

Kia Tähkänen

# VÄYLÄHANKKEEN HIILIJALANJÄLKI JA ONE CLICK LCA:N SOVELTUMINEN INFRAHANKKEILLE

Kandidaatintyö  
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta  
Hannele Auvinen, yliopiston lehtori  
6/2021

# TIIVISTELMÄ

Kia Tähkänen: Väylähankkeen hiilijalanjälki ja One Click LCA:n soveltuminen infrahankkeille  
Carbon footprint of road construction and the application of One Click LCA for infrastructure projects

Kandidaatintyö

Tampereen yliopisto

Tekniikan ja luonnontieteiden TkK-tutkinto-ohjelma, ympäristö- ja energiatekniikka

Kesäkuu 2021

---

Rakentamisen päästöintensiivisyys ja kehittyvä ilmastokriisi on luonut tarpeen määrittää infra-alan kasvihuonepäästöjä. Infrahankkeille on kehitetty useita elinkaarianalyysiä suorittavia ohjelmia, joista tarkasteltavaksi tässä työssä on valittu One Click LCA. One Click LCA on selainpohjainen ympäristövaikutusten arviointiin kehitetty sovellus, jolla voidaan laskea rakennushankkeen hiilijalanjälki määrä- ja materiaalitietoja hyödyntäen. Sovellukseen on mahdollista viedä tietoja eri tiedostomuodoissa ja jopa suoraan joistakin rakennussuunnitteluun tarkoitetuista ohjelmista.

Työn tarkoituksena on selvittää One Click LCA -sovelluksen soveltuvuutta infrahankkeiden hiilijalanjäljen määrittämiseen. Työssä pyritään selvittämään, mitä tietoja sovellus hiilijalanjäljen laskemiseen tarvitsee ja missä muodossa tietojen tulisi olla. Lisäksi työssä määritellään kirjallisuuskatsauksen pohjalta hiilijalanjälki käsitteenä sekä tunnistetaan infrahankkeiden hiilijalanjälkeen merkittävimmän vaikuttavat tekijät.

Havainnot hiilijalanjäljen laskemiseen tarvittavien tietojen muodosta on tehty sovellusta käytäen ja sovelluksen ohjeita hyödyntäen. Työssä tarkastellaan erityisesti tietojen syöttämistä manuaalisesti sekä Excel-pohjaisesti. Tehtyjä havaintoja verrataan työssä Destian tietojenkäsittelymenetelmiin hiilijalanjäljen laskennan kannalta oleellisin osin. Tiedot Destian tietojenkäsittelyä koskevista toimintatavoista on kerätty haastattelemalla Destian toimihenkilöitä.

Kirjallisuuskatsaus osoittaa, että väylärakentamisen työmaa-aikainen hiilijalanjälki koostuu materiaaleista sekä niiden hävittämisestä ja kuljetusvälineiden sekä koneiden polttoainepäästöistä. One Click LCA puolestaan tarvitsee hiilijalanjäljen laskentaan arvion rakenteiden käytöstä, materiaalien sekä rakenteiden kuljetusvälineistä, kuljetuskalustosta, massamäärästä ja energiankulutuksesta projektilla. Tutkimus osoittaa, että hiilijalanjäljen laskemiseen tarvittavat tiedot ovat jo nykyisillä projektinhallintamenetelmillä Destiassa saatavilla. Haasteena on se, että dataa käsitellään useilla ohjelmilla ja useissa eri muodoissa. IFC-dataa käytetään Destialla tällä hetkellä pääasiassa siltasuunnittelussa, mutta sen mahdollinen yleistymisen luo potentiaalin yhä tehokkaammalle tiedonkäsittelylle yleisesti ja näin ollen myös hiilijalanjäljen laskemiselle.

Avainsanat: hiilijalanjälki, infrarakentaminen, väylärakentaminen, elinkaaritarkastelu, ympäristötietokanta, IFC

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
2. VÄYLÄRAKENTAMISEN HIILIJALANJÄLKI .....	3
2.1 Elinkaaritarkastelu hiilijalanjäljen näkökulmasta .....	3
2.2 Infrarakentamisen materiaalitehokkuus .....	4
2.2.1 Betoni .....	5
2.2.2 Asfaltti .....	6
2.2.3 Teräs .....	7
2.3 Kuljetuskaluston ja työkoneiden polttoainetehokkuus .....	8
3. MÄÄRÄ- JA MATERIAALITIE TOJEN KÄSITTELY DESTIAN PROJEKTEILLA... ..	10
3.1 Haastattelujen toteutus .....	10
3.2 Tietojen käsittely tarjousvaiheessa .....	10
3.3 Toteutuneiden määrien kirjaaminen .....	11
4. HIILIJALANJÄLJEN LASKENTA ONE CLICK LCA:LLA .....	13
4.1 One Click LCA yleisesti .....	13
4.2 One Click LCA:n päästötietokanta .....	13
4.3 Hiilijalanjäljen laskemiseen tarvittavat tiedot .....	14
4.4 Mahdolliset ohjelmaintegraatiot .....	16
4.5 Excel työkaluna tietojen syöttämisessä .....	16
5. ONE CLICK LCA:N SOVELTUMINEN DESTIAN	
VÄYLÄRAKENTAMISPROJEKTIN PÄÄSTÖLASKENTAAN .....	18
5.1 Excelin soveltuvuus laskentaan .....	18
5.2 Työkoneiden hiilijalanjäljen laskeminen .....	19
5.3 Tekla Structures ja IFC-datan soveltuvuus .....	19
6. JOHTOPÄÄTÖKSET .....	20
LÄHTEET .....	22
LIITE 1 .....	25

# 1. JOHDANTO

Rakentaminen on yksi suurimmista luonnonvaroja kuluttavista sektoreista yhteiskunnassamme. Rakennetun ympäristön hiilijalanjälki on noin kolmannes Suomen kasvihuonepäästöistä. (Laine et al., 2020) Rakentamisen hiilijalanjälkeen puuttuminen tai toisaalta sen huomiotta jättäminen vaikuttaa näin ollen merkittävästi nykyisen ilmastokriisin kehittymiseen. Kasvihuonepäästöihin on puututtava pian, jotta saavutetaan Pariisin ilmasopimuksen tavoite korkeintaan 1,5 asteen lämpenemisestä ja Suomen hallituksen tavoite hiilineutraaliudesta vuoteen 2035 mennessä. Ympäristöministeriö laati vähähiilisen rakentamisen tiekartan vuonna 2017, jonka perusteella syntyvät ohjauskeinot on suunniteltu otettavaksi käyttöön vuoteen 2025 mennessä. (Raivio et al., 2020) Globaalien ja valtioiden tavoitteiden lisäksi yritykset ovat asettaneet itselleen omia hiilineutraaliustavoitteita.

Infrarakentaminen käsittää liikenneverkkojen sekä yhdyskuntatekniikan rakentamisen. Liikenneverkkoihin sisältyvät tie- ja rataverkot, metrot, raitiotiet, satamat, vesiväylät ja lentokentät. (Raivio et al., 2020) Ilmastovaikutusten arviointi infra-alalla on viimeisten muutaman vuoden ajan ollut murrosvaiheessa Suomessa ja se on yleistymässä jatkuvasti. Tällä hetkellä Suomessa hiilijalanjälkilaskentaa ei käytetä rutiinomaisesti työkaluna hankesopimuksissa, sillä infrarakentamisen kasvihuonekaasupäästöjen arvioimiseen ei toistaiseksi ole olemassa yleistä menetelmäohjeistusta (Teittinen, Dettenborn et al., 2020). Päästölaskentaan on kehitetty kuitenkin useita sovelluksia, jotka hyödyntävät rakennushankkeen tietoja ja laskevat niiden perusteella hankkeelle kokonaisuudessaan tai hankkeen osille hiilijalanjäljen eli elinkaaren aikaiset CO<sub>2</sub>-päästöt. Tässä työssä tarkasteltavaksi sovellukseksi on valittu One Click LCA.

Työn tarkoituksena on tutkia One Click LCA -sovelluksen sopivuutta infrahankkeiden hiilijalanjäljen laskemiseen. One Click LCA on suomalainen elinkaariarviointiin luotu sovellus, jonka avulla voidaan laskea muun muassa rakennushankkeen tuottamat CO<sub>2</sub>-päästöt. Tarkoituksena on tutkia, mitä tietoja sovellus hiilijalanjäljen laskentaan tarvitsee ja missä muodossa tietojen tulisi olla. Sovelluksen soveltuvuutta tarkastellaan tapaustutkimuksena Destian näkökulmasta infrahankkeiden pääurakoitsijana.

Työn alussa pyritään tunnistamaan merkittävimmät väylärakentamisen hiilijalanjälkeen vaikuttavat tekijät. Tämän jälkeen tarkastellaan Destialla käytössä olevia päästölaskennalle oleellisia projektinhallinnan työkaluja, minkä jälkeen käsitellään One Click LCA:n hiilijalanjälkilaskennan periaatteita. Viimeisessä luvussa syvennyttään tarkastelemaan One Click LCA -sovelluksen toimivuutta Destian väylähankkeille. Työ sisältää kirjallisuuskatsauksen lisäksi kokemusperäisiä havaintoja sovelluksen soveltuvuudesta hiilijalanjäljen laskemiseen.

## 2. VÄYLÄRAKENTAMISEN HIILIJALANJÄLKI

Väylärakentamisessa työmaa-aikainen hiilijalanjälki koostuu pääasiassa kolmesta eri lähteestä: käytettyjen materiaalien hiilijalanjäljestä, kuljetusvälineiden sekä koneiden polttoainepäästöistä ja ylijäämämateriaalien hävittämisestä tai niiden kierrätyksessä syntyneistä päästöistä (Huang, Hakim et al., 2013). Työ on rajattu tarkastelemaan kahta ensimmäistä työn rajallisen pituuden vuoksi, ja ne käsitellään tässä luvussa.

Ensin määritellään elinkaaritarkastelu sekä hiilijalanjälki termeinä, ja pohditaan näiden kytkeytymistä toisiinsa tiehankkeissa. Seuraavaksi tarkastellaan menetelmiä, joilla tierakentamisen hiilijalanjälkeä voidaan vähentää. Rakennusmateriaalien osalta keskitytään erityisesti betonin, asfaltin sekä teräksen tuottamiin päästöihin sekä keinoihin, joilla näiden materiaalien hiilijalanjälkeä on pyritty vähentämään. Kolmannessa alaluvussa selostetaan lyhyesti menetelmistä, joilla voidaan vaikuttaa tienrakentamisessa käytettyjen ajoneuvojen sekä työkoneiden polttoainetehokkuuteen.

### 2.1 Elinkaaritarkastelu hiilijalanjäljen näkökulmasta

LCA on lyhenne englanninkielisestä termistä Life Cycle Assessment, joka sananmukaisesti tarkoittaa elinkaaritarkastelua. Elinkaari käsittää kaikki tuotteen, palvelun tai tässä tapauksessa hankkeen peräkkäiset tai vuorovaikutteiset vaiheet liittyen raaka-aineiden hankinnasta tai luonnonvarojen tuottamisesta loppusijoittamiseen. (Korkiala-Tanttu et al., 2004) LCA:lla tarkoitetaan nimenomaan ympäristöön kohdistuvia vaikutuksia: ympäristöhaittojen arviointia ja materiaalien ympäristöllisiä haittoja koko elinkaaren aikana (Koivisto, Forsman et al., 2016). Suomen maankäyttö- ja rakennusasetuksen 55§ mukaan rakennusmateriaalien- ja tarvikkeiden aiheuttama rakennuksen elinkaaren aikainen ympäristörasitus tulee selvittää tarpeen mukaan. (Finlex, 1999)

Hiilijalanjälki tarkoittaa kasvihuonekaasujen määrää, joka syntyy palvelun tai tuotteen elinkaaren aikana. Sitra määrittelee hiilijalanjäljen ihmisen toiminnan aiheuttamiksi ilmastopäästöiksi, jotka voidaan määritellä yritykselle, organisaatiolle, toiminnalle tai tuotteelle. (Sitra, 2021). CO<sub>2</sub>-ekvivalentti sen sijaan kuvaa kasvihuonekaasun ilmastovaikutusta suhteutettuna hiilidioksidin aiheuttamaan vastaavaan vaikutukseen. Jokaisella kasvihuonekaasulla on omat kertoimensa. Yleisimmät hiilijalanjälkilaskennassa huomioitavat kasvihuonekaasut hiilidioksidin lisäksi ovat metaani (CH<sub>4</sub>) ja typpioksiduuli (N<sub>2</sub>O). (Mannola, 2019)

Väylähankkeen hiilijalanjälkeä tarkasteltaessa suuri merkitys on tien käyttöiällä. Esimerkiksi mitä kauemmin tie on käytössä, sitä pienemmäksi tien rakentamisen vuotuiset kustannukset niin ekologisessa kuin taloudellisessakin mielessä tulevat (Mannola, 2019). Väylärakenteiden käyttöikä on yleensä pitkä, mutta väyläverkostoa peruskorjataan ja kunnostetaan jatkuvasti, mikä toisaalta tekee käyttöiän määrittämisestä hankalaa (Korkiala-Tanttu et al., 2004). Vilkasliikenteisellä tiellä päällysteille on tehtävä toimenpiteitä jo muutaman vuoden kuluttua, mutta rakennekerrokset kestävät pääteillä kuormitusta usein jopa 50–100 vuotta (Liikennevirasto, 2018).

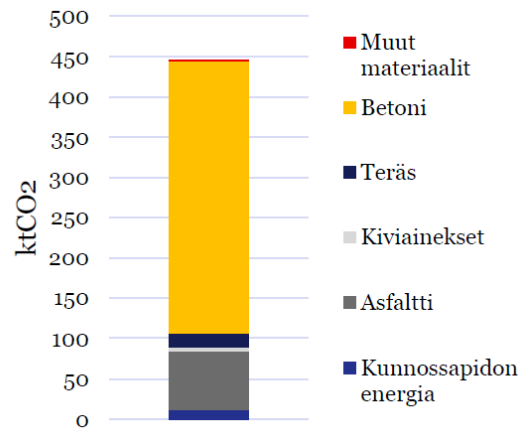
Elinkaaritarkastelulla varmistetaan, että päästövähennystoimet vaikuttavat vähentävästi hankkeen yhteispäästöihin eivätkä vain siirrä päästöjä yhdestä prosessista toiseen. Esimerkiksi kun valitaan materiaali, jolla on pienempi hiilijalanjälki, tulee ottaa huomioon materiaalin vaatimat kuljetusmatkat ja materiaalin vaikutukset rakennelman käyttöikään. Rakenteita tuleekin ajatella kokonaisuudessaan, ei vain yksittäisten materiaalien ominaisuuksia. Rakenteet ovat vain yhtä kestäviä kuin niiden heikoin osa. Osakokonaisuuksien lisäksi hiilijalanjäljen laskeminen myös kokonaisille hankkeille on siis ehdottoman tärkeää.

## 2.2 Infrarakentamisen materiaalitehokkuus

Euroopan Unionissa rakentamiseen kuluu 50 % kaikesta käytetystä raakamateriaalista (Pomponi, Moncaster, 2016). Rakennusmateriaalit muodostavat useimmissa tapauksissa infrahankkeiden hiilijalanjäljestä suurimman osan. Monet rakennusmateriaalit ovat päästöintensiivisiä joko niiden valmistuksen tai suurten kuljetusmäärien takia. (Teittinen, Dettenborn et al., 2020) Materiaali- ja energiatehokkuus nivoutuvat yhteen, sillä materiaalien valmistukseen kuluvan energiantuotannon päästöt ovat hyvin keskeisessä asemassa tierakenteen hiilijalanjälkeä laskettaessa. Materiaalitehokkuuden edistämiseksi rakentamisessa on siis iso merkitys sekä Suomen että globaalien tason materiaalivirroille ja niiden aiheuttamille päästöille.

Ensisijainen keino materiaalitehokkuuden edistämiseksi on materiaalihukan minimointi. Hukan minimointia edesauttaa ajoissa tehdyt ja tarkat suunnitelmat sekä huolellinen työskentely itse työmaalla. (Aulakoski et al., 2014) Materiaalihukan minimointi kytkeytyy yleiseen kiertotalousperiaatteeseen, jonka prioriteetit järjestyksessä ovat materiaalin käytön vähentäminen, uudelleenkäyttö ja viimeisenä kierrätys: reduce, reuse, recycle. Uudelleenkäyttö toteutuu parhaiten, kun ylijäämämateriaali hyödynnetään heti sellaisenaan projektilla tai sen läheisyydessä. Tätä voi olla esimerkiksi rakennuspaikalta kaive-  
tun massan hyödyntäminen sellaisenaan samalla hankkeella.

Väylien rakentamiseen kuluvien materiaalien ja kunnossapidon vuosittainen hiilijalanjälki on Suomessa noin 446 ktCO<sub>2</sub> (Laine et al., 2020). Tilastokeskuksen mukaan Suomen päästöt kokonaisuudessaan olivat vuonna 2019 noin 52 800 kt CO<sub>2</sub>. (Forsell, 2020) Inf-rarakentamisessa hyödynnettävistä materiaaleista ilmastovaikutuksiltaan merkittävimmät ovat järjestyksessä betoni, asfaltti ja teräs (Kuva 1).



**Kuva 1 Väylärakentamisen materiaalien ja kunnossapidon vuosittainen hiilijalanjälki (Laine et al., 2020)**

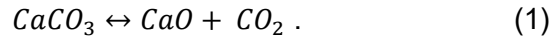
Kuvasta 1 huomataan, että betonin hiilijalanjälki on tien- ja radanpitoon kuluneiden materiaalien ja kunnossapidon hiilijalanjäljistä suurin. Betoni itsessään kattaa koko hiilijalanjäljestä yli puolet. Asfaltti on hiilijalanjäljeltään toiseksi suurin ja sitä seuraa teräs sekä kunnossapitoon kuluvan energian tuottamat päästöt.

### 2.2.1 Betoni

Betoni on maailman yleisin rakennusmateriaali. Tierakentamisessa betonielementtejä kuluu pääasiassa siltoihin. Siltojen ja muiden betonirakenteiden purkamisessa syntyvää betonimursketta hyödynnetään muun muassa maarakentamisessa, jolloin tarve luonnonkiviainekselle vähenee. (Dettenborn et al., 2019) Betoniteollisuus ry:n mukaan betonista kierrätetään Suomessa jopa yli 80 % (Betoniteollisuus ry, 2021a).

Betonin pääraaka-aineita ovat sementti, vesi ja kiviaines. Suurin osa betonin hiilidioksidipäästöistä syntyy sementin valmistuksesta. Sementinvalmistus onkin maailmanlaajuisesti suurin yksittäinen ihmisen aiheuttamien hiilidioksidipäästöjen lähde. Sementin pääraaka-aineena on kalkkikivi. Valmistusprosessi koostuu useasta jauhatus- sekä lämmitysvaiheesta. (Haara, 2018) Sementin valmistuksessa 70 % hiilidioksidipäästöistä muodostuu kalsinoitumisessa, jossa kalkkikivi hajoaa kalsiumoksidiksi ja hiilidioksidiksi reaktioyhtälön 1 mukaisesti



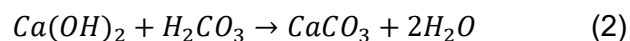


Loput 30 % sementin valmistuksen aiheuttamista CO<sub>2</sub>-päästöistä syntyy lämmitysvaiheisiin hyödynnettävän polttoaineen palamisessa. (Leveelahti, 2020).

Betonin valmistuksen kasvihuonekaasupäästöihin voidaan vaikuttaa esimerkiksi korvaamalla sementin valmistuksessa käytettyjä polttoaineita biopolttoaineilla, puhdistamalla polttolaitoksen savukaasuja, sähköistämällä valmistusprosessissa käytettäviä laitteistoja tai korvaamalla osa sementistä teollisuuden sivutuotteilla. Vaihtoehtoja korvaaviksi materiaaleiksi (engl. supplementary cementing materials) on monia. (Mindess, Aitcin, 2011)

Korvaavan materiaalin käyttömäärä sementissä riippuu betonin käyttötarkoituksesta ja korvaavan materiaalin ominaisuuksista. Korvaavina materiaaleina käytetään muun muassa ruskohiilen tai hiilen polttamisessa syntyvää lentotuhkaa, teräksen valmistuksessa syntyvää jauhettua masuunikuonaa ja piidioksidin valmistuksessa syntyvää piidioksidipölyä eli silikaa. (Mindess, Aitcin, 2011) Tuhkaa ja kuonaa käytetään betoniteollisuudessa yhteensä noin 350 000 tonnia vuodessa (Betoniteollisuus ry, 2021b).

Toisaalta osa rakentamisessa käytetyn betonin hiilidioksidista kompensoituu betonin karbonisaation vaikutuksesta. Karbonisaatio on hidas kemiallinen prosessi, jossa sementti sitoo itseensä hiilidioksidia reagoidessaan ilman kanssa. Karbonisaatiota pääsee tapahtumaan siis vain niissä osissa betonia, jotka ovat ilman kanssa kosketuksissa. Ilman hiilidioksidi reagoi reaktioyhtälön 2 mukaisesti betonin veden kanssa muodostaen hiilihappoa, joka puolestaan reagoi betonin kalsiumhydroksidin kanssa muodostaen kalsiumkarbonaattia:



Karbonisaatioon vaikuttaa erityisesti betonin määrä, partikkelikoko ja altistumisaika, jonka materiaali on ilman ja veden kanssa kosketuksissa. Karbonisaation vaikutuksista ei olla täysin yksimielisiä, mutta Rakennusteollisuus on arvioinut käytössä olevassa rakennuskannassa karbonisaation potentiaalinen olevan 15–20 % kalsinoitumisessa vapautuneesta hiilidioksidista. Rakenteen purkamisen jälkeen pieneksi murskattuna potentiaali voi parhaimmissa tapauksissa nousta jopa 80 %:iin. (Laine et al., 2020)

### 2.2.2 Asfaltti

Pohjoismaissa asfalttia tuotetaan vuosittain noin 23 miljoonaa tonnia. Asfaltti valmistetaan sekoittamalla asfalttiasemalla kuumennettua kiviainesta (95 %) ja kuumaa bitumia (5 %) keskenään. Tarvittaessa asfalttimassaan lisätään tarpeellisia lisäaineita, kuten kalkkikiveä, kivituhkaa, polymeerejä, kuitua tai asfaltin kiinnittymistä edistäviä ainesosia.

(Ranta-Aho, 2012) Asfalttipäällysteen kulutuskestävyyteen, tasaisuuteen ja muihin ominaisuuksiin vaikuttavat esimerkiksi runkoaineeksena käytetyn kiviaineksen kulutuskestävyys ja raekokojakauma sekä sideaineena käytetyn bitumin laatu. (PANK, 2021)

Käytöstä poistettua asfalttia kerätään talteen ja käytetään uudelleen Pohjoismaissa noin 4–5 miljoonaa tonnia vuosittain (Ranta-Aho, 2012). Tällä hetkellä useissa Euroopan maissa 80–100 % talteen otetusta asfaltista käytetään uuden asfaltin valmistukseen. Monissa maissa uudelleenkäyttöaste on kuitenkin huomattavasti pienempi. (EAPA, 2020) Aikaisemmin kierrätettyä asfalttia käytettiin lähinnä teiden paikkaamiseen ja vähemmän käytetyille teille. Nykyisin ainakin osittain kierrätysmateriaalia sisältävää asfalttia käytetään Suomessa myös hyvin vilkasliikenteisille valtateille. Suomessa asfaltin kierrätys on jo hyvin vakiintunut käytäntö, ja käytännössä kaikki ylöskaivettu tai jyrstetty asfaltti kierrätetään. (Ranta-Aho, 2012)

Suurin osa talteen otetusta asfaltista käytetään uuden asfaltin valmistukseen. Osa vanhasta asfaltista uusiokäytetään sitomattomana tai puoliksi sidottuna rouheena tie- ja pohjarakentamisen materiaaliksi. Sitomattomilla kerroksilla tarkoitetaan tierakenteen päällyskerroksia, joissa ei ole käytetty sideainetta. (Matinlauri, 2016). Ympäristön kannalta kestävämpää olisi, jos kaikki vanha asfaltti saataisiin käytettyä uuden asfaltin valmistukseen, sillä bitumi on fossiilisen syntyperänsä vuoksi täysin uusiutumaton materiaali. Bitumin uudelleenkäytöllä on myös merkittävä taloudellinen vaikutus, sillä bitumi on asfaltin kallein komponentti. (Ranta-Aho, 2012)

### 2.2.3 Teräs

Terästä käytetään muun muassa erilaisissa tukirakenteissa kuten teräspaaluissa sekä siltarakenteissa. Terästä voidaan valmistaa raakaraudasta tai kierrätysteräksestä. Raakaraudan pelkistäminen raakamalmista vaatii runsaasti energiaa. Rautamalmipohjaisessa teräksen valmistuksessa rautaoksidi pelkistetään hiilen avulla raudaksi, joka muutetaan teräkseksi poistamalla siitä ylimääräinen hiili. (Teknologiateollisuus, 2014)

Terästuotannon osuus on noin 7 % kaikista Suomen päästöistä. (SSAB, 2021a) NykYTEKNOLOGIALLA ei ole mahdollista valmistaa terästä ilman hiilidioksidipäästöjä. Prosessia on kuitenkin tehty energiatehokkaammaksi muun muassa hyödyntämällä prosessikaasuja ja jäännösenergiaa sähkön- ja kaukolämmön tuotantoon. (Laine et al., 2020)

Merkittävin jo käytössä oleva teräksen valmistuksen päästövähennyskeino on teräksen uusiovalmistus eli teräksen valmistus kierrätysteräksestä. Uusiovalmistus vaatii teräksen

sulatuksen, josta syntyy päästöjä, mutta kuitenkin huomattavasti vähemmän kuin malmista sulattamalla. (Raivio et al., 2020) Malmista valmistetun teräksen ominaispäästö on noin 1800 kg CO<sub>2</sub>e/terästonni ja romumetallista valmistetun 700 kg CO<sub>2</sub>e/terästonni (Laine et al., 2020).

Tulevaisuudessa päästöjenvähentämistä toteutetaan teräksen kierrätyksellä, jolloin käytöstä poistetut teräskappaleet hyödynnetään uusissa rakenteissa sellaisinaan. Tämä vaatii kuitenkin teräskappaleiden rakennesuunnittelun yhtenäistämistä. (Raivio et al., 2020) Lisäksi SSAB:lla on käynnissä HYBRIT (Hydrogen Breakthrough Ironmaking Technology) -hanke, jonka tavoitteena on tehdä teräksen tuotannosta täysin fossiilivapaata vuoteen 2045 mennessä. Tarkoituksena on korvata rautamalmipohjaisessa teräksen tuotannossa käytetty koksi vedyllä, jolloin pelkistysprosessissa syntyy hiilidioksidin sijasta vettä. (SSAB, 2021b)

### **2.3 Kuljetuskaluston ja työkoneiden polttoainetehokkuus**

Materiaalien valmistuksen lisäksi päästöjen kannalta hyvin merkittävä kokonaisuus on työkoneiden ja kuljetuskaluston energiankulutus. Työkoneiden päästövähennyskeinot voidaan jakaa kolmeen osaan: työsuoritteiden vähentäminen, energiatehokkaammat koneet sekä vaihtoehtoiset polttoaineet (Kalliokoski, 2021).

Työsuoritteiden vähentäminen mahdollistuu hyvällä työn suunnittelulla, jossa hukka-ajat minimoidaan sekä hankkeen massansiirrot ja kuljetusmatkat optimoidaan. Työn suunnittelun lisäksi työmaa-aikaiset liikennejärjestelyt sekä liikenne työmaan läheisyydessä tulee ottaa huomioon. Kulutusta voidaan vähentää lisäksi taloudellisella ajotavalla ja välttämällä tyhjäkäyntiä. (Aulakoski et al., 2014)

Työkoneiden ja kuljetuskaluston päästöihin voidaan luonnollisesti vaikuttaa polttoainevalinnoilla. Työkoneiden yhteenlaskettu polttoaineen kulutus Suomessa on noin 770 000 t/a, josta 90 % on dieseliä ja loput bensiiniä. Vuonna 2018 kuljetuksessa käytetystä polttoaineesta 98 % oli dieseliä. (Kalliokoski, 2021)

Uusiutuvat diesel-polttoaineet ovat olleet lähivuosina hyvinkin paljon esillä erityisesti Nesteen My Dieselin myötä. Uusiutuvan dieselin laatu on sama riippumatta käytetystä raaka-aineesta. Uusiutuvaa dieseliä voi käyttää sellaisenaan tai sitä voi sekoittaa fossiiliseen dieseliin, ja se säilyy pitkään ilman että sen ominaisuudet muuttuvat. (Neste, 2018)

Biodieselin ominaisuudet sen sijaan riippuvat käytetyistä raaka-aineista, ja sitä voidaan sekoittaa dieseliin vain tietyissä pitoisuuksissa laadullisten ominaisuuksien säilymiseksi. Eduskunta on asettanut vuonna 2019 voimaan lain, jonka tarkoituksena on edistää biopolttoöljyjen käyttöä kevyen polttoöljyn korvaamiseksi lämmityksessä, työkoneissa ja

kiinteästi asennetuissa moottoreissa. Biopolttoöljyn energiasisällön osuus jakelijan kulu-  
tukseen toimittaman kevyen polttoöljyn ja biopolttoöljyn energiamäärästä on vuonna  
2028 määrä nousta 10 %:iin. (FINLEX, 2019) Sekä uusiutuvia- että biodieseleitä on kui-  
tenkin kritisoitu niiden sademetsiä vähentävistä vaikutuksista. (Ikävalko, 2020).

Kuljetuskaluston ja työkoneiden energiatehokkuutta lisäävänä tekijänä toimii lisäksi uu-  
den kaluston hankkiminen, etenkin jos tarkastellaan vain rakentamisen aikaista energi-  
ankulutusta, sillä uusien moottoreiden tekniikka on usein vanhoja moottoreita energiate-  
hokkaampaa. (Kalliokoski, 2021) Polttoainetehokkuutta voidaan kasvattaa ajoneuvotek-  
nisillä keinoilla kuten rengaspaineiden seurantajärjestelmillä sekä vierintävastuksilla ren-  
kaissa. Lisäksi päästöjä voidaan hallita myös erilaisilla ajoneuvoon asennettavilla jälki-  
käsittelyjärjestelmillä. (Nylund, Söderena et al., 2016)

Työmaavaiheen energiatehokkuuden seurannassa ja edistämässä myös digitalisaa-  
tiolla on merkittävä rooli. Käytännössä tätä toteutetaan useilla työmailla Suomessa tieto-  
mallintamisella, joka perustuu rakennusprojektin kaikkien elinkaaren aikaisten tietojen  
tallennukseen digitaalisessa muodossa. Tietomallintaminen on kehitetty sekä laadunval-  
vontaa varten että havainnollistamaan suunnitelmia todenmukaisten 3D-mallien myötä.  
Tietomallinnuksen mahdollistama laadullinen tehokkuus näyttäytyy työskentelyssä myös  
energiatehokkuutena. Työvaiheiden tallentuessa automaattisesti dataksi, tietomallinnus  
mahdollistaa lisäksi energia-, ympäristö- ja elinkaarianalyysien vertailun. (Henttinen,  
2012)

## **3. MÄÄRÄ- JA MATERIAALITIETOJEN KÄSITTELY DESTIAN PROJEKTEILLA**

Tässä luvussa käsitellään keinoja, joilla hiilijalanjäljen laskemisen kannalta oleellisia määrä- ja materiaalitietoja seurataan Destian projekteilla. Luvussa pyritään vastaamaan erityisesti kysymykseen siitä, missä muodossa materiaalien määrätietoja sekä tietoa työkaluista ja kuljetuskalustosta tallennetaan, ja onko tietojen hallinta Destian sisällä yhteneväistä. Tietojen käsittelyä tarkastellaan sekä tarjousvaiheen että työmailta kirjattavien todellisten määrä- ja materiaalitietojen osalta. Kyseessä on Destiaa koskeva tapaustutkimus ja tarvittavat tiedot on kerätty haastattelemalla Destialla työskenteleviä toimihenkilöitä.

### **3.1 Haastattelujen toteutus**

Tiedot Destian materiaali- ja määrätietojen seuraamisesta kerättiin haastattelemalla tarjouspäällikköä sekä kahta kehittämispäällikköä. Haastattelujen tavoitteena oli kerätä tietoa Destialla tällä hetkellä käytössä olevista projektinhallinnan toimintatavoista. Toimintatapojen eli tässä tapauksessa pääasiassa erilaisten laskentaohjelmien käyttöön liittyvät tiedot olivat oleellisia, jotta oli mahdollista arvioida One Click LCA -sovelluksen soveltumista Destiassa. Toimihenkilöiden haastattelu koettiin tehokkaimmaksi ja varmuimmaksi tavaksi saada ajantasaista tietoa päästölaskennalle olennaisista projektinhallintamenetelmistä.

Kysymysten teemana oli tiedonsiirto: datasiirtoon käytettävät ohjelmat sekä tiedonsiirtoon liittyvien toimintatapojen yhteneväisyys. Haastatteluiden avulla pyrittiin kartoittamaan ohjelmat, joilla materiaali- sekä kalustotietoja tallennetaan. Lisäksi pyrittiin selvittämään, mitä tietoa ylipäätään oli saatavilla ja missä muodossa tiedot saa kustakin järjestelmästä tulostettua.

Haastattelut toteutettiin Microsoft Teams -puheluina. Haastatteluissa esitetyt kysymykset ovat liitteessä 1. Haastatteluissa saatuihin vastauksiin on viitattu tekstissä.

### **3.2 Tietojen käsittely tarjousvaiheessa**

Päästötietojen kannalta oleellisia arvioita määrä- ja materiaalitiedoista laaditaan tarjousvaiheessa. Tarvittavien materiaalien ja kaluston määrää arvioidessaan Destia käyttää C7-ohjelmaa. C7 on projektinhallinnan työkalu, jota hyödynnetään infrahankkeen

useissa toiminnoissa, kuten tarjousvaiheen laskennassa, budjetin laadinnassa tai työaikaraportoinnissa. C7-ohjelmalla arvioidaan urakalle kustannukset eli kirjataan kaikki projektille suunnitellut massat, työvaiheet ja materiaalit. (Toivonen, 2021)

C7-ohjelmaan kirjataan hankkeen tiedot tilaajan laatimien vaatimuksien pohjalta. Hankkeen tiedot on ohjelmassa jaettu InfraRYL:in mukaisiin työvaiheisiin. Käytettävät materiaalit ja toteutettavat työt kirjataan ylös kyseisen työvaiheen alle. Materiaaleista kirjataan ylös materiaalin laatu ja määrä. Huomioitavaa on, että työkalu on käytössä lähtökohtaisesti kustannusarvioita varten, minkä vuoksi materiaalien määrät saatetaan ilmoittaa kustannusyksiköissä tilavuus- tai massamäärän sijasta. Työkoneiden ja kuljetuskaluston työmäärät kirjataan ajotunteina tai yksikköpohjaisissa sopimuksissa yksikköhinnan mukaisesti esimerkiksi e/m tai e/m<sup>3</sup>. Ohjelmasta saa tulostettua projektin tiedot Excel-muodossa. (Toivonen, 2021)

### **3.3 Toteutuneiden määrien kirjaaminen**

Tiedot toteutuneista projektilla käytetyistä materiaaleista sekä kaluston eli kuljetuskaluston ja työkoneiden suorittamista työvaiheista saadaan palvelun toteuttamisvaiheessa. Materiaalien osalta tiedot tallennetaan C7-ohjelmaan, jota käytetään hankkeen kaikissa vaiheissa. (Toivonen, 2021) Kaluston osalta Destian työmailla on käytössä sekä Destian omaa kalustoa että alihankkijoiden kalustoa, joiden toiminnan seuraamiset poikkeavat hieman toisistaan. Destiassa materiaaleihin ja muihin palveluihin kuluvista kustannuksista yli 70 % tulee ulkopuolisina palveluina. Näin ollen myös suurin osa työmaalla aiheutuvista päästöistä syntyy aliorakoitsijoiden koneista. (Destia, 2020)

Kaikkia Destian työmailla toimivia koneita eli sekä Destian omaa kalustoa että aliorakoitsijoiden koneita seurataan Infrakit-pilvipalvelun avulla. Infrakit on mallipohjaisen tuotannon työkalu, jota voidaan käyttää koko rakennusprosessin ajan. Urakoitsijat raportoivat pilvipalveluun tietomallipohjaista aineistoa, jota työnjohtajat voivat seurata reaaliaikaisesti karttanäkymästä. Infrakitiä käytetään työtehojen ja tuotannon seuraamiseen. (Lammassaari, 2021)

Kuljettaja kirjaa sovelluksen avulla pilvipalveluun käyttämänsä ajoneuvon sekä kuljettamansa materiaalin määrän sekä laadun. Pilvipalvelusta saa tiedot käytetystä kalustosta, koneen työtunneista ja kuljetusmateriaalin määrästä sekä etäisyyksistä. Ohjelmasta tiedot viedään Power BI:hin, jossa saatuja tuloksia voidaan tarkastella ja raportoida. Power BI on tietojen raportointiin ja analysointiin kehitetty ohjelmistokokoelma, jolla tietoja voidaan esittää visuaalisesti esimerkiksi diagrammeina tai graafeina. Ohjelmaan voi syöttää tuloksia monesta eri lähteestä Excel mukaan lukien. (Lammassaari, 2021)

Aliurakoitsijoiden kuljetuskalustoon- ja työkoneisiin liittyvä datan hallinta on muutaman vuoden aikana kehittynyt paljon ja dataa työkoneiden ja kuljetuskaluston toiminnasta on tällä hetkellä runsaasti saatavilla. Tietoja ei ole kuitenkaan vielä hyödynnetty päästölasennuksessa. (Lammassaari, 2021)

Lisäksi kaikkiin Destian omaan kalustoon kuuluviin työkoneisiin, kuten pyöräkoneisiin, kaivinkoneisiin, kumipyöräkalustoon ja kiskokoneisiin sekä kuljetuskalustoon kuten kuorma-autoihin ja henkilöautoihin, on kiinnitetty telematiikkalaitteet. Telematiikkalaitteet käynnistyvät koneen käynnistyessä, ja ne antavat paikkatiedon lisäksi tietoa kuljetuskaluston tilanteesta kuljetusta matkasta. Työkoneiden tapauksessa laite tallentaa tiedot koneenkäyntitunneista. Muutamilla poikkeuksilla, kuten Volvon kalustolla sekä Caterpillarin ja Hitachin kaivinkoneilla, on myös olemassa valmistajakohtainen palvelu, jolla saadaan vielä tarkempaa tietoa käytöstä. Tällaista tietoa on esimerkiksi laitteen polttoaineen kulutus ja tieto koneen mahdollisesti kuljettamasta massamäärästä. (Lehtio, 2021)

Tiedot viedään kalustonhallintajärjestelmään. Tietoa rikastetaan kalustohallinnan vuokrasopimuksia hyödyntäen niin, että selviää millä projektilla laite on ollut käytössä. Näin ollen käyttötunnit ja kuljetusmatkat voidaan yhdistää oikealle projektille. Kalustonhallintajärjestelmästä tiedot saadaan tulostettua Excel-taulukkona. (Lehtio, 2021)

## 4. HIILIJALANJÄLJEN LASKENTA ONE CLICK LCA:LLA

Tässä luvussa tarkastellaan One Click LCA -sovellusta yleisesti sekä sovelluksen hiilijalanjäljen laskennan periaatteita. Luvussa selvitetään, mitä tietoja One Click LCA hiilijalanjäljen laskentaan tarvitsee, ja miten tulosten kannalta oleelliset määrä- ja materiaalitiedot on sovellukseen mahdollista syöttää. Työssä on otettu tarkasteluun erityisesti tietojen syöttö manuaalisesti sekä Excel-pohjaisesti. Selvitys perustuu sovelluksen kirjallisiin ohjeisiin sekä havaintoihin sovelluksen toiminnasta.

### 4.1 One Click LCA yleisesti

One Click LCA on suomalaisen Bionova Oy:n elinkaariarviointiin kehittämä selainpohjainen pilvipalvelu, joka on alun perin tarkoitettu talorakentamisen ympäristövaikutusten arviointiin. (Pasanen, Miilumäki, 2017) Myöhemmin sen hyödyntäminen on tullut mahdolliseksi myös infrahankkeille.

Sovelluksen avulla voidaan laskea ja vertailla muun muassa elinkaarikustannuksia ja optimoida rakennusprojektin materiaali kiertoja. Vaikka One Click LCA onkin kehitetty erityisesti rakentamisen hiilijalanjäljen laskemiseen, sen avulla voidaan määrittää myös muita hankkeen ympäristövaikutuksia kuten sen ympäristöä happamoittavia tai rehevöittäviä vaikutuksia. (Bionova Oy, 2021) Tämän työn kannalta oleellista on kuitenkin infrahankkeiden hiilijalanjälkilaskenta, joka voidaan toteuttaa Infrastruktuurihankkeen LCA -työkalulla.

### 4.2 One Click LCA:n päästötietokanta

One Click LCA on koostanut oman ympäristötietokantansa Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa julkaistusta ympäristöselosteista sekä hyödyntäen soveltuvia LCA-tietokantoja kuten Ecoinventiä ja Suomen ympäristökeskuksen laatimaa rakentamisen päästötietokantaa. (Bionova Oy, 2021) Ympäristöseloste (engl. Environmental Production Declaration) on tuoteselostuksen kaltainen dokumentti, joka määrittelee tietyn tuotteen tai materiaalin ympäristövaikutukset. Ympäristöselosteet perustuvat Euroopassa elinkaariarviointeihin, jotka on toteutettu ISO 14040, ISO 14044 ja EN 15804 standardien mukaisesti. (Bionova Oy, 2021)



Suomen ympäristökeskus julkaisi vuoden 2021 alussa oman rakentamisen ympäristötietokannan, johon on koottu yleisimpien ja tyypillisimpien rakennustuotteiden keskimääräisiä tietoja. Se ei siis sisällä yksittäisten tuotteiden ympäristöselosteita (SYKE, 2021). SYKE:n päästötietokanta on täysin avoin, joten sen käyttö ei vaadi maksullista lisenssiä, ja tietoihin pääsee käsiksi ilman erillistä laskentaohjelmaa.

Ecoinvent on maailmanlaajuisesti käytetty LCA-tietokanta, jota useat elinkaariarviointia suorittavat ohjelmat hyödyntävät. Ecoinvent seuraa päästötietokantansa määrittäessä useita standardeja. Päästölaskennan kannalta oleellisia syötteitä valitessaan ja syötteille päästökertoimia määrittäessään se hyödyntää ISO 14041 standardia. Lopullinen arviointi perustuu kuitenkin pitkälti asiantuntijoiden arvioon siitä, mitkä syötteet esimerkiksi massojen- ja energiankulutukseen liittyen ovat jonkin materiaalin elinkaarelle oleellisia. (Frischknecht et al., 2005)

ISO 14040 kuvaa elinkaariarvioinnin periaatteet ja pääpiirteet. ISO 14044 standardi puolestaan kuvaa elinkaariarvioinnin vaatimukset sekä antaa ohjeita muun muassa tulosten tulkintavaiheesta ja elinkaariarvioinnin rajoituksista. Eurooppalainen standardi SFS-EN 15804 esittää kaikkien rakennustuotteiden ja palveluiden ympäristöselosteiden (EPD) laadinnan yleissäännöt. Tällä standardilla varmistetaan, että kaikki rakennustuotteiden, rakennuspalveluiden ja rakennusprosessien ympäristöselosteet on laadittu, varmennettu ja esitetty yhtenäisellä tavalla. Standardi sisältää muun muassa kuvauksen elinkaariarvioinnin laskentamenetelmästä, määritelmät ympäristövaikutusten tuloksille sekä ohjeet laskennan rajaukselle, käytettävän tiedon laadulle ja laskennan raportoinnille. (Merenheimo, Österlund et al., 2018)

### **4.3 Hiilijalanjäljen laskemiseen tarvittavat tiedot**

One Click LCA tarvitsee hiilijalanjäljen laskemiseen arvion rakenteiden käyttöiästä, materiaalien sekä rakenteiden kuljetusetäisyyksistä, kuljetuskalustosta, massamääristä ja energiankulutuksesta projektilla. Sovellus pystyy oletusasetuksia hyödyntäen laskemaan hiilijalanjäljen projektille varsin vähin tiedoin. Tulokset ovat luonnollisesti kuitenkin sitä luotettavampia, mitä tarkemmin projektin tiedot sovellukseen syötetään.

Heti uutta projektia luodessa ohjelma pyytää antamaan arvot tietyille laskentaparametreille, jotka toimivat oletusarvoina rakennusmateriaalien käyttöiälle ja kuljetusetäisyyksille sekä rakennusmateriaalien valmistukseen käytetyn energian päästöille. Esimerkiksi käytetyn sähkön tuotantotapa määräytyy hankkeen sijaintimaan mukaan. Jos parametrit

jättää valitsematta, ohjelma käyttää esimerkiksi materiaalien kuljetusetaisyyksille oletusarvoja hankkeelle asetetun sijainnin perusteella, joka Suomen tapauksessa on Pohjoismailla luotu keskiarvo.

Tämän jälkeen ohjelmaan syötetään varsinaista rakentamista koskevat tiedot. Tiedot voi syöttää joko manuaalisesti kirjaamalla jokaisen materiaalin ja työvaiheen erikseen tai viemällä tiedot suorana jostain laskentaohjelmasta. Manuaalisesti tietoja syöttäessä sovelluksen tarvitsemat tiedot on jaettu viiteen eri prosessivaiheeseen (Taulukko 1).

*Taulukko 1: One Click LCA:n tarvitsemat tiedot*

<b>Osaprosessin nimi</b>	<b>Syötettävät tiedot</b>	<b>Koskee informaatiomodulleita</b>
Maanrakennus ja massojen kuljetus	Hankkeeseen hankitut ja hankkeelta muualle kuljetettavat massat.	A1-A4
Rakennusmateriaalit	Perustukset, rakennustekniset rakennusosat, päällyys- ja pintarakenteet ja kaikki muut työmaalla käytettävät materiaalit.	A1-A3, A5
Rakentamisprosessi	Rakennusvaiheen energiankäyttö, veden kulutus ja jätteet. Materiaalit, jotka kuluu esimerkiksi työmaa-aikaisen tien rakentamiseen.	A4, A5
Käyttövaihe	Käyttövaiheen energian- ja vedenkulutus sekä korjauksiin kuluvat materiaalit ja betonin karbonisaatio.	B1-B9
Laskentajakso	Infrahankkeen arvioitu käyttöikä	

Taulukossa 1 esitetyt informaatiomodullit ovat LCA-laskentastandardin SFS-EN 15804:2012 + A2:2019 määrittelemiä modulleita, joiden mukaisesti tuotteen tai palvelun ympäristövaikutukset on kohdistettava. Informaatiomodullien avulla voidaan muun muassa vertailla eri vaiheisiin kohdistuvien ympäristövaikutusten suuruutta keskenään. Moduuli A1 sisältää raaka-aineiden hankinnan sekä käsittelyn ja kierrätysmateriaalien käsittelyn, moduuli A2 kuljetuksen valmistukseen, A3 valmistuksen, A4 kuljetukset työmaalle ja A5 työmaatoiminnot (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2019).

Tietojen syöttäminen etenee maarakennusmateriaalien tietojen syöttämisestä rakennusteknisten materiaalien kirjaamisesta. Huomioitavaa on, että käytettyjen materiaalien laadut ja määrät voi kirjata sovellukseen hyvinkin yksityiskohtaisesti. Tämän jälkeen kirjataan tiedot itse rakentamisprosessista kuten energiankäytöstä ja tarvittavista työmaan väliaikaisiin rakenteisiin kuluviin materiaaleista. Lopuksi kirjataan käyttövaiheen energian- ja vedenkulutukset sekä korjauksiin kuluvat materiaalit. Viimeisenä infrahankkeelle tulee arvioida käyttöikä.

Työkoneiden päästöt on mahdollista syöttää sovellukseen kirjaamalla käytetyn polttoaineen määrä ja laatu tai valitsemalla käytetyn työkoneen tyyppin ja sen käyttötunnit. Valitsemalla suomalaisen työkoneen, työkoneiden päästöt perustuvat Lipasto-tietokantaan eli Teknologia Tutkimuskeskus VTT Oy:n toteuttamaan ja ylläpitämään Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmään.

#### 4.4 Mahdolliset ohjelmaintegraatiot

Päästötietojen syöttö manuaalisesti One Click LCA:han manuaalisesti on melko yksiselitteistä, mutta hidasta ja herkkä inhimillisille virheille riippuen hankkeen koosta ja näin ollen syötettävän tiedon määrästä. Laskentaan tarvittavien tietojen syöttäminen onnistuu manuaalisesti tietojen syöttämisen lisäksi määriteltyjä laskentaohjelmia hyödyntäen. Laskentaohjelmien käyttäminen mahdollistaa tarvittavien tietojen syöttämisen kätevämmän.

Ohjelmaintegraatioiden on tarkoitus tehostaa laskentaa, sillä integraation avulla esimerkiksi jostakin suunnitteluohjelmasta voi syöttää tietyn rakenteen suoraan sovellukseen. Mahdollisia ohjelmaintegraatioita on One Click LCA:ssa useita, joista suurinta osaa hyödynnetään yleisemmin talorakentamisessa. Tuetuista ohjelmaintegraatioista Destialle kiinnostavimmat ovat Tekla Structural Designer ja Excel. Tekla Structural Designer - tietomalliohjelmistosta Destialla Tekla Structures, jota käytetään pääasiassa siltasuunnittelussa. Excel sen sijaan on yleisesti hyödynnetty projektinhallinnan työkalu Destialla, minkä takia Excel on tässä työssä valittu lähempään tarkasteluun.

#### 4.5 Excel työkaluna tietojen syöttämisessä

One Click LCA:n Excel-mallipohjassa sarakkeet on esitetty taulukossa 2. Sarakkeiden otsikoiden tulee täsmätä mallipohjan kanssa, jotta sovellus tunnistaa syötetyt tiedot. Jokaisen materiaalin tiedot syötetään Excelissä omalle rivilleen. Excel-pohjan pakolliset tietokentät ovat Class, IFCMaterial, Quantity ja Quantity Type. Taulukosta on jätetty pois kaksi mallipohjaan kuuluvaa saraketta, jotka ovat käytössä vain erilliselle laajennukselle, joka ei kuulu Destian nykyiseen lisenssiin.

*Taulukko 2: Excel-mallipohjan päästölaskentaan vaikuttavat ominaisuustiedot*

Mallipohjan sarake	Esimerkki
Luokka (Class)	EARTH CUT
Materiaali (IFC-Material)	Clay soil
Määrä (Quantity)	40
Yksikkö (Quantity type)	m <sup>3</sup>
Paksuus (Thickness)	
Kuljetus, km (Transport)	27
Kommentti (Comment)	

Kierrätetyn osuus (Recycled share)	30
Uusiutuvan osuus (Renewable share)	10
Uudelleenkäytetyn osuus (Reused share)	10
Kierrätetyn uusiutuvan osuus (Recycled renewable share)	10
Uudelleenkäytetyn uusiutuvan osuus (Reused renewable share)	10
Käyttöikä (Service life)	25
Cost item	123-B31

Luokka (Class) -arvolla kuvataan työvaihe, johon materiaalin käyttö liittyy. Materiaalien luokille on annettu ennalta määritellyt vaihtoehdot: maanleikkaus, maantäyttö, maan uusiokäyttö, geotekniset, infrasteemit, pinnat ja jalkakäytävät. Päästöt lasketaan eri tavoin riippuen luokasta. Esimerkiksi maanleikkaus- luokalle materiaalin päästöiksi lasketaan vain kuljetuksesta syntyneet päästöt. Tarkemmat määrittelyt luokille löytyvät Excelmallipohjan ohjeista.

IFCMaterial -sarakeeseen kirjataan käytetty rakennusmateriaali. Sarakeeseen syötettävät materiaalit voi nimittää haluamallaan tavalla. Monet tavallisimmat materiaalit soveltuu tunnistaa kuitenkin automaattisesti. Jos sovellus ei tunnista materiaalia, tiedoston lataamisen jälkeen materiaalille tulee etsiä tietokannasta sopiva vastine. Tämän jälkeen samaa tunnistetta käyttäen, sovellus jatkossa tunnistaa materiaalin. IFC (engl. Industry Foundation Classes) viittaa valmistajasta riippumattomaan kansainväliseen tiedon siirtoon kehitettyyn standardiin, jota hyödynnetään yleisesti rakennusalalla (LÄHDE).

Määrä (Quantity) -soluun syötetään materiaalin määrä ja Yksikkö (Quality type) -soluun mittayksikkö. Yksiköille on luotu alavetovalikko, josta yksiköksi voi valita m3, m2, kg tai M. Jos määrän syöttää pinta-alana, täytyy luonnollisesti valita lisäksi materiaalin paksuus.

Loput sarakkeista ovat vapaavalintaisia. Näitä ovat tiedot kuljetuskilometreistä ja arvio materiaalista valmistetun rakennelman käyttöiästä. Lisäksi materiaalille on mahdollista määrittellä uudelleenkäyttö-, uusiokäyttö- ja kierrätysasteet sekä cost\_item tunniste. Cost\_item -sarakeeseen voi syöttää materiaalille tunnisteen eli niin kutsutun litteran. Litteroiden avulla materiaalien päästötietojen käsittely on yksiselitteisempää. Littera voi olla esimerkiksi kirjain- tai numerosarja, jota on sovittu käytettäväksi tietyille materiaalille.

## 5. ONE CLICK LCA:N SOVELTUMINEN DESTIAN VÄYLÄRAKENTAMISPROJEKTIEIN PÄÄSTÖLASKENTAAN

Tässä luvussa tarkastellaan erityisesti sitä, missä muodossa Destian päästöihin vaikuttavien tietojen tulisi olla, jotta hiilijalanjäljen laskeminen saataisiin automatisoitua mahdollisimman tehokkaasti. Lisäksi pyritään selvittämään, kuinka luotettavasti Destian hankkeille voitaisiin laskea hiilijalanjälki nykyisillä datan hallinnan menetelmillä, ja mitä toimintatapojen muutoksia täytyy mahdollisesti toteuttaa hiilijalanjäljen laskemisen tehostamiseksi.

### 5.1 Excelin soveltuvuus laskentaan

Useasta Destialla käytössä olevasta ohjelmasta on mahdollista viedä tiedot Excel-muodossa. One Click LCA:n Excel-pohja soveltuu erityisesti materiaalitietojen viemiseen, joita Destialla käsitellään C7-ohjelmalla. C7:sta tulostettava Excel-pohja täytyy kuitenkin ensin saattaa sovellukselle ymmärrettävään muotoon, jotta One Click LCA pystyy lukemaan tiedostoa.

Exceliin tulee syöttää materiaalin kohdalle tiedot materiaalin kuljetuskilometreistä. Excel ei kuitenkaan ota huomioon käytettyä kuljetuskonetta. Oletettavasti One Click LCA laskee kuljetuskaluston kulutuksen perustuen sijainnilliseen keskiarvoon. Destialla on olemassa sekä oman että aliurakoitsijoiden kaluston osalta tieto käytetystä kuljetuskoneesta sekä jossain tapauksissa jopa kulutuksesta, joten Excel-pohjaa hyödyntäen osa nykyisillä menetelmillä kerätystä datasta menisi hukkaan. Voidaan kuitenkin arvioida, ovatko tiedot laskemisen kannalta oleellisia vai riittääkö tarkkuus tehdyillä oletuksilla. Haasteena on joka tapauksessa kuljetustietojen kohdistaminen tietyille materiaalille.

Cost\_item sarakkeen hyödyntämistä varten tulisi laatia sanakirja, jossa tietty littera on esitetty vastaamaan tiettyä materiaalia. Rakennustieto Oy on laatinut infrarakentamisen alalle oman rakennusosa- ja hankenimikkeistön, joka on luotu tekemään tiedonvaihdoista eri osapuolten välillä toimivaa ja luotettavaa. Nimikkeistön tavoitteena on kattaa kaikki infrarakentamisen lopputuotteet. (Rakennustieto Oy, 2015) Tämä nimikkeistö on kuitenkin käytössä vain Suomessa, eikä One Click LCA hyödynnä nimikkeistöä laskennassaan.

Destia voisi hyödyntää jo olemassa olevaa Rakennustieto Oy:n infranimikkeistöä litte-roilleen. Tällaisen sanakirjan käyttö kaikissa projektinhallinnan vaiheissa, päästölas-kenta mukaan lukien, tekisi materiaalitietojen käsittelemisestä yhtenäisempää sekä te-hostaisi tietojen viemistä One Click LCA -sovellukseen.

## 5.2 Työkoneiden hiilijalanjäljen laskeminen

Excel-pohja ei sovellu koko hankeen hiilijalanjälkilaskentaan. Riveille on mahdollista syöttää rakennusmateriaalit ja niiden kuljetuksesta aiheutuneet päästöt, mutta se ei huomioi työkoneista syntyviä päästöjä. Työkoneiden päästöt on kuitenkin mahdollista syöt-tää sovellukseen manuaalisesti.

Kun One Click LCA:han syöttää tietoja manuaalisesti, rakentamisprosessi -vaiheeseen voi syöttää käytetyn työkoneen ja sen käyttötunnit tai vaihtoehtoisesti kuluneen polttoai-neen määrän ja laadun. Destian oman kaluston osalta nämä tiedot ovat telematiikkalait-teiden myötä kalustonhallintajärjestelmästä saatavilla. Myös alihankkijoiden osalta tar-vittavat tiedot ovat saatavilla. Tietojen syöttö voi osaltaan kuitenkin olla työlästä, jos käy-tettyjä työkoneita on paljon. Lisäksi työkoneiden ja kuljetuskaluston kulutukseen liittyvät tiedot ovat telematiikkalaitteiden ansioista niin pitkälle jalostettuja, että CO<sub>2</sub>-päästöjen laskeminen on todennäköisesti tehokkaampaa esimerkiksi Exceliä hyödyntäen.

## 5.3 Tekla Structures ja IFC-datan soveltuvuus

IFC-tiedonsiirtoa käytetään erityisesti rakennusmallien siirtoon suunnittelijalta toiselle. IFC-datana voidaan tallentaa tarkempaa yksilöityä dataa rakenteesta, ja IFC-siirto mah-dollistaa 3D-tietomallin siirtämisen eri ohjelmien sekä CAD-järjestelmien välillä. (Rimpi-läinen, 2014). Suomalainen tietomallintamisen yhteistyöfoorumi buildingSMART Finland arvioi IFC-datan yleistyvän tulevina vuosina ja tulevan kaiken infrasuunnittelun käyte-tyimmäksi tiedostomuodoksi. (Pasanen, Miilumäki, 2017)

Tekla Structures on työkalu siltojen suunnitteluun, joka hyödyntää mallinnuksissaan IFC-dataa. One Click LCA on yhteensopiva Tekla Structuresin kanssa, joten haluamansa rakenteen valitsemalla tiedot saa vietyä suoraan One Click LCA:han. Tämän ominaisuu-den hyödyntäminen siltojen materiaali-päästöjen osalta on parhaassa tapauksessa hyvin vaivaton prosessi. Sen soveltuvuutta ei kuitenkaan ole testattu, joten aihe vaatii vielä jatkotutkimusta.

## 6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tarkoituksena oli selvittää One Click LCA -sovelluksen sopivuutta infrahankkeiden hiilijalanjäljen laskemiseen. Tarkoituksena oli tutkia, mitä tietoja sovellus hiilijalanjäljen laskentaan tarvitsee ja missä muodossa tietojen tulisi olla. Lisäksi havaintoja verrattiin Destialla käytössä oleviin tietojen käsittelymenetelmiin ja tiedostomuotoihin hiilijalanjäljen laskemisen kannalta oleellisten tietojen osalta.

One Click LCA -sovelluksessa on kohtuullisen yksinkertaista, kun tarvittavat lähtötiedot ovat tiedossa. Sovellus on varsin käyttäjäystävällinen, mutta manuaalisesti hiilijalanjäljen laskemiseen tarvittavien tietojen syöttäminen One Click LCA:han on työlästä. Ajallisesti tehokkaampaa sekä myös vähemmän virhealtista on hyödyntää sovelluksen tukemia ohjelmaintegraatioita.

Materiaalitiedot voi viedä sovellukseen muun muassa käyttäen Exceliä, joka on myös Destialla yleisesti hyödynnetty työkalu. Tuodun Excel-tiedoston tulee kuitenkin olla One Click LCA:n luoman Excel-mallipohjan mukainen, jotta sovelluksen on mahdollista lukea tarvittavat tiedot. Materiaalitietoja käsittelevistä ohjelmista tulostettavien Excel-tiedostojen kääntäminen mallipohjan kanssa yhteneväiseen muotoon on yksi keino, jolla hiilijalanjälkilaskentaa saataisiin Destialla automatisoitua. Materiaalien lisäksi taulukkoon voi lisäksi syöttää tiedot kuljetuskilometreistä. Kuljetustiedot ovat saatavilla, mutta niiden kohdistaminen tietylle materiaalille aiheuttaa haasteen.

Destian oman sekä aliurakoitsijoiden kaluston seuranta toteutetaan kuitenkin jo nykyisillä menetelmillä johdonmukaisesti ja laskemisen suorittamiseksi tarvittavat tiedot ovat saatavilla. Työkoneista aiheutuvia päästöjä ei kuitenkaan ole mahdollista syöttää Excel-pohjaisena taulukkona. Tietojen syöttäminen onnistuu manuaalisesti, mutta varsinkin isojen hankkeiden osalta se voi osoittautua hyvin aikaavieväksi. Päästötuloksien saaminen on mahdollisesti tehokkaampaa muilla menetelmillä tai sovelluksen jollain vaihtoehdoisella ohjelmaintegraatiolla.

Materiaalit aiheuttavat infrahankkeen elinkaaren aikaisesta hiilijalanjäljestä suurimman osan, joten niiden kirjaaminen on kokonaistuloksen kannalta merkittävämpää kuin työkoneiden päästöt. Toisaalta Destia pystyy vaikuttamaan merkittävimmin juuri työma aikaisiin päästöihin, joten niistä saatavat tulokset ovat erityisen oleellisia Destialle

Tietojen syöttäminen osittain manuaalisesti ja osittain jonkin laskentaohjelman kautta suoraan sovellukseen on tällä hetkellä varmasti joustavin sekä varmin tapa saada kaikki tiedot kirjattua. Haasteena on se, että rakennussuunnittelussa käytetään useita eri laskentaohjelmia, jotka käsittelevät tarvittavia tietoja useissa tiedostomuodoissa. Destiassa myös useassa yksikössä käsitellään laskemisen kannalta oleellisia tietoja. Onnistunut laskenta vaatii joustavaa yhteistyötä yksiköiden välillä. IFC-datan hyödyntäminen tulevaisuudessa luo mahdollisuuden tiedonsiirron yhtenäistämiseen ja näin ollen myös hiilijalanjäljen laskemiseen entistä kätevämmiin.



# LÄHTEET

- Aulakoski, A., Montin, P., Häyrynen, K. & Lydman, P. 2014, *Panos pohjaisen CO<sub>2</sub>-las-kennan pilotointi väylähankkeessa Kehä I Liittymän parantaminen Kivikonttien eri-tasoliittymän kohdalla*, Liikennevirasto.
- Betoniteollisuus ry 2021a, *Kiertotalous toimii*. [2021, April 4] <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/ekologisuus/kierratys/>
- Betoniteollisuus ry 2021b, *Sementti ja kasvihuonekaasupäästöt*. [2021, March 18] <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/sementti-seosaineiden-kaytto/>
- Bionova Oy 2021, *Automatisoi rakennuksen elinkaariarviointi One Click LCA:n avulla*.
- Destia 2020, *Destia tilinpäätös 2020*. [2021, March 4] [https://www.destia.fi/media/vuosi-raportointi-2020/destia\\_tilinpaaotos\\_2020\\_fin.pdf](https://www.destia.fi/media/vuosi-raportointi-2020/destia_tilinpaaotos_2020_fin.pdf)
- Dettenborn, T., Harju, I., Lehtonen, K., Ahlqvist, E. & Forsman, J. 2019, *Siltojen ja muiden taitorakenteiden purkubetonijätteen hyödyntäminen*, Väylävirasto. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf12/vt\\_2019-08\\_siltojen\\_purkubetonijatteen\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf12/vt_2019-08_siltojen_purkubetonijatteen_web.pdf)
- EAPA 2020, *Asphalt in figures 2018*, European Asphalt Pavement Association. <https://eapa.org/asphalt-in-figures/>
- Finlex 1999, , *FINLEX® - Ajantasainen lainsäädäntö: Maankäyttö- ja rakennusasetus 895/1999* [Homepage of Oikeusministeriö, Edita Publishing Oy], [Online] [1999, 5.2.].
- Forsell, P. 2020, 28.5.-last update, *Tilastokeskus - Suomen kasvihuonekaasupäästöt 2019* [Homepage of Tilastokeskus], [Online]. Available: [https://www.stat.fi/til/khki/2019/khki\\_2019-05-28\\_kat\\_001\\_fi.html](https://www.stat.fi/til/khki/2019/khki_2019-05-28_kat_001_fi.html) [2021, May 22,].
- Frischknecht, R., Jungbluth, N., Althaus, H., Doka, G., Dones, R., Heck, T., Hellweg, S., Hischer, R., Nemecek, T., Rebitzer, G. & Spielmann, M. 2005, "The ecoinvent Database: Overview and Methodological Framework (7 pp)", *The international journal of life cycle assessment*, vol. 10, no. 1, pp. 3-9.
- Haara, T. 2018, *Betonitekniikan oppikirja 2018*, BY-Koulutus Oy, Helsinki.
- Henttinen, T. 2012, *Yleiset tietomallivaatimukset*, COBIM.
- Huang, Y., Hakim, B. & Zammataro, S. 2013, "Measuring the carbon footprint of road construction using CHANGER", *The international journal of pavement engineering*, vol. 14, no. 6, pp. 590-600.
- Ikävalko, K. 2020, "Tutkijan väite: Nesteen biodiesel lisää reippaasti ilmastopäästöjä – Neste pitää raaka-ainettaan jätteenä", *Yle Uutiset*.

- Kalliokoski, T. 2021, *Työkoneiden päästövähennykset ja Green deal -sopimukset*.
- Koivisto, K., Forsman, J. & Vaajasaari, K. 2016, *UUMA 2 Uusiomateriaalien tuotteistamisohje maarakentamiseen*.
- Korkiala-Tanttu, L., Törnqvist, J., Eskola, P., Pienimäki, M., Spoof, H. & Mroueh, U. 2004, *Elinkaaritarkastelut tienpidon hankintoihin Kokemuksia kahdesta pilot -kohteesta Tiehallinnon selvityksiä 13/2005*.
- Laine, A., Raivio, T., Håkan, J., Heino, A., Klimscheffskij, M. & Lehtomäki, J. 2020, *Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035*.
- Lamassaari, P. 2021, *Haastattelu. Kehittämispäällikkö, Destia*.
- Lehtio, J. 2021, *Haastattelu. Kehittämispäällikkö, Destia*.
- Leveelahti, U. 2020, *Sementti on kestävä materiaali myös ilmaston kannalta*.
- Liikennevirasto 2018, *Tierakenteen suunnittelu*, Liikennevirasto.
- Mannola, M. 2019, *Väylänpidon hiilijalanjälki ja sen laskeminen*.
- Matinlauri, S. 2016, *Vaihtoehtoisia maarakennusmateriaaleja sisältävien tie- ja katurakenteiden vaurioituminen*.
- Merenheimo, T., Österlund, H. & Bergman, I. 2018, *Ympäristönäkökohtien huomioiminen päällystehankintojen kehittämisessä Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 61/2018*.
- Mindess, S. & Aitcin, P. 2011, *Sustainability of Concrete*, Taylor & Francis Group, London.
- Neste 2018, -12-14-last update, *Biodiesel ja uusiutuva diesel - Mitä eroa?*. Available: <https://www.neste.fi/artikkeli/biodiesel-ja-uusiutuva-diesel-mita-eroa> [2021, Apr 24,].
- Nylund, N., Söderena, P. & Rahkola, P. 2016, *Työkoneiden CO2 päästöt ja niihin vaikuttaminen*, VTT.
- PANK 2021, *Asfalttimassan valmistus PANK Oppimateriaali C4*.
- Pasanen, P. & Miilumäki, N. 2017, *Infrahankkeiden EN-standardeja noudattava hiilijalanjälki- ja elinkaariarviointi*, Liikennevirasto.
- Pomponi, F. & Moncaster, A. 2016, "Embodied carbon mitigation and reduction in the built environment – What does the evidence say?", *Journal of environmental management; J Environ Manage*, vol. 181, pp. 687-700.
- Raivio, T., Laine, A., Klimscheffskij, M., Heino, A. & Lehtomäki, J. 2020, *Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035 Osa 4*, Gaia Consulting Oy.
- Rakennustieto Oy 2015, *Infra 2015 Rakennusosa- ja hankenimikkeistö Määrämittausohje*, Rakennustietosäätiö RTS.

Ranta-Aho, A. 2012, *Uusioasfaltti, Kierrätys*, Pohjoismaiden tie- ja liikennefoorumi.

Rimpiläinen, N. 2014, *Erillisnimikkeistöjen yhdistäminen siltojen tietomallinnukseen*, University of Oulu.

Sitra 2021, *Tulevaisuussanasto*.

SSAB 2021a, *Käytä parempaa terästä: SSAB:n asiakkaat hyötyvät hiilidioksiditehokasta tuotannosta*. Available: <https://www.ssab.fi/ssab-konserni/kestava-kehitys/kestavat-toiminnot/hiilidioksiditehokkuus-ssablla> [2021, May 22,].

SSAB 2021b, *Sustainability Expedition: kun teräs ja kestävä kehitys kohtaavat*. Available: <https://www.ssab.fi/ssab-konserni/kestava-kehitys/sustainability-expedition> [2021, May 22,].

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry 2019, *SFS-EN 15804:2012 + A2:2019*, Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

SYKE 2021, *Suomen ympäristökeskus > Rakentamisen päästöjä voidaan nyt v. Available: [https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Rakentamisen\\_paastoja\\_voidaan\\_nyt\\_vertai\(60051\)](https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Rakentamisen_paastoja_voidaan_nyt_vertai(60051)) [2021, Apr 4,].*

Teittinen, T., Dettenborn, T. & Pahka-Kangas, S. 2020, *Uusiomaarakentamisen päästölaskenta*.

Teknoliigiateollisuus 2014, *Teräskirja*, Teräskirja 9.painos edn, Metallinjalostajat ry.

Toivonen, S. 2021, *Haastattelu. Tarjouspäällikkö, Destia*.

# LIITE 1

Haastattelu: Johannes Lehtio 27.4.2021

- Millä järjestelmillä ja ohjelmilla kalustotietoja kerätään projekteilta?
- Mitä tietoja ylipäätään on saatavilla? Polttoaineen kulutus, päästötiedot, työkonetunnit?
- Saako tiedot tulostettua järjestelmästä esimerkiksi Excel-taulukkona tai IFC-datana?
- Onko raportointi systemaattista vai onko tiedon keräämisessä eroja esimerkiksi työmaiden välillä?

Haastattelu: Pekka Lammassaari 10.5.2021

- Millä järjestelmillä ja ohjelmilla alihankkijoiden kalustotietoja kerätään projekteilta?
- Mitä tietoja ylipäätään on saatavilla? Polttoaineen kulutus, päästötiedot, työkonetunnit?
- Saako tiedot tulostettua järjestelmästä esimerkiksi Excel-taulukkona tai IFC-datana?
- Onko raportointi systemaattista vai onko tiedon keräämisessä eroja työmaiden välillä?

Haastattelu: Sari Toivonen 10.5.2021

- Millä järjestelmillä ja ohjelmilla arvioita kirjataan ylös? C7, Hankintajärjestelmä?
- Mitä tietoja ylipäätään kirjataan ja kuinka tarkasti? Kirjataan myös toteutuneet tiedot?
- Saako tiedot tulostettua järjestelmästä esimerkiksi Excel-taulukkona tai IFC-datana?
- Onko raportointi systemaattista vai onko tiedon keräämisessä eroja hankkeiden välillä?