

AALTO-YLIOPISTO

Insinööritieteiden korkeakoulu

Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan koulutusohjelma

Rakennusmateriaalit ja -tuotantotekniikka



Kari Tikkanen

TALONRAKENNUSHANKKEIDEN HIILIJALANJÄLJEN TAVOITTEEN ASETTAMINEN OHJELMOINTIVAIHEESSA

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 24.11.2014

Valvoja: Professori Arto Saari

Ohjaaja: Dosentti Ari Pennanen Haahtela-kehitys Oy

Tekijä Kari Tikkanen

Työn nimi Talonrakennushankkeiden hiilijalanjäljen tavoitteen asettaminen ohjelmointivaiheessa

Koulutusohjelma Rakenne- ja rakennustuotantotekniikka

Pääaine Rakennusmateriaalit ja -tuotantotekniikka

Professuurikoodi RAK-63

Työn valvoja Professori Arto Saari

Työn ohjaaja Dosentti Ari Pennanen, Haahtela-kehitys Oy

Päivämäärä 24.11.2014

Sivumäärä IX + 90

Kieli Suomi

Tiivistelmä

Talonrakennushankkeiden merkittävimmät ympäristövaikutuksiin liittyvät päätökset tehdään hankkeen ohjelmointivaiheessa. Päätöksentekijät tarvitsevat vaihtoehtojen arvioimisessa informaatiota eri vaihtoehtojen vaikutuksista. Tästä huolimatta ovat käytössä olevat ympäristövaikutusten arvioinnin menetelmät ja työkalut suunnitelmien tuloksiin perustuvia. Tavoitehintamenettelyn periaatteita talonrakennushankkeiden kustannusten hallintaan soveltava TAKUTM-ohjelmistojärjestelmä muodostaa tietoyhteyden ohjelmointivaiheen lähtötietojen ja suunnitteluvaiheen tulosten välillä mahdollistaen standardien asettamisen vaatimusten mukaisen rakennuksen elinkaaren ympäristövaikutusten arviointimallin muodostamisen ohjelmointivaiheessa.

Työ selvittää standardien asettamat vaatimukset rakennusten elinkaaren ympäristövaikutusten arvioinnille ja muodostaa arvioinnissa tarvittavien lähtötietojen vähimmäisvaatimukset. Vastaavasti työ kartoittaa ohjelmointivaiheessa tiedossa olevat lähtötiedot ja TAKUTM-ohjelmistosta saatavat välitulosteet. Yhdistämällä arvioinnissa vaaditut vähittäisvaatimukset, TAKUTM-ohjelmistosta saatavat tulokset ja esittämällä periaatteet puuttuvien lähtötietojen muodostamiselle esitetään ensi kerran, miten ohjelmointivaiheessa voidaan arvioida rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen.

Työn tuloksena on standardien mukaisen laskentamallin muodostaminen periaatatasolla. Laskentamallin periaatteet esitetään havainnollistavin esimerkein, jotka kuvaavat laskentaperiaatteiden toimivuutta. Esimerkit perustuvat aitoihin lähtötietoihin käytettävien ympäristöselosteiden ja havainnollistaen periaatteiden selkeyttä sekä esittämällä TAKUTM-ohjelmiston ja kestävän rakentamisen standardiperheen yhteyden. Toissijaisena tuloksena on TAKUTM-ohjelmiston toiminta-alueen laajuuden kasvattaminen kustannushallinnan ulkopuolelle.

Periaatteet eivät vielä mahdollista valmiin mallin hyödyntämistä, vaan jatkotutkimustarpeena on mallin periaatteiden mukaisen rakennustason kattavan laskentamallin muodostaminen ja sen testaaminen.

Avainsanat Elinkaariarviointi, kestävä rakentaminen, rakennus, elinkaari, tavoitehintamenetelmä, hiilijalanjälki, kasvihuonekaasupäästöt

Author Kari Tikkanen

Title of thesis Carbon Footprint Target Setting for Buildings in the Program Phase

Degree programme Department of Civil and Structural Engineering

Major Building Materials and Building Technology **Code of professorship** RAK-63

Thesis supervisor Professor Arto Saari

Thesis advisor Adjunct Professor Ari Pennanen, Haahtela-kehitys Oy

Date 24.11.2014

Number of pages IX + 90

Language Finnish

Abstract

The most important environmental decisions in a construction project are made in the programming phase. To assess the different programming alternatives must decision-makers have access to the relevant information of the consequences of their decisions. Despite this are current environmental assessment methods or tools based on the results of the design process. The target costing methods of the construction cost-based TAKUTM-software provide an information link between the programming phase and the design results, thus enabling the assessment of the environmental burdens according to the sustainable construction standards in the programming phase.

The thesis examines the normative guidelines for the environmental assessment of a buildings life cycle as well as the information required to perform the assessment. Further it establishes the initial information in the project brief at hand in the programming phase and the results that can be gathered from the TAKUTM-software based on the initial brief. By combining the minimal information requirements for the environmental assessment with the information provided and gathered through the TAKUTM-software it establishes for the first time how a standard-based environmental assessment can be performed in the programming phase.

As a result of the thesis the principles of a standard-based assessment method are presented. The principles of the assessment model are demonstrated with examples based on actual information from environmental product declarations and TAKUTM-calculations to visualize the connections between the programming phase and the environmental indicator. A secondary result of the thesis is expanding the scope of the TAKUTM-software beyond cost management.

The principles presented in this thesis do not as such provide a working model, thus is the natural direction for future research the creation of the model described and the testing of it.

Keywords LCA, sustainable construction, buildings, carbon footprint, target costing, global warming potential

Alkusanat

Haahtela-yhtiöissä pitkään jatkuneen rakennushankkeiden ja kiinteistönpidon kustannushallinnan tutkimustyön tuloksena heräsi kiinnostus selvittää mahdollisuutta tavoitehintamenettelyiden periaatteiden soveltamisesta ympäristövaikutusten arviointiin. Suomen rakentamis- ja kiinteistöalalla laajassa käytössä olevan TAKUTM-järjestelmän uudistuminen tarjosi mahdollisuuden tutkia voidaanko laskelmien pohjalta tuottaa niitä lähtötietoja, joiden perusteella rakennuksen ympäristövaikutusten arviointi olisi mahdollista koko elinkaaren ajalta. Työn menetelmä muuttui tutkimustyön aikana kestävän rakentamisen standardiperheen julkaisun myötä, mikä osaltaan johti työn rajauksen täsmentymiseen. Lopulliseksi tavoitteeksi muodostui hiilijalanjäljen tavoitteen asettamisen arviointimallin muodostaminen periaatetasolla, osin tutkimusalueen laajuuden kasvun että tutkijan ajallisesti rajallisen opinto-oikeuden myötä.

Haluaisin kiittää kollegoitani Haahtela-rakennuttaminen Oy:ssä työn etenemisen tiukasta seurannasta ja kannustavista sanoista sekä työrauhan suomisesta, kun tilanne on sen vaatinut. Haluaisin kiittää myös tutkijakollegiota Haahtela-kehitys Oy:ssä heidän aidosta kiinnostuksestaan aihetta kohtaan sekä halustaan omalta osaltaan avustaa työn toteutuksessa. Erityisesti Saku on vuosien aikana omalta osaltaan avustanut työn etenemisessä ja ideoiden testaamisessa. Osoitan myös kiitollisuuteni Yrjänä Haahtelalle hänen roolistaan työn mahdollistajana ja motivoijana.

Kiitän Ari Pennasta työn ohjauksesta, mikä on sisältänyt tutkimuksen laatijan ajatusten selkeyttämistä, esitettyjen periaatteiden haastamista ja tukea opinnäytteen loppuun saattamiseksi. Arin johdonmukainen lähestymistapa aiheeseen on merkittävä osasy syy työn valmistumiseen, mistä olen ikuisesti kiitollinen.

Haluaisin kiittää perhettäni ja ystäviäni, jotka ovat jatkuvalla kiinnostuksellaan ja muistutuksillaan motivoineet minua vuosien aikana. Lopuksi haluaisin vielä kiittää avopuolisoani Johannaa, joka on joutunut seuraamaan läheltä tutkimustyöni venymisen tuskaa sekä onnistumisen iloa. Tukesi on vienyt minua eteenpäin.

Helsinki 24.11.2014

Kari Tikkanen

Sisällysluettelo

Alkusanat.....	iii
Sisällysluettelo	iv
Määritelmät	vii
1 Johdanto	1
1.1 Tausta	1
1.2 Tutkimusongelma	2
1.3 Tavoite	3
1.4 Työn rajaus	3
1.5 Työn rakenne ja menetelmät	4
2 Rakennusten elinkaaren ympäristövaikutusten arviointi kirjallisuudessa.....	5
2.1 Standardien asettamat vaatimukset rakennusten elinkaaren ympäristövaikutusten arvioinnille.....	5
2.2 Rakennusten ympäristövaikutusarvioinnin tutkimus ja työkalut	23
2.3 Yhteenvedo rakennusten ympäristövaikutusten arvioinnista.....	30
3 Monimutkaisen päätöksentekoprosessin ohjausmekanismi	33
4 Rakennushankkeen ympäristövaikutusten arvioinnin lähtötietojen muodostaminen ohjelmointivaiheessa	35
4.1 Rakennushankkeen ohjelmointivaihe ja sen tehtävät	35
4.2 Suunnittelun ja ohjelmointivaiheen tulosten välisen yhteyden muodostaminen.....	38
4.3 Käytönaikaisten toimintojen mallintaminen	43

4.4	<i>Ohjelmointivaiheessa saatavilla olevien lähtötietojen yhteenveto</i>	43
5	<i>Rakennuksen elinkaaren ympäristövaikutusten mallintaminen ohjelmointivaiheessa</i>	46
5.1	<i>Laskentamallin lähtötietojen tarkastelu</i>	46
5.2	<i>Rakennuksen elinkaaren ympäristövaikutusten arvioinnin menetelmä</i>	48
5.3	<i>Käytönaikaisten ympäristövaikutusten arviointi</i>	53
5.4	<i>Rakennuksen elinkaaren päättymisen mallintaminen</i>	59
6	<i>Talonrakennushankkeiden ohjelmointivaiheen hiilijalanjäljen arviointimalli</i>	61
6.1	<i>Mallinnuksen yhteenveto</i>	61
6.2	<i>Tulosten yhteenveto</i>	62
7	<i>Johtopäätökset</i>	63
7.1	<i>Työn tulosten yhteenveto</i>	63
7.2	<i>Työn tulosten merkitys</i>	63
7.3	<i>Työn kriittinen arviointi</i>	64
7.4	<i>Jatkotutkimusehdotukset</i>	65
	<i>Lähdeluettelo</i>	66
	<i>Liiteluettelo</i>	69

Lyhenteet

CEN	Comité Européen de Normalisation
EPD	Environmental Product Declaration, suomeksi ympäristöseloste
ESL	Estimated Service Life, suomeksi arvioitu pitoikä
ERA	Energiaviisaan rakennetun ympäristön aika -tutkimushanke
GWP	Global Warming Potential
IPCC	Intergovernmental Panel of Climate Change
ISO	International Organization for Standardization
LCA	Life Cycle Assessment, suomeksi elinkaariarviointi
RSL	Required Service Life, suomeksi referenssikäyttöikä
SETAC	Society of Environmental Toxicity and Chemistry
TC	Technical Committee

Määritelmät

Rakennushankkeiden kustannusten hallintaan liittyvät määritelmät

Rakennusosa	Rakennuksen osa, joka muodostuu määritellyistä tuoteyhdistelmistä. Tässä työssä käytetään määrittelyä Haahtela-nimikkeistön mukaisesti tuotantohinnastoa (Haahtela-kehitys Oy).
Tavoitehintamenettely	Hankkeen tai prosessin kustannusten hallintatapa, jossa muodostetaan kokonaiskustannuksista tavoitehintaa, minkä mukaisesti ohjataan suunnittelua ja toteutusta.
TAKU TM	Talonrakennuksen kustannustieto-järjestelmä, joka sisältää talonrakennushankkeiden arviointityökaluja, joita hyödynnetään tavoitehintamenettelyssä ja tämän työn lähtötietoina.
Tuotantohinnasto	TAKU TM -ohjelmiston osana oleva panosten hinnoittelutyökalu.
Viiterakenne	Rakennusosa, joka vastaa sille asetettavia toiminnallista ja/tai teknistä vaatimusta ja jota käytetään tavoitteen asettamisessa tavanomaisena ratkaisuna. Tavoitteen asettamisessa käytetään viiterakennetta oletettuna toteutusratkaisuna.
Syöte	Mallissa tai laskelmassa käytettävä lähtötieto, joka saadaan mallin rajauksen ulkopuolelta lähtötietona tai toisesta mallista/mallin osasta tuloksena.
Systeemi	Tarkasteltava kokonaisuus tai järjestelmä, johon sisältyvät prosessit ja tuotteet huomioidaan osana tarkastelua tai arviointia.
Mallinnus	Tuotteen, palvelun tai toiminnan automatisoitu ohjelmiston sisällä tapahtuva kuvaus, joka tuottaa tuotteen, palvelun tai toiminnan vaatimat panokset, kuten pinta-alan, työn tai prosessit, määrineen.
Ohjelmointivaihe	Yhteisnimitys rakennushankkeen tarveselvitys- ja hankesuunnittelmavaiheesta.

Ympäristövaikutusten arviointiin liittyvät määritelmät

Elinkaariarviointi, engl. LCA

Tuotteen eliniän (”kehdestä hautaan”) aikaisten ympäristövaikutusten arviointi.

Tyypin III ympäristöseloste, engl. type III EPD

Ympäristöseloste, joka tarjoaa määrällistä ympäristötietoa käyttäen ennalta määritettyjä ympäristöparametreja ja tarvittaessa ympäristöön liittyvää lisätietoa. (SFS-EN 15804 fi, fi=suomenkielinen käännös)

Informaatiomoduuli

Tyypin III ympäristöselosteen perustana käytetty kokoelma ympäristötietoja, jotka kattavat yksikköprosessin tai yksikköprosessien yhdistelmän, joka on osa tuotteen elinkaarta. (SFS-EN 15804, fi).

Referenssikäyttöikä

Rakennustuotteen käyttöikä, joka oletetaan saavutettavan tietyissä käyttöolosuhteissa (eli referenssikäyttöolosuhteissa) ja joka voi muodostaa perustan käyttöiän arvioinnille muissa käyttöolosuhteissa.

Hiilidioksidiekvivalentti

Yksikkö, jolla kuvataan kasvihuonekaasut hiilidioksidin kertoimina. Hiilijalanjäljen yksikkönä käytetään CO_2 -ekv massassa mitattuna (kg tai tn).

Ilmaston lämpenemispotentiaali, engl. Global Warming Potential, GWP

Standardien tuotteen elinkaariarvioinnin kasvihuonekaasujen laskentatapa, jossa arvioidaan ilmaston lämpenemispotentiaalia määritettynä ajanjaksona (ISO 14064-1:2006). Tässä työssä käytetään standardien noudattamaa kansainvälisen ilmastopaneelin (engl. Intergovernmental panel on climate change, lyh. IPCC) 100 vuoden ohjearvoja.

Hiilijalanjälki

Tuotteen tai prosessin muodostamat fossiiliset kasvihuonekaasupäästöt (mm. CO_2 , HFC, CFC, CH_4). Standardit eivät huomioi päästöjen kompensointia osana hiilijalanjäljen laskentaa. Tässä työssä käytetään termiä standardien mukaista ilmastonlämpenemispotentiaalia (GWP [100 yrs]).

Skenaario

Tiedot ja oletukset, joilla kuvataan odotettavissa olevaa tulevaisuuden tapahtumaketjua.

Yksikköprosessi

Jonkin rakennusosan tai järjestelmäosan osuus rakennuksen ja sen epäsuorasti aiheuttamien rakennuksen ulkopuolisista ympäristövaikutuksista.

1 Johdanto

1.1 Tausta

Energiatehokkuuden merkitys on korostunut ilmaston lämpenemisen uhkakuvan vahvistuessa. EU:n jäsenmaat ovat sitoutuneet pienentämään kasvihuonekaasupäästöjä ja energiankulutusta sekä lisäämään uusiutuvien energialähteiden käyttöä vuoteen 2020 mennessä (2010/31/EU). Suomi haluaa olla ympäristöasioiden edelläkävijä saavuttamalla asetetut tavoitteet etuajassa, jo vuonna 2017 (ERA 17 -toimintaohjelman loppuraportti, lyhennettynä ERA17).

Tutkimustyö elinkaariarvioinnissa on johtanut laajasti hyväksytyjen elinkaariarvioinnin (Life Cycle Assessment, lyh. LCA) menetelmien kehittämisen, jotka ovat kansainvälisen ympäristöpäästöjä tutkivan SETAC-organisaation (Society of Environmental Toxicity and Chemistry) menettelytapoja. Kansainvälinen standardisointijärjestö ISO (International Organization for Standardization) on luonut elinkaariarvioinnille omat laskentatapa-standardit (SFS-EN ISO 14040-sarja) käytäntöjen yhdenmukaistamiseksi. Näiden standardien mukaiset elinkaariarviot ovat kehitetty käyttötavaroiden elinkaarilaskelmiin, joissa tuotteiden elinkaari on suhteellisen lyhyt sekä toimintaympäristö selkeästi rajattu. Monet yritykset ovatkin teettäneet oman toimintansa tai tuotteidensa hiilijalanjälkiarvioita kansainvälisten standardien mukaan lisätäkseen ymmärrystään tuotantoprosessiensa vaikutuksista ilmaston lämpenemiseen.

Rakennusten ja rakentamisen suuri osuus kasvihuonekaasupäästöistä (yli 40 %, ERA17, 2010, s. 3) on johtanut alalla vallitsevaan ymmärrykseen luonnon ja sen resurssien käytön huomioimiseen rakentamisessa. Asiakkaiden ja yritysten halukkuus vähentää omaa hiilijalanjälkeään, on lisännyt tarvetta tarkastella rakennushankkeita myös ekologisten tekijöiden perusteella.

Tulevaisuudessa energiatehokkuuteen ohjataan viranomaismääräysten lisäksi rakennuslupien myöntämisessä. Rakennusvalvonta tulee laadunohjauksessaan ottamaan huomioon energiatehokkuuden ja todennäköisen energiankulutuksen lisäksi myös rakennusmateriaalien aiheuttamat kasvihuonepäästöt (ERA17, 2010, s. 64). Laadunohjauksen onnistumisen kannalta on tärkeää, että on olemassa mittareita hiilidioksidipäästöjen seurantaa ja hallitsemista varten (ERA17, 2010, s. 50).

Koska rakennusalalla on merkittävä vaikutus sekä energian käytössä että kiinteän jätteen muodostamisessa on erityisen tärkeää pystyä määrittämään sekä laskemaan nämä vaikutukset rakennushankkeissa. Määrittämällä laskentatavat mahdollistetaan tulosten tasavertaisen ja avoimen kommunikoinnin, mikä luo edellytykset ympäristökuormien vaikuttamiseen. Päätöksenteon perustana on informaatio, eli elinkaariarvioinnin tapauksessa mitattavat suureet, elinkaariarvioinnin mittarit, jotka kuvaavat hankkeen elinkaari-vaikutuksia.

International Organization of Standardization (ISO) -standardijärjestö on 1990-luvun alusta lähtien tehnyt työtä yhteisten mittareiden määrittämisessä sekä niiden mittausperusteiden sel-

keyttämisessä. Mutta vasta viime vuosina on rakennusten päästöjen mittaamisen tavoitteita viety eteenpäin kansainvälisellä tasolla poliittisten päättäjien voimin.

Euroopan standardisoinnin komitea (Comité Européen de Normalisation, lyh. CEN) ja sen alaisuudessa toimivan teknisen komitean (Technical Committee, lyh. TC) rakennusosalalle kehittämä standardiperhe *CEN/TC 350 Sustainability of Construction Works* pyrkii laatimaan kestävästä rakentamisesta arviointimenetelmien viitekehysten. Viitekehys mahdollistaa kansainvälisesti ja kansallisesti tehtävien rakennustuotteiden ja rakennusten päästöjen mittausten vertailun ohjaamalla mittausvälineiden laatuvaatimuksia noudattamaan yhteisiä pelisääntöjä. Siksi tämä työ perustuu lähtökohtaisesti ympäristövaikutusten arvioimisen osalta tähän standardiperheeseen ja siihen, miten tämän standardiperheen vaatimuksien mukaisesti olisi mahdollista arvioida rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälki tavoitehintamenettelyn mukaisin periaattein ja sen osana tuotetuista tuloksista.

1.2 Tutkimusongelma

Rakennushankkeen hiilijalanjäljen suuruus määritellään lähes kokonaan hankkeen ohjelmointivaiheessa, kun investointipäätös rakennushankkeeseen tehdään. Päätös lisätä tilankäyttöä kymmenen prosenttia johtaa oletettavasti vastaavaan kasvuun rakennuksen hiilijalanjäljessä. Rakennushankkeen ohjelmointivaihe on, kuten sosiaaliset systeemit yleensä ovat, kompleksinen päätöksentekomekanismi. Kompleksisia järjestelmiä ohjataan yleensä päätöksentekoprosessin kanssa samanaikaisen palautemekanismin avulla. Hiilijalanjäljen määrittämiselle ei kuitenkaan ole laadittu ohjelmointivaiheeseen soveltuvia arviointimenetelmiä, jotka pystyisivät huomioimaan vaihtelun monimutkaisen järjestelmän sisällä. Tämä tutkimus pyrkii siksi selvittämään sekä pääpiirteittäin kuvaamaan miten rakennushankkeen hiilijalanjäljen tavoitearvio voidaan muodostaa hankkeen ohjelmointivaiheessa.

Tutkimusongelma:

Miten talonrakennushankkeille voidaan muodostaa hiilijalanjäljen tavoitearvio ohjelmointivaiheen tulosten perusteella?

Hiilijalanjäljen arviointia on laajalti tutkittu mm. VTT:n toimesta eri rakennusosien hiilijalanjälkien summana. Vaikka tämä menettelytapa johtaa hyvään tulokseen, niin hiilijalanjäljen kumulatiivinen laskentatapa vaatii suunnittelun korkean valmiusasteen, jotta lopullista hiilijalanjälkeä voidaan pitää luotettavana tai edes suuntaa-antavana. Todellinen laskentatavan mukainen hiilijalanjälki saadaan vasta rakennushankkeen lopussa tai jopa rakennuksen käyttöönoton jälkeen. Siinä vaiheessa tai jopa vuosia ennen sitä hiilijalanjälkeen vaikuttavat päätökset ovat kuitenkin oltava tehty rakennushankkeen ohjauksen onnistumisen kannalta. Siksi on oleellista saada tietoa rakennushankkeen hiilijalanjäljen suurusluokasta kun päätöksiä tehdään, eli ennen suunnittelun aloittamista. Hiilijalanjälki tulisi siis pystyä luotettavasti arvioimaan ohjelmointivaiheessa tiedossa oleviin lähtötietoihin perustuen.

1.3 Tavoite

Käytännön teoria perustuu konsepteihin, periaatteisiin ja metodologioihin (Koskela 2000). Metodologialla tarkoitetaan menetelmän kuvaamista. Konseptit vastaavat kysymykseen ”mitä tämä on?”. Periaatteet vastaavat kysymykseen ”miten?” (Pennanen, 2004). Periaatteisiin perustuen on mahdollista kehittää menetelmät ja työkalut, jotka hallitsevat sitä ilmiötä, jota teoria kuvaa (Koskela, 2000).

Työn tavoitteena on selvittää voidaanko ohjelmointivaiheen tulosten perusteella muodostaa teoreettinen pohja talonrakennushankkeiden hiilijalanjäljen tavoitearvon laskentamallille. Mikäli tämä on mahdollista, on työn toissijainen tavoite selvittää ne *periaatteet*, joita kyseisessä laskentamallin muodostamisessa tulisi noudattaa, jotta arvioinnin tuloksia voidaan hyödyntää hankesuunnittelussa suunnittelun lähtötietoina. Yleisesti voidaan todeta työn tavoitteeksi selvittää mahdollisuudet päätöksenteon vaikuttamiseen.

Työn tavoite voidaan kuvata myös seuraavan väitteen muodossa:

- rakennuksen elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset voidaan tavoitteellisesti arvioida ohjelmointivaiheessa muodostettujen lähtötietojen perusteella

1.4 Työn rajaus

Työ rajataan käsittelemään hiilijalanjäljen tavoitearvion muodostamisprosesseja niiltä osin, mitä hankkeen ohjelmointivaiheessa pystytään arvioimaan.

Tutkimus rajataan käsittelemään ainoastaan ilmaston lämpenemiseen vaikuttavia päästöjä, joita voidaan mitata yksikössä *kg CO₂-ekvivalentti* tai muuttaa em. yksikköön. Pienhiukkaspäästöjä ja muita ihmisille sekä ympäristölle haitallisia päästöjä ei huomioida tämän työn puitteissa, mutta periaatteet pyritään työssä esittämään siten, että mallia voi jälkikäteen laajentaa sisältämään kaikki ympäristövaikutuksien arvioinnissa käytettävät päästömittarit. Tulokset ja esimerkit esitellään ainoastaan hiilijalanjäljen näkökulmasta.

Työn painopisteenä on laatia periaatteet rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkiarvioinnista ohjelmointivaiheen tulosten perusteella. Tavoitteena ei ole valmiin laskentamallin esittely, laskentamallin testaaminen eikä rakennusosien tai komponenttien hiilijalanjälkirekisterin muodostaminen. Edelleen työn ulkopuolelle rajataan rakennusmateriaalien ja komponenttien ympäristövaikutusten arvioinnin periaatteet, sillä nämä ovat esitetty ISO- ja EN-standardeissa.

Hiilijalanjäljen tavoitearvion laskentamalli muodostetaan ensisijaisesti Suomen talonrakennushankkeisiin soveltuvaksi.

Tilojen muodostamien yhdistelmien tarkastelu kuuluu suunnittelutyöhön, mikä ei sisälly tämän opinnäytetyön rajaukseen. Suunnittelutyön arviointi ja vertailu tavoitteisiin nähden on kuitenkin

kin suunnittelun ohjauksen tärkein tavoite, jolloin siihen pyritään ottamaan kantaa ohjauksen näkökulmasta lähtötietojen asettamisen muodossa.

Työ ei ota kantaa päätöksenteon arvottamiseen, vaan se tuottaa ainoastaan periaatteet ympäristövaikutusten arviointiin liittyvän informaation tuottamiseksi päätöksenteon tueksi.

1.5 Työn rakenne ja menetelmät

Työn pää rakenne koostuu neljästä eri osasta. Ensimmäinen osa sisältää kirjallisuustutkimuksen elinkaariarvioinnista talonrakennushankkeissa hiilijalanjäljen arviointiin tarvittavien lähtötietojen kartoittamiseksi. Toinen osa koostuu ohjelmointivaiheessa saatavilla olevien lähtötietojen kartoittamisesta ja yhden kustannushallinnassa käytetyn ratkaisun esittelemisestä. Esiteltävä ratkaisu muodostaa toimintojen, tilojen ja rakennusosien välisen yhteyden ohjelmointivaiheen tulosten perusteella. Kolmas osa koostuu hiilijalanjäljen tavoitearvon laskentamallin muodostamisen periaatteista ja tavoitteen asettamisen vaatimien oletusten selvittämisestä. Viimeinen osa muodostuu laskentamallin tulosten esittelystä, tulosten arvioinnista suhteessa arvioinnille asetettuihin vaatimuksiin, tutkimuksen kriittisestä arvioinnista ja johtopäätöksistä.

2 Rakennusten elinkaaren ympäristövaikutusten arviointi kirjallisuudessa

Tämän luvun tarkoitus on selvittää teoreettinen viitekehys rakennusten elinkaaren ympäristövaikutusten arvioinnille. Teoreettinen viitekehys asettaa vaatimukset ja luo ohjeet laskentamallin muodostamiselle. Tämän luvun tulosten perusteella voimme tarkastella miten arviointi olisi mahdollista tehdä osana ohjelmointivaihetta.

2.1 Standardien asettamat vaatimukset rakennusten elinkaaren ympäristövaikutusten arvioinnille

2.1.1 Standardit ja säädökset

Euroopan parlamentin ja neuvoston vuonna 2010 voimaan astunut direktiivi (2010/31/EU rakennusten energiatehokkuuden parantaminen) määrittää, miten EU:n jäsenvaltioiden tulee toimia Kioton sopimuksen energiatehokkuustavoitteiden saavuttamisessa. Toimenpiteisiin sisältyy rakennusten energiatehokkuuden laskentamenetelmän ja sertifiointijärjestelmän laadinta. Suomessa käyttöön otettu kiinteistöjen energiatehokkuusluku on yksi tämän direktiivin myötä tulleist vaatimuksista. Pidemmällä aikavälillä lainsäädännön tavoite on, että kaikki uudisrakennukset ovat lähes nollaenergiarakennuksia vuoden 2020 loppuun mennessä.

Direktiivi ei suoraan määritä eri laskentatapoja vaan ohjaa rakennusalaan asettamalla yleisiä tavoitteita ja asettaen minimivaatimuksia jäsenmaiden kansallisille määräyksille. Standardien rooli on täsmentää direktiivien asettamien tavoitteiden toteutumista ohjaamalla eri arviointimalleja keskenään vertailukelpoisiksi. Aiemmin tuotteiden ympäristövaikutusten arviointiin liittyvä ISO 14040-sarja määritteli tarkasti arviointiin sisältyvien prosessien määrittelyn arvioinnin osana. Tämä johti siihen, että rakennustasojen ympäristövaikutusten arviot olivat työläitä ja tulokset saattoivat poiketa merkittävästi toisistaan arvioiden laatijoiden poikkeavien oletusten vuoksi. Poikkeamien vähentämiseksi oli rakennuksille muodostettava yhtenäiset arviointiperiaatteet.

Rakennusalan ympäristövaikutusten osalta direktiivi määrittää, että päästöjä on mitattava ja mittaustapojen yhtenäistämiseksi on perustettu tekninen komitea. Tämän komitean tehtävänä on laatia rakennusallalle kestävästä rakentamisesta edistävää standardiperhe, joka on nimetty *CEN/TC 350 Sustainability of Construction Works* (vapaa käännös ”Kestävä rakentaminen”). Standardien viitekehys rakennusten elinkaaren ympäristövaikutusten arvioimisesta mahdollistaa sen, että tulevaisuudessa ympäristövaikutusten seuranta ja rooli päätöksenteossa tulee yleistymään. Ympäristöarvojen painotuksen kasvuun ohjaa myös mm. Sitran laatimat tulevaisuuden skenaariot (ERA 17-ohjelman puitteissa) ja Finnish Green Building Councilin laatima mittaristo (FIGBC, 2012). Tässä työssä kehitettävä malli pyrkii mahdollisimman hyvin täyttämään

standardien määrittämää rakennetta tavoitteiden saavuttamisen mahdollistamiseksi ja kestävän rakentamisen painottamiseksi rakennushankkeiden ohjauksessa.

Standardiperheen lähestymistapa on konseptitasolla seuraava: tavoitteena on mitata rakennusten tehokkuutta sosiaalisten, taloudellisten ja ympäristövaikutusten osalta sisältäen tiloille asetettavat tekniset ja toiminnalliset vaatimukset (Kuva 1 The Work Program of CEN/TC 350, EN 15643-1).

Konseptitaso	Käyttäjien ja viranomaisten määräykset				
	Integroitu rakennuksen suorituskyky				
	Ympäristötehokkuus	Sosiaalinen suorituskyky	Taloudellinen tehokkuus	Tekninen suorituskyky	Toiminnallinen tehokkuus
Viitekehystaso	EN 15643-1 Rakennusten kestävyys arviointi – yleinen viitekehys				
	EN 15643-2 Ympäristötehokkuuden viitekehys	FprEN 15643-3 Sosiaalisen tehokkuuden viitekehys	FprEN 15643-4 Taloudellisen tehokkuuden viitekehys	Tekniset ominaisuudet	Toiminnallisuus
Rakennustaso	EN 15978 Ympäristötehokkuuden arviointi	EN 15643-3 Sosiaalisen tehokkuuden arviointi	EN 15643-4 Taloudellisen tehokkuuden arviointi		
	Ympäristöselosteiden käyttö				
Tuotetaso	EN 15804 Ympäristöselosteet	Katso huomio alla	Katso huomio alla		
	EN 15942 Raportointimuoto	Huom. Joitakin sosiaalisia ja taloudellisia näkökulmia on esitetty standardissa EN 15804 käsiteltäväksi osana ympäristöselostetta.			
	CEN/TR 15941				

Kuva 1 Kestävän rakentamisen standardiperheen CEN/TC 350 työohjelma standardijakoineen.

Tekninen ja käytännöllinen tehokkuus ovat olennaisessa osassa sosiaalisissa, taloudellisissa ja ympäristövaikutuksien tehokkuudessa, jolloin niiden seuraamisesta ei ole standardiryhmän puitteissa laadittu omia viitekehyksiä, vaan ne huomioidaan edellä mainittujen osana (EN 15643-1). Ajatus on se, että tekninen tai käytännöllinen tehokkuus ei ole itseisarvo, vaan rakennuksen tulee vastata toiminnan muodostamaan tilatarpeeseen, jota mitataan sosiaalisilla, taloudellisilla ja ympäristövaikutuksien mittareilla.

Standardiryhmän johdantokappaleessa ohjataan kestävän rakentamisen arvioimiseen (engl. sustainability assessment) aikaisimpana mahdollisena ajankohtana. Arviota voi projektin edetessä täsmentää ja päivittää päätöksenteon tukena. Standardin mukaan tulisi myös lopullinen arviointi suorittaa projektin lopuksi toteutuneiden ratkaisujen mukaisesti ja tuloksia jakaa asianomaisten kesken. EN 15643-1 käsittelee kuvan 1 mukaisesti yleistä viitekehitystä sosiaalisten, taloudellisten ja ympäristövaikutusten arviointiin.

Rakennuksen arviointijärjestelmä voi sisältää enemmän kuin yhden lähestymistavan: analyttisen arvioinnin lisäksi järjestelmä voi sisältää määrälaskennan ja arvovalintojen teon. Standardit määrittävät analyttisen arviointitavan, mutta ne eivät ota kantaa tuloksien tasoon luokituksen tai tavoiteasettelun muodossa (EN 15643-1, s. 17).

Rakennuksille on monessa arviointityökalussa muodostettu arvovalintoja. Esimerkiksi ympäristösertifiointityökalut asettavat eri painoarvoja eri osa-alueille, jolloin tietoisesti painotetaan joitakin osa-alueita. Työkalujen painotukset voidaan olettaa johtuvan siitä, että määrällisten mittareiden asettaminen ei ole ollut mahdollista tai siihen ei ole muista, esimerkiksi kilpailullisista syistä haluttu lähteä. Tämän työn tavoite on asettaa määrälliset ympäristövaikutustavoitteet talonrakennushankkeille, mikä tarkoittaa, että arvioinnissa on saatava määrätieto, joko laskemalla tai lähtötietona. Määrälaskennan mallintamista ei tehdä tämän työn osana vaan käsitellään luvussa 4. Arvovalintojen teko jätetään mallin käyttäjän tehtäväksi. Tässä mallissa huomioidaan siis sellaiset vaikutukset, jotka eivät suoraan riipu arvovalinnoista vaan ovat arvioitavissa lähtötietojen perusteella.

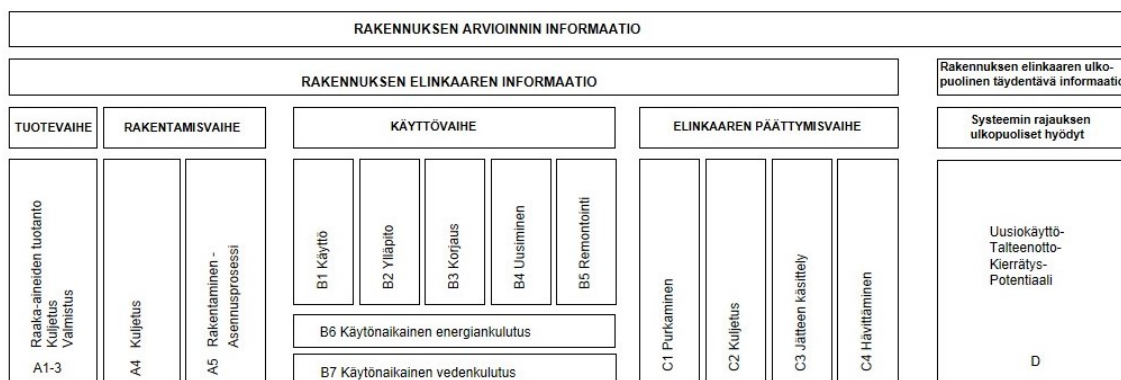
2.1.2 Standardien mukaisen systeemin rakenne ja raja

Standardiryhmän mukainen viitekehysten systeemi rajataan siten, että siihen sisältyy rakennuksen perustukset, työmaalla tehtävät aluetyöt (engl. ”external works within the building’s curtilage”) sekä rakentamiseen liittyvät tilapäisjärjestelyt (EN 15643-1, s. 19). Standardit antavat mahdollisuuden jättää yhdyskuntarakentamiseen liittyvät viranomaissäännösteltyjen järjestelmien, kuten energian- ja vedentuotantomuodot sekä viemärintijärjestelmät, vaikutukset arvion ulkopuolelle. Poikkeamat edellä mainitusta rajauksesta on siinä tapauksessa tuotava esille sekä perusteltava. Näiden huomioimatta jättäminen vaikuttaa kuitenkin oleellisesti ympäristökuormien arvioinnin tuloksiin, jolloin tämä työ pyrkii huomioimaan nämä tekijät osana tavoitteen asettelua.

Standardi määrittelee edelleen osaksi systeemiä rakennuksen järjestelmien osana olevat asennukset, varusteet ja laitteet. Rakennuksen järjestelmien osana olevat kalusteet, laitteet ja varusteet ovat sellaisia tuotteita, joita ei voi poistaa heikentämättä rakennuksen toiminnan laatua, ja tuotteen poistaminen tai uusiminen olisi rakennustyöhön verrattavissa olevaa työtä. Systeemirajaus ei sisällä rakennusjärjestelmien ulkopuolisia laitteita, asennuksia tai varusteita kuten esimerkiksi kodinkoneet, tiloissa tapahtuvan tuotantoprosessin osana olevat laitteet, viihde- tai toimistoelektroniikka. Tiedossa olevat systeemin ulkopuoliset tuotteet tulee tuoda eritellysti esille, vaikka niitä ei tuloksiin sisällytetäkään. (EN 15643-1, s. 20)

Standardien rajaama viitekehys rakentuu informaatiomoduleista. Informaatiomoduli on kyseiseen vaiheeseen liittyvän informaation esitys- ja jaottelutapa. Informaatiomodulit ovat jaettu rakennuksen elinkaaren vaiheen mukaan kirjaimilla A (rakennusmateriaalien tuotanto ja rakentaminen), B (rakennuksen käyttö), C (rakennuksen käytöstä poistaminen) ja D (täydentävä

informaatio), sekä vaiheen sisäisen jaon mukaisella numerolla. Kaikki rakennuksen arviointiin liittyvät informaatiomodulit ovat esitetty alla kuvassa 2 (EN 15978).



Kuva 2 EN15978 standardin mukainen rakennuksen arvioinnin informaation jako informaatiomoduleihin.

Tuote- ja rakentamisvaihe sisältävät rakennuksen valmistelun käyttöä varten, käyttövaihe sananmukaisesti rakennuksen käytön ja käytönaikaiset sen käytön mahdollistamiseksi tehtävät toimenpiteet sekä elinkaaren päättymisvaihe käytön päättymisestä rakennuksen purkujätteiden loppusijoittamiseen asti. Nämä vaiheet ovat edelleen jaettu ns. informaatiomoduleihin, jotka muodostavat loogisia kokonaisuuksia ympäristövaikutusten arvioinnin kannalta. Kokonaisuuden hahmottamisen vuoksi on tärkeää ymmärtää rakennuksen elinkaaren jako informaatiomoduleihin sekä modulien väliset rajaukset, sillä jokainen informaatiomoduli noudattaa omaa logiikkaansa eivätkä ne yksinään tuota informaatiota vaan toimivat kokonaisuutena. Hiilijalanjäljen arviointimalli pyrkii noudattamaan informaatiomodulien laskentaperiaatteiltaan samaa jakoa.

Tässä työssä keskitytään rakennuksen elinkaaren informaation tuottamisen periaatteisiin, eli informaatiomoduleihin A1-C4, sillä tavoitteen asettamisen näkökulmasta täydentävä informaatiomoduli D on ensinnäkin toissijaista informaatiota standardin rajauksen mukaisesti ja toiseksi moduli muodostuu positiivisten ympäristövaikutusten potentiaalin arvioimisesta, mikä sisältää epävarmuutta huomioiden, että tavoitteen asettaminen tapahtuu rakennushankkeen alkuvaiheessa. Rakennushankkeen vaiheista keskustellaan enemmän luvussa 3.

Informaatiomodulien tarkempi sisältö ja modulien väliset rajaukset kuvataan seuraavaksi moduuleittain.

2.1.3 Systeemin informaatiomodulijaon sisäiset rajaukset rakennusten elinkaariarviointistandardin mukaisesti

Informaatiomodulit käsitellään useassa standardissa eri näkökulmista. Standardi SFS-EN 15978:2011 (englanninkielinen nimi: Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method) käsittelee kestävästä rakentamisesta kokonaisuutena rakennustasolla laskentaesimerkein. Standardi SFS-EN 15804:2012+A1:2013 (englanninkielinen nimi: Sustainability of construction works. Environmental product declarations. Core rules for the product category of construction products.) käsittelee kestävästä rakentamisesta rakennustuotteiden näkökulmasta määrittämällä säännöt ympäristöselosteen (engl. Environmental Product Declaration, lyh. EPD) muodostamiseksi. Standardiperheen sisällä informaatiomodulien rajaukset ovat johdonmukaiset vaikkakin niiden esittelytapa eri standardeissa vaihtelee näkökulmasta riippuen. Koska laskentamalli pyrkii noudattamaan standardin rakennetta ja kattavuutta selostetaan seuraavaksi eri informaatiomodulien sisältö sekä niiden väliset rajaukset. Standardin EN 15804:2012 edellisestä versiosta on myös laadittu suomenkielinen käännös. Suomenkielistä käännöksen mukaisia termejä pyritään käyttämään, mutta tarvittaessa termit käännetään ja käännettävä termi esitetään alkuperäiskielellä suluissa, esimerkiksi *tuote* (engl. *product*).

Tässä luvussa pyritään esittelemään standardiryhmän viitekehys siinä laajuudessa, mitä laskentamallin periaatteiden ymmärtämisessä sekä laskentamallin kattavuuden arvioimisessa vaaditaan. Tarkan sisällön tarkistaminen ehdotetaan kuitenkin tehtäväksi viitatussa standardista.

Yleisesti ympäristövaikutusten arvioinnissa on voimassa kaksi periaatetta:

- modulaarisuusperiaate (engl. "modularity principle"): siinä vaiheessa missä prosessi vaikuttaa tuotteen ympäristövaikutukseen tulee vaikutus huomioida sen elinkaaren vaiheen aikana jossa ympäristövaikutus tapahtuu.
- "aiheuttaja maksaa"-periaate (engl. "polluter pays principle"): prosessit, jotka aiheuttavat ympäristövaikutuksia tulee huomioida siinä vaiheessa, jossa vaikutukset aiheutuvat.

Rakennuksen elinkaari alkaa rakennustuotteiden valmistamiseen tarvittavien raaka-aineiden hankinnasta ja käsittelystä. Raaka-aineiden hankintaan viitataan termillä "kehto", sillä se on elinkaaren ensimmäinen osavaihe.

A1-3 Kehdosta tehtaan portille, ns. tuotevaihe

Informaatiomodulit A1-3 muodostavat kokonaisuutena tuotevaiheen, mihin sisältyy:

- A1, tuotteen raaka-aineen hankinta ja käsittely, mahdollisen kierrätysmateriaalin käsittely
- A2, kuljetus valmistukseen ja
- A3, valmistus.

Tämä sisältää kaikkien materiaalien, tuotteiden ja energian hankinta sekä näissä vaiheissa syntyvän jätteen käsittely. (SFS-EN 15804:2012+A1:2013, myöhemmin EN 15804)

A4 Kuljetukset tehtaan portilta työmaalle

Moduulit A4 ja A5 muodostavat ns. rakentamisvaiheen. Moduuli A4 sisältää rakennusmateriaalien kuljetukset tehtaan portilta työmaalle sisältäen välivarastoinnin sekä jakeluliikenteen. Moduuli sisältää myös tilapäisrakennelmien ja kaluston kuljetukset työmaalle ja työmaalta. Henkilöliikenteen kuljetuksia ei standardien mukaan huomioida osana rakennuksen ympäristövaikutusten arvioinnissa. (SFS-EN 15978:2011, myöhemmin EN 15978)

A5 Rakentaminen ja asennusprosessi

Rakentamisvaiheen toisen osan, eli moduuli A5 muodostuu työmaatoiminnoista. Moduulin osana on standardin vaatimusten mukaan huomioitava ainakin:

- maanrakennustyöt
- työmaalla tapahtuva välivarastointi mahdollisine energiavaikutuksineen (esim. varaston lämmitys)
- työmaalla tapahtuvat siirrot ja haalaukset
- väliaikaiset asennukset ja työt
- työmaalla tehtävä valmistus ja työstäminen
- rakentamisaikainen lämmitys, jäähdytys, ilmanvaihto, kosteudenhallinta ym.
- veden käyttö
- jätteenkäsittely kuljetuksineen ja loppukäsittelyineen sekä

- mahdolliset kiinnitystarvikkeet tai asennuksen yhteydessä käytettävät aineet, joita ei ole huomioitu osana ympäristöselostetta (engl. environmental product declaration, lyh. EPD)
- hävikin valmistus, kuljetus ja jätehuolto. (EN 15978)

B1 Käyttö

Käytön informaatiomoduulissa huomioidaan normaalista käytöstä aiheutuvat päästöt. Energian ja veden käyttö on eriytetty omiksi informaatiomoduuleiksi (B6-7). Tämä ei sisällä minkäänlaisia teknisiä toimenpiteitä, kuten materiaalien uusimista tai kunnossapitoa. Näitä ovat esimerkiksi pintamateriaaleista ajan myötä sisäilmastoon vapautuvat aineet. Käytönaikaisten materiaalien päästöt ovat tarkemmin kuvattu standardiperheessä CEN/TC 351.

B2 Kunnossapito

Moduulin osana huomioidaan suunnitellut toimenpiteet rakennuksen toiminnallisen, teknisen sekä esteettisen tason ylläpidon vaatimista prosesseista komponentteineen. Tämä sisältää ennaltaehkäisevät ja suunnitellut kunnossapitotoimenpiteet kuten puhtaanapidon, määräaikaishuollon, kuluneiden ja rikkoutuneiden osien vaihdot. Tästä esimerkkinä suodattimien tai öljyn vaihto sekä siivous ja normaalista kulumisesta johtuva kunnossapitomaalaus. Puhtaanapito huomioidaan osana kunnossapitoa, joten puhtaanapidossa käytettävä vesi ja energia huomioidaan tässä moduulissa, ei moduuleissa B6 ja B7. (EN 15978)

B3 Korjaus

Moduuli sisältää korjaustoimenpiteiden ja niiden seurausvaikutusten aiheuttamat päästöt. Korjauksella tarkoitetaan jonkin rakennusosan tai komponentin palauttaminen hyväksyttävälle tasolle uusimalla, korvaamalla tai muuttamalla kuluneen, vahingoittuneen tai rikkoontuneen komponentin tai sen osan. Korjaustoimenpiteet eivät ole suunniteltuja tai ennakoon määritettävissä olevia toimenpiteitä. (EN 15978)

Esimerkkinä korjaustyöstä on rikkoontuneen ikkunalasin uusiminen tiivisteineen ja tarvittavine maalauksineen sekä vanhan lasin ja tiivisteiden lajittelu ja jätteenkäsittely. (EN 15978)

B4 Osien vaihto

Moduuli sisältää uusimisen ja sen aiheuttamien seurausvaikutusten aiheuttamat päästöt.

Osien uusiminen sisältää osien korjauksen lisäksi myös osan uusimiseen liittyvät (sekundääriset uusittavat rakennusosat) seurausvaikutukset (engl. ancillary products) sekä niiden ympäristövaikutusten arvioinnin. (EN 15978)

B5 Laajamittaiset korjaukset

Laajamittaisten korjausten informaatiomodulissa huomioidaan remonttitoimenpiteiden, eli laajamittaisten korjausten, sekä niistä aiheutuvien seurausvaikutusten aiheuttamat päästöt. Laajamittaisilla korjauksilla tarkoitetaan ennalta suunniteltuja merkittäviä kunnossapito-, korjaus- ja vaihtotoimenpiteitä, jotka kohdistuvat koko rakennukseen tai suureen osaan rakennusta. (EN 15978)

Laajamittaisessa korjauksessa muokataan rakennusta ja parannetaan sen ominaisuuksia, jotta tilat saadaan palautettua suoritustasoltaan hyväksyttävälle tasolle huomioiden tiloille asetettavat teknilliset ja toiminnalliset vaatimukset. Nämä voivat olla rakennuskohtaisia tavoitteita kuten kiinteistön rakennustehokkuuden parantaminen tai teknisen järjestelmän uudistaminen entisen käyttöiän päättymisen myötä. (EN 15978)

B6 Käytönaikainen energiankulutus

Moduuli kattaa käytönaikaisen energiankulutuksen sisältäen raaka-aineiden hankinnan ja valmistuksen, siirron ja sen käytöstä käyttökohteessa aiheutuvien jätteiden käsittelyn ja kuljetuksen. (EN 15978)

Rakennukseen integroidut tekniset järjestelmät ovat rakennukseen tai rakennuskohteeseen asennettuja teknisiä laitteita, jotka tukevat rakennuksen tai rakennuskohteen toimintaa. Niihin kuuluvat talotekniset lämmitys-, jäähdytys-, ilmanvaihto-, valaistus- ja lämpimän käyttöveden järjestelmät, sanitaatio-, turvallisuus- ja paloturvallisuusjärjestelmät sekä rakennukseen integroidut kuljetusjärjestelmät (hissit ja liukuportaat), yhdistetty rakennusautomaatio ja säätö sekä tietoliikennejärjestelmät. (EN 15798)

Käytönaikaisen energiankulutuksen laskentasääntöjä ei ole esitetty rakennuksen elinkaaren ympäristövaikutusten arvioinnin standardeissa vaan ne on käsitelty standardissa SFS-EN 15603:2008, mikä määrittää rakennusten energianluokituksen periaatteet. Tämän standardin perusteella on laadittu Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehotarpeen laskenta (2013). Koska standardi EN 15603 jättää joitakin energianlaskennan rajauksia kansallisten viranomaistahojen päätettäväksi, noudatetaan tässä

työssä Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D5 (2012) määritettyjä periaatteita energiankulutuksen laskennassa.

B7 Käytönaikainen vedenkulutus

Moduuli kattaa käytön aikaisen veden kulutuksen sisältäen veden hankinnan ja käsittelyn, siirron sekä jäteveden siirron ja käsittelyn. Normaaliin kunnossapitoon, kuten siivoukseen sisältyvä vesi huomioidaan moduulissa B2. (EN 15798)

Energiatehokkuuden arvioinnin rajat tulee määritellä selkeästi ennen arviointia. Tätä kutsutaan järjestelmän rajaksi. Järjestelmän raja liittyy luokiteltuun kohteeseen (esim. asunto, rakennus, jne.). (EN 15798)

Energiaa voidaan tuoda ja viedä järjestelmän rajan yli. Jotkut näistä energiavirroista voidaan mitata mittareilla (esim. kaasu, sähkö, kaukolämpö ja vesi). Energiamuotojen kulutukselle järjestelmän raja on mittarit kaasulle, sähkölle, kaukolämmölle ja vedelle, varastotilan lastauspaikka nestemäisille ja kiinteille energiamuodoille. (EN 15798)

Vastaavasti, jos osa taloteknistä järjestelmää (esim. lämminvesivaraaja, jäähdytin, jäähdytystorni jne.) sijaitsee rakennusvaipan ulkopuolella, mutta muodostaa osan arvioitavaa rakennuksen toimintoa, sen lasketaan kuuluvan järjestelmärajan sisäpuolelle ja sen järjestelmähäviöt otetaan huomioon tarkasti. (EN 15603, s. 28)

C1-4 Rakennuksen elinkaaren päättymisen ja käytöstä poistaminen

Rakennuksen purkuvaihe sisältää rakennuksen käytöstä poistamisen seuraavina informaatiomoduuleina:

- C1 purkaminen, mukaan lukien materiaalin, tuotteen tai rakennusosan korvaamisen, irtottamisen tai purkamisen sisältäen jätteiden työmaalla tehtävän lajittelun.
- C2 purkuvaiheen kuljetukset, mitkä muodostuvat poistetun materiaalin, tuotteen tai rakennusosan kuljetukset osana jätteenkäsittelyprosessia. Esimerkiksi kuljetus kierrätysmateriaalin käsittelypaikalle tai jätteen kuljetus loppusijoitukseen huomioidaan tässä.
- C3 purkujätteenkäsittely, sisältäen lajitellun jätteen keräämisen purkutyömaalta ja materiaalivirtojen jätteenkäsittelyn uudelleenkäyttöä, materiaalikierrätystä ja energiasisällön hyödyntämistä varten.
- C4 purkujätteen loppusijoitus sisältäen fysikaalisen esikäsittelyn ja loppusijoituspaikan ylläpidon. (EN 15978)

2.1.4 Toiminnallinen yksikkö

Rakennusten tai asennettujen järjestelmien vertailukelpoisuuden vuoksi on tärkeää, että vertailu suoritetaan perustuen niiden toiminnalliseen vastaavuuteen. Tämä tarkoittaa, että toiminnalle asetettavat määräävät vaatimukset yhdessä teknisten vähimmäisvaatimusten kanssa muodostavat toiminnallisen yksikön (engl. functional equivalent), johon vertailu perustuu. (EN 15804)

Toiminnallisen yksikön tulee sisältää vähintään seuraavat osatekijät:

- rakennuksen tyyppi (esimerkiksi tehdas, toimisto, jne.)
- käyttötiheys (engl. pattern of use) (esim. käyttöaste)
- olennaiset tekniset ja toiminnalliset vaatimukset (esim. viranomaissäännellyt vähimmäisvaatimukset sekä tilaajan asettamat vaatimukset)
- määritetty pitoikä (engl. required service life, lyhenne RSL) (EN 15804)

Muita vaatimuksia kuten sijaintiin tai sääolosuhteiden alttiuteen liittyviä vaikutuksia voi olla tarkoituksenmukaista huomioida toiminnallisen yksikön arvioinnissa. (EN 15804)

2.1.5 Skenaariot

Standardi EN 15978 esittää, että tuotevaiheen jälkeisten rakennuksen elinkaarivaiheiden arviointi tulisi perustua skenaarioihin. Tähän sisältyy rakennuksen elinkaaren rakentamis-, käyttö- ja päättymisvaiheen informaatiomodulit. Tämä tarkoittaa, että pääosa rakennuksen elinkaaren ympäristövaikutuksista arvioidaan skenaarioiden avulla, jolloin skenaarioiden merkitys tulosten kannalta on suuri. Standardi EN 15978 määrittää skenaarioille asetettavat vaatimukset, joista työn osalta tärkeimmät ovat esiteltynä alla (EN 15978, s. 31-36):

- skenaarioiden tulee perustua relevanttiin tekniseen informaation ja voimassa oleviin määräyksiin, suunnitteluohjeisiin ja -käytäntöihin, sekä tilaajan hankkeelle asetettaviin vaatimuksiin.
- skenaarioiden tulee olla realistinen ja todenmukainen kuvaus yhdestä todennäköisimmästä toteutusvaihtoehdosta. Esimerkiksi kolmesta vaihtoehdosta tulee skenaariossa noudattaa todennäköisintä vaihtoehtoa tai esittää kaikki kolme vaihtoehtoa vaikutuksiin.
- skenaarioiden ei tule perustua prosesseihin tai toimintatapoihin, joita ei ole käytössä tai joita ei ole pystytty esittämään käytännöllisiksi ja taloudellisesti perusteltavaksi kyseisessä tarkoituksessa.

Käytönaikaisissa skenaarioissa arvioidaan tuotteiden uusimissykli yksittäisten rakennusosien arvioidun pitoiän ja arvioitavalle rakennukselle määrätyn pitoiän välisellä suhteella. Rakennusosan tai järjestelmän arvioitu pitoikä (engl. estimated service life, lyh. ESL) tulee määrittää eurooppalaisten tuotestandardien mukaisesti sekä huomioida standardien ISO 15686-1, -2, -7 ja -8 mainitut säännöt ja ohjeet. Rakennuksen ympäristövaikutuksen arvioinnin tavoitteen asettamisessa hyödynnetään tavoitteellisia arvoja arvioidun pitoiän määrittämisessä.

Ympäristövaikutusten arvioiden tulee perustua spesifioituihin rakennuksen elinkaaren arvioiviin skenaarioihin. Skenaariot tulee olla dokumentoituja sekä tuoda esille arvioinnin osana tehdyt oletukset. Skenaarioiden tulee olla todenmukaisia ja kuvaavia arvioita, jotka huomioivat toiminnallisen yksikön osatekijät sekä tekniset vaatimukset. Laskentamallissa arvioiden perustana hyödynnettävät skenaariot käsitellään osana lukua 5.

2.1.6 Läpinäkyvyys ja arvioinnissa käytettävä data

Standardit määrittävät datan, käytäntöjen, tulosten, raportoinnin ja kommunikoinnin läpinäkyvyydelle asetettavat vaatimukset. Taulukossa 1 on esitetty suositeltava datan lähde riippuen rakennushankkeen vaiheesta. Huomionarvoista on, että standardit eivät tunnista ohjelmointivaihetta mahdollisena arvioinnin ajankohtana, sillä kaikki esitetyt ajankohdat ajoittuvat ohjelmointivaiheen jälkeen. Tälle työlle asetetaan kuitenkin samat suositukset kuin aikaisemmille esitetyille arviointiajankohdalle, eli ehdotussuunnittelulle. Työn suositukset ovat siis taulukossa **lihavoituna**.

Taulukko 1 Standardin EN 15978 (s. 39) ohjeistus eri vaiheissa tehtävien arvioinnin suositeltavasta datasta. Termit ovat kirjoittajan vapaita suomennuksia englanninkielisistä termeistä.

Suositeltava datan muoto	Arvioinnin ajankohta				
	Ehdotus-suunnittelu	Toteutus-suunnittelu	Rakentaminen	Käyttö-vaihe	Käytöstä poistaminen
Yleinen data	X	X	X	X	X
Kokonaissummaan perustuva data	X	X			
Ryhmitetty data	X	X	X	X	X
Tuoteryhmän data	O	X	X	X	X
Tuotteen keskimääräinen data	O	X	X	X	X
Tuotekohtainen data	O	X	X	X	X
Malliskenaariot käyttövaiheesta	X	X	X	X	
Mitattu data			X	X	X
Muu data	O	O	O	O	O
Huom: risti esittää suositeltavaa dataa, ympyrä esittää vaihtoehtoisia dataa					

Taulukosta selviää, että ehdotussuunnittelussa suositellaan suunnitelmien epätarkkuuden vuoksi käytettäväksi yleistä ja kokonaissummiin perustuvaa dataa. Tuoteryhmä- tai tuotekohtaisen datan käyttö ei ole standardien mukaan tarpeellista vielä ehdotussuunnittelu- eikä ohjelmointivaiheessa.

Ympäristöselosteille asetettavat vaatimukset ovat tarkemmin esitetty standardissa EN 15804 (s. 44-). Standardit määrittävät oleellisimmaksi tekijäksi sen, että tulokset on oltava verifioitavissa jälkikäteen kolmannen osapuolen toimesta. Laskentamalli vastaa tähän käyttämällä ainoastaan julkisesti saatavilla olevaa dataa. Pääosa tässä työssä käytettävästä datasta on haettu Saksan rakennetun ympäristön ministeriön laatimasta ja ylläpitämästä Ökobau-tietoportaalista sekä saksalaisen Institut Bauen und Umwelt e.V. (lyhennetty IBU, vapaasti suomennettuna Rakentamisen ja Ympäristön instituutti) ja suomalaisen Rakennustietosäätiön (lyh. RTS ry) keräämistä ympäristöselosteista. Ökobau-tietoportaalii on tutkimuksen aikana yhdistetty osaksi IBU:n ylläpitämää tietoportaalii.

Jos ympäristöseloste ei kata kaikkia niitä elinkaaren vaiheita, jotka ovat vertailun kannalta olennaisia tai jos informaatiomodulissa esitetyn skenaarion taustalla olevat oletukset eivät kata vastaavia teknisiä ja toiminnallisia vaatimuksia, on kohteeseen liittyvät spesifiset skenaariot määritettävä modulien A1-3 jälkeisten informaatiomodulien laskemiseksi. (EN 15804, s. 26)

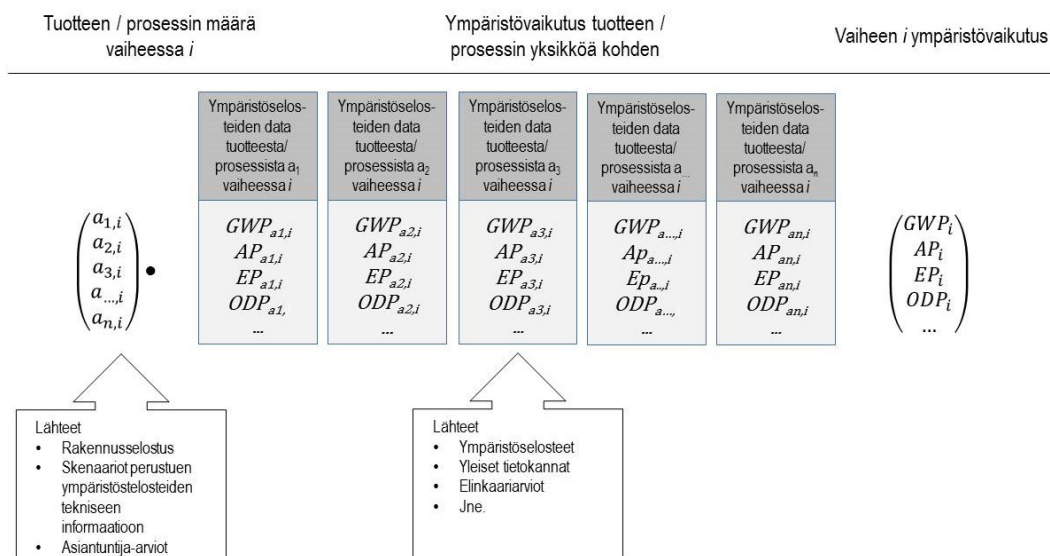
Rakennustuotteiden keskinäinen vertailu ympäristöselosteiden sisältämien ympäristötietojen perusteella ei lähtökohtaisesti ole mahdollista, vaan standardien mukaan tulisi vertailu aina toteuttaa rakennustasolla. Tällöin voidaan ottaa huomioon rakennustuotteen vaikutuksen muuhun rakennukseen ja muihin vaiheisiin. Lähes vastaava tuote saattaa yhdellä mittarilla tarkasteltuna olla ympäristövaikutuksiltaan toista tuotetta parempi, esimerkiksi tuote- ja rakentamisvaiheiden aikaisten vaikutuksia arvioitaessa, mutta rakennuksen pidemmällä käyttöiällä tilanne saattaa kääntyä toisin päin. Siksi ainoastaan vertailemalla rakennuksen ympäristövaikutuksia kokonaisuutena eri tuoteratkaisuilla ja todennäköisellä käyttöiällä voidaan rakennusosien ja muiden ratkaisujen kestävydestä tehdä johtopäätöksiä.

2.1.7 Standardien laskentasäännöt

Standardeissa EN 15804 ja EN 15978 on esitetty muutamia laskentaperiaatteita, joita kuvataan tässä siinä laajuudessa, missä laskentasääntöjä noudatetaan hiilijalanjäljen arviointimallissa. Standardeissa esitetyt laskentaperiaatteet hyväksytään tässä työssä toimivina ja perusteltuina, jolloin niitä ei tässä työssä arvioida. Toisaalta voidaan standardeissa ohjeellisina esitetyt laskentaohjeet käsitellä periaatteellisesti ja esittää niihin suosituksia tai vaihtoehtoisia menettelytapoja tämän työn puitteissa.

Ympäristövaikutusten yhteen laskeminen

Rakennusten ympäristövaikutuksen laskennassa noudatetaan standardien mukaan matriisilaskentaa. Periaate on esitettyä kuvassa 3.



Kuva 3 Standardin EN 15978 mukainen matriisilaskentaan perustuva ympäristövaikutusten laskentatapa, jossa $i = [A1-3, A4, A5, B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, C1, C2, C3, C4]$.

Koska tässä työssä arvioidaan ainoastaan hiilijalanjälkeä, eli mittaria GWP, niin voidaan kuvan 3 laskentatapaa yksinkertaistaa ja laskenta moduulista i esittää myös seuraavasti:

$$GWP_i = a_{1,i} * GWP_{a_{1,i}} + a_{2,i} * GWP_{a_{2,i}} + a_{3,i} * GWP_{a_{3,i}} + \dots + a_{n,i} * GWP_{a_{n,i}}$$

jossa $[a_1, a_2, \dots, a_n]$ ovat rakennusosat ja $[GWP_{a_{1,i}}, GWP_{a_{2,i}}, \dots, GWP_{a_{n,i}}]$ rakennusosia vastaavat vaiheen i ympäristövaikutukset, eli hiilijalanjälki.

Tällöin vaiheen i hiilijalanjälki muodostuu rakennusosien ja niiden ympäristövaikutusten tulojen summasta. Laskemalla vaiheet, joissa $i = [A1-3, A4, A5, B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, C1, C2, C3, C4]$ saadaan koko rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälki.

Ympäristöselosteissa tuotettavalle tiedolle asetetaan mm. seuraavat vaatimukset (EN 15804):

- ilmoitettavan yksikön (engl. declared unit) tulee olla kappale [kpl], massa [kg], pituus [m], ala [m²] tai tilavuus [m³].
- tuotteen tekninen käyttöikä [RSL] voidaan esittää ainoastaan ympäristöselosteissa, jotka kuvaavat tuotteen koko elinkaaren sekä oletetun käyttöympäristön. Teknisessä käytössä on huomioitava todellinen energiankulutukseen vaikuttavien rakenteiden osalta

rakennusosan esim. lämmöneristävyyden heikkeneminen ajan myötä. Teknistä käyttöikää voidaan käyttää ellei tarkempaa tietoa käyttöolosuhteista ole saatavilla (EN15804, s. 45-46)

Arvioidun käyttöiän määrittäminen

Käyttöiän määrittämisessä noudatetaan standardeissa ISO 15686-1, -2, -3 ja -8 esitettyjä periaatteita. Näiden mukaan huomioidaan käyttöiän määrittämisessä:

- rasitukset, (mekaaninen, kemiallinen, lämpötilavaihtelu ja biologinen, ISO 15868-2, taulukko 1, s. 8). Rasitusten vaikutuksesta huolto-ohjelmaan ja eri skenaarioita on esitetty esimerkkinä standardin ISO 15868-3 liitteessä (liite C, ohjeellinen esimerkki, s. 30-33).
- arvioidun käyttöiän (ESL) huomioimisessa voidaan käyttää kertoimia, joissa huomioidaan eri rasituskategoriat (engl. factor method), jossa arvioitu käyttöikä (myöhemmin pitoikä) on tekninen käyttöikä kerrottuna käyttötilanteesta riippuvilla kertoimilla.

$t_{ESL} = t_{RSL} \times \phi(a, b, c, d, e, f, g)$, jossa ϕ on funktio, mikä riippuu olosuhteista, jotka kuvataan tekijöillä a, b, c, d, e, f, g.

a = toiminnallinen kestävyys

b = suunnittelun taso

c = työn taso

d = sisäilmasto

e = ulkoilmasto

f = käyttöolosuhteet

g = kunnossapidon taso

Standardit ohjeistavat, että ϕ -funktion raja-arvoina tulisi käyttää arvoja 0,6 ja 1,5. Tämä rajoittaa pitoiän vaihtelua.

Standardin liitteinä on esitetty esimerkkejä kertoimien käytöstä. Standardit ohjeistavat, että ohjelmointivaiheessa saadut lähtötiedot ovat kerroinmenetelmää määrittäviä.

Komponenttien käytönaikainen uusiminen

Komponenttien käytönaikaiset uusimiskerrat tulee arvioida rakennuksen käyttöiän ja komponentin pitoiän välisen suhteen mukaisesti siten, että:

- tuotetta, jonka pitoikä ylittää rakennuksen käyttöiän, ei uusita
- rakennusteknisten tuotteiden osalta uusimissykli voidaan määrittää arvioidun käyttöiän ja pitoiän välistä suhdetta hitaammaksi sillä huonokuntoinen yksittäinen rakennusosa ei suoraan tarkoita toiminnalle aiheutuvaa haittaa. Esimerkiksi 25 vuotta kestävä julkisivuratkaisu 80 vuoden käyttöiän rakennuksessa $((80 \text{ v} / 25 \text{ v}) - 1 = 2,2)$ 2,2 uusimiskertaa voidaan arvioida huomioida kahtena uusimiskertana, sillä julkisivuratkaisun uusiminen ei todennäköisesti kannata siinä vaiheessa kun käyttöikä on ainoastaan 5 vuotta jäljellä.
- teknisten tuotteiden osalta uusimissykli tulee arvioida pyöristettynä ylöspäin, sillä tekniset järjestelmät määritetään toiminnan kannalta kriittisinä. Esimerkiksi 30 vuoden kestoinen lämmönjakojärjestelmä on 100 vuoden käyttöiällä arvioida huomioitava kolmesti uusittavana (uusitaan 30, 60 ja 90 vuoden käytön jälkeen) järjestelmän toimimattomuuden aiheuttaman toiminnallisen haitan vuoksi. (ISO 15868-3)

Käytönaikaisen energiankulutuksen laskentatapa

Kuten mainittiin kohdassa 3.2.3. on standardissa SFS-EN 13790 esitetty energianluokitukseen perustuvat energiankulutuksen laskentatavat. Kansalliset määräykset kuitenkin poikkeavat hie-
man toisistaan, joten energiankulutus arvioidaan tämän työn osana EN 13790 standardiin perus-
tuvan Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaisesti. Siinä määritetään seuraavat
tekijät energiankulutuksen lähtötiedoiksi:

- rakennusosien pinta-alat
- rakennusosien lämmönläpäisykertoimet
- ilmanvaihdon ilmavirrat
- ilmanvaihtojärjestelmien käyntiajat
- ilmanvaihtokoneiden lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde

Edellä mainittujen tietojen määrittämiseksi tarvitaan lähtötietoina edelleen

- sisä- ja ulkoilman lämpötila
- rakennusten kerrosten lukumäärä

Veden lämmityksen energian laskentaa varten:

- lämpimän käyttöveden kulutus

Laitteiden ja valaistuksen sähkönkulutuksen arviointia varten:

- rakennustyyppi
- valaistavan tilan kokonaissähköteho huonepinta-alaa kohti
- valaistavan tilan huonepinta-ala
- valaistuksen käyttöaika

Lämpökuormien laskentaa varten:

- rakennuksessa olevien henkilöiden lukumäärä
- Valaistuksen ja kuluttajalaitteiden sähköenergian kulutus
- Ikkunoiden pinta-alat ilmansuunnittain sekä ikkunoiden auringon säteilyn läpäisykerroin
- lämpimän käyttöveden kierron ja varastoinnin häviöt

Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutuksen laskentaa varten:

- ilmanvaihtokoneiden sähkötehot tai SFP-luvut
- ilmanvaihtokoneiden ilmavirrat

Jäähdytysjärjestelmän energiankulutuksen laskentaa varten:

- ilmastointikoneen jäähdytyspatterin käyttämä vuotuinen jäähdytysenergia
- Huonelaitteiden käyttämä vuotuinen jäähdytysenergia

Lämmitystehon laskentaa varten:

- lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama
- lämmitysjärjestelmien hyötysuhteet (RakMK D5, 2012)

2.1.8 Rakennusosien funktionaalinen hyväksyntä

Rakennusosille ja järjestelmille asetetaan standardissa ISO 15686-1 suosituksia niiden käyttöönsä määrittämisessä. Rakennusosan käytettävyyden arvioinnissa tulee huomioida seuraavat tekijät:

- turvallisuus
- lain ja määräysten asettamat vaatimukset
- rakenteellinen toimintakyky
- suojauskyky ja tiiveys
- esteettisyys
- liikkuvien osien kulutus

Mallinnuksessa sovelletaan lisäksi taloudellisuuden osalta seuraavia:

- hyväksyttävät kunnossapitokulut
- käyttökulut
- varaosien saatavuus kohtuullisilla kustannuksilla. (EN 15686-1)

2.1.9 Ympäristövaikutusten kohdistaminen

Yhteisten ympäristökuormien kohdistamisessa on standardissa ISO 14044 määritetty, että ympäristövaikutukset tulisi aina kohdistaa aiheuttamisperiaatteen mukaisesti, mutta mikäli tämä ei ole mahdollista voidaan ympäristövaikutukset kohdistaa monelle prosessille tai tuotejärjestelmälle allokoimalla ympäristövaikutukset jonkin mittarin mukaisesti.

Allokoinnilla tarkoitetaan prosessin tai tuotejärjestelmän syöte- ja päästö-/jätevirtojen jakamista tutkittavan tuotejärjestelmän ja yhden tai useamman muun tuotejärjestelmän välillä. (ISO 14044:2006, s. 16)

Standardeissa on määritetty kohdistamisen määräytymiseksi allokointikerroin (ISO 14044:2006, s. 16). Allokointikerroin on luku, joka kuvastaa tuotteelle kohdentuvia syötteitä. Allokointikerroin voi olla osuus kokonaispinta-alasta tai toiminnallisesta yksiköstä johdettava allokointiperiaate.

2.1.10 Tulosten raportointi ja kommunikointi

Arvioinnin raportti on systemaattinen ja kattava yhteenveto kommunikointia tukevista arviointituloksista (EN 15978). Kommunikoinnilla tarkoitetaan tässä yhteydessä kaikkea arvioinnin tulosten esittelyä kolmansille osapuolille. Tämä tarkoittaa, että tulosten esitystapa on oltava johdonmukaista ja riittävää tulosten tulkitsemisen osalta.

Raportin tulee sisältää kaikki oleellinen informaatio kommunikointiin vaikuttavista tuloksista. (EN 15978)

Raportoinnin ja kommunikoinnin tulee olla täsmällistä, todennettavissa, asiaankuuluvaa eikä se saa olla harhaanjohtavaa. (EN 15978)

Arvioinnin tulokset tulee jakaa kahteen pääryhmään:

- ympäristövaikutukset ja näkökulmat liittyen rakennukseen ja sen ympäristöön (tonttiin).
- ympäristövaikutukset ja näkökulmat liittyen rakennuksen käyttöön

Ja ensimmäinen näistä edelleen seuraaviin alaryhmiin:

- tulokset suunnittelusta ja tuotteiden valmistuksesta ennen rakentamisen aloittamista
- rakentamisvaiheen, eli rakennusprosessien aloituksen ja luovutuksen välisen ajan, tulokset
- käytönaikaiset, pois lukien käytöstä aiheutuvat (jotka käsitellään toisessa pääryhmässä), tulokset
- rakennuksen käytöstä poistamisen tulokset (EN 15978)

Tulosten esitystavasta on esitetty ohje standardin EN 15978 liitteenä.

2.1.11 Standardien rajaukset ja arvioinnin tarkkuustaso

Standardeissa pyritään noudattamaan samaa ajattelua kuin kirjanpidon ns. varovaisuusperiaatetta, jolloin epävarmoja ulkoisia tekijöitä tai potentiaalisia hyötyjä ei voida huomioida laskelmien tuloksissa ympäristövaikutuksia vähentävinä vaan ne esitetään erikseen (informaatiomoduli D). Näitä ovat esimerkiksi rakennuksen purkamisen yhteydessä muodostuvan purkujätteen mahdollinen uudelleen hyödyntäminen tai rakennuksessa käytön aikana tuotettu ylijäämäenergia (informaatiomoduli B6).

Tuloksien arvioinnissa on kuitenkin huomioitava, että jo rakennustuotteiden ympäristöselosteiden lähtötietoina toimivien kasvihuonekaasupäästökertoimet sisältävät 15 % virhemarginaalin

(IPCC, 2006). Tämä tarkoittaa, että näihin lähtötietoihin perustuvaa tavoitteen asettamisen ta-soakaan ei voi tulkita absoluuttisena arvona vaan ohjaavana tuloksena.

Standardiperheessä sallitaan pienten poikkeamien huomioimatta jättäminen arvioinnissa. EN 15804 määrittää, että ympäristövaikutukset jotka jäävät alle 1 % kokonaistuloksesta eivät ole pakollisia sisällyttää arvioon. Laskentamallin laadinnassa pyritään kuitenkin esittämän mallin periaatteet niin kattavasti, että niitä voidaan noudattaa myös mallia laajennettaessa sekä hiilijalanjäljen tiedon että muiden ympäristövaikutusten huomioimiseksi.

2.2 Rakennusten ympäristövaikutusarvioinnin tutkimus ja työkalut

Standardit määrittävät rakennuksen ympäristövaikutusten arvioinnin vähittäisvaatimukset. Ne eivät kuitenkaan ota kantaa tai ohjeista miksi näin tulisi toimia eikä mitkä yksittäiset tekijät ovat merkityksellisiä. Tämä johtuu osin siitä, että standardien vaatimukset huomioivat osan tutkimuksissa selvitetystä oleellisista asioista sekä osin siitä, että niiden tarkoitus ei ole ohjata tutkimusta muutoin kuin määrittämällä järjestelmän rajat. Ympäristövaikutusten arviointityökalujen muodostaminen käytännön haasteineen jätetään tietoisesti tutkiville yrityksille ja yhteisöille ratkottavaksi. Seuraavaksi esitetään joitakin tutkimuksissa esitettyjä suosituksia ja tavoitteita rakennusten ympäristövaikutusten arviointimallille.

Yhteys ympäristövaikutusten ja kustannustekijöiden välillä on muodostettava, jotta ympäristövaikutusten hinnoittelu voidaan kohdistaa tuotteille ja palveluille (Buyle et al. 2013). Laskentamalli luo tämän yhteyden sisältäen sekä suorat että epäsuorat energiavirrat.

Julkaistun rakennusten ympäristövaikutusten tutkimuksen painopisteet ovat eri rakennusmateriaalien tai suunnitteluratkaisuvaihtoehtojen vertailuissa, ei kokonaisuuksien tarkastelussa (Cabeza et al. 2013). Tämän työn tavoite on esittää periaatteet tavoitteiden asettamiselle kokonaisuuksien arviointia varten toiminnallisten yksiköiden kautta, ei vertailla yksittäisiä rakennusmateriaaleja. Rakennus on kokonaisuus ja ainoastaan yhden rakennuksen osan tutkiminen voi johtaa tuloksiin, jotka eivät huomioi vaikutuksia rakennuksen osan ulkopuolella, jolloin niiden tulosten perusteella voidaan tehdä vääriä johtopäätöksiä.

Case-tutkimusten osana tehtävät päätökset liittyen mm. toiminnalliseen yksikköön ja systeemin rajaukseen vaikuttavat lopputulokseen (Cabeza et al. 2013), mikä tarkoittaa, että tutkimusten tulokset eivät ole vertailukelpoisia tutkitun osa-alueen ulkopuolella.

Yhteys ympäristövaikutusten ja kustannustekijöiden välillä on muodostettava, jotta ympäristövaikutusten hinnoittelu voidaan kohdistaa tuotteille ja palveluille (Buyle et al. 2013). Laskentamallin periaatteet luovat ympäristövaikutuksille saman yhteyden mitä tavoitehintamenettely on luonut kustannuksien osalta toimintoihin ja palveluihin. Tämän myötä sekä ympäristövaikutukset että kustannukset voidaan kohdistaa palveluihin päätöksenteon tukemiseksi ja päätöksentekijöiden sitouttamiseksi.

2.2.1 Rakennusten erityispiirteet elinkaariarvioinnissa

Rakennustuotteet eroavat tavallisista käyttötavaroista elinkaarianalyysin näkökulmasta monelta osin. Rakennustuotteilla on käyttötavaroita huomattavasti pidempi elinikä ja käytönaikaiset päästöt muodostavat suuren osan materiaalien kokonaispäästöistä. Osa rakennustuotteista, kuten vaipan materiaalien lämpötekniset ominaisuudet, vaikuttavat myös koko rakennuksen energiankulutukseen, jolloin näiden välille tulisi määritellä menettelytapoja, jotta myöhemmin saavutettava hyöty voidaan huomioida materiaalien hiilijalanjäljen arvioinnissa. (Häkkinen et al. 1997)

Aikaisemmin tutkimukset ovat pääosin käsitelleet yksittäisten rakennustuotteiden suljettuja elinkaariarvioita, joissa niiden vaikutusta rakennukseen ei ole huomioitu. Rakennuksen ominaisuudet muodostuvat rakennusosien ominaisuuksien summasta, mutta myös suunnitteluratkaisista (rakennusosien yhteisvaikutuksesta) sekä hankekohtaisista päätöksistä. Yhdistäessä rakennusosakohtainen tieto ja rakennuksen muodostumisperiaatteet saadaan kokonaisuus, joka on riippuvuussuhteiltaan yhtä tuotetta merkittävästi monimuotoisempi. Monimuotoisen järjestelmän riippuvuussuhteiden vaikutusten määrittäminen on erityisen haastavaa. Tämä työ ei pysty selvittämään kaikkia riippuvuussuhteita, mutta se pyrkii kuitenkin huomioimaan myös tuntemattomien riippuvuussuhteiden vaikutuksen. Tuntemattomien riippuvuussuhteiden arvioimisesta kerrotaan enemmän seuraavassa luvussa osana tavoitehintamenettelyn periaatteita.

Elinkaaren ympäristövaikutusten arvioinnin menetelmät ovat alun perin laadittu yksittäisen tuotteen, kuten kertakäyttöisen juomapullon, elinkaaren arviointia varten. Näiden tuotteiden valmistus on yleensä selkeästi rajattu järjestelmä, jossa on suoraviivainen teollisuusprosessi sekä selkeästi mitattava prosessiin tulos yksikkö (X kpl juomapulloja valmistettu ajassa Y). Rakennushankkeet eroavat monelta osin näistä standardisoiduista teollisuuden prosesseista, jolloin samojen periaatteiden soveltaminen rakennushankkeisiin aiheuttaa monia kysymyksiä. Tutkimuksien laatijat soveltavat näissä kysymyksissä eri periaatteita ja eri oletuksia. Tästä johtuen satojen eri rakennuksiin liittyvien ympäristövaikutustutkimusten tuloksia vertailleen Cabeza et al. (2013) mainitsevat tutkimustulosten vertailukelpoisuuden ongelmina seuraavat:

- arvioinnin laajuudet poikkeavat merkittävästi toisistaan, jolloin tutkimustulosten vertailu on vaikeaa tai mahdotonta.
- ainoastaan muutama tutkimus tuo esille käyttöiän muutosten vaikutukset tuloksissaan.
- toiminnallista yksikköä ei tuoda esille kaikissa tutkimuksissa. Yleisesti on rakennustasolla suoritetuissa tutkimuksissa jätetty toiminnallinen yksikkö mainitsematta.

Tästä voi päätellä, että sadat tutkimukset, joihin Cabeza et al, (2013) viittaavat, eivät ole keskenään vertailukelpoisia. Tällöin niissä saavutettua tietoa ei käytännössä voida hyödyntää yleisellä tasolla, esim. vertailukohtien määrittämiseksi tai eroavaisuuksien havaitsemiseksi. Eurooppa-

laisella tasolla tämä on pyritty ratkaisemaan kehittämällä standardiryhmä rakennusten ympäristövaikutusten arvioinnin periaatteiden määrittämistä varten. Standardien määritykset eivät vastaa, eikä niiden tarkoitus olekaan vastata, kaikkiin rakennusten ympäristövaikutusten arviointiin liittyviin kysymyksiin. Tämän työn tarkoitus on ensinnäkin selvittää onko hiilijalanjäljen arviointimalli mahdollista laatia ohjelmointivaiheen tuloksiin perustuen ja toiseksi, mitkä ovat ne periaatteet ja ohjeet, joiden mukaan tämä arviointimalli tulisi laatia.

Standardit ottavat vertailukelpoisuuden ongelmaan kantaa toiminnallisen yksikön määrittelemiseksi (kts. luku 2.2), jolloin ainakin samankaltaisten tutkimusten vertailu olisi mahdollista. Tässä työssä pyritään noudattamaan standardien periaatteita ja tuomaan esille näitä harvoin muissa tutkimuksissa esitettyjä tekijöitä lähtötietojen muodossa. Näin keskinäisten erojen vaikutukset voidaan eliminoida ja tasavertainen vertailu on mahdollista, onko se sitten toiminnallisen yksikön tai pinta-alan perusteella. Tavoitteena on, että kaikkien hankkeiden välillä olisi mahdollista suorittaa:

- yleisellä tasolla ympäristövaikutusten vertailua hanketyypistä riippumatta ja
- saman toimialan sisällä vertailla tavoitearvoja toiminnan tai tuotetun palvelun yksiköin.

Ideoina nämä eivät ole uusia, sillä Erlandsson ja Borg ovat jo 2003 suositelleet käytettäväksi rakennuksessa tuotettuja palveluita tulosten vertailun perusteena. Ongelmana onkin ollut tulosten muodostamisen suuri työmäärä, jolloin rakennuskohtaiset tulokset ovat usein tehty ainoastaan yhdellä tai kahdella muuttujalla. Työn tarkoitus on laatia mallin periaatteet siten, että mallin käyttäjä pystyy helposti laatimaan rinnakkaisia laskelmia, jolloin useiden laskentatulosten laadinta ei ole yksittäisen tuloksen laskentaa työläämpi. Tällöin voidaan vastata Cabeza et. al (2013) esittämiin ongelmiin laatimalla vertailulaskelmia esimerkiksi vertailtavan rakennuksen käyttöiällä vaikkakin suunniteltu käyttöikä poikkeaisi tästä.

Rakennushankkeen ympäristötehokkaan tarkastelun kohteena on oltava toimiva kokonaisuus, joka sisältää tuotteen valmistuksen, käytön sekä kierrätyksen lisäksi myös suunnitteluratkaisujen saavuttama ekologinen hyöty. Muodostamalla laskentamalli, joka pystyy huomioimaan rakennusosien ympäristövaikutusten summan sekä rakennusosien valinnan vaikutus käytönäikäisiin ympäristövaikutuksiin, voidaan selvittää hankkeen todellinen ympäristövaikutus suhteessa asiakkaan asettamiin tila- ja käyttövaatimuksiin. Vertaamalla hankkeen hiilijalanjälkiarviota vastaaviin rakennushankkeisiin, voidaan myös saavutettu käytönaikainen hyöty selvittää. Ainoastaan tämän tyyppinen kokonaisvaltainen rakennushankkeen tarkastelu voi johtaa energiatehokkaampaan rakennuskantaan.

2.2.2 Ympäristövaikutusten arviointimallille kirjallisuudessa esitetyt suositukset

Cabeza et al. (2013) ovat vertailleet satoja rakennuksiin liittyviä ympäristövaikutusten arviointitutkimuksia ja päätyneet siihen, että seuraavat rakennushankkeiden erityispiirteet ovat tulosten kannalta merkityksellisiä:

- Rakennuspaikkakohtaiset tekijät, kuten maaperäolosuhteet ja rakennukselle asetettavat viranomaisvaatimukset (esimerkiksi kaava-vaatimukset).
- Suunnittelumallin monimuotoisuus tai yksinkertaisuus.
- Skenaarioiden epävarmuus, kuten käytönaikaisten kuormien arvioiminen.
- Sisäilmaston toimivuus ja sille asetettavat vaatimukset.
- Kierrätetyn materiaalin datan sisällyttäminen arvioon.

2.2.3 Käytössä olevia ympäristövaikutusten arviointityökaluja

Rakennuksen elinkaaren ympäristöarviointityökaluja

Markkinoilla on saatavilla monia rakennusten elinkaaren ympäristövaikutusten arviointityökaluja, mm. VTT:n ja Pöyryn yhteistyössä kehittämä ILMARI, Integrated Material Profile and Costing Tool (lyh. IMPACT) ja GaBi Software. IMPACT-työkalun on kehittänyt mm. brittiläinen Building Research Establishment Group (BRE Group Ltd, lyh. BRE), joka on myös kehittänyt BREEAM ympäristösertifiointimenetelmän. GaBi Software-ohjelmiston on kehittänyt saksalainen konsulttiyritys PE International. Tässä esitetään lyhyesti näiden mallien toimintaa.

IMPACT-työkalu ei sisällä mallinnusta vaan sen lähtötiedoiksi tarvitaan suunnitelmasta (esim. tietomallista) muodostuvat rakennusosat ja -määrät. Arvioinnin laatimiseksi on siis ensin muodostettava mahdollisimman kattava suunnittelumalli. Tämä tarkoittaa, että IMPACT-mallin avulla ei ole mahdollista asettaa suunnittelulle tavoitteita, vaan sen avulla voidaan todeta suunnittelutyön lopputuloksen hiilijalanjälki. Tällöin laskennan tuottaman informaation vaikutus suunnitteluun voidaan olettaa vähäiseksi muutosten aiheuttamien lisäkustannusten ja viiveiden vuoksi. Malli tuottaa kuitenkin ympäristövaikutusten lisäksi rakennuksen elinkaarikustannuksista arvion (Life Cycle Costing, LCC), mikä tuottaa arvioinnille lisäarvoa. (IMPACT)

GaBi-työkalu perustuu rakennuksen kaikkien prosessien arvioimiseen, jolloin tuotteet ja lähtötiedot on kartoitettava kerättävä tutkimuskohtaisesti erikseen, esimerkiksi konsultin toimesta. Lähtötiedon taso vastaa IMPACT-mallia, eli laskennassa tarvittavat lähtötiedot perustuvat suunnitelmiin. (GaBi)

Ruuska et al. (2013) on hyödyntänyt esimerkkihankkeen ympäristövaikutusten arvioinnissa käytetty Envest 2 ohjelmaa, joka on IMPACT-ohjelman. Esimerkkilaskelmissa ei ole esitetty ohjelman toimintaa, joten sen oletetaan noudattavan IMPACT-ohjelman toteutussuunnittelu-pohjaista laskentaa.

VTT ja Pöyry ovat kehittäneet rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen arviointia varten ILMARI-palvelun, joka perustuu tietomallista tai manuaalisesti kerättyihin suunnitteluratkaisuihin (rakennetyypit ja määrät). Tuloste sisältää rakentamisvaiheen kuljetuksen sekä rakennusosien käytönaikaisen uusimisen. Tulokset esitetään Talo 2000-hankintanimikkeistön mukaisesti. Toiminnallisina yksikköinä käytetään rakennuksen pinta-alaa tai tilavuutta. (ILMARI)

Kirjallisuustutkimuksen tuloksena ei löytynyt rakennusten elinkaaren ympäristövaikutusten arviointityökaluja, jotka pystyisivät tuottamaan laskelmia muuten kuin suunnitelmien avulla. Tarkastelussa ei huomioitu puhtaasti pinta-alapohjaisia työkaluja, sillä niiden tarkkuus ei vastaa standardien asettamia tavoitteita. Julkaistuilla työkaluilla ei siis ole mahdollista asettaa suunnittelulle tavoitteita, vaan niiden avulla voidaan todeta suunnittelutyön lopputuloksen hiilijalanjälki. Tällöin laskennan tuottaman informaation vaikutus suunnitteluun voidaan olettaa vähäiseksi muutosten aiheuttamien lisäkustannusten ja viiveiden vuoksi. Ympäristövaikutusten arviointityökaluissa tulosten esittäminen tehtiin kokonaisuutena, jolloin ympäristövaikutusten kohdentaminen aiheuttajille ei selvinnyt.

Yksittäisen elinkaarenvaiheen tai osa-alueen työkalut ja menetelmät

Rakennuksen elinkaaren yksittäisen vaiheen ympäristövaikutusten arviointityökaluja on lukuisia. Tässä käsitellään ainoastaan ne työkalut, joita on mahdollista hyödyntää tämän työn arviointimallissa.

Käytöstä poistamisen arviointia on tehty tutkimuksissa (Junnila ja Saari, 1998; Saari, 2000; Junnila et al. 2006) mutta niissä ei ole esitetty laskennassa käytettyjä oletuksia tai laskennassa hyödynnettyjä laskentamenetelmiä. Junnila ja Saari (1998) mainitsevat kuitenkin, että laskelmassa on huomioitu purkamisessa käytetyn energian ympäristövaikutus ja purettavan materiaalin kuljetuksesta aiheutuva ympäristövaikutus.

Ruuska et al. (2013) on tutkinut Suomen rakennusalan jätteiden ympäristövaikutuksia. Ympäristöministeriön julkaisemassa raportti (Ruuska, et al. 2013) käsittelee rakentamisen kasvihuonekaasupäästöt ja sen yhtenä osana on rakentamisen jätteet ja niiden hyödyntäminen. Raportin mukaan talonrakentamisen tuottama jätemäärä on noin 2 miljoona tonnia. Nämä lajitellaan viiteen pääjätevirtaan, jotka ovat puu, metalli, betoni ja mineraalit, sekalainen jäte ja käsittelemätön jäte. Kansallisella tasolla jätteen jakautuminen näiden viiden pääjätevirran välillä on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2 Suomen talonrakennushankkeiden jätteen koostumus vuodelta 2012 (Ruuska et al. 2013).

Jätelaji	Koostumus (paino-%)	Määrä tonnia/vuosi	%-osuus raken- nusjätteestä	Käsittely
puupohjainen jäte	puu (99 %), metallit (1 %)	520 000	26	haketus
metallijäte	rauta (98 %), kupari/alumiini (1 %), rejekti (1 %)	200 000	10	revintä, magneettierotin
mineraali- ja kiviaines	kiviaines (98 %), rauta (1,5 %), rejekti (0,5 %)	500 000	25	murskaus, magneettierotin, seulonta
sekalainen jäte	kiviaines (2,5 %), metalli (9,5 %), energiajäte (43 %), puu (5 %), hienojakoinen aines (30 %), rejekti (0,5 %)	400 000	20	esilajittelu, revintä, magneettierotin, seulonta
käsittämätön jäte	yllä mainittujen lisäksi kaikkea rakennuksilla käytettävää materiaalia	380 000	19	lajitetaan kaatopaikalle
Yhteensä		2 000 000	100 %	

Taulukossa 2 esitetyt jätemäärät sisältävät sekä purettujen että rakennettavien rakennusten jätemäärät.

Jätteen loppukäsittelyssä voidaan hyödyntää Ruuska et al. (2013, s. 22) esittämiä arvioita jätelajikohtaisista ympäristövaikutuksista. Nämä arviot on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3 Jätelajikohtaiset ympäristövaikutukset (sov. Ruuska, et al. 2013).

Jätelaji	Arvioitu hiilijalanjäljen ympäristövaikutus [kg CO ₂ -ekv./tonnia jätettä]
Puu	5
Metalli	10
Betoni	1
Sekalainen jäte	15

Lawrence Berkeleyn kansallisessa laboratoriossa on kehitetty rakennusten elinkaariarvioinnin työkalu B-PATH. Tutkimusprojektin tuloksena muodostunut työkalu on, toisin kuin kaupalliset työkalut, julkaistu projektin verkkosivuilla (<http://bpath.lbl.gov/>) ja on kaikkien käytettävissä. Työkalun painopiste on runkomateriaaliratkaisujen vertailussa, mutta työkalu sisältää myös vaiheet käyttö ja käytöstä poistaminen. Käytöstä poistamisen vaiheen laskelmat perustuu käytettävään kuljetusajoneuvoon, rakennusmateriaalien massoihin sekä puretun materiaalin kuljetusmatkoihin. (B-PATH)

Saksalainen rautatien hallintaan keskittyvä konsulttiyritys (RMCon), energian ja ympäristövaikutusten tutkimuksen instituutti (ifeu) ja Ekoinstituutti Berliinissä ovat yhdessä useiden rahityritysten kanssa kehittäneet EcoTransIT-työkalun rahtiliikenteen ympäristövaikutusten arviointiin. Työkalu noudattaa standardin SFS-EN 16258:2013 kuljetusten ympäristövaikutusten laskentamenetelmiä ja sen avulla voidaan arvioida kuljetusten aiheuttamat ympäristövaikutukset hiilijalanjäljen muodossa eri rahtitavoilla ja -yhdistelmillä. (EcoTransIT)

2.2.4 Epävarmuus ja tarkkuus tavoitteen asettamisessa

Standardiperheen vaatimuksia täyttäviä rakennuksen koko elinkaaren ympäristövaikutusten tutkimustuloksia ei ole vielä julkaistu ja siksi on tavoitteen asettamisen hyväksyttävästä epävarmuudesta tai tarkkuudesta rajallisesti tietoa. Kirjallisuudessa esitetyissä tutkimuksissa on esitetty tuloksia, joissa on huomioitu n. 50-100 rakenneosaa, jotka koostuvat n. 30-50 eri rakennusmateriaalista (mm. Junnila et al. 2006; Cabeza et al. 2013).

Tavoitteen asettamisen tarkkuutta arvioidessa on muistettava, että lähtötiedoissa sallitaan epävarmuutta. Esimerkiksi valmistajien ilmoittamien tuotteiden teknisen käyttöiän määrittämisessä sallitaan kymmenien prosenttien hajonta (EN 15804, s. 74).

Cabeza et al. (2013) ovat vertailleet satoja rakennuksiin liittyviä ympäristövaikutusten arviointitutkimuksia ja päätyneet siihen, että seuraavat rakennushankkeiden erityispiirteet ovat tulosten kannalta merkityksellisiä:

- Rakennuspaikkakohtaiset tekijät, kuten maaperäolosuhteet ja rakennukselle asetettavat viranomaisvaatimukset (esimerkiksi kaava-vaatimukset).
- Suunnittelumallin monimuotoisuus tai yksinkertaisuus.
- Skenaarioiden epävarmuus, kuten käytönaikaisten kuormien arvioiminen.
- Sisäilmaston toimivuus ja sille asetettavat vaatimukset.
- Kierrätetyn materiaalin datan sisällyttäminen arvioon.

Tämän perusteella voi tehdä johtopäätöksen, että ympäristövaikutusten arviointi ei ole absoluuttista tiedettä vaan tavoitteena on muodostaa tapa tulkita suhteellisia vaikutuksia eri päätös- vaihtoehtojen välillä.

2.3 Yhteenveto rakennusten ympäristövaikutusten arvioinnista

Seuraavaksi esitetään yhteenvetona ne lähtötietotarpeet joita rakennusten ympäristövaikutusten arvioinnissa tarvitaan. Tämän yhteenvetoon tarkoitus on palauttaa lukijalle mieleen mihin tekijöihin rakennusten ympäristövaikutusten arviointi perustuu. Yhteenveto ei ole täysin kattava, vaan vaiheiden sisältöön liittyvä tarkastelu tulisi tehdä kyseisestä standardista. Yhteenvedossa ei ole myöskään erikseen mainittu ympäristödataa, mutta se sisältyy arvioinnissa tarvittaviin lähtötietoihin.

Tässä esitettyihin lähtötietoihin on tämän työn puitteissa esitettävä periaatteet työn tavoitteen toteutumiseksi.

2.3.1 Rakennushankkeen hiilijalanjäljen laskennan lähtötietotarpeet

Rakentamisvaiheen ympäristövaikutuksien arvioinnissa on oltava tiedossa vähintään seuraavat tiedot:

- Rakennuksen rakennusosat ja niiden määrät
- Rakennusmateriaalien kuljetusmatka tehtaan portilta ja kuljettamiseen käytetty ajoneuvotyyppi
- Työmaavaiheen energian- ja vedenkulutus
- Työmaalla kertyvä jäte ja sen jätteenkäsittely

- Rakentamisvaiheen kesto

Rakennusmateriaalien hävikin valmistus ja kuljetus, asennuksessa tarvittavat asennustuotteet ja työmaalla tehtävät aputyöt sisältyvät edellä mainittuihin kohtiin.

2.3.2 Käytönaikaisen laskennan lähtötietotarpeet

Standardit eivät aseta samantasoisia ohjeita käytönaikaisten ympäristövaikutusten arvioinnille, erityisesti energian ja veden kulutuksen osalta ei määritetä laskentaohjeita. Rakennusmateriaalien uusimisen ja korjaamiseen esitetään sen sijaan ohjeita. Tämän perusteella todetaan, että rakennuksen käyttövaiheen ympäristövaikutusten arvioinnissa on oltava tiedossa vähintään seuraavat asiat:

- Rakennuksen käyttöikä
- Rakennustuotteiden arvioitu käyttöikä
- Rakennuksen energian kulutus, mikä voidaan laskea seuraavien tekijöiden perustella
 - o Rakennusosien pinta-alat
 - o Rakennusosien lämmönläpäisykertoimet
 - o Ilmanvaihdon ilmavirrat
 - o Ilmanvaihtojärjestelmien käyntiajat
 - o Ilmanvaihtokoneiden lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde
 - o Sisä- ja ulkoilman lämpötila
 - o Rakennusten kerrosten lukumäärä
 - o Lämpimän käyttöveden kulutus
 - o Valaistavan tilan kokonaissähköteho huonepinta-alaa kohti
 - o Valaistavan tilan huonepinta-ala
 - o Valaistuksen käyttöaika
 - o Rakennuksessa olevien henkilöiden lukumäärä
 - o Valaistuksen ja kuluttajalaitteiden sähköenergian kulutus

- Ikkunoiden pinta-alat ilmansuunnittain sekä ikkunoiden auringon säteilyn läpäisykerroin
 - Lämpimän käyttöveden kierron ja varastoinnin häviöt
 - Ilmanvaihtokoneiden sähkötehot tai sfp-luvut
 - Ilmanvaihtokoneiden ilmavirrat
 - Ilmastointikoneen jäähdytyspatterin käyttämä vuotuinen jäähdytysenergia
 - Huonelaitteiden käyttämä vuotuinen jäähdytysenergia
 - Lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama
 - Lämmitysjärjestelmien hyötysuhteet
- Rakennuksen veden kulutus

2.3.3 Käytöstä poistamisen laskennan lähtötietotarpeet

Käytöstä poistamisen ympäristövaikutusten arvioinnissa on oltava tiedossa vähintään seuraavat asiat:

- Purettavien materiaalin massat
- Purettavien materiaalien kuljetus
- Purettavien materiaalin tarvittava jätekäsittely

3 Monimutkaisen päätöksentekoprosessin ohjausmekanismi

Rakennushankkeen päätöksenteko on monimutkainen prosessi, jossa tehdään samanaikaisesti useita toisiinsa määrittelemättömästi vaikuttavia päätöksiä.

Esimerkiksi työympäristön määrittäminen on sosiaalinen prosessi. Sosiaaliset prosessit ovat usein komplekseja, sillä ne ovat itseohjautuvia ja muokkautuvat uusien vaatimusten mukaan (Beer, 1966). Näitä ongelmia kutsutaan induktiivisiksi, sillä toisin kuin deduktiivisin ongelmiin niihin ei ole absoluuttista oikeaa ratkaisua. Induktiivisen ongelman ratkaisu ei ole oikein tai väärin, vaan ratkaisu arvioidaan hyvänä tai huonona (Pennanen 2004, s. 26).

Toiminnallisen ympäristön suunnittelu voidaan tunnistaa induktiivisena ongelmana, joka voidaan ratkaista. Toiminnalle asetetaan samanaikaisesti monia tavoitteita, jotka voivat olla ristiriidassa. Tavoitteen toteutumisen vuoksi tarvitaan monimutkaisen prosessin ohjausmekanismi. Pennanen (2004) esittää kybernetiikan menetelmiä monimutkaisen järjestelmän ratkaisujen ja ohjauksen mekanismina osana strategista toimitilasuunnittelua.

Kybernetiikka tutkii monimutkaisten ja erityisesti oppivien tavoitehakuisten systeemien, kuten organisaatioita tai luonnossa esiintyviä systeemejä. Kybernetiikka on servomekanismin (palautekierron) ja informaatioteorian yhdistelmä. Kybernetiikka on osoittautunut käyttökelpoiseksi monimutkaisten systeemien ohjauksessa. (Pennanen 2004, s. 20)

Kybernetiikan periaatteiden avulla voidaan monimutkaiselle mallille etsiä hyväksyttäviä ratkaisuja optimaalisten ratkaisujen sijaan (Pennanen, 2004, s. 50). Kybernetiikan teorian mukaan voidaan monimuotoista järjestelmää ohjata syötteen ja palautekierron avulla. Tarkastaja (engl. controller) on ohjelma johon sisältyy agentti, joka muokkaa ohjattavaa mallia vaikuttamalla siihen syötteellä. Syöte vaikuttaa monimutkaiseen malliin ja antaa annetulle syötteelle tuloksen, mikä toimii mallin palautteena. Mallin palautetta seuraava tarkastaja havainnoi mallin reagointia eri syötteisiin ja oppii mallin toiminnasta. Tämä on iteratiivinen prosessi, jossa tarkastaja kerää mallin avulla palautetta ja hienosäätää tulostetta muuttamalla syötettä. Tarkastaja, palautekierto ja syöte muodostavat yhdessä monimutkaista mallia ohjaavan mekanismin. Mallin tulosta tutkimalla voidaan vertailla minkä mukaan malli kehittää itseään, eli jokainen palautekierto aiheuttaa joko positiivista tai negatiivista palautetta, minkä mukaan agentti täsmentää ohjelmaa. Agentti vertaa tulostetta asetettuun tavoitteeseen ja ohjaa syötteen ja palautekierron avulla tulosta lähemmäksi tavoitetta. (Pennanen, 2004)

Ohjauksen näkökulmasta tulisi päätöksentekijöiden saada jo päätöksentekohetkellä tieto päätöksiinsä liittyvästä tulevasta hiilijalanjäljestä. Silloin he voisivat joko hyväksyä tai hylätä päätökset välittömästi. Tämän hetken käytännöt siirtävät palautetiedon suunnitteluvaiheeseen, koska pääosa hiilijalanjäljen suuruuden laskennan menetelmistä perustuu suunnittelun tai rakenta-

misvaiheen informaatioon. Tässä työssä tarkastellaan sellaisen ohjausmallin rakennetta, mikä mahdollistaa rakennushankkeen päätöksentekijöiden vastaamaan aiheuttamastaan hiilijalanjäljestä.

4 Rakennushankkeen ympäristövaikutusten arvioinnin lähtötietojen muodostaminen ohjelmointivaiheessa

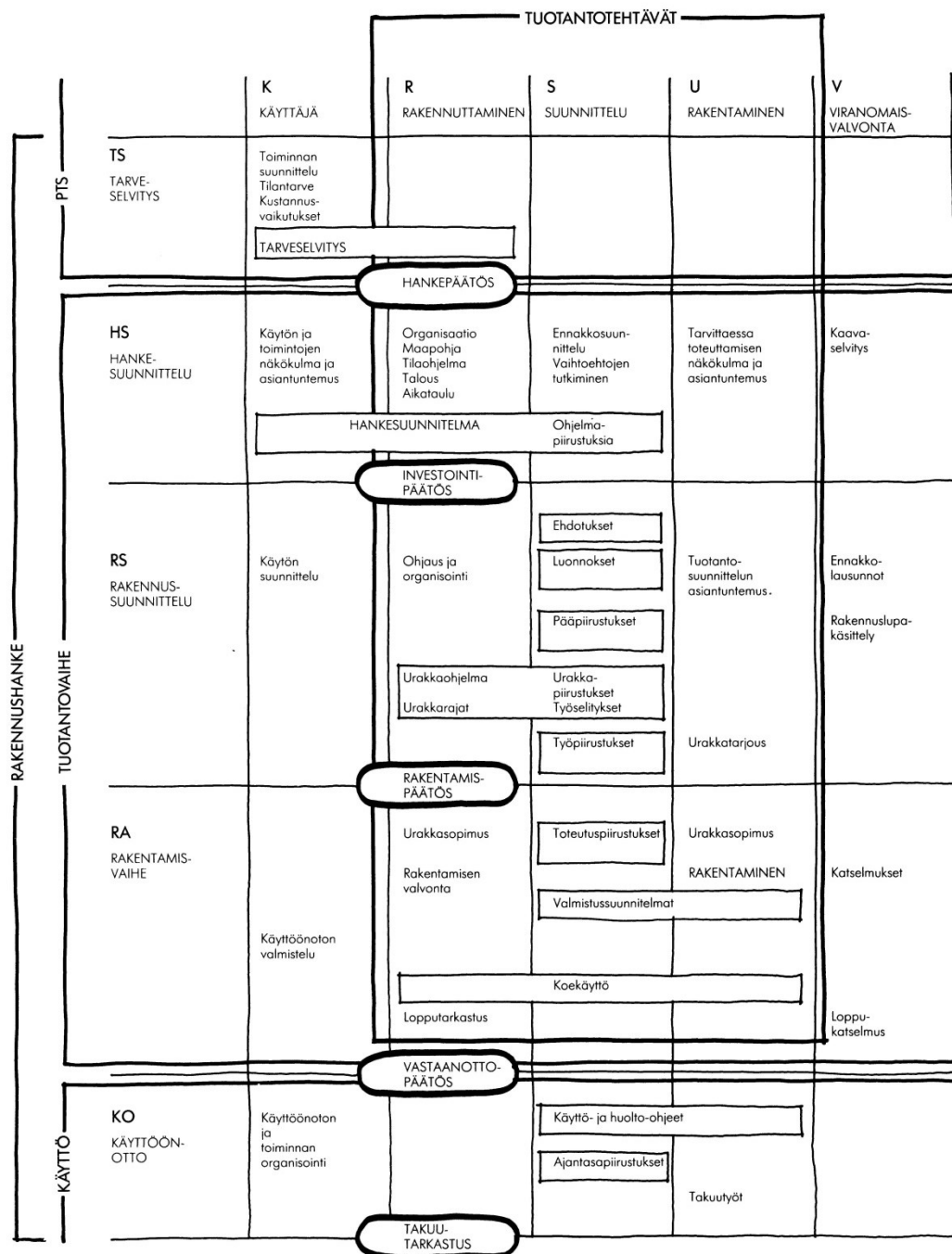
Standardiperheiden määrittämät laskentamenetelmät perustuvat siihen, että ympäristövaikutusten arvioinnissa on käytettävissä suunnitelmat, joista voidaan arvioida tai laskea rakennusosien määrät, rakennuksen laajuus ja muut edellisessä luvussa esitetyt arvioinnissa tarvittavat lähtötiedot. Ohjelmointivaiheessa ei kuitenkaan vielä ole käytössä suunnitelmia, joista näitä kaikkia tietoja saisi määritettyä (osan saa lähtötietojen perusteella, kuten rakennuspaikkaan ja käyttöön liittyvät tekijät, yms.). Mutta jos ohjelmointivaiheessa olevien tietojen perusteella saisi arvioida edellisen luvun yhteenvedossa mainitut lähtötiedot olisi rakennuksen ympäristövaikutusten arvioiminen mahdollista tehdä. Tämä tarkoittaa sitä, että ongelmana onkin ohjelmointivaiheen tietojen ja suunnitteluvaiheen tulosten välisen yhteyden muodostaminen. Tämän luvun tarkoitus on selvittää onko tällainen yhteys mahdollista muodostaa.

4.1 Rakennushankkeen ohjelmointivaihe ja sen tehtävät

Jotta lukija ymmärtäisi laskentamallin tavoitteen asettamisen ajatuksen hankkeen ohjauksessa, on hänen ensin hahmotettava talonrakennushankkeen kulku sekä mihin rakennushankkeen vaiheeseen tavoitehintamenettely ja tämä työ sijoittuvat. Siksi aloitamme talonrakennushankkeen vaiheiden yleisesittelyllä. Yleisesittely perustuu Suomen talonrakennushankkeisiin kehitettyihin ja niissä yleisesti käytössä oleviin periaatteisiin.

Rakennushanke on vaikeasti hallittava kokonaisuus, joka saattaa kestää hyvinkin pitkän ajan ja johon liittyy monia osapuolia. Rakennushanke voidaan jakaa sekä sisällöllisesti että ajallisesti eri vaiheisiin. Hankkeesta riippuen voidaan vaiheita painottaa vastaamaan hankkeen erikoispiirteitä. Rakennushankkeen vaiheita ovat tarveselvitys, hankesuunnittelu, rakennussuunnittelu, rakentaminen ja käyttöönotto. (RT 10-10387)

Talonrakennushankkeen vaiheet on esitetty kuvassa 4. Tavoitteen asettaminen ajoittuu talonrakennushankkeessa hankesuunnittelun vaiheeseen, jolloin hankepäätös on tehty ja informaation tuottamien investointipäätöstä varten on käynnissä.



Kuva 4 Talonrakennushankkeen kulku RT 10-10387 -ohjekortin mukaan (Rakennustietosäätiö).

Koska standardit eivät ole laadittu Suomen talonrakennushankkeisiin perustuen, niin niiden termit poikkeavat kuvassa 4 esitetyistä. Kestävän rakentamisen standardiperhe noudattaa kansainvälisesti käytössä olevia projektinhallinnan termejä. Termit ovat esitetty yhdysvaltalaisen projektinhallinnan kehitysinstituutin (engl. Project Management Institute, PMI) kehittämän projektinhallinnan viitekehyksen (Project Management Body of Knowledge) oppaassa (engl.

lyhenne Guide of PMBoK). Rakennushankkeita varten on laadittu rakentamisen projekteja varten samoja periaatteita soveltava rakentamisen lisäosa (engl. Construction Extension). Rakentamisen lisäosan mukaan pääosa rakennushankkeista voidaan nähdä viidessä vaiheessa. Jokainen vaihe voidaan käsitellä omana projektinaan, jossa jokainen prosessiryhmä toimii samalla tavoin kuin koko hankkeessa. Nämä vaiheet ovat konsepti, suunnittelu (ja kehitys), toteutussuunnittelu (engl. detailed design), rakentaminen sekä käyttöönotto ja luovutus. (PMI 2007, s. 14)

Kansainvälisten rakennushankkeen vaiheiden nimitykset vastaavat Suomessa käytettyjä nimityksiä seuraavasti: konseptivaihe sisältää tarveselvityksen, suunnitteluvaihe hankesuunnittelun ja toteutussuunnittelu suunnittelun (RT 10-10387; PMI 2007). Rakentaminen ja käyttöönotto vastaavat Suomessa käytössä olevia nimityksiä.

On tärkeää ymmärtää, että hanke- ja investointipäätökset voivat johtaa siihen, että päätetäänkin palata edelliseen vaiheeseen tai rakennushankkeesta päätetään luopua kokonaisuudessaan. Näin voisi teoriassa myös tapahtua rakentamis- ja vastaanottopäätöksen kohdalla, mutta tämä on rakennuttajan siinä vaiheessa vahvan hankkeeseen sitoutumisen kannalta hyvin epätodennäköistä. Esimerkiksi, mikäli investointipäätöksen teon yhteydessä saatavilla oleva informaatio näyttää siltä, että hankkeen toteutus asetettujen kustannus- tai laajuuspuitteiden sisällä on epätodennäköistä, niin voidaan palata tarveselvitysvaiheeseen täsmentämään hankkeelle asetettuja lähtötietoja. Tämä lisää päätöksenteon yhteydessä käytettävissä olevan informaation tärkeyttä, sillä jokainen päätös sitouttaa hankkeen sidosryhmiä ja sitoo kustannuksia.

Tarveselvitysvaiheessa selvitetään ja arvioidaan hankkeeseen ryhtymisen tarpeellisuutta, edellytyksiä ja mahdollisuuksia. Tulokset kootaan tarveselvitykseksi, joka määrittelee hankkeen perusolemuksen. Tarveselvityksen pohjalta tehdään hankesuunnittelupäätös.

Hankesuunnitteluvaiheessa selvitetään ja arvioidaan yksityiskohtaisesti hankkeen toteuttamistarpeet, toteuttamismahdollisuudet ja vaihtoehtoiset toteuttamistavat. Tulokset kootaan hankesuunnitelmaksi, jossa toteuttamistavalle ja lopputuotteelle asetetut laajuus- ja laatutavoitteet kiinnittävät hankkeen kustannustason ja aikataulun. Hankesuunnitelman pohjalta tehdään investointipäätös.

Tarveselvitys- ja hankesuunnitteluvaiheesta käytetään varsin usein vaiheiden limittymisestä yhteisnimitystä ohjelmointi. Ohjelmointivaiheen tehtävänä on määritellä lähtökohdat ja tarpeet tulevan toiminnan kannalta. Ohjelmointivaihe sisältää seuraavat tehtävät (tehtävän tulos on esitetty suluissa):

- toimintojen kuvaus (toimiala) ja toiminnan määrälliset tekijät (haluttu määrä esim. työpisteitä)
- laajuus (tilat ja niiden pinta-alat)

- tiloille asetettavat ominaisuusvaatimukset (korkeus, lämpötila, mahdolliset vesipisteet, pintarakenteiden laatu)
- tilan hankintatapa (korjaus, uudisrakennus) (Haahtela ja Kiiras, 2014, s. 27-33).

Tilaohjelmalla tarkoitetaan esitystä, jossa kuvataan hankkeeseen sisältyvät toimintayksiköiden toiminta- ja yhteyskaaviot sekä hyötyala- ja bruttoala-arviot. (RT 10-10387)

Hankeselvitysvaihe on siis se vaihe, jossa hankkeen tavoitteet asetetaan. Tämän myötä tulisi myös elinkaaritavoitteiden asettelu tehdä osana hankeselvitystä. Jotta ympäristötavoitteet rakennukselle voidaan asettaa, niin on tässä vaiheessa tavoitearvioinnissa tarvittavat syötteet oltava tiedossa. Siksi tämä työ pyrkii kehittämään mallin periaatteet siten, että ympäristötavoitteen asettamisessa hyödynnetään syötteinä niitä lähtötietoja, joita ohjelmointivaiheessa on käytettävissä.

Tässä työssä ei oteta kantaa mikä ohjaa tavoitteiden asettamiseen. Työn tarkoituksena on laatia laskentamalli, jonka avulla voidaan asettaa rakennukselle elinkaareen kohdistuvia ympäristötavoitteita ennen varsinaisen rakennussuunnittelun aloittamista. Tällöin voidaan arvioida ympäristötavoitteiden tarkoituksenmukaisuutta (esim. elinkaaren eri vaiheiden välisten ympäristövaikutusten suhteet) sekä vertailla jälkikäteen toteutunutta arvioihin onnistumisen mittarina.

4.2 Suunnittelun ja ohjelmointivaiheen tulosten välisen yhteyden muodostaminen

Luvussa 3.4 selvitettiin mitkä ovat ne tiedot, joita tarvitaan rakennusten elinkaaren ympäristövaikutusten arvioinnissa. Työn tavoitteen saavuttamiseen tulee näiden tulosten ja ohjelmointivaiheen tietojen välinen yhteys muodostaa. Tutkimusongelma on tällöin redusoitu käsittämään tämän yhteyden muodostamisen. Tutkimusongelmaa voidaanakin näiden tulosten perusteella täsmentää seuraavaksi:

Miten voidaan tuottaa suunnitteluvaiheen tulokset ohjelmointivaiheessa?

Tämän luvun tarkoitus on osoittaa, että ohjelmointivaiheen tulosten perusteella voidaan muodostaa yhteys suunnitteluvaiheen tuloksiin, eli mm. rakennusosiin ja niiden määriin.

4.2.1 Toimintakuvausten mallintaminen tiloiksi

Toimitilojen johtamisessa (engl. strategic workplace management) suurena ongelmana on ollut nopean palautteen puuttuminen tilojen ja taloudellisten tavoitteiden osalta. Eri osapuolet voivat edetä melko pitkälle sekä sitoutua tavoitteisiin, jotka ovat tavoittamattomissa. Taloudellinen palaute voi tulla tarjouksen tai kustannusarvion muodossa kuukausia tehtyjen päätösten jälkeen. Kun päätöksiä on tuhansia, ei päätöksentekijöitä voi pitää jälkikäteen vastuullisina tehdyistä päätöksistä tai sitouttaa heitä alkuperäisiin tavoitteisiin. Systemistä on annettu muodos-

tua liian monimutkainen. Johtamisen näkökulmasta on kyseessä tilanne, jossa päättäjillä on valta ilman vastuuta. (Pennanen, 2004, s. 73)

Ohjelmointivaiheessa noudatetaan luvussa 2 esitettyä monimutkaisen systeemin ohjausmekanismia, jossa tarkastaja, tarkastettava ja nopea palautekierto yhdessä mahdollistavat systeemin ohjauksen. Ohjelmointivaiheen ohjauksessa tarkastettavalla systeemillä tarkoitetaan suunnittelijoita, käyttäjiä ja päätöksentekijöitä. Ohjausmekanismin syötteenä toimivat ohjelmointivaiheen päätökset ja valinnat. Palautteen muoto on tavoitehintamenettelyssä kustannukset. (Pennanen, et al. 2011)

Tarvittavien tilojen määrittelyprosessia asiakas ei määritä tarvitsemansa tiloja ja pinta-aloja vaan hän kuvaa niitä toimintoja, joita hän tarvitsee. Strategic Workplace Planning Process (lyh. WOP), eli suomeksi strateginen toimitilasuunnittelu, muodostaa kuvattujen toimintojen vaatimat työympäristön dimensiot sekä listaa tarvittavat tilat. (Pennanen, 2004, s. 67)

WOP-työkalu avustaa käyttäjiä muodostamaan heidän määrittämälleen toiminnalleen nopealla palautesykllillä tilaohjelman. WOP-toimintatapaa ja työkalua on tarkemmin esitelty Ari Pennan väitöskirjassa (2004). Toimintatavan periaate on kuitenkin seuraava:

- Käyttäjät muodostavat toimintansa toimintakuvauksen, mikä perustuu johonkin toimialaan. Hankkeeseen sisältyviä toimialoja voi olla monia.
- Kaikille toimialoille on määritetty toiminnallinen ajuri. Varastoinnissa ajuri voi olla varastoitava yksikkö, esimerkiksi EUR-lava.
- WOP-malli mallintaa ne toiminnot, joita tarvitaan toiminnallisen ajurin toiminnan *tuki-toimintoina*. Esimerkiksi 600 henkilön toimistorakennukselle malli muodostaa toimistotilojen vaatimien sosiaali- ja teknisten tilojen lisäksi lounasravintolan.
- Toiminnot mallinnetaan sekä toimintoina että tapahtumina. Lopputuloksena saadaan toiminnalliset tilat käyttöasteineen. Toiminnallisilla tiloilla tarkoitetaan tiloja, joihin kohdistuu toiminnasta aiheutuvat ominaisuusvaatimukset.

WOP-työkalun palautesyklinä toimii toiminnan vaatima laajuus. WOP-mallinnus ei siis vielä sisällä suunnittelun tuloksina saatavia arvioita rakennusosista ja niiden määristä.

4.2.2 Tavoitehintamenettelyn mukainen rakennuksen virtuaalinen mallintaminen

WOP-työkalu ei vielä mahdollista suunnittelutulosten tuottamista. Luvun alussa esitetyn ongelman ratkaisemiseksi on lisäksi löydettävä keino, jolla saadaan toiminnalliset tilat muunnettua rakennusosiksi ja -järjestelmiksi.

Yhtenä ratkaisuna esitellään tähän tarkoitukseen kehitettyä kustannusten hallinnan työkalua, TAKU™-järjestelmää, joka pystyy tuottamaan virtuaalirakennuksen rakennusosat ja niiden määrät sekä muut rakennuksen ympäristövaikutusten arvioinnissa tarvittavat lähtötiedot toiminnallisten tilojen perusteella.

Virtuaalisuunnittelun logiikka

Tavoitehintamenettelyn periaatteiden mukaisesti on Haahtela-kehitys Oy laatinut Talonrakennuksen kustannustieto TAKU™-ohjelmiston. Ohjelmisto perustuu Yrjänä Haahtelan laatimaan ja Teknillisen Korkeakoulun rakentamistalouden laboratorion vuonna 1981 julkaisemaan raporttiin ”Talonrakennushankkeiden normaalihintamenettely”. Idea perustuu siihen, että päätöksentekijät saavat asettamiensa lähtötietojen ja tavoitteiden perusteella nopeaa palautetta päätösten kustannusvaikutuksista tavoitteellisen kustannushallintatyökalun avulla. (Pennanen et al. 2011)

TAKU™-ohjelmisto mallintaa edellä mainitulla tavalla yhdessä WOP-työkalun avulla rakennushankkeen tavoitehintalaskelman käyttäjän toiminnan perusteella. Mallinnusprosessin suuren automatisoinnin vuoksi tavoitehintalaskelman tulos toimii nopeana palautteena hankeselvitysvaiheessa, jolloin sekä käyttäjät että päättäjät vastaavat hankeselvityksen tuloksista ja sitoutuvat hankesuunnitelmaan. (Pennanen et al. 2011)

Suunnittelumalli perustuu siihen, että rakennusosat ja -järjestelmät ovat funktionaalisia. Kaikki osat ja järjestelmät perustuvat johonkin ohjelmointivaiheessa esitettyyn tarpeeseen. (Pennanen et al. 2011)

Tätä logiikkaa ja kohdassa 3.2.8 esitettyä funktionaalista hyväksyttävyyden arviointia hyödyntäen ohjelmisto mallintaa tilaohjelman ja hankesuunnitelmassa määritetyt muut tavoitteet (edellisessä kohdassa kuvattiin tilaohjelmaa ja tavoitteita yhteisnimityksellä toiminnalliset tilat), kuten sisälämpötilan, kerroskorkeuden, valaistusolosuhteet) virtuaaliseksi suunnittelumalliksi.

Suunnittelumalli mallintaa rakennusosat ja -järjestelmät (”referenssijärjestelmät”), siten että tilat täyttävät niille asetetut vaatimukset. Esimerkiksi tilan valaistus mallinnetaan yhtälöllä $[N = E * A / (F * n * U_f * M_f)]$, jossa E on vaadittu valaistusteho, A on tilan pinta-ala, F on valonlähteen teho, jne. Tämä poistaa tarpeen suunnitella ensin tilojen valaistuksen ja valaistuskukset, sillä malli hyödyntää samaa suunnittelukaavaa, mitä valaistussuunnittelija käyttää työssään. Mikäli tiedämme tilalle asetettavat vaatimukset, voidaan järjestelmät suunnitella näiden vaatimusten perusteella ja hinnoitella keskimääräisin valaistuksen yksikköhinnoin. (Pennanen et al. 2011)

Virtuaalimalli on yksi tilaohjelman ja tiloille asetettujen ominaisuuksien täyttävä yhdistelmä tiloja rakennusosineen ja määrineen. Suunnittelumallin muodostama virtuaalimalli on siis ko-

konaisuutena tavanomaisiin suunnitteluratkaisuihin perustuva ”ehdotussuunnitelma”, jossa on kaikki tarvittavat rakennusosat ja -järjestelmät.

Kustannushallinnassa ohjelmisto hinnoittelee rakennusosat, rakennusosien asennuksen kalustoineen ja muut talonrakennushankkeeseen liittyvät palvelut tavoitehintalaskelmaksi, mikä toimii palautekierron palautteena. Tässä työssä esitetään periaatteet miten samaa palautekiertoa voidaan toteuttaa ympäristövaikutuksilla.

Virtuaalisuunnittelun päätökset perustuvat rakennusosien, komponenttien ja järjestelmien osalta niiden funktionaalinen hyväksyttävyyteen asetettujen vaatimusten mukaisesti.

Rakennusosien mallintaminen

Kaikki rakennusosat ovat funktionaalisesti riippuvaisia tilalle asetettavista ominaisuuksista ja tiloille määritetyistä pinta-aloista. Tämä vastaa standardissa Rakennusosat mallinnetaan esimerkiksi seuraavasti:

- Tilan rajaustarve aiheuttaa väliseinätarpeen. Tilan pinta-alan ja oletetun muodon perusteella voidaan arvioida tilan piiri. Piirin ja määritetyn kerrokorkeuden avulla voidaan määrittää kyseisen tilan väliseinien pinta-alan.
- Väliseinän tyyppi määräytyy tilalle määritellyistä ominaisuuksista. Esimerkiksi neuvottelutilalle asetetaan toiminnan myötä (”neuvottelu”) ilmaääneneristysvaatimukseksi 48 R_w dB. Eri rakennusosien yhdistelmistä määräytyy edellisen kohdan taloudellisen näkökulman perusteella edullisin vaatimukset täyttävä ratkaisu, eli kaksinkertainen kipsilevyrakenteinen metallirangallinen ääneneristetty väliseinä.

Mallinnuksen yhteys on kaksisuuntainen, jolloin tila on yhteydessä siihen liittyviin rakennusosiin ja rakennusosien kohdentaminen tilalle on samanaikaisesti mahdollista.

Järjestelmien mallintaminen

Tilojen ja haluttujen ominaisuuksien perusteella voidaan mallintaa rakennuksen talotekniset järjestelmät yhdistämällä tiloilta vaadittujen ominaisuuksien aiheuttamat järjestelmävaatimukset. Jokaiselle tilalle on siis toiminnallisen kuvauksen myötä muodostunut funktionaalinen tarve ilmanvaihdolle [ilmavirta m³/s], lämmitykselle [W] ja sähköenergialle [W]. Lähtötietoina meillä on näiden lisäksi tilan ulkopuolinen lämpötila sekä erottavien rakennusosien määrä ja ominaisuus. Esimerkiksi ulkoseinään rajautuva tila on riippuvainen ulkolämpötilan vaihtelusta erottavan rakennusosan (julkisivun) ominaisuuksien mukaisesti. Koska ulkolämpötila ja aurionvalo on määritettävissä rakennuksen sijainnin mukaan ja lämmitysmuoto (radiaattorit/lattialämmitys/kattosäteilijät/ilmanvaihto), niin pystymme mallintamaan tilan lämmitystarpeen. Vastaavasti pystymme mitoittamaan tilan ilmanvaihdon perustuen tilalle asetettuihin

ominaisuusvaatimuksiin ja rakentamismääräyskokoelman laskentasääntöihin perustuen ja sähköenergian valaistus- ja laitetehon avulla. Summaamalla kaikkien tilojen tarve saadaan koko rakennuksen ilmanvaihdon, lämmityksen ja sähköenergian tarve.

Laitosten mitoitusteho saadaan myös kokonaistarpeen ja mitoituslämpötilan/-kuorman mukaisesti. Tämän perusteella määritetään lämmön-, ilmanvaihdon- ja sähköntuotantojärjestelmien koko.

Päätelaitteet, eli ilmanvaihdon pääte-elimet, lämmönluovuttimet ja valaisimet mitoitetaan tilan koon ja vaaditun tehon mukaisesti. Tämä tarkoittaa, että pieni valaistusteholtaan vaativassa tilassa valaisimet ovat normaalia tehokkaampia, niitä ei ole rajatun kattopinta-alan vuoksi enemmän.

Putkisto- ja kanavakoot sekä johtoreitit määritetään mallinnetaan tavanomaisia laitosmitoituksia noudattaen. Esimerkiksi ilmanvaihdon kanavakoot määräytyvät ilmanvaihdon konehuoneiden (keskimääräinen etäisyys ja palvelualueen koko) sekä rakentamismääräyskokoelmissa vaadittujen äänitasojen mukaisesti.

Rakentamisvaiheen mallintaminen

TAKUTM-järjestelmän osana mallinnetaan työmaan toiminta perustuen rakennusosiin, työaika- tauluun, rakennuksen korkoon, tonttialaan ja muihin rakentamisvaiheen tekijöihin. Periaatteet noudattavat rakennusosien ja -järjestelmien mallinnusmenetelmää, eli rakennusprosessin avustavat ja asennustyöt ovat samalla tavalla funktionaalisia kuin rakennusosatkin. Ohjelmointivaiheessa tiedossa olevien lähtötietojen ja yleisesti käytössä olevien rakennustuotanto-ohjein (mm. Rakennustietosäätiön julkaisema RATU-kortisto) on mahdollista mallintaa myös rakentamisvaihe. Mallin funktionaalisuus voidaan kuvata esimerkiksi seuraavasti:

- Monikerroksinen rakennus aiheuttaa nostokaluston tarpeen. Suuri kerroskorkeus lisää nostokaluston korkeutta. Nopea aikataulu lisää nostokaluston määrää samalla lyhentäen käyttöaikaa.
- Talvella asennettava betonirunko aiheuttaa tarpeen valettavan betonin ja muottien lämmitykselle.

Rakentamisvaiheen mallinnus on toistaiseksi julkaisematonta tietoa, jolloin sitä ei tässä työssä tarkemmin käsitellä, vaan tiedon todetaan toimivan ympäristövaikutusten arviointimallissa lähtötietona osana laajempaa viiterakennuksen mallia.

4.3 Käytönaikaisten toimintojen mallintaminen

Toiminnan ja tavoitteiden yhteyden rakennusosiin ja Tavoitehintamenettely ja WOP sisältävät hankkeen kustannuksia/suunnittelua, mutta eivät rakennuksen elinkaaren kustannuksia. Nämä käytönaikaisen toiminnan kuvaavat palvelut nimitetään käyttäjäpalveluiksi. Panu Paukkeri on diplomityössään (2013) esittänyt miten käyttäjäpalvelut voidaan mallintaa ja hinnoitella tavoitehintamenettelyn periaatteisiin perustuen. Hänen työssään on esitetty miten hankesuunnitelman toimintakuvaukset voidaan esittää tuotettavina käyttäjäpalveluina. Käyttäjäpalveluihin perustuen Paukkeri on mallintanut ylläpitopalvelut ja käyttöpalvelut. Nämä muodostuvat työpanoksista, kalustotarpeesta sekä materiaaleista. (Paukkeri, 2013)

Käytönaikainen keskimääräinen vuosittainen energian- ja vedenkulutus mallinnetaan perustuen virtuaalimallin teknisten järjestelmien mitoitustietoihin, rakennuksessa oleviin käyttötapahelmiin (tilojen käyttöaste), rakennuksen ominaisuuksiin (sisälämpötilan hallinta) ja paikkakunta-kohtaisiin tekijöihin (astepäiväluku).

4.4 Ohjelmointivaiheessa saatavilla olevien lähtötietojen yhteenveto

Ohjelmointivaiheessa saadaan käyttäjiltä saatavien perusteiden seuraavat tulokset:

- Toimiala ja toiminnan määrällinen tekijä
 - o Rakennuksessa olevien henkilöiden lukumäärä
- Tilojen käyttöasteet ja käyttöajat
- Tiloilta vaadittavat ominaisuudet, kuten
 - o Sisäilmaston vaatimustaso (mm. ilmavirrat ja lämpötila)
 - o Sähköpisteiden tarve
 - o Vesipisteiden tarve
 - o Huonekorkeus
- Rakennuksen käyttöikä
- Rakennuksen sijainti ja sijoittuminen ilmansuuntiin nähden
- Rakentamisen aloitusajankohta ja rakentamisvaiheen kesto

Tässä luvussa esitetysti voidaan edellä mainittujen tietojen perusteella mallintaa WOP-työkalun ja TAKU™-järjestelmän perusteella virtuaalirakennus. Virtuaalinen suunnittelumalli tuottaa edellä esitettyihin tietoihin perustuen seuraavat lähtötiedot:

- Rakennuksen rakennusosat ja niiden määrät, minkä perusteella arvioidaan myös
 - o Purettavien materiaalin massat
 - o Ikkunoiden pinta-alat ilmansuunnittain sekä ikkunoiden auringon säteilyn läpäisykerroin
 - o Rakennusosien pinta-alat
 - o Rakennusosien lämmönläpäisykertoimet
- Kerroskorkeus
- Rakennusmateriaalien oletettu kuljetusmatka ja kuljettamiseen käytetty ajoneuvotyyppi
 - o Purettavien materiaalien (oletettu) kuljetusmatka
- Työmaavaiheen energian- ja vedenkulutus
- Työmaalla kertyvä jäte ja sen jätteenkäsittely
- Rakentamisvaiheen kesto
- Rakennuksen energian kulutukseen liittyen (edellä mainittujen lisäksi)
 - o Ilmanvaihdon ilmavirrat
 - o Ilmanvaihtojärjestelmien käyntiajat
 - o Ilmanvaihtokoneiden lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde
 - o Rakennusten kerrosten lukumäärä
 - o Lämpimän käyttöveden kulutus
 - o Ulkoilman lämpötila
 - o Valaistavan tilan kokonaissähköteho huonepinta-alaa kohti
 - o Valaistavan tilan huonepinta-ala
 - o Valaistuksen ja kuluttajalaitteiden sähköenergian kulutus

- Lämpimän käyttöveden kierron ja varastoinnin häviöt
 - Ilmanvaihtokoneiden sähkötehot tai sfp-luvut
 - Ilmanvaihtokoneiden ilmavirrat
 - Ilmastointikoneen jäähdytyspatterin käyttämä vuotuinen jäähdytysenergia
 - Huonelaitteiden käyttämä vuotuinen jäähdytysenergia
 - Lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama
 - Lämmitysjärjestelmien hyötysuhteet
- Rakennuksen veden kulutus

5 Rakennuksen elinkaaren ympäristövaikutusten mallintaminen ohjelmointivaiheessa

Rakennus on monimutkainen yhdistelmä rakennustuotteita ja -järjestelmiä. Näiden tuotteiden ja järjestelmien käyttöiät vaihtelevat toisistaan vaikka ne ovatkin osana samaa kokonaisuutta. Jotkin rakennustuotteet kestävät käytössä vain muutamia vuosia ja toiset puretaan rakennuksen purkamisen yhteydessä, vaikkakin niillä vielä olisi käyttöikää jäljellä. Rakennuksen monimuotoisuus ja eri rakennusosien uusimissykli aiheuttavat rakennusten ympäristövaikutuksien arvioinnille haasteita, mitkä kaikki eivät ole ratkaistavissa yleispätevällä mallilla. Tämä työ pyrkii kuitenkin laatimaan periaatteet rakennusten ympäristövaikutusten arvioinnille siten, että merkittävä osa rakennuksen monimuotoisuudesta ja systeemin välisistä riippuvuussuhteista voidaan huomioida.

Tässä luvussa selvitetään onko hiilijalanjäljen arviointi mahdollista ohjelmointivaiheen tuloksen perusteella ja esitellään rakennuksen elinkaaren mallintaminen luvuissa 3 ja 4 esitetyin periaattein. Hiilijalanjäljen arvioinnin periaatteita havainnollistetaan laskentaesimerkein.

5.1 Laskentamallin lähtötietojen tarkastelu

5.1.1 Rakennuksen elinkaaren ympäristövaikutusten arvioinnin ja TAKU™-järjestelmän mallinnusvaiheiden vastaavuus

Taulukossa 4 on esitetty rakennushankkeiden elinkaaren vaiheet ja standardiperheen vaiheita vastaavat jaot informaatiomodouleihin sekä TAKU™-järjestelmän mallinnustyökaluihin. Taulukossa näkyy, että rakennuksen poistamisesta ei TAKU™-järjestelmän osana ole kehitetty mallinnustyökalua, joten tämän vaiheen yhteys ohjelmointivaiheeseen on periaatetasolla esitetävä tässä työssä. Nämä periaatteet esitetään kohdassa 5.4.

Taulukko 4 Rakennuksen elinkaaren vaiheiden ja TAKU™-järjestelmän vastaavuus.

Rakennuksen elinkaaren vaiheet	Kestävän rakentamisen standardiperheen CEN/TC350 mukainen rakennuksen elinkaaren jako	TAKU™-järjestelmässä käytettävä(t) mallinnustyökalu(t)
Rakennushankkeen aloituksesta rakennuksen käyttöönottoon	Tuotevaihe (informaatiomodulit A1-A3) ja rakentamisvaihe (A4 ja A5)	Virtuaalirakennus (viiterakenteet ja määrät)
Rakennuksen käyttö	Käyttövaihe (informaatiomodulit B1-B7)	Käyttäjäpalvelut, Virtuaalirakennus (viiterakenteet, energian ja veden kulutus)
Rakennuksen poistaminen käytöstä	Elinkaaren päättymisvaihe (informaatiomodulit C1-C4)	<i>Ei olemassa olevaa mallinnustyökalua</i>

Vertailemalla luvun 3 yhteenvedossa esitettyjä ympäristövaikutusten arvioinnin lähtötietotarpeita ja luvun 4 yhteenvedossa esitettyjä tiedossa olevia lähtötietoja voidaan todeta, että puuttuvia lähtötietoja ovat:

- Rakennustuotteiden arvioitu käyttöikä
- Purettavien materiaalin tarvittava jätekäsittely

5.1.2 Laskentamallin perusteena oleva tuotteiden ja prosessien ympäristövaikutuksien data

Laskentamalli perustuu lähtökohtaisesti kestävän rakentamisen standardiperheeseen mukaisesti tuotettuun dataan. Tuotteiden osalta tämä tarkoittaa, että datan tulee olla standardin EN 15804 mukainen ympäristöseloste, jossa ympäristövaikutukset ovat esitetty luvun 4 informaatiomodulijaon mukaisesti. Pääosa tässä työssä käytettävästä datasta on haettu Saksan rakennetun ympäristön ministeriön laatimasta ja ylläpitämästä Ökobau-tietoportaalista sekä saksalaisen Institut Bauen und Umwelt e.V. (lyhennetty IBU, vapaasti suomennettuna Rakentamisen ja Ympäristön instituutti) ja suomalaisen Rakennustietosäätiön (lyh. RTS ry) ylläpitämistä ympäristöselostetietokannoista.

Kuljetusten ympäristökuormitusten määrittämiseksi hyödynnetään EcoTransIT-työkalua, joka on esitelty kohdassa 3.3.2.

5.1.3 Laskentamallin perustana olevat skenaariot

Käyttövaiheen informaatiomoduuleissa tavoitteen asettaminen perustuu oletuksiin käytönaikaisesta toiminnasta. Nämä oletukset kuvataan mahdollisen tai todennäköisen toimintakuvauksen, eli skenaarion, muodossa.

Rakennusosien ja järjestelmien arvioidun pitoiän määrittämisessä (engl. estimated service life, lyh. ESL) hyödynnetään standardissa EN 15686-3 esitettyä kertoimiin perustuvaa laskentatapaa. Skenaarioiden lähtökohtana on materiaalien osalta valmistajien ilmoittamien teknisten käyttöikien lisäksi rakennusosien todennäköinen pitoikä. Tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että vaikka kipsiväliseinä olisi teknisesti toimiva jopa 50 vuotta, niin on todennäköistä, että tänä aikana muista syistä johtuen tehdään tiloissa tilajakoon liittyviä muutoksia. Tilajakomuutokset johtavat rakennustoimenpiteisiin, jolloin puretaan teknisesti toimivia ja hyväkuntoisia rakennusosia ja -järjestelmiä, jotta tiloista saadaan paremmin muuttuneeseen toimintaan soveltuvat. Nämä ennen rakennusosan teknisen käyttöiän päättymistä tapahtuvat rakennusosien purku- ja uudelleenrakennustyöt esitetään huomioitavaksi skenaarioissa erillisellä kertoimella.

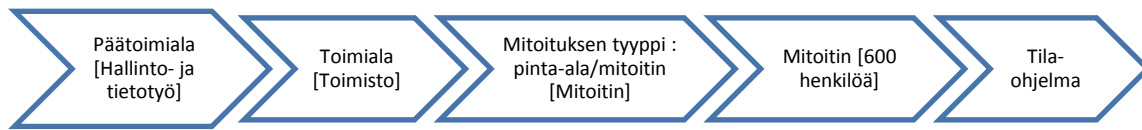
Käytönaikaisen skenaarion tulee standardien mukaan sisältää informaatiota rakennuksen käytöstä sekä informaatiota oletetuista kunnossapito-, korjaus- ja uusimistoimenpiteistä sekä veden ja energian käytöstä. Skenaarioina hyödynnetään TAKU™-järjestelmän osana kehitettyä käyttäjäpalveluiden mallinnusta ja sen yhteyttä.

Käytönaikaisen energian mallintaminen tehdään vuositasolla luvussa 4 esitettyjä mallinnusperiaatteita noudattaen.

5.2 *Rakennuksen elinkaaren ympäristövaikutusten arvioinnin menetelmä*

5.2.1 Lähtötietojen muodostaminen ohjelmointivaiheessa

Käyttäjä kuvaa toimintaansa toimialalla, toiminnallisen ajurin määrällä ja tapahtumalla. Näiden perusteella strategisen toimitilasuunnittelun WOP-malli pystyy mallintamaan tarvittavat tilat ja niille tavoitteelliset ominaisuudet.



Kuva 5 WOP-mallin mallinnusprosessi, minkä mukaisesti mitoitetaan 600 henkilön toimistorakennuksen tilaohjelma.

Strateginen toimitilasuunnittelun malli muodostaa määritetyn toimialan vaatimukset täyttävän tilaohjelmataratkaisun kuvassa 5 esitetyn prosessin mukaisesti. Ratkaisu muodostaa kuvattujen toimintojen vaatimat työympäristön dimensioidet sekä listaa tarvittavat tilat. Toimintaa kuvaava toiminnallinen ajuri (600 henkilöä) on ympäristövaikutuksen arvioinnin näkökulmasta toiminnallinen yksikkö.

Kuvassa 5 esitetyn WOP-mallin toimintaprosessin tuloksena saatava tilaohjelma muodostuu tiloista, tilojen oletetuista ominaisuuksista ja tiloissa tapahtuvista tapahtumista. Tilaohjelman osatulos on esitetty kuvassa 6.

Itsenäinen tietotyö

- Toimistohuone [203 kpl á 12 m²]
- Avotoimisto [23 kpl á 132 m²]
- Keskittymistila [48 kpl á 8,7 m²]

Toimistotuki

- Kopiotila [12 kpl á 13 m²]
- Lähiparasto [12 kpl á 12 m²]
- Postinjakelu [12 kpl á 4,8 m²]

Lähineuvottelu

- Neuvottelutila [22 kpl á 21 m²]

Kokoontuminen

- Kokoushuone [11 kpl á 41 m²]
- Kokoushuone [7 kpl á 32 m²]
- Kokoushuone [4 kpl á 16 m²]

Kuva 6 Toimistorakennuksen tilaohjelman osa. Tilaohjelma on mallinnettu kuvassa 6 esitettyjen lähtötietojen perusteella [600 henkilön toimistorakennus].

Tilaohjelman tilat sisältävät ominaisuuksia, joita ovat mittasuhteet, koettavuus, kestävyys, yhteydet, olosuhteet, varusteet ja laitteet. Ominaisuuksille määritetään oletusarvot mitoittettavan toimialan perusteella. Ominaisuuksia voi muokata vastaamaan asetettuja tavoitteita.

TAKU™-järjestelmä muodostaa edellisessä luvussa kuvatusti toiminnallisten tilojen perusteella virtuaalimallin, joka sisältää rakennusosat määrineen. Taulukossa 5 on esitetty kuvan 5 lähtötietojen perusteella mallinnetut väliseinien rakennusosat. Esimerkiksi yksi 600 henkilön toimistorakennuksen mallinnetuista rakennusosista on kaksinkertainen kipsilevyseinärakenne, määrältään 8.847 m² (kts. taulukko 5).

Taulukko 5 600 henkilön toimistorakennuksen TAKU™-järjestelmällä mallinnetut väliseinätyypit määrineen.

Selite	Määrä	yksikkö
Rakennusosat		
Alue		
Runko		
Vaippa		
Tila		
Väliseinä		
Kahitiiliväliseinä, 1 x 130 mm	4 476	m ²
Ontelarakenteinen kevytbetonielementtiväliseinä, paksuus	196	m ²
Teräsrunkoinen lasiväliseinä, 10 mm	217	m ²
Teräsrunkoinen lasiväliseinä, 6 mm	75	m ²
Siirtoseinä, h = 4 m, 52 dB	37	m ²
Levyseinä, 2 x levy + teräsranka, min.villa 60 mm, h = 3.0 m	8 847	m ²

Rakennetyyppi (kaksinkertainen kipsilevyseinä, teräsrangalla ja 60 mm mineraalivillalla) on ympäristövaikutuksen arvioinnin lähtötieto, jota hyödynnetään seuraavassa kohdassa.

5.2.2 Tuotevaiheen hiilijalanjäljen mallintaminen tilaohjelman perusteella

Tilaohjelman perustuen voidaan tavoitehintamenettelyn perusteella muodostaa virtuaalinen yhteys tilaohjelman ja rakennusosien välillä edellisessä luvussa kuvatulla tavalla.

TAKU-järjestelmän avulla saamme muodostettua toiminnallisen tilaohjelman perusteella kaikki rakennuksen rakennusosat ja järjestelmät sekä niiden määrät.

Rakennusosien ympäristövaikutukset tuoteosille saamme kertomalla kyseisen rakennusosan määrän ympäristöselosteesta saadulla tuotevaiheen hiilijalanjäljellä.

Esimerkiksi edellisessä kohdassa määritetyn yksittäisen rakennusosan (kaksinkertaisella kipsilevyllä vuorattu 60 mm:n mineraalivillalla ääneneristetty väliseinä) tarvitsemien tuotteiden raaka-aineiden hankinta, kuljetus ja valmistus aiheuttavat ympäristöselosteesta saatavan tiedon mukaan seuraavan hiilijalanjäljen:

Taulukko 6 Kaksinkertaisen kipsilevyväliseinän hiilijalanjälki m²-yksikköä kohden (ympäristöselostetta soveltaen, liite 1). MEE tarkoittaa, että moduulia ei ole esitetty selosteessa.

Indikaattori	Yksikkö	A1-3	A4	A5	B1-7	C1	C2	C3	C4	D
GWP	[kg CO ₂ -ekv.] / m ²	16,95	0,41	0,51	MEE	0	0,16	0,1	3,02	-3,5

Ympäristöselosteen mukaan kipsilevyväliseinän tuotevaiheen (informaatiomodulit A1-3) ympäristövaikutus on hiilijalanjäljessä mitattuna 16,95 kg CO₂-ekv./m². Kertomalla tämä ympäristövaikutus kipsilevyväliseinän määrällä joko a) tilassa tai b) rakennuksessa saamme a) tilan tai b) rakennuksen yhden rakennusosan ympäristövaikutuksen.

Esimerkki 1. Mallinnuksen tuloksena saimme ainoastaan yhden kipsilevyväliseinärakennetyypin. Joten toimistorakennuksen kaikkien kipsilevyväliseinien tuotevaiheen hiilijalanjälki on kohdassa 3.2.7 esitettyjen laskentasääntöjen mukaisesti:

$$GWP_{A1-3, \text{ kipsilevyväliseinä}} = 8.847 \text{ m}^2 * 16,95 \text{ kg CO}_2\text{-ekv./m}^2$$

$$GWP_{A1-3, \text{ kipsilevyväliseinä}} = 149.956,65 \text{ kg CO}_2\text{-ekv}$$

Summaamalla kaikki mallinnuksen tuloksena saatavat rakennusosien ympäristövaikutukset saadaan sekä tilan että rakennuksen tuotevaiheen ympäristövaikutus.

5.2.3 Rakentamisvaiheen kuljetusten hiilijalanjäljen arviointi

Rakentamisvaiheen kuljetukset tehtaalta työmaalle arvioidaan keskimääräisen kuljetusetäisyyden, keskimääräisen kuljetuskoon, kuljetettavan materiaalin massan sekä kuljetuksessa käytetyn ajoneuvotyypin perusteella.

Esimerkki 2. betonielementtien kuljetuksen ympäristövaikutus arvioidaan seuraavasti: betonielementtien kokonaispaino [500 tn] / keskimääräinen kuormakoko [20 tn] * arvioitu kuljetusmatka [100 km] * arvioitu ympäristövaikutus elementtikuorma-autolle, jonka kapasiteetti on alle 40 tn [1,53 kg CO₂-ekv./km] minkä tuloksena saadaan betonielementtien kuljetuksen hiilijalanjälki [3 825 kg CO₂-ekv.].

Elementtikuorma-auton ympäristövaikutus on mallinnettu EcoTransIT-työkalun avulla. Laadittu laskelma on liitteenä nro 3.

Esimerkki 3. edellä mainitun kipsilevyseinän kuljetuksen hiilijalanjälki on ympäristöselosteessa ilmoitetun skenaarion (200 km kuljetusetäisyys, kuljetusajoneuvona kuorma-auto) mukaan 0,41 kg CO₂-ekv/m².

5.2.4 Rakentamisen asennusprosessin hiilijalanjäljen arviointi

Rakentamisen asennusprosessi arvioidaan hyödyntäen edellisessä luvussa mainittua TAKU™-järjestelmän osana työmaapalveluiden mallinnusta, mikä sisältää luvussa 3 määritetyt moduuliin A5 kuuluvat prosessit, pois lukien maanrakennustyöt. Maanrakennustöiden ympäristövaikutukset huomioidaan virtuaalirakennuksen mallista saatavan kaluston käytön mukaisesti. Maanrakennustöihin sisältyvät materiaalit käsitellään osana rakennukseen sidottuja ympäristövaikutuksia.

Tavoitehintamenettelyn osana saamme rakentamisvaiheen aikana käytetyn energiankulutuksen. TAKU™-järjestelmässä ei energiankulutusta eritellä standardien informaatiomodulijaon mukaisesti vaan työmaan energiankulutuksen mallinnus sisältää työmaalla tapahtuvien siirtojen, lopullisen ja väliaikaisen materiaalien asennusten kiinnityksen ja työstämisen, työmaalla tapahtuvan välivarastoinnin sekä muun energiankulutuksen ympäristövaikutuksen. Työmaan lämmityksen, jäähdytyksen, ilmanvaihdon ja kosteudenhallintaan liittyvä energiankulutus eritellään omaksi, sillä ympäristövaikutukset vaihtelevat suuresti tuotantomuodon valinnan vaikutuksesta.

Vaihtoehtoisesti voi arviossa hyödyntää ympäristöselosteesta saatava lähtötietoa, mikä korvaa asennuksessa käytettävän energian kyseisen rakennusosan osalta.

Esimerkki 4. Ääneneristetyin kaksinkertaisen kipsilevyväliseinän asennusmateriaalit ja työstöt ovat ympäristöselosteen (liite 1) mukaan seuraavat työvaiheet:

- metallirangan työstäminen käsityökaluin
- kipsilevyjen ja metallirangan kiinnittäminen akkuporakoneella
- pakkausmateriaalin ja hävikin muodostaman jätteen kuljetusmatkaksi kierrätettäväksi on arvioitu 50 km
- kierrätetyn jätteen kuljetusmatkaksi loppusijoitettavaksi/uudelleen käytettäväksi on arvioitu 50 km

Edellä mainittuihin skenaarioihin perustuen on kipsilevyväliseinän rakentamisen asennusprosessin hiilijalanjälki 0,506 kg CO₂-ekv./kipsilevyväliseinä-m². Tämä voidaan esittää kohdassa 3.2.7 laskentasäännön mukaisesti seuraavasti:

$$GWP_{a_{1311.0004}, A5} = 0,506 \text{ kg CO}_2\text{-ekv./kipsilevyväliseinä-m}^2,$$

jossa $a_{1311.0004}$ on 2-kertaiselle ääneneristetylle kipsilevyväliseinälle annettu rakennusosakohtainen tunnus.

5.3 Käytönaikaisten ympäristövaikutusten arviointi

5.3.1 Käytönaikaisten toimintojen mallintaminen

Toiminnan ja tavoitteiden yhteyden rakennusosiin ja Tavoitehintamenettely ja WOP sisältävät hankkeen kustannuksia/suunnittelua, mutta eivät rakennuksen elinkaaren kustannuksia. Nämä käytönaikaisen toiminnan kuvaavat palvelut nimitetään käyttäjäpalveluiksi. Panu Paukkeri on diplomityössään (Paukkeri, 2013) esittänyt miten käyttäjäpalvelut voidaan mallintaa ja hinnoitella tavoitehintamenettelyn periaatteisiin perustuen. Hänen työssään on esitetty miten hankesuunnitelman toimintakuvaukset voidaan esittää tuotettavina käyttäjäpalveluina. Käyttäjäpalveluihin perustuen Paukkeri on mallintanut ylläpitopalvelut ja käyttöpalvelut. Nämä muodostuvat työpanoksista, kalustotarpeesta sekä materiaaleista. Käyttöpalvelut ovat standardien mukaisen rajauksen ulkopuolella, joten niitä ei käsitellä tässä työssä. Ylläpitopalvelut sisältävät seuraavat ympäristövaikutusten osalta huomioitavat nimikkeet:

- Käyttöainepalvelut
- Hoito- ja huoltopalvelut
- Ylläpitokorjauspalvelut

Näiden nimikkeiden panokset kaluston ja materiaalien ympäristövaikutusten osalta huomioidaan hiilijalanjäljen arviointimallissa osana rakennusosaryhmien kertoimien määrittämistä. Ylläpitokorjauspalvelut vastaavat ympäristöselosteiden informaatiomodulia B3, joten sen mukaista kalusto ja materiaalienekkiä hyödynnetään arvioinnissa, mikäli kaikista rakennusosista ei löydy käytönaikaisia vaiheita käsitteleviä ympäristöselosteita.

5.3.2 Käytön, kunnossapidon ja korjausten ympäristövaikutusten arviointi

Hiilijalanjäljen laskentamallissa on otettu huomioon tuotteiden ympäristöselosteissa mainitut käytönaikaiset päästöt. Oletuksena kuitenkin on, että pääosassa tuotteista tätä tietoa ei ole kuitenkaan mainittu, sillä päästöt ovat harvoin mitattavissa ilmaston lämpenemispotentiaalina. Näiden tuotteiden osalta oletetaan, että niiden hiilijalanjälkeen vaikuttavat päästöt olevan merkitykseltään suhteellisesti vähäisiä huomioiden mallin tavoitteen asettamisen tarkkuus, jolloin niitä ei tämän työn puitteissa huomioida. Muiden kuin hiilijalanjäljen arvioinnin osalta käytönaikaiset päästöt ovat todennäköisesti suhteellisesti merkittävämpiä, jolloin laajentaessa mallia sisältämään myös muita standardeissa mainittuja ympäristövaikutusten mittareita tulisi käytönaikaisten päästöjen huomioimisen tarkastelu tehdä näiden mittareiden osalta erikseen. Suomen rakennushankkeissa sisäilmaston vaatimuksissa vaaditaankin jo yleisesti pintamateriaaleissa M1-tason, eli käytönaikaisiltaan päästöiltään vähäisiä, tuotteita.

Kunnossapidon ja korjausten arviointi tehdään ympäristöselosteissa mainittujen toimenpiteiden mukaisesti.

Esimerkiksi moduulin B2 osana huomioidaan käytävämaton kunnossapidon ympäristövaikutukset arvioimalla vuosittainen pesuun tarvittavien materiaalien, veden ja energian menekki sekä puhtaanapidosta aiheutuvien jätteiden käsittely ja kuljetus. Vuosittainen edellä mainittujen tekijöiden summa saadaan kertomalla ympäristöselosteessa esitetty vuosittainen energiankulutus rakennuksen oletetulla käyttöiällä.

Esimerkki 5. Lattiamaton (2 mm, kulutuskestävä) kunnossapidon toimenpiteet on huomioitu ympäristöselosteessa sisältäen siivouksessa tarvittavan pesuaineen kulutuksen, maton puhdistuksessa tarvittavan sähköenergian ja veden sekä likaveden jätteen käsittelyn. Tämän perusteella ympäristöseloste on määrittänyt käytönaikaisen kunnossapidon hiilijalanjäljeksi 0,43 kg CO₂-ekv/matto-m²/vuosi. Mikäli rakennuksen käyttöikä on määritetty 80 vuodeksi, on käytönaikainen hiilijalanjälki kyseisen lattiamaton osalta:

$$80 \text{ v} * 0,43 \text{ kg CO}_2\text{-ekv/m}^2\text{/v} = 3,44 \text{ kg CO}_2\text{-ekv/m}^2$$

Korjaukset arvioidaan ympäristöselosteessa esitettyjen skenaarioiden mukaisesti. Esimerkissä käsitellyn lattiamaton tapauksessa ei ole esitetty korjauksen informaatiomodulille toimenpiteitä. Tämä johtunee siitä, että mattoa ei kannata korjata, vaan matto uusitaan, mikäli se on kulunut.

Taulukko 7 Ympäristöselosteessa esitetyt (Upofloor Oy, Lifeline-muovimatto) informaatiomodulaariset ympäristövaikutukset. Standardin EN 15804 mukainen ympäristöseloste on liitteenä nro 2.

Indi- kaattori	Yksikkö	A1-3	A4	A5	B1	B2	B3-B7	C1	C2	C3	C4
GWP	[kg CO ₂ -ekv.] / m ²	9,1	0,37	0,82	MEE	0,43 / v	MEE	0,014	0,034	5,8	0,26

Laskentamallissa arvioidaan korjausten toimenpiteet tavoitehintamenettelyn osana kehitettyjen ylläpitopalveluiden mitoitusohjelman määrien välitulosteen avulla. Ylläpitopalvelumallista saatavat määrien ympäristövaikutukset hinnoitellaan materiaalivalmistajien ilmoittamien kunnossapitotoimenpiteiden ympäristövaikutusten arvioilla.

5.3.3 Rakennusosien uusimisen ja laajamittaisten korjausten mallintaminen

Rakennusosien uusimisen arvioinnissa käytetään standardin 15686-3 suositusten mukaisesti lähtökohtaisesti ohjelmointivaiheessa määritettyjä käyttöikäjä rakennusosaryhmien (esimerkiksi tilajako-osat) pitoiän määrittämiseksi, esimerkiksi rakennuttaja voi määrittää kiinteistöstrategiansa mukaisesti tilajakomuutoksia sisältävän remontin tehtäväksi 15 vuoden välein ja peruskorjaus 40 vuoden välein. Tällöin määritetään tilajako-osat pintoineen uusittavaksi 15 vuoden välein sekä kaikki rakennus- ja tekniikkaosat runkoa lukuun ottamatta uusittavaksi 40 vuoden välein.

Mikäli ei ole tiedossa rakennuksen järjestelmille määritettyä käyttöikää, niin käytetään luvussa 2.2.7 esitettyä kerroinmenetelmää (engl. factor method). Standardien esittämä jako kertoimiin a-g on kattava, mutta tavoitteen asettamisen näkökulmasta selkeytettävissä. Suunnittelun ohjauksen tehtävä on huomioida, että valitaan tarkoitukseen soveltuvat tuotteet. Rakentamisen laadunvalvonnan tehtävä on varmistaa, että tuotteen asentaminen on valmistajan ohjeiden mukainen. Tavoitteen asettamisen näkökulmasta oletetaan myös, että tuotteen kunnossapito noudattaa valmistajan ohjeita. Tällöin jää tavoitteen asettamisvaiheessa kertoimista huomioitavaksi merkityksellisinä enää kertoimet a, d, e ja f.

Esimerkki 6. Ikkunan tekninen käyttöikä normaaleissa käyttöolosuhteissa on 35 vuotta. Sälle ja auringolle altistuvassa kohdassa voidaan rankempia ulkoilmaolosuhteita kuvata kertoimella $d = 0,8$. Muiden tekijöiden ollessa tavanomaisia (kerroin = 1). Tällöin sen arvioitu käyttöikä on $t_{ESL} = 35 \text{ vuotta} * 0,8 = 28 \text{ vuotta}$. Mikäli rakennukselle on asetettu

käyttöäksi 80 vuotta, uusitaan ikkuna rakennuksen käytön aikana $(80/28) - 1 = 1,86 \approx 2$ kertaa (materiaalien uusimiskerrat pyöristetään standardin mukaan tasalukuun).

Pitoikien määrittämisessä käytetään lähtökohtaisesti standardin 15686-3 liitteessä esiteltyjä määrittämistapoja, jotka suosivat ympäristöselosteiden ilmoittamien käyttöikien sijaan toiminnan perusteella määritettyä arvioitua pitoikää. Tämän huomioimiseksi osan ohjelmointivaihetta ehdotetaan lisättäväksi kerroinmenetelmään toimialaa kuvaava kerroin, h , joka kuvaa toimialalle tyypillistä uusimistarvetta eri rakennusosille. Tilan ei-kantavien väliseinien muutokset ovat yleisempiä toimistotiloissa kuin sairaalassa. Tilanjakomuutokset ovat myös riippumattomia standardissa mainituista kertoimista. Esimerkkinä käytetyn toimistotilan tapauksessa h -kerroin voisi olla 0,8, mikä vähentäisi kipsilevyseinän arvioitua pitoikää 20 %.

Rakennusosan uusiminen käsitellään laskentamallissa seuraavasti:

- vanha rakennusosa puretaan, jäte kuljetetaan pois ja käsitellään sekä loppusijoitetaan kuten osana rakennuksen purkua
- uusi rakennusosa valmistetaan, toimitetaan ja asennetaan tuote- ja rakentamisvaihetta vastaavasti

Tämä perustuu siihen, että rakentamisen aikaiset aputyöt, työmaan lämmitysenergia, ym. tukitoiminnot eivät ole huomioitu ympäristöselosteessa vaan mallinnetaan erikseen.

Esimerkki 7. Kipsilevyväliseinän uusimisen ympäristövaikutus on siis tuote-, rakentamis- ja käytöstä poistamisvaiheiden ympäristövaikutusten summa. Tämä on taulukon 6 mukaan 21,15 kg CO₂-ekv./m².

Olennaisena rajaavana tekijänä on standardissa mainittu suoritustason palauttaminen hyväksyttävälle tasolle alkuperäisen toiminnan vaatimissa tiloissa. Tämä tarkoittaa, että rajauksen ulkopuolelle jäävät toiminnallista yksikköä muokkaavat tai muista kuin suoritustason heikkenemisestä aiheutuvat laajamittaiset korjaukset. Näitä voi olla esimerkiksi vuokralaisen vaihdon yhteydessä tehtävät toiminnalliseen yksikköön vaikuttavat korjaukset, kuten esimerkiksi tuotantotilan muuttaminen toimistotilaksi. Laajamittaisen korjausten skenaariot on tarkemmin esitelty standardissa SFS-EN 15603:2008.

Laajamittaiset korjaukset esitetään standardien suosituksen perusteella mallinnettavaksi kokonaisuuksina. Tämä tarkoittaa, että laajamittaisista korjauksista tulisi mallintaa rakentamisvaiheen tavoin sisältäen työmaavaiheessa käytettävät tukitoiminnot. Tukitoiminnot voidaan arvioida esimerkiksi arvioimalla:

- rakennusosien uusiminen edellä esitetyn esimerkin nro 1 mukaisesti.

- rakentamisvaiheen tukitoiminnot arvioimalla rakentamisvaiheen ympäristövaikutukset uusittavien ja kaikkien rakennusosien välisellä suhteella.

Vaikkakin rakentamisvaiheessa esimerkiksi rungon suhteellinen osuus on suuri, eikä sitä oletettavasti uusita rakennuksen elinkaaren aikana, niin voidaan olettaa korjausrakentamisen haastavuuden luonteesta johtuen, että se vaatii suhteellisesti enemmän tukitoimintoja kuin uudisrakentaminen. Tähän perustuen arviointimenetelmä oletetaan olevan tavoitteen asettamisen tarkkuudella riittävä. Kaavamuodossa esitettynä olisi siis laajamittaisten korjausten tukitoimintojen ympäristövaikutus arvioitavissa seuraavasti:

$$GWP_{B3,tukitoiminnot} = GWP_{A5,(pl. asennuksen osuus)} \times \frac{(uusittavat rakennusosat [kg])}{(kaikki rakennusosat [kg])}$$

5.3.4 Käytönaikaisen energian- ja vedenkulutuksen mallintaminen

Energiaa voidaan tuoda ja viedä järjestelmän rajan yli. Jotkut näistä energiavirroista voidaan mitata mittareilla (esim. kaasu, sähkö, kaukolämpö ja vesi). Energiamuotojen kulutukselle järjestelmän raja on mittarit kaasulle, sähkölle, kaukolämmölle ja vedelle, varastotilan lastauspaikka nestemäisille ja kiinteille energiamuodoille. (EN 15798)

Vastaavasti, jos osa taloteknistä järjestelmää (esim. lämminvesivaraaja, jäähdytin, jäähdytystorni jne.) sijaitsee rakennusvaipan ulkopuolella, mutta muodostaa osan arvioitavaa rakennuksen toimintoa, sen lasketaan kuuluvan järjestelmärajan sisäpuolelle ja sen järjestelmähäviöt otetaan huomioon tarkasti. (EN 15603, s. 28) Tämä on aiheuttamisperiaatetta noudattava ajatus, jota standardeissa suositetaan.

Energiankulutus mallinnetaan järjestelmäkohtaisesti TAKUTM-järjestelmän mukaisella ja edellisessä luvussa esitetyllä tavalla. Tämä tarkoittaa, että energiantuotantomuodon vaikutus on mahdollista huomioida osana ympäristövaikutusten arviointia. Lähtötietoina käytetään energiantuotannon päästökertoimia, jotka riippuvat käytettävästä energiantuotantomuodosta ja sen tehokkuudesta. Käytettävien päästökertoimien tulee noudattaa standardien määrittämiä energiantuotannon ympäristövaikutuksista. Ajan myötä huomioidaan laskennassa siis myös kustannusarvioinnissa käytettävä rakennustuotteiden hinnan kehitystä vastaavasti energiantuotannon kehitys. Standardit kuitenkin määrittävät, että energiantuotannon tulevaa kehitystä ei voi huomioida laskennassa, joten päästökertoimina tulisi käyttää laskenta-ajankohdan mukaisia päästökertoimia.

Esimerkki 8. Mallinnuksen tuloksena saadaan 600 henkilön toimistotalon lämmitysenergiankulutukseksi 1.156,346 MWh/vuosi. Rakennuksen käyttöiäksi on määritetty 80 vuotta. Toimistorakennus oletetaan sijaitsevan Helsingissä ja olevan liitettyä kaukolämpöverkkoon. Koska Helsingin Energia tuottaa kaukolämpöä ja sähköä yhteistuotantona, niin käytetään lämmitysenergian päästökertoimenä 108 kg CO₂-ekv./MWh (vuoden 2013 kes-

kimääräinen päästökerroin, Helen 2014). Tällöin saadaan vuosittaiseksi energiankulutuksen hiilijalanjäljeksi seuraava:

$$GWP_{B6, \text{lämmitys}} = E_{\text{lämmitys}} * k_{KL, \text{yht}} * t_{\text{rakennus}}$$

jossa $E_{\text{lämmitys}}$ on keskimääräinen lämmitysenergia per vuosi,

$k_{KL, \text{yht}}$ on kaukolämmön ja sähkön yhteistuotannon päästökerroin ja

t_{rakennus} on rakennukselle määritetty käyttöikä

$$GWP_{B6, \text{lämmitys}} = 1.156,346 \text{ MWh/a} * 108 \text{ kg CO}_2\text{-ekv./MWh} * 80 \text{ a}$$

$$GWP_{B6, \text{lämmitys}} = 124.885,368 \text{ kg CO}_2\text{-ekv./a} * 80 \text{ a}$$

$$GWP_{B6, \text{lämmitys}} = 9.990.829,44 \text{ kg CO}_2\text{-ekv.}$$

Rakennuksen energiankulutuksen ympäristövaikutus saadaan summaamalla eri energiantuotantomuotojen ympäristövaikutukset Suomen rakentamismääräyskokoelman esittämällä tavalla.

Rakennuksen vedenkulutus arvioidaan tilojen käyttöasteen, eli tilojen kuormituksen ja mallinnettujen järjestelmien perusteella. Vedenkulutuksen hiilijalanjäljen arviointi tehdään vedenkäyttelyn mukaisin päästökertoimin.

5.4 Rakennuksen elinkaaren päättymisen mallintaminen

5.4.1 Päättymisen mallintaminen

Rakennuksen elinkaaren päättymisvaihe ei sisälly TAKUTM-järjestelmän mallinnukseen. Lähtötietona voidaan kuitenkin käyttää virtuaalirakennuksen rakennusosien ja järjestelmien määriä määrittäessä purettavan materiaalin kuljetusta sekä jätteenkäsittelyä.

Purkutyön ja käytöstä poistaminen

Tavoitehintamenettelyn osana ei ole mallinnettu rakennusten purkua, purkujätteen kuljetusta tai jätteen käsittelyä. Tämän mallintamisen periaatteet esitetään tässä.

Arvioidessa lähitulevaisuudessa rakennettavien hankkeiden purkamista ja käytöstä poistamista tulisi teoriassa huomioida myös jätekäsittelyn muutos käyttöiän aikana. Standardit kuitenkin määrittävät, että arvioinnissa tulisi huomioida ainoastaan sellaiset käytännöt, jotka ovat todistustusti toimivia tai muuten esitetty kannattaviksi ja toteutuskelpoisiksi. Tästä syystä hyödynnetään purkujätteen mallintamisessa taulukon mukaista jätejakaumaa myös nyt hankeselvitysvaiheessa olevien rakennusten purkamisessa. Jätejakauksen lisäksi on arvioitava purussa käytetyn kaluston sekä purkujätteen kuljetusten ympäristövaikutukset. Kuljetukset huomioidaan vastaavasti kuin rakentamiskäytön kuljetuksissa, eli keskimääräisen kuljetusetäisyyden ja purettavan massan avulla. Kaluston arvioinnissa mallinnetaan tilavuuteen ja pinta-alaan perustuen kaluston tarve, joka ”hinnoitellaan” maanrakennusnimikkeitä vastaavasti. Rakennusosakohtaisen tiedon puuttuessa voidaan jätteen loppukäsittelyssä hyödyntää Ruuska et al. (2013, s. 22, kts. luku 3) esittämiä arvioita jätelajikohtaisista ympäristövaikutuksista.

Lähtökohtaisesti tulee rakennuksen purun ja jätteenkäsittely arviointi tehdä rakennusosakohtaisesti, jotta myös tästä aiheutuvat ympäristövaikutukset voidaan kohdistaa tiloille.

Rakennusosakohtainen purettavan materiaalin kuljetus ja materiaalin jätekäsittely tulee arvioida ympäristöselosteista saatavien tietoihin perustuen.

Esimerkki 9. Kipsilevyseinän ympäristövaikutus arvioidaan ympäristöselosteessa esitettyjen tietojen perusteella seuraavasti:

- purkutyö (moduuli C1) suoritetaan käsin, jolloin se ei aiheuta ympäristövaikutuksia,
- purkujätteen kuljetukset aiheuttavat (C2) 0,16 kg CO₂-ekv./m² suuruisen,
- jätteenkäsittely (C3) aiheuttaa 0,1 kg CO₂-ekv./m² suuruisen ja
- jätteen loppusijoitus (C4) aiheuttaa 3,0 kg CO₂-ekv./m² suuruisen hiilijalanjäljen.

Mikäli rakennusosakohtainen mallintaminen ei ole kaikkien rakennusosien osalta mahdollista on elinkaaren päättymisvaihe mallinnettava näiden rakennusosien osalta seuraavasti:

- Purkutyön (informaatiomoduuli C1) ympäristövaikutukset tunnistetaan riippuvan purkutyössä käytettävästä kalustosta. Rakennuksen purussa käytettävä kalusto mallinnetaan RATU-kortiston mukaisesti, esimerkiksi kortissa Ratu 82-0379 (Purkutyö. Menekit ja menetelmät.) esitettyjä kalustomenekkejä ja rakentamisvaiheen mallinnuksessa käytettyjä menetelmiä noudattaen.
- Purkujätteen kuljetukset (C2) mallinnetaan arvioidun kuljetusmatkan ja puretun massan perusteella. Arvioituna kuljetusmatkana käytetään 50 km.
- Jätteiden käsittelyn (C3) ja loppusijoituksen (C4) ympäristövaikutus arvioidaan perustuen Ympäristöministeriön julkaiseman raportin (Ruuska, et al. 2013) arvioidut jätelajikohtaiset ympäristövaikutukset (kts. kohta 3.3.2, taulukko 4).

6 Talonrakennushankkeiden ohjelmointivaiheen hiilijalanjäljen arviointimalli

Standardit määrittävät johdanto-osassaan, että ympäristövaikutusten arvioinnin informaation tulee olla käytettävissä aikaisimpana mahdollisena ajankohtana. Arviota voi projektin edetessä täsmentää ja päivittää päätöksenteon tukena. Arviointimalli perustuu juuri samaan ajatukseen, eli informaatiota tuotetaan hankeselvitysten tulosten perusteella, jolloin on mahdollista tarvittaessa palata hankesuunnitteluvaiheeseen tai asettaa suunnittelulle selkeät mitattavat tavoitteet.

6.1 Mallinnuksen yhteenveto

6.1.1 Yleisesti

Talonrakennuksen kustannustietomalli muodostaa toimintakuvausten perusteella toiminnallisen tilaohjelman. TAKUTM-järjestelmä mallintaa toiminnalliset tilojen perusteella teoreettisen funktionaalisuuteen perustuvan malliehdotuksen, ns. viiterakennusmallin. Tämä viiterakennusmalli sisältää teoreettisen rakennuksen rakennusosat, niiden tuotantotavat, määrät ja asennuksissa tarvittavat aputyöt. Elinkaariarvioinnin tavoiteasetannassa hyödynnetään tätä olemassa olevaa ohjelmointivaiheen ja viiterakennusmallin välistä yhteyttä. Kustannusten tavoiteasetannassa talonrakennuksen kustannustietomalli hinnoittelee nämä rakennusosat yksiköittäin, ns. yksikköhinnoin, jotka kerrotaan kyseisen rakennusosan viiterakennusmallin mukaisella määrällä. Elinkaariarvioinnissa yksikön tuotantokustannuksien sijasta yksiköt ”hinnoitellaan” ympäristöselosteista saatavilla rakennusosa- ja informaatiomodulikohtaisilla ympäristövaikutuksilla kuvaaman rakennusosan tuotannon, toimituksen ja asennuksen muodostamaa ympäristökuormitusta.

Laskentamallin periaatteita voidaan jälkikäteen laajentaa sisältämään muita ympäristövaikutusten arvioinnissa käytettyjä mittareita.

6.1.2 Menetelmän yhteenveto

Rakennusten ympäristövaikutusten arvioinnin menetelmäksi ohjelmointivaiheessa on muodostettu seuraava:

1. Toimintokuvaukset mallinnetaan toiminnallisiksi tiloiksi.
2. Toiminnalliset tilat mallinnetaan rakennusosiksi vastaavine määrineen.
3. Rakennusosille asetetaan arvioidut käyttöiät käytön kuormitustilanteen perusteella ja arvioidaan jokaisen rakennusosan tai -järjestelmän uusimiskerrat asetetun käyttöiän mukaisesti.

4. Käytönaikainen energian ja vedenkulutus mallinnetaan Suomen rakennusmääräyskoelman laskentatapojen mukaisesti.
5. Rakentamisvaiheen ja purkuvaiheen ympäristövaikutukset arvioidaan arvioimalla työssä tarvittavan kaluston ja tilapäisten rakennelmien ympäristövaikutus sekä arvioimalla kuljetusten ja asennuksen tai jätteenkäsittelyn ympäristövaikutuksen.
6. Rakennuksen elinkaaren ympäristövaikutukset lasketaan standardien laskentasääntöjen mukaisesti, eli summaamalla rakennusosien ympäristövaikutukset vaiheittain.

6.2 Tulosten yhteenveto

Työn tavoitteena oli esittää tapa, millä ohjelmointivaiheessa olisi mahdollista arvioida rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälki. Työ on tutkinut mitä rakennusten ympäristövaikutuksien arvioinnissa on standardien mukaan huomioitava, täydentänyt standardeissa esitettyjä menetelmiä julkaistun tutkimuksen perusteella ja näiden mukaisesti esittänyt tavan, jolla rakennuksen hiilijalanjälki voidaan rakennushankkeen ohjelmointivaiheessa huomioida.

Yhteys ympäristövaikutusten ja kustannustekijöiden välillä on muodostettava, jotta ympäristövaikutusten hinnoittelu voidaan kohdistaa tuotteille ja palveluille (Buyle et al. 2013). Laskentamallin edellisessä luvussa esitetyt periaatteet luovat tämän yhteyden. Rakennusosat ovat johdettavissa tilasta ja kaikki rakennuksen elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset on kohdistettavissa tilaan joko suoraan rakennusosien kautta tai allokoimalla ympäristövaikutukset tiloille.

Standardin vaatimusten mukaan (luku 2.2.4) tulee toiminnallisen yksikkö olla monen mittarin yhdistelmä, jolloin arvioinnissa käytettävä toiminnallinen yksikkö on esitettävä tuloksissa selkeästi. Edellisessä luvussa esitetyn esimerkkilaskelman ympäristövaikutusten toiminnallisesta yksiköstä voisi olla *"toimisto, 600 henkilöä, päiväkäyttö (8h/arkipäivä), 8m²/työpiste, sisälämpötila 22 °C +/- 2°, rakennuksen pitoikä 80 v"*. Näistä toimiala [toimisto], mitoitin [600 henkilöä], käyttöaste [75 % työtiloissa, 50 % kokoustiloissa] ja sisäilmaston ominaisuusvaatimukset [sisälämpötila 22 °C +/- 2°] toimivat rakennusvaiheen ympäristövaikutusten laskennan lähtötietoina.

Mallin täsmentyvä rakenne tarkoittaa, että kaikkien edellä mainittujen tasoisten tekijöiden muutokset vaikuttavat hiilijalanjäljen arvioon. Tätä ei ole aiemmin onnistuttu ohjelmointivaiheessa tekemään ilman erillistä suunnittelutyöpanosta.

7 Johtopäätökset

7.1 Työn tulosten yhteenveto

Työn tarkoitus ei ollut esitellä valmista hiilijalanjäljen laskentamallia vaan tuoda esille, että rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen laskentamallin muodostaminen on mahdollista jo hankesuunnitelman perusteella osana rakennuksen tavoitehinta-arvion muodostamista. Tällöin päätöksentekijöille voidaan tarjota kustannusinformaation lisäksi ympäristövaikutusten arviota, mikä saattaa ohjata rakennukseen liittyvää päätöksentekoa lähemmäksi EU:n asettamia tavoitteita.

Työn tuloksena on muodostettu periaatteet, joiden mukaisesti ohjelmointivaiheessa voidaan laatia arvio rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljelle. Periaatteet perustuvat kestävästä rakentamisesta standardiperheen laatimaan viitekehykseen ja julkaistuun kirjallisuuteen.

7.2 Työn tulosten merkitys

Rakennuksen elinkaaren ympäristövaikutusten arviointi on tähän mennessä perustunut suunnitelmista saataviin lähtötietoihin, jolloin se ei ole ollut ohjelmointivaiheessa mahdollista tehdä muutoin kuin hyvin karkealla tasolla, jolloin rakennuksen monimutkaisuuteen sisältyvät vaikutussuhteet ovat todennäköisesti jääneet kokonaan huomioimatta. Tämä työ on esittänyt periaatteet, minkä mukaan rakennuksen hiilijalanjäljen arviointi voidaan tehdä osana ohjelmointivaihetta. Tällöin päätöksentekijät saavat päätöksenteon tueksi informaatiota, mitä ei aikaisemmin ole pystytty tuottamaan rakennusosien tai -järjestelmien muutostarkkuudella. Tuotettavaa informaatiota on mahdollista hyödyntää sekä arvioimaan tehtyjen päätösten vaikutusta että eri hankkeiden välisen vertailun lähtökohtana. Hiilijalanjäljen tavoitteen asettamisen mallin täsmentyvä rakenne mahdollistaa myös hiilijalanjälkiperusteisen suunnittelun ohjauksen, joka mahdollistaa ratkaisujen vertailun rakennuksen elinkaaritasolla ehdotussuunnittelusta toteutukseen.

Ympäristötavoitteiden painottaminen on tähän asti ollut haastavaa ja kustannuksia vievää. Ympäristösertifikaatit voivat maksaa laajoissa hankkeissa satoja tuhansia euroja. Itse alustavan selvityksen laatiminen sitoo jo tilaajan kustannuksia sekä vaatii suunnitelmatason lähtötietoja. Tämän työn malli tuottaa rakennusten ympäristövaikutukset perustuen tavoitehintamenettelyyn lähtötietoihin, jolloin tulokset syntyvät tavoitehinnan määrittelyn sivutuotteena. Muut käytävissä olevat mallit ovat omia ohjelmistojaan, jolloin niiden hyödyntäminen arvioiden asettamisessa aiheuttaa lisätyötä, sertifiointiprosesseista puhumattakaan.

7.3 Työn kriittinen arviointi

Hiilijalanjäljen arviointimalli perustuu standardien mukaiseen viitekehykseen, jossa lähtötietoina hyödynnetään standardin EN 15804 mukaisia ympäristöselosteita. Harva valmistaja on työn julkaisuhetkeen mennessä laatinut standardin mukaisen ympäristöselosteen mikä tarkoittaa, että lähtötietojen puutteen vuoksi ei voida arvioida esitettyjen periaatteiden ja tulosten välistä yhteyttä. Arviointimallin tarkkuus on myös suoraan verrannollinen ympäristöselosteissa esitetyn datan tarkkuudesta, jolloin rakennusosa- tai vaihekohtaista informaatiota ei tulisi eriyttää mallin tuloksista vaan informaatiota tulee käsitellä kokonaisuutena.

Työssä ei ole esitetty kaikkia laskentaan vaadittavia menetelmiä ja työkaluja. Laskentaesimerkit ovat yksittäisiä laskelmia ja niiden tavoitteena on ollut periaatteiden havainnollistaminen, ei tavoitearvion osan muodostaminen kokonaiselle esimerkkihankkeelle. Tästä syystä tulosten arvot jättää huomiotta tai vähintään noudattaa varovaisuutta arvojen tulkinnassa. Mallin toimivuutta tulisi kokeilla rakennustasolla vertailemalla tässä työssä esitettyjen periaatteiden mukaisesti tuotettuja tuloksia muiden arviointimenetelmien tuloksien kanssa.

Esimerkeissä käytetty data on julkisesti käytössä olevaa, kolmannen osapuolen verifioimaa, jolloin sen luotettavuus voitaneen todeta olevan tavoitteen asettamisen tasolla riittävää. Joidenkin osa-alueiden, esimerkiksi jätteenkäsittelyn osalta, on kuitenkin esimerkkien data jouduttu perustamaan muiden tutkimustuloksiin, joita ei tämän työn puitteissa ole pystytty verifioimaan. Tämä ei ole työn tavoitteen mukaista, mutta välttämätöntä arviointimallin periaatteiden havainnollistamiseksi.

Tavoitteen asettamisen tasolla on työssä periaatteet muodostettu siten, että rakennusosista on valittu yksi tavanomainen ratkaisu kuvaaman kyseistä rakennusosaryhmää. Tämä vastaa standardien vaatimuksia hankesuunnittelutason arvioinnille, mutta tarkoittaa, että rakennusosien sisäistä vaihtelua ei ole arviossa huomioitu. Tällöin malli ei suoraan mahdollista suunnitteluratkaisujen välistä vertailua. Periaatteiden mukaista mallia laadittaessa tulisikin arvioida olisiko tarkoituksenmukaista huomioida mallissa kaikki yleiset suunnitteluratkaisut viiterakenteiden lisäksi. Tällöin suunnitteluratkaisujen vaikutus olisi arvioitavissa ja suunnittelun ohjaus mahdollista mallin tulosten perusteella.

7.4 Jatkotutkimusehdotukset

Mallin periaatteiden käytännön testaus ei ollut mahdollista tehdä tämän työn puitteissa, jolloin se on ensisijainen jatkotutkimuksen kohde.

Kestävän rakentamisen standardiperheen julkaisun myötä on aiemman tutkimuksen rooli muuttunut määrittelevästä tutkimuksesta tukevaksi ja soveltavaksi tutkimukseksi. Tulevaisuudessa on tärkeää standardien mukaisten määritelmien kuten rajausten ja lähtötietojen muodostamisen tulkintaan liittyvä tutkimus.

Esitetty malli perustuu oletukseen standardin EN 15804 mukaisten ympäristöselosteiden yleistyisestä. Mikäli tuotevalmistajilta ei saada kattavasti standardin mukaisia ympäristöselosteita, on vaihtoehtoisten tietolähteiden haku ja niiden soveltaminen kriittinen tutkimuskohde mallin muodostamisen kannalta.

Lähdeluettelo

Beer, S. 1966. Decision and Control, the meaning of operational research and management cybernetics. John Wiley & Sons. London.

Buyle, M., Braet, J., ja Audenaert, A. 2013. Life Cycle Assessment in the construction sector: a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 26, s. 379-388.

Cabeza, L., Rincón, L., Vilariño, V., Pérez, G. ja Castell, A. 2014. Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: a review. Renewable and sustainable energy reviews, Vol. 29, s. 394-416.

Ecotransit.org. EcotransIT World Initiative. Rahdin ympäristövaikutusten laskentatyökalu. <http://ecotransit.org/about.en.html>. [Haettu 8.11.2014]

Erlandsson, M. & Borg, M. 2003. GenericLCA-methodology applicable for buildings, constructions and operation services – today practice and development needs. Building and Environment 2003, Vol. 7, s. 919–938.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU, annettu 19. päivänä toukokuuta 2010, rakennusten energiantehokkuudesta. http://europa.eu/legislation_summaries/internal_market/single_market_for_goods/construction/en0021_fi.htm [Haettu 22.10.2014]

ERA 17. 2010. Energiaviisaan rakennetun ympäristön aika 2017. Loppuraportti. ISSN 1796-7112. Ympäristöministeriö, SITRA ja Tekes. Helsinki. 92 s.

Haahtela, Y. 1981. Talonrakennushankkeen normaalihintamenettely. Helsingin Teknillinen Korkeakoulu. Rakentamistalouden laboratorio. Raportti 44. Helsinki. 169 s.

Haahtela, Y. & Kiiras, J. 2014. Talonrakennuksen kustannustieto®. Haahtela-kehitys Oy. Helsinki. 390 s. ISBN 978-952-5403-21-3.

Helen. 2014. Kaukolämpötuotantoenergian alkuperä vuodelta 2013. <https://www.helen.fi/Kotitalouksille/Neuvoa-ja-tietoa/Energia-ja-ymparisto/Energiantuotanto/Energian-alkupera/> [Haettu 16.11.2014]

Heljo, J., Nippala, E. & Nuuttila, H. 2005. Rakennusten energiankulutus ja CO₂-ekv. päästöt Suomessa. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakentamistalouden laitos. Raportti 2005:4. Tampere. 72 s. + liitt. 32 s.

Häkkinen, T., Vares, S., Vesikari, E., Saarela, K., Tattari, K. & Säteri, J. 1997. Rakennusmateriaalien ja -tuotteiden ympäristövaikutukset ja niiden arviointiperusteet. Valtion teknillinen

tutkimuskeskus. VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1836. Espoo. 138 s. + liitt. 10 s.

Junnila, S., Horvath, A. & Guggemos, A. 2006. Life-Cycle Assessment of Office Buildings in Europe and the United States. *Journal of Infrastructure Systems*, Mar. 2006, Vol.12(1), s.10-17.

Junnila & Saari. 1998. Environmental burdens of a Finnish apartment building by building elements in the context of LCA. Helsingin Teknillinen Korkeakoulu. Rakentamistalouden laboratorio. Raportti 167. Helsinki.

Kankainen, J. & Junnonen, J.-M. 2001. Rakennuttaminen. Rakennustieto Oy. Helsinki. 101 s. + liitt. 41 s.

Pennanen, A. 2004. Workplace Planning – User Activity Based Workspace Definition As An Instrument For Workplace Management in Multi-user Organizations. Haahtela-kehitys Oy. Helsinki. 158 s.

Pennanen, A., Ballard, G. & Haahtela, Y. 2011. Target Costing and Designing to Targets in construction. *Journal of Financial Management of Property and Construction*, Vol. 16(1), s. 52-63.

Ruuska, A., Häkkinen, T., Vares, S., Korhonen, M.-R. & Myllymaa, T. 2013. Rakennusmateriaalien ympäristövaikutukset. Selvitys rakennusmateriaalien vaikutuksesta rakentamisen kasvi-huonekaasupäästöihin, tiivistelmäraportti. Ympäristöministeriön raportteja 8/2013. ISBN 978-952-11-4154-6. Ympäristöministeriö. Helsinki.

Saari, A. 2000. Ympäristökuormitusten ohjaus talorakennushankkeissa: Liike- ja palvelurakennukset. Teknillisen korkeakoulun rakentamistalouden laboratorion raportteja 188. Espoo. 67 s.

SITRA. 2010. Rakennetun ympäristön energiankäyttö ja kasvihuonekaasupäästöt. Sitran selvityksiä 39. 125 s.

Standardit ja ohjekortit

SFS-EN ISO 14040. 2006. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet. Suomen Standardisoimisliitto. Helsinki.

SFS-EN ISO 14064-1. 2012. Greenhouse gases. Part 1: specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals. Suomen Standardisoimisliitto. Helsinki.

SFS-EN 15804. 2012. +A1.2013. Sustainability of construction works. Environmental product declarations. Core rules for the product category of construction products. Suomen Standardisoimisliitto. Helsinki.

SFS-EN 15643-1. 2012. Sustainability of construction works. Sustainability assessment of buildings. Part 1: General framework. Suomen Standardisoimisliitto. Helsinki.

SFS-EN 15978. 2011. Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method. Suomen Standardisoimisliitto. Helsinki.

ISO 15686-1. 2011. Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 1: General principles and framework. ISO. Geneva, Switzerland.

ISO 15686-2. 2012. Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 2: Service life prediction procedures. ISO. Geneva, Switzerland.

ISO 15686-3. 2002. Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 3: Performance audits and reviews. ISO. Geneva, Switzerland.

ISO 15686-1. 2008. Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 5: Life-cycle costing. ISO. Geneva, Switzerland.

RT 10-10387. Talonrakennushankkeen kulku. 1989. Rakennustietosäätiö RTS. Helsinki.

SMRK D5. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehotarpeen laskenta. Rakennetun ympäristön osasto. Ympäristöministeriö. Helsinki.

Muut rakennusten ympäristövaikutusten arviointityökalut ja tietokannat:

Institut Bauen und Umwelt. <http://construction-environment.com/hp6241/Why-EPDs.htm> [Haettu 16.9.2014]

IMPACT. Laatija BRE Global Limited. Watkins, Yhdistynyt Kuningaskunta. Laatija <http://www.impactwba.com/>. [Haettu 12.11.2014]

ILMARI. Laatija VTT ja Pöyry. Espoo. <http://www.vtt.fi/sites/ilmari/index.jsp>. [Haettu 12.11.2014]

GaBi Software. Laatija PE International. Stuttgart, Saksa. <http://www.gabi-software.com/finland/index/>. [Haettu 12.11.2014]

B-PATH. Laatija Lawrence Berkeley National Laboratory. Berkeley, Kalifornia, Yhdysvallat. <http://bpath.lbl.gov/>. [Haettu 14.11.2014]

Liiteluettelo

Liite 1. Kipsilevyväliseinä, ympäristöseloste: Umwelt-systemdeklaration, Metallständervände mit Gipsplatten/Gipsfaserplatten. Institut Bauen und Umwelt. Ausstellungsdatum 14.1.2013. 12 sivua.

Liite 2. Lifeline-matto, ympäristöseloste: Resilient floor covering based upon synthetic thermoplastic polymers according to EN 14565. Upofloor Oy. Issue date 1.4.2013. 6 sivua.

Liite 3. Kuljetusten ympäristövaikutusten laskentatyökalun esimerkkilaskennan tulostus: Eco-transIT.org, <http://ecotransit.org/calculation.en.html>. 3 sivua.

UMWELT-SYSTEMDEKLARATION

nach ISO 14025 und EN 15804

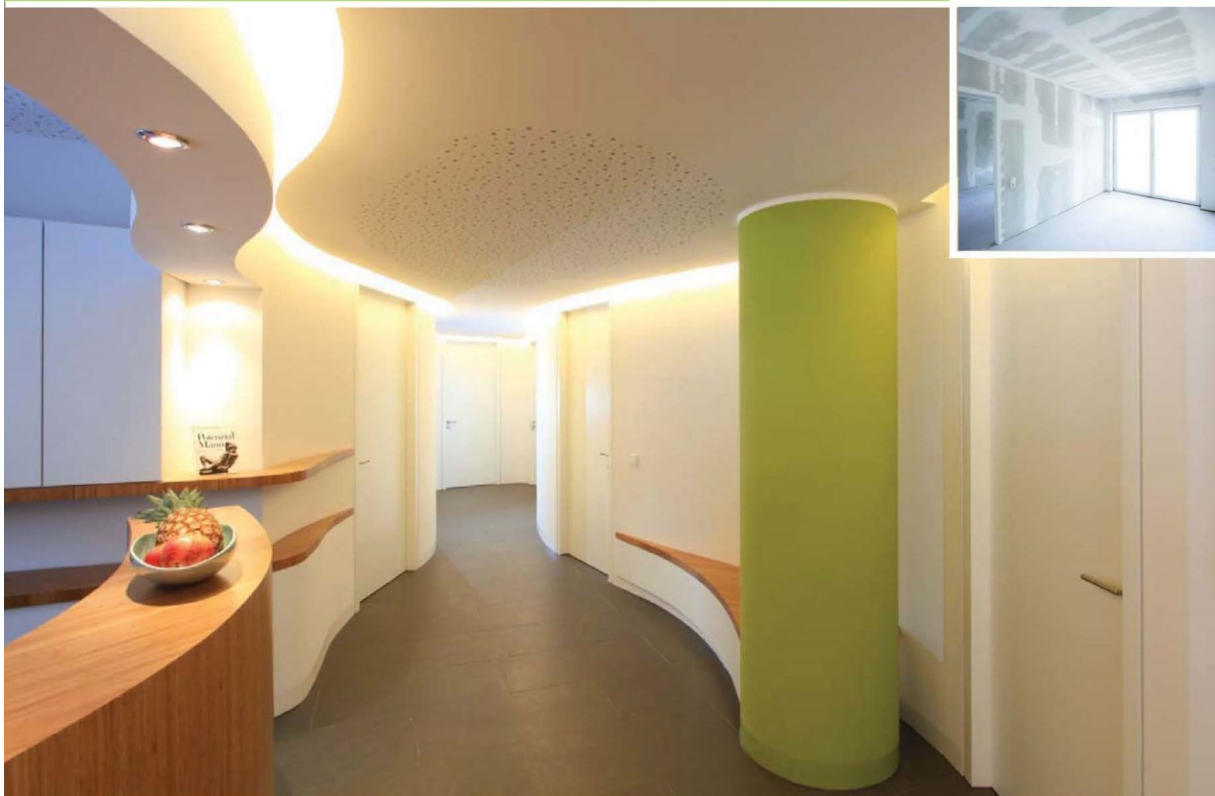
Deklarationsinhaber	Bundesverband der Gipsindustrie e.V.
Herausgeber	Institut Bauen und Umwelt (IBU)
Programmhalter	Institut Bauen und Umwelt (IBU)
Deklarationsnummer	ESD-BVG-2013111-D
Ausstellungsdatum	14.01.2013
Gültigkeit	13.01.2018

Metallständerwände mit Gipsplatten/Gipsfaserplatten
Bundesverband der Gipsindustrie e.V.

www.bau-umwelt.com



Institut Bauen
und Umwelt e.V.



1 Allgemeine Angaben

Bundesverband der Gipsindustrie e.V.

Programmhalter

IBU - Institut Bauen und Umwelt e.V.
Rheinufer 108
D-53639 Königswinter

Deklarationsnummer

ESD-BVG-2013111-D

Diese Deklaration basiert auf den Produktkategorienregeln:

PCR Teil B: Anforderungen an die EPD für Raumtrennsysteme, 2013-01
(PCR geprüft und zugelassen durch den unabhängigen Sachverständigenausschuss)

Ausstellungsdatum

14.01.2013

Gültig bis

13.01.2018



Prof. Dr.-Ing. Horst J. Bossenmayer
(Präsident des Instituts Bauen und Umwelt e.V.)



Prof. Dr.-Ing. Hans-Wolf Reinhardt
(Vorsitzender des SVA)

Metallständerwand mit Gipsplatten/ Gipsfaserplatten

Inhaber der Deklaration

Bundesverband der Gipsindustrie e.V.
Kochstraße 6-7
10969 Berlin

Deklariertes Produkt/deklarierte Einheit

Metallständerwand 3m x 6m (18 m²) mit
Gipsplatten/Gipsfaserplatten

Gültigkeitsbereich:

Die vorliegende ESD gilt für Metallständerwände mit Gipsplatten und Gipsfaserplatten. Bei den zugrundeliegenden Verbrauchsdaten der benötigten Produkte für die deklarierten Metallständerwände handelt es sich um spezifische Werte für die deklarierten Wände. Die technischen Daten wurden aktuellen Informationen der Hersteller von Komponenten für Metallständerwände entnommen.

Verifizierung

Die CEN Norm DIN EN 15804 dient als Kern-PCR

Verifizierung der EPD durch eine/n unabhängige/n
Dritte/n gemäß ISO 14025

☐ intern

☒ extern



Dr.-Ing. Wolfram Innus
(Unabhängiger Prüfer vom SVA bestellt)

2 Produkt

2.1 Produktbeschreibung

Die Deklaration umfasst 4 Varianten von Metallständerwänden, die mit 12,5 mm dicken Gipsplatten oder Gipsfaserplatten einfach oder doppelt beplankt sind. Als Dämmstoff zwischen den Metallständern kommt 60 mm Mineralwolle zum Einsatz. Anschlussdichtung, Spachtel, Schnellbauschrauben und Nageldübel sind in der Deklaration der Wände begriffen.

Der Aufbau ist also wie folgt zu beschreiben:

- Metallständer CW 75
- Anschlussprofile UW 75
- 60 mm Mineralwolle-Dämmstoff

und

- eine Beplankung je Wandseite bei

Wand 1) 1 x 12,5 mm Gipsplatten (GKB)

Wand 2) 2 x 12,5 mm Gipsplatten (GKB)

Wand 3) 1 x 12,5 mm Gipsfaserplatte

Wand 4) 2 x 12,5 mm Gipsfaserplatte

2.2 Anwendung

Die genannten Konstruktionen kommen als nichttragende Innenwände in öffentlichen, privaten oder gewerblich genutzten Gebäuden zum Einsatz.

2.3 Technische Daten

Technische Daten zu den jeweiligen Wandaufbauten sind den Informationen der Hersteller zu entnehmen. Aufgrund der ständigen Fortschreibung technischer Normen der einzelnen Komponenten des Systems erfolgt keine Aufführung im Rahmen der Umwelt-Systemdeklaration.

Bei den folgenden Herstellern können aktuelle technische Informationen abgefragt werden:

Danogips GmbH + Co. KG www.danogips.de

Fermacell GmbH www.fermacell.de

Knauf Gips KG www.knauf.de

Siniat GmbH www.siniat.de

Saint-Gobain Rigips GmbH www.rigips.de

2.4 Inverkehrbringung/Anwendungsregeln

Norm(en) für Innenwände

DIN 4103-1 „Nichttragende innere Trennwände; Anforderungen, Nachweise“

2.5 Lieferzustand

Alle für den Wandaufbau erforderlichen Komponenten sind einzeln erhältlich.

Eine Zusammenstellung aller erforderlichen Materialien in einem Versand ist über den Baustofffach-

handel oder die Unternehmen der Gipsindustrie möglich.

Die gelieferten Produkte können zur Erstellung von Wänden mit unterschiedlichen Formaten und Oberflächenqualitäten verwendet werden. Für die Deklaration wird eine Wand mit den Maßen: B x H = 6 m x 3 m (A = 18 m²) verwendet, die nach der Oberflächenqualitätsstufe Q2 (Spachtelfugen ohne Bewehrungsstreifen) verspachtelt wird.

2.6 Grundstoffe/Hilfsstoffe

Grundstoffe/Hilfsstoffe führen nicht zu einer gefährstoffrechtlichen Kennzeichnungspflicht von Gipsplatten, Gipsfaserplatten, Metallständern, Anschlussprofilen, Schrauben oder Fugenspachtel.

Für keine der verwendeten Komponenten sind besonders besorgniserregende Stoffe in Gehalten über 0,1 Gew.-% zu deklarieren /ECHA 2011/.

Alle Hersteller von Gipsplatten, Gipsfaserplatten und Fugenspachtel sowie Mineralwolle bieten darüber hinaus Datenblätter in der Form von Sicherheitsdatenblättern an, auch wenn es sich um Erzeugnisse oder Gemische handelt, für die aus rechtlichen Gründen kein Sicherheitsdatenblatt wegen fehlender gefährstoffrechtlicher Kennzeichnung erforderlich ist.

2.7 Herstellung

Die Fertigstellung des Wandaufbaues erfolgt auf der Baustelle. Zunächst werden für den Wandaufbau die Rahmenprofile (UW-Profil) mit Anschlussdichtung ggf. zugeschnitten und an der tragenden Konstruktion durch Schrauben oder Nägel (Schussgerät) befestigt. Anschließend werden die Ständerprofile (CW-Profil) ggf. zugeschnitten und lose oder mit einer Profilverbindingsszange vercrimpt in die Profile eingefügt. Danach werden die Gipsplatten/Gipsfaserplatten, sofern notwendig, zugeschnitten und zunächst einseitig, einfach bzw. doppelt beplankt, mit Schnellbauschrauben oder Nägeln an den Ständern unter Beachtung der vom Hersteller angegebenen Abstände befestigt. Nach Fertigstellung einer Seite wird der Dämmstoff vor Ort geschnitten und zwischen die Ständer eingepasst. Nach Fertigstellung der Dämmung erfolgt analog zur ersten Seite die Beplankung der zweiten Seite (einfach bzw. doppelt) mit Gipsplatten oder Gipsfaserplatten. Die Verspachtelung der Oberflächen (Fugen und Befestigungsmaterialien) erfolgt nach der Qualitätsstufe Q2 mit Fugenspachtel.

Das Flächengewicht der Gipsplatten/Gipsfaserplatten beträgt 10 kg/m². Für die einfach beplankten Wände ergibt sich ein Gewicht von ca. 440 kg/Wand bzw. 24 kg/m² und für die doppelt beplankten ein Gewicht von ca. 800 kg/Wand bzw. 45 kg/m².

Hinsichtlich der Herstellungsprozesse der Gipsplatten wird auf die beim Bundesverband der Gipsindustrie e.V. /EPD Gips 2009/ bzw. für die Mineralwolle auf die für Glaswolle bei IBU /EPD-SDT-2012112-D 2012/ vorhandenen Umwelt-Produktdeklarationen verwiesen.

2.8 Umwelt und Gesundheit während der Herstellung

Beim Zuschneiden, Sägen oder Schleifen der Gipsprodukte ist der Arbeitsplatzgrenzwert von 6 mg/m³ alveolengängiger Staub (A-Staub) für Calciumsulfat als Schichtmittelwert einzuhalten; gemäß TRGS 900 „Arbeitsplatzgrenzwerte“ (Ausgabe Januar 2006, zuletzt geändert und ergänzt GMBI 2012 S. 11 [Nr. 1]).

Hierzu sind ggf. Staubminderungsmaßnahmen oder organisatorische Maßnahmen, orientiert an der TRGS 559 „Mineralischer Staub“ (Ausgabe Februar 2010) und der dort beschriebenen Expositionskategorien vorzusehen.

Materialbedarf der deklarierten Metallständerwände aus Gipsplatten				
Produkt	Einfach beplankt		Doppelt beplankt	
Gipsplatten (12,5mm)	36,0 m ²	360 kg	72,0 m ²	720 kg
Metallständer CW 75	32,4 m	27,0 kg	32,4 m	27,0 kg
Anschlussprofile UW 75	14,4 m	10,3 kg	14,4 m	10,3 kg
Nageldübel (6*40mm)	28,8 Stk	0,12 kg	28,8 Stk	0,12 kg
Anschlussdichtung	21,6 m	0,78 kg	21,6 m	0,78 kg
Mineralwolle (60 mm)	18,0 m ²	32,4 kg	18,0 m ²	32,4 kg
Schnellbauschraube TN 25 mm	360 Stk	0,52 kg	144 Stk	0,21 kg
Schnellbauschraube TN 35 mm			360 Stk	0,68 kg
Fugenspachtel	10,8 kg	10,8 kg	17,6 kg	17,6 kg

Materialbedarf der deklarierten Metallständerwände aus Gipsfaserplatten				
Produkt	Einfach beplankt		Doppelt beplankt	
Gipsfaserplatten (12,5mm)	36,0 m ²	360 kg	72,0 m ²	720 kg
Metallständer CW 75	32,4 m	27,0 kg	32,4 m	27,0 kg
Anschlussprofile UW 75	14,4 m	10,3 kg	14,4 m	10,3 kg
Nageldübel (6*40mm)	28,8 Stk	0,12 kg	28,8 Stk	0,12 kg
Anschlussdichtung	21,6 m	0,78 kg	21,6 m	0,78 kg
Mineralwolle (60 mm)	18,0 m ²	32,4 kg	18,0 m ²	32,4 kg
Schnellbauschraube 30 mm	360 Stk	0,76 kg	144 Stk	0,30 kg
Schnellbauschraube 40 mm			360 Stk	0,94 kg
Fugenspachtel	7,2 kg	7,2 kg	9,4 kg	9,4 kg

2.9 Produktverarbeitung/Installation

Die Verarbeitung der Produkte erfolgt nach den einschlägigen Merkblättern des Bundesverbandes der Gipsindustrie e.V. und der Hersteller wie unter Kapitel 2.7 beschrieben.

2.10 Verpackung

Gipsplatten/Gipsfaserplatten werden palettiert und nicht verpackt angeliefert. Die verwendeten Holzpaletten gibt es als Mehrweg- oder Einwegpaletten. Die Metallständerprofile werden lose und gebündelt angeliefert. Mineralwolle wird in Rollen und in Kunststoffolie verpackt angeliefert. Die Verpackung wird über ein Rücknahmesystem entsorgt. Fugenspachtel wird als Sackware bereitgestellt. Baustoffsäcke werden dem Papierrecycling über ein Rücknahmesystem zugeführt. Schrauben und weitere Kleinteile werden in Kartonverpackungen oder anderen Kleinverpackungen sowie auch lose angeboten. Die Anlieferung an Baustellen erfolgt per LKW.

2.11 Nutzungszustand

Die Nutzungsdauer der hier betrachteten nichttragenden Innenwandkonstruktionen ist für die gesamte Lebensdauer des Gebäudes vorgesehen. Eine Beanspruchung von außen erfolgt nicht.



Die Wandkonstruktionen können zum Beispiel nach Fertigstellung fachgerecht verputzt, mit Fliesen versehen, tapeziert oder gestrichen werden. Diese nachträglichen Innenwandbeschichtungen werden nicht berücksichtigt, schützen aber die darunter liegende Wandkonstruktion gegenüber den meisten äußeren Einflüssen.

Die Wandkonstruktionen gestatten einen Abbruch zum Zweck der Veränderung des Grundrisses zum Beispiel für die Anpassung oder Umnutzung des Gebäudes innerhalb der tragenden Konstruktionen ebenso wie die nachträgliche Einfügung von Türen oder Durchbrüchen. Diese ausschließlich durch den Nutzer veranlassten Änderungen werden hier nicht betrachtet.

2.12 Umwelt & Gesundheit während der Nutzung

Während der Nutzungsphase erfolgt keine Freisetzung von gefährlichen Stoffen oberhalb der Grenzwerte des Prüfschemas der AgBB. Als Beispiel wurde die Wand 1 - allerdings unter Verwendung von imprägnierten Gipsplatten mit höheren Gehalten an organischen Stoffen und ohne Metallständer – vom Fraunhofer Institut für Bauphysik untersucht /Scherer 2010/. Das Untersuchungsergebnis zeigt, dass von den Konstruktionen keinerlei Beeinträchtigungen des Innenraumes ausgehen.

2.13 Referenz-Nutzungsdauer

Die Referenz-Nutzungsdauer nach der Tabelle „Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach dem Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)“ des BBSR, Stand 03.11.2011, beträgt für alle hier aufgeführten Wände gemäß Code-Nummer 342.411 „Nichttragende Innenwände – Ständersysteme“ ≥ 50 Jahre.

2.14 Außergewöhnliche Einwirkungen

Brand

Gipsplatten mit geschlossener Oberfläche und Gipsfaserplatten werden gemäß EN 13501-1 hinsichtlich ihres Brandverhaltens in der Regel als **A2-s1, d0** (**s1** = kein Rauch, **d0** = kein brennendes Abfallen/Abtropfen) klassifiziert.

Nach DIN 4102-4 gehören sie zur Baustoffklasse A2 „nicht brennbar“.

Wasser

Alle Gipsprodukte sind, sofern nicht vom Hersteller ausdrücklich für diesen Zweck vorgesehen, vor andauernder Durchfeuchtung zu schützen. Dies gilt auch für die beschriebenen Wandaufbauten.

Für die Beseitigung von durch Überflutung entstandenen Schäden an Bauteilen aus Gips ist ein Merkblatt /Bundesverband der Gipsindustrie/ beim Bundesverband der Gipsindustrie e.V. verfügbar.

Mechanische Zerstörung

Mechanische Beschädigungen können grundsätzlich aufgrund der Reparaturfreundlichkeit der Gipsplatten oder Gipsfaserplatten mit Fugenspachtel ausgeglichen werden, ohne dass die Funktionsfähigkeit der Wand beeinträchtigt wird. Gipsplatten oder Gipsfaserplatten können bei größeren Beschädigungen problemlos gegen neue Platten ausgetauscht werden, ohne die darunter liegende Ständer-/Dämmkonstruktion zu verändern.

Nachnutzungsphase

Wiederverwendung

Die Wandaufbauten sind nicht in unveränderter Form für die gleiche Anwendung wieder verwendbar.

Für die übrigen Nachnutzungen / Entsorgungen wird eine Trennung in die Komponenten Gipsplatte/Gipsfaserplatte, Dämmstoff und Metall bereits auf der Baustelle empfohlen.

Weiterverwendung

Mineralwolle-Dämmstoffe sind in unveränderter Form für andere Dämmwendungen wieder verwendbar. So können Mineralwolle-Dämmstoffe z. B. als so genannte „Stopfwole“ weiterverwendet werden.

Die Gipsbaustoffe können nach Zerkleinerung gemäß Absprache mit dem Abnehmer als Rekultivierungsmaterial im Bergbau, zur Verwertung auf Deponien, als Bodenverbesserer, Düngemittelkomponente oder Abbinderegler für Zement unter Beachtung behördlicher Vorschriften weiter verwendet werden.

Wiederverwertung

Das für Metallständer und Anschlussprofile genutzte verzinkte Blech kann dem Metallrecycling zugeführt werden.

Mineralwolle-Dämmstoffe können im Falle des sortenreinen Vorliegens dem Herstellungsprozess wieder zugeführt werden.

Gipsprodukte können nach Behandlung in speziell für Gipsabfälle vorgesehenen Recyclinganlagen direkt nach Zerkleinerung oder nach zusätzlicher Abtrennung des Kartons der Gipsplatten dem Herstellungsprozess neuer Platten zugeführt werden. Alternativ kann der wiedergewonnene Gips in den unter Weiterverwendung angesprochenen Bereichen eingesetzt werden.

Diese Recyclinganlagen für Gipsabfälle sorgen auch für die Magnetabscheidung noch enthaltener Schrauben oder Nägel. Dort abgetrennter Karton kann als Sekundärbrennstoff verwendet oder dem Papierrecycling zugeführt werden, abgeschiedene Metalle werden als Schrott verwertet.

2.15 Entsorgung

Die Abfall-Schlüsselnummern in der Kategorie 17 Bau- und Abbruchabfälle lauten wie folgt:

Für das Ständersystem einschließlich Anschlussprofile und Schrauben:

17 04 05 Eisen und Stahl

Für Mineralwolle-Dämmstoffe:

17 06 04 Dämmmaterial mit Ausnahme desjenigen, das unter 17 06 01 und 17 06 03 fällt

Für Gipsplatten/Gipsfaserplatten einschließlich Fugenspachtel:

17 08 02 Baustoffe auf Gipsbasis mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 08 01 fallen

Alle genannten Abfälle halten die Ablagerungsbedingungen ab Deponieklasse 1 der Deponieverordnung für den Fall der Beseitigung ein.

2.16 Weitere Informationen

www.gips.de

3 LCA: Rechenregeln

3.1 Deklarierte Einheit

Die Deklaration bezieht sich auf Metallständerwände mit den Maßen $B \times H = 6 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ ($A = 18 \text{ m}^2$), die nach der Oberflächenqualitätsstufe Q2 (Spachelfugen ohne Bewehrungsstreifen) verspachtelt sind.

3.2 Systemgrenze

Typ der ESD: Wiege bis Bahre

Die Module A1-A3 enthalten die Rohstoffproduktion und deren Transporte, die Energiebereitstellung, sowie die Herstellungsprozesse, die für die Produktion sämtlicher Komponenten für die Metallständerwände aus Gipsplatten oder Gipsfaserplatten notwendig sind.

Der Transport der Komponenten zur Baustelle ist in Modul A4 enthalten, der Aufbau der Wand, inklusive Entsorgung von Verpackungen, in A5. Der Abbruch der Wände sowie die Verwertung und Entsorgung der Materialien ist in Modul C enthalten. Gutschriften infolge der Entsorgung und Verwertung sind dem Modul D zugeordnet.

3.3 Abschätzungen und Annahmen

Für alle benötigten Materialien und für die Entsorgung wurden Annahmen zu den Transportaufwendungen getroffen.

3.4 Abschneideregeln

Es wurden alle Komponenten zum Aufbau der Metallständerwände sowie der für den Aufbau benötigte Strom und das benötigte Wasser berücksichtigt.

Damit wurden auch Stoff- und Energieströme mit einem Anteil von kleiner als 1 Prozent berücksichtigt.

Es kann davon ausgegangen werden, dass die vernachlässigten Prozesse weniger als 5% zu den berücksichtigten Wirkungskategorien beigetragen hätten.

3.5 Hintergrunddaten

Zur Modellierung der Produktion aller Komponenten wurde das von der PE INTERNATIONAL AG entwickelte Software-System zur ganzheitlichen Bilanzierung "GaBi 5" eingesetzt /GaBi 5 2012/.

Die Ökobilanz wurde für den Bezugsraum Deutschland erstellt. Dies hat zur Folge, dass neben den Produktionsprozessen unter diesen Randbedingungen auch die für Deutschland relevanten Vorstufen, wie Strom- oder Energieträgerbereitstellung, verwendet wurden. Es wird der Strom-Mix für Deutschland mit dem Bezugsjahr 2008 verwendet.

3.6 Datenqualität

Alle für die Herstellung relevanten Hintergrunddatensätze wurden der Datenbank der Software GaBi 5 entnommen.

3.7 Betrachtungszeitraum

Die Datengrundlage für den Materialbedarf für die deklarierten Wände ist aktuellen Herstellerbeschreibungen aus dem Jahr 2011/2012 entnommen.

3.8 Allokation

Für den in dieser ESD modellierten Einheitsprozess des Metallständerwandeinbaus im Gebäude ergeben sich keine Allokationen. Allokationen wurden in den Hintergrunddaten zur Modellierung der benötigten Komponenten, zum Beispiel für die Strombereitstellung verwendet. Für die Bereitstellung von REA-Gips der teilweise für die Produktion von Calciumsulfat- β -Halbhydrat verwendet wird, wurde eine Allokation vermieden.

3.9 Vergleichbarkeit

Grundsätzlich ist eine Gegenüberstellung oder die Bewertung von EPD/ESD Daten nur möglich, wenn alle zu vergleichenden Datensätze nach DIN EN 15804 erstellt wurden und der Gebäudekontext, bzw. die produktspezifischen Leistungsmerkmale, berücksichtigt werden.

4 LCA: Szenarien und weitere technische Informationen

Die folgenden technischen Informationen sind Grundlage für die deklarierten Module oder können für die Entwicklung von spezifischen Szenarien im Kontext einer Gebäudebewertung genutzt werden.

Transport zur Baustelle (A4)

Für den Transport sämtlicher Komponenten der Metallständerwände wurde eine Distanz von 200 km mit dem Lastkraftwagen angenommen.

Einbau ins Gebäude (A5)

Der Einbau der Metallständerwände im Gebäude erfolgt überwiegend manuell. Das Befestigen der Gipsplatten/Gipsfaserplatten an den Metallständern erfolgt mittels Akkuschraubern und benötigt ca. 0,1 kWh für die deklarierte Wand mit den Maßen $B \times H = 6 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ ($A = 18 \text{ m}^2$). Der Wasserverbrauch liegt bei ca. 0,5 l/kg Fugenspachtel.

Für zu entsorgendes Verpackungsmaterial wurde eine generische Distanz von 50 km angenommen und zusätzlich eine Leerfahrt von 50 km.

Als Verpackungsmaterial wurden Einwegpaletten aus Holz für die Gipsplatten/Gipsfaserplatten sowie Papiersäcke für den Fugenspachtel berücksichtigt.

Für die Entsorgung der Holzpaletten wurde eine Verbrennung in einer Müllverbrennungsanlage (MVA) angenommen. Für das Altpapier wurde keine weitere Behandlung angenommen, es kann direkt für die Produktion von Karton für die Gipsplatten oder direkt für Gipsfaserplatten eingesetzt werden. Weitere Verpackungen wurden nicht berücksichtigt.

Nutzung (B)

Die Referenz-Nutzungsdauer für die Trennwände ist ≥ 50 Jahren. Die Nutzung ist in der vorliegenden ESD nicht deklariert, da sich durch die Nutzung der deklarierten Wände gewöhnlich keinerlei Umweltlasten ergeben.

Ende des Lebenswegs (C1-C4)

Transport: 50 km (eine Fahrt 100% ausgelastet und zusätzlich eine Leerfahrt).

Es wird angenommen, dass die Metallprofile vollständig dem Metallrecycling zugeführt werden. Die mineralischen Komponenten (Gipsplatten, Gipsfaserplatten, Fugenspachtel und Mineralwolle) sowie die Schrauben werden auf einer Bauschuttdeponie abgelagert. Eine Abtrennung der Schrauben von



den Gipsabfällen findet nur im Gipsrecycling statt (siehe auch Szenario Gipsrecycling).

Die Anschlussdichtung wird der Verbrennung in einer MVA zugeführt.

Aufgrund von üblichen Durchbrüchen an Wandaufbauten (z.B. Zargen, Türen) oder abweichenden Wandmaßen können in der Praxis bis zu 5% der Abfallmenge bereits während des Einbaues in das Gebäude entstehen. Da sich die Entsorgungsszenarien für beide Stadien nicht unterscheiden, erfolgt in der ESD, die für einen kompletten Wandaufbau definierter Abmessungen gilt, eine Berücksichtigung der Umweltwirkungen der evtl. entstehenden Abfälle aus dem Einbau erst im Entsorgungsstadium.

Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- und Recyclingpotenzial (D)

Für die recycelten Metallprofile wird eine Gutschrift erteilt. Zusätzlich sind Gutschriften für Strom und thermische Energie infolge der thermischen Verwertung der Verpackungsmaterialien und der Anschlussdämmung berücksichtigt.

Szenario Gipsrecycling

Für das Szenario Gipsrecycling wurde angenommen, dass 10% der Gipsabfälle (Gipsplatten, Gipsfaserplatten und Fugenspachtel) einem Gipsrecycling zugeführt wird.

5 LCA: Ergebnisse

Die folgenden Tabellen zeigen die Ergebnisse der Indikatoren der Wirkungsabschätzung, des Ressourceneinsatzes sowie zu Abfällen und sonstigen Output-Strömen bezogen auf die deklarierten Wände mit den Maßen B x H = 6 m x 3 m (A = 18 m²)

ANGABE DER SYSTEMGRENZEN (X = IN ÖKOBILANZ ENTHALTEN; MND = MODUL NICHT DEKLARIERT)																
Produktionsstadium			Stadium der Errichtung des Bauwerks		Nutzungsstadium							Entsorgungsstadium				Gutschriften und Lasten außerhalb der Systemgrenze
Rohstoffversorgung	Transport	Herstellung	Transport zur Baustelle	Einbau ins Gebäude	Nutzung/Anwendung	Instandhaltung	Reparatur	Ersatz	Erneuerung	Energieeinsatz für das Betreiben des Gebäudes	Wassereinsatz für das Betreiben des Gebäudes	Rückbau/Abriß	Transport	Abfallbehandlung	Deponierung	Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- oder Recyclingpotenzial
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
X	X	X	X	X	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	X	X	X	X	X

Legende der folgenden Tabellen:

GWP	Globales Erwärmungspotenzial;
ODP	Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht;
AP	Versauerungspotenzial von Boden und Wasser;
EP	Eutrophierungspotenzial;
POCP	Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon;
ADPE	Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen;
ADPF	Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe;
PERE	Erneuerbare Primärenergie als Energieträger;
PERM	Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung;
PERT	Total erneuerbare Primärenergie;
PENRE	Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger;
PENRM	Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung;
PENRT	Total nicht erneuerbare Primärenergie;
SM	Einsatz von Sekundärstoffen;
RSF	Erneuerbare Sekundärbrennstoffe;
NRSF	Nicht erneuerbare Sekundärbrennstoffe;
FW	Einsatz von Süßwasserressourcen;
HWD	Gefährlicher Abfall zur Deponie;
NHWD	Entsorgter nicht gefährlicher Abfall;
RWD	Entsorgter radioaktiver Abfall;
CRU	Komponenten für die Wiederverwendung;
MFR	Stoffe zum Recycling;
MER	Stoffe für die Energienrückgewinnung;
EE	Exportierte Energie je Typ

ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZ UMWELTAUSWIRKUNGEN:									
Metallständerwand mit Gipsplatten, einfach beplankt, 18m ²									
Parameter	Einheit	A1-3	A4	A5	C1	C2	C3	C4	D
GWP	[kg CO ₂ -Äq.]	224,0	4,3	7,3	0,0	1,6	1,8	32,1	-62,2
ODP	[kg CFC11-Äq.]	3,36E-07	1,21E-10	5,07E-10	0,00E+00	8,08E-11	3,78E-11	5,31E-09	2,06E-09
AP	[kg SO ₂ -Äq.]	5,40E-01	1,77E-02	7,56E-04	0,00E+00	6,68E-03	9,64E-06	3,53E-02	-2,20E-01
EP	[kg PO ₄ ³⁻ -Äq.]	7,39E-02	4,45E-03	1,49E-04	0,00E+00	1,61E-03	2,04E-06	7,19E-03	-1,79E-02
POCP	[kg Ethen-Äq.]	6,83E-02	-7,12E-03	4,79E-05	0,00E+00	-2,39E-03	1,14E-05	1,08E-02	-3,30E-02
ADPE	[kg Sb-Äq.]	1,23E-02	1,03E-07	6,50E-08	0,00E+00	6,88E-08	9,38E-09	2,04E-06	-2,41E-06
ADPF	[MJ]	3326,7	31,0	2,0	0,0	20,7	0,2	76,6	-749,0
ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZ UMWELTAUSWIRKUNGEN:									
Metallständerwand mit Gipsplatten, einfach beplankt, 18m ²									
Parameter	Einheit	A1-3	A4	A5	C1	C2	C3	C4	D
PERE	[MJ]	206,2	-	-	-	-	-	-	-
PERM	[MJ]	0	-	-	-	-	-	-	-
PERT	[MJ]	206,2	1,2	0,3	0,0	0,8	0,0	5,9	-1,2
PENRE	[MJ]	3487,8	-	-	-	-	-	-	-
PENRM	[MJ]	34,9	-	-	-	-	-	-	-
PENRT	[MJ]	3522,7	31,2	2,4	0,0	20,8	0,2	80,1	-728,9
SM	[kg]	232,2	-	-	-	-	-	-	-
RSF	[MJ]	0	0	0	0	0	0	0	0
NRSF	[MJ]	0	0	0	0	0	0	0	00
FW	[m ³]	126,0	0,1	0,3	0,0	0,1	0,0	3,8	5,4
ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZ UMWELTAUSWIRKUNGEN:									
Metallständerwand mit Gipsplatten, einfach beplankt, 18m ²									
Parameter	Einheit	A1-3	A4	A5	C1	C2	C3	C4	D
HWD*	[kg]	- (*)	- (*)	- (*)	- (*)	- (*)	- (*)	- (*)	- (*)
NHWD	[kg]	826,0	0,2	0,6	0,0	0,1	0,0	409,0	-428,0
RWD	[kg]	7,53E-02	4,40E-05	1,69E-04	0,00E+00	2,94E-05	1,26E-05	1,42E-03	8,73E-03
CRU	[kg]	-	-	-	-	-	0	-	-
MFR	[kg]	-	-	-	-	-	34,7	-	-
MER	[kg]	-	-	-	-	-	0,681	-	-
EE [Strom]	[MJ]	-	-	10,37	-	-	3,48-	2,39	-
EE [Dampf]	[MJ]	-	-	25,04	-	-	8,39	0	-

* Gemäß der vom SVA genehmigten Übergangslösung vom 04.10.2012.

LIITE 1



ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZ UMWELTAUSWIRKUNGEN: Metallständerwand mit Gipsplatten, doppelt beplankt, 18m ²									
Parameter	Einheit	A1-3	A4	A5	C1	C2	C3	C4	D
GWP	[kg CO ₂ -Äq.]	305,1	7,4	9,1	0,0	2,8	1,8	54,3	-83,0
ODP	[kg CFC11-Äq.]	4,09E-07	2,06E-10	6,66E-10	0,00E+00	1,48E-10	3,78E-11	9,82E-09	1,23E-10
AP	[kg SO ₂ -Äq.]	6,57E-01	3,03E-02	9,82E-04	0,00E+00	1,22E-02	9,64E-05	6,66E-02	-2,21E-01
EP	[kg PO ₄ ³⁻ -Äq.]	1,03E-01	7,58E-03	1,93E-04	0,00E+00	2,95E-03	2,04E-05	1,20E-02	-1,80E-02
POCP	[kg Ethen-Äq.]	8,02E-02	-1,21E-02	6,15E-05	0,00E+00	-4,37E-03	1,14E-05	1,90E-02	-3,31E-02
ADPE	[kg Sb-Äq.]	1,84E-02	1,76E-07	8,45E-08	0,00E+00	1,26E-07	9,38E-09	3,88E-06	-2,47E-06
ADPF	[MJ]	4548,6	62,9	2,6	0,0	37,9	0,2	145,1	-759,7
ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZ UMWELTAUSWIRKUNGEN: Metallständerwand mit Gipsplatten, doppelt beplankt, 18m ²									
Parameter	Einheit	A1-3	A4	A5	C1	C2	C3	C4	D
PERE	[MJ]	282,7	-	-	-	-	-	-	-
PERM	[MJ]	0	-	-	-	-	-	-	-
PERT	[MJ]	282,7	2,1	0,3	0,0	1,5	0,0	11,2	-2,1
PENRE	[MJ]	4755,1	-	-	-	-	-	-	-
PENRM	[MJ]	34,9	-	-	-	-	-	-	-
PENRT	[MJ]	4800,0	53,1	3,2	0,0	38,1	0,2	151,8	-741,2
SM	[kg]	438,5	-	-	-	-	-	-	-
RSF	[MJ]	0	0	0	0	0	0	0	0
NRSF	[MJ]	0	0	0	0	0	0	0	0
FW	[m ²]	160,0	0,2	0,4	0,0	0,1	0,0	7,3	4,5
ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZ UMWELTAUSWIRKUNGEN: Metallständerwand mit Gipsplatten, doppelt beplankt, 18m ²									
Parameter	Einheit	A1-3	A4	A5	C1	C2	C3	C4	D
HWD*	[kg]	- (*)	- (*)	- (*)	- (*)	- (*)	- (*)	- (*)	- (*)
NHWD	[kg]	941,0	0,3	0,8	0,0	0,2	0,0	783,0	-430,0
RWD	[kg]	9,78E-02	7,50E-05	2,22E-04	0,00E+00	5,38E-05	1,26E-05	2,70E-03	8,08E-03
CRU	[kg]	-	-	-	-	-	0	-	-
MFR	[kg]	-	-	-	-	-	34,7	-	-
MER	[kg]	-	-	-	-	-	0,581	-	-
EE [Strom]	[MJ]	-	-	12,62	-	-	3,48	2,39	-
EE [Dampf]	[MJ]	-	-	30,49	-	-	8,39	0	-

* Gemäß der vom SVA genehmigten Übergangslösung vom 04.10.2012.

ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZ UMWELTAUSWIRKUNGEN: Metallständerwand mit Gipsfaserplatten, einfach beplankt, 18m ²									
Parameter	Einheit	A1-3	A4	A5	C1	C2	C3	C4	D
GWP	[kg CO ₂ -Äq.]	263,1	4,0	7,3	0,0	1,6	1,8	31,9	-62,2
ODP	[kg CFC11-Äq.]	3,88E-07	1,12E-10	5,06E-10	0,00E+00	8,02E-11	3,78E-11	5,27E-09	2,06E-09
AP	[kg SO ₂ -Äq.]	5,89E-01	1,68E-02	7,55E-04	0,00E+00	6,62E-03	9,64E-06	3,51E-02	-2,20E-01
EP	[kg PO ₄ ³⁻ -Äq.]	7,08E-02	4,13E-03	1,49E-04	0,00E+00	1,60E-03	2,04E-06	7,14E-03	-1,79E-02
POCP	[kg Ether-Äq.]	7,21E-02	-6,81E-03	4,73E-05	0,00E+00	-2,37E-03	1,14E-05	1,08E-02	-3,30E-02
ADPE	[kg Sb-Äq.]	1,15E-02	9,57E-08	6,48E-08	0,00E+00	6,83E-08	9,38E-09	2,02E-06	-2,41E-06
ADPF	[MJ]	3872,7	28,8	2,0	0,0	20,6	0,2	75,9	-749,0
ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZ UMWELTAUSWIRKUNGEN: Metallständerwand mit Gipsfaserplatten, einfach beplankt, 18m ²									
Parameter	Einheit	A1-3	A4	A5	C1	C2	C3	C4	D
PERE	[MJ]	204,7	-	-	-	-	-	-	-
PERM	[MJ]	0	-	-	-	-	-	-	-
PERT	[MJ]	204,7	1,1	0,3	0,0	0,8	0,0	5,8	-1,2
PENRE	[MJ]	3985,1	-	-	-	-	-	-	-
PENRM	[MJ]	34,9	-	-	-	-	-	-	-
PENRT	[MJ]	4078,1	28,9	2,4	0,0	20,6	0,2	79,4	-728,9
SM	[kg]	232,2	-	-	-	-	-	-	-
RSF	[MJ]	0	0	0	0	0	0	0	0
NRSF	[MJ]	0	0	0	0	0	0	0	0
FW	[m ³]	162,0	0,1	0,3	0,0	0,1	0,0	3,8	5,4
ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZ UMWELTAUSWIRKUNGEN: Metallständerwand mit Gipsfaserplatten, einfach beplankt, 18m ²									
Parameter	Einheit	A1-3	A4	A5	C1	C2	C3	C4	D
HWD*	[kg]	- (*)	- (*)	- (*)	- (*)	- (*)	- (*)	- (*)	- (*)
NHWD	[kg]	876,0	0,2	0,6	0,0	0,1	0,0	406,0	-428,0
RWD	[kg]	9,34E-02	4,08E-06	1,69E-04	0,00E+00	2,91E-06	1,26E-06	1,41E-03	8,73E-03
CRU	[kg]	-	-	-	-	-	0	-	-
MFR	[kg]	-	-	-	-	-	34,7	-	-
MER	[kg]	-	-	-	-	-	0,681	-	-
EE [Strom]	[MJ]	-	-	10,37	-	-	3,48	2,39	-
EE [Dampf]	[MJ]	-	-	25,04	-	-	8,39	0	-

* Gemäß der vom SVA genehmigten Übergangslösung vom 04.10.2012.

ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZ UMWELTAUSWIRKUNGEN: Metallständerwand mit Gipsfaserplatten, doppelt beplankt, 18m ²									
Parameter	Einheit	A1-3	A4	A5	C1	C2	C3	C4	D
GWP	[kg CO ₂ -Äq.]	382,7	7,3	9,1	0,0	2,7	1,8	53,9	-83,0
ODP	[kg CFC11-Äq.]	5,11E-07	2,04E-10	6,65E-10	0,00E+00	1,47E-10	3,78E-11	9,72E-09	1,23E-10
AP	[kg SO ₂ -Äq.]	7,15E-01	3,00E-02	9,80E-04	0,00E+00	1,21E-02	9,64E-05	6,60E-02	-2,21E-01
EP	[kg PO ₄ ³⁻ -Äq.]	9,58E-02	7,51E-03	1,92E-04	0,00E+00	2,92E-03	2,04E-05	1,19E-02	-1,80E-02
POCP	[kg Ethen-Äq.]	8,78E-02	-1,20E-02	6,13E-05	0,00E+00	-4,33E-03	1,14E-05	1,88E-02	-3,31E-02
ADPE	[kg Sb-Äq.]	1,69E-02	1,74E-07	8,40E-08	0,00E+00	1,25E-07	9,38E-09	3,84E-06	-2,47E-06
ADPF	[MJ]	5633,8	52,4	2,6	0,0	37,6	0,2	143,6	-759,7
ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZ UMWELTAUSWIRKUNGEN: Metallständerwand mit Gipsfaserplatten, doppelt beplankt, 18m ²									
Parameter	Einheit	A1-3	A4	A5	C1	C2	C3	C4	D
PERE	[MJ]	281,4	-	-	-	-	-	-	-
PERM	[MJ]	0	-	-	-	-	-	-	-
PERT	[MJ]	281,4	2,1	0,3	0,0	1,5	0,0	11,1	-2,1
PENRE	[MJ]	5938,3	-	-	-	-	-	-	-
PENRM	[MJ]	34,9	-	-	-	-	-	-	-
PENRT	[MJ]	5973,2	52,6	3,2	0,0	37,7	0,2	150,3	-741,2
SM	[kg]	438,2	-	-	-	-	-	-	-
RSF	[MJ]	0	0	0	0	0	0	0	0
NRSF	[MJ]	0	0	0	0	0	0	0	0
FW	[m ³]	212,0	0,2	0,4	0,0	0,1	0,0	7,2	4,5
ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZ UMWELTAUSWIRKUNGEN: Metallständerwand mit Gipsfaserplatten, doppelt beplankt, 18m ²									
Parameter	Einheit	A1-3	A4	A5	C1	C2	C3	C4	D
HWD*	[kg]	- (*)	- (*)	- (*)	- (*)	- (*)	- (*)	- (*)	- (*)
NHWD	[kg]	1040,0	0,3	0,8	0,0	0,2	0,0	775,0	-430,0
RWD	[kg]	1,34E-01	7,43E-05	2,22E-04	0,00E+00	5,32E-05	1,26E-05	2,67E-03	8,08E-03
CRU	[kg]	-	-	-	-	-	0	-	-
MFR	[kg]	-	-	-	-	-	34,7	-	-
MER	[kg]	-	-	-	-	-	0,581	-	-
EE [Strom]	[MJ]	-	-	12,62	-	-	3,48	2,39	-
EE [Dampf]	[MJ]	-	-	30,49	-	-	8,39	0	-

* Gemäß der vom SVÄ genehmigten Übergangslösung vom 04.10.2012.

6 LCA: Interpretation

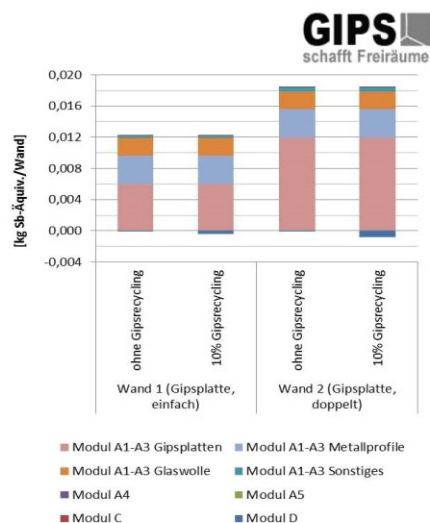
Der nicht erneuerbare Primärenergieeinsatz (PENRT) wird dominiert von der Herstellungsphase der einzelnen Produkte, die für den Aufbau der Metallständerwände benötigt werden (Modul A1-A3). Die Herstellung der Gipsplatten bzw. Gipsfaserplatten, der Metallprofile und der Mineralwolle für die jeweiligen Wände trägt ohne Berücksichtigung der Gutschrift zu ca. 90-95% des nicht erneuerbaren Primärenergieeinsatzes als auch zu den betrachteten Wirkungskategorien (GWP, ODP, AP etc.) bei. Einzige Ausnahme bildet die Wirkungskategorie Eutrophierungspotenzial, die zu etwa 80% durch die Herstellung der oben genannten Komponenten bestimmt wird. Die restlichen 20% entfallen im Wesentlichen auf die Deponierung der mineralischen Komponenten (Gipsplatten, Gipsfaserplatten, Fugenspachtel und Mineralwolle) sowie auf den Transport der Komponenten zur Baustelle. Die Produktion sonstiger Komponenten für die Metallständerwände (Schrauben, Dübel, Fugenspachtel, Anschlussdämmung) benötigt ca. 2-2,5% des gesamten

PENRT. Der Anteil bei allen weiteren Wirkungskategorien liegt zwischen 1-3%. Der Transport der Komponenten zur Baustelle hat bei einer Distanz von 200 km einen Anteil unter 1% am PENRT. Zum globalen Erwärmungspotenzial trägt der Transport zur Baustelle ca. 2% bei, zum Eutrophierungspotenzial 4%. Der Einbau der Metallständerwand hat einen Anteil von 0,8% am gesamten GWP und für alle anderen Wirkungskategorien und dem Primärenergieeinsatz einen Anteil von < 0,2%. Die Behandlung der Abfälle, hauptsächlich die Deponierung der mineralischen Komponenten, hat einen Anteil von 16% am gesamten Eutrophierungspotenzial der einfach beplankten Metallständerwand. Beim GWP liegt der Anteil bei (8%, beim AP bei 6% und beim POCP bei 5%). Die erteilten Gutschriften, hauptsächlich für die recycelten Metallprofile, führen zu einer Reduzierung des PENRT von 19%. Beim POCP führt die Gutschrift zu einer Reduzierung von 46% (AP 32%, GWP 24%, ADPF 21%, EP 16%).

Bei den doppelt beplankten Wänden nimmt der Anteil der Gipsplattenproduktion am gesamten PENRT und den Wirkungskategorien deutlich zu. Insgesamt ist der nicht erneuerbare Primärenergieeinsatz durch die doppelte Beplankung ca. 38% höher als die einfache Beplankung. Bei den meisten Wirkungskategorien ergeben sich ähnliche Werte. Das POCP erhöht sich nur um 14%, da es stärker durch die Herstellung der Metallprofile bestimmt wird.

Gipsrecycling Szenario

Die Ergebnisse für das Szenario Gipsrecycling zeigen, dass sich für alle Wirkungskategorien, mit Ausnahme von ADPE nur sehr geringe Unterschiede ($\pm 0,5\%$) gegenüber der Modellierung mit 100% Deponierung der Gipsabfälle ergeben. Beim ADPE ergibt sich unter Berücksichtigung der Gutschrift für den Gips ein 3,4% geringeres ADPE für einfach beplankte Wände und ein 4,5% geringeres ADPE für doppelt beplankte Wände.



7 Nachweise

Die Anforderungen nach dem Prüfschema der AgBB Version 2008 werden hinsichtlich aller bestehenden Prüfpunkte erfüllt /Scherer 2010/:

TVOC ₃	≤ 10 mg/m ³
Kanzerogene ₃ EU-Kat. 1 und 2	≤ 0,01 mg/m ³
TVOC ₂₈	< 1,0 mg/m ³

SVOC ₂₈	≤ 0,1 mg/m ³
Kanzerogene ₂₈ EU-Kat. 1 und 2	≤ 0,001 mg/m ³
Summe VOC ₂₈ ohne NIK	≤ 0,1 mg/m ³
Summe VOC mit NIK $R = \sum C_i/NIK_i$	< 1

8 Literaturhinweise

Allgemeine Grundsätze:

Institut Bauen und Umwelt e.V., Königswinter (Hrsg.): Die Erstellung von Umwelt-Produktdeklarationen (EPD); Allgemeine Grundsätze für das EPD-Programm des Instituts Bauen und Umwelt e.V. (IBU), 2011-06, www.bau-umwelt.de

PCR-Anleitungstexte für Bauprodukte und gebäudebezogene Dienstleistungen

Institut Bauen und Umwelt e.V., Königswinter (Hrsg.): **PCR Teil A:** Rechenregeln für die Ökobilanz und Anforderungen an den Hintergrundbericht. 2011-07, **PCR Teil B:** Anforderungen an die EPD für Raumtrennsysteme. 2013-01, www.bau-umwelt.de

Normen:

DIN 4103-1:1984-07, Nichttragende innere Trennwände; Anforderungen, Nachweise
DIN EN ISO 14025:2011-10, Umweltkennzeichnungen und -deklarationen – Typ III Umweltdeklarationen – Grundsätze und Verfahren (ISO 14025:2006); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14025:2011
DIN EN 15804:2012-04, Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltdeklarationen für Produkte – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte; Deutsche Fassung EN 15804:2012

ECHA (European Chemicals Agency): List of Substances with very high concern (SVHC),

<http://echa.europa.eu/web/guest/identification-of-svhc>, December 2012

EPD Gips

Bundesverband der Gipsindustrie e.V., Forschungsvereinigung der Gipsindustrie e.V.: Gipsprodukte Umwelt-Produktdeklarationen, Darmstadt, 2009 <http://www.gips.de/service/download/umwelt/umwelt-produktdeklarationen/>

EPD-SDT-2012112-D

Schwenk Dämmtechnik GmbH & Co. KG: climowool und Schwenk Glaswolle, ESD-SDT-2012112-D, Institut Bauen und Umwelt e.V., 2012

GaBi Software & Dokumentation

GaBi 5: Software und Datenbank zur Ganzheitlichen Bilanzierung. LBP, Universität Stuttgart und PE International, Dokumentation der GaBi 5-Datensätze <http://documentation.gabi-software.com/>, 2012

Bundesverband der Gipsindustrie e.V. Beseitigung von durch Überflutung entstandenen Schäden an Bauteilen aus Gips oder an Gipsputzen, Darmstadt.

Scherer, C.; Mair, S. Querschnittsuntersuchung zum Emissionspotenzial an flüchtigen organischen Verbindungen von Gipsbauteilen und Gipsprodukten des Wohninnenraums, Fraunhofer Institut für Bauphysik IBP, Valley 2010

LIITE 1

 Institut Bauen und Umwelt e.V.	Herausgeber Institut Bauen und Umwelt e.V. Rheinufer 108 53639 Königswinter Germany Tel. +49 (0)2223 296679-0 Fax +49 (0)2223 296679-1 E-Mail info@bau-umwelt.com Web www.bau-umwelt.com
 Institut Bauen und Umwelt e.V.	Programhalter Institut Bauen und Umwelt e.V. Rheinufer 108 53639 Königswinter Germany Tel. +49 (0)2223 296679-0 Fax +49 (0)2223 296679-1 E-Mail info@bau-umwelt.com Web www.bau-umwelt.com
GIPS  schafft Freiräume.	Deklarationsinhaber Bundesverband der Gipsindustrie e.V. Kochstraße 6-7 10969 Berlin Germany Tel. +49 (0)30 31169822-0 Fax +49 (0)30 31169822-9 E-Mail info@gips.de Web www.gips.de
 PE INTERNATIONAL	Ökobilanzierer PE INTERNATIONAL AG Hauptstraße 111-113 70771 Leinfelden-Echterdingen Germany Tel. +49 (0)711 341817-0 Fax +49 (0)711 341817-25 E-Mail info@pe-international.com Web www.pe-international.com

ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION

as per ISO 14025 and EN 15804

Owner of the Declaration	Upofloor Oy, Finland
Programme holder	Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU)
Publisher	Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU)
Declaration number	EPD-UPO-2013111-E
Issue date	01.04.2013
Valid to	31.03.2018

Resilient floor covering based upon synthetic thermoplastic polymers according to EN 14565

Upofloor Oy, Finland



Institut Bauen
und Umwelt e.V.

www.bau-umwelt.com / <https://epd-online.com>





General Information

Upofloor

Programme holder

IBU - Institut Bauen und Umwelt e.V.
Rheinufer 108
D-53639 Königswinter

Declaration number

EPD-UPO-2013111-E

This Declaration is based on the Product Category Rules:

Floor coverings, Version 1.1: 29.10.2012
(PCR tested and approved by the independent expert committee)

Issue date

01.04.2013

Valid to

31.03.2018

Prof. Dr.-Ing. Horst J. Bossemayer
(President of Institut Bauen und Umwelt e.V.)

Prof. Dr.-Ing. Hans-Wolf Reinhardt
(Chairman of SVA)

Synthetic thermoplastic polymers

Owner of the Declaration

Upofloor Oy
Souranderintie 2
FI-37101 Nokia

Declared product / Declared unit

1m² Resilient floor covering based upon synthetic thermoplastic polymers, installed

Scope:

In this EPD resilient floor coverings based upon synthetic thermoplastic polymers are declared. The application of this EPD is restricted to the product LifeLine of Upofloor Oy. It is delivered in the designs

- LifeLine tile
- LifeLine LT
- LifeLine CS / Forte

Data are based upon production during 2011 in Finland. The owner of the declaration shall be liable for the underlying information and evidence.

Verification

The CEN Norm EN 15804 serves as the core PCR

Independent verification of the declaration and data according to ISO 14025

☐ internally ☒ externally

Prof. Dr. Jrgit Grahl
(Independent tester appointed by SVA)

Product

Product description

Resilient floor coverings are an entire product family of flexible flooring solutions available in sheet, tiles and planks. It is classified in heterogeneous or homogeneous composition based on vinyl, linoleum, cork, rubber or synthetic thermoplastic polymers. Resilient floor coverings can provide different functionalities (acoustic, static control, slip resistance, easy maintenance etc.) to match a wide range of domestic, commercial and industrial applications. It is available in an enormous range of patterns and colours fitting with inspiration and decorative needs. LifeLine products are based upon synthetic thermoplastic polymers and are supplied in either tile, plank or roll form.

Application

According to ISO 10874 (EN 685) the area of application for resilient floor coverings is indicated by use classes. The declared product group covers the use classes 23, 34 and 43.

Technical Data

Technical construction data for the product group:

Constructional data	Value	Unit	Test standard
Product thickness	2.0	mm	ISO 24346
Surface weight	3.6	kg/m ²	ISO 23997
Product Form	sheet		

Base materials/ Ancilliary materials

The product group has the following composition:

Component	Value	Unit
Filler	37.9	%
Pigments	1.9	%
Polymers (EMAA, EVA)	26.3	%
Auxiliaries	2.8	%
Lacquer	0.7	%
Flooring Recyclate	30.4	%

The declared recipes were checked with the REACH candidate list from June 18th, 2012 and did not contain listed REACH substances.

Reference service life

This EPD does not indicate RSL. Only module B2 (maintenance) is declared and the use stage scenario is independent on the life time of the product. The declared modules in the table of results (chapter 5) refer to one life cycle of the floor covering with B2 (cleaning) being declared for a time period of one year. For the calculation of the impact of B2 for a different time period the values for B2 have to be multiplied by the estimated service life in years.



LCA: Calculation rules

Declared Unit

1m² of installed floor covering.

Name	Value	Unit
Declared unit	1	m ²
Conversion factor to 1 kg	1/3.6	-

System boundary

Type of EPD: cradle to grave

Modules A1-A3 include processes that provide materials and energy input for the system, manufacturing and transport processes up to the factory gate, as well as waste processing.

Module A4 includes transport of the floor covering to the place of installation.

Module A5 includes the production of adhesive for the installation of the floor covering, and incineration of off-cuts and packaging material.

Module B2 is including provision of cleaning agent, energy and water consumption for the cleaning of the floor covering incl. waste water treatment. The LCA

results in this EPD are declared for a one year usage.

Module C1 considers electricity supply for the de-construction of the flooring.

Module C2 includes transportation of the post-consumer waste to waste processing.

End of life scenarios are declared for:

- 100% incineration in a waste incineration plant (WIP)
- 100% landfilling

Module D includes benefits from all net flows given in module A5 and C3 that leave the product boundary system after having passed the end-of-waste state in the form of recovery and/or recycling potentials. Module D is declared for each scenario separately.

Comparability

Basically, a comparison or an evaluation of EPD data is only possible if all the data sets to be compared were created according to EN 15804 and the building context, respectively the product-specific characteristics of performance, are taken into account.

LCA: Scenarios and additional technical information

The following technical information is a basis for the declared modules

Transport to the construction site (A4)

Name	Value	Unit
Litres of fuel	0,0058	l/m ² *100km
Transport distance	2000	km
Capacity utilisation (including empty runs)	85	%

Installation in the building (A5)

Name	Value	Unit
Auxiliary (adhesive)	0.3	kg
Material loss (installation waste)	6.0	%

Maintenance (B2)

Name	Value	Unit
Maintenance cycle (vacuum cleaning & wet cleaning)	156	number/a
Water consumption	0,003	m ³
Auxiliary (detergent)	0.04	kg
Electricity consumption	0.55	kWh

End of Life (C1-C4)

Name	Value	Unit
Incineration	3.6	kg
Landfilling	3.6	kg

Reuse, recovery and/or recycling potentials (D), relevant scenario information

For module D the credits given in module A5 and C3 are declared.

For waste incineration combustion in a WIP (R1 < 0.6) with energy recuperation is considered.



LCA: Results

The results for module B2 refer to a period of one year.

For the calculation of the impact of B2 for a certain service life the values for B2 have to be multiplied by the estimated service life in years.

DESCRIPTION OF THE SYSTEM BOUNDARY (X = INCLUDED IN LCA; MND = MODULE NOT DECLARED)

PRODUCT STAGE			CONSTRUCTION PROCESS STAGE		USE STAGE							END OF LIFE STAGE				BENEFITS AND LOADS BEYOND THE SYSTEM BOUNDARY
Raw material supply	Transport	Manufacturing	Transport	Construction-installation process	Use	Maintenance	Repair	Replacement	Refurbishment	Operational energy use	Operational water use	De-construction demolition	Transport	Waste processing	Disposal	Reuse-Recycling-potential
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
X			X	X	MND	X	MND	MND	MND	MND	MND	X	X	X	X	X

RESULTS OF THE LCA - ENVIRONMENTAL IMPACT: 1m² installed

Parameter	Unit	A1 - A3	A4	A5	B2	C1	C2	C3M¹	C3L²	C4M	C4L	D1	D1L
GWP	[kg CO ₂ -Eq]	8,1E+00	3,7E-01	8,2E-01	4,3E-01	1,4E-02	3,4E-02	5,8E+00	0	0	2,6E-01	-2,4E+00	-1,6E-01
ODP	[kg CFC11-Ag]	5,5E-09	6,4E-12	2,5E-10	2,6E-10	1,3E-11	6,0E-13	1,0E-09	0	0	1,3E-10	-9,1E-10	-5,92E-11
AP	[kg SO ₂ -Ag]	2,5E-02	1,7E-03	1,1E-03	1,6E-03	6,8E-05	1,5E-04	2,8E-03	0	0	7,8E-04	-5,7E-03	-3,8E-04
EP	[kg PO ₄ -Ag]	2,2E-03	3,9E-04	1,6E-04	1,3E-04	3,6E-06	3,6E-05	3,4E-04	0	0	9,6E-04	-3,9E-04	-2,6E-05
POCP	[kg Ethen-Ag]	2,7E-03	-5,5E-04	1,8E-04	1,7E-04	4,0E-06	-5,1E-05	6,9E-04	0	0	1,2E-04	-4,7E-04	-3,12E-05
ADPE	[kg Sb-Ag]	4,8E-06	1,4E-08	2,3E-07	2,0E-07	2,0E-09	1,3E-09	4,7E-07	0	0	5,0E-08	-1,9E-07	-1,2E-08
ADPF	[MJ]	2,1E+02	5,1E+00	1,2E+01	8,3E+00	2,5E-01	4,7E-01	2,6E+01	0	0	4,0E+00	-4,0E+01	-2,7E+00
Caption	GWP = Global warming potential; ODP = Depletion potential of the stratospheric ozone layer; AP = Acidification potential of land and water; EP = Eutrophication potential; POCP = Formation potential of tropospheric ozone photochemical oxidants; ADPE = Abiotic depletion potential for non fossil resources; ADPF = Abiotic depletion potential for fossil resources												

RESULTS OF THE LCA - RESOURCE USE: 1m² installed

Parameter	Unit	A1 - A3	A4	A5	B2	C1	C2	C3M	C3L	C4M	C4L	D1	D1L
PERE	[MJ]	1,8E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PERM	[MJ]	0,0E+00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PERT	[MJ]	1,8E+01	2,0E-01	1,7E+00	8,3E-01	4,2E-02	1,9E-02	1,2E+00	0	0	1,8E-01	-2,9E+00	-1,9E-01
PENRE	[MJ]	1,8E+02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PENRM	[MJ]	5,8E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PENRT	[MJ]	2,1E+02	5,1E+00	1,2E+01	8,3E+00	2,5E-01	4,7E-01	2,6E+01	0	0	4,0E+00	-4,0E+01	-2,7E+00
SM	[kg]	1,7E+00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RSF	[MJ]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NRSF	[MJ]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FW	[kg]	6,0E+01	2,2E-01	3,2E+00	3,2E+00	1,1E-01	2,1E-02	1,8E+01	0	0	-2,1E+00	-6,3E+00	-5,4E-01
Caption	PERE = Use of renewable primary energy excluding renewable primary energy resources used as raw materials; PERM = Use of renewable primary energy resources used as raw materials; PERT = Total use of renewable primary energy resources; PENRE = Use of non renewable primary energy excluding non renewable primary energy resources used as raw materials; PENRM = Use of non renewable primary energy resources used as raw materials; PENRT = Total use of non renewable primary energy resources; SM = Use of secondary material; RSF = Use of renewable secondary fuels; NRSF = Use of non renewable secondary fuels; FW = Use of net fresh water												

RESULTS OF THE LCA – OUTPUT FLOWS AND WASTE CATEGORIES: 1m² installed

Parameter	Unit	A1 - A3	A4	A5	B2	C1	C2	C3M	C3L	C4M	C4L	D1	D1L
HWD	[kg]	1,1E-02	0	7,7E-04	1,9E-03	0	0	1,9E-03	0	0	1,0E-03	0	0
NHWD	[kg]	5,5E-01	6,6E-04	5,4E-02	5,8E-03	1,1E-04	6,1E-05	8,2E-01	0	0	3,6E+00	-1,0E-02	-6,9E-04
RWD	[kg]	1,1E-02	7,1E-06	2,1E-04	7,3E-04	3,7E-05	6,6E-07	7,5E-04	0	0	7,1E-05	-2,6E-03	-1,7E-04
CRU	[kg]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MFR	[kg]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,8E+00	1,8E+00
MER	[kg]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EEE	[MJ]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,2E+00	4,7E-01
EET	[MJ]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,1E+01	1,4E+00
Caption	HWD = Hazardous waste disposed; NHWD = Non hazardous waste disposed; RWD = Radioactive waste disposed; CRU = Components for re-use; MFR = Materials for recycling; MER = Materials for energy recovery; EEE = Exported electrical energy; EET = Exported thermal energy												

Not all of the life cycle inventories applied in this study support the methodological approach for the waste and water indicators. The data are based on publications of industry. The indicators for waste and water of the system are evaluated, but contain a higher degree of uncertainty.

¹ Scenario "I" = 100% Incineration

² Scenario "L" = 100% Landfilling

The evaluation of best EoL-scenario requires the consideration of further aspects like avoidance of combustion of fossil fuels when incinerated and demand for landfilling when recycled.



References

Institut Bauen und Umwelt 2011

Institut Bauen und Umwelt e.V., Königswinter (pub.):
Generation of Environmental Product Declarations
(EPDs);

General principles

for the EPD range of Institut Bauen und Umwelt e.V.
(IBU), 2011-09
www.bau-umwelt.de

PCR 2011, Part A

Institut Bauen und Umwelt e.V., Königswinter (pub.):
Product Category Rules for Construction Products
from the range of Environmental Product Declarations
of Institut Bauen und Umwelt (IBU), Part A: Calculation
Rules for the Life Cycle Assessment and
Requirements on the Background Report. September
2012
www.bau-umwelt.de

PCR 2012, Part B

Institut Bauen und Umwelt e.V., Königswinter (pub.):
Product Category Rules for Construction Products
from the range of Environmental Product Declarations
of Institut Bauen und Umwelt (IBU), Part B:
Requirements on the EPD for floorcoverings, Version
1.1, www.bau-umwelt.com, 10/2012

ISO 10874 (previously EN 685)

EN ISO 10874:2009 Resilient, textile and laminate
floor coverings - Classification

ISO 14025

DIN EN ISO 14025:2011-10: Environmental labels and
declarations — Type III environmental declarations —
Principles and procedures

ISO 23997

ISO 23997:2012-04: Resilient floor coverings -
Determination of mass per unit area

ISO 24346

ISO 24346:2012-04: Resilient floor coverings -
Determination of overall thickness

EN 14565

EN 14565:2004 Resilient floor coverings - Floor
coverings based upon synthetic thermoplastic
polymers - Specification

EN 15804

EN 15804:2012-04: Sustainability of construction
works — Environmental Product Declarations — Core
rules for the product category of construction products

LIITE 2

 Institut Bauen und Umwelt e.V.	Publisher Institut Bauen und Umwelt e.V. Rheinufer 108 53639 Königswinter Germany Tel +49 (0)2223 29 66 79- 0 Fax +49 (0)2223 29 66 79- 0 Mail info@bau-umwelt.com Web www.bau-umwelt.com
 Institut Bauen und Umwelt e.V.	Programme holder Institut Bauen und Umwelt e.V. Rheinufer 108 53639 Königswinter Germany Tel +49 (0)2223 29 66 79- 0 Fax +49 (0)2223 29 66 79- 0 Mail info@bau-umwelt.com Web www.bau-umwelt.com
	Owner of the Declaration Upofloor Oy Souranderintie 2 FI-37101 Nokia Finland Tel +358 20 740 9600 Fax +358 20 740 9737 Mail export@upofloor.fi Web www.upofloor.com www.lifelinefloors.com
 PE INTERNATIONAL SUSTAINABILITY PERFORMANCE	Author of the Life Cycle Assessment PE INTERNATIONAL Hauptstraße 111-113 70771 Leinfelden-Echterdingen Germany Tel +49 (0)711 341817-0 Fax +49 (0)711 341817-25 Mail info@pe-international.com Web www.pe-international.com



EcoTransIT - Ecological Transport Information Tool

The Ecological Transport Information Tool (EcoTransIT) calculates and compares the environmental impacts of goods transported by different modes. EcoTransIT compares the energy consumption, greenhouse gas and exhaust emissions of freight transported by rail, road, ship and aircraft.

Calculation parameter

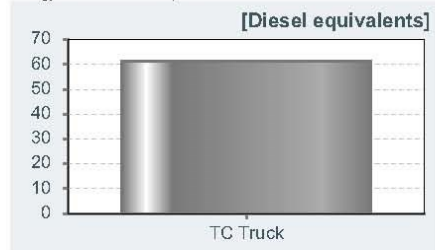
Creation Date: 19.11.2014
Origin: [City district] [fi] Lahti
Destination: [City district] [fi] Helsinki
Cargo weight: 20 ton (t/TEU: 10.5)
Input mode: Standard

Transport Chain Road - 106,67 km

Origin: [City district] [fi] Lahti
 Road (26-40 t, EURO-V, Load factor:60.0%, ETF:20%, Ferry routing normal)
Destination: [City district] [fi] Helsinki

Primary energy consumption

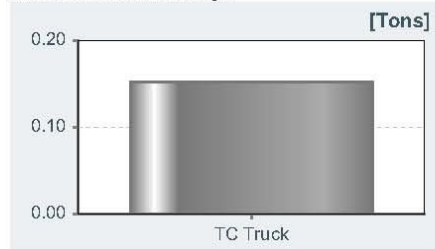
Energy resource consumption



[Diesel equivalents]	
	TC Truck
Truck	62
Sum	62

Carbon dioxide

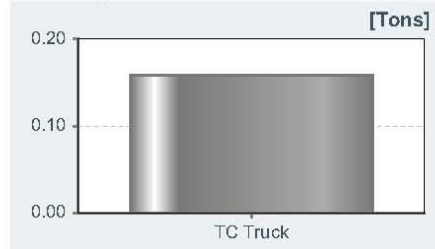
Greenhouse Gas, climate changes



[Tons]	
	TC Truck
Truck	0,2
Sum	0,2

CO2-Equivalents

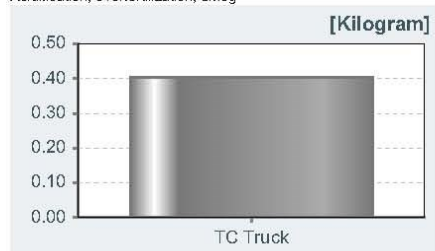
Climate changes



[Tons]	
	TC Truck
Truck	0,2
Sum	0,2

Nitrogen oxides

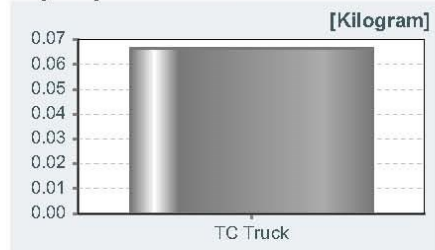
Acidification, overfertilization, smog



[Kilogram]	
	TC Truck
Truck	0,4
Sum	0,4

Nonmethane hydrocarbon

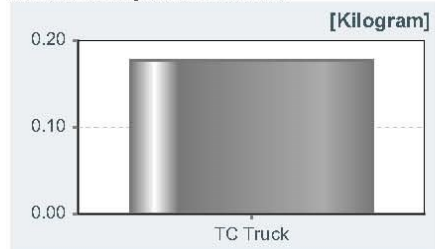
Smog, damage caused to so.'s health



[Kilogram]	
	TC Truck
Truck	0,07
Sum	0,07

Sulfur dioxide

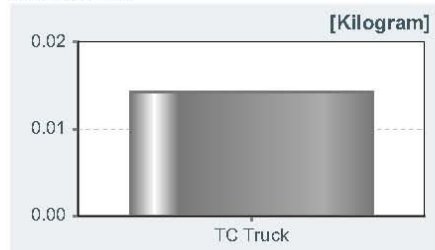
Acidification, damage caused to so.'s health



[Kilogram]	
	TC Truck
Truck	0,2
Sum	0,2

Particulate matter

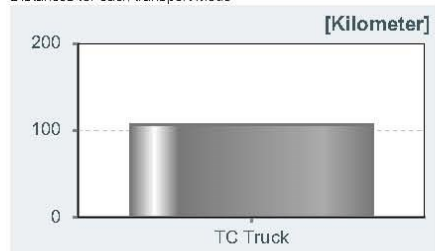
combustion related



[Kilogram]	
	TC Truck
Truck	0,01
Sum	0,01

Distances

Distances for each transport mode



[Kilometer]	
	TC Truck
Truck	107
Sum	107