveltuvia ohjelmistoja ovat Bentley iTwin, Tekla Structural Designer, Trimble Connect, Grasshopper, Rhino, IES-VE, DesignBuilder, Simplebim, IDA ICE, Solibri ja ArchiCAD.

Mikäli tiedot tuodaan Excel-taulukosta, ne on järjesteltävä ohjeen mukaisesti kategorioihin, jotta ohjelmisto osaa tulkita datan oikein. One Click LCA tarjoaa ohjesivuillaan mallitaulukon, jonka mukaan tiedot tuodaan järjestelmään (kuva 18).

A	B	C	D	E
CLASS	IFCMATERIAL	QUANTITY	QTY_TYPE	THICKNESS_MM
FOUNDATION	Precast Concrete - C30/37	40	M3	
FOUNDATION	Gravel	2,34	M3	
EXTERNAL WALL	Ready-mix concrete C25/30	6,72	M3	
EXTERNAL WALL	Reinforcement steel	12000	KG	
EXTERNAL WALL	Glass wool, 80 kg / m3	48	M3	
SLAB	Ready-mix concrete C25/30	10	M3	
SLAB	Hollow-core slab, 250 mm	25	M3	
SLAB	Leveling screed	10	KG	
COLUMN	Structural steel, hollow sections	10	KG	
1 OTHER	Timber	1,4	M3	
2 INTERNAL WALL	Gypsum boards, 12,5 mm	170	M2	12,
3 INTERNAL WALL	Steel studs for 400 mm spacing	170	M2	
4 ROOF	Bitumen roofing	200	M2	
5 STAIRS	Ready-mix concrete C25/30	14	M3	
6 STAIRS	Reinforcement steel	1600	KG	
7 DOOR	Internal door, wood	20	M2	

Kuva 18. Tietojen tuominen ohjelmistoon Excel-taulukosta (One Click LCA 2023).

Pakolliset kategoriat ovat *Class* (luokka), *IFCMaterial* (materiaali), *Quantity* (määrä), *Quantity type* (yksikkö) ja jos yksikkö on annettu neliömetreissä, vaaditaan myös materiaalin paksuus. On mahdollista myös kategorioida kuljetustietoja, kustannustietoja sekä luokitella materiaaleja sertifikaattien vaatimusten mukaan. Näiden kenttien täyttäminen ei ole pakollista. Luokkatietoon on annettu valmiiksi luokitteluvaihtoehdot, jotka on ilmoitettu One Click LCA:n ohjesivulla. Tiedot on tuotava annetussa järjestyksessä. Sallitut yksiköt ovat kilogramma (kg), kuutiometri (m<sup>3</sup>) ja neliömetri (m<sup>2</sup>).

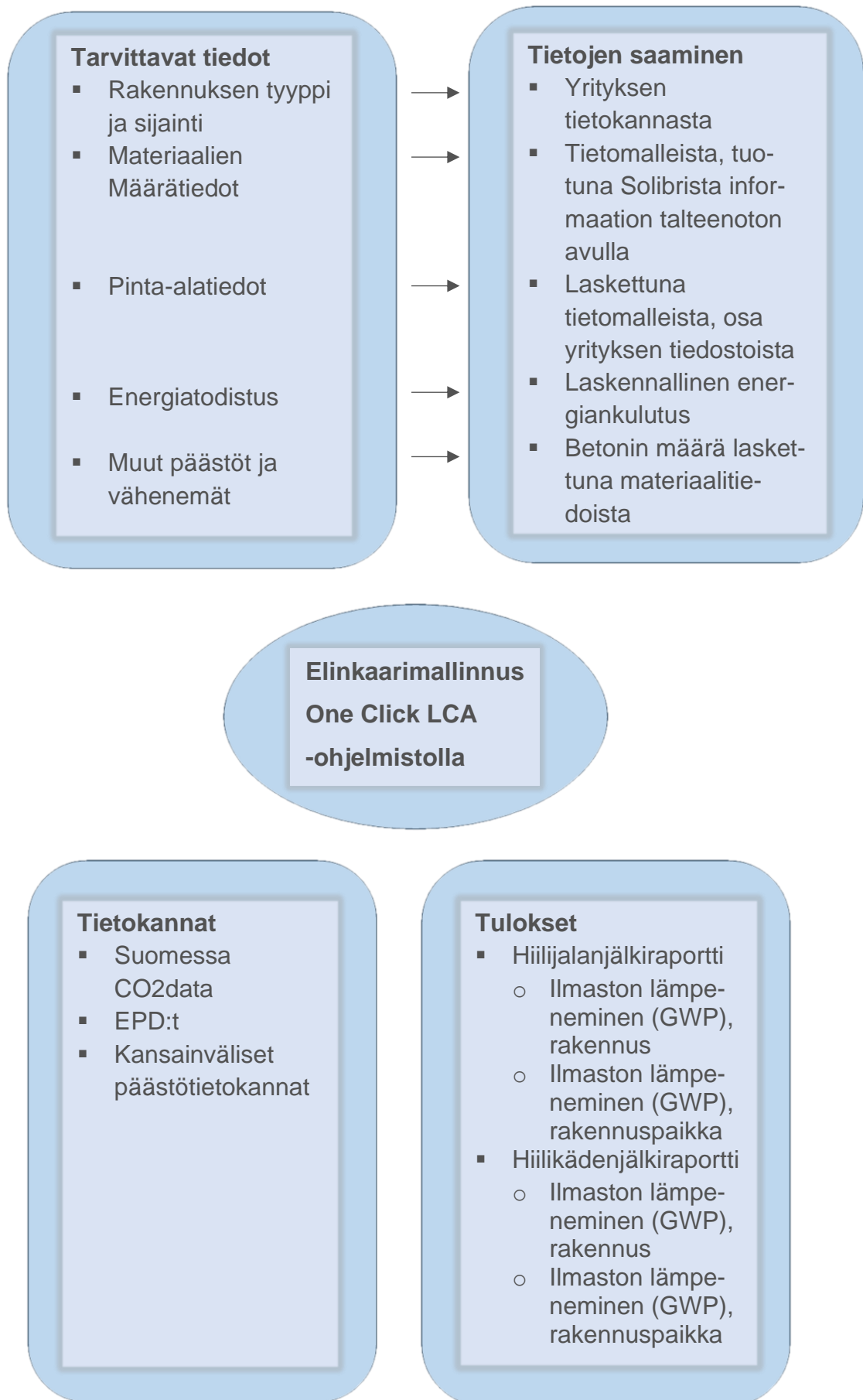
Tietoja alettiin opinnäytetyötä varten tuomaan ensin määräluetteloiden ja kustannuslaskelmien kautta järjestelemällä tiedot malli-Excelin ohjaamiin kategorioihin. Kuitenkin tietoja oli paljon ja monet tiedoista oli määräluetteloissa ilmoitettu eri yksiköissä kuin mallitaulukko olisi vaatinut. Tietoja saattoi olla ilmoitettu esimerkiksi juoksumetreissä ja kappalemäärinä. Satojen rivien läpikäyminen manuaalisesti vaati runsaasti työtä ja niiden siirtäminen Excel-taulukon kategorioihin näin suuressa projektissa oli aikaa vievää. Lisäksi One Click -ohjelmiston asiantuntija Korven mukaan tällaista tapaa käyttäessä hukka on las-

kettava erikseen, kun kaikki materiaali ei tule käyttöön. Projektin tietojen syöttämisestä manuaalisesti Excel-taulukkoon luovuttiin tässä projektissa ja päätettiin tuoda tiedot tietomallien kautta.

▼ ✓ Tunnistettu data: 5 / 100 % volyymista						
Materiaali	Luokka	Kommentti	Rakennusosa	Määrä	Osuus	Tietolähde
concrete/c30/37	SLAB	CONCRETE/C30/37, 38 row	Ei määritely	374 m3	56,91 %	Deactivated ready-mix concrete (€)
concrete/c35/45	SLAB	CONCRETE/C35/45, 33 row	Ei määritely	142 m3	21,82 %	Parvekelaattaelementti, 250 mm, i
concrete/c30/37	EXTERNA...	CONCRETE/C30/37, 14 row	1241 Julkisivut: Ulkoseinät	137 m3	20,79 %	Betonielementtiseinä (eristämätön)
concrete/c35/45	EXTERNA...	CONCRETE/C35/45, 7 rows	1241 Julkisivut: Ulkoseinät	4,49 m3	0,68 %	Rappauslaasti, 1,5 kg/m2/mm
steel/steel_undefined	SLAB	AKLR 250x250	Ei määritely	0 m3 / 0 mm	0 %	Teräspoimulevy, kuumasinkitty (R)

Kuva 19. Datapisteet tietoja syötettäessä (One Click LCA 2023).

Tietomalleja käsiteltiin *Solibri*-ohjelmistolla, koska se oli helppokäyttöinen ja soveltui informaation talteenottoon tietomalleista. Solibri on rakennustietomallinnuksen laadunvalvontaan erikoistunut ohjelmistoyritys. Se tarjoaa työkaluja tietomallien vaatimustenmukaisuuden valvontaan, suunnitteluprosesseihin, analysointiin ja koodien tarkastamiseen. Solibrista voi tuoda tietoja IFC- tai SMC-malleista Excel-taulukkoon, joka on sovitettu yhteensopivaksi One Click LCA:n kanssa. Tiedot työhön tuotiin tietomalleista Solibrin informaation talteenoton kautta One Click LCA -laskentaohjelmistoon. Ohjelmistoon mahtuu kerrallaan 500 datariviä, joten ohjelmisto loi ryhmittelyjä materiaaleille. Ryhmittelyn jälkeen ohjelmisto esitti datapisteet ja ilmoitti tunnistetun datan (kuva 19). Datan tunnistamista varten ohjelmisto etsii ensin oman organisaation sisältä, onko aiemmin tuotu materiaalia samalla nimellä. Mikäli materiaalia ei ole tuotu, haku laajennetaan One Click LCA:n muihin tietokantoihin materiaalin tunnistamista varten. Kartoitusperustetta etsitään ensin Suomesta ja sen jälkeen koko maailmasta. Jos materiaalia ei vielä kukaan kyettä tunnistamaan, ohjelmisto ilmoittaa siitä ja käyttäjä voi itse valita valikosta sopivan tietolähteen. Tietokanta siis laajenee sitä mukaa, kun sinne syötetään tietoja. Kuvassa 20 on esitetty yhteenveto tietojen syöttämisestä One Click LCA -ohjelmistoon tässä opinnäytetyössä.



Kuva 20. Elinkaarimallinnus One Click LCA -ohjelmiston avulla tässä opinnäytetyössä.

#### 4.5 Puunjalostuslaitoksen osaprosessien laskenta

Osaprosesseista laskettiin työtä varten puunkäsittely ja kuitulinja. Tiedot tuotiin tietomalleista One Click LCA -ohjelmistoon Solibrista informaation talteenoton kautta Excel-taulukkoon. Kaikkia tietomalleja ei saatu kuitenkaan tuotua suoraan One Click LCA -ohjelmistoon, sillä informaation talteenoton komponenttisuodatin ei hyväksynyt niitä. Tietomallit piti tuoda omalla informaation talteenotolla, laskea tilavuus ja paino käsin ja syöttää tieto ohjelmistoon. Muun muassa HVA- ja MEC-malleja ei saatu tuotua One Click -ohjelmiston omalla informaation talteenottosuodattimella. HVA-mallit ovat taloteknisiä tietomalleja, joissa on lämpö-, vesi- ja ilmanvaihtojärjestelmän komponentteja. Puunkäsittelyn HVA-malleissa oli esimerkiksi sprinklerijärjestelmä, viemäröinti, putkistot ja ilmanvaihto. MEC-mallit taas olivat mekaanisia malleja. Niissä saattoi olla sähköjärjestelmää ja laitteita. Mekaanisissa ja LVI-malleissa osa tiedoista oli merkitty komponenteiksi tai objekteiksi, eikä One Click LCA -informaation talteenottolaskenta tunnistanut niitä. Mallit täytyi tutkia käsin ja selvittää, mitä mikäkin malli sisältää. Osa kohteista ei kuulunut Ympäristöministeriön vähähiilisyiden arviointimenetelmän laskettaviin kohteisiin, joten kaikkia tietoja ei sisällytetty laskentaa. Ohjeen mukaan laskentaan otetaan mukaan talotekniikasta lämmitysjärjestelmän pääosat, vesi- ja viemärijärjestelmän pääosat, ilmastointijärjestelmän pääosat, sprinklerijärjestelmän pääosat ja sähköjärjestelmän pääosat. Laskentaan ei huomioida talotekniikasta tietoteknisiä järjestelmiä, taloautomaation järjestelmiä tai erillisiä koneita ja laitteita. Tämä ohje on suunnattu enemmän asuin- tai toimistorakentamiseen, minkä vuoksi sen tulkinta teollisuusrakentamisessa oli ajoittain hankalaa. Mekaanisten ja LVI-mallien käsittely manuaalisesti kesti useita päiviä. Datan kerääminen ja käsitteleminen eli inventaario oli ehdottomasti prosessin työläin vaihe, kuten teoria antoi ymmärtääkin. Materiaalitietojen jälkeen ohjelmistoon syötettiin tiedot kohteiden pintaaloista, energiankulutuksista ja laskennallisesta kohteen sementtipitoisten materiaalien määrästä. Sementtipitoisten tuotteiden määrä laskettiin materiaali-luettelosta. Tietojen kerääminen oli hidasta. Tietoja yritettiin kerätä, jotta laskennan tulos olisi mahdollisimman tarkka. Kuitenkin kohtia jäi puuttumaan ja ne arvioitiin laskennallisesti.

Puunkäsittely ja kuitulinja luotiin omiksi suunnitelmikseen ohjelmistossa puunjalostuslaitoksen projektiin. Suurten tietomäärien hallinta ohjelmiston avulla

tuntui ajoittain hankalalta, muun muassa materiaalitietojen siirtely tai muokkaaminen olisi onnistunut paremmin pienemmillä tietomäärillä. Ohjelmistoon sai syötettyä rajallisen määrän materiaalirivejä (500), ja ohjelmisto itse tarjosi ryhmittelyitä datalle.

#### 4.5.1 Energiankulutuksen laskenta

Tarkkaa laskentaa varten tarvittiin tiedot työmaan kuluttamasta energiasta mahdollisimman tarkasti. Rakentamisprosessi-kohdassa on mahdollista syöttää tiedot toteutuneesta työmaan sähkön, kaukolämmön ja polttoaineen kulukselta. Energiankulutus vaikuttaa merkittävästi rakentamisen päästöihin. Ympäristöministeriön päästötietokannassa on myös valmiita skenaarioita rakennustyömaan energiankulutukselle, mutta skenaariot koskevat vain toimistotaloa, asuintaltoa, koulua tai päiväkotia. Teollisuusrakentaminen poikkeaa näistä, joten päätettiin olla käyttämättä näitä skenaarioita laskennassa. Työtä varten tavoiteltiin energiankulutustietoja, mutta niiden saaminen oli haastavaa. Tietoja ei ollut valmiiksi kerättyinä ja tiedot olivat osin toisen yrityksen hallussa.

Päädyttiin selvittämään olemassa olevien tutkimusten perusteella, paljonko energiakulutus on keskimäärin rakennustyömailla olisi ja arvioimaan kulutuksen perusteella. Rakennustyömaita koskevia energiankulutustietoja löytyi jonkin verran, mutta mikään tiedoista ei ollut erityisesti teollisuusrakentamiseen suunnattu. Rintamäen tutkimuksessa (2016) kohteena oli liikekiinteistö, jossa tehtiin osittain saneerausrakentamista ja osittain uudisrakentamista. Rakennustyömaan energiankulutus oli noin 20 kWh/Rm<sup>3</sup>. Motivan opetusmateriaalissa Rakennustyömaan energiakysymyksiä energiankulutus oli 20–50 kWh/Rm<sup>3</sup>. Hämäläisen diplomityössä (2020) energiankulutus oli 50 kWh/m<sup>3</sup>. Energiankulutuksen laskennassa päädyttiin käyttämään Rintamäen tutkimuksen pohjalta arvoa 8 kWh/m<sup>3</sup> sähkönkulutukselle ja 2 kWh/m<sup>3</sup> polttoaineen kulukselle. Toisaalta koska arvot eivät olleet teollisuusrakentamiseen suunnattuja, yhtä hyvin olisi voitu käyttää valmiita skenaarioita, joissa myöskään ei ollut valittavana teollisuusrakennusta. Kaukolämmön kulutusta ei merkitty, koska Fimpecin asiantuntija Hannu Möllerin suullisen haastattelun mukaan kyseisen puunjalostuslaitoksen rakentamisessa ei käytetä kaukolämpöä. Hänen

mukaansa teollisuusrakentaminen kuluttaa asuinrakentamista enemmän sähköä ja energiaa, sillä teollisuusrakennukset ovat usein avoimia ja lämpöä ei saada yhtä hyvin eristettyä. Asuinrakennus voidaan rakentamisen aikana huputtaa tehokkaammin lämpöhäviöiden vähentämiseksi. Perustusten valamiiseen kuluu sähköä, mutta suuri osa materiaaleista tulee valmiina elementteinä, jolloin sähköä ei kulu juurikaan pystytykseen. Laskettaessa päästöjä sekä skenaarioilla että arvioiduilla energiankulutuksilla, ero hiilijalanjäljessä ei ollut suuri. Siirryttäessä itse lasketuista energiankulutuksista valmiisiin skenaarioihin kasvihuonekaasupäästöt kasvoivat 0,096 %. Toki päästöihin vaikuttaa paljon työmaan koko. Skenaariot laskevat päästöt ilmoitettua rakennusala kohti ja tutkimusten laskennalliset arvot ilmoittavat päästöt rakennuskutiota kohti. Teollisuusrakennuksen muoto, pinta-ala ja tilavuus eivät ole aina helposti tulkittavissa. Laskentaa varten pinta-ali tiedot laskettiin tietomallista mittaamalla. Mittaus voi olla epätarkkuustekijä, kun tarkkoja pinta-ali tietoja kaikille prosessin osille ei ollut saatavilla.

Myös rakennuksen käytön aikana kuluttama energia arvioitiin, kun tarkkoja tietoja ei ollut saatavilla. Elinkaarilaskennassa pyydetään rakennuksen vuotuinen sähkön, polttoaineiden, kaukolämmön ja kaukojäähdytyksen kulutus sekä verkkoon syötetyn ylijäävän energian määrä. Lasketun puunjalostuslaitoksen ympäristölupahakemuksessa ilmoitetaan tehtaan arvioidun sähkönkulutuksen olevan 820 GWh vuodessa ja sähkön vuotuisen myynnin olevan 1400 GWh. Sellutehdas on sähköomavarainen. Tarkkoja tietoja työssä laskettujen osaprosessien energiankulutuksista ei ollut. Metsä Fibre Oy:n Rauman sellutehtaalla puunkäsittely kulutti vuodessa 57 305 MWh, joka oli 1,9 % koko tehtaan energiankulutuksesta. Samalla suhdeluvulla lasketun tehtaan puunkäsittely kuluttaisi energiaa 15580 MWh. Toki tehdas tuottaa energiansa itse, mutta silti energiantuotanto aiheuttaa päästöjä. Kuitulinja kulutti Raumalla energiaa 398 772 MWh, mikä oli 13 % tehtaan energiankulutuksesta. Tällöin lasketun puunjalostuslaitoksen kuitulinja kuluttaisi energiaa 106 000 MWh. Nämä arvot merkittiin energiankulutukseksi laskennassa.

#### **4.5.2 Tulosraportti**

Tiedot saatuaan ohjelmisto antoi tulosraportin (kuva 21). Tuloksia pystyi katsomaan laskentamuodossa, erilaisina visuaalisina kaavioina tai tulostamaan

raportin. Esimerkki kaavionäkymästä on esitetty kuvassa 22. Hiilijalanjälkiraportissa ilmoitettiin kohteen GWP (pois lukien eloperäinen hiili) kilogrammana hiilidioksidiekvivalenttia neliometriä ja vuotta kohti ( $\text{kg CO}_2\text{e/m}^2/\text{a}$ ). Hiilikädenjälkiraportti taas näytti samassa yksikössä tulokset miinusmerkkisenä, eli se oli positiivinen vastakohta hiilijalanjäljelle. Hiilikädenjälkenä ilmoitettiin uudelleenkäytöstä ja kierrätyksestä aiheutuvat hyödyt, ylijäävä energia, biogeeninen hiilivarasto ja sementtipohjaisten tuotteiden hiilinielut. Tulokset käsitellään tarkemmin tulosten analyysissä.

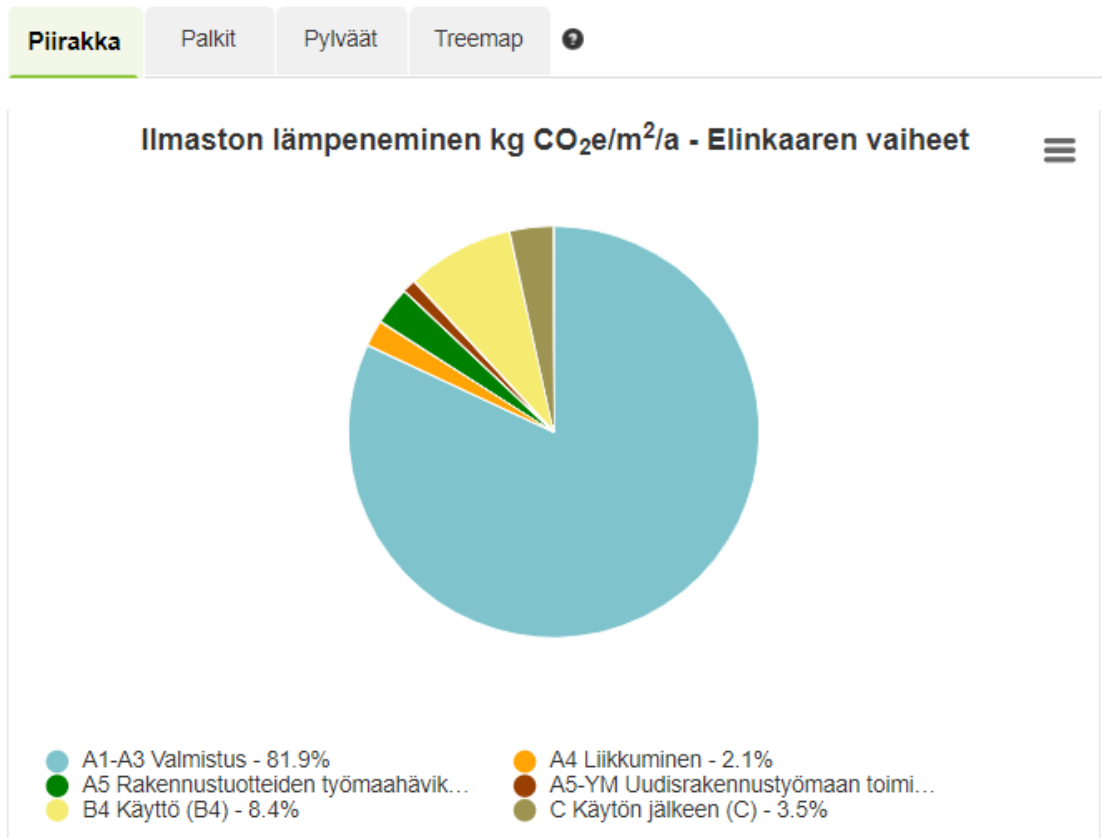
### Hiilijalanjälkiraportti

[Lataa tulosten yhteenveto](#)

Rakennuspalkan materiaalien päästötiedot ilmoitetaan erikseen 'Ilmaston lämpeneminen, rakennuspalkka' -sarakeessa. Rakennuspalkan materiaalit erotellaan Talo 2000-luokituksen mukaan. Rakennuspalkan päästöt sisältävät kaikki materiaalit, joiden Talo 2000-luokitus on 1.1.1 ja 1.2.1 välillä.

Tuloskategoria	GWP (pl. eloperäinen hiili) $\text{kg CO}_2\text{e/m}^2/\text{a}$	Ilmaston lämpeneminen, rakennus $\text{kg CO}_2\text{e/m}^2/\text{a}$	GWP (pl. eloperäinen hiili) $\text{kg CO}_2\text{e/m}^2/\text{a}$	Ilmaston lämpeneminen, rakennuspaikka $\text{kg CO}_2\text{e/m}^2/\text{a}$
A1-A5 Päästövaikutukset ennen käyttöä (moduulit A1-5)	125,8	125,01	11,25	11,25
B4 Rakennusosien vaihto	13,12	13,12		
B6 Energiankulutus				
C Päästövaikutukset käytön jälkeen (moduuli C)	4,14	4,93	1,23	1,23
A-C Hiilijalanjälki (elinkaaren moduulien A-C summa)	143,06	143,06	12,48	12,48

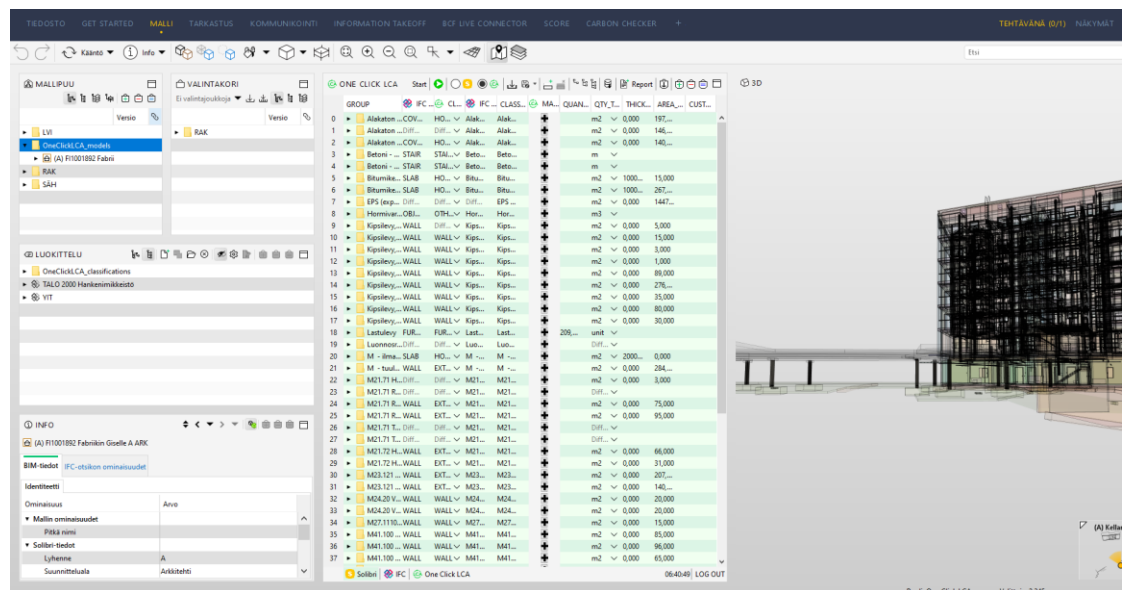
Kuva 21. Hiilijalanjälkiraportti (One Click LCA 2023).



Kuva 22. Kaavio elinkaaren vaiheista (One Click LCA 2023).

### 4.5.3 Solibrin One Click LCA -lisäosa

Tässä työssä materiaalitiedot tuotiin Solibrille luodun One Click LCA -ohjelmistolle rakennetun informaation talteenoton avulla Solibrista ensin Excel-taulukoon ja Excel-taulukosta One Click -ohjelmistoon. Solibri on lisäksi julkaissut One Click LCA -lisäosan testiversion, joka on elokuusta 2023 ollut saatavilla beta-testiryhmään merkityille käyttäjille. Versiota testattiin opinnäytetyötä varten. Lisäosaa ei kuitenkaan käytetty tietojen tuomiseen opinnäytetyön laskennassa, koska kyseessä on keskeneräinen koeversio. Lisäksi laskenta oli jo tehty, kun versio julkaistiin. Testausta varten piti ensin rekisteröityä Solibrin versioiden testikäyttäjäksi. Latauksen jälkeen lisäosan toimintaan saaminen vaati hieman työtä, mutta sen avulla onnistuttiin tuomaan tietoja One Click LCA -ohjelmistoon. Näkymä Solibrissa on esitelty kuvassa 23.



Kuva 23. Näkymä One Click LCA -lisäosasta Solibrissa (ruudun keskellä).

Lisäosan avulla voidaan valita tietomallista halutut osat ja merkitä ne One Click -tietomalleiksi. Esimerkiksi voidaan valita One Click-malleiksi pelkästään rakennemalli. Kuvassa on valittu arkkitehtimalli, mutta muitakin malleja voi merkitä samanaikaisesti. Sen jälkeen lisäosan avulla mallin tiedoista saa oman näkymän, jota One Click -ohjelmisto osaa suoraan lukea. Näkymän osia klikkaamalla saa kuvan kyseisen materiaalin 3D-mallista, mikä on merkittävä etu Excel-taulukkoon verrattuna. Lisäosan avulla voidaan helposti jäljittää, mistä taulukon materiaalitiedot tulevat. Lisäksi tietoa ei tarvitse tuoda enää Ex-

celin kautta One Click -ohjelmistoon, vaan valitut tiedot saadaan suoraan tuottaa ohjelmistoon yhdellä klikkauksella. Painamalla nappia *Export to One Click LCA*, ohjelmisto menee suoraan One Click -ohjelmistoon uudella välilehdellä, kysyy mihin projektiin tiedot tuodaan ja luo sinne uuden suunnitelman, johon käyttäjä täyttää suunnitelman tiedot. Näin vältetään turha askel, kun tietoja ei tarvitse ensin tuoda Exceliin. Tietojen tuominen onnistui vaivattoman tuntuisesti asuinrakennusmalleista.

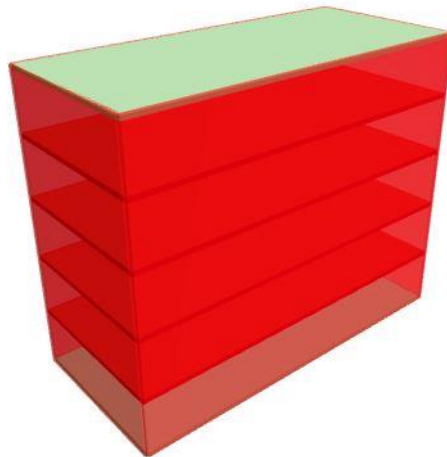
Lisäosa on kuitenkin vielä keskeneräinen, ja tietojen käsittelyssä Solibrissa oli haasteita. Kun One Click -näkyvä Solibrissa luotiin, ohjelmisto luo tietomalleista jonkin verran tyhjiä rivejä, joista puuttui määrätieto. Järjestelmä ei osannut suoraan lukea näitä tietomallin osia. Joihinkin kohtiin saatiin tietomallista mitat, joiden avulla voitaisiin laskea esimerkiksi tilavuus ja merkitä tieto näkyväksi. Kuitenkin joidenkin tyhjien rivien täyttäminen oli haasteellista, eikä tietoa saanut helposti. Laskennassa oli myös jonkinlainen virhe, kun se automaattisesti kopioi yhdelle riville merkityn tilavuuden kaikille muillekin riveille, jolloin tilavuustiedot eivät enää pitäneet paikkansa. Tilavuudet piti hakea jokaiselle riville erikseen, että tieto tuli oikein. Tämän puutteen vuoksi virheiden mahdollisuus jatkolaskennassa on suuri, kun ohjelmisto ilmoittaa tilavuustietoja väärin eikä käyttäjä välttämättä huomaa korjata niitä.

Kehityksen jälkeen olisi mahdollista, että lisäosan avulla voitaisiin tuoda tietoja sujuvammin kuin Excel-taulukon ja Solibrin informaation talteenoton avulla. Teollisuusrakentamisen tietomallit olivat tässä projektissa raskaampia ja hitaammin laskettavia kuin asuinrakentamisen tietomallit, eikä ohjelmiston laskentateho aina riittänyt kaikkien mallien avaamiseen yhtä aikaa, tai laskenta hidastui merkittävästi. Varsinkin asuinrakennusten laskentaan Solibrin One Click LCA -lisäosa vaikutti kuitenkin toimivalta ja sen käyttöönotto voi nopeuttaa ja yksinkertaistaa tietojen käsittelyä. Suurimmat edut ovat materiaalitiedon helppo jäljittäminen 3D-malliin ja vähentyneet välivaiheet, kun tietoja ei tuoda Exceliin. Suurimmat haitat olivat tämänhetkiset puutteet tietojen tuomisessa tietomalleista, tyhjät rivit ja niiden tietojen täyttäminen manuaalisesti. Kun varsinainen osa julkaistaan, sen toimivuutta on saatu varmasti hiottua testikäyttäjien kokemuksen perusteella.

#### 4.5.4 Carbon Designer -lisäosa

Käytettävissä on Carbon Designer 3D -lisäosa, joka on tarkoitettu rakennusten suunnittelun alkuvaiheen optimointiin. Sen avulla voidaan rakentaa erilaisia malleja rakennuksista ja laskea baseline eli lähtötiedot päästöille. Ohjelma antaa tiedot hankkeen ongelmakohtista päästöjen kannalta ja näyttää, millä materiaaleilla ja rakenteilla on suurin vaikutus hiilijalanjälkeen. Ohjelma rakentaa hankkeesta 3D-mallin (kuva 24). Suunnitelmia voi vertailla yhtäaikaisesti toisiinsa. Laskentaohjelmaa testattiin opinnäytetyötä varten.

Carbon Designer -testi Perustaso  
742 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> GFA



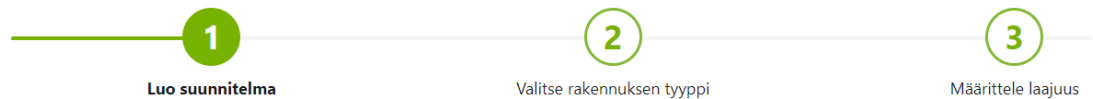
Läpinäkyvyys 40%



Osuus päästöistä %



Kuva 24. Toimistorakennus Carbon Designer 3D -ohjelmiston hiilinäkymässä (One Click LCA 2023).



## 1 - Luo suunnitelma

**Rakennuksen tiedot**  
Kirjoita yleiset tiedot rakennukselle

Suunnitelman nimi

Referenssirakennus

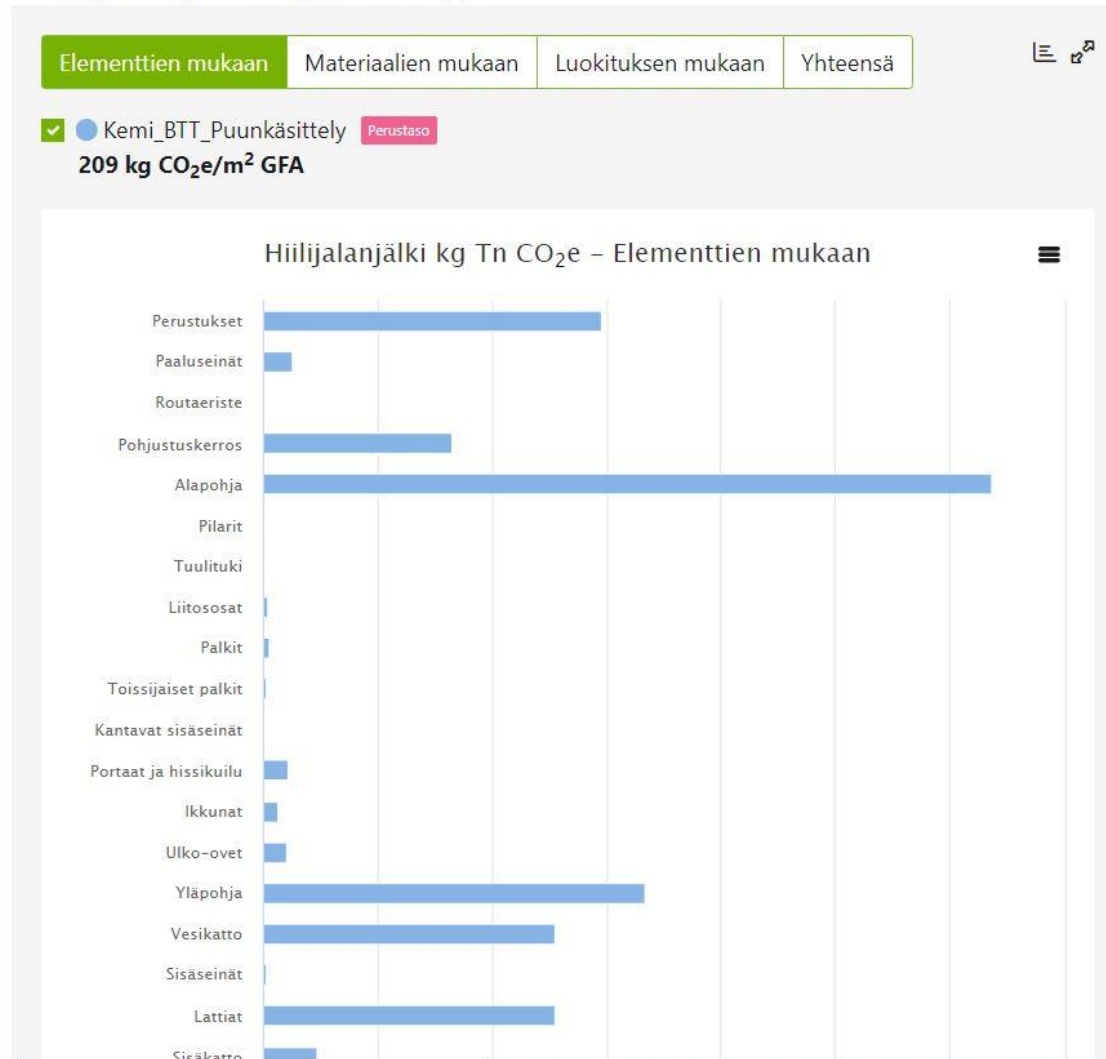
Bruttopinta-ala (GFA)  m<sup>2</sup>

Laskentajakso  vuotta

Kuva 25. Suunnitelman luominen Carbon Designerilla (One Click LCA 2023).

Aluksi luotiin suunnitelma (kuva 25) ja valittiin referenssirakennus vertailua varten. Myöskään Carbon Designerilla ei ollut mahdollista valita teollisuusrakennusta, vaikka valittavana olikin useita eri rakennustyyppisiä. Rakennukseksi valittiin toimistorakennus, sillä One Click LCA -tuki oli aiemmin laskennassa suositellut sen valitsemaan. Seuraava vaihe kysyi sisällytettävät rakennuksen osat, johon valittiin kaikki kohteet perustuksista ulkovaippaan. Suunnitelmaan merkittiin myös pohjakerroksen yläpuolella olevien kerrosten lukumäärä, maanalaisen lämmitettyjen ja lämmittämättömien lattioiden lukumäärä sekä tarkemmat rakennetiedot. Rakennuksen mitat ja geometria eriteltiin tarkasti 3D-mallin luomiseksi. Työkaluun ei syötetä materiaalitietoja tietomalleista, vaan suunnitellun rakennuksen geometria tarkasti sekä esimerkiksi rungon, perustusten ja vaipan tiedot, palkkien määrät jne. Tuloksena ohjelmisto antaa suunnitellun rakennuksen hiilijalanjäljen elementtien, materiaalien ja luokituksen mukaan (kuva 26). Nimikkeet ovat valmiina valikoissa ja ohjelmisto laskee ne kaikki joka kerralla.

## Hiilijalanjälki kg, Tn CO<sub>2</sub>e



Kuva 26. Carbon Designer 3D -ohjelmiston luoma hiilijalanjälkiraportti (One Click LCA 2023).

Visuaalisen kaavioiden lisäksi tarkemmat tiedot annetaan taulukkona, joka on eritelty rakennuksen osien mukaan. Taulukossa on mahdollista muuttaa ja elementtien pituutta, pinta-alaa ja prosenttiosuutta, minkä jälkeen työkalu tekee uuden laskennan. 3D-mallista saa esille hiilinäkymän, joka näyttää vihreällä vähähiiliset rakenteet ja punaisella eniten päästöjä aiheuttavat rakenteet. Carbon Designer on nopea käyttää, kun rakenteen mitat ovat tiedossa. Vähimmillään riittää, että tiedetään rakennuksen koko ja kerrosten määrä. Siitä voisi olla apua rakenteiden suunnittelussa, jolloin saataisiin heti tarvittaessa rajattua ongelmallisia rakenteita pois. Ohjelmiston avulla voi luoda baselinen jatkosuunnittelua varten. Carbon Designerin antama arvio on summittainen, ja materiaalien kautta tapahtuvalla laskennalla päästään paljon tarkempaan tulokseen. Lisäksi ohjelmaa ole tarkoitettu teollisuusrakentamiseen, eikä teollisuus-

rakennusta ole mahdollista valita alkuvalikosta. Kuitenkin suunnitelmaa yksinkertaistamalla voisi varmasti saada alustavan arvion myös teollisuusrakennuksen päästöille.

## 5 TULOSTEN ANALYYSI







Suomessa ei ole vielä julkaistu elinkaariarvioinnin päästöjen raja-arvoja. Ympäristöministeriön verkkosivujen mukaan ohjaus otetaan vaiheittain käyttöön vuoteen 2025 mennessä. Mahdollisesti käyttöön tulisi ilmoitusvelvollisuus ennen sitovia raja-arvoja. Rakennukset jaettaisiin kolmeen osaan:

1. Rakennukset, joita raja-arvot koskisivat ja joilta vaadittaisiin ilmastaselvitys
2. Rakennukset, joille riittäisi pelkkä ilmastaselvitys
3. Rakennukset, joilta ei vaadita ilmastaselvitystä.

Päästöjen raja-arvoihin ei sisällytettäisi maanrakennustöitä. One Click LCA:n tuottama e-kirja Carbon Footprint Limits for Common Building Types esittelee tyypillisiä päästöarvoja rakennuksille. Raportin mukaan rakennusten hiilijalanjälki oli 12,3–14 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a. Tämä arvo ei sisällä perustuksia, pysäköintirakenteita tai muita ulkopuolisia alueita. Julkisten rakennusten hiilijalanjälki oli 19,2 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a lähinnä niiden suuremman energiankulutuksen vuoksi. Tutkimuksessa ei ollut mukana teollisuusrakennuksia.

Kuvassa 27 nähdään vähähiilisen rakentamisen raja-arvojen kehitys Pohjoismaissa. Ruotsissa on tavoitteena esittää vuonna 2025 päästöjen raja-arvot moduuleille A1-A5 (tuotevaihe ja rakentaminen). Vuoteen 2027 mennessä Ruotsissa esiteltäisiin raja-arvot ympäristöselosteelle rakennuksen koko elinkaaren ajalta bruttoalaa kohti, 50 vuoden laskenta-ajalla. GFA (*gross floor area*, bruttoala) mitataan rakennuksen ulkomittojen mukaan ja siihen sisältyvät kaikki rakennuksen sisällä olevat alueet, myös tukirakenteet. Tanskassa raja-arvo alle 1000 m<sup>2</sup> rakennuksille on esitetty vuonna 2023, ja lopuille rakennuksille vuonna 2025. Uusista rakennuksista vaaditaan ympäristöselosteet vuodesta 2023 alkaen. Tanskan päästöjen raja-arvo alle 1000 m<sup>2</sup> rakennuksille on 12 kg CO<sub>2</sub>e /m<sup>2</sup> vuodessa. Moduulit A1-A3 (raaka-aineen hankinta, kuljetus valmistukseen, valmistus) muodostavat noin puolet tästä arvosta, eikä laskennassa huomioida moduuleja A4 ja A5 (kuljetus työmaalle, työmaatoiminnot).

Norjassa esiteltiin pakollinen ympäristöseloste vuonna 2022, mutta ei ole tiedossa, milloin päästöjen raja-arvot tulisivat. (Swedish National Board of Housing, Building and Planning 2023.)

	Finland	Denmark	Sweden	Norway	Iceland	EU
						
Carbon goal	Carbon neutral 2035 Carbon negative soon after	70% reduction in 2030 according to 1990-level Climate-neutral 2050	Carbon neutral in 2040	Carbon neutral in 2030	Carbon neutral 2040	55% reduction in 2030 according to 1990-level Climate neutral 2050
Regulation on low-carbon construction	2025	2023	January 2022	January 2022	-	2027 (proposed)
Regulation incl. limit values	2025	2023: buildings above 1.000 m <sup>2</sup> 2025: all buildings	2027 proposed by Boverket	-	-	-

Kuva 27. Vähähiilisen rakentamisen raja-arvojen kehitys Pohjoismaissa (FIGBC 2022).

Ruotsi on esittänyt seuraavanlaisia alustavia päästöjen raja-arvoja julkaisun Limit values for climate impact from buildings (2023) mukaan:

Taulukko 2. Ehdotus päästöjen raja-arvoiksi Ruotsissa (Swedish National Board of Housing 2023).

	Rakennuksen tyyppi	Raja-arvo (kg CO <sub>2</sub> e / m <sup>2</sup> bruttoala)
<b>Ryhmä 1</b>	Kerrostalo	375
	Toimistorakennus	385
	Koulu	380
	Päiväkoti	330
	Omakotitalo	180
	Palvelukoti	385
<b>Ryhmä 2</b>	Muut rakennukset	460

One Click LCA -ohjelmistossa on lisäosa, Carbon Heroes Benchmark, joka arvioi elinkaaripäästöt 60 vuoden ajalle. Benchmark huomioi elinkaaren vaiheet A1-A3, A4, B4-B5 ja C1-C4 (rakennusmateriaalit, kuljetukset, vaihdot ja elinkaaren loppuvaihe). Ohjelma sijoittaa rakennuksen asteikolle A-G, jossa A

vastaa parasta arvosanaa. Valmiita arvoja juuri teollisuusrakentamiselle ei ole, eikä niitä ole välttämättä tulossakaan. Mahdollisesti teollisuusrakennukset voisi sisällyttää muut rakennukset -ryhmään. Carbon Heroes Benchmarkissa on valittavana Suomen kohteista toimisto, huoneisto, koulu ja päiväkot. Länsi-Euroopan kohteissa voi valita teollisuusrakennuksen.

Opinnäytetyössä One Click LCA -ohjelmistolla saatuja tuloksia ei voitu verrata suomalaisiin päästöjen raja-arvoihin, koska niitä ei vielä ole. Tietoja verrattiin Ruotsissa ehdotettuihin arvoihin ja tutustuttiin One Click LCA -ohjelmiston Carbon Heroes Benchmark -palvelun arvoihin. Tavoitteena oli saada yritykselle lähtötaso jatkossa tapahtuvaa laskentaa varten, jolloin yritys voisi verrata tulevia projekteja nyt saatuihin arvoihin.

## 5.1 Puunkäsittely

Puunkäsittelyn hiilijalanjälkiraportissa (kuva 28) hiilijalanjälki laskettiin modulleille A-C eli siihen huomioitiin valmistus, rakentamisvaihe, käyttövaihe ja elinkaaren loppu. Yhteensä kasvihuonekaasupäästöt rakennukselle ovat 204 kg CO<sub>2e</sub> /m<sup>2</sup>/a ja rakennuspaikalle 2,18 kg CO<sub>2e</sub> /m<sup>2</sup>/a. Ohjeen mukaan rakennuksen ja rakennuspaikan päästöt lasketaan erikseen. Maatyöt ajatellaan rakennuspaikan päästöiksi ja rakennuksen päästöt muodostuvat perustuksista ylöspäin. Rakennuksen päästöistä toisen puolen muodostavat päästövaikutukset ennen käyttöä (91 kg CO<sub>2e</sub>) ja toisen energiankulutus (98 kg CO<sub>2e</sub>). Ennen käyttöä tapahtuvista päästöistä valtaosa tulee valmistuksesta (84 kg CO<sub>2e</sub>). Materiaalivalinnoilla voitaisiin siis varmasti vaikuttaa merkittävästi päästöihin. Rakennuksen energiankulutus oli arvioitua, ja todelliset lukemat saattaisivat muuttaa laskentatuloksia. Energiankulutukseen huomioitiin pelkästään rakennuksen käyttämä energia. Puunkäsittely alittaisi Ruotsissa esitetyn alustavan muiden rakennusten raja-arvon (460 kg CO<sub>2e</sub> / m<sup>2</sup>), mutta arvo ei ole virallinen. Puunkäsittelyn rakennuspaikan päästöt taas muodostuvat perustuksista. Rakennuspaikan päästöt muodostuvat yleensä maansiirrosta tai paalutuksista, mutta niitä ei kaikissa rakennuksissa ole.

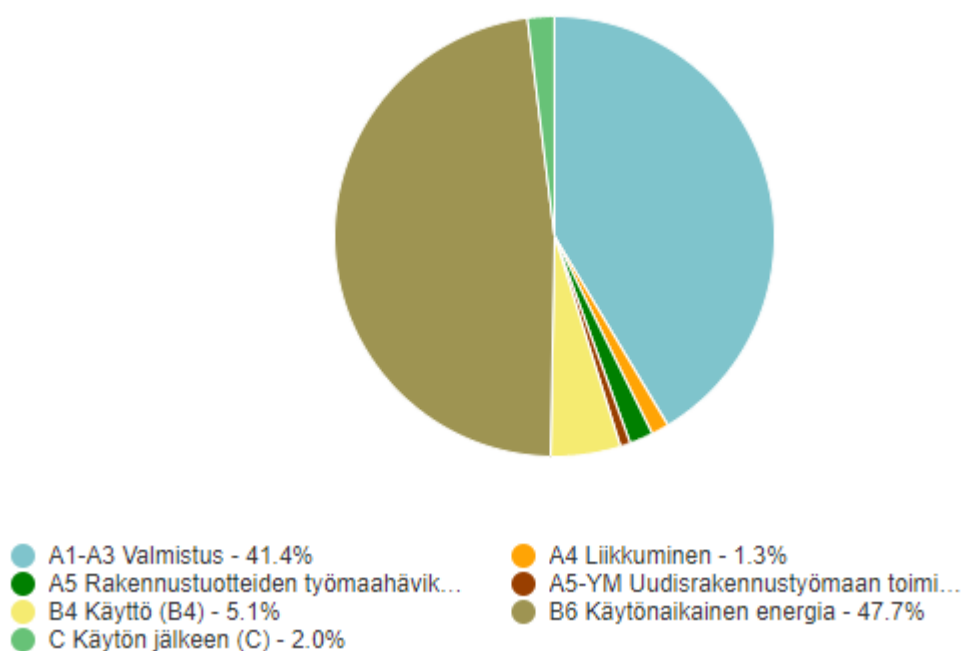
### Hiilijalanjälkiraportti Lataa tulosten yhteenveto

Rakennuspaikan materiaalien päästötiedot ilmoitetaan erikseen 'Ilmaston lämpeneminen, rakennuspaikka' -sarakeissa. Rakennuspaikan materiaalit erotellaan Talon 2000-luokituksen mukaan. Rakennuspaikan päästöt sisältävät kaikki materiaalit, joiden Talon 2000-luokitus on 1.1.1 ja 1.2.1 välillä.

Osa-alue	GWP (pl. eloperäinen hiili) kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a ②	Ilmaston lämpeneminen, rakennus kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a ②	GWP, r-p (pl. eloperäinen hiili) kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a ②	Ilmaston lämpeneminen, rakennuspaikka kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a ②
A1-A5 Päästövaikutukset ennen käyttöä (moduulit A1-5)	91,07	91,07	1,92	1,92 Tiedot
B4 Rakennusosien vaihto	10,55	10,55		Tiedot
B6 ② Energiankulutus	98,3	98,3		Tiedot
C Päästövaikutukset käytön jälkeen (moduuli C)	3,79	3,79	0,26	0,26 Tiedot
A-C Hiilijalanjälki (elinkaaren moduulien A-C summa)	203,72	203,72	2,18	2,18 Tiedot

Kuva 28. Ohjelmiston antama hiilijalanjälkiraportti (One Click LCA 2023).

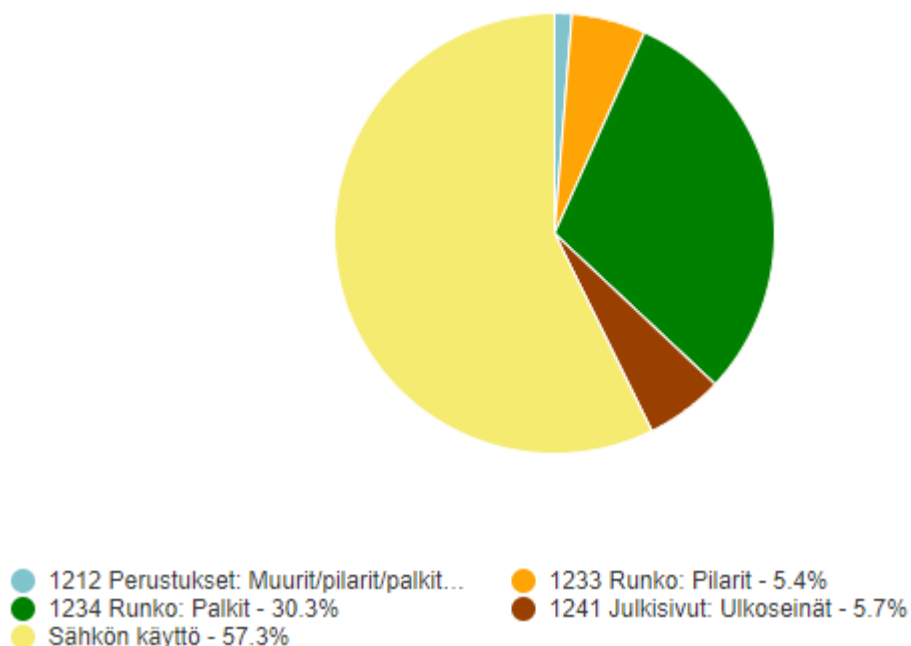
### Ilmaston lämpeneminen kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a - Elinkaaren vaiheet



Kuva 29. Ympyräkaavio elinkaaren vaiheiden päästöistä (One Click LCA 2023).

Rakennusmateriaaleista eniten päästöjä tuli sähkön jälkeen palkeista (30,3 %). Sähkö muodosti 57,3 % päästöistä. Elinkaaren vaiheiden päästöistä (kuva 29) noin puolet tuli käytönaikaisesta energiasta (47,7 %) ja noin puolet valmistuksesta (41,4 %). Rakennuksen osiin jaetuista päästöistä (kuva 30) suurin osa tuli sähkön käytöstä (57,3 %). Seuraavaksi suurimman osan (30,3 %) muodostivat palkit.

## Ilmaston lämpeneminen kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a - Rakennuksen osat



Kuva 30. Kaaviokuva rakennuksen osien päästöistä (One Click LCA 2023).

Hiilikädenjälki (kuva 31) on -89 kg CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup>/a. Siitä suurimman osan (71 kg CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup>/a) muodostavat sementtipohjaisten tuotteiden hiilinielut. Loput hiilikädenjäljestä tulee uudelleenkäytöstä ja kierrätyksestä saatavista hyödyistä. Ohjelmisto laski syötettyjen materiaalien määrän ja kierrätettävyyden ja antoi sen perusteella tuloksen. Tiedoista saatiin materiaalien kierrätyksen tarkempi erittely auki. Hyöty tulee erityisesti rakenneteräksen kierrättämisestä.

### Hiilikädenjälkiraportti

Rakennuspaikan materiaalien päästötiedot ilmoitetaan erikseen 'Ilmaston lämpeneminen, rakennuspaikka' -sarakeissa. Rakennuspaikan materiaalit erotellaan Talo 2000-luokituksen mukaan. Rakennuspaikan päästöt sisältävät kaikki materiaalit, joiden Talo 2000-luokitus on 1.1.1 ja 1.2.1 välillä.







Osa-alue	GWP (pl. eloperäinen hiili) kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a ②	Ilmaston lämpeneminen, rakennus kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a ②	GWP, r-p (pl. eloperäinen hiili) kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a ②	Ilmaston lämpeneminen, rakennuspaikka kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a ②	
D1+D2 Uudelleenkäytöstä ja kierrätyksestä saatavat hyödyt (moduuli D)	-17,96	-17,96	-0,41	-0,41	Tiedot
D3 Ylijäävä energia					Pillota tyhjät
D4 Hiilivarasto, biogeeninen	-0	-0	0	0	Tiedot
D5 Sementtipohjaisten tuotteiden hiilinielut	-71,23	-71,23			Tiedot
D Hiilikädenjälki yhteensä	-89,19	-89,19	-0,41	-0,41	Tiedot

Kuva 31. Puunkäsittelyn hiilikädenjälkiraportti (One Click LCA 2023).

Painamalla tuloksista auki kattavuuden ja luotettavuuden tarkistuksen, voidaan nähdä ohjelmiston antama yleisarvosana tietojen luotettavuudelle. Arvio perustuu siihen, miten hyvin tulokset heijastavat valitun kokoista tavanomaista

uudisrakennusta, jolla on betonirunko ja jonka laajuus on perustukset ja pohjarakenteet, runko ja ulkovaippa, pintamateriaalit, ulkoalueet ja talotekniikka. Ohjelmistossa ei kerrota tarkemmin, minkä tyyppisestä uudisrakennuksesta on kyse. Todennäköisesti kyse on kuitenkin asuin- tai toimistorakennuksesta eikä teollisuusrakennuksesta. Tällöin luotettavuuslaskuriin ei voi täysin luottaa, mutta tulos on suuntaa antava. Laskuri kertoo, kuinka monta kilogrammaa materiaalia neliometriä kohti eri rakennusmateriaaleja tuli, ja vastaavatko määrät tavanomaista uudisrakennusta. Ohjelmisto antoi puunkäsittelyn tietojen luotettavuudelle arvosanan E. Huomattavan suuria määriä tavanomaisiin nähden se havaitsi laastimassan, kipsilevyjen ja yleisesti projektiin käytettyjen tuotteiden massassa.

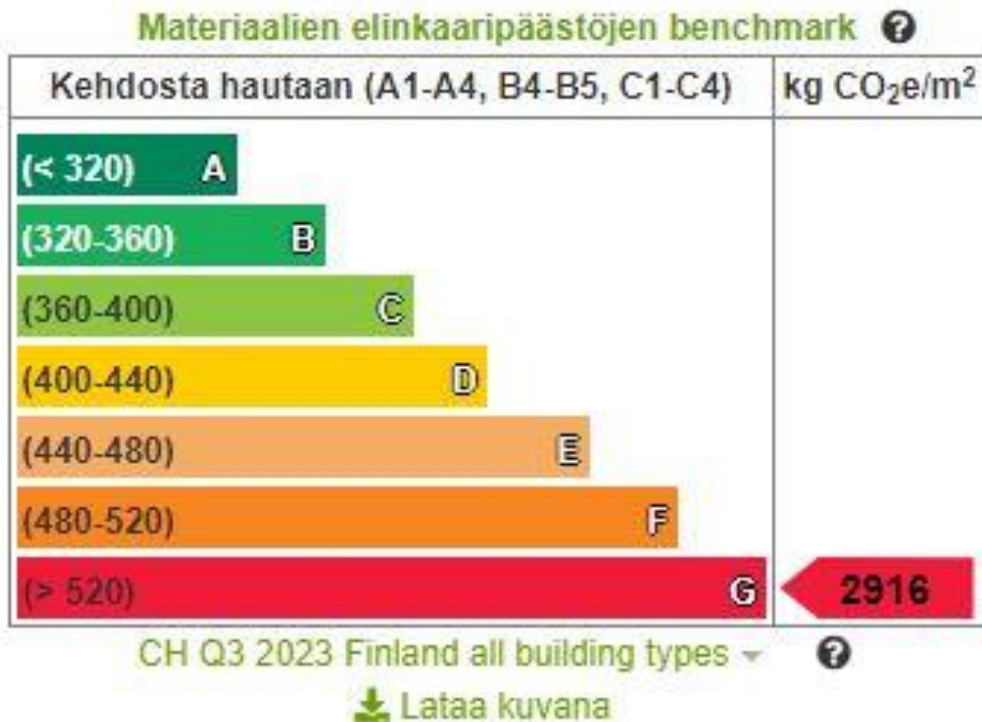
Ohjelmisto ilmoittaa myös eniten päästöihin vaikuttavat materiaalit (kuva 32). Toiminto ilmoittaa materiaalin tuottamien päästöjen määrän suhteessa rakennuksen kokonaispäästöihin. Kestävät vaihtoehdot -valikosta on mahdollista valita *Näytä ympäristötehokkaita vaihtoehtoja*, josta ohjelmisto suosittelee vähäpäästöisempiä materiaaleja. Huomattavasti eniten päästöjä, noin puolet kokonaispäästöistä, tuottaa yleinen rakenneteräs. Materiaalin alle saattaa olla yhdistetty useampia eri teräsosia, esimerkiksi mikäli teräksen laatu oli epätarasti ilmoitettu tietomallissa. Ohjelmisto tarjoaa kestävämmiksi vaihtoehtoiksi tuotteita, joilla on tietokannan tietojen mukaan pienempi jalanjälki. Joukossa ovat suositelluimpina hitsatut teräspalkit, kuumavalssattu terästankotuote ja teräspalkit.

▼ Eniten vaikuttavat materiaalit (Ilmaston lämpeneminen)				Vertaile tietoja (6)	
No.	Resurssi	Vaikutukset kehdestä portille (A1-A3)	Kehdestä portille (A1-A3)	Kestävät vaihtoehdot	
1.	Rakenneteräs, yleinen, 60% recycled content, I, H, U, L, and T sections, S235, S275 and S355 	42 kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	48.9 %	Näytä ympäristötehokkaita vaihtoehtoja	Lisää vertailtavaksi
2.	Betonirauditus, yleinen, 97% recycled content (typical), A615 	6,7 kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	7.8 %	Näytä ympäristötehokkaita vaihtoehtoja	Lisää vertailtavaksi
3.	Rappauslaasti, 1.5 kg/m <sup>2</sup> /mm 	6.5 kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	7.6 %	Näytä ympäristötehokkaita vaihtoehtoja	Lisää vertailtavaksi
4.	Betoni C35/45, C35/45, P20, 10-25% alternative binders in cement (GGBS) 	4.8 kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	5.7 %	Näytä ympäristötehokkaita vaihtoehtoja	Lisää vertailtavaksi
5.	Deactivated ready-mix concrete (exposed aggregate concrete), for exterior floors, 1619kg/m <sup>3</sup> 	4.8 kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	5.6 %	Näytä ympäristötehokkaita vaihtoehtoja	Lisää vertailtavaksi
6.	Valmisbetoni, normaali lujuus, yleinen, C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300 kg/m <sup>3</sup> / 18.72 lbs/ft <sup>3</sup> ) 	3.9 kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	4.6 %	Näytä ympäristötehokkaita vaihtoehtoja	Lisää vertailtavaksi

Kuva 32. Eniten päästöihin vaikuttavat materiaalit (One Click LCA 2023).

Puunkäsittelyn päästöt siis ovat 204 kg CO<sub>2</sub>e /m<sup>2</sup>/a. Se alittaa vertailuraja-arvoksi asetetun 460 kg CO<sub>2</sub>e /m<sup>2</sup>/a. Carbon Heroes Benchmark -lisäosa näytti

päästöjen olevan 2916 kg CO<sub>2</sub>e/ m<sup>2</sup> (kuva 33). Ohjelma antoi osaprosessille arvosanan G ja tavoitearvot ylittyivät runsaasti. Vihreällä alueella olisi ollut tietokannan mukaan korkeintaan päästölukema 400 kg CO<sub>2</sub>e/ m<sup>2</sup>, joka olisi antanut arvosanan C. Päästöjen arvo näyttää Carbon Heroes -lisäosassa erilaiselta, sillä sen laskentatapa poikkeaa ohjelmiston muusta päästölaskennasta. Carbon Heroes Benchmark ei ole standardin mukaan kehitetty, vaan se käyttää GIFA:a pinta-alan määritelmänä, joka on maailmanlaajuisesti yleisempi määritelmä kuin Suomen lämmitetty nettoala. Lisäksi laskentajakso on 60 vuotta ja elinkaaren vaiheet ennalta määritetyt. Toiminnallinen hiili puuttuu laskennasta kokonaan, mikä vaikuttaa merkittävästi tulokseen. Lisäksi A5-vaiheen päästöt puuttuvat laskennasta. Carbon Heroes Benchmark -laskennan mukaan päästöjen arvo oli hyvin suuri, mutta ohjelmisto ei antanut tarkempaa erittelyä laskennasta. One Click LCA -ohjelmiston asiantuntija Yolanda Korven mukaan puunkäsittelyn rakennus itsessään on jo poikkeuksellinen, ja sitä on ylipäättään vaikea verrata Carbon Heroes Benchmarkissa, sillä lisäosa vertaa projektia muihin vastaaviin järjestelmän projekteihin. Hän ei suositellut pitämään Carbon Heroes Benchmarkia kovin tärkeänä osana laskelmia.



Kuva 33. Carbon Heroes Benchmark -lisäosan arvio puunkäsittelyn osaprosessista (One Click LCA 2023).

## 5.2 Kuitulinja

Laskiessa kuitulinjaa saatiin alkuun vastaukseksi suurelta kuulostavat päästöt. Asiaa tutkittiin ja havaittiin, että suuret päästölukemat johtuivat väärin ilmoitettusta lämmitetystä nettoalasta. Selvityksen jälkeen hiilijalanjäljeksi saatiin 1 891,33 kg CO<sub>2e</sub> /m<sup>2</sup>/a (kuva 34), joka toki ylittää nykyiset alustavat rakennusten raja-arvot. Toisaalta raja-arvoja ei teollisuusrakennuksille ole määritelty. Päästöistä 316 kg CO<sub>2e</sub> tulee moduuleista A1-A5 eli tuotanto- ja rakennusvaiheesta ja 1 554,01 CO<sub>2e</sub> /m<sup>2</sup>/a rakennuksen energiankulutuksesta. Suurimman osan päästöistä muodostavat paikallavalurakenteet, erityisesti säiliöperustukset. Säiliöperustuksiin tulee laskennan mukaan 12 700 m<sup>3</sup> betonia ja B500B-raudoitusta 11 700 m<sup>3</sup>. Aiemmin lasketussa puunkäsittelyn osuudessa ei ole samanlaisia massiivisia säiliöitä kuin kuitulinjassa, jolloin ei tarvita niin jyrkeviä perustuksia.

**Hiilijalanjälkiraportti** [Lataa tulosten yhteenveto](#)

Rakennuspaikan materiaalien päästötiedot ilmoitetaan erikseen 'Ilmaston lämpeneminen, rakennuspaikka' -sarakekeessa. Rakennuspaikan materiaalit erotellaan Talo 2000-luokituksen mukaan. Rakennuspaikan päästöt sisältävät kaikki materiaalit, joiden Talo 2000-luokitus on 1.1.1 ja 1.2.1 välillä.

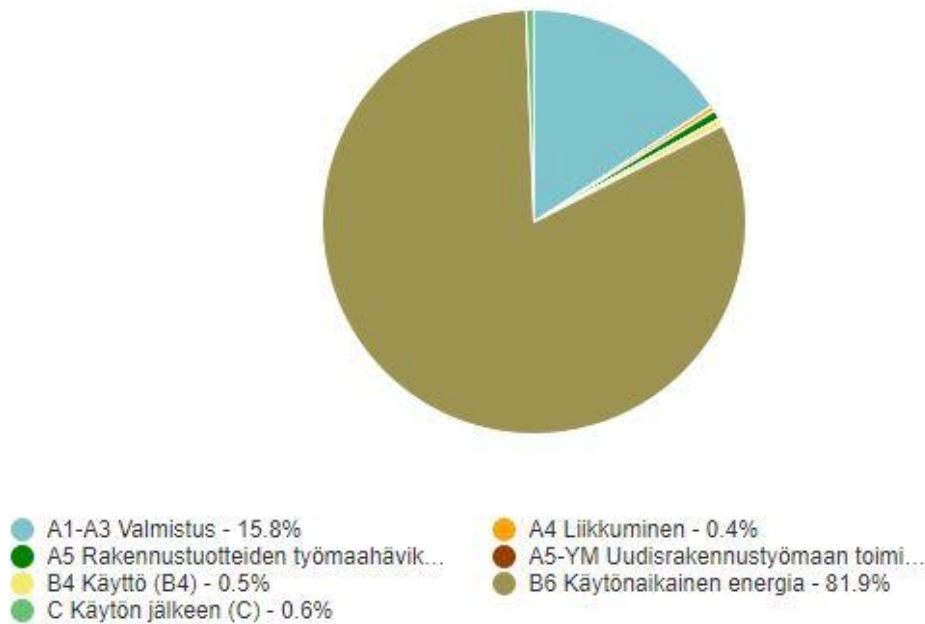
Osa-alue	GWP (pl. eloperäinen hiili) kg CO <sub>2e</sub> /m <sup>2</sup> /a	Ilmaston lämpeneminen, rakennus kg CO <sub>2e</sub> /m <sup>2</sup> /a	GWP, r-p (pl. eloperäinen hiili) kg CO <sub>2e</sub> /m <sup>2</sup> /a	Ilmaston lämpeneminen, rakennuspaikka kg CO <sub>2e</sub> /m <sup>2</sup> /a	
A1-A5 Päästövaikutukset ennen käyttöä (moduulit A1-5)	316,43	316,43	4,63	4,63	Tiedot
B4 Rakennusosien vaihto	10,42	10,42			Tiedot
B6 Energiankulutus	1 554,01	1 554,01			Tiedot
C Päästövaikutukset käytön jälkeen (moduuli C)	10,46	10,47	0,78	0,78	Tiedot
A-C Hiilijalanjälki (elinkaaren moduulien A-C summa)	1 891,33	1 891,33	5,41	5,41	Tiedot

Kuva 34. Kuitulinjan hiilijalanjälkiraportti (One Click LCA 2023).

Päästöistä merkittävimmän osan aiheuttaa betoniraudotus, josta tulee 230 kg CO<sub>2e</sub>/m<sup>2</sup>/a. Betoniraudotus muodostaa 78,3 % kaikkien materiaalien päästöistä. Raudotukselle on valittu ohjelmiston tyypilliseksi ilmoittama raudotusmateriaali, joka on vähähiilinen ja saanut vihreän luokituksen. Siitä huolimatta päästöt ovat korkeat, koska materiaalin määrä on suuri. Muiden rakennusmateriaalien vaikutus päästöihin on joitakin prosentteja. Toiseksi eniten materiaaleista päästöihin vaikuttaa rakenneteräs, jonka osuus materiaaleista on 6,4 %. Vaikka betonia on määrällisesti enemmän kuin betoniraudotusta, sen päästöt ovat pienemmät. Betonin (C35/45) päästökerroin on 179,79 kg CO<sub>2e</sub> /m<sup>3</sup>, kun taas raudotuksen päästökerroin on 3925 kg CO<sub>2e</sub> /m<sup>3</sup>. Suurimmat massat ovat säiliöperusteissa. Materiaalia ei voida kuitenkaan alkaa suunnittelemaanasti vähentää lujuusteknisistä syistä. Suuret säiliöt täytyy saada tukevien pe-

rustusten päälle, sillä säiliön kaatuminen on taloudellisen ja ympäristövahinkoriskin lisäksi hengenvaarallinen henkilöturvallisuusriski. Toki suunnitteluvaiheessa voisi tarkastella lujuuslaskemilla, onko materiaalin vähentäminen mahdollista. Rakennuspaikan päästöt ovat 5,41 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/a.

### Ilmaston lämpeneminen kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a - Elinkaaren vaiheet



Kuva 35. Ympyräkaavio elinkaaren vaiheista (One Click LCA 2023).

Elinkaaren päästöistä suurimman osan: 81,9 %, muodostaa käytönaikainen energia (kuva 35). Kuitulinjan hiilikädenjälki on -175 kg CO<sub>2</sub>e /m<sup>2</sup>/a (kuva 36). Siitä suurimman osan muodostavat sementtipohjaisten tuotteiden hiilinielut (-140 kg CO<sub>2</sub>e /m<sup>2</sup>/a). Uudelleenkäytöstä ja kierrätyksestä saatavat hyödyt ovat -34,8 kg CO<sub>2</sub>e /m<sup>2</sup>/a.

#### Hiilikädenjälkiraportti

Rakennuspaikan materiaalien päästötiedot ilmoitetaan erikseen "Ilmaston lämpeneminen, rakennuspaikka" -sarakekeessa. Rakennuspaikan materiaalit erotellaan Talo 2000-luokituksen mukaan. Rakennuspaikan päästöt sisältävät kaikki materiaalit, joiden Talo 2000-luokitus on 1.1.1 ja 1.2.1 välillä.

Osa-alue	GWP (pl. eloperäinen hiili) kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	Ilmaston lämpeneminen, rakennus kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	GWP, r-p (pl. eloperäinen hiili) kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	Ilmaston lämpeneminen, rakennuspaikka kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	
D1+D2 Uudelleenkäytöstä ja kierrätyksestä saatavat hyödyt (moduuli D)	-34,79	-34,79	-1,21	-1,21	Tiedot
D3 Ylijäävä energia					Pilota tyhjat
D4 Hiilivarasto, biogeeninen	-0	-0	0	0	Tiedot
D5 Sementtipohjaisten tuotteiden hiilinielut	-140,48	-140,48			Tiedot
D Hiilikädenjälki yhteensä	-175,27	-175,27	-1,21	-1,21	Tiedot

Kuva 36. Kuitulinjan hiilikädenjälkiraportti (One Click LCA 2023).

Kattavuuden ja luotettavuuden tarkistuksessa kuitulinja sai yleisarvosanan D (kuva 37). Ohjelmisto havaitsi poikkeavuutta muun muassa teräksen massassa keskimääräiseen samankokoiseen rakennukseen nähden, betoniraudoituksen ja valmisbetonin suhteessa ja rakennuksen massassa. Huomiot ovat realistisia, sillä kyseinen teollisuusrakennus sisältää runsaasti betonia ja betoniraudoitusta verrattuna tavanomaiseen rakennukseen. Betoniraudoituksen ja betonin suhde on poikkeuksellinen ja tieto voi pitää paikkansa, sillä teollisuusrakennukseen laitetaan enemmän rautaa, jotta rakennus kestäisi paremmin räsitystä, jota teollisuusrakennukseen kohdistuu enemmän.






LCA Checker yleisarvosana: D

LCA Checker tarkistaa toteutuneiden vaikutusten luotettavuuden. Nämä tulokset heijastavat 10950,0 m<sup>2</sup> kokoista uudisrakennus -tyypin projektia, jolla on runko-osa teräsrunko, ja jonka laajuus on perustukset ja pohjarakenteet, runko ja ulkovaippa, pintamateriaalit, ulkoalueet, talotekniikka. Näiden parametrien muokkaamiseksi avaa LCA-parametrien kysely. Tulos on tarkoitettu uskottavuuden arviointiin, ja poikkeuksia voi esiintyä.

No.	Check description	Project value	Threshold value	Typical value	Unit	Type	Käyttäjän vahvistama ?
1	Ready mix and reinforcement ratio: Concrete reinforcement / ready mix concrete ratio is unusual	140.026	1 - 7		%	✗	🔗
2	Steel mass credible (steel frame): Steel mass is unusual	4987.245	40 - 250		kg/m <sup>2</sup>	✗	🔗
3	Project mass credible (steel frame): Project mass is unusual (steel frame)	6785.715	250 - 1250		kg/m <sup>2</sup>	✗	🔗
4	Embodied carbon credible (steel frame): Embodied carbon value is unusual (steel frame)	3111.433	150 - 780		kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	✗	🔗
5	Embodied carbon credible: Embodied carbon value is unusual	3205.068	150 - 1000		kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	✗	🔗
6	Project mass credible: Project mass is unusual	9456.663	300 - 3500		kg/m <sup>2</sup>	✗	🔗
7	Services mass credible: Has no materials	0.0	greater than 2		kg/m <sup>2</sup>	✗	🔗

Kuva 37. Kuitulinjan kattavuuden ja luotettavuuden tarkistus (One Click LCA 2023).

Eniten päästöihin vaikuttava materiaali on betonirauditus, joka muodostaa peräti 78,3 % materiaalipäästöistä (kuva 38). Rauditus itsessään on saanut vihreän luokituksen, 0,496 GWP CO<sub>2</sub> /kg. Sen tehokkuusluokitus on materiaaleista 38/322. Ympäristöystävällisimmäksi vaihtoehdoksi ohjelma suositti muun muassa carbon steel reinforcement bars B500A (0,024 GWP CO<sub>2</sub> /kg), zinc coated steel wires (0,055 GWP CO<sub>2</sub> /kg) ja steel, rebar products (concrete reinforcement) (0,325 GWP CO<sub>2</sub> /kg). Toiseksi eniten päästöjä materiaaleista aiheutti rakenneteräs (6,4 %) ja kolmanneksi eniten valmisbetoni (2,2 %). Kuitenkin betonirauditus aiheuttaa merkittävimmän osan päästöistä.

Eniten vaikuttavat materiaalit (Ilmaston lämpeneminen)		Vertaile tietoa (6)		
No.	Resurssi	Vaikutukset kehdosta portille (A1-A3)	Kehdosta portille (A1-A3)	Kestävät vaihtoehdot
1.	Betonirauditus, yleinen, 97% recycled content (typical), A615 	0,23 tonnia CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	78.3 %	Näytä ympäristötehokkaita vaihtoehtoja <a href="#">Lisää vertailtavaksi</a>
2.	Rakenneteräs, keskiarvo, 7850 kg/m <sup>3</sup> , welded and coated 	19 kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	6.4 %	Näytä ympäristötehokkaita vaihtoehtoja <a href="#">Lisää vertailtavaksi</a>
3.	Valmisbetoni, normaali lujuus, yleinen, C30/37 (4400/5400 PSI), 10% (typical) recycled binders in cement (300 kg/m <sup>3</sup> / 18.72 lbs/ft <sup>3</sup> ) 	6,6 kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	2.2 %	Näytä ympäristötehokkaita vaihtoehtoja <a href="#">Lisää vertailtavaksi</a>
4.	Mitte Porras 3.4 m, vähähiilinen, 	5,1 kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	1.7 %	Näytä ympäristötehokkaita vaihtoehtoja <a href="#">Lisää vertailtavaksi</a>
5.	Deactivated ready-mix concrete (exposed aggregate concrete), for exterior floors, 1619kg/m <sup>3</sup> 	5,2 kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	1.7 %	Näytä ympäristötehokkaita vaihtoehtoja <a href="#">Lisää vertailtavaksi</a>

Kuva 38. Kuitulinjan eniten vaikuttavat materiaalit (One Click LCA 2023).

Molempien osaprosessien laskemisen lisäksi laskettiin vielä vertailukohteena kerrostalohanke. Asuntohankkeen laskenta oli huomattavasti selkeämpää ja yksinkertaisempaa kuin teollisuusprojektien. Tietomalleja oli vain muutamia, kun taas teollisuushankkeessa tietomalleja oli useita ja joissakin saattoi olla päällekkäisiä tietoja. Materiaalimäärät olivat teollisuushankkeessa suurempia. Mallit olivat yksityiskohtaisempia ja niiden laskenta oli hitaampaa. Laskentaohjeet soveltuivat paremmin asuntohankkeisiin ja ohjeiden tulkinta oli helpompaa. Asuntohankkeesta oli helppo tulkita kerrosmäärä ja pinta-aliatiedot, mikä ei ollut teollisuushankkeessa yksiselitteistä. Asuntohankkeen laskentaan meni hankkeen laajuudesta riippuen päivä tai muutamia päiviä, kun taas teollisuushankkeen laskentaan kaikkine osaprosesseineen meni ainakin näin alkuvaiheessa vähintään viikko, riippuen prosessien laajuudesta. Teollisuushankkeen tietomallit täytyy käydä tarkemmin läpi, sillä osa tiedoista ei sisälly laskentaan. Esimerkiksi prosessilaitteet sisällytettiin pois laskennasta. Teollisuushankkeen tiedoissa oli useasti elementtejä, joita One Click LCA -ohjelmistolle rakennettu informaation talteenotto ei tunnistanut ja ne piti tuoda manuaalisesti. Kerrostalohankeeseen tuonti informaation talteenotolla Exceliin onnistui suoraan ja se nopeutti tietojen käsittelyä huomattavasti.

Tulokset saa tulostettua eri muodoissa ohjelmistosta (kuva 39). Ohjelmistosta saa tuotua laskennassa käytetyt ympäristöselosteet. Ohjelmisto antaa linkin, josta EPD:t saa ladattua zip-kansiona. One Click LCA:n tulosraportin saa avattua selaimessa tai tulokset saa Excel-tiedostona. Tulosraportissa rakennusmateriaali, moduuli A-D, materiaalin määrä, rakennuksen osa ja päästö-kertoimen tietolähde. Raportti on selkeä varsinkin Excel-muodossa tarkasteltaessa.



Kuva 39. One Click LCA:n vaihtoehdot tulosten raportointiin (One Click LCA 2023).

Word-tulosraportista saa laajemman 12-sivuisen visuaalisen selvityksen päästöistä. Raportti kuvailee lasketun rakennuksen, käytetyn menetelmän, laskentaan koskevat standardit, laskentaohjelmiston ja selvittää hieman lukijalle, mitä elinkaariarvioinnilla tarkoitetaan. Lopuksi ilmoitetaan päästöt ja ne on kuvattu myös kaavioina. Raporttia voi muokata itse. Tulostajan on itse kirjattava loppuun yhteenveto tuloksista, sekä suositukset jatkotoimenpiteisiin. Raportti on hyvä esitys päästöistä asiakkaalle. Painikkeesta *Lähetä tiedot toiselle käyttäjälle*, materiaalitiedot voi lähettää sähköpostitse toiselle One Click LCA -käyttäjälle. Yritin lähettää tiedot ohjelmistosta itselleni sähköpostiin, mutta ohjelmisto ei sallinut minun avata tietoja lisenssilläni ilman pääkäyttäjän kuittausta, joten ainakaan suoraan tietoja ei saanut lähetettyä.

Tässä opinnäytetyössä saadut teollisuushankkeen laskentatulokset olivat vaihtelevia. Paremmen käsityksen saamiseksi pitäisi laskea muutkin hankkeen osaprosessit. Teollisuusrakennukset on tehty prosessin tarpeiden ja ehtojen mukaan. Tulosten suuruusluokat olivat erilaiset. Paikallavalurakenteet muodostivat paljon päästöjä. Teräsrakenteilla oli suurempi hiilijalanjälki kuin betonirakenteilla. Epätarkkuutta tietoihin voi tuoda suurten tietomäärien käsittelyn haastavuus laskennassa ja tarkistuksessa, tietomallien käsittely manuaalisesti ja osan tiedoista poissulkeminen, energiatietojen puuttuminen (arvi-

oitu laskennallisesti) ja pinta-alatietojen vaikea mitattavuus (mitattu tietomallista). Tulokset ovat kuitenkin työn ohjeilla toistettavia. Tuloksista saa suuntaa, mitä päästöt olisivat. Tuloksista myös nähdään materiaalien määrät ja eniten päästöjä aiheuttavat materiaalit. Jos tietoa tulisi myöhemmin lisää, laskentaa voi helposti muokata ja tarkentaa ohjelmistossa.

### 5.3 Ohjelmiston soveltuvuus yrityksen käyttöön

Uskon, että ohjelmisto soveltuu Fimpec PMO Oy:n käyttöön liiketoiminnassa. Ohjelmisto soveltui hyvin kerrostalohankkeen elinkaarilaskentaan, ja kohtuullisesti tehdashankkeen laskentaan. Ohjelmisto ajateltiin ottaa käyttöön yrityksen omaa päästölaskentaa sekä kaupallista Carbon Emission Management -palvelua varten ja sillä on varmasti edellytyksiä näihin tarkoituksiin. Päästölaskennan lisäksi ohjelmistossa on *Vertaile*-työkalu, jolla voidaan verrata projektin eri osien hiilijalanjälkiä keskenään. Ohjelma kertoo, kuinka monta prosenttia pienempiä tai suurempia arvot ovat vertailukohteeseen nähden. Vertailtavaksi voidaan ottaa esimerkiksi lasketun rakennuksen kaltainen vähähiilinen rakennus. On mahdollista vaihtaa materiaaleja tai tietoja helposti ja seurata muutoksen vaikutusta laskentaan tai luoda rinnakkainen kuvitteellinen rakennus ja verrata sitä. Jos halutaan laskea elinkaarikuormitusta vuotta kohti, rakennus voidaan vähähiilisten, kierrätettävien ja pitkäikäisten materiaalien valitsemisen lisäksi suunnitella pidemmälle käyttöiälle. Suunnittelussa voidaan huomioida rakennuksen muoto, lattialaattojen koko, parkkipaikkarakenteiden määrä ja rajoittaa esteettisiä rakenteita, joilla saadaan myös pienennettyä hiilijalanjälkeä. Rakennus kannattaa suunnitella monikäyttöiseksi, jolloin sitä ei välttämättä tarvitse purkaa yhden käyttötarpeen loputtua. Suunnittelun mallinusten jälkeen hiilijalanjälki voidaan melko nopeasti laskea ohjelmistolla uudestaan ja tehdä vertailua.

Tarvetta voisi olla myös pelkän hiilijalanjäljen laskennan palvelulle ilman johtamiskokulmaa. Ohjelmiston käyttö ja perehtyminen vaatii työtä. Arvioisin, että henkilöltä, jolla ei ole aiempaa kokemusta, ohjelmistoon, laskentaan ja tietojen syöttämiseen perehtyminen vaatii suuremmissa projekteissa noin kuukauden työaika. Jokaisessa kohteessa tietojen käsittely ja syöttäminen kestävät luultavasti päivän tai useamman, riippuen tietojen laajuudesta ja missä muodossa

tiedot ovat. Voi olla, että yritykset haluavat ulkoistaa tämän vaiheen. Välttämättä kaikilla yrityksillä ei ole varaa tai halua ostaa lisenssiä ohjelmistoon, mikäli laskenta tulee pakolliseksi lähivuosina. Ohjelmisto helpottaa laskentaa huomattavasti pelkkään taulukkolaskentaohjelmaan verrattuna. Tällä hetkellä ei ole lain määrittämiä rajoitteita sille, kuka elinkaarilaskentaa saa suorittaa. Jatkossa toki rajoitteita tai osaamisvaatimuksia voi tulla.

Ohjelmiston parhaita puolia ovat kohtuullinen selkeys, visuaalisuus ja yksinkertaisuus perehtymisen jälkeen, runsas koulutusmateriaali ja suomenkielisyys. Erilaisia raportointimahdollisuuksia on paljon ja ne auttavat havainnollistamaan tuloksia. Ohjelmistosta saa tulostettua kirjallisen pitkälle muotoillun raportin päästöistä. Tietokannat ovat laajat ja ohjelmisto on kansainvälinen. Erilaisia tietojensyöttömahdollisuuksia on useita ja ohjelmisto taipuu erilaisiin projekteihin.

Monipuolisuuden haasteena on se, että rakentamissektori on laaja. Osa ohjelmiston kohdista vaikuttaa huomioivan paremmin asuin- tai toimistorakentamisen kuin teollisuusrakentamisen. Ohjelmisto kysyy kaikille syötetyille kohteille kerrosmäärän, pinta-alan ja lämmitetyn nettoalan. Näiden tietojen ilmoittaminen ei ole aina helppoa teollisuuskohteissa, kun rakennettavat kappaleet saattavat olla rakennusten lisäksi erilaisia ulkosäiliöitä, kuljettimia ja varastoja. Kerrosten lukumäärän tulkitseminen ei aina ole teollisuusrakennuksissa yksiselitteistä, kun rakennukset voivat olla korkeitakin ja niissä voi olla useita puolikkaita tasoja tai esimerkiksi ritilätasoja, ei kuitenkaan kerroksia. Tietoja syötettäessä rakennus- ja purkamisvaiheeseen ohjelmisto kysyy skenaarioita. Skenaariot tulevat CO<sub>2</sub>-data-päästötietokannasta. Valittavana skenaarioihin on ainoastaan toimistorakennus, asuinrakennus ja koulu tai päiväkotit. One Click LCA-ohjelmiston tuki neuvoi kysyttäessä valitsemaan useimmiten näihin kohtiin toimistorakennuksen. Kuitenkin toimistorakennus eroaa huomattavasti teollisuusrakennuksesta.

Mielestäni laskennan suurin heikkous on tietojen tarkistamisen vaikeus, mikä on ajoittain mahdotonta. Materiaalitietojen dataa käsitellään suurissa projekteissa valtavina määrinä. Tietomalleista tuoduissa tiedoissa oli yhtä osaprosessin osiota kohti jopa satatuhatta riviä Excel-dataa. Näiden tarkistaminen ja läpikäyminen on vaikeaa, jos halutaan selvittää, mikä rivi tuli mistäkin ja

ovatko tiedot varmasti oikein. Manuaalista tietojen käsittelyä vaadittiin jonkin verran ennen ohjelmistoon syöttämistä, sillä kaikki tietomalleissa olleet kappaleet eivät sisältyneet laskentaan. Tässä vaiheessa voi helposti tulla virheitä, eikä niitä ole helppo huomata suuresta datamäärästä. Tiedot syötettiin Excelinä ohjelmistoon, minkä jälkeen ohjelmisto ryhmitteli tiedot ilmoittamiensa kriteerien mukaan, sillä laskentaan mahtuu 500 datapistettä kerrallaan. Ryhmittelyn jälkeen 100 000 riviä saattoi kutistua alle sataan datariviin. Tämän jälkeen oli hyvin vaikea tarkistaa, olivatko kaikki tiedot tulleet oikein. Toki ohjelmistoon voi luottaa ja olettaa kaikkien rivien tulleen mukaan laskentaan.

Mielestäni ohjelmiston olisi hyvä ilmoittaa, minkä nimisestä Excel-taulukosta tieto on tuotu ja sen pitäisi lukea ohjelmistossa niin kauan kuin data on siellä. Näin ohjelma ei kuitenkaan tee, vaan tietojen syöttämisen jälkeen ei voi mitenkään nähdä, minkä nimisestä Excel-taulukosta tieto on tuotu. Tämä voi olla ongelma. Esimerkiksi olin edellisenä päivänä syöttänyt Excel-taulukon ohjelmistoon ja syötin seuraavana päivänä uuden taulukon, joka kuului samaan prosessiin ja valitsin, että tiedot lisätään olemassa oleviin tietoihin. Rivejä näytti olevan melko vähän tietomäärään nähden, ja olisin halunnut tarkistaa, onko tiedot varmasti lisätty enkä ole valinnut vahingossa päällekirjoitustoimintoa. Tällainen tarkistaminen ei onnistu ohjelmistolla. En pystynyt näkemään mistään, mitkä Excel-taulukot olen syöttänyt järjestelmään ja ryhmittelyn takia tietojen tarkastaminen on hyvin vaikeaa. Esimerkiksi jos on tarkoitus syöttää kokonaisuuteen viisi eri Excel-taulukkoa tietoineen, käyttäjän on itse pidettävä kirjaa, mitkä taulukot on syötetty, sillä ohjelmistosta ei voi tarkistaa syötettyjen taulukoiden nimiä tai määriä. Materiaalitietojen siirtely oli aluksi haastavaa, mutta selvisi, että maalaamalla materiaalit niitä pystyi siirtämään yhdessä, jolloin tietojen käsittely helpottui.

Ohjelmiston tulososiossa on nähtävillä luotettavuuden tarkistus, jossa ohjelmisto vertaa syötettyjä materiaaleja samankokoiseen ja saman runkomateriaalin uudisrakennukseen. Se jakaa materiaalit perustuksiin ja pohjarakenteisiin, runkoon ja ulkovaippaan, pintamateriaaleihin, ulkoalueisiin ja talotekniikkaan ja vertaa vastaavatko syötetyt määrät normaalin rakennuksen määriä. Luotettavuustestin avulla voidaan huomata esimerkiksi, jos jokin osio on kokonaan jäänyt syöttämättä tai määrät ovat muuten poikkeavia. Toki teollisuusra-

kennukset eroavat asuinrakennuksista huomattavasti, joten tuloksia ei välttämättä voi vertailla. Kuitenkin luotettavuuden tarkistus voi auttaa löytämään virheitä ja tarkistamaan syötettyjä tietoja.

Muita ohjelmiston heikkouksia oli se, että datapisteiden laajuudesta huolimatta oli kohteita, joita ei löytynyt järjestelmästä tai vaihtoehdot olivat suppeita. Esimerkiksi ilmanvaihtokanavaa oli saatavissa pyöreänä, muttei kantikkaana. Toisaalta tietopisteitä tulee jatkuvasti lisää järjestelmään, ja Suomen tiedot pohjautuvat suomalaiseen päästötietojärjestelmään. Mikäli oman maan tiedoista ei löydy sopivaa kohdetta, on mahdollista valita myös muiden maiden tietojärjestelmien kohteita. Pienet yksityiskohdat eivät vaikuta suuriin kokonaisuuksiin, vaikka tietolähde ei olisikaan täsmälleen alkuperäisen kaltainen.

Ohjelman kapasiteetti on rajallinen, ja välillä se ei jaksanut lisätä samaan projektiin useampaa Excel-taulukkoa vaan antoi virhekoodin. Tällöin osaprosessi oli pilkottava pienempiin osiin ja tuotava osat omina suunnitelminaan, jotta ohjelma jaksoi käsitellä datamäärät. Ohjelmiston käyttö vaatii jonkin verran rakennustekniikan tuntemista ja ymmärrystä siitä, mitä valitut materiaalit ovat. Tietoja käsin tuotaessa on valittavana runsaasti erilaisia rakennustekniikan materiaaleja, ja maallikko saattaa helposti valita väärän materiaalin. Jos tiedot tuodaan Excelistä, kaikkien tietojen automaattinen luokittelu ei usein onnistu ja luokittelemattomat tiedot valitaan käsin. Maallikolle saattaa esimerkiksi tiedolla ”eriste” tai ”palkki” olla hyvin vaikea valita oikeaa vaihtoehtoa satojen joukosta. Netin avulla ja materiaaleihin perehtymällä varmasti kokematonkin oppii löytämään oikeat vaihtoehdot. Varsinkin jos halutaan kehittää *Carbon Emission Management* -palvelua, palvelun kehitys vaatii rakennusalan insinööriosaimista.

Tulosten tarkkuuksia voi heikentää sementtipohjaisten tuotteiden käsin laskeminen. Ohjelmisto kysyy sementtipohjaisten tuotteiden määrän kilogrammoina betonin karbonatisaation laskentaa varten, jonka käyttäjä itse laskee ja ilmoittaa. Mielestäni olisi hyvä, jos ohjelmisto osaisi itse laskea sementin määrän syötetyistä materiaaleista. Joissakin materiaaleissa saattaa olla vain osa sementtiä, ja sementin laskeminen käsin sekä tilavuuden muuntaminen painoksi on työlästä ja voi lisätä virheiden määrää. Jos materiaalitietoja muutetaan tai

materiaalia lisätään, sementtipohjaisten tuotteiden määrä pitää muistaa laskea uudestaan. Automaattinen laskenta vähentäisi virheiden mahdollisuutta.

Ohjelmisto ei huomioi rakennusvuodenaikaa. Viileissä maissa, kuten Suomessa, talviaika lisää rakentamisen kustannuksia ja hiilijalanjälkeä. Talvirakentaminen lisää työmenekkiä, rakennusmateriaalien kulutusta ja viivästyttää rakentamista (Koskenvesa s.a.). Myös lämmitykseen kuluu runsaasti energiaa. One Click LCA ei kysy rakennusajankohtaa, koska talviajan lisääntyvät päästöt olisi varmasti hyvin vaikea huomioida yleismaailmallisesti. Vuodenajan vaikutus päästöihin riippuu kyseisen vuoden lämpötilasta ja sääoloista, rakennushankkeesta ja rakentaessa tehdyistä ratkaisuksista. Ohjelmisto kysyy rakennusvaiheessa käytettyä energiaa tarkasti. Pyydetyissä tiedoissa on sähkönkulutus rakentaessa ja työmaan kaukolämmön sekä polttoaineen kulutus. Lämmityksen ja kuivatuksen vaikutus näkyy energiankulutuksessa. Materiaalitietoihin on mahdollista lisäksi syöttää tuulensuojalevy, mutta sääsuojia tai suoja- peitteitä rakenteille ja koneille ei ole mahdollista valita. Ympäristöministeriön Rakentamisen vähähiilisyyden arviointimenetelmän mukaan suojaukset jätetäänkin elinkaariarvioinnin ulkopuolelle.

Tässä työssä oli haastavaa saada kohteen energiatietoja, joihin kuuluu työmaan energiankulutus sekä kohteen ostoenergiankulutus eriteltynä. Tietomallit löytyivät yrityksen omasta järjestelmästä, mutta työmaan energiankulutusta jouduttiin kysymään puunjalostuslaitoksen yhteyshenkilöiltä. Tiedot on mahdollista saada, mutta niiden kasaaminen on työlästä ja aikaa vievää, kun tiedon tarpeeseen ei ollut voitu varautua. Samoin ostoenergiankulutustietoja oli vaikea saada. Jatkossa palvelua kehitettäessä osataan varautua paremmin näiden tietojen hankintaan ja niitä voidaan pyytää asiakkailta muiden rakennuksen tietojen yhteydessä.

## 6 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä saatiin laskettua One Click LCA -elinkaarimallinnusohjelmiston avulla puunjalostuslaitoksen puunkäsittelyn ja kuitulinjan osaprosessit sekä tutkittua ohjelmiston soveltuvuutta Fimpec PMO Oy:n käyttöön. Puunkäsittelyn hiilijalanjäljen GWP oli 204 kg CO<sub>2e</sub> /m<sup>2</sup>/a ja hiilikädenjälki -89 kg CO<sub>2e</sub> /m<sup>2</sup>/a. Noin puolet päästöistä tuli laskennallisesta energiankulutuksesta ja puolet moduuleista A1-5 eli valmistuksesta ja rakentamisesta. Materiaalien valmistuksen osuus päästöistä oli 41 %. Kuitulinjan GWP oli 1891 kg CO<sub>2e</sub> /m<sup>2</sup>/a ja hiilikädenjälki -175 kg CO<sub>2e</sub> /m<sup>2</sup>/a. Moduuleista A1-5 tuli päästöjä 316 kg CO<sub>2e</sub> /m<sup>2</sup>/a (17 %) ja energiankulutuksesta 1554 kg CO<sub>2e</sub> /m<sup>2</sup>/a (82 %). Kuitulinjan hiilijalanjälki oli suurempi kuin puunkäsittelyn. Suurin osa kuitulinjan päästöistä tuli säiliöperustuksista ja erityisesti betonirauδοoituksista. Betonirauδοoituksen osuus materiaalien päästöistä oli 78,3 %. Suunnittelussa voisi tarkastella mahdollisuuksia käyttää vihreämpää terästä, vähentää rakennusmateriaalia, tehdä pienempiä säiliöitä tai mahdollisesti muuttaa säiliön muotoa.

Tulosten vertailu oli haasteellista, sillä Suomessa ei vielä ole raja-arvoja päästöille. Tehdashankkeen laskennan avulla voidaan muodostaa baseline eli lähtötaso yrityksen myöhempää päästölaskentaa varten. Varsinkin teollisuusrakentamisesta on tehty vähän tutkimusta ja ohjeita, ja suurin osa ohjeista soveltui paremmin asuin-, julkiseen tai toimistorakentamiseen. Näitä rakennuksia rakennetaan enemmän kuin teollisuusrakennuksia. Lisäksi teollisuusrakentamisessa rakentamisen päästöt ovat yleensä melko pienet prosessin päästöihin verrattuna. Teollisuusrakentamisesta ja tehtaan käytöstä saadaan muita hyödykkeitä, minkä vuoksi rakennuksia halutaan tehdä päästöistä huolimatta. Mahdollisia virhelähteitä laskennassa olivat suurten tietomäärien käsittely ja syötettyjen materiaalien sekä tulosten vaikea tarkistettavuus, pinta-alan ja kerros määrän tulkitsemisen vaikeus, kun ohjeet soveltuivat paremmin asuinrakentamiseen, joidenkin materiaalien puuttuminen ohjelmiston tietokannasta ja energiatietojen puute (arvioitu laskennallisesti).

Ohjelmisto on soveltuva Fimpecin liiketoimintakäyttöön teollisuusrakentamisessa, mutta joitakin haasteita ilmeni. Mikäli elinkaarilaskenta tulee pakolliseksi tulevaisuudessa, One Click LCA on oivallinen ohjelmisto laskennan tekemiseen. Suoraan teollisuusrakentamiseen suunnattuja ohjelmistoja en löytänyt etsimällä. Ohjelmisto on visuaalinen ja selkeä. Tulosten raportointimahdollisuudet ovat laajat ja ohjelmistosta saa suoraan tulostettua asiakkaalle kattavan selostuksen elinkaariarvioinnista sekä laskelmien tuloksista. Koulutusmateriaalia on runsaasti saatavilla, ja One Click LCA:n oma tuki vastaa kysymyksiin nopeasti. Ohjelmistoon on rakennettu mahdollisuuksia eri rakennusmateriaalien vertailuun ja ohjelmisto itse ehdottaa vähäpäästöisempiä materiaaleja. Vertailuosiossa on huomioitu myös elinkaarikustannuslaskenta (edellyttää lisenssin ostamista). Päästölaskenta voidaan tehdä Carbon Designer -lisäosan avulla jo aivan suunnittelun alkuvaiheessa olevalle rakennukselle kohtuullisen nopeasti.

Ohjelmiston käytön haasteita on, ettei sitä ole ensisijaisesti tarkoitettu teollisuusrakentamiseen, jolloin ohjeiden seuraaminen vaikeutuu. Esimerkiksi pinta-alan ja kerroslukumäärän tulkitseminen voi olla haastavaa, samoin sen tulkitseminen, mitkä laitteet ja osat tietomalleista sisällytetään laskentaan. Teollisuusrakennusten tietomalleja voi olla paljon ja tietorivejä runsaasti, mikä vaikeuttaa datan käsittelyä eikä kaikkia tietoja saa välttämättä suoraan tuotua One Click LCA -lisäosan avulla ohjelmaan. Ohjelmistolla on vaikea käsitellä suuria tietomääriä ja jäljittää jälkikäteen, mistä materiaalit on tuotu. Laskentaa varten työmaan kuluttama energia ja rakennuksen käytönaikainen energia tulee olla tarkkaan tiedossa. Ohjelmiston laadukas käyttö edellyttää rakennusteknistä osaamista, esimerkiksi eri rakennusmateriaalien luonteen ymmärtämistä. Teollisuusrakentamisen tulosten tarkastaminen vertailu voi olla haasteellista, sillä tulosten arvot vaihtelevat. Rakennukset palvelevat prosessin tarpeita, eikä niiden suunnittelu ole yhtä kaavamaista kuin asuinrakennusten. Ohjelmiston avulla on kuitenkin mahdollista helposti löytää eniten päästöjä aiheuttavat materiaalit, niille vähäpäästöisemmät vastineet ja kehittää rakennusta vähähiilisemmäksi.

Jatkossa tulisi laskea muutkin puunjalostuslaitoksen osaprosessit baselinen muodostamiseksi. Seuraavassa vaiheessa voisi selvittää, olisiko One Click

LCA:n käyttö sujuvampaa, jos tieto tuotaisiin tietomalleista muiden ohjelmistojen, kuten SimpleBimin avulla. Lisäksi kun Solibrin One Click LCA -lisäosa julkaistaan, siihen tulisi perehtyä paremmin. Sen avulla voi olla mahdollista nopeuttaa materiaalitietojen siirtoa ja vähentää virheiden määrää välivaiheiden vähentyessä. Lisäksi varsinkin pienemmissä projekteissa voisi yrittää soveltaa määräluetteloja tietojen tuomiseen. Nyt materiaalitiedot tuotiin tietomalleista. One Click LCA on rakentamiseen suunnattu ohjelmisto ja siinä on laaja tietokanta, mutta myös muiden elinkaarilaskentaohjelmistojen soveltuvuutta teollisuushankkeen laskentaan voisi tarkastella. Suomen vähähiilisen rakentamisen ohjeistus varmasti kehittyy jatkossa, kun uudet rakentamismääräykset astuvat voimaan ja päästöjen raja-arvot julkaistaan. Uskon, että ohjelmiston avulla voidaan saavuttaa merkittävää hyötyä teollisuusrakennusten hiilijalanjäljen pienentämisessä ja päästä kohti ympäristöystävällisempää rakentamista. On hienoa, että ratkaisuja tehdään puhtaamman rakentamisen eteen ja yritykset sekä yksilöt pyrkivät toiminnallaan vähentämään päästöjä. One Click LCA:n kaltaiset elinkaarimallinnusohjelmistot ja niitä rohkeasti käyttävät yritykset ovat oikealla reitillä hiilineutraaliuteen pääsemiseksi.

## LÄHTEET

- Bionova Oy. 2017. Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa. Ympäristöministeriö. PDF-dokumentti. Saatavissa: [Tiekartta-rakennuksen-elinkaaren-hiilijalanjaljen-huomioonottamiseksi-rakentamisen-ohjauksessa-{4B3172BC 4F20 43AB AA62 A09DA890AE6D}-129197.pdf \(ym.fi\)](#) [viitattu 2.6.2023].
- EU:n neuvosto. 2022. Neuvosto sopimukseen hiilirajamekanismista (CBAM). Euroopan unionin neuvoston lehdistötiedote. Saatavissa: [Neuvosto sopimukseen hiilirajamekanismista \(CBAM\) - Consilium \(europa.eu\)](#) [viitattu 2.6.2023].
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2008/98 EY.
- FIGBC. 2022. Vähähiilisen rakentamisen vuosiseminaarin 2022 kooste. Green Building Finland ry. Internetsivut. Päivitetty 6.4.2022. Saatavissa: <https://figbc.fi/vahahiilisen-rakentamisen-vuosiseminaarin-2022-kooste/> [viitattu 27.7.2023].
- Häkkinen, T. & Kuittinen, M. 2020. Kohti vähähiilistä rakentamista: opas arviointiin ja suunnitteluun. Helsinki: Rakennustieto Oy. E-kirja. Saatavissa: [Kohti vähähiilistä rakentamista: opas arviointiin ja suunnitteluun | Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu | Xamk Kaakkuri \(finna.fi\)](#) [viitattu 15.5.2023].
- Hämäläinen, J. 2012. Rakennustyömaan energiatutkimus. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.rt.fi/globalassets/rakentamisen-kehittaminen/rakennustyomaan-energiatutkimus.pdf> [viitattu 21.7.2023].
- Ilmastorahasto Oy. 2022. Ilmastorahasto Oy:n päästövähennyspotentiaalilaskenta. WWW-dokumentti. Päivitetty 15.3.2022. Saatavissa: <https://www.ilmastorahasto.fi/wp-content/uploads/Ilmastorahasto-paastovahennyspotentiaali-2022.pdf> [viitattu 8.5.2023].
- Jätelaki s.a. Ympäristöministeriö. Jätelaki ja asetukset – mikä muuttui, miten toimin? Ympäristöministeriön verkkosivut. Saatavissa: <https://ym.fi/jatteet/jatelaki> [viitattu 15.7.2023].
- Jäväjä, P. & Lehtoviita, T. 2016. Tietomallintaminen talonrakennustyömaalla. Helsinki: Rakennustieto Oy. E-kirja. Saatavissa: <https://kaakkuri.finna.fi/Record/kaakkuri.226477?sid=2972301018> [viitattu 17.5.2023].
- Keskisalo, M. & Matveinen, M. 2020. Opas rakennushankkeiden päästöjen hallintaan. Karelia-ammattikorkeakoulun julkaisuja B: 67. Joensuu: Karelia-ammattikorkeakoulu. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://sio.fi/app/uploads/2021/05/B67\\_Rakennushankkeiden\\_paastojenhallinta.pdf](https://sio.fi/app/uploads/2021/05/B67_Rakennushankkeiden_paastojenhallinta.pdf) [viitattu 4.7.2023].

Klöppfer, W. & Grahl, B. 2014. Life Cycle Assessment (LCA): A Guide to Best Practice. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. E-kirja. Saatavissa: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/xamk-ebooks/detail.action?docID=1658826> [viitattu 11.5.2023].

KnowPap. s.a. Paperinvalmistuksen oppimisympäristö. Internetsivusto. Saatavissa: [KnowPap – paperitekniikan ja tehtaan automaation oppimisympäristö](#) [viitattu 2.6.2023].

KnowPulp. s.a. Sellunvalmistuksen oppimisympäristö. Internetsivusto. Saatavissa: <https://www.knowpulp.com/> [viitattu 2.6.2023].

Koskenvesa, A. s.a. Talvirakentaminen. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://docplayer.fi/1264912-Talvirakentaminen-dipl-ins-anssi-koskenvesa.html#show\\_full\\_text](https://docplayer.fi/1264912-Talvirakentaminen-dipl-ins-anssi-koskenvesa.html#show_full_text) [viitattu 8.6.2023].

Lounasheimo, J. 2019. Mitä kuntien alue-, kulutus- ja käyttöperusteiset kasvihuonekaasupäästöt meille kertovat? Hiilineutraalisuomi.fi. WWW-dokumentti. Saatavissa: [Alue-, kulutus- ja käyttöperusteiset kasvihuonekaasupäästöt \(hiilineutraalisuomi.fi\)](#) [viitattu 8.5.2023].

Motiva. s.a. Rakennustyömaan energiakysymyksiä Olli Teriö. Tampereen teknillinen yliopisto. Diaesitys. Saatavissa: [PowerPoint Presentation \(motiva.fi\)](#) [viitattu 21.7.2023].

One Click LCA. 2020. Environmental Product Declaration. E-kirja. Saatavissa: <https://www.oneclicklca.com/wp-content/uploads/2021/03/EPD-Ebook-UPDA-TED-310821-revised-1.pdf> [viitattu 9.5.2023].

One Click LCA. 2021. Life Cycle Assessment for Buildings. E-kirja. Saatavissa: <https://oneclicklca.drift.click/building-lca-ebook> [viitattu 9.5.2023].

One Click LCA. 2021b. Carbon Footprint Limits for Common Building Types. E-kirja. Saatavissa: [https://mrluudistus.fi/wp-content/uploads/2021/01/Bionova\\_MinEnv\\_Finland\\_embodied\\_carbon\\_limit\\_values\\_report\\_FINAL\\_19JAN2021\\_ed.pdf](https://mrluudistus.fi/wp-content/uploads/2021/01/Bionova_MinEnv_Finland_embodied_carbon_limit_values_report_FINAL_19JAN2021_ed.pdf) [viitattu 21.7.2023].

One Click LCA. 2023. One Click LCA. WWW-sivusto. Saatavissa: <https://www.oneclicklca.com/fi/rakennushankkeisiin/> [viitattu 8.5.2023].

Rintamäki, E. 2016. Rakennusten rakentamisvaiheen energiankulutus. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta. Kandidaatintyö. PDF-dokumentti. Saatavissa: [Emilia Rintamäki - Kandidaatintyö.pdf \(lut.fi\)](#) [viitattu 21.7.2023].

SFS-EN ISO 14020:2023. Environmental statements and programmes for products. Principles and general requirements.

SFS-EN ISO 14040:2006 + A1:2020. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet.

SFS-EN ISO 14044:2006 + A1:2008 + A2:2020. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja suuntaviivoja.

SFS-EN 15804:2012 + A2:2019. Kestävä rakentaminen. Rakennustuotteiden ympäristöselosteet. Laadinnan yleissäännöt.

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

Stripple, H. 2001. Life Cycle Assessment of Road: A Pilot Study for Inventory Analysis. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1550976/FULLTEXT01.pdf> [viitattu 11.5.2023].

CO2-data. 2023. Rakentamisen päästötietokanta. Ympäristöministeriö. WWW-sivusto. Päivitetty 12.6.2022. Saatavissa: <https://co2data.fi/rakentaminen/> [viitattu 19.5.2023].

Sustainability Guide. 2018. Life Cycle Assessment. EcoDesignCircle. WWW-sivusto. Saatavissa: <https://sustainabilityguide.eu/methods/life-cycle-assessment/> [viitattu 9.5.2023].

Swedish National Board of Housing, Building and Planning. 2023. Limit values for climate impact from buildings. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.boverket.se/en/start/publications/publications/2023/limit-values-for-climate-impact-from-buildings/> [viitattu 24.7.2023].

United States Environmental Protection Agency – EPA. 2023. Understanding Global Warming Potentials. Päivitetty: 18.4.2023. WWW-sivusto. Saatavissa: <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials> [viitattu 11.5.2023].

Vanhanen, J. 2022. Miten rakennushankkeen hiilidioksidipäästöjä voidaan vähentää tehokkaasti? Raksystems. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://raksystems.fi/ajankohtaista/miten-rakennushankkeen-hiilidioksidipaastoja-voidaan-vahentaa-tehokkaasti/> [viitattu 8.5.2023].

Väylävirasto. 2020. Mikä on tietomalli? WWW-sivu. Päivitetty: 12.11.2020. Saatavissa: <https://vayla.fi/palveluntuottajat/inframallit/mika-on-tietomalli-> [viitattu 9.5.2023].

Ympäristöministeriö. 2019. Rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmä. Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:22. Helsinki: Ympäristöministeriö. E-kirja. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-029-3> [viitattu 19.5.2023].

Ympäristöministeriö. 2021. Rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmä 2021. Luonnos lausuntokierrosta varten. Helsinki: Ympäristöministeriö. PDF-dokumentti. Saatavissa: [file:///C:/Users/mari.sippu/Downloads/Arviointimenetelm%C3%A4%202021%20lausuntokierrokselle%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/mari.sippu/Downloads/Arviointimenetelm%C3%A4%202021%20lausuntokierrokselle%20(1).pdf) [viitattu 7.6.2023].

Ympäristöministeriö. 2022. Johdatus rakennusten elinkaariarviointiin. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://elinkaarilaskenta.fi/wpcontent/uploads/sites/6/2019/08/johdatus\\_rakennusten\\_elinkaariarviointiin.pdf](https://elinkaarilaskenta.fi/wpcontent/uploads/sites/6/2019/08/johdatus_rakennusten_elinkaariarviointiin.pdf) [viitattu 15.7.2023].

Ympäristöministeriö. 2023. Eduskunta hyväksyi rakentamisen päästöjä pienentävät ja digitalisaatiota edistävät lait. Ympäristöministeriön tiedote. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ym.fi/-/eduskunta-hyvakysi-rakentamisen-paastoja-pienentavat-ja-digitalisaatiota-edistavat-lait> [viitattu 9.5.2023].

Ympäristöministeriö. s.a. Level(s) – rakennusten resurssitehokkuuden yhteiset EU-mittarit. Ympäristöministeriön verkkosivut. Saatavissa: [Levels - Rakennusten resurssitehokkuuden mittarit - Ympäristöministeriö](#) [viitattu 6.6.2023].

Ympäristövaliokunta. 2023. Hallituksen esitys eduskunnalle rakentamislainsäädännön muuttamisesta ja siihen liittyviksi laeiksi. Valiokunnan mietintö YmVM 27/2022 vp. WWW-dokumentti. Päivitetty 3.5.2023. Saatavissa: [https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/Mietinto/Sivut/YmVM\\_27+2022.aspx](https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/Mietinto/Sivut/YmVM_27+2022.aspx) [viitattu 9.5.2023].

## LIITTEET

Taulukko 3. Yhteenveto vähähiilisyden arvioinnin menetelmästä ja rajauksista Ympäristöministeriön Rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmän 2021 mukaan.

Vähähiilisyden arvioinnin menetelmä ja rajaukset		
Arvioitavat hankkeet	Uudisrakentaminen, laajamittaiset korjaukset	
Arvioitavat rakennustyypit	1–2 Asuinrakennus 3 Toimisto ja terveyskeskus 4 Liikerakennus, teatteri, kirjasto, museo 5 Majoitusliikerakennus, hotelli, asuntola, palvelutalo, vanhainkoti, hoitolaitos 6 Opetusrakennus ja päiväkoti 7 Liikuntahalli (lukuun ottamatta uimahallia ja jäähallia) 8 Sairaala 9 Muu rakennus	
Arvioitavat rakennusosat	<i>Arvioidaan</i>	<i>Ei arvioida</i>
Alueosat	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maaosat</li> <li>- Tuennat</li> <li>- Päälysteet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Raivaukset, kaivannot ja kanaalit</li> <li>- Alueen varusteet</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alueen rakenteet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tuotteiden pakkaukset</li> <li>- Uuden rakennuksen tieltä purettavat rakenteet tai rakennukset</li> <li>- Kasvillisuus, maaperä ja vesistö</li> </ul>
<b>Rakennusosat</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perustukset</li> <li>- Alapohja</li> <li>- Runko</li> <li>- Julkisivut, ovet ja ikkunat</li> <li>- Ulkotasot ja parvekkeet</li> <li>- Kattorakenteet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tuotteisiin kuulumattomat erilliset naulat, ruuvit, liimat, tiivisteet, saumat ja muut kiinnikkeet</li> <li>- Savunpoistorakenteet</li> <li>- Tuotteiden pakkaukset</li> </ul>
<b>Tilaosat</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jako-osat (väliseinät, ovet, portaat)</li> <li>- Tilapinnat (lattiat, sisäkatot, seinät) pintakäsittelyineen</li> <li>- Tilavarusteet (kiintokalusteet, keittiölaitteet)</li> <li>- Hormit ja tulisijat</li> <li>- Tilaelementit (mm. kylpyhuonemuodulit)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Listat ja kulmavahvikkeet</li> <li>- Kaiteet</li> <li>- Tilaopasteet</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tuotteisiin kuulumattomat erilliset naulat, ruuvit, liimat, tiivisteet, saumaukset ja muut kiinnikkeet</li> <li>- Tuotteiden pakkaukset</li> </ul>
<b>Talotekniikka</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lämmitysjärjestelmän pääosat</li> <li>- Vesi- ja viemärijärjestelmän pääosat</li> <li>- Ilmastointijärjestelmän pääosat</li> <li>- Jäähdytysjärjestelmän pääosat</li> <li>- Sprinklerijärjestelmän pääosat</li> <li>- Sähköjärjestelmän pääosat</li> <li>- Hissit ja liukuportaat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tietotekniset järjestelmät</li> <li>- Taloautomaation järjestelmät</li> <li>- Varavirtajärjestelmät</li> <li>- Erilliset koneet ja laitteet</li> <li>- Tuotteiden pakkaukset</li> </ul>
<b>Arvioinnin tarkkuus</b>	<p>Voit jättää arvioinnin ulkopuolelle enintään yhden painoprosentin arviointiin sisältyvistä rakennusosista.</p>	

<b>Taulukkoarvojen käyttö</b>	Voit käyttää kansallisessa päästötietokannassa olevia taulukkoarvoja helpottamaan rakennusosien arviointia.
<b>Arviointijakso</b>	50 vuotta tai tavoitekäyttöikä (jos käytetty suunnittelun lähtökohtana)

Taulukko 4. Arvioitavat elinkaaren vaiheet ja arvioinnissa käytettävät tiedot Ympäristöministeriön Rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmän 2019 mukaan.

<b>Arvioitavat elinkaaren vaiheet ja arvioinnissa käytettävät tiedot</b>		
<b>Ennen käyttöä</b>	<b>Arviointi</b>	<b>Käytettävät tiedot</b>
A1–3 Tuotteiden valmistus	+ Arvioidaan	Vain hankekohtaiset tiedot
A4 Kuljetukset työmaalle	+ Arvioidaan	Hankekohtaiset tiedot tai taulukkoarvot
A5 Rakentaminen	+ Arvioidaan	Hankekohtaiset tiedot tai taulukkoarvot
<b>Käytön aikana</b>	<b>Arviointi</b>	<b>Käytettävät tiedot</b>
B1 Tuotteiden käyttö	- Ei arvioida	
B2 Ylläpito	- Ei arvioida	
B3–4 Korjaukset ja vaihdot	+ Arvioidaan	Hankekohtaiset tiedot tai taulukkoarvot
B5 Laajamittaiset korjaukset	Oma erillinen arviointi	
B6 Energian käyttö	+ Arvioidaan	Vain hankekohtaiset tiedot
B7 Veden käyttö	- Ei arvioida	
<b>Käytön jälkeen</b>	<b>Arviointi</b>	<b>Käytettävät tiedot</b>
C1 Purkutyöt	+ Arvioidaan	Hankekohtaiset tiedot tai taulukkoarvot
C2 Kuljetukset käsittelyyn	+ Arvioidaan	Hankekohtaiset tiedot tai taulukkoarvot
C3 Jätteenkäsittely	+ Arvioidaan	Hankekohtaiset tiedot tai taulukkoarvot

C4 Loppusijoitus	+ Arvioidaan	Hankekohtaiset tiedot tai taulukkoarvot
<b>Arvioinnin toteutus ja tarkistus</b>		
Tietokanta	Kansallinen päästötietokanta.	
Työkalu	Ei määritelty. Tulee olla yhteensopiva arviointimenetelmän kanssa.	
Pätevyysvaatimukset	Ei määritelty. Vaatimukset kehitteillä.	
Tulosten tarkistus	Ei määritelty. Vaatimukset kehitteillä.	

Taulukko 5. Elinkaaren eri vaiheiden päästöjen taulukkoarvot Ympäristöministeriön Rakennuksen vähähiilisyiden arviointimenetelmän 2019 mukaan.

Tyypilliset päästöt (kgCO <sub>2</sub> e /m <sup>2</sup> )		
A1–3 Valmistus		(lasketaan aina hankekohtaisin tiedoin)
A4 Kuljetus työmaalle	10,20	Keskimääräinen kuljetusetäisyys Suomessa
A5 Uudisrakennustyömaan toiminnot	27,30	Työmaan energian ja polttonesteiden kulutus
B3–4 Korjausten energiankulutus	2,16	Materiaalien valmistus arvioitava erikseen
B6 Energian käyttö		(lasketaan aina hankekohtaisin tiedoin)
C1 Purkutyömaan toiminnot	7,80	Työmaan energian ja polttonesteiden kulutus
C2 Kuljetus jatkokäsittelyyn	10,20	Keskimääräinen kuljetusetäisyys Suomessa
C3–4 Jätteenkäsittely ja loppusijoitus	15,60	
Yhteensä	73,26	kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>

Taulukkoarvot on kerätty keskiarvoina Suomen rakennusten elinkaaren hiilijalanjälkilaskelmista. Keskiarvoihin on lisätty 20 % epävarmuuskerroin. Tulokset jaetaan rakennuksen käyttöiälle (kgCO<sub>2</sub>e /m<sup>2</sup>/a). (Ympäristöministeriö 2019.)



Taulukko 7. Uudisrakennuksen vähähiilisyden raportoinnin vähimmäissisältö Ympäristöministeriön Rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmän 2019 mukaan.

<b>Uudisrakennuksen vähähiilisyden raportoinnin vähimmäissisältö</b>	
<b>Arviointikohteen perustiedot</b>	
<b>Rakennuskohteen tiedot</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rakennustunnus</li> <li>- Osoite</li> <li>- Rakennustyyppi</li> <li>- Rakennusvuosi (suunniteltu)</li> </ul>
<b>Rakennuksen tekniset tiedot</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kerrosala</li> <li>- Kerrosten lukumäärä</li> <li>- Kellarikerrosten lukumäärä</li> <li>- Pääasiallinen runkomateriaali</li> <li>- Energialuokka ja laskennallinen ostoenergian kulutus</li> </ul>
<b>Elinkaariarvioinnin tulokset</b>	
<b>Päästövaikutukset ennen käyttöä (moduulit A1–A5)</b>	+ xxx kgCO <sub>2e</sub> /m <sup>2</sup> /a
<b>Päästövaikutukset käytön aikana (moduulit B3–B4, B6)</b>	+ xxx kgCO <sub>2e</sub> /m <sup>2</sup> /a
<b>Päästövaikutukset käytön jälkeen (moduuli C)</b>	+ xxx kgCO <sub>2e</sub> /m <sup>2</sup> /a
<b>Elinkaaren ulkopuoliset päästövaikutukset (moduuli D)</b>	-/+ xxx kgCO <sub>2e</sub> /m <sup>2</sup> /a
<b>Hiilijalanjälki (elinkaaren moduulien A–C summa)</b>	+ xxx kgCO <sub>2e</sub> /m <sup>2</sup> /a
<b>Hiilikädenjälki (elinkaaren moduulien A–D summa)</b>	- yyy kgCO <sub>2e</sub> /m <sup>2</sup> /a
<b>Arviointi ja käytetyt tiedot</b>	
<b>Arvioinnin laatijan tiedot</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nimi</li> <li>- Koulutus</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Arvioinnin laadinnan päivämäärä</li> <li>- Arvioinnin päivityksen päivämäärä</li> </ul>
<b>Arvioinnissa käytetyt tiedot</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tieto missä laskennan kohdissa on käytetty taulukkoarvoja ja missä tehty tarkka laskenta</li> <li>- Käytetyt ympäristöselosteet - Arvioinnin tekovaihe (rakennuslupa / käyttöönotto)</li> <li>- Käytetyt laskentaohjelmat</li> <li>- Mahdolliset tietojen luotettavuutta koskevat huomiot</li> </ul>
<b>Arvioinnissa käytetyt skenaariot (ei ole tarpeen raportoida, jos on käytetty elinkaaren eri vaiheiden päästöjen taulukkoarvoja (Liite 3))</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kuljetusetäisyydet (A4, C2)</li> <li>- A5 Rakentamistyöt</li> <li>- B3–4 Korjaukset ja vaihdot</li> <li>- B6 Energian kulutus</li> <li>- C Elinkaaren loppu</li> <li>- D Elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset</li> </ul>