

Opinnäytetyö (AMK)

Tekniikka ja liiketoiminta, Teknolohiateollisuus

2021

Claes Swanljung

HIILIJALANJÄLJEN ARVIOINTIMENETELMÄ RISTEILYALUSTEN SISUSTUSALUEILLA

Claes Swanljung

HIILIJALANJÄLJEN ARVIOINTIMENETELMÄ RISTEILYALUSTEN SISUSTUSALUEILLA

Oy NIT Naval Interior Team Ltd:n strategian mukaan toimintaa kehitetään kohti kestävämpää ja vihreämpää suuntaa. Tätä kehitettävää liiketoimintamallia kutsutaan nimellä "GreenNIT". Liiketoimintamallin tarkoituksena on luoda NIT:n asiakkaille lisäarvoa toimittamalla heille ekologisesti kestävämpiä tuotteita ja projekteja, mutta samalla lisätä NIT:n kilpailukykyä ja kannattavuutta. Työssä pyritään ottamaan kantaa mahdollisten elinkaarikustannusten pienentämiseen ekologisempia ratkaisuja käyttäen.

Tällä hetkellä NIT:llä ei ole tapaa tai kykyä mitata, kuinka ekologisesti kestäviä tai vihreitä tarjotut tuotteet ovat. Työn tarkoitus on luoda parametrit ja tapa mitata tuotteiden hiilijalanjälkeä. VTT (Teknologian Tutkimuskeskus) toimii asiantuntijaorganisaationa projektissa, VTT:llä on pitkäaikainen kokemus hiilijalanjäljen laskennasta eri toimialoilta. Materiaalivalinnat ovat keskeisiä haluttaessa pienentää hiilijalanjälkeä. Tässä työssä keskitytään NIT:n kahteen valittuun toimituskokonaisuuteen: miehistöportaikkoon ja ravintola-alueeseen. Tiedot perustuvat kirjallisuuteen, artikkeleihin ja NIT:n olemassa olevaan tietoon. Työn tavoitteena on määrittää tarkat arvot kahdessa valitussa tilassa käytetyille materiaaleille ja arvioida hiilidioksidimäärä kyseisissä tiloissa steel to steel -periaatteella. Hiilijalanjäljen laskentatyökalua hyödynnetään jatkossa muissa vastaavissa alueissa, jolloin voidaan ottaa huomioon mahdollisia vähähiilisempiä vaihtoehtoisia toteutustapoja. Työssä otetaan kantaa vaihtoehtoihin lähestymistapoihin, joilla voidaan tehostaa hiilijalanjäljen pienentämistä. Mahdollisia vaihtoehtoisia lähestymistapoja ovat hiilikädenjälki, digitalisaatio ja kiertotalous.

Kyseisten aihealueiden tutkiminen ja hiilidioksidimäärien määrittely ovat laivanrakennuksessa kilpailuvaltteja yhtiöille, jotka ottavat näkyvät mittausmenetelmät käyttöönsä. Työn tuloksena kehitettiin Excel-pohjainen työkalu hiilijalanjäljen, hiilikädenjäljen ja kuljetuksista syntyvien päästöjen laskentaan. Laskenta keskittyi lähinnä vuoraukseen, lattiaan, kattoon, huonekaluihin, julkisivuun ja muihin ennalta määriteltyihin sisärakenteisiin. Muut sähkö-, putkisto- ja LVI-asennukset jätettiin arvioinnin ulkopuolelle. Laskennassa on otettu huomioon mahdollisia jatkossa käytettäviä materiaalityyppejä, joita voidaan verrata nykyisiin ratkaisuihin. Hiilijalanjälkilaskurin lopullista käyttötarkoitusta ei ole vielä määritelty, ja jatkossa tullaan pohtimaan sen synkronointia olemassa oleviin osaluetteloihin, minkä pohjalta laskenta tapahtuisi materiaalmäärien laskennan ohessa. Hiilijalanjäljen työkalusta saadaan tulokset esitettyä helppolukuisina diagrammeina ja määriteltyä tuotekokonaisuuksista muodostuva hiilikädenjälki.

ASIASANAT:

hiilijalanjälki, hiilikädenjälki, ilmastonmuutos, kasvihuonekaasupäästöt, hiilijalanjäljen laskenta

Claes Swanljung

CARBON FOOTPRINT ASSESSMENT IN INTERIOR AREAS OF CRUISE SHIPS

According to Oy NIT Naval Interior Team Ltd.'s strategy, operations are being developed in a more sustainable and greener direction. This business model is called "GreeNIT". The purpose of this business model is to create more value for NIT's customers by supplying them more ecologically sustainable products and projects, but at the same time increase NIT's competitiveness and profitability. The objective of this thesis was to take a stand on reducing potential life cycle costs, by using more ecological solutions.

Currently, NIT has no practice or aptitude to measure how ecologically sustainable or green the offered products are. The purpose of the thesis was to create parameters and a way to measure the carbon footprint of products. VTT (Technical Research Centre of Finland) operates as an expert organization in this project with long-term experience in calculating the carbon footprint from various fields. Material choices play an important role in reducing the carbon footprint. This thesis focuses on NIT's two selected supply units, a crew staircase area and a restaurant area. The information is based on literature, articles and existing information from NIT. The aim of the thesis was to determine the exact values for the materials used in the two selected areas and to estimate the amount of carbon dioxide in those, using the steel-to-steel principle. The tool will be used in other similar areas in the future, where possible lower-carbon alternative implementations can be considered. The thesis also addresses alternative options in implementation that can enhance carbon footprint reduction. Possible alternative approaches include carbon handprint, digitalization and circular economy.

The study of the topics above and the determination of carbon footprint are competitive advantages in shipbuilding for companies that adopt visible measurement methods in their use. As a result of the thesis, an Excel-based system was developed for calculating the carbon footprint, handprint and transport emissions. The calculation is mainly focused on the lining, floor, ceiling, furniture, facade, and other predefined interior structures. Other electrical, plumbing and HVAC installations were excluded from the assessment. The calculation has considered possible future material solutions that can be compared with current materials. The end use of the carbon footprint calculator has not been yet determined and in the future consideration will be given of synchronizing the calculator with existing part lists. Calculation would take place in addition to material quantities, when defined. The carbon footprint tool results are presented in easy-to-read diagrams and the carbon handprint of the products is defined.

KEYWORDS:

carbon footprint, carbon handprint, climate change, greenhouse gas emissions, carbon calculation tool

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO	1
1 JOHDANTO	7
2 TYÖN TAUSTAA	9
2.1 Kestävien arvojen markkinointi	9
2.2 Tilaajan mahdollisuudet	11
2.3 Asiakkaalle lisäarvoa	12
3 HIILIJALANJÄLJEN PIENENTÄMINEN TUOTTEEN ELINKAARESSA	14
3.1 Kiertotalous	14
3.2 Hiilikädenjälki	15
3.3 Cleantech	17
3.4 Digitalisaatio	18
4 ELINKAARIARVIOINNIN TYÖKALUT	20
4.1 VTT LCA -työkalu pohjautuen EN 15804 -standardiin	20
4.2 EN 15804 -standardi	22
4.3 Elinkaariarvioinnin (LCA) yleissäännöt	24
4.4 LCA (Life Cycle Assessment)	25
4.5 LCC (Life Cycle Costing)	26
4.6 EPD (Environmental Product Declaration)	27
5 KEHITETTY TYÖKALU MITTAAMAAN HIILIJALANJÄLKEÄ	30
5.1 Hiilijalanjälkilaskennan työkalu	30
5.2 Tuotteiden määrittely	31
5.3 Työkalun toiminta	32
5.4 Kuljetuksen laskeminen	34
6 TULOKSET JA PÄÄTELMÄT	37
6.1 Hiililaskennan työkalun tulevaisuus	37
6.2 Hiilidioksidilaskurin yhdistäminen muihin työkaluihin	38
6.3 Tehtävät toimenpiteet	39
6.4 Materiaalien kierrätyspotentiali	39
6.5 Tulevaisuuden arvot	41

KAAVAT

Kaava 1. $GWP = (CO_2e) = CO_2 + 25 \cdot CH_4 + 298 \cdot N_2O \dots$ ekv. (1) (IPCC 2007).	21
--	----

KUVAT

Kuva 1. Ehdotettu kehys kestävän arvoesityksen arvoiksi.	12
Kuva 2. Tuula Sjöstedt, Hiilineutraaliin kiertotalouteen liittyviä käsitteitä.	15
Kuva 3. Elinkaaritietomoduulit EN15804 -standardin mukaan.	21
Kuva 4. Elinkaariarvioinnin vaiheet ISO 14040:2006:n mukaan	26
Kuva 5. Esimerkki halutuista (EPD)-arvoista Ruukin seinäkaseteissa.	28

TAULUKOT

Taulukko 1. Hiilijalanjälki laskurissa täytettävä osio saaduille EPD-arvoille.	27
Taulukko 2. Toimittajille lähetettävä pohja EPD-arvoille.	28
Taulukko 3. Pohja hiilijalanjäljen laskennassa.	32
Taulukko 4. Massan määrittely tietokannan arvoista.	32
Taulukko 5. VTT:n tietokanta.	33
Taulukko 6. Data-sivulla aluekokonaisuudet.	34
Taulukko 7. TRP-tilaus, puoliperävaunun kuljetusten vaikutusten määrittäminen.	35
Taulukko 8. Hiilijalanjälkilaskurissa oleva kerroin kuljetusmatkoille ja moduuli (A4).	36

KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO

CO ₂ -ekv.	Hiilidioksidiekvivalentti, kuvaa eri kasvihuonekaasupäästöjen ilmastoa lämmittävää vaikutusta muuttamalla ne vastamaan hiilidioksidipäästöjä (Clonet Oy 2018).
EEDI	Energiatehokkuuden suunnitteluindeksi eli (Energy Efficiency Design Index) on pakollinen kaikille uusille aluksille (Repka ym. 2017).
EPD	Environmental Product Declaration (EPD) on itsenäisesti todennettu ja rekisteröity asiakirja, joka välittää läpinäkyvää ja vertailukelpoista tietoa tuotteiden elinkaaren ympäristövaikutuksista (Suomen standarditoimistoliitto 2019).
GHG	Lyhenne greenhouse gases eli kasvihuonekaasuista.
GWP	Lämmityspotentiaali (Global Warming Potential).
LCA	Elinkaariarviointi eli (Life Cycle Assessment) on menetelmä tuotteen tai palvelun koko elinkaaren aikaisten ympäristövaikutusten analysointiin ja arviointiin (Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu 2021).
LCC	Elinkaarikustannuslaskenta eli (Life Cycle Costing) kertoo, mitä hankittava tuote tulee organisaatiolle maksamaan (Motiva 2021).
LCIA	Elinkaarianalyysin eli (Life cycle impact assessment) tavoitteena on ymmärtää ja arvioida tuotteen ympäristövaikutuksia (Suomen Standardisoimisliitto SFS-EN ISO 14040:2006).
RTS EPD	Ympäristöseloste esittää luotettavasti rakennustuotteiden ympäristövaikutukset (Rakennustietosäätiö RTS sr 2021).
SEEMP	(Ship Energy Efficiency Management Plan) eli aluksen ope- rointivaiheessa edellytettävä energiankäyttö suunnitelma (Repka ym. 2017).
VTT	Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

1 JOHDANTO

Ilmakehään pääsevät kasvihuonekaasut, kuten hiilidioksidi, aiheuttavat ilmastonmuutoksen. Ilmasto lämpenee näiden päästöjen takia, ja jopa kolmannes Suomen päästöistä aiheutuu joko rakentamisesta tai rakennuksista. Valtaosa rakennuksien päästöistä syntyy kiinteistöjen käytön aikaisesta energiankulutuksesta, jonka vuoksi on tärkeää huomioida rakennuksen koko elinkaari (Rakennusteollisuus 2021). Työn tavoitteena on laajentaa kestävän kehityksen argumenttien käyttöä laivanrakennusliiketoiminnassa koko elinkaaren ajan raaka-aineista alkaen ja luoda uutta liiketoimintaa kartoittamalla toimitusketjua.

Tutkittava aihealue on nuorehko ja markkina-arvoltaan suuri. Yhä positiivisempia ja läpinäkyvämpiä ratkaisuja kaivataan laivateollisuuden parissa. Risteilyaluksia rakennuttavat varustamot haluavat edistää imagoaan ja markkinointiaan koronan jälkimainingeissa. Juuri nyt kaivataankin uusia tapoja kehittää laivarakennusta yhä kestävämpään suuntaan ja vähentää tuotteen hiilijalanjälkeä. On kuitenkin vaikeaa vähentää sellaista, jota ei voida mitata. Sisustusalueiden materiaalivalintojen hiilidioksidimäärien määrittäminen on seuraava vaihe yhä energiatehokkaampien ja ekologisesti kestävämpien pintamateriaalien suuntaan. Työn tavoitteena on luoda laskuri, jolla määritetään alueiden materiaalien hiilidioksidimäärät ja parametrit, joilla voidaan mitata NIT:n tuotteiden kestävyyttä. Laskurin avulla voidaan vertailla ja parantaa materiaalivalintoja yhä vähähiilisempiin ratkaisuihin. Jo pelkän laskurin luominen ja hiilidioksidimäärien määrittäminen voi tuoda kilpailuedun toisiin laivan sisustuksen tarjoajiin nähden.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli määrittää NIT:lle Excel-taulukko, jossa on valittuna yksi miehistöportaikko ja ravintola-alue. Alueet toimivat tulevien alueiden laskentaperustana. NIT:n päätuotteita ovat risteilijöiden yleiset matkustajatilat, miehistötilat sekä portaikot. Taulukkoon määriteltiin alueet steel to steel- periaatteella eli kaikki materiaalit ja rakenteet ovat taulukossa teräslaipioon asti, paitsi sähkö-, putkisto- ja LVI-tarvikkeet. Laskelmissa tuli yleisesti määritellä eri alueiden pintamateriaali, kiinnitysaine, kiinnitysalusta ja alustan runkorakenteen materiaalit. Jokaisessa osa-alueessa esiintyvistä materiaaleista tulisi käydä ilmi käytetyt raakamateriaalit, kuten erilaiset teräkset, liima-aineet, laastit, kankaat, laatat, maalit ym. Taulukon on tarkoitus olla skaalattavissa erilaisille alueille pilottialueiden periaatteen mukaisesti.

Työssä otetaan huomioon markkinoinnin arvoa lisääviä käsitteitä ja keinoja tuoda asiakkaille lisäarvoa kartoittamalla tuotteiden elinkaarta. Yksi uusista ja positiivisista suuntauksista on hiilikädenjäljen käyttöönotto. Hiilikädenjälki ilmaisee palvelun ilmastohyödyt eli päästövähennyspotentiaalin käyttäjälle, joka on markkinoinnin kannalta positiivisempi suunta, toisin kuin negatiivinen hiilijalanjäljen käyttäminen. Työssä pohditaan myös tuotteiden vastaanottamista takaisin asiakkailta ja mahdollisuutta uudelleen kierrättää rakennusmateriaaleja.

2 TYÖN TAUSTAA

Huoli ilmastonmuutoksen etenemisestä ja luonnonvarojen riittävyydestä on saanut yhä useamman pohtimaan tuotteiden ilmasto- ja ympäristövaikutuksia. Tuotteiden ja palvelujen tulisi olla ekologisia, vähähiilisiä, resurssitehokkaita ja ilmastoystävällisiä. Ympäristö- ja vihreistääroista on tulossa entistä merkittävämpi markkinoinnin työkalu. Yhä useammat yritykset ja yksityishenkilöt ovat valvetuneita ja valmiita panostamaan ympäristömyönteisiin tuotteisiin myös rahallisesti. Vahvaksi näytöksi tulkitaan yleensä väittämiä tukeva tieteellinen tutkimus. (Suomen ympäristökeskus 2019.)

Julkinen käsitys risteilyliiketoiminnasta on, että se ei ole kovin kestävää eikä ympäristöystävällistä. Yhdistettynä yleisesti nouseviin negatiivisiin kuviin joukkomatkalusta tarkoittaa, että risteilyalusten imagolla on paljon parantamisen varaa. Covid-19:n puhkeaminen on myös vaikuttanut risteilyliiketoiminnan kuvaan erittäin negatiivisesti.

NIT:n tilaama hiilianalyysi laivan sisustusalueilta perustuu Suscon 2020 -hankkeeseen, joka on osa kestävää laivanrakennus käsitettä. Se keskittyy suunnittelun avulla kestävyysperusteisen arvon luomiseen laivanrakennuksessa ja luo aluskonsepteja siten, että koko verkosto voi vaikuttaa kestävään kehitykseen. Tarkasteltavina ovat materiaalien valinta, suunnittelu, valmistus ja muut ominaisuudet. Tavoitteena on laajentaa kestävä kehityksen argumenttien käyttöä laivanrakennusliiketoiminnassa koko elinkaaren ajan raaka-aineiden hankinnasta elinkaaren loppuun ja sen jälkeen.

2.1 Kestävien arvojen markkinointi

Kestävyys arvoista on tullut yhä tärkeämpiä yrityksille kaikilla teollisuudenaloilla, eikä meriteollisuus ole poikkeus. Kestävyys on liiketoimintamalli, joka luo pitkäaikaista arvoa ottaen huomioon yrityksen ja sen organisaation ekologisen, sosiaalisen ja taloudellisen ympäristön. Oletuksena on, että kestävien strategioiden kehittäminen edistää yrityksen pitkäikäisyyttä ja lisää myös sen kannattavuutta. Odotukset yritysvastuusta ovat kasvaneet ja yritykset tunnustavat tarpeen toimia kestävä kehityksen mukaisesti. Yritykset antavat yleensä vahvan sitoutumisen kestävään kehitykseen, mutta eivät välttämättä toimi sen mukaisesti.

Kestävien tuotteiden ja palvelujen kasvava kysyntä on yksi tärkeimmistä makrotrendeistä, jotka muovaavat kilpailua (Kotler 2011; Porter & Kramer 2011). Sosiaalisten, ympäristöllisten ja taloudellisten ongelmien ratkaisemista pidetään uutena strategisena kannustimena ja potentiaalisena kilpailuedun lähteenä (Porter & Reinhardt 2007; Berns ym. 2009). Erityiset toiminta- ja päätöksentekoprosessit on luotava globaalilla, kansallisella ja yksilötasolla (Norström 2013). Esimerkiksi ostajat ja myyjät tarvitsevat järjestelmällisiä lähestymistapoja arvioidakseen tuotteiden ja palvelujen taloudellisia, ympäristöön liittyviä ja sosiaalisia vaikutuksia. Kestävyysmittauksen tiede, elinkaariarvioinnin (LCA) ja tuotteiden "hiilijalanjäljen" arviointimenetelmät ovat kehittyneet. Kehitys antaa myynnille ja ostajille mahdollisuuden tutkia tietoja, arvioida vaikutuksia ja muuttaa tietoja päätöksenteon tukityökaluiksi (O'Rourke 2014).

Analyytikot ovat arvioineet, että nykyinen maailmanlaajuinen tuotanto ja kulutus kuluttavat 50 % nopeammin luonnonvaroja, kuin ekosysteemit uudistuvat. Ympäristökustannukset globaaleista tuotantojärjestelmistä ovat noin 4,7 biljoonaa USD vuosittain (O'Shean, Golden & Olander 2013; Trucost 2013). Ympäristökustannukset johtavat maailmassa kiireellisesti kehitettäviin prosesseihin ja työkalujen suunnitteluun tavoiteltaessa kestäviä globaaleja ratkaisuja.

Elinkaaripohjaisten arvioiden integrointi markkinointiin ja ostamiseen on tärkeä askel kohti kestävän kehityksen pyrkimyksiä globaaleissa toimitusketjuissa. Asiakkaat ja muut sidosryhmät kiinnittävät entistä enemmän huomiota oston nouseviin kriteereihin; ympäristöön, ekologiaan ja sosiaaliin arvoihin pohjautuen (Drumwright 1994; Porter 2007; Kotler 2011). Asiakkaat eivät osta tuotteita tai palveluita, jotka perustuvat yksinomaan ympäristöominaisuuksiin. Sen sijaan he arvioivat tarjouksen taloudellisten ja ympäristöllisten ominaisuuksien välisiä kompromisseja (Rokka & Uusitalo 2008; Olson 2013; Papista & Krystallis 2013).

Aikaisemmat tutkimukset kulutusmarkkinoissa osoittavat, että vaikka asiakkaat saattavat suosia ympäristöystävällisiä tarjouksia, he ovat usein haluttomia tekemään sopivia ostopäätöksiä, koska he ovat epävarmoja tällaisen tarjouksen mahdollisista eduista (Ginsberg & Bloom 2004; Gupta & Odgen 2009; Olson 2013). Toimittajien kyvyttömyys kertoa asiakkaille taloudelliset ja ympäristöhyödyt on liiketoiminnalle merkittävä tekijä, joka haittasi asiakkaiden ostohalukkuutta. Tavarantoimittajien rooli markkinoinnissa on tärkeä, koska monet valmistajat investoivat vihreään teknologiaan tuotteidensa hiilijalanjäljen pienentämiseksi.

Suuri kysymys on, kuinka vähentää kustannuksia, parantaa tuottavuutta ja kilpailukykyä sekä saada kasvua kannattavampaan liiketoimintaan, samalla kun on kestävä ja ympäristötietoinen?

2.2 Tilaajan mahdollisuudet

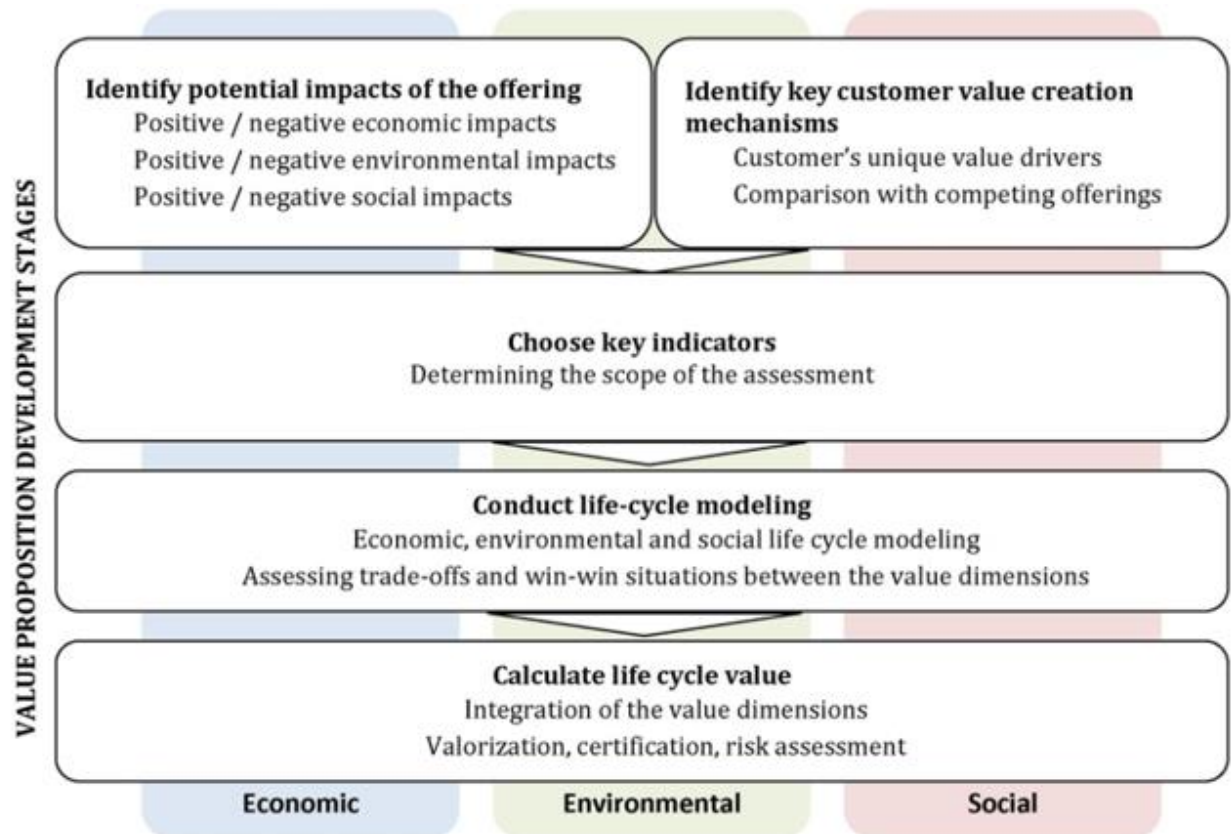
Tilaajan, esimerkiksi varustamon, tulisi kehittää ohjaustoimia, jotka velvoittaisivat toimittajia, suunnittelijoita ja hankintaa tekemään kasvihuonekaasujen kannalta edullisia ratkaisuja. Tämä kiihdyttäisi teollisuuden pyrkimyksiä kohti vähähiilisiä tuotteita ja fossiilisten polttoaineiden käytön lopettamista. Ohjaustoimet pitäisi toteuttaa siten, että tilaajan tulisi vaatia hyvää lähtöaineistoa tuotteiden ekologisuudesta ja vähähiilisyydestä. Lähtöaineistojen tulisi olla ehdottoman relevantteja, läpinäkyviä ja lopputulokset julkisia. Kannusteperusteista ohjausta pitäisi tukea voimakkaan informaatio-ohjauksen avulla. Esimerkiksi maailmanlaajuisten keskiarvojen sekä epärelevanttien lähtöarvojen salliminen kannustaa heikosti hankintatoimea todellisten vähähiilisten vaihtoehtojen etsintään ja vaatimiseen. Eniten säästöjä saavutettaisiin, jos ohjaus kohdistettaisiin sekä materiaaleista, että energian käytöstä aiheutuviin päästöihin. Tämä antaisi tuotekehittäjille ja suunnittelijoille enemmän vapauksia etsiä optimaalisia vähähiilisiä ratkaisuja. Lisäksi raja-arvoja voitaisiin asteittain kiristää siten, että säästöjä pitäisi lopulta etsiä parhaiden energia- ja materiaaliratkaisujen avulla.

Päästöjä voidaan vähentää suunnitteluratkaisujen avulla, mutta vähennyspotentialiaali on luonnollisesti pienempi kuin tuotekehitykseen perustuva. Ilman tuotekehitystä tarjolla ei olisi vähähiilisiä tuotteita, joiden elinkaareissa fossiilisten polttoaineiden käyttö on minimoitu.

Elinkaaripohjaiset lähestymistavat ovat yleisiä menetelmiä, joita käytetään tarjouksen vaikutusten arviointiin koko sen elinkaaren ajan, alusta käyttöönoton jälkeiseen käyttöön (Rebitzer et ai. 2004). Elinkaaripohjaiset menetelmät voivat myös tarjota perustan monille muille menetelmille. Elinkaaripohjaisia menetelmiä voidaan käyttää vihreässä markkinointitoiminnassa kestävyuden välittämiseen asiakkaille ja ne voivat myös tarjota tietoa ekologisen suunnittelun tuotepäätöksille. Niitä voidaan myös käyttää laskemaan ympäristövahinkojen vaikutuksia ja tarjota edelleen taustatietoa monille ympäristömerkeille (EEA 1997).

2.3 Asiakkaalle lisäarvoa

Tärkeimpien indikaattoreiden valitseminen on perusta LCA-prosessissa. Indikaattorit mittaavat tarjouksessa tarjotun arvon, joka määrittää elinkaarimallinnuksen laajuuden. Kuvassa 1 on esitetty yhteenveto kirjallisuudessa käytetyistä taloudellisten, ympäristöön liittyvien ja sosiaalisten vaikutusten tyypillisistä indikaattoreista.



Kuva 1. Ehdotettu kehys kestävän arvoesityksen arvoiksi (S. Patala ym. / Industrial Marketing Management 59 (2016), 144–156.)

Arvolause-kehysten viimeinen vaihe keskittyy osoittamaan asiakkaan saaman arvon. Opinnäytetyössä hiilijalanjälkeä käytetään pääindikaattorina. Jotkut indikaattorit, esim. ympäristölliset ja sosiaaliset, eivät välttämättä mittaa asiakkaalle tarjottua arvoa, mutta osoittavat hyödyt yhteiskunnalle ja ympäristölle.

Toinen vaihtoehto kestävyiden asiakasarvon osoittamiseksi on käyttää ympäristöön liittyviä tai sosiaalisia sertifikaatteja. Molemmat osoittavat kestävän arvon vaikutukset asiakkaan julkiseen kuvaan. Suoran taloudellisen arvon osoittaminen todistetulle julkiselle

kuvalle on haastavaa. Sen sijaan erilaisia ympäristöpositiivisia merkkejä kuten ympäristösertifikaatteja voidaan hyödyntää osoittamaan kestävän kehityksen arvoa asiakkaalle, joka puolestaan voi käyttää sertifikaattia viestinnässä omien sidosryhmiensä kanssa.

Yritykset, kuten Puma ja Disney, ovat yrittäneet laskea epäekologisia kustannuksiaan luomalla hiilidioksidipäästöilleen sisäisen hinnoittelun, jota sovelletaan osto- ja hankintapäätöksiin (Chouinard ym. 2011). Kuitenkin hyvin harvat yritykset ovat valmiita muuttamaan osto- ja hankintapäätöksiä perustumaan ekologisuuteen ja vähähiilisyyteen.

Asiakkaille lisäarvon tuomiseksi tulisi huomioida prosessin kehittäminen, virtaviivaistaminen ja kehitettävien kohteiden löytäminen puuttuvan tiedon paikantamisen avulla. Kehitys alkaa suunnitteluvaiheesta ja jatkuu hankinnan kautta tuotantoon sekä asennukseen saakka. Lisäarvon tuomiseksi tulee tutkia olemassa olevia standardeja. Kehittämisessä hankinnan tulee osallistua projektiin aikaisemmin, jotta suunnittelu voisi löytää kestävämpiä ratkaisuja.

3 HIILIJALANJÄLJEN PIENENTÄMINEN TUOTTEEN ELINKAARESSA

Yritykset tuntevat merenkulun ympäristösäädöksiä vähintään kohtalaisesti, suurin osa hyvin tai jopa erinomaisesti. Yritykset katsovat sääntelyllä olevan kohtalaisia tai merkittäviä positiivisia vaikutuksia yrityksen kilpailutilanteeseen.

3.1 Kiertotalous

Materiaalien ympäristökuorma syntyy lukuisista osatekijöistä eikä niiden vertaaminen keskenään ole aina yksiselitteistä. Materiaalin ympäristökuorma määräytyy raaka-aineiden tuotannosta, valmistuksesta ja kuljetuksista syntyvien päästöjen sekä tarvittavan energian ja luonnonvarojen kulutuksen suhteesta valmiin tuotteen käyttöikään ja kierrätettävyyteen sekä myöhempään energian ja luonnonvarojen kulutukseen.

Varsinkin ulkomailla on alettu kiinnittää huomiota materiaalien piiloenergiavirtoihin ja hiilijalanjälkiin. Piiloenergiavirralla tarkoitetaan tuotteen valmistusprosessiin ja kuljetuksiin kulunutta energiaa. Vähällä energialla ja luonnonvaroilla tuotettu pitkäikäinen ja helposti kierrätettävä tuote on ympäristöystävällinen. (Hänninen 2016.)

Korjausrakentaminen kuluttaa uusia materiaaleja sekä synnyttää korjausjätettä. Kiertotalouden mukaisen rakentamisen keskeisinä toimenpiteinä ovat materiaalitehokkuus, rakennusten käytön optimointi sekä rakennuksen elinkaaren pidentäminen. Materiaalitehokkuudessa keskeisenä osana ovat kestävästi tuotetut, kierrätyskelpoiset ja uusiutuvat materiaalit, joiden koko elinkaari on otettu huomioon. (Alhola ym. 2016, 19.)

Kiertotalous muodostaa yhden suurimmista hiilidioksidimäärän vähennyspotentiaaleista. Kiertotaloutta voidaan hyödyntää esimerkiksi metallien tuotannossa. Metallit muodostavat hiilidioksidilaskuriin määritellyillä alueilla suurimman osan painosta ja niiden jatkokierrätysmahdollisuudet ovat hyviä. Kierrätettyjen materiaalien käyttö laskeekin suuresti raaka-aineiden lähtöarvoja, joista tulisi kysyä laajemmin materiaalitoimittajilta. Toinen kiertotalouden näkökulma, jota tulisi hyödyntää on asiakkaille toimitettavien lopputuotteiden mahdollinen kierrätettävyyden. Tuotteiden jatkokierrätys on myös tärkeä ottaa huomioon sisustusmateriaaleissa. Sisustusmateriaalit yleensä uusitaankin 10–15 vuoden välein laivan uudelleen sisustamisvaiheessa.

Kuvassa 2 on esitelty kiertotalouden eri osa-alueita, joita tulisi pohtia tuotteiden hiilidioksidin vähennyspotentiaalin kannalta.



Kuva 2. Tuula Sjöstedt, Hiilineutraaliin kiertotalouteen liittyviä käsitteitä.

3.2 Hiilikädenjälki

Hiilikädenjälki kattaa tuotteen, prosessin tai palvelun ilmastohyödyt eli päästövähennyspotentiaalin käyttäjälle. Esimerkiksi kun yritys tuottaa hiilikädenjälkeä asiakkaalleen, asiakas pystyy alentamaan omaa hiilijalanjälkeään. Hiilikädenjälki korostaa myönteisiä päästövaikutuksia tulevaisuudessa, kun taas hiilijalanjälki keskittyy kielteisiin päästövaikutuksiin nyt. (Sitra 2021.)

Hiilikädenjäljessä on kolme keskeistä trendiä: 1 Asiakaskeskeisyys. 2 Luonnonvarojen ylikulutus ja ilmastomuutos suuntaavat sääntelyä. 3 Ekologian kehitys ja digitalisaatio.

Kiertotalouden mukainen liiketoiminta voidaan jaotella viiteen eri liiketoimintamalliin, jotka ovat: uusiutuvuus, jakamislustat, tuote palveluna, tuote-elinkaaren pidentäminen, sekä resurssitehokkuus ja kierrätys.

Yritykset, jotka eivät kykene muuttumaan, tulevat menettämään toimeksiantoja kehittyville yrityksille. Ratkaisujen ja palveluiden vaikuttavuutta mitataan hiilikädenjäljen avulla. (Product Carbon Footprinting for Beginners.)

Hiilikädenjäljen ilmastohyötyjä on esimerkiksi rakennusosien uudelleenkäytön tai materiaalien kierrätyksen kautta vältetyt kasvihuonekaasupäästöt ja rakennuksessa tai tontilla tuotettu ylimääräinen uusiutuva energia. Hiilikädenjälkeä ei kuitenkaan vähennetä hiilijalanjäljestä. Uudelleenkäytettävien tai kierrätettävien materiaalien tulee olla vähähiilisyyteen vaikuttavia nettohyötyjä, joita ei syntyisi ilman niiden hyödyntämistä. Laskentaan voidaan sisällyttää vain ne tuotteet, jotka on arvioitu mukana projektin hiilijalanjälkeä laskettaessa. Jos lasket ylijäävälle uusiutuvalle energialle hiilikädenjäljen, myös energian tuottamiseen tarvittava elinkaaren hiilijalanjälki on laskettava.

Ylijäävän uusiutuvan energian määrä voidaan arvioida vuosittain (kWh/a). Laskennassa tulokset on ilmoitettu hiilidioksidikiloina (kgCO₂). Laskettaessa voidaan koko elinkaaren hiilikädenjälki summata yhteen elinkaaren eloperäiset hiilivarastot, hiilinielut ja elinkaaren ulkopuolella tapahtuvan materiaalien uudelleenkäytön, kierrätyksen tai energiahyödyntämisen avulla vältettävät päästöt. Materiaalissa tulisi ilmetä käytössä olevaa tavanomaista tuotanto-, kierrätys- tai energiateknologian esiintyminen. Hiilikädenjälki tulee esittää erillisenä lisätietona hiilijalanjäljestä. Hiilikädenjälki tulee ilmoittaa aina absoluuttisina nettoilmastovaikutuksina, eikä sitä vähennetä hiilijalanjäljestä (Ympäristöministeriö 2019.)

Hiilikädenjäljen käyttötarkoituksia ovat

- tieteeseen perustuvien ympäristöstrategioiden tukeminen
- parantamispotentiaalin tunnistaminen
- tuote- ja tuotantoprosessin kehitys
- vaihtoehtojen vertailu (esim. raaka-aineet, teknologiat)
- valmistautuminen tulevaisuuden lainsäädännön noudattamiseen
- markkinointi ja kommunikointi

-asiakkaiden ja muiden sidosryhmien, kuten sijoittajien ja viranomaisten päätöksenteon tukeminen (VTT:n luento 24.4.2021.)

Hiilikädenjäljellä pystytään osoittamaan kansainvälisesti liiketoiminnan ja vastuullisuuden edelläkävijyyttä. Se on kuitenkin pystyttävä osoittamaan ja viestimään luotettavasti. Hiilikädenjäljessä arvioidaan ja viestitään organisaation aikaansaamaa ympäristöhyötyä. Päätaavoitteena on kannustaa vähentämään päästöjä sekä viestimään aikaansaadusta kehityksestä.

Hankekädenjälki sivuaakin myös hyvin hiilikädenjälkeä, joka kuvaa suunnitellun ja toteutuneen projektin aikaansaamia positiivisia ympäristövaikutuksia. Käyttökohteina ovat rahoituksen tukeminen ja saavutettavien tulosten todentaminen. Hankekädenjäljessä voidaan tarkastella kaikkia ympäristökädenjälkimenetelmien vaikutusluokkia ja indikaattoreita.

3.3 Cleantech

Cleantech voidaan määritellä teknologiana, tuotteena, palveluna, prosessina tai suljetuna systeeminä, joka edistää luonnonvarojen kestäväää käyttöä. Se maksimoi materiaali-, vesi- ja energiatehokkuuden sekä taloudellisesti, että teknologisesti ja pienentää samalla päästöjä veteen, ilmaan ja maahan.

Cleantech- sekä ICT-ratkaisujen voidaan nähdä olevan keskeisiä tavoiteltaessa kestäväällä tavalla kilpailukykyisiä liiketoimintamalleja ja tehostettaessa olemassa olevien arvoketjujen toimintaa meritoimialoilla (TEM 2016). Valtioneuvosto on laatinut cleantech-strategian, jossa tavoitteeksi on asetettu mm. investointien lisääminen cleantechissä ja sen nostaminen kärkiteemaksi. Cleantech ja siihen liittyvät ilmiöt, kuten digitalisaatio, automatisaatio, robotisaatio sekä bigdata, on tunnistettu keskeisinä meriklusterin kehitystä ohjaavina teknologisina muutosvoimina (Karvonen ym. 2016). Cleantechiin luottavien yritysten määrä Suomessa on suuri ja tulevaisuudessa jatkuvasti kasvava. Varustamojen ja hankkeen selvitysten kautta voidaan havaita, että cleantech-alan kanssa tehdään yhteistyötä usealla eri osa-alueella.

Kestäväää kehitykseen profiloituminen tarjoaa Suomelle mahdollisuuden edesauttaa ja varmistaa kotimaisen teollisuuden tulevaisuuden kasvumahdollisuuden ja olla edelläkävijä toteutuvan kehityksen suhteen. Toimialojen synergioita hyödyntäen ja valtiovallalta

odotettujen strategisten kehityspanostusten myötävaikutukset tulevat näkymään tulevaisuudessa kasvuna Suomen markkinoilla.

3.4 Digitalisaatio

Digitalisaatiota tulisi hyödyntää NIT:n toiminnassa kestävä liiketoiminnan ja ympäristöystävällisempien tuotteiden kehittämisessä. Tietomallintamisen hyödyntäminen varhaisessa vaiheessa mahdollistaa vaihtoehtojen helpomman vertailun ja muutosten tekemisen ennen kuin kustannusten ja hyötyjen kannalta suurimmat päätökset lyödään lukkoon.

Digitalisaation perusajatuksena on se, että tieto virtaa sujuvasti koko prosessin läpi ja eri osapuolet voivat rikastaa tietoa omalla osaamisellaan. Tällöin digitalisaatiosta voidaan saada erityisen suuria hyötyjä rakentamisen kaltaisessa verkottuneessa liiketoimintaprosessissa, jossa on paljon osapuolia ja suuri osa niistä vaihtuu hankkeesta toiseen. (Suomen tieyhdistys 2021).

Digitalisaatio tuo palvelut lähelle, vähentää kustannuksia ja sujuvoittaa prosesseja. Suomalainen insinööriosaaaminen ja infrastruktuuri ovat monin paikoin kovatasoista ja ihmisten suhtautuminen digitalisaatioon on varovaisen innokasta. Digitalisaation ansiosta resursseja käytetään aikaisempaa tehokkaammin sekä arvoketjut lyhentyvät ja tehostuvat. Palveluiden ja datan merkitys on kasvanut merkittävästi.

Digitalisaation, tietomallinnuksen ja sujuvan tiedon virtauksen avulla voidaan helpottaa suunnittelua, kokonaisuuden optimointia ja erilaisten vaihtoehtojen vertailua. Digitalisaation avulla koko rakentamisen ketju nopeutuu. Säästynyt aika voidaan käyttää esimerkiksi erilaisten vaihtoehtojen vertailuun sekä parempaan kustannusten ja laadun hallintaan. Digitalisaation muutosvoima on laajasti tunnistettu ja sen meriklusterille tarjoamiin mahdollisuuksiin uskotaan myös Suomessa (Karvonen ym. 2016; Kotiranta ym. 2015).

Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi on laadittu vuoteen 2023 asti ulottuva kolmiportainen tiekartta, minkä avulla pyritään tiukentamaan asteittain alusten energiatehokkuutta merenkulun globaalien päästöjen vähentämiseksi. Tähän mennessä sovitut toimenpiteet ovat uusia aluksia rakennettaessa energiatehokkuuden suunnitteluindeksi (EEDI) ja aluksen operointivaiheessa edellytettävä energiankäyttösuunnitelma (SEEMP). Näiden yksittäisten alusten kasvihuonepäästöjä ohjaavien toimenpiteiden lisäksi ovat tulossa tiedonkeruujärjestelmät, kuten IMO:n globaali DCS (Data Collection

System) ja EU:n alueella toteutettava MRV (Monitoring, Reporting and Verification). Näistä raportointijärjestelmistä saadut tiedot otetaan huomioon IMO:n GHG-strategian laadinnassa (Repka ym. 2017). Yritykset pystyvät digitalisaation ansiosta käyttämään erilaisia digitaalisia työkaluja ja siten tarjoamaan tehokkaampia ratkaisuja esimerkiksi liikkeenjohdon haasteisiin.

4 ELINKAARIARVIOINNIN TYÖKALUT

4.1 VTT LCA -työkalu pohjautuen EN 15804 -standardiin

Rakennus-sektorille on kehitetty menetelmät ja standardit koko elinkaaren arviointia varten, joita tulisi noudattaa arvioinneissa ja vertailuissa. EN 15804 tarjoaa keskeiset tuoterhymsäännöt kaikille rakentamisen LCA:n tuotteille ja palveluille. Siinä kuvataan elinkaarivaiheet ja prosessit sekä määritellään ehdot, joissa rakennustuotteita voidaan verrata. Se sisältää säännöt elinkaarivaraston ja elinkaarivaikutusten arvioinnin laske-
miseksi. Arviointi ilmaistaan moduuleilla, jotka mahdollistavat helpon organisoinnin ja data-
tapaketit, joilla tarkkaillaan tuotetta koko elinkaaren ajan. Järjestelmän rajojen mukaan elämäjaksot ovat vaiheissa tuotantovaihe (A1-A3), rakennusvaihe (A4-A5), käyttövaihe (B1-B7) ja elinkaaren loppu (C1-C4), esitettyä kuvassa 3. Tässä työssä käyttövaihe ja elinkaaren loppu eivät ole mukana. Tärkeimmät ympäristövaikutukset syntyvät materiaalien ja tuotteiden tuotantovaiheista (A1-3). Kuljetusetaisyysien vaikutukset ilmoitetaan osiossa (A4). Asennustöiden (A5) vaikutus on paljon pienempi, kuin edelliset vaiheet. Asennustöiden A5 vaihe tullaan tulevaisuudessa ottamaan huomioon työkalua kehitettäessä. NIT:n työkalu kattaa vaiheet (A1-A4).

Vaiheissa (C1-C4) arvioidaan materiaalin nettovaikutuksia kierrätys, uudelleenkäyttö ja mahdollista hyödyntämistä energiantuotannossa. Vaikutukset ilmoitetaan elinkaaren päätyttyä. Yllä olevista vaiheista saadaan myös muodostumaan hiilikädenjälki moduuli (D). Arviointi tarvitsee erillistä taustatietoa tuotteiden hiilikädenjäljistä, skenaarioiden kehittämistä ja kädenjälkien sisällyttämisestä laskentatyökaluun.

Ympäristövaikutuksia kuvaavat indikaattorit soveltuvat tuotteen, materiaalin ja rakennuksen tasolle elinkaarivaikutusten arviointimenetelmään (LCIA). Yksi keskeinen ympäristövaikutusluokka on ilmastonmuutos. Tämä esitetään ilmaston lämpenemispotentiaalina ja se on myös indikaattori vähähiilisen rakennuksen arviointia varten. Hiilijalanjälki on indikaattori, joka arvioi tuotteen aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt koko sen käyttöajan, ilmaistuna hiilidioksidiekvivalenttina (CO₂e).

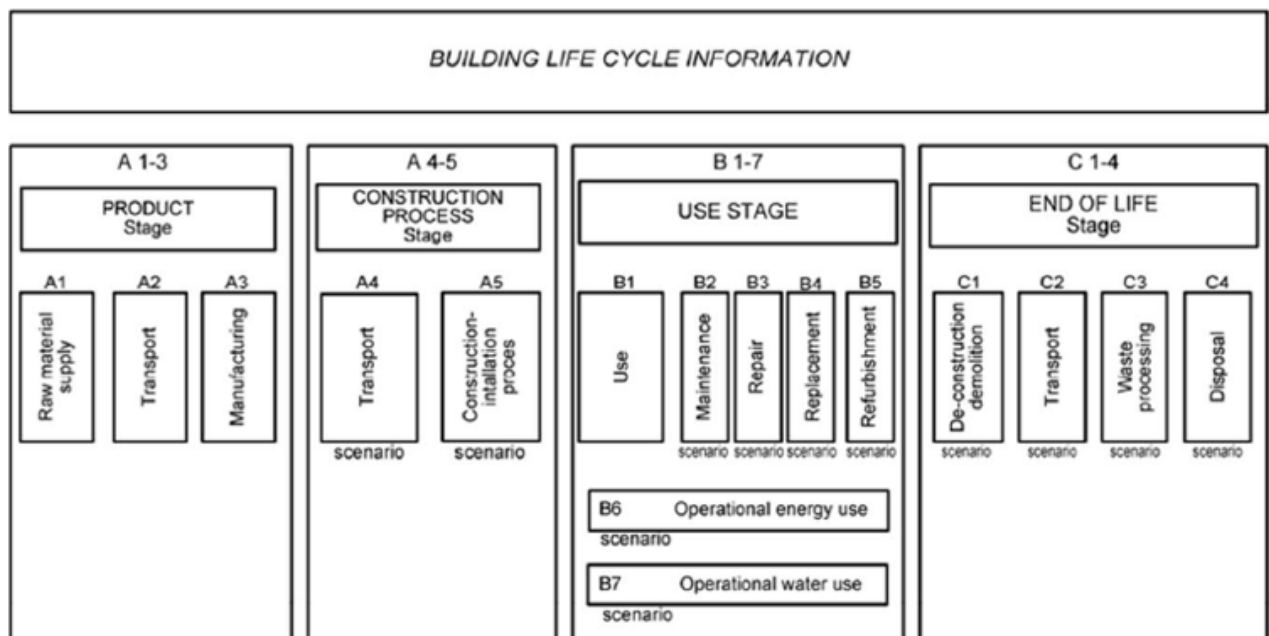
Tärkeimmät kasvihuonekaasut hiilijalanjälkilaskelmissa ovat fossiilinen hiilidioksidi (CO₂), metaani (CH₄), typpioksidi (N₂O), jotka vaikuttavat hiilidioksidipäästöihin, mutta eivät sisällä merkittäviä rakennustuotteiden määriä. Hiilijalanjäljen arvioinnissa nämä

päästöt määritetään ensin ja päästöt painotetaan niiden mahdollisten kasvihuonekaasuvaikutusten mukaan (ICCC 2007) ja lopuksi tulos lasketaan yhteen.

(Kaava 1). $GWP = (CO_2e) = CO_2 + 25 \cdot CH_4 + 298 \cdot N_2O \dots \text{ekv. (1)}$

Hiilijalanjälki valittiin NIT:n tutkimukseen ympäristön kestävyysindikaattoriksi. Suunnittelutoiminnot voitaisiin luokitella tasojen mukaan. Toiminnallisuus voidaan saavuttaa kolmen eri tason avulla: ylellisyystaso, vakiotaso ja budjettitaso. Halusta riippuen kaikki tasot ovat toteutettavissa, mutta todennäköisesti aiheuttavat erilaisia kustannuksia ja ympäristövaikutuksia.

Työn tavoitteena on luoda matkustaja-aluksille hiilijalanjäljen ja tuotteen kuljetuksen Excel-pohjainen laskentatyökalu. Arviointi sisältää elinkaarimoduulit A1-4 (tuote- kuljetusvaihe) (EN15804) (Kuva 3).



Kuva 3. Elinkaaritietomoduulit EN15804 standardin mukaan.

NIT:n työkalu sisältää tuotevaiheen (A1-4), jossa (A1) on raaka-ainehankinta, (A2) on raaka-aineen kuljetus tuotteen tuotantopaikkaan, (A3) on tuotanto- ja (A4) kuljetusvaihe (tuotteen kuljetus NIT:n asennuspisteeseen).

NIT-liiketoiminta keskittyy monenlaisiin asennuksiin: sisustustiloihin, eristykseen, sähköihin, putkistoihin, huonekaluihin ja erityisprojekteihin. Tässä työssä keskitytään vain sisustusasennuksessa määriteltyihin rakenteisiin ja materiaaleihin. Kokonaisarviointissa

otetaan huomioon miehistöportaikko ja ravintola-alue. Tutkittavana ovat seinät, vuoraukset, katot, lattiat, alusmateriaalit sekä kiintoasenteiset huonekalut.

Hiilijalanjäljen arviointia varten tarvitaan asiaankuuluvat yksikköpäästöt materiaalityypeittäin. Yksikköpäästöt tulee kerätä ja sisällyttää arviointijärjestelmään taustatietokantana. Elinkaariarviointi sisältää myös materiaalikuljetusten vaikutukset. Kuljetuksien vaikutusten arvioimiseksi on kerättävä taustatietoja keskimääräisistä kuljetusmatkoista, kuljetusmuodoista ja kuljetusmuodon täyttöasteesta.

Jos laivan toteutusvaiheessa tullaan käyttämään uudelleen vanhoja rakennusosia tai muilta työmailta ylijääneitä tuotteita, jätetään nämä arvioinnin ulkopuolelle. Oletus tuotteiden uudelleenkäytöstä voidaan tehdä vain silloin, kun uudelleenkäytettävät tuotteet ovat olleet osana suunnittelua. Samaa oletusta ei voi tehdä enää myöhemmin materiaalikorjausten- ja materiaalivevaihtojen (moduulit B3–4) aikana.

4.2 EN 15804 -standardi

Ympäristömerkinnän tavoitteena on lisätä puolueetonta tietoa tuotteiden ympäristövaikutuksista, ohjata tuotteiden valmistusta ja kulutusta ympäristöä säästävään suuntaan.

TYYPIN I ympäristömerkit (ISO 14024) vapaaehtoinen, monikriteerinen, kolmannen osapuolen tarkistama ja myöntämä merkki. Ehdot täyttämällä oikeutetaan käyttämään tiettyä ympäristömerkkiä tuotteiden yhteydessä.

TYYPIN II ympäristömerkit (ISO 14021) omaehtoiset ympäristöväittämät. Ympäristöväittäjä, jota ei ole todennettu kolmannen osapuolen toimesta.

TYYPIN III ympäristömerkit (ISO 14025). Tyypin III ympäristöselosteet on ensisijaisesti tarkoitettu käytettäväksi yritysten välisessä viestinnässä, mutta niiden käyttöä yrityksen kuluttajaviestinnässä tietyin ehdoin ei ole suljettu pois. (Rakennustieto Oy ja Rakennustietosäätiö RTS.)

EN 15804 standardin mukaisilla indikaattoreilla kuvataan tuotteen elinkaaren aikana aiheutuvia ympäristövaikutuksia, joita ovat mm. ilmastonmuutosvaikutus, joka huomioi hiilijalanjäljen otsonia tuhoavat aineet. Nämä ohentavat otsonikerrosta, happamoittavat maaperää ja vesistöjä. Verifiointi tapahtuu standardien EN ISO 14025 ja ISO 21930:2007 mukaisesti.

Standardissa (EN 15804) esitetään rakennustuotteiden ja rakennuksen oheispalveluiden tyyppin III ympäristöselosteiden laadinnan yleissäännöt. Siinä on ilmoitettavat parametrit, toimitettavat tiedot sekä tavat, jolla ne järjestellään ja raportoidaan. Standardissa on yleissäännöt skenaarioiden laatimiseksi. Ympäristöselosteen perustana on inventaarioanalyysin ja vaikutusarvioinnin laskentaa, sekä laskennassa käytettävän tiedon ja laadun määrittely. Rakennuspalveluita käsittelevää ympäristöselostetta koskevat samat säännöt ja vaatimukset kuin rakennustuotteiden ympäristöselostetta.

Yleissäännössä on ilmoitettavat parametrit, toimitettavat tiedot sekä tavat, jolla ne järjestellään ja raportoidaan. Siinä määritellään, mitkä tuotteen elinkaaren vaiheet katetaan ympäristöselosteessa (EPD) ja mitkä prosessit on sisällytettävä kuhunkin elinkaaren vaiheeseen. Siinä on yleissäännöt skenaarioiden laatimiseksi, säännöt ympäristöselosteen perustana olevan inventaarioanalyysin ja vaikutusarvioinnin laskentaan, sekä laskennassa käytettävän tiedon laadun määrittely. Yleissääntöjen tavoitteena on varmistaa todennettavissa olevien ja yhdenmukaisten, elinkaariarviointiin perustuvien tietojen tuottaminen ympäristöselostetta varten.

Seuraavaksi esitellään mahdollisia vaihtoehtoisia tapoja toteuttaa laskenta, ehtojen täyttyessä.

”Kehdosta tehtaan porteille” sisältäen moduulit C1...C4 ja D (A1...A3, C, D). Vähintään nämä vaiheet on ilmoitettava ympäristöselosteen oletustyyppiä varten. Niiden on perustuttava ilmoitettuun yksikköön.

”Kehdosta tehtaan portille optioin”, moduulit C1...C4 ja D (A1...A3, C, D ja lisämoduulit. Lisämoduulit voivat olla A4 ja/tai A5 ja/tai B1...B7). Tämän ympäristöselostetyypin on perustuttava toiminnalliseen yksikköön tai ilmoitettuun yksikköön.

Jos B-moduuleja ja käyttöskenaarioita ei ilmoiteta, ympäristöselosteen on perustuttava ilmoitettuun yksikköön. ”Kehdosta hautaan” ja moduulit D (A, B, C ja D). Tämän ympäristöselostetyypin on perustuttava toiminnalliseen yksikköön tai ilmoitettuun yksikköön.

”Kehdosta tehtaan porteille ” (A1...A3). Vähintään nämä vaiheet on ilmoitettava kaikille rakennustuotteille, joille ei tarvitse ilmoittaa moduuleja C ja D, ja ilmoituksen on perustuttava ilmoitettuun yksikköön. Tämä ympäristöselostetyyppi ei ole sallittu tuotteille, jotka sisältävät eloperäistä hiiltä.

”Kehdosta tehtaan portille optioin” (A1...A3 ja lisämoduulit. Lisämoduulit voivat olla A4 ja/tai A5). Tämä ympäristöselostetyyppi on mahdollinen vain tuotteille, joille ei tarvitse

ilmoittaa moduuleja C ja D. Tämän ympäristöselostetyypin on perustuttava toiminnalliseen yksikköön tai ilmoitettuun yksikköön. Tämä ympäristöselostetyyppi ei ole sallittu tuotteille, jotka sisältävät eloperäistä hiiltä. (Suomen standarditoimistoliitto 2019.)

4.3 Elinkaariarvioinnin (LCA) yleissäännöt

Elinkaaren vaiheet on jaettava moduuleihin. Moduulit sisältävät tuotteiden ja materiaalien elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset ja -näkökohdat. Esimerkiksi asennuksen aikana tapahtuvan hävikkimateriaalin tai -tuotteen valmistus, kuljetus sekä jätteen käsittely ja loppusijoitus ilmoitetaan asennusmoduulissa A5.

Tuotteen valmistamiseen sisältyvät seuraavat moduulit. Moduuli A1 on raaka-aineiden hankintaan ja käsittelyyn perustuva, tuotteen voi myös valmistaa kierrätysmateriaaleista (esim. kierrätysmateriaalien jatkoprosessointi). Moduuli A2 on raaka-aineiden kuljetus valmistukseen. Moduuli A3 on tuotteen valmistus. Moduuleihin sisältyy kaikkien materiaalien, tuotteiden ja energian hankinta, sekä moduuleissa syntyvän jätteen käsittely uusiokäyttövaiheeseen saakka tai tuotevaiheessa syntyvän jätteen loppusijoitus.

Rakentamisvaiheeseen kuuluvat seuraavat moduulit. Moduuli A4 on tuotteen kuljetus työmaalle tai asennuskohteeseen. Moduuli A5 on työmaatoiminnot kuten tuotteen asennus. Moduuleihin sisältyy asennusvaiheessa tarvittavat lisä- ja apumateriaalit, energian ja veden käyttö sekä moduuleissa syntyvän jätteen käsittely 'end-of-waste-tilaan saakka ja rakentamisvaiheessa syntyvän jätteen loppusijoitus. Moduulit sisältävät myös näissä moduuleissa tapahtuvan tuotteiden ja materiaalien hävikin elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset ja -näkökohdat. Kuljetuksen aikana tapahtuvan hävikkimateriaalin tai -tuotteen valmistus, kuljetus sekä jätteen käsittely ja loppusijoitus ilmoitetaan kohdennettuna kuljetusmoduulin (A4) ja asennuksen aikana tapahtuva vastaavasti asennusmoduuliin (A5).

Käyttövaiheeseen sisältyy: B1 käyttö (asennetun tuotteen käyttö tai soveltaminen), B2 kunnossapito, B3 korjaus, B4 osien vaihto ja B5 laajamittaiset korjaukset. Moduuleihin sisältyy käyttövaiheessa tarvittavat tuotteet ja materiaalit, energian ja veden käyttö sekä moduuleissa syntyvän jätteen käsittely 'end-of-waste-tilaan saakka ja käyttövaiheessa syntyvän jätteen loppusijoitus. Moduulit sisältävät myös näissä moduuleissa tapahtuvan

tuotteiden ja materiaalien hävikin elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset ja -näkökohdat kohdennettuna kyseiseen moduuliin (valmistus, kuljetus sekä jätteen käsittely ja loppusijoitus).

Tuotteen käyttövaiheeseen kuuluvat toimintaan liittyvät informaatiomodulit. Moduuli B6 on energian käyttö ja B7 veden käyttö. Tuotteen purkuvaihe on ilmoitettu seuraavilla moduuleilla. Moduuli C1 on purkaminen, moduuli C2 on purkuvaiheen kuljetukset. Moduuli C3 on purkujätteen käsittely uudelleenkäyttöä, hyödyntämistä ja kierrätystä vasten. Moduuli C4 on purkujätteen loppusijoitus. Elinkaaren ulkopuolisiksi vaikutuksiksi luetaan moduuli D. Moduuli D on uudelleenkäytön, hyödyntämisen ja kierrätyksen arvioitujen nettovaikutukset.

4.4 LCA (Life Cycle Assessment)

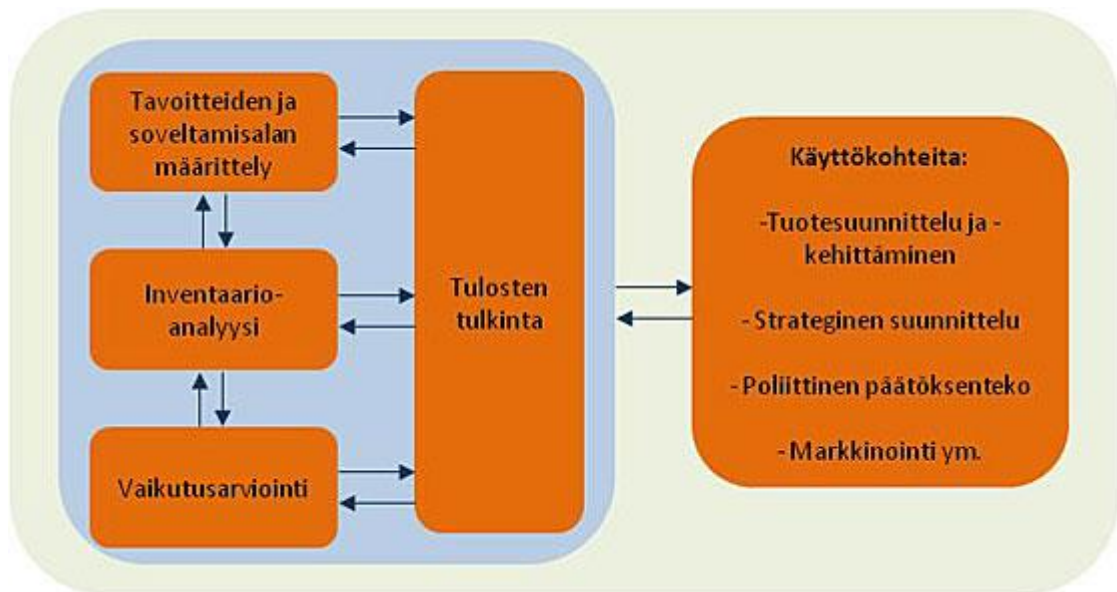
Elinkaariarvioinnilla (LCA) tarkoitetaan tuotteen tai palvelun koko elinkaaren ympäristövaikutusten tutkimista materiaalin louhinnasta valmiiseen tuotteeseen, sen käyttövaiheeseen ja hävittämisen asti. LCA on systemaattinen menetelmä, joka on standardoitu ISO 14040:neen. LCA selvittää tuotteen, tuotannon tai järjestelmän ympäristövaikutukset ja määrittää saatujen arvojen laskennan. LCA:n pitää standardin mukaan sisältää neljä vaihetta: tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyn, inventaarioanalyysin (Life Cycle Inventory, LCI), vaikutusarvioinnin, (Life Cycle Impact Assessment, LCIA) ja tulosten tulkinnan. Täydellinen elinkaari käsittää materiaalien hankinnan luonnosta, niiden prosessoinnin ja kuljetuksen sekä tuotteen valmistuksen, jakelun, käytön, uudelleenkäytön, huollon, kierrätyksen ja hylkäämisen. (Suomen Standardisoimisliitto SFS-EN ISO 14040:2006, 8 - 10.)

Tarkemmin sanottuna LCA on yksi standardoiduimmista menetelmistä, jotka on julkaistu ISO14000-tuoteperheessä ja jota käytetään kehyksenä monille ympäristöhallintajärjestelmille (EMS) sekä ympäristömerkinnöille ja -ilmoituksille.

LCA tutkii myös järjestelmään liittyviä materiaalivirtauksia ja ottaa huomioon laajan valikoiman vaikutuksia, jotka liittyvät luonnonympäristöön, ihmisten terveyteen ja resurssien käyttöön, joiden tarkoituksena on määrittää heille eniten merkitykselliset ympäristövaikutukset ja elinkaarivaiheet (Rebitzer ym. 2004; Soukka 2007).

Yksityiskohtaisten elinkaariarviointien sijaan voidaan tehdä myös ns. yksinkertaistettuja elinkaariarviointeja, joissa tarkastelu kohdistetaan johonkin tiettyyn päästöön (esim.

CO₂-päästö) tai johonkin rajattuun tuotejärjestelmäosaan. (Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu 2013).



Kuva 4. Elinkaariarvioinnin vaiheet ISO 14040:2006 mukaan

4.5 LCC (Life Cycle Costing)

Elinkaariarvioinnin (LCA:n) yksi lisätyökaluista on (LCC) elinkaarikustannuslaskenta. Elinkaarikustannuslaskenta kertoo, mitä hankittava tuote tulee organisaatiolle maksamaan, ei ainoastaan investointihetkellä, vaan myös käytön aikana ja käytöstä poistettaessa, esimerkiksi sähkö-, huolto- ja jätemaksuina. Varsinkin energiaa käyttävien laitteiden käyttökustannukset voivat olla jopa hankintahintaa suuremmat. Elinkaarikustannuslaskenta auttaa hankkijoita löytämään kokonaistaloudellisesti edullisimman tarjouksen. LCC-työkalut on suunniteltu ennen kaikkea malliksi ja sovellettavaksi tuotteiden ja/tai tarjousten arvioinnissa ja vertailussa. Työkalusta on hyötyä myös hankinnan suunnittelussa ja tarvekartoituksessa, koska sen avulla voidaan arvioida esimerkiksi investointi- ja käyttökustannusten osuutta. (Motiva 2021.)

4.6 EPD (Environmental Product Declaration)

Environmental Product Declaration (EPD) on itsenäisesti todennettu ja rekisteröity asiakirja, joka välittää läpinäkyvää ja vertailukelpoista tietoa tuotteiden elinkaaren ympäristövaikutuksista. EPD on loppuraportti ja sen perustana toimii elinkaariarviointi (LCA). EPD tarkastelee tavaroiden ja palvelujen täydellistä elinkaariarviointia. Verrattuna vaihtoehtoihin raportointimuotoihin, kuten ympäristömerkkeihin ja itse ilmoitettuihin tarroihin, jotka kattavat vain elinkaarinäkökulman näkökohdat, EPD kattaa tavaroiden ja palvelujen koko LCA:n.

Ympäristöselosteen (EPD) ilmoitettua yksikköä käytettäessä on otettava huomioon moduulit A1-A4 ja käytön jälkeiset vaikutukset. Poikkeavan yksikön käyttö on perusteltava ja annettava tieto siitä, kuinka tämä yksikkö muunnetaan vähintään yhtä kerrottua yksikköä vastaavaksi. Tuotteen määrät tulee ilmoittaa laskennassa seuraavina yksikköinä: kappale, tuoteyksikkö, massa, pinta-ala ja tilavuus. (Suomen standarditoimistoliitto 2019.)

NIT on ottamassa käyttöönsä lomakepohjan tavarantoimittajien EPD-arvojen todentamiseksi. Lomakkeessa kysytään toimittajien omia mahdollisia EPD-asiakirjoja ja heidän tuotteilleen todennettuja tarkkoja arvoja. Vaihtoehtoinen määrittely tuotteiden hiilijalanjäljestä on NIT:n omalla (LCA) pohjaisella työkalulla. EPD-arvot ovat luotettavia ja voidaan yhdistää NIT:n työkaluun.

Producer	Product	EPD nr	Functional unit	Conversion factor	EPD			amount kg	Producer specific calculation		
					Footprint, kg CO2e A1-3	Footprint, kg CO2e A4	, kg CO2e beyond		Footprint, kg CO2e A1-3	Footprint, kg CO2e A4	Handprint, kg CO2e beyond

Taulukko 1. Hiilijalanjälkilaskurissa täytettävä osio saaduille EPD-arvoille.

Julkisia EPD-tietoja löytyy: <https://cer.rts.fi/epd-ymparistoseloste/selaa-epd-ymparistoselosteita/>. EPD-arvoja tulisi suosia teoreettisten laskentojen sijaan, ne tulisi saada suoraan tavarantoimittajilta.



Table 5.1. Environmental profile for sandwich panels SPA 150E LIFE and SPA 150E LIFE ENERGY

Sandwich panel weight 17.8 kg/m ² U-value 0.25		Life cycle stage						
Environmental impacts	Unit	A1-A3 Total	A4	C1	C2	C3	C4	D
GWP Global warming potential	kg CO ₂ equiv.	35.3	0.276	7.97E-02	0.290	2.10E-02	0.293	-12.1
ODP Depletion potential of the stratospheric ozone layer	kg CFC-11 equiv.	3.42E-06	4.43E-17	6.33E-15	4.74E-17	6.81E-17	9.92E-16	-7.39E-07
AP Acidification potential of soil and water sources	kg SO ₂ equiv.	0.154	9.04E-04	1.16E-04	7.65E-04	1.48E-04	1.01E-03	-5.24E-02
EP Eutrophication potential	kg (PO ₄) ³⁻ equiv.	3.80E-02	2.19E-04	1.84E-05	1.87E-04	3.54E-05	1.26E-04	-2.10E-02
POCP Photochemical ozone creation potential	kg ethene equiv.	1.19E-02	-1.29E-04	1.04E-05	-2.74E-04	1.63E-05	8.08E-05	-1.21E-02
ADP Abiotic depletion potential of resources – element	kg Sb equiv.	2.47E-03	1.82E-08	6.17E-08	2.04E-08	2.35E-08	5.27E-08	-9.32E-06
ADP Abiotic depletion potential of resources – fossil fuel	MJ	473	3.73	0.665	3.89	0.404	2.24	-173

Kuva 5. Esimerkki halutuista EPD-arvoista Ruukin seinäkaseteissa. (https://cer.rts.fi/wp-content/uploads/rts_epd_51-20_rc_sandwich_mw_en.pdf).

Tuotekohtaisia tietoja hankkiessa NIT:n tulee käyttää kuvassa 5 ympyröityjä arvoja. Ympyröidyt arvot sijoitetaan sen jälkeen taulukon 2. esimerkin mukaisesti ja luodaan toimittajalle varmennettu tuote hiilijalanlaskenta työkaluun.

Producer	Product	EPD number, issued and valid date	Functional unit used in EPD calculations	Coefficient for calculating unit emissions	Product stage, A1-3, GWP	Stage D GWP
				weight, kg/m ²	Footprint CO ₂ e kg/m ²	Handprint CO ₂ e kg/m ²
Ruukki Construction	Sandwich panels with mineral wool insulation core	Declaration No. RTS 51 20. Issued: 2020-04-29 valid till: 2025-04-25	sandwich panel with U-value 0.25 W/m ² K	17.8	35.3	-12.1
Prior to use impact results from EPDs, check that the results are given kg/kg bases, if not, make conversion					footprint conversion: 35.3 / 17.8 = 1.98	handprint conversion: -12.1 / 17.8 = 0,68

Taulukko 2. Toimittajille lähetettävä pohja EPD-arvoille.

RTS EPD -ympäristöseloste esittää luotettavasti rakennustuotteiden ympäristövaikutukset. RTS EPD -ympäristöselosteen avulla rakennusurakoitsijat, rakennuttajat ja suunnittelijat ymmärtävät paremmin rakennustuotteisiin ja -materiaaleihin liittyviä ympäristöky-symyksiä. RTS EPD on tyypin III ympäristömerkki ja sen ympäristöselosteet ovat kolmannen osapuolen verifioimia eli todentamia. Niissä esitetyt tiedot on tarkastettu ja todettu luotettavaksi ympäristötiedon lähteeksi. RTS EPD:t ovat vapaaehtoisia ja puolueettomia. Tiedot esitetään EN 15804 standardin mukaisesti. Tällä varmistetaan, että selosteiden tiedot ovat vertailukelpoisia tehtäessä rakennustason tai rakennusosien laskentaa. (Rakennustietosäätiö RTS sr 2021.)

5 KEHITETTY TYÖKALU MITTAAMAAN HIILIJALANJÄLKEÄ

5.1 Hiilijalanjälkilaskennan työkalu

Työtä varten tehtiin alueista materiaaliluettelo ja rakenne työkaluun. VTT laatii luettelon tiedoista, joita tarvitaan hiilijalanjäljen laskemiseen (LCA-menetelmä). Luettelo sisältää esimerkiksi tietoja materiaalien massoista, materiaalityypeistä, kuljetusetäisyyksistä, raaka-aineista, jne.

VTT kerää hiilidioksidimäärien tietoja seuraavasti. Materiaalityypeistä haetaan tietoa julkisesti saatavilla olevista tietokannoista, kirjallisuudesta ja toimittajien EPD:t. NIT:ltä kerätään tiedot arkkitehtiaineistoista, materiaalikirjastoista ja toimittajien kotisivuilta. Tietokanta on luotu julkisesti saatavilla olevien tietojen pohjalta, esimerkiksi kansallisen rakentamisen päästötietokannan (co2data.fi) pohjalta. Muita käytettyjä julkisia lähteitä ovat Environmental Product Declarations (EPD) ja kirjallisuudestasaadut tiedot.

NIT on järjestelmäintegraattori, jonka verkko on suuri alihankinnan kautta. Hiilipohjaisten vaikutusten hallinta ei ole mahdollista koko verkoston arvoketjussa ilman selkeää metodologista lähestymistapaa, tietokantaa ja arviointijärjestelmää.

Projektisuunnitelman mukaan arvioitiin miehistöportaikkoalueilla olevan noin 10 tuotetta ja 25 tuotetta ravintola-alueella. Tämän katsottiin kattavan seinien, kattojen, lattian ja huonekalujen rakentamisen. Projektin aikana todettiin, että tämä määrä ei ollut riittävä ja lopulta hiilijalanjälkilaskelmia koskevassa tietokannassa otettiin huomioon yhteensä 41 materiaalia. Materiaaleja tulee myös mahdollisesti lisää projektin toteutumisvaiheessa.

Excel-laskentataulukko tullaan jättämään "avoimeksi" NIT:llä lisämuokkausta varten ja uusia tietokannan lisäyksiä ajatellen. Tapauksessa, jossa tarvitaan uuden materiaalityypin lisäämistä, NIT voi täydentää tietokannan (tietolomake) materiaalitietoja uusilla materiaaleilla ja niiden hiilijalanjäljellä (elinkaaren vaihe A1-3) ja -kädenjäljellä (vaihe D).

Työkaluun valittiin alue, alueen osa, valmistaja ja tuote. Tuotteesta määriteltiin materiaalit, joista tuote koostui. Laskentataulukkoon merkittiin tuotteen massa neliömetriltä, kerrottuna tuotteen neliömetrimäärällä, jolloin saatiin tuotteen yhteenlaskettu paino. Tuotteet on ilmoitettu kappalemäärinä ja metrimäärinä, jotka ovat merkattu taulukon (Unit)

sarakkeeseen. Muuttujaksi valittiin taulukossa tuotteen massa, jonka avulla pystyttiin laskemaan tuotteen GWP, eli kgCO₂eq. GWP:n taulukkoarvo on materiaali-kohtainen.

5.2 Tuotteiden määrittely

Tuotteet pilkottiin taulukkoon raaka-aine tasolla, esimerkiksi seinäkasetissa esiintyy useita eri materiaaleja ja niiden muotoja. Seinäkasetit ovat metallipinnoitteisia seinäelementtejä. Seinäkaseteissa on kivivillaleveysisuus, joka antaa palosuojaa ja äänieristävyyttä. Materiaalit tuli ilmoittaa niiden olemuksen mukaan, profiileina, levyinä, putkina, ym.

Suurin osa Comedy Clubin (ravintola-alueen) materiaaleista löytyi annettua arkkitehtiaineistoa tutkimalla. Arkkitehtiaineiston materiaaleista noin puolet tulee todennäköisesti toteutumaan laivassa. Loppupäätöksen materiaaleista tekee suunnittelu ja myynti NIT:llä yhteistyössä arkkitehtien ja tilaajan kanssa. Hiilijalanjäljen laskentaan on otettu todennäköisiä toteutuvia materiaalityypkejä.

Comedy Clubissa alueet jaettiin seuraavasti: katto, lattia, seinät, huonekalut ja fasadi. Katossa käytettiin pääasiassa kipsilevyrakenteita ja paneleita. Haastavinta alueiden määrittelyssä oli tukirakenteiden selvittäminen ja niiden määrien arviointi. Rakenteet eivät selviä arkkitehtiaineiston materiaaleista, pelkästään pintamateriaalit. Arkkitehti tai tilaaja määrittävät näkyvät pintamateriaalit, mutta varsinainen rakenne on NIT:n suunnittelema.

Seinät sisältävät Comedy Club alueella runsaasti eri koristemateriaaleja. Koristeet eivät olleet relevantteja ottaa mukaan laskelmiin niiden ollessa yksilöityjä alueeseen. Koristeet eivät myöskään toistu muualla ja niiden arvioiminen olisi työlästä. Kalusteista otetaan laskentaan mukaan kiinteät sohvut ja pöydät. Sohvista eritellään materiaalit, määrät ja massa. Saatua arvoa pystytään kertomaan sohvien metrimäärällä, jolloin saadaan sohvien hiilidioksidimäärä.

Alustavien tietojen mukaan ainakin muutamalta toimittajalta löytyy tarvittavat hiilijalanjälkiarvot EPD-mittauksien muodossa, joita tulemme jatkossa täydentämään laskelmaan. Mikäli toimittajat eivät pysty toimittamaan hiilijalanjälkiarvojaan, tulevat tuotteet laskettua NIT:n määrittämällä oletusarvoilla. Muita mahdollisia valmistajilta taulukkoon hyödynnettäviä arvoja voisi olla seuraavat: materiaalien kestävyys, monikäyttöisyys, korjattavuus sekä huolto- ja varaosapalvelun parantaminen. Tuotteiden vastaanottaminen takaisin

asiakkaalta ja uudelleen käyttö. Tuotteissa olevien haitallisten aineiden korvaaminen, syntyvän jätteen vähennys, tai kierrätysmahdollisuuksien parantaminen.

Korjausten ja laivan muutostöiden yhteydessä asennettavien rakennustuotteiden oletetaan aina olevan uusia. Arvioinnissa jätetään huomioimatta laivassa elinkaaren aikana mahdollisesti tehtävät suunnittelemattomat korjaukset.

5.3 Työkalun toiminta

Työkalu on tehty Excel-taulukko, sen toiminta perustuu alla mainittujen sarakkeiden arvojen määrittämiseen ja täyttöön.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
2	Crew Stair					Theoretical calculation							A2	A3	A1-A3	Hand-print
3	Lining/part number	Calc. Unit	Product	Possible manufacturer	Information	Weight, kg/m ²	Weight, kg/m	Area m ²	Running metre	Weight, kg	Weight with wastes, kg	GWP, kgCO ₂ e	GWP, kgCO ₂ e	GWP, kgCO ₂ e	GWP, kgCO ₂ e	GWP, kgCO ₂ e
4	30	Unit	Wall Cassette													
5		Unit	Steel sheet													
6		Unit	Steel profiles													
7		Unit	Insulation													

Taulukko 3. Pohja hiilijalanjäljen laskennassa.

Taulukkoon 3 on luotu sarakkeet tarvittaville arvoille LCA-laskennassa. Sarakkeessa (A) on alueen osanumero, (B) laskettu yksikkö, (C) tuote ja (D) valmistaja. Sarakkeessa (F) ilmoitetaan massa neliömetriltä tai (G) tuotteen massa metriltä. Sarakkeessa (J) on materiaalin kokonaismassa ja (K) hukan massa.

LCA-määritelmien mukaan kerrotaan sarake (K), tietokannassa ilmoitetulla kgCO₂. Näin saadaan sarakkeen (L) arvo GWP eli kgCO₂ ekvivalentti. Arvot ovat VTT:n tietokannasta olevia hiilidioksidiarvoja raaka-aineille ja niiden muokkauksesta syntyville määriille. Ohessa voidaan myös määritellä moduulien (A1-A4) vaiheet erikseen. VTT:n tietokannan arvot ovat luotettavia taulukon arvojen laskennassa.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	NB1400 ICON CREW STAIR ST31															
2	Crew Stair					Theoretical calculation							A2	A3	A1-A3	Hand-print
3	Lining/part number	Calc. Unit	Product	Possible manufacturer	Information	Weight, kg/m ²	Weight, kg/m	Area m ²	Running metre	Weight, kg	Weight with wastes, kg	GWP, kgCO ₂ e	GWP, kgCO ₂ e	GWP, kgCO ₂ e	GWP, kgCO ₂ e	GWP, kgCO ₂ e
4	30	Unit	Wall Cassette										500	0,04		
5		Unit	Steel sheet		0,6 x2 mm	9,42		1,8		17,0	17,8	43				-25
6		Unit	Steel profiles			4,1		1,8		7,38	7,6	19,0				-10
7		Unit	Insulation Rockwool		25mm slab	1,5		1,8		2,7	2,8	3,3				0
8									TOTAL	27,0	28,2	65,4	0,94	2,6	69,0	-35

Taulukko 4. Massan määrittely tietokannan arvoista.

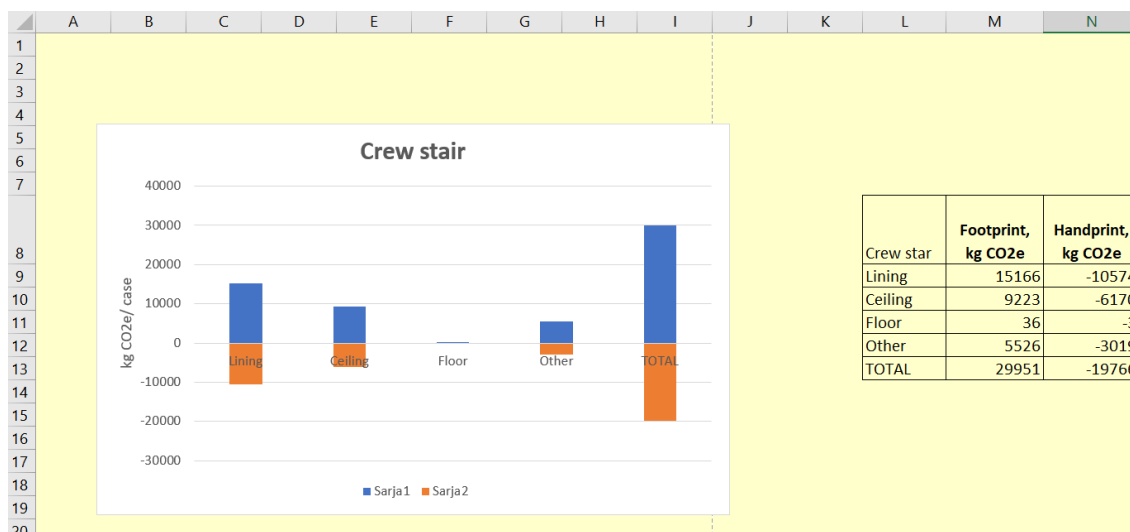
Taulukko 4 sisältää esimerkin seinäkasetista, jossa sarakkeiden 5-7 materiaalit muodostavat kyseisen tuotekokonaisuuden. Laskennallinen hiilidioksidin kokonaispäästömäärä on kyseiselle tuotteelle 65,4 kgCO₂ per kasetti. Tuote on ilmoitettu Unit-muodossa, jolloin se lasketaan kappalemääränä.

2	Database	Name	Density, kg/m3, paints kg/l, or flooring kg/m2	Coefficient for installation waste, kg/kg	Footprint (GWP from A1-3), kgCO ₂ /kg	Handprint (GWP from D), kgCO ₂ e/kg	NOTE
3	1	Adhesive for carpet flooring		1,02	0,99	-6,90E-02	EPD FEICA - Ardex, RDEX AF 270, EPD IBU
4	2	Adhesive glue for vinyl		1,02	4,1	-1,16E-01	EPD, FEICA, ARDEX-AF-180-MS, EPD IBU
5	3	Adhesive for ceramic tiles and natural stone		1,02	0,56		EPD Weber multiglue
6	4	Adhesive, wallpaper glue (natural)					
7	5	Al, profile, (lists)	2700	1,03	2,6	-0,59	CO2data.fi, 75% scrap
8	6	Al, sheet	2700	1,05	10	-7,5	CO2data.fi, 0% scrap
9	7	Copper, sheet	8940	1,05	0,5	0	CO2data.fi, copper and copper
10	8	Copper, wire	8960	1,05	4,2	0	CO2data.fi
11	9	Carpet (polyamide)		1,05	5,4	0	CO2data.fi, polyamide 6.6 + textile backing
12	10	Ceramic tile, floor	20	1,1	0,55	0	CO2data.fi
13	11	Epoxy Resin		1,03	11,7	-0,15	EPD FEICA, Epoxy resin, IBU
14	12	Emulsion				0	
15	13	Fiberglass, mat		1,03	3,43	0	EPD, Vitrolan Technical Textiles GmbH, Glasarmierungsgitter, IBU
16	14	Fibreboard, Mdf, medium density	720	1,05	0,5	-1,4	CO2data.fi
17	15	Laminate coating		1,01	2,6	-0,62	EPD EGGER Laminate Flammex, IBU
18	16	Plaster, Gypsum	921	1,03	0,102	0	EPD Gyproc, Environdec
19	17	Insulation, Mineral wool, stone wool	60	1,03	1,2	0	CO2data.fi

Taulukko 5. VTT:n tietokanta

Taulukossa 5 on esitetty VTT:n tietokanta, josta on linkitetty hiilidioksidimäärien arvot materiaaleille. Taulukossa 5 on huomioitu raaka-aineiden kierrätysaste ennen valmistusta, joka vähentää huomattavasti tuotteiden hiilidioksidimääriä. Esimerkiksi raaka-alumiini voidaan valmistaa jopa 75% kierrätetystä alumiinista. Jos raaka-aine on jo valmistusvaiheessa suuressa määrin kierrätettyä, laskee hiilikädenjäljen arvo jatkokierrätysmahdollisuuden vähentyessä. Tietokannassa on laskettu materiaalien tiheyksiä, joista saadaan haluttu kerroin taulun 4 massan kertoimeksi. Asennushukasta löytyvät arvot ovat tietokannasta, joita hyödynnetään laskuissa.

Tarkat arvot kuitenkin saadaan laskurin käytöllä projektin toteutusvaiheessa ja asiakailta saatujen omien päästömittausten varmistuessa. Hiilijalanjäljen laskuri on täten suuntaa antava. Laskuria tuleekin jatkossa hyödyntää materiaaleja tilattaessa, jolloin tarkat materiaalmäärät, painot ja tilattava hukka ovat todennettavissa. Rakennettavien alueiden valmistuttua saadaan toteutunut hiilidioksidimäärä, jota on mahdollisuus vähentää vaihtoehtoisilla materiaalivalinnoilla.



Taulukko 6. Data-sivulla aluekokonaisuuudet.

Datasivulla hiilijalanjäljen laskennassa aluekokonaisuuudet ja alueiden osa-alueet on ilmoitettu helppolukuisina diagrammeina. Taulukossa 6 on esiteltynä esimerkki miehistöportaikon kokonais- CO2 päästöistä (Sarja 1) ja hiilikädenjälki (Sarja 2), arvot eivät perustu oikein täytettyyn alueeseen. Oheista kokonaisuutta on helpompi tarkastella ja esittää saavutettuja päästövähennyksiä vertailukelpoisten materiaaliratkaisujen kautta. Saatut arvot tullaan ilmaisemaan CO2 per nelimömetriä, joka tekee alueiden vertailun helpommaksi niiden kokojen vaihdellessa. CO2/ m2- vertailussa alueet voidaan myös pilkkoa pienempiin osiin ja tarkastella esimerkiksi seinä-, katto-, lattia- ja kalustekokonaisuuksia.

Taulukkoa 6 tullaan todennäköisimmin esittämään tilaajalle ja muille asiasta kiinnostuneille. Data-sivu on pääasiassa markkinoinnin työkalu. NIT:llä on myös muita hyviä ympäristömittareita kuten Green Office ja HARS-laskenta. Green Office antaa NIT:lle toimiston CO2-mittauksen ja HARS-laskelma tarjoaa projektien CO2-mittauksen.

5.4 Kuljetuksen laskeminen

Taulukossa on otettu huomioon materiaalin valmistusmaa ja kuljetuksista tulevat kilometrimäärät. Valittaessa oikea kuljetusmuoto ja täyttöaste saadaan laskettua niistä muodostuva hiilidioksidimäärä. Laskennassa luodaan perusarvot materiaalien kuljetuksesta laivalla, junalla, lentokoneella ja erilaisilla tieliikennekulkuneuvoilla.

Semi trailer, for product delivery		unit	value
Emission standard	class	EURO VI	
Load capacity	tonne	25	
Product delivery, partially load	generic value	60 %	
Load for partially loaded case	tonne	15	
Emission for empty load	g CO ₂ e/km	628	
Emission for fully load	g CO ₂ e/km	880	
Fuel consumption for empty load	g/km	216	
Fuel consumption for fully load	g/km	305	
Emission for partially load	g CO ₂ e/km	779	
Emission from transport, partially load	g CO₂e /tkm	51,9	
Bio-fuel amount	percentage	11,5 %	
LHV value for bio-diesel	g/MJ	37,2	
LHV value for syn-diesel	g/MJ	44	
LHV value for assessed diesel	g/MJ	43,22	
Emission for diesel	g/MJ	18,90	
Emission for fuel consumption	g CO ₂ e/g fuel	0,817	
Fuel consumption for partially load	g/km	269	
Emission for fuel consumption, for partially loaded case	g CO ₂ e/km	220	
Emission for fuel production, used for partial load	g CO₂e/tkm	14,7	

Taulukko 7. TRP-taulukko, puoliperävaunukuljetusten vaikutusten määrittäminen.

Kuljetuksista muodostuvat päästöt perustuvat VTT:n Lipasto-tietokannasta otettuihin arvoihin (vtt.fi). Materiaalien kuljetuksen asennuspaikalle oletetaan tapahtuvan maanteitse (puoliperävaunu) ja joissakin tapauksissa myös merikuljetuksilla (lautta, 18 solmua). Kuljetuksen vaikutusten laskentayksikkö on yksi tonni, yhden kilometrin (tkm) matkalta.

Taulukossa 7 on esitetty tiedot, joita on käytetty puoliperävaunukuljetusten, mutta myös kuljetukseen tarvittavan polttoaineen tuotannon hiilidioksidipäästöjen laskemiseen. Elin-kaariarvioinneissa kuljetuksen vaikutukset aiheutuvat tuotteiden toimituksesta, mutta myös käytettyjen polttoaineiden tuotannosta. Laskelmissa oletetaan, että ajoneuvon kuormitus on 60 % täydestä kuormituksesta. Seuraavissa luvuissa esitetään osittain kuormitetun ajoneuvon, puoliperävaunun ja lauttaliikenteen vaikutusten laskenta. Nämä osakuormien kertoimet lasketaan kuljetuksena moduuli (A4), (tuotteen kuljetus NIT:n asennuspisteeseen).

Materiaalien ja tuotteiden katsotaan kuljetettavan EURO VI -luokan ajoneuvolla (puoliperävaunut), joiden kantavuus on 25 tonnia ja pääasiassa tieliikennekäytössä. Osakuormitetun ajoneuvon päästöt (g / km) lasketaan seuraavasti:

Osakuormituksen päästöt (CO₂e) (g / km) = CO₂e-päästöt tyhjälle kuormalle (628 g / km) + (CO₂e-päästöt täydelle kuormalle (880 g / km) - CO₂e-päästöt tyhjälle kuormalle)

$(628 \text{ g / km}) / \text{kokonaiskuormitettavuus (25 t)} * \text{osakuormitetun kuorma (15t)} = 779 \text{ g / km (ekv. 2)}$

Tulos lasketaan yksikkötoimitukseksi 1 tonnin toimitus 1 km:n etäisyydelle:

Osittaisen kuorman kuljetuksen päästöt (CO₂e) (g / tkm) = CO₂e osakuormalle (779 g / km) / Osittain kuormitetun tapauksen kuorma (15 t) = 51,9 g / tkm (ekv. 3). Laskenta ei ota huomioon paluumatkan vaikutuksia.

R	S	T	U
Data supply for A4 calculation			A4
TRP distance, truck km	TRP distance, Ship km	Manufacturing land (product)	GWP, kgCO ₂ e
			0,0

Taulukko 8. Hiilijalanjäkilaskurissa oleva kerroin kuljetusmatkoille ja moduuli (A4).

TRP-tilukosta saatujen arvojen määrittelyn jälkeen arvot siirretään Taulukkoon 8 kertoimeksi. Taulukossa 8 tulee määrittää kuljetusmuoto ja kuljettu matka, kerrottuna tuotteen massalla.

Laskennassa tulisi ilmetä rakentamisvaiheen kuljetuksen hiilijalanjäljen arviointiin sisältyvät kaikki rakennustuotteiden ja materiaalien kuljetukset työmaalle, mukaan lukien mahdolliset väliarastointi- tai esivalmistuspaikat. Kuljetuksiin sisältyvät myös työmaalla syntyvien rakennusjätteiden kuljetukset jätteenkäsittelyyn tai väliarastoihin.

6 TULOKSET JA PÄÄTELMÄT

6.1 Hiililaskennan työkalun tulevaisuus

NIT:n tavoitteena on kehittää tuotteita ja palveluja kestäväen kehityksen suuntaan ottamalla huomioon ympäristöystävällisemmät tuotteet. Tämä tarkoittaa hiilijalanjäljen vähentämistä jokaisessa yrityksen toiminnan ketjussa. Tuotepohjaisen hiilijalanjäljen käyttäminen valintakriteerinä on vastuullinen teko, varsinkin kun on mahdollista ottaa huomioon ympäristön ulkoiset vaikutukset.

Työkalu on toiminnaltaan selkeä ja luotettava VTT:n yhteistyön myötä. Työkalu toimii myös hankinnan työkaluna, jota tulisi käyttää. Hiilimäärien todentaminen ja vähennysmahdollisuudet ovat työkalun luomisen ansiosta mahdollisia ja tulevaisuudessa on helppo vertailla eri toimittajien ratkaisuja ja tuotteita. Suunnittelua pystytään hyödyntämään hiilidioksidimäärien pienentämisessä massa vähennyksillä ja rakennesuunnittelulla.

Työkalun luominen on investointi, joka nostaa yrityksen imagoa ja mahdollisesti ratkaisee toimittajan valinnan. Hiilijalanlaskennan työkaluun on myös helppo yhdistää muita ympäristökriteereitä ja mitattavia arvoja. Laskennassa on helppo muuttaa haluttuja muutujia ajan trendien mukaan. Kiertotalouden, hiilikädenjäljen ja digitalisaation jatkohyödyntäminen tekee työkalusta yhä merkittävämmän ja luo lisäarvoa niin asiakkaille, kuin mahdollisia säästöjä omalle organisaatiolle.

Kysely EPD-arvoista tai NIT:n hiilijalanjäljen laskentapohja tuleekin lähettää tavarantoimittajille jo tarjousvaiheessa. Tilaajalle kuuluu pystyä tarjoamaan vähintään kaksi valittavaa vaihtoehtoa laskurin käyttöönoton jälkeisissä projekteissa. Vaihtoehto A olisi toteutus normaalilla tavalla ja todennetuilla hiilipäästöillä. Vaihtoehto B olisi tilaajalle ehkä hintavampi, mutta pienempi hiilipäästöinen vaihtoehto. Tilaaja voisi tuolloin päättää halutut kriteerit oston suhteen ja valita itselleen parhaimman vaihtoehdon. Hinta ei välttämättä ole tilaajan tärkein valintakriteeri, vaan valintakriteerien yhteisvaikutus ja tilauksen räätälöinti asiakkaalle on mahdollisesti mieluisampi vaihtoehto. Tilaajan kriteereinä on mahdollisesti hinta, massa, toimitusvarmuus, laatu ja tulevaisuudessa yhä enenevässä määrin ympäristöteot.

Työkalun käyttöönotto luo myös tavarantoimittajille painetta muuttua ja mahdollisesti saavuttaa parempia tuloksia NIT:n kanssa. Toimittajien tulisi myös osallistua aktiivisesti tuomalla omat ympäristösertifikaatit ja muut käytetyt menetelmät osaksi taulukkoa NIT:n toimittaessa ne eteenpäin tilaajalle. Osalla tavarantoimittajista löytyykin jo omia hiilimäärien laskentamenetelmiä, joita kuuluisi tuoda enemmän esille tilaajalle ja NIT:n hyödyntämistä varten hiilijalanjäljen laskennassa. Uskon, että NIT:n hiilijalanjäljen laskennan työkalua tullaan hyödyntämään tulevaisuudessa laadukkaasti markkinoinnissa, mutta sen yhdistäminen olemassa oleviin Excel- pohjaisiin materiaalilistoihin tulee olemaan hieman hankalaa. Työkalua tullaan mahdollisesti käyttämään itsenäisenä projektikohtaisena pohjana laskennassa ja vaihtoehtoisten ratkaisujen vertailussa.

6.2 Hiilidioksidilaskurin yhdistäminen muihin työkaluihin

NIT:llä on tällä hetkellä käytössä erilaisia Excel- pohjaisia taulukoita ja laskureita, jotka voisi mahdollisesti yhdistää hiililaskennan kanssa.

Parhaimmaksi vaihtoehdoksi on osoittautunut hiilijalanlaskentatyökalun yhdistäminen osaksi osaluetteloa ja viimeistään tuotteita tilattaessa käytettäväksi työkaluksi. Osaluettelossa on luokiteltu hiililaskentaa vastaavasti alueet kattoon, lattiaan, seiniin ja huonekaluihin. Osaluettelosta löytyy myös vaadittavat materiaalien menekkimäärät hukan kanssa ja valmiiksi lasketut painot. Osaluetteloon saa yhdistettyä omaksi välilehdeksi hiililaskennan työkalun ja synkronoitua materiaalien nimikkeet laskurin nimikkeitä vastaaviksi. Oheisella tavalla synkronoituja nimikkeitä käyttäen saataisiin laskuri toimimaan samaan aikaan osaluetteloa täydennettäessä. Oheinen toimenpide vaatisi kuitenkin resursseja ja tekisi osaluettelo Excel- tiedoston yhä raskaammaksi ja toisi silti todennäköisesti lisätoita ostajille.

Tulevaisuudessa 3D-suunnitteluohjelmien synkronointi osaksi painolaskentaa mahdollistaa hiilimäärien laskun. 3D-suunnittelussa voidaan määritellä osille valmiita parametrejä, joita voisi olla EPD ja paino. Näin 3D-mallikirjastoja käyttämällä saadaan CO₂-laskentatietoa helposti ja ”automaattisesti”. 3D-kirjastoja kehittämällä ja pyrkimällä vakioratkaisuihin, voidaan osia myös optimoida ja pienentää hiilijalanjälkeä tuotteen paremmalla suunnittelulla.

6.3 Tehtävät toimenpiteet

Työkalun kehittämisessä tulee keskittyä vaihtoehtoisten materiaalien etsintään ja olemassa olevien materiaalien parempaan tiedon keräämiseen. Tuotteiden toimittajilta kuu-
luu jatkossa pyytää mahdolliset ympäristösertifikaatit ja yritysten omien ekologisten rat-
kaisujen kirjaaminen NIT:n tietopankkiin. Tietopankin voi yhdistää tuolloin osaksi hiilija-
lanjälkilaskennan taulukkoa, joka ohjaisi käyttäjän suoraan kansioon, josta kerätty tieto
löytyy.

Vaihtoehtoisten materiaaliratkaisujen ylöskirjaaminen ja tutkiminen ovat tärkeitä kehityk-
sen kannalta. Esimerkiksi eräältä seinälevyvalmistajalta löytyi merkittävästi kevyempi ja
täysin kierrätettävä ratkaisu seinälevyksi, nykyisen käytetyn tuotteen tilalle. Uuden sei-
nälevyn paino oli 30 % vähemmän kuin tilatulla kilpailijan tuotteella ja hinta on lähes
sama. Alueille, joilla seinälevyistä koostuva paino on esimerkiksi 3 000 kg, tulisi painoa
900 kg vähemmän uudella ratkaisulla. Massan vähentäminen on parhaimpia keinoja hii-
lijalanjäljen pienentämiseksi. Kevyemmillä materiaaleilla, tuotteiden kierrätettävyydellä,
vaihtoehtoisilla vähähiilisemmillä tuotteilla voidaan pienentää tuotteen hiilidioksidimää-
riä. Hankinnan tulisi kilpailuttaa tavarantoimittajia ja luoda vähähiilisyydestä yksi oston
kriteeri. Materiaalimuutokset eivät kuitenkaan aina ole mahdollisia tiukkojen palovaati-
musten ja standardoimattomien tuotteiden takia. Yksi valintakriteeri laivan toimittajien
kilpailutuksessa hinnan lisäksi on laivasta karsittavan ”turhan” painon vähentäminen.
Painon vähennys luo myös laivan tilaajalle yhä energiatehokkaampia aluksia ja toden-
näköisesti vähentäisi hiilidioksidimääriä laivan rakentamisvaiheessa ja käytön aikana.

6.4 Materiaalien kierrätyspotentialiaali

Laivan korjausrakentaminen tulisi huomioida sisustusmateriaalien vaihtuessa noin. 10-
15 vuoden välein. Materiaaliratkaisut tulisivat tuolloin olla paremmin kierrätettävissä, uu-
delleen hyödynnettävissä, helppoja asentaa, nopeita purkaa ja kustannustehokkaita.
Tuotteet tulisivat olla pitkäikäisiä, uudelleen hyödynnettävissä ja mahdollisesti laivan
koko elinkaaren aikaisia. Tuotteissa tulisi ottaa huomioon aiemmin mainitut vaikuttavat
tekijät yhä vähähiilisempiä tuotteita valittaessa.

Materiaalien pinnoitteita tulisi pohtia suunnittelussa ja hankinnassa, joka takaisi käytön aikana saavutettavat ympäristösäästöt. Esimerkkeinä pinnoitteiden tuomista ympäristöeduista voisi olla antibakteerinen pinnoite. Pinnoitteen ansiosta pintoja ei tarvitsisi desinfioida. Muita pinnotteita voisi olla suojaavat pinnoitteet, jolloin kuluminen ja huollon määrä pienenesi. Puhdistusaineiden, huollon ja materiaalien korjauksen poistaminen toisi ympäristöystävällisempiä tuotteita, poistuvien kemikaalien ja työn ansiosta.

Käytön aikana kulutettavaa energiaa, kemikaaleja ja kierrätettävyyttä tulisi pohtia laitekokonaisuuksissa ja elektroniikassa. Sisustuksessa toimitettavat laitteet, niin LVI kuin elektroniset tulisivat olla energiataloudellisia. Energiatehokkuutta tulisi tutkia valaistuksesta aina isompiin laitekokonaisuuksiin asti. Alueilla pelkän valaistuksen energiatehokuden laskeminen voisi jo tuoda suuria säästöjä. Vedenkulutus voisi olla myös hyvä kulutuksen mittari. Laivan makeavesijärjestelmät vievät paljon energiaa. Vedenkulutusta voisi vähentää esimerkiksi valitsemalla hanoja, joista suuttimien ja rakenteen johdosta veden kulutus on pienempää. Tällä hetkellä varustamoiden mielenkiinto CO₂ päästöistä kohdistuu operatiiviseen kulutukseen, eli polttoaineen kulutukseen, sähkön ja veden kulutukseen, sekä jäähdytys- ja lämmitysenergian kulutukseen. Lisäksi jätteidenkäsittelyä on alettu tutkimaan entistä enemmän ja jätteiden kierrätystä pyritään lisäämään.

Ongelma on, että itse laivan rakentamisen hiilijalanjälkeä ei huomioida. Tässä NIT on edelläkävijänä ja pyrkii aktiivisesti vähentämään hiilidioksidipäästöjä rakentamisessa. Rakennusvaiheen hiilijalanjäljen laskennan merkitys tulee kasvamaan tulevaisuudessa ja on yksi kilpailutekijä suomalaisessa ja eurooppalaisessa laivateollisuudessa.

Kestävien materiaalien käyttöä tulisi myös tulevaisuudessa pystyä mittaamaan ja varmistamaan. Raaka-aineiden toimittajien varmistus takaisi, että ympäristökriteerit ja raaka-aineiden tuotanto olisi halutulla tasolla. Esimerkkinä käytön aikana vihreällä tuotteella voi olla hyvin suuri hiilidioksidijalanjälki tuotantovaiheesta, kuten sähköauton akkut. Akkujen tuotannossa käytettyjen metallien louhinnasta syntyy suuri määrä ympäristösaasteita ja hiilidioksidipäästöjä, jotka jäävät usein raaka-ainetta tuottaviin maihin.

Myös Lean-menetelmiä tulisi hyödyntää turhan hukan karsimisessa, asennuksen aikana ja koko organisaation toiminnan kehittämisessä. Lean-menetelmiä voidaan hyödyntää paremmassa suunnittelussa, tuotteen kuljetuksessa ja työmaan toiminnassa. Asennuksesta syntyvää jätettä tulisikin jatkossa mitata työmaalla sen syntyessä, eikä laskennan ja oston olettamuksilla. Asennusjätettä tulisi myös mahdollisuuksien mukaan hyödyntää uudelleen.

Materiaaliratkaisujen määrittäminen tulisi viedä isojen kokonaisuuksien selvittämisen jälkeen pakkaustasolle asti. Tuotteiden pakkauksessa voitaisiin käyttää uusiomateriaaleja, kuten muovitonta kartonkia. Tilatuissa tuotteissa tulisi aina kyseenalaistaa, onko käytettyjen materiaalien pakko olla neitseellisiä vai voiko käyttää kierrätettyä? Tuotetta valitessa tulisi pohtia, miten raaka-aine saadaan takaisin kiertoon ja miten materiaaleista voidaan valmistaa uusia tuotteita.

6.5 Tulevaisuuden arvot

Laskennassa saavutetaan olemassa oleva kokonaishiilijalanjälki, jota pienennettäessä syntyy asiakkaalle vaihtoehtoinen hiilijalanjälki. Asiakas tulee päättämään hiilijalanjäljen ja määritellyn hiilikädenjäljen tuoman hyödyn. Todennäköisesti jokainen vaihtoehtoinen vähähiilisempi ja ekologisempi tuote ei tule olemaan edullisempi, kuin jo olemassa oleva ratkaisu. Vähähiilisempiä ratkaisuja voidaan toimittaa asiakkaalle useampia ja tarkasteltavat arvot voidaan valita projektinaikaisten arvojen ja trendien mukaan.

Hiilikädenjäljestä voidaan myös toimittaa eri baseline-tarjouksia ja ottaa ne mukaan hiilijalanjäljen määrittelyn markkinoinnin tueksi. Baseline-ratkaisulla tulee kuitenkin olla sama käyttötarkoitus kuin hiilijalanjäljellä, samat markkinat, elinkaaren rajat ja yhteneväiset periaatteet. Tavoitteena kuuluukin olla hiilijalanjäljen minimointi ja hiilikädenjäljen maksimointi.

LÄHTEET

- Alhola, K.; Antikainen, R.; Honkatukia, J.; Kauppila, J.; Kautto, P.; Myllymaa, T.; Mäenpää, I.; Sahimaa, O.; Salmenperä, H.; Salminen, J.; Seppälä, J. & Valve, H. 2016. Kiertotalous Suomessa –toimintaympäristö, ohjauskeinot ja mallinnetut vaikutukset vuoteen 2030. Valtioneuvoston selvitys ja tutkimustoiminta. 10.04.2021. https://tieto-kayttoon.fi/documents/10616/2009122/25_Kiertotalous+Suo-messa.pdf/5a942ae7-9ec8-4b54-a079-f99c8ba2f8f1?version=1.0
- Repka ym. 2017, Comprehensive IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/25725084.2019.1707938>
- Chouinard, Y., Ellison, J., & Ridgeway, R. 2011. The sustainable economy. Harvard-Business Review, 89(10), 52–62.
- Drumwright, M. E. 1994. Socially responsible organizational buying: Environmental concern as a noneconomic buying criterion. Journal of Marketing, 58, 1–19.
- EEA- European Environmental Agency 1997. Life cycle assessment (LCA) A guide to approaches, experiences and information sources. Environmental Issue Series, No. 6.
- Suomen ympäristökeskus 2019. Kuluttaja vihreiden valintojen äärellä – tuotteiden markkinointiin tarvitaan yhdenmukaisuutta. Johanna Niemistö & Tanja Myllyviita. Viitattu 28.3.2021. [https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Havaintoablogi/Kuluttaja_vihreiden_valintojen_aarella_\(50888\)](https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Havaintoablogi/Kuluttaja_vihreiden_valintojen_aarella_(50888))
- Hänninen. Rakentajan ekolaskuri. Rakennustarkastusyhdistys RTY ry. 10.04.2021. Saatavilla: <http://www.rakentajanekolaskuri.fi/taustatietoa.php#Kestavakehitys>
- Kotler, P. 2011. Reinventing marketing to manage the environmental imperative. Journal of Marketing, 75, 132–135.
- Porter, M. & Reinhardt, F. 2007. A strategic approach to climate change. Harvard Business Review, 10, 22–26.
- Norström, A. V. 2013. Social change vital to sustainability goals. Nature, 498, 299(2013). Saatavilla [http://refhub.elsevier.com/S0019-8501\(16\)30023-2/rf0305](http://refhub.elsevier.com/S0019-8501(16)30023-2/rf0305).
- O'Rourke, D. 2014. The science of sustainable supply chains. Science, 344, 1124–1127.
- O'Shea, T., Golden, J. S., & Olander, L. 2013. Sustainability and earth resources: Lifecycle assessment modeling. Business Strategy and the Environment, 22(7), 429–441.
- Product Carbon Footprinting for Beginners, BSI Group 2021. 10.04.2021. <https://www.bsigroup.com/LocalFiles/en-GB/standards/BSI-sustainability-guide-product-carbon-footprinting-for-beginners-UK-EN.pdf>

Rokka, J., & Uusitalo, L. 2008. Preference for green packaging in consumer product choices - Do consumers care? *International Journal of Consumer Studies*, 32, 516–525.

Ginsberg, J. M., & Bloom, P. N. 2004. Choosing the right green marketing strategy. *MIT Sloan Management Review*, 46(1), 79–84.

Karvonen, T. (2016). Investoinnit Suomen satamiin 2011–2020. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 9/2016.

Suomen tieyhdistys 2021. Digitalisaatio muuttaa elinkaaren optimoinnin - Vaatimuksena jatkuva tiedon virtaus ja jalostus. 25.04.2021. <https://www.tieyhdistys.fi/tie-ja-liikenne/artikkelit/digitalisaatio-muuttaa-elinkaaren-optimoinnin/>

Rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmä, Ympäristöministeriö 2019. 10.01.2021. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161761/YM_2019_22_Rakennuksen_vahahiilisyden_arviointimenetelma.pdf

Rakennusteollisuus 2021. Rakennettu ympäristö ja ilmastonmuutos. Viitattu 15.8.2021. <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Materiaali-tehokkuus/>

Rakennusteollisuus 2020. Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035 Osa 2. https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/ymparisto-ja-energia/vahahiilisyys/rt-raportti-2_vahahiilisyys_lopullinen.pdf

Rakennustietosäätiö RTS sr 2021. RTS EPD – ympäristöseloste. Viitattu 13.05.2021. <https://cer.rts.fi/epd-ymparistoseloste/>

Rakennustieto Oy ja Rakennustietosäätiö RTS 2021.(SIVU 5) <https://vanha.karelia.fi/puurakentaminen/wp-content/uploads/2019/02/Rakennusmateriaalien-ympa%CC%88risto%CC%88seloste-EPD-tyo%CC%88kaluna.pdf>

Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T., ... Pennington, D. W. 2004. Life cycle assessment, part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis and applications. *Environmental International*, 30, 701–720.

Repka, S; Ojala, L; Jalkanen, J; Alhosalo, M; Niemi, J; Pöntynen, R; Solakivi, T; Pohjola, T; Haavisto, R; Lensu, M; Erkkilä-Välimäki, A; Haukioja, T; Kiiski, T. 2017. Merenkulun kansainvälisen ilmasto- ja ympäristösäätelyn vaikutukset Suomenelinkeinoelämälle. Valtioneuvoston selvitys ja tutkimuslaitos. 25.04.2021. https://www.google.fi/search?sxsrf=ALeKk01PrcQFj4IN1B8NTuMv79c-AB1qCA%3A1612690412105&ei=7LMfYOKBBq75qwGUrZ-oCQ&q=merenkulun+p%C3%A4%C3%A4st%C3%B6tavoite+laivarakennus&og=merenkulun+p%C3%A4%C3%A4st%C3%B6tavoite+laivarakennus&gs_lcp=CgZwc3ktYWIQAziHCCEQChCgAToHCAAQRxCwAzoFC-CEQoAE6BQgAEM0CUPwgWls1YIQ4aAFwAngAgAG-PAYqB8Q2SAQQxLjE0mAEAoAEBqgEHZ3dzLXdpesqBBsABAQ&sclient=psy-ab&ved=0ahUKEwjip5X5u9fuAhWu_CoKHZTWB5UQ4dUDCAw&uact=5

Motiva 2021. Elinkaarikustannuslaskenta – LCC. Viitattu 13.05.2021. [https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kestavat_julkiset_hankinnat/tietopankki/elinkaarikustannuslaskenta_lcc_\(life_cycle_costing\)](https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kestavat_julkiset_hankinnat/tietopankki/elinkaarikustannuslaskenta_lcc_(life_cycle_costing))

Sitra kotisivut, 2021. 10.04.2021. <https://www.sitra.fi/tulevaisuussanasto/hiilikadenjalki/>

Skult, P. A. (2015). Alusrahoitusselvitys. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja. TEM raportteja 42/2015.

Suomen Standardisoimisliitto SFS-EN ISO 14040:2006. Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework,. 2. painos. Suomen standardisoimisliitto.

Suomen Standardoimisliitto. 2019. SFS-EN 15804:2012 + A2:2019. Kestävä rakentaminen. Rakennustuotteiden ympäristöselosteet. Laadinnan yleissäännöt. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/937146.html.stx>

Tuula Sjöstedt, Hiilineutraaliin kiertotalouteen liittyviä käsitteitä 2018. Sitra. 10.04.2021 <https://www.sitra.fi/artikkelit/mita-nama-kasitteet-tarkoittavat/>

Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu 2013. Elinkaariarviointi, jalanjäljet ja panos-tuotasmalli. Ari Nissinen. 29.3.2021. [https://www.ymparisto.fi/fi-fi/kulutus_ja_tuotanto/tuote-suunnittelu_ja_tuotteet/elinkaariarviointi_jalanjaljet_ja_panostuotasmalli#Elinkaariarviointi%20\(LCA\)](https://www.ymparisto.fi/fi-fi/kulutus_ja_tuotanto/tuote-suunnittelu_ja_tuotteet/elinkaariarviointi_jalanjaljet_ja_panostuotasmalli#Elinkaariarviointi%20(LCA))