

Vähähiilinen remontointi

Toimistohuoneiston sisätilojen muutosremontin hiilijalanjälki

LAB-ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK), Energia- ja Ympäristötekniikka

Kevät 2021

Antti Talja

Tiivistelmä

Tekijä(t) Talja, Antti	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Valmistumisaika Kevät 2021
	Sivumäärä 36 + 1 liite	
Työn nimi Vähähiilinen remointi Toimistohuoneiston sisätilojen muutosremontin hiilijalanjälki		
Tutkinto Insinööri (AMK)		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio Panu Pasanen, Toimitusjohtaja, Bionova Oy		
Tiivistelmä <p>Työn tavoitteena oli arvioida opinnäytetyön toimeksiantajan, Bionova Oy:n, Helsingissä sijaitsevilla toimitiloilla tehdyn remontoimisen hiilijalanjälki. Arviointityöhön käytettiin Bionova Oy:n kehittämää rakennusalan elinkaariarviointiohjelmistoa, One Click LCA:ta.</p> <p>Teoriaosuudessa käsitellään rakennussektorin kasvihuonekaasupäästöjen kehitystä, sekä tarkastellaan millä tavalla kehitykseen voidaan vaikuttaa tulevaisuudessa. Lisäksi teoriaosuudessa käydään läpi elinkaariarvioinnin standardoitua menettelyä sekä yleisesti että rakennusten tasolla, ja tarkastellaan kuinka laajalti elinkaariarviointi on maailmalla käytetty rakennusten ympäristövaikutusten arviointiin.</p> <p>Tutkimus suoritettiin vertailevana arviointina remontin toteutuneen materiaaliluettelon ja alkuperäisen remonttisuunnitelman välillä. Vertailun tarkoituksena oli osoittaa remontin hiilijalanjäljen lisäksi kuinka paljon hiilijalanjälki arviolta pieneni toimitiloissa valmiiksi olleita materiaaleja hyödyntämällä.</p> <p>Tulosten perusteella remointihankkeessa oli merkittävä säästöpotentiaali materiaalien uudelleenkäytöllä. Toteutunut hiilijalanjälki oli jopa 40 % vertailusuunnitelmaa pienempi.</p>		
Asiasanat hiilijalanjälki, korjausrakentaminen, elinkaariarviointi, ympäristövaikutus		

Abstract

Author(s) Talja, Antti	Type of Publication Thesis, UAS	Published Spring 2021
	Number of Pages 36 + 1 appendix	
Title of Publication Low carbon renovation Carbon footprint of an office interior renovation		
Name of Degree Bachelor of Engineering, Energy and Environmental Technology (UAS)		
Name, title and organization of the client Panu Pasanen, CEO, Bionova Ltd.		
Abstract <p>The goal of the study was to assess the carbon footprint of an office renovation project located in Helsinki. The renovated office is the headquarters of the commissioner of the thesis, Bionova Ltd.</p> <p>The theoretical section of the study focuses on development of greenhouse gas emissions in construction sector, as well as the ways the emissions are currently addressed and what ways of mitigation can be performed in the future. In addition, the standardized methodology of life cycle assessment is viewed both in general and in construction sector.</p> <p>The software used for the assessment was One Click LCA, a building life cycle assessment software developed by Bionova Ltd. The assessment was performed as a comparative study between the actual bill of materials used for the renovation and an early-stage design of the office interior. The reason for the comparative nature of the assessment is to find out what the estimated savings in carbon were from reusing most of the materials.</p> <p>The results of the assessment showed great carbon saving potential when compared to the earlier design. The as built design had a 40 % lower carbon footprint than the reference design.</p>		
Keywords Construction, Refurbishment, Life Cycle Assessment, renovation, carbon footprint		

Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Rakennussektorin kasvihuonekaasupäästöt	2
2.1	Nykytilanne ja kehitys	2
2.2	Rakennusmateriaalit	2
2.3	Korjausrakentaminen.....	5
3	Elinkaariarviointi.....	6
3.1	Historia	6
3.2	Arvioinnin rakenne.....	7
3.2.1	Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely.....	8
3.2.2	Inventaarioanalyysi.....	10
3.2.3	Vaikutusarviointi	11
3.2.4	Tulosten tulkinta	12
4	Rakennushankkeiden elinkaariarviointi	14
4.1	Standardit	14
4.2	Arviointimenetelmät	15
4.3	Kaupalliset sertifiointijärjestelmät	16
5	Toimistotilojen remontointi	18
5.1	Kohteen kuvaus.....	18
5.2	Remontin suunnitelma	18
5.2.1	Talotekniset ratkaisut.....	19
5.2.2	Varastotilat	20
5.2.3	Neuvottelu- ja sosiaalitilat	20
5.2.4	Lattiapinnat.....	21
5.3	Remontin toteutus.....	21
5.3.1	Valmistelevat toimenpiteet.....	22
5.3.2	Talotekniset ratkaisut.....	22
5.3.3	Varastotilat	22
5.3.4	Neuvottelu- ja sosiaalitilat	23
6	Remontoinnin hiilijalanjälki.....	24
6.1	Tavoitteet ja soveltamisala.....	24
6.1.1	Arvioinnin rajaus	25
6.1.2	Arviointimenetelmä ja toiminnallinen yksikkö	25
6.2	Inventaarioanalyysi ja vaikutusarviointi	25
6.3	Tulosten tulkinta	26

6.3.1	Merkittävimpien tekijöiden tunnistaminen.....	27
6.3.2	Herkyys- ja epävarmuusanalyysi.....	28
6.3.3	Johtopäätökset	30
7	Yhteenveto	31
	Lähteet	33

Liitteet

Liite 1. Materiaaliluettelo ja tuotekohtaiset hiilijalanjälkitulokset

1 Johdanto

Elinkaariarviointi on viime vuosikymmenien aikana kasvattanut suosiotaan ympäristövaikutusten arvioinnin työkaluna. Standardoinnin ja arviointimenetelmien yhtenäistämisen sekä edelleen jatkuvan kehityksen myötä elinkaariarvioinnilla on paranevat edellytykset lainsäädännölliseen vaikutusarvioinnin ohjeistamiseen. Rakennusalalla elinkaariarviointia käytetään tänä päivänä maailmanlaajuisesti kansainvälisesti ja kansallisesti mukautetuin arviointimenetelmin rakennusten hiilijalanjäljen sekä muiden ympäristöä kuormittavien päästöjen selvittämiseksi.

Rakennukset ja rakentaminen aiheuttavat merkittävän osan maailmanlaajuisista kasvihuonekaasupäästöistä ja päästöt ovat olleet viime vuosina edelleen kasvussa Pariisin ilmastosopimukseen liittyvistä päästövähennystavoitteista huolimatta. Rakennusten pitkäikäisyydestä johtuen suurin osa rakennusten elinkaaren aikaisista päästöistä aiheutuu operatiivisesta energiankäytöstä, joten päästöjen vähentämistoimissa on keskitytty pääasiassa rakennusten energiatehokkuuden parantamiseen. Tämä trendi on kuitenkin kokenut muutoksen uudisrakentamisessa, johtuen materiaalien suhteellisen osuuden kasvamisesta rakennuksen elinkaaren aikaisessa päästöjakaumassa.

Ikääntyvän rakennuskannan energiatehokkuus ei kuitenkaan ole nykyrakentamisen tasolla. Vanhempien rakennusten kohdalla energiankulutuksen päästöjä voidaan pienentää tehokkaasti korjausrakentamisella.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tarkastella rakennusten elinkaariarviointia materiaalinäkökulmasta kiinnittäen huomiota myös korjausrakentamiseen. Itse työvaiheessa suoritetaan standardien mukainen remontointihankkeen elinkaariarviointi toimistohuoneistolle, joka on työn toimeksiantajana toimivan Bionova Oy:n omistama toimitila.

Hiilijalanjäljen arviointi suoritetaan Bionova Oy:n kehittämällä One Click LCA -elinkaariarviointiohjelmistolla, joka on suunnattu rakennusten sekä rakennustuotteiden ympäristövaikutusten arviointiin. Arviointi suoritetaan vertailupohjaisena toteutuneiden ratkaisujen, sekä aikaisemman suunnitteluvaiheen välillä.

2 Rakennussektorin kasvihuonekaasupäästöt

2.1 Nykytilanne ja kehitys

Vuonna 2019 rakennukset ja rakentaminen aiheuttivat yhteensä 38 % globaaleista energiankulutukseen liittyvistä hiilidioksidipäästöistä. Näistä päästöistä suurin osa aiheutuu rakennusten operatiivisesta suorasta ja epäsuorasta energiankulutuksesta. Rakentamisen osuus, joka kattaa niin rakennusmateriaalien valmistuksen kuin rakentamisprosessin energiankulutuksen, oli 10 % globaaleista hiilidioksidipäästöistä. (Yhdistyneiden kansakuntien ympäristöohjelma 2020.)

Hallitustenvälisen ilmastopaneelin (IPCC) viidennen arviointiraportin rakennuksia koskevan kappaleen (Lucon, Ürge-Vorsatz, Zain Ahmed, Akbari, Bertoldi, Cabeza, Eyre, Gadgil, Harvey, Jiang, Liphoto, Mirasgedis, Murakami, Parikh, Pyke & Vilariño 2014, 678–679) mukaan rakennussektorin kasvihuonekaasupäästöt ovat kasvaneet yli kaksinkertaisiksi vuosien 1970 ja 2010 välillä. Suurimmiksi syiksi nopealle kasvulle raportissa mainitaan päästöjen moninkertaistuminen Taloudellisen yhteistyön ja kehityksen järjestöön (OECD) kuulumattomissa maissa. Erityisen suuri merkitys kasvulle on ollut Aasian maiden päästöjen kasvu kehitysmaiden tasolta lähelle OECD-maiden päästötasoa. OECD-maissa kasvu on ollut tällä ajanjaksolla maltillisempaa, mutta näissä maissa rakennussektorin päästötaso on ollut selvästi muuta maailmaa korkeampi jo vuonna 1970.

Nykykehityksellä rakennussektorin energian loppukäytön arvioidaan IPCC:n raportissa (Lucon ym. 2014, 710) voivan kaksin- tai kolminkertaistua vuoteen 2050 mennessä vuoden 2010 tasosta ilman strategiaa energiatarpeen pienentämiseksi. Raportissa esiteltyjen eri vähennysskenaarioiden mediaani energian loppukäytön kasvulle on kuitenkin n. 75 %. World Energy Councilin (WEC) (2013, 17) laatimassa ennusteessa maailmanlaajuisen energiantuotannon arvioidaan olevan vuonna 2050 27–61 % vuoden 2010 tuotantoa suurempi. Ennusteessa ei kuitenkaan erotella energian loppukäyttöä toimialoittain. Molemmilla raporteilla korostetaan rakennusten energiatehokkuuden parantamisen merkitystä energiankulutuksen ja siitä aiheutuvien päästöjen rajoittamisessa. (WEC 2013, 84–85 & Lucon ym. 2014, 686–691).

2.2 Rakennusmateriaalit

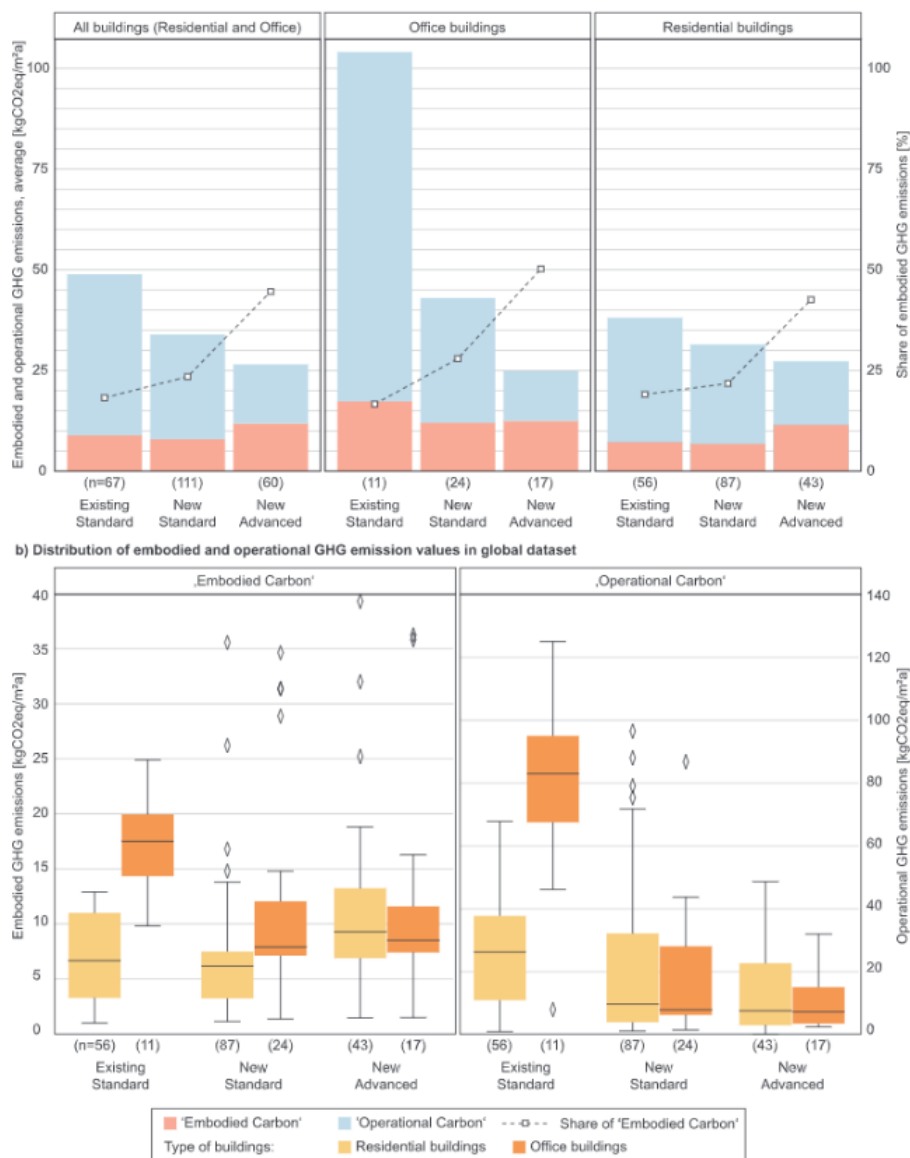
Rakennetun ympäristön päästöjen tarkastelussa on siirrytty viime vuosina operatiivisen energiankulutuksen sijasta enemmän koko rakennuksen elinkaareen. Rakentamisen osuus koko rakennussektorin energiankulutuksesta, kuten myös päästöistä osoittaa

kehityssuunnan olevan oikea. (Röck, Saade, Balouksi, Rasmussen, Birgisdottir, Frischknecht, Habert, Lützkendorf & Passer 2020, 2.)

Uudisrakentaminen on ollut kasvussa vuosi vuodelta. Nykyennusteen mukaan maailmanlaajuinen rakennusten kokonaiskerrospinta-ala tulee tuplaantumaan vuoden 2019 tasosta vuoteen 2060 mennessä. Rakennusmateriaalien valmistuksesta johtuvat päästöt kasvattavat samalla merkitystään. (Yhdistyneiden kansakuntien ympäristöohjelma 2020, 59.)

Rakennusmateriaalien osuus rakennussektorin kasvihuonekaasupäästöistä on jo tällä hetkellä merkittävä ja merkitys kasvaa operatiiviseen energiaan verrattuna rakennusten energiatehokkuuden parantuessa sekä energiatuotannon päästöintensivisyyden pienentyessä. Energiatehokkuuden parantaminen vaatii myös eristystä parantavien materiaalien tai kehittyneempien taloteknisten järjestelmien käyttöä, joka voi myös osaltaan lisätä materiaalien osuutta rakennuksen hiilijalanjäljestä. (Ruuska, Häkkinen, Vares, Korhonen & Myllymaa 2013, 8).

Energiantuotannon siirtyessä uusiutuviin energianlähteisiin käytön aikaiset kasvihuonekaasupäästöt voivat jäädä muiden elinkaaren vaiheiden päästöjä pienemmiksi, mikäli rakennusmateriaalien hiilijalanjälki pysyy samalla tasolla tulevaisuudessa. Rakennusmateriaalien hiilijalanjälki myös syntyy pääosin jo ennen rakennuksen käyttöönottoa, eikä näin ollen ole vaikutettavissa rakennuksen käyttöiän aikaisilla päästöjen vähennystoimilla. (Bionova Oy 2018, 11–13.)



Kuvio 1. Globaalit trendit operatiivisten ja materiaaleihin sitoutuneiden kasvihuonekaasupäästöjen välillä (Röck ym. 2020, 6.)

Röckin ym. (2020, 7.) tutkimus tehdyistä rakennusten hiilijalanjälkilaskennoista tukee yhteyttä pienentyneiden operatiivisten ja kasvaneiden materiaaleihin sitoutuneiden kasvihuonekaasupäästöjen välillä. Kuviossa 1 esitetystä päästöjakaumassa vertaillaan operatiivisten ja materiaalien kasvihuonekaasupäästöjen kehitystä ennen ja jälkeen rakennusten energiatehokkuutta ohjaavia tiukentuneita lainsäädäntöjä rakennettujen sekä matalaenergia- tai passiivitalojen tutkimusten välillä (Existing Standard, New Standard, New Advanced). Tuloksista on tulkittavissa, että matalaenergia- ja passiivirakentamisella rakennusten kokonaispäästöt laskevat pienemmän operatiivisen energiankulutuksen ansioista, mutta materiaaleihin sitoutunut hiili pysyy samalla tasolla tai jopa kasvaa verrattuna ennen tiukentuja lainsäädäntöjä rakennettuihin rakennuksiin.

2.3 Korjausrakentaminen

Euroopassa 97 % rakennuksista on energialuokaltaan alle A-tasoa, kun taas 75 % rakennuksista sijoittuu D- ja E-luokkiin. Rakennusten ikäjakauma Euroopassa vastaa jakaumaa energiatehokkuudessa, sillä 75 % rakennuksista on rakennettu ennen vuotta 1990. Koska olemassa olevista rakennuksista Euroopassa 75–90 % arvioidaan olevan käytössä vielä vuonna 2050, on korjausrakentamisella suuri osuus Euroopan päästötavoitteiden täyttämässä. (BPIE 2017.)

Röck ym. (2020, 10) ovat tutkimuksessaan yhdessä linjassa väittämän kanssa. Heidän analyysinsä mukaan nykyinen energiatuotannon päästövähennys ei ole riittävä IPCC:n 1,5-asteen raportin tavoitteiden kanssa, joten korjausrakentamista vaaditaan rakennusten energiankäytön tehostamiseksi. Toisaalta Röck ym. (2017, 11) painottavat johtopäätöksissään tarvetta tarkastella materiaalien valmistuksesta aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä myös energiatehokkuuden parantamiseen tähtäävässä korjausrakentamisessa.

Vilches, Garcia-Martinez ja Sanches-Montañes (2017) tutkivat julkaisussaan eri korjausrakentamishankkeiden tutkimuksia. Tutkimuksen kohteet edustivat eri rakennustyyppisiä eri maantieteellisillä sijainneilla, ja arviointeja oli suoritettu erilaisilla menetelmillä. Myös tarkastelun laajuus, eli mitkä elinkaaren vaiheet oli tutkimuksessa otettu huomioon, vaihteli myös tutkimusten välillä. Niiden tutkimusten osalta, joissa tuloksia verrattiin korjaamattomaan rakennukseen, yhdenkään kohteen korjauksesta aiheutuvien arvioinneissa mitattujen ympäristövaikutusten takaisinmaksuaika ei ylittänyt 7,5 vuotta.

3 Elinkaariarviointi

Elinkaariarvioinnilla (LCA, life cycle assessment) tarkoitetaan tuotteiden tai palveluiden ympäristövaikutusten arviointia koko sen eliniän ajalta raaka-aineiden keruusta loppusijoitukseen asti. Arvioinnissa otetaan huomioon kaikki tarkasteltavan hyödykkeen eri elinkaaren vaiheiden oleelliset materiaali- sekä energiavirrat sekä niistä aiheutuva ympäristön kuormitus. (Rebitzer, Ekvall, Frischknecht, Hunkeler, Norris, Rydberg, Schmidt, Suh, Weidena & Pennington 2004, 3.)

Ympäristövaikutuksia mitataan erilaisissa vaikutusluokissa, joilla osoitetaan millä tavoin ja kuinka paljon tutkimuksen kohteen eri osa-alueet potentiaalisesti kuormittavat ympäristöä. Erilaiset prosessit tuotteen tai palvelun elinkaaren aikana voivat vaikuttaa ympäristöön hyvin eri tavoin, joten vaikutusten tarkastelu eri ympäristönäkökulmista mahdollistaa arvioinnin kohteen ympäristövaikutusten kokonaisvaltaisen tulkinnan. Tulosten ilmaisu useammassa vaikutuskategoriassa ehkäisee myös kuormitusten tahatonta siirtämistä kategorioiden välillä vertailevaa tutkimusta tehtäessä. (Bjørn, Owsianiak, Molin & Laurent 2018a, 12.)

3.1 Historia

Ensimmäiset menetelmät elinkaariarviointia varten kehitettiin Yhdysvalloissa jo 1960-luvulla pääasiassa energian ja luonnonvarojen käytön inventoimiseen. Arviointimenetelmät vaihtelivat ensimmäisinä vuosikymmeninä tutkimusten välillä ja vaikutuksia mitattiin kunkin aikakauden esillä olleiden ympäristöhuolien mukaan, eikä tutkimukset näin ollen olleet vertailukelpoisia. 1980-luvulla kasvanut kiinnostus arviointimenetelmää kohtaan Euroopassa johti kuitenkin kansainvälisen kehitystyön käynnistämiseen elinkaariarvioinnin yhdenmukaistamiseksi. (Bjørn, Owsianiak, Molin & Hauschild 2018b, 18)

1990-luvulla ympäristövaikutusten arvioinnissa tapahtui monta merkittävää kehitysaskelta. Ympäristötoksikologian ja kemian yhdistyksen (SETAC) vuosikymmenen alussa järjestämien työpajojen myötä kehitettiin ensimmäinen virallinen ohjeistus elinkaariarviointia varten, joka toimi perustana globaalien standardien kehitystyölle. Tämän kehitystyön tuloksena syntyi kansainvälisen standardointijärjestön (ISO:n) julkaisema elinkaariarvioinnin viitekehystenä toimiva ISO 14040 -sarja. (Buyle, Braet, Audenaert 2013, 381.)

Standardoinnin lisäksi 1990-luvulla kehitettiin useita erilaisia vaikutusten arviointimenetelmiä. Alankomaissa Leidenin yliopistolla kehitetty CML92-arviointimenetelmä esitteli ensimmäistä kertaa ympäristövaikutuksia kattavasti havainnollistavat keskipistevaikutusluokat, kuten ilmaston lämpenemispotentiaali, happamoituminen, otsonikato ym., jotka ovat yleisesti käytössä tänäkin päivänä. Myös ensimmäiset vahinkoperusteisen

loppupistenäkökulmaa soveltavat arviointimenetelmät kehitettiin tällä vuosikymmenellä. (Bjørn ym. 2018b, 20.)

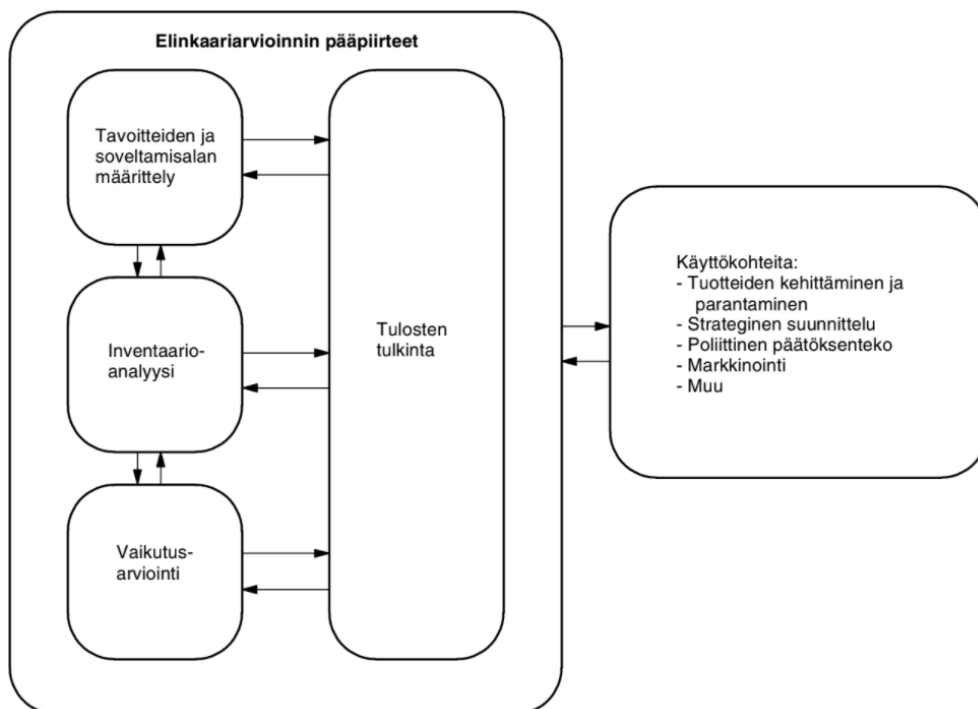
Arvioinnin kehitystyö johti myös ensimmäisten inventaariotietokantojen julkaisuun eri teollisuusalojen prosesseista. Menetelmällisistä eroista sekä vaihtelevasta tietolähteiden laadusta johtuen tietokannat eivät olleet keskenään yhteensopivia. Merkittävä kehitysaskel tietokantojen laadussa oli Ecoinvent-tietokannan ensimmäisen version (1.01) julkistaminen vuonna 2003. (Bjørn ym. 2018b, 20.)

Ecoinvent-tietokannan perustaja on sveitsiläinen The Swiss Centre for Life Cycle Inventories, jonka tarkoituksena oli luoda yhtenäinen ja korkealaatuinen elinkaari-inventaariotietokanta eri teollisuudenaloille sveitsiläisiin ja eurooppalaisiin olosuhteisiin sovellettuna. Yksi Ecoinvent-tietokannan lähtökohdista on läpinäkyvä tietojen dokumentointi, jolla edistetään elinkaariarviointiin liittyvien tutkimusten vertailtavuutta. (Frischknecht, Jungbluth, Althaus, Doka, Dones, Heck, Hellweg, Hischer, Nemeck, Rebitzer & Spielmann 2005, 2.) Laatunsa ja läpinäkyvyytensä johdosta Ecoinvent-tietokanta on käytössä useissa LCA-ohjelmistoissa (Martínez-Rocamora, Solís-Guzmán & Marrero 2016, 567).

Vaikka ISO 14040 -standardit toimivat perustana elinkaariarvioinnille, niissä ei oteta kantaa arvioinnissa käytettävään tarkkaan menetelmään. Tästä syystä kehitystyö on jatkunut 2000-luvun alusta lähtien myös arviointimenetelmien yhdenmukaistamiseksi ja vertailtavuuden parantamiseksi. Euroopan komission yhteinen tutkimuskeskus (JRC) julkaisi vuonna 2010 International Life Cycle Data System (ILCD) -käsikirjan ohjeistamaan arviointimenetelyä myös niiltä osin, joita ISO-standardit eivät yksityiskohtaisesti ohjaa. Euroopan komission kehitystyö on jatkunut ILCD-käsikirjan myötä yhtenäisen tietokannan laatimiseksi. (Bjørn ym. 2018b, 25.)

3.2 Arvioinnin rakenne

Elinkaariarvioinnin periaatteet määrittelevän ISO 14040 standardin mukaan arvioinnin tulee sisältää seuraavat neljä vaihetta: Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, inventaarioanalyysi (LCI, life cycle inventory), vaikutusarviointi (LCIA, life cycle impact assessment) sekä tulosten tulkinta (Koskela, Sokka, Korhonen, Mattila & Soimakallio 2010, 16–17).



Kuva 1. Elinkaariarvioinnin vaiheet ISO 14040:2006 standardin mukaan (SFS-EN ISO 14040:2006, 24)

Arviointi ei kuitenkaan etene lineaarisesti vaiheesta toiseen. Tulosten tulkinta seuraa jokaista vaihetta ja tuloksinna tehtyjen löydösten mukaan voidaan palata tarkentamaan arvioinnin muita vaiheita kuvan 1 mukaisesti. (Hauschild 2018, 64.)

3.2.1 Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely

Tavoitteiden määrittely on elinkaariarvioinnin ensimmäinen vaihe. Tavoitteita määriteltäessä tulee huomioida kenelle ja mitä varten tutkimus tehdään sekä millaisiin kysymyksiin tutkimuksen lopputuloksella voidaan vastata. Tutkimusten tavoitteet toimivat pohjana arvioinnin soveltamisalan määrittelylle, jossa valitaan mm. arvioinnin rajaus, tarkastelun näkökulma sekä arvioinnissa käytetty toiminnallinen yksikkö. (Hauschild 2018, 61–62.)

Elinkaariarvioinnissa toiminnallisella yksiköllä (functional unit) tarkoitetaan tutkimuksessa käytettyä vertailuyksikköä, jota kohti inventaarioanalyysissä tarkastellut yksikköprosessit sekä tutkimukseen valitut vaikutusindikaattorit suhteutetaan. Toiminnallisen yksikön määrittelyssä on tärkeää valita mahdollisimman hyvin tarkasteltavan kohteen tai kohteiden ominaisuuksia ja toimintoja eli käyttötarkoitusta kuvaava määre. Vertailevassa tutkimuksessa kunkin vaihtoehdon tulee täyttää sama toiminto, jotta vertailu on tasapuolinen. (Bjørn, Owsianiak, Laurent, Olsen, Corona & Hauschild 2018c, 83-84.)

Rakennusalan elinkaariarviointia käsittelevässä kirjallisuuskatsauksessaan Buyle ym. (2013, 381) mainitsevat toimintoihin perustuvan tutkimusnäkökulman yhdeksi elinkaariarvioinnin vahvuuksista, sillä tämä menetelmä mahdollistaa vertailevan tutkimuksen tekemisen samaa funktiota edustavien mutta fyysisiltä ominaisuuksiltaan erilaisten tuotejärjestelmien välillä. Pelkistettynä esimerkkinä tästä voidaan käyttää vertailua kertakäyttölautasen sekä posliinisen lautasen välillä. Molempien vaihtoehtojen toimintona on toimia alustana ruoalle, joten vertailu niiden välillä on mahdollista, vaikka ne ovat valmistettu erilaisista määristä eri materiaaleja. Kertakäyttöinen vaihtoehto heitetään pois yhden käyttökerran jälkeen, kun taas posliininen lautanen voidaan pestä ja käyttää uudestaan.

Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) raportissa (Koskela ym. 2010, 34) osoitetaan toisaalta myös toiminnallisen yksikön valintaan liittyvät haasteita, kuten vertailtavien vaihtoehtojen käyttöikä tai vaihtoehtojen mahdollisesti tuottamat muut toiminnot. Kertakäyttöisen ja posliinisen lautasen vertailun kohdalla käyttöiän määrittäminen olisi yksinkertaista kertakäyttölautaselle, jota todennäköisesti käytetään yhden aterian syömiseen sen elinkaaren aikana. Posliinilautasen käyttöiän määrittäminen onkin huomattavasti vaikeampaa, sillä vaikka lautanen kestää lukuisia pesukertoja, se kuluu käyttökertojen aikana ja voi rikkoutua suhteellisen helposti esimerkiksi lattialle pudotettuna, tai se voidaan haluta vaihtaa jo ennen sen varsinaisen käyttöiän loppua.

Toiminnallista yksikköä määriteltäessä tulee vertailtavien tuotejärjestelmien täyttämiä toimintoja tarkastella kvantitatiivisista sekä kvalitatiivisista näkökulmista. Huolellisesti mietitty toiminnallinen yksikkö ei siis ainoastaan ota kantaa määrällisesti mitattaviin kysymyksiin kuten missä määrin ja kuinka monta kertaa, vaan myös laadullisiin seikkoihin kuten missä ja miten hyvin tuotejärjestelmä toiminnon täyttää. Kattavan toiminnallisen yksikön määrittely vaatii työryhmän tai sen osan perusteellista tuntemusta tuotejärjestelmään liittyvän teknologian saralla. (Bjørn ym. 2018c, 85–87.)

Soveltamisalan määrittelyvaiheessa päätetty arvioinnin rajaus määrittelee mitä yksikköprosesseja tuotejärjestelmään sisällytetään ja minkälaisia syöte- ja tuotosvirtauksia kuhunkin yksikköprosessiin liittyy. Vastaavasti inventaarioanalyysin tiedonkeruuvaiheessa tehtyjä havaintoja yksikköprosessien merkityksellisyydestä voidaan käyttää rajauksen uudelleenarviointiin. Yksikköprosessien syöte- ja tuotosvirtoja ovat materiaalien, energian ja luonnonvarojen käyttö, sekä prosessissa syntyvät tuote tai tuotteet, jätevirrat ja päästöt ympäristöön. Kun nämä virrat koostetaan yhteen, niistä muodostuu koko tuotejärjestelmän kattavan vertailuvirta (reference flow). (EC-JRC 2010, 60, 153, 196.)

3.2.2 Inventaarioanalyysi

Inventaarioanalyysi on elinkaariarvioinnin vaihe, jossa tarkoituksena on kerätä ja analysoida arvioitaviin tuotejärjestelmiin sisältyvien yksikköprosessien ympäristöä kuormittavia tekijöitä ja arvioida niistä aiheutuvia päästöjä. Inventaarioanalyysin tavoite on arvioida tuotejärjestelmistä syntyvät kokonaispäästöt sekä jätemäärät arvioinnin toiminnallista yksikköä kohden. (Rebitzer ym. 2004, 5.)

Tuotejärjestelmän yksikköprosessit voidaan jakaa kahteen eri ryhmään, etualan järjestelmään (foreground system) ja taustajärjestelmään (background system). Etualan järjestelmä koostuu tarkastellulle tuotejärjestelmälle spesifeistä prosesseista, kun taas taustajärjestelmään kuuluvat prosessit käsittävät laajemmalla alalla tarkasteltuja toimintoja, kuten energiantuotantoa tai tietyn raaka-aineen louhimista. (Bjørn ym. 2018c, 80–81.)

ILCD-käsikirjan mukaan (EC-JRC 2010, 184) etualan prosesseissa tulisi käyttää etusijassa prosessispesifejä inventaariotietoja, jota kerätään valmistajilta, tuotekehitykseltä tai palveluntarjoajilta. Etualan prosessit ovat siis niitä, joihin edellä mainituilla elimillä on käytännössä eniten mahdollisuuksia myös vaikuttaa päätöksenteossa. Taustaprosessit sen sijaan mallinnetaan tavallisesti käyttäen geneeristä teollisuudenalojen maa- tai aluekohtaista keskimääräistä LCI-dataa. (Bjørn ym. 2018c, 80-81).

Inventaariotiedon keräämisen yksinkertaistamista varten on luotu useita julkisia LCI-tietokantoja, jotka sisältävät inventaariotietoja keskimääräisistä eri toimialoihin liittyvistä prosesseista. Tällaisia tietokantoja voidaan käyttää täydentämään inventaariota niistä prosesseista, joista ei ole saatavilla spesifistä prosessikohtaista tietoa. (Koskela ym. 2010, 21–22.) Suurimpia tietokantoja maailmalla edustavat sveitsiläinen Ecoinvent sekä saksalaisen PE Internationalin Gabi Database (Martinez-Rocamora ym. 2016).

Allokointi

Inventaarioanalyysin tarkkuuden kannalta on tärkeää, että tiedot kerätään kohdennetusti tuotejärjestelmän sisältämistä yksikköprosesseista sen rajauksen puitteissa. Prosessin tarkastelun kohdistamisella järjestelmässä rajattua toimintoa kohti vältytään tarpeettomalta allokointimenettelyltä. (EC-JRC 2010, 184.)

ISO 14044 standardin allokointimenettelyn mukaan muiden tuotejärjestelmien kanssa yhteiset prosessit tulee ensisijaisesti pyrkiä jakamaan alaprosesseihin, joihin liittyvät syöte- ja tuotostiedot voidaan sitten kohdentaa kullekin tuotejärjestelmälle. Mikäli prosessin jakaminen ei ole mahdollista, tulee tuotejärjestelmää pyrkiä laajentamaan niin, että siinä otetaan

huomioon myös rinnakkaisjärjestelmiin liittyvät toiminnot. Nämä menetelmät luokitellaan standardissa allokoinnin välttämiskeinoiksi. (SFS-EN 14044:2006, 38.)

Bjørn ym. (2018c, 91-92) käyttävät esimerkkinä tuotejärjestelmän laajennuksesta vertailevaa tutkimusta kahden eri energiantuotantolaitoksen välillä, joista toinen tuottaa sähköä ja lämpöä yhteistuotannolla, kun taas toinen laitos tuottaa ainoastaan sähköä. Tässä tapauksessa jälkimmäisen laitoksen tuotejärjestelmä voitaisiin laajentaa sisältämään vaihtoehtoinen kaukolämmön tuotantotapa, jotta tuotantojärjestelmät olisivat keskenään vertailukelpoisia.

Jos allokoointia ei kuitenkaan ole mahdollista välttää edellä mainituin keinoin, useampaa toimintoa edustavien prosessien syötteet ja tuotokset tulee osittaa ensisijaisesti tuotteiden välisten fysikaalisten suhteiden mukaan. Jos allokoitavien tuotteiden ja toimintojen välillä ei ole yhteistä fysikaalista tekijää, voidaan allokointi suorittaa esimerkiksi tuotteiden taloudellisen arvon perusteella. Järjestelmän samanlaisille allokoitimenettelyä vaativille prosesseille tulee soveltaa yhdenmukaista menettelytapaa. (SFS-EN 14044:2006, 38.)

3.2.3 Vaikutusarviointi

Vaikutusarviointi on elinkaariarvioinnin vaihe, jossa inventaarioanalyysin tulokset muunnetaan potentiaalisiksi ympäristövaikutuksiksi. Inventaarioanalyysin tulokset ilmoitetaan yksityiskohtaisina päästö- ja jätemäärinä, jotka eivät sellaisenaan kuvasta ympäristöön kohdistuvia vaikutuksia. Vaikutusarvioinnissa tarkoituksena on luokitella päästömäärät niiden ympäristöä kuormittavien ominaisuuksien perusteella vaikutusindikaattoreihin, joiden avulla voidaan tehdä johtopäätöksiä millä tavoin ja missä määrin arvioitava tuotejärjestelmä potentiaalisesti vaikuttaa ympäristöön. (Rosenbaum, Hauschild, Boulay, Fantke, Laurent, Núñez & Vieira 2018, 168–169)

ISO 14040 ja 14044 standardien mukaan vaikutusarviointi koostuu pakollisista vaiheista, joita ovat vaikutusluokkien, vaikutusluokkaindikaattorien sekä karakterisointimallien valinta, inventaarioanalyysin tulosten luokittelu sekä tulosten karakterisointi. Näiden vaiheiden lisäksi vaikutusarviointiin voidaan lisätä valinnaiset vaiheet, joita ovat normalisointi, painotus sekä ryhmittely. (Rosenbaum ym. 2018, 169.)

Vaikutusarvioinnin ensimmäinen vaihe määräytyy usein arvioinnin tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyvaiheessa asetetun rajauksen mukaan valitun vaikutusarviointimenetelmän perusteella. Maailmalla on julkaistu viime vuosikymmenien aikana useita vaikutusarviointimenetelmiä, joissa vaikutusluokitukset, indikaattorit ja karakterisointi on valmiiksi määriteltäviä. Jo arvioinnin tavoitteita määriteltäessä on siis tärkeää olla selvillä, mikä menetelmä kattaa tutkimukseen sisällytetyt vaikutusluokat, vai tarvitaanko arvioinnin tavoitteiden

täydentämiseksi ylimääräisten vaikutusluokkien määrittelyä. (Rosenbaum ym. 2018, 173–174.)

Vaikutusluokat voidaan määritellä joko keskipiste- tai loppupistemallinnuksella. Keskipistemallinnuksessa vaikutukset luokitellaan potentiaalisina ympäristöaiheittain, kuten ilmaston lämpenemispotentiaali (GWP, global warming potential). Loppupistemallinnuksessa keskipistevaikutukset ryhmitellään vahinkoperusteisiin luokituksiin kuten ihmisten terveys, luontoympäristö ja luonnonvarat. Keski- ja loppupisteperusteisia luokituksia voidaan myös yhdistää tulosten esittämiseksi. (Buyle ym. 2013, 382.)

Vaikutusarvioinnin toisessa pakollisessa vaiheessa, luokittelussa, inventaarioanalyysin tulokset osoitetaan yhteen tai useampaan vaikutusluokkaan, joihin tuotejärjestelmän yksikköprosessien perusvirroilla on vaikutusta. Karakterisointivaiheessa inventaarion tulokset muunnetaan karakterisointimallissa käytetyillä muuntokertoimilla vaikutusluokkaindikaattoreille määriteltyyn yksikkömuotoon, esimerkkinä ilmaston lämpenemispotentiaalille yksikkö ilmaistaan kilogrammoina hiilidioksidiekvivalenttia (kg CO₂e). Lopulta kunkin vaikutusluokan tulokset lasketaan yhteen ja näin saadaan tuotejärjestelmän ympäristön kokonaisvaikutuspotentiaalit vaikutusluokkaindikaattorein ilmaistuna. (EC-JRC 2010, 276–277.)

Vaikutusarvioinnin valinnaisista vaiheista normalisointia voidaan käyttää ilmaisemaan vaikutusten suhteellisuus vaikutusluokittain määriteltyihin vertailukohteisiin. Ryhmittelyllä vaikutusarvioinnin tulokset voidaan asettaa tärkeysjärjestykseen vaikutusluokittain. Painotuksella vaikutusluokille voidaan antaa painotuskertoimet ja tällä tavoin laskea ympäristövaikutuspotentiaalien kokonaistulos. Valinnaisista vaiheista voi näin olla apua tulosten tulkinnaissa päätöksentekoa varten. (Hauschild 2018, 63.)

3.2.4 Tulosten tulkinta

Tulosten tulkintavaiheessa inventaarioanalyysin sekä vaikutusarvioinnin tulokset kootaan yhteen ja analysoidaan tutkimuksen tavoitteet huomioiden. Tulosten analysoinnissa tulee tunnistaa arvioinnin merkittävimmät tekijät ja arvioida niiden vaikutusta tulosten luotettavuuteen sekä johdonmukaisuuteen. Näitä tietoja käytetään pohjana arvioinnin johtopäätösten tekemiseen. Tulosten tulkinna osia, erityisesti herkkyyksianalyysia ja kattavuuden tarkastelua, suoritetaan myös läpi elinkaariarvioinnin vaiheiden. Tällä tavoin tulosten tulkinnalla pyritään ohjaamaan inventaarioanalyysia vastaamaan tutkimukselle asetettuja tavoitteita parhaalla tavalla tutkimustyön aikana. (EC-JRC 2010, 285.)

Merkittävien tekijöiden tunnistamisen tarkoituksena on määritellä tutkimuksen kohdat, jotka voivat vaikuttaa arvioinnin lopputulosten muuttumiseen. Tekijät voivat liittyä valittuihin menetelmiin, inventaarioanalyysin osiin tai vaikutusarvioinnin valinnaisiin vaiheisiin.

Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyyn liittyviä tekijöitä ovat toiminnallisen yksikön valinta, arvioinnissa käytetty allokointimenettely sekä arvioinnin rajaukseen liittyvät valinnat. Näiden tekijöiden merkitystä lopputuloksiin voidaan arvioida luomalla erillisiä vertailuskenaarioita eri valinnoilla ja vertailemalla tuloksia alkuperäisillä valinnoilla saatuihin tuloksiin. (Hauschild, Bonou & Olsen 2018, 325–326.)

Inventaarioanalyysin sekä vaikutusarvioinnin lopputulosten kannalta merkittäviä tekijöitä voi esiintyä kaikkialla yksittäisistä yksikköprosesseista arviointimenetelmän valintaan. Näiden vaiheiden merkittävien tekijöiden tunnistus suoritetaan tekemällä täydellisyysarviointia, herkkyysanalyysia yhdessä epävarmuusanalyysin kanssa sekä yhtenäisyysarvioinnilla. (EC-JRC 2010, 285–286.)

Täydellisyyden arvioinnin tarkoituksena on tunnistaa kuinka kattavasti inventaarioanalyysissä ja vaikutusarvioinnissa käytetyt tiedot edustavat arvioinnin rajausten mukaista kokonaisuutta. Herkkyys- ja epävarmuusanalyysissä tarkastellaan käytettyjen tietojen tarkkuutta suhteutettuna siihen, kuinka paljon tiedot vaikuttavat lopputuloksiin. Yhtenäisyyden arvioinnin tarkoituksena on tarkastella miten hyvin arvioinnin eri osa-alueet edustavat tutkimuksen tavoitteita ja soveltamisalaa, sekä onko arvioinnissa käytetty kauttaaltaan yhtenäisiä menetelmiä, esimerkiksi allokointimenettelyssä. (Hauschild ym. 2018, 327–332.)

Tunnistetut merkittävät tekijät tulisi ensisijaisesti pyrkiä tarkentamaan täydentämällä kerättyjä tietoja kunkin arviointitavan mukaisesti, tai vaihtoehtoisesti mukauttamalla tutkimuksen tavoitteita ja soveltamisalaa. Näitä toimenpiteitä toistetaan niin monta kertaa, kunnes tuloksissa on saavutettu riittäväksi määritelty tai tarkin tutkimusmenetelmien puitteissa saatavilla oleva taso. Kun tutkimuksessa on saavutettu lopulliset tulokset, arvioinnin tarkkuutta rajoittavat epävarmuustekijät sekä tuloksista tehdyt johtopäätökset dokumentoidaan, ja annetaan suositukset jatkotutkimusta varten. (EC-JRC 2010, 300–302.)

4 Rakennushankkeiden elinkaariarviointi

4.1 Standardit

Rakennusten elinkaariarvioinnissa noudatetaan yleisesti Euroopan standardointijärjestön (CEN) teknisen komitean TC/350 Sustainability of Construction Works julkaisemaa standardiperhettä, joka käsittää standardit sekä rakennusten että rakennustuotteiden elinkaariarvioinnin ohjaamiseen. Nämä standardit ovat käytössä maailmanlaajuisesti niin kaupallisissa arviointimenetelmissä, kuin kansallisten ohjausjärjestelmien pohjana. (Bionova Oy 2017, 17, 23.)

Rakennusten elinkaariarviointimenetelmää ohjaavassa EN 15978:2011 -standardissa elinkaari jaetaan kuvan 2 mukaisiin vaiheisiin (Bionova Oy 2017, 13). Tarkastelun laajuudessa voi kuitenkin arviointimenetelmästä riippuen olla jätetty pois joitain elinkaaren vaiheita, tai ohjeistettu käyttämään oletusarvoja joidenkin elinkaaren vaiheiden kohdalla. Esimerkkinä tästä on Suomessa julkaistu ympäristöministeriön menetelmä hiilijalanjäljen laskemiseen, jota esitellään tarkemmin seuraavassa kappaleessa.



Kuva 2. Rakennuksen elinkaaren vaiheet EN 15978 -standardin mukaan. (Ympäristöministeriö 2019, 14)

Toinen CEN TC/350 julkaisema standardi, EN 15804, taas ohjeistaa rakennustuotteista laadittavien ympäristöselosteiden (EPD, environmental product declaration) arviointimenettelyä. Standardi mahdollistaa rakennustuotteiden ympäristövaikutusten yhdenmukaisen arvioinnin, joka auttaa rakennuksen elinkaariarvioinnin suorittajaa tuotekohtaisten tietojen käyttämisessä arvioinnissaan. (SFS-EN 15804:2012 + A1:2013.)

Standardin vähimmäisvaatimus on elinkaaren vaiheiden A1–A3 ympäristövaikutusten ilmoittaminen standardissa määritellyissä ympäristövaikutusluokissa. Tämä on tyypiltään niin kutsuttu kehdestä tehtaan portille -seloste. Kehdestä hautaan -tyyppisessä selosteessa katetaan myös elinkaaren muut vaiheet. Myös EN 15804 -standardin mukainen rakennustuotteen elinkaariarviointi noudattaa ISO 14040 -standardisarjassa määritellyjä vaiheita. (SFS-EN 15804:2012 + A1:2013)

Ympäristöselosteen voi laatia joko tuotespesifisti, eli valmistajan yhden tuotteen elinkaaren aikaisista tai kehdestä portille vaiheet kattavista ympäristövaikutuksista. Selosteen voi myös laatia keskiarvoisesti, jolloin laskentaan käytetään keskiarvotietoja selosteen kattamista tuotteista. Laskentaan käytettyjen yksikköprosessitietojen tulee ensisijaisesti perustua tuotantospesifeihin tietoihin vähintään niiltä osin, kuin valmistaja voi niihin vaikuttaa. Valmistajakohtaiset tiedot saavat olla enintään viisi vuotta vanhoja. (SFS-EN 15804:2012 + A1:2013, 46–48.)

Standardi myös yhtenäistää eri tuotelaskennoissa käytettävän vaikutusarviointimenetelmän vaikutusluokkien karakterisoinnin osalta. Inventaariotietojen muuntamisessa eri vaikutusluokkiin standardi velvoittaa käyttämään CML -IA version 4.1 mukaisia karakterisointikertoimia. (SFS-EN 15804:2012 + A1:2013, 52, 84).

On huomattava, että standardi SFS-EN 15804:2012 + A1:2013 on kumottu marraskuussa 2019. Standardin korvaus uudella EN 15804:2012 + A2:2019 -standardilla tarkoittaa muutoksia ympäristöselosteiden ympäristövaikutusluokissa, kuten myös arviointimenetelmässä. Muutoksella on tarkoituksena rakennustuotteiden arviointimenetelmän yhtenäistäminen Euroopan komission kehittämän PEF (Product environmental footprint) -menetelmän kanssa. (Durão, Silvestre, Mateus & de Brito 2020, 2.) Koska vaihto uuteen standardiin on vielä siirtymävaiheessa, suoritettiin tämän työn elinkaariarvioinnin osuus käyttämällä EN 15804:2012 + A1:2013 -standardin mukaisia voimassa olevia ympäristöselosteita.

4.2 Arviointimenetelmät

Bionovan (2018, 18–19) selvityksen mukaan maailmassa oli vuonna 2018 yli 100 rakennusten tai infrastruktuurihankkeiden materiaalien hiilijalanjälki- tai elinkaariarviointia ohjaavaa sertifiointijärjestelmää tai asetusta. Järjestelmistä 19 oli kansainvälisiä ja loput 26 eri

maan kansallisia järjestelmiä. Näiden järjestelmien menetelmät vaihtelivat yksinkertaisesta hiilijalanjäljen tai elinkaariarvioinnin raportoinnista aina hiilineutraaliutta tavoitteleviin ohjelmiin. Eniten käytettyjä menetelmiä eri järjestelmissä ovat arvioinnin raportointi sekä pisteytys, jossa eri päästörajojen alittamisesta on mahdollisuus saada eri määrä pisteitä.

Euroopassa lainsäädännöllisiä ohjauskeinoja edustavat Alankomaiden ja Ranskan arviointimenetelmät, joissa molemmissa tulee arvioinnin tulosten alittaa tietty raja-arvo. Kun Ranskassa tarkastellaan rakennuksen koko elinkaaren hiilijalanjälkeä, Alankomaiden *Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken* -menetelmässä puolestaan vaikutuksia arvioidaan useammassa EN 15804 -standardiin perustuvassa vaikutusluokassa, mutta ympäristövaikutukset normalisoidaan raja-arvoa kohden tehtävää vertailua varten. (Bionova 2017, 27, 30–31.)

Suomessa ympäristöministeriö on kehittämässä rakennuksen hiilijalanjäljen arviointimenetelmää, jonka on määrä tulla voimaan ohjauskeinona vähähiiliseen rakentamiseen. Menetelmästä julkaistiin pilotointivaiheen versio elokuussa 2019. Pilotoinnin jälkeisen lausunkierroksen perusteella menetelmään suhtauduttiin pääsääntöisesti myönteisesti. (Kuittinen & Häkkinen 2020.)

Ympäristöministeriön arviointimenetelmä perustuu eurooppalaiseen Level(s) -menetelmään sekä CEN TC/350 -perheen standardeihin. Menetelmä mahdollistaa kuitenkin myös yksinkertaistetun arvioinnin, sillä materiaalien kuljetukset, työmaatoiminnot, korjausten energiankulutus sekä elinkaaren loppuvaiheisiin voidaan käyttää menetelmässä julkaistuja taulukkoarvoja. Lisäksi menetelmässä on taulukkoarvot myös taloteknisille järjestelmille aikaisen vaiheen arvioinnin helpottamiseksi. (Ympäristöministeriö 2019, 11, 44–45.)

Ympäristöministeriön menetelmässä arvioinnin laajuudesta on rajattu pois käyttövaiheen moduuli B1 (tuotteiden käyttö), B2 (ylläpito) sekä B7 (veden käyttö). Lisäksi laajamittaisille korjaushankkeille (B5) ohjeistetaan tekemään erillinen arviointi, jolloin arviointiin sisällytetään kaikki elinkaarivaiheet korjauksesta alkaen elinkaaren loppuun asti. (Ympäristöministeriö 2019.)

Rakennuksen hiilijalanjälkiarviointia varten on myös julkaistu vuonna 2021 kansallinen päästötietokanta, jota ylläpitää Suomen ympäristökeskus SYKE. Tietokanta koostuu keskimääräisistä rakennusmateriaalien ja -prosessien päästötiedoista. (SYKE 2021.)

4.3 Kaupalliset sertifiointijärjestelmät

Rakennusten ympäristövaikutusten arviointiin on olemassa useampia kansainvälisiä menetelmiä, joissa rakennuksen ympäristövaikutuksia mitataan muissakin vaikutusluokissa, kuin

elinkaaren aikaisissa ympäristöä kuormittavissa päästöissä. Tässä kappaleessa verrataan kahta Suomessakin käytettyä vapaaehtoista sertifiointijärjestelmää, jotka ovat LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) sekä BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method).

LEED on Yhdysvaltojen Green Building Councilin perustama sertifiointijärjestelmä rakennuksille. Arviointi on jaettu useampaan yksityiskohtaisia arviointikriteerejä sisältävään tarkastelukategoriaan, jotka on pisteytetty järjestelmän arviointiperusteiden mukaisesti. Osassa kategorioista on vähimmäisvaatimukset, jotka tulee vähimmäisvaatimuksena täyttää sertifiointin saamiseksi. Lisäksi arvioinnin tulee täyttää myös järjestelmässä määritelty vähimmäispistemäärä. Arvioinnista saadun pistemäärän perusteella määrittyy minkä tason sertifiointin rakennus lopulta saa (certified, silver, gold tai platinum). (USGBC.)

BREEAM puolestaan on Iso-Britanniassa perustetun Building Research Establishment Ltd:n luoma sertifiointijärjestelmä. BREEAM-järjestelmää on räätälöity eri maiden tarkoituksiin sopiviksi. Maakohtaiset lisäohjeistukset on luotu mm. Iso-Britannialle, Norjalle, Ruotsille ja Espanjalle. Niissä maissa, joissa ei ole maakohtaista erillisohjeistusta, pätee BREEAM International -käsikirjan mukaiset ohjeet. LEED:n tavoin BREEAM:n arviointi on jaettu kategorioihin, joiden krediitit on pisteytetty painoarvojen mukaan. Sertifiointi on arvioitu saavutetun pistemäärän mukaisesti (pass, good, very good, excellent, outstanding). (BREEAM.)

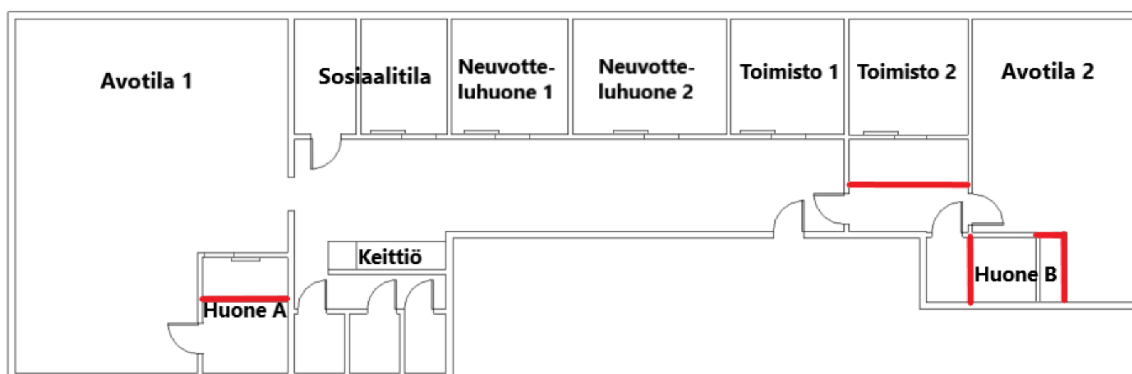
Rakennuksen elinkaariarvioinnin osalta kummassakin järjestelmässä mitataan ympäristövaikutuksia eri vaikutusluokissa, kuten ilmaston lämpeneminen, happamoituminen tai otsonikato. LEED:ssä maksimipisteet elinkaariarvioinnista voi saada vertailemalla arvioinnin tuloksia itse luotuun vertailurakennukseen (baseline), ja osoittamalla päästövähennyksiä vähintään kolmessa vaikutusluokassa, joista yhden tulee olla ilmaston lämpenemispotentiaali. BREEAM:ssa taas arviointi suoritetaan ennen rakentamista ja rakentamisen jälkeen. Maakohtaisissa menetelmissä voi lisäksi olla vaatimuksena vertailun tekeminen eri suunnitteluvaihtoehtojen välillä. (USGBC; BREEAM.)

Molemmissa sertifiointijärjestelmissä on oma laskentamenettelynsä korjaushankkeille, LEED Interior Design and Construction sekä BREEAM International Non-Domestic Refurbishment 2015. Molemmissa arviointimenettelyissä voidaan laskea myös materiaalien elinkaariarviointi, mutta lisäksi pisteitä voi saada muissa kategorioissa osoittamalla esimerkiksi energiatehokkuuden paranemista sekä ilmanlaatua parantavia toimia. Myös olemassa olevien materiaalien hyödyntäminen on otettu menetelmissä huomioon, joten arvioinneissa kannustetaan myös kiertotalousperiaatteiden huomiointiin materiaaliratkaisuissa. (USGBC; BREEAM.)

5 Toimistotilojen remointi

5.1 Kohteen kuvaus

Sisätilaremontoinnin kohteena oli Bionova Oy:n toimistotarkoitukseen hankkima toimitila Helsingissä sijaitsevasta teollisuusrakennuksesta. Toimitilojen käyttö teollisuustarkoituksiin oli päättynyt jo ennen tilojen edellistä omistajanvaihdosta. Hankinta-hetkellä toimitilat koostuivat osittain kevyin väliseinin toteutetuista neuvotteluhuoneista sekä kahdesta laajemmasta avotilasta. Molempien avotilojen yhteyteen oli myös rakennettu umpinaiset varastotilat Huone A ja Huone B (kuva 3).



Kuva 3. Toimitilojen pohjapiirustuksen epävirallinen hahmotelma sekä kaavaillut käyttötarkoitukset

Kuvassa 3 punaiset viivat kuvaavat suunniteltuja seinien siirtoja tai tilanjakoja uusien väliseinin (ei mittakaavassa). Huone B:n ja Toimisto 2:n seinät on ensisijaisesti tarkoitus siirtää ennen purkamisen ja uusien seinien pystyttämisen harkitsemista. Kuhunkin huoneeseen kaavaillut tilanjakomuutokset on kuvattu tarkemmin kappaleessa 3.2.

5.2 Remontin suunnitelma

Remontin päätarkoituksena oli toimistotilojen pinta-alan hyödyntämisen optimointi, neuvottelutilojen välisen äänieristyksen parannus sekä tarvittavat talotekniset muutokset toimitilan uuden käyttötarkoituksen mukaisiksi. Remontti suunniteltiin toteutettavan mahdollisimman vähillä vaadittavilla muutoksilla, jotta välttyttäisiin tarpeettomilta materiaali- ja jätteen kohdalla.

Jo suunnitteluvaiheessa kiinnitettiin erityistä huomiota olemassa olevien rakenteiden hyödyntämismahdollisuuksiin tilamuutoksissa. Tiloihin asennettujen materiaalien

uudelleenkäytön mahdollisuudet riippuvat pitkälti asennusvaiheessa tehdyistä ratkaisuista, esimerkkinä millä tavalla erilaiset rakennusmateriaalit on kiinnitetty rakenteisiin.

Toimitilojen laajemmat avotilat arvioitiin hyväkuntoisiksi ja käyttötarkoitukseen sopiviksi sellaisenaan, joten ainoat kaavaillut toimenpiteet näihin tiloihin olivat maalipintojen sekä jalkalistojen uusiminen, mikäli jalkalistoja ei saataisi irrotettua ehjinä uudelleenasennusta varten. Keittiö- ja wc-tilat olivat uusittu edellisvuosina, eivätkä näin ollen vaatineet saneeraustoimenpiteitä.

5.2.1 Talotekniset ratkaisut

Talotekniikan kohdalla suunnitellut muutokset käsittivät ilmanvaihdon ja lämmönjakelun riittävyyden varmistamisen jokaiselle työskentelytilalle toimistossa sekä kolmannen wc-tilan perustamisen siivouskomeron tilalle. Lisäksi sähkö- ja telekommunikaatioasennuksia lisättäisiin kattamaan kunkin työskentelytilan sähkönjaolliset ja verkkoyhteydelliset tarpeet.

Rakennuksen ilmanvaihto on toteutettu koneellisena sekä tulo- että poistoilman osalta. Parannellun äänieristyksen myötä ilmanvaihtokanaviin oli tarpeellista tehdä lisähaaroituksia, jotta ilmanvaihto olisi säädettävissä riittäväksi eri huoneisiin niille kaavailtujen työntekijämäärien mukaisesti. Lisähaaroitukset suunniteltiin yhdistettäväksi olemassa oleviin tulo- ja poistoilman runkolinjoihin, jotta näitä suurimpia ilmanvaihtokanavia ei tarvitsisi uusia.

Rakennuksen lämmitysmuotona on kaukolämpö, joten lämmönjako tiloissa tapahtuu vesilämpöpattereilla. Koska toimitilan keskiosan lämpöpattereiden sijoitukseen ei ollut tehty muutoksia neuvottelutilojen rakennusvaiheessa, oli kaksi väliseinistä rakennettu näiden patterien ympärille. Näitä pattereita ympäröivät aukot väliseinissä nähtiin tilojen välistä äänieristystä heikentävänä tekijänä, joten pattereiden sijoitusta tuli muuttaa uuden huonejaon mukaiseksi. Suunnitteluvaiheessa tutkittiin mahdollisuutta siirtää olemassa olevien pattereiden paikkoja keskenään uusiin vaihtamisen sijasta. Toimitilan etelä- ja pohjoispään avotilojen lämmönjakoon ei ollut tarpeen tehdä muutoksia.

Toimitilan siivouskomeron muuttaminen kolmanneksi wc-tilaksi. Siivouskomerossa oli ennestään asennettu vesipiste, joten muutos wc-tilaksi oli mahdollista ilman muutoksia vesija viemäriputkistoihin. Lisäksi kyseiseen tilaan kaavailtiin asennettavaksi ainoastaan urinaalimallinen wc-allas, joka ei vaatinut tilaan asennetun viemäriputken laajennusta. Koska siivouskomeroa ei ollut vesieristetty nykyisten rakennuslain vaatimusten mukaisesti, suunniteltuun muutostyöhön sisältyi vesieristyksen asennus sekä laatoituksen uusiminen lattia- ja seinäpinnoille.

Sähkö- ja telekommunikaatioasennusten osalta olemassa olevat asennukset vastasivat pääosin uuden toimistotilan tarpeita. Parannustarpeet käsittivät uusia sähköjakolinjoja sekä valmiisiin että entisistä varastotiloista perustettaviin neuvottelutiloihin. Uusien neuvottelutilojen lasiseinien arvioitiin myös mahdollisesti heikentävän langattoman verkkosignaalin läpäisyä, joten telekommunikaatiolinjat jatkettaisiin näihin tiloihin tukiasemien perustamista varten. Lisäjohdatustöitä vaadittiin myös toimitilaan kaavailluille elektroniselle kulunvalvontajärjestelmälle sekä valvontakameralle.

5.2.2 Varastotilat

Molempien avotilojen yhteyteen rakennetut varastotilat suunniteltiin hyödynnettävänä neuvottelutiloina. Suunnitelmassa molemmat varastotilat jaettaisiin kevyillä väliseinillä kahteen pienempään huoneeseen. Uusien neuvottelutilojen lattiamateriaaliksi oli valittu kulutusta kestävä laminaattilattia.

Toimitilan pohjoispäädyn varastotilasta (Huone B, kuva 3) väliseinillä erotettu pienempi huone toimisi saneerauksen jälkeenkin varastotilana, joka jätettäisiin seinien maalausta lukuun ottamatta ennalleen. Suurempaa osaa jaetusta varastotilasta suunniteltiin laajennettavan siirtämällä tilan pohjoisen puoleista seinää noin puolella metrillä, jotta tilaan mahtuisi väljemmin sinne kaavailtu kalustus. Siirrettävään seinään asennettaisiin myös ikkuna luonnonvalaistuksen tehostamiseksi. Neuvottelutilan umpinainen länsiseinä purettaisiin ja tilalle asennettaisiin koko tilan levyinen ovellinen lasiseinä.

Eteläpäädyn varastotilasta (Huone A, kuva 3) kaavailtiin väliseinillä jaetut kaksi erillistä neuvottelutilaa, joihin molempiin asennettaisiin tilojen levyiset ovelliset lasiseinät luonnonvalon maksimoimiseksi. Kyseistä varastotilaa oli käytetty aikaisemmin märkätilana, joten sen pinnoittamattoman lattia oli kallistettu lattiakaivoon viettäväksi. Näin ollen tilan lattia tulisi tasoittaa ennen laminaattilattian asentamista. Tilaan rakennettaisiin myös välikatto, jotta katonrajassa kulkeva johtokisko ei jäisi esille, eikä haittaisi valaistuksen asennusta.

5.2.3 Neuvottelu- ja sosiaalitulat

Toimitilojen neuvottelutilojen asettelu todettiin suunnitteluvaiheessa toimivaksi sellaisenaan, joten niiden välisiä väliseiniä ei nähty tarpeelliseksi siirtää. Tilojen välistä äänieristystä tuli kuitenkin parantaa häiriöttömän työskentelyn mahdollistamiseksi. Keittiötä vastapäätä sijainneiden kahden pienemmän neuvottelutilan kohdalle suunniteltiin sijoitettavan toimiston sosiaalitulat.

Neuvottelutilojen suurin äänieristystä heikentävä tekijä oli ilmanvaihdon edistämiseksi auki jätetty seinä sisäkaton ja katon välillä, joka suljettaisiin jatkamalla väliseinät kattoon asti.

Huoneiden välisten väliseinien äänieristyksen parantamiseksi seiiniin suunniteltiin asennettavaksi ylimääräiset kipsilevyt. Mikäli pelkkien kipsilevyjen lisääminen olisi todettu riittämättömäksi, äänieristystä olisi parannettu lisäämällä ylimääräistä eristevillaa purkamalla väliseinät yhdeltä puolelta ennen uusien kipsilevyjen asentamista. Lisäksi kaksi väliseinistä oli rakennettu ulkoseinille asennettujen lämmityspattereiden kohdille, joten pattereiden siirtämisen myötä jäljelle jäävät aukot tulisi myös eristää ja tukkia.

Sosiaalilat suunniteltiin avotilaksi kahden pienen väliseinällä erotetun huoneen tilalle. Toisen huoneen käytävän puoleinen väliseinä oli rakennettu kipsilevyistä, kun taas toisen huoneen kohdalla käytävän puoleinen seinä oli lasiseinä. Molempia väliseinätyyppejä suunniteltiin hyödynnettävän eteläisemmän varastotilan uuteen tilajakoon. Sosiaalitilojen ja Avotila 1:n (kuva 3) välisessä seinässä sijainneiden ikkunoiden lasit vaihdettaisiin ääntä paremmin eristäviin ”desibelilaseihin”.

Toimitilojen pohjoispäässä sijaitsevan Toimisto 2:n käytävän puoleinen lasiseinä suunniteltiin siirrettävän 1,5 metriä käytävään päin huoneen pinta-alan kasvattamiseksi neljän henkilön työpisteille riittäväksi. Myös Toimisto 2:n ja Avotila 2:n väliseen seinään asennettaisiin ääntä eristävät ikkunat luonnonvalon hyödyntämiseksi mahdollisimman tehokkaasti. Neuvottelu- ja toimistotilojen lasiseinien karmit päätettiin myös maalata mustaksi.

5.2.4 Lattiapinnat

Hankintahetkellä toimitilojen pääasiallisena lattiamateriaalina oli yhtenäinen laminaattilattia, joka käsitti koko huoneiston pinta-alan varasto- ja WC-tiloja sekä siivouskomeroa lukuun ottamatta. Lattian vaihtoa harkittiin saneerauksen suunnitteluvaiheessa kokonaan tai osittain. Lattian kunto arvioitiin kuitenkin riittävän hyväksi etenkin kalustamattomista kohdista, joissa lattian pinta jää eniten näkyville, joten laminaattilattia päätettiin jättää ennalleen.

Suurin ongelma lattian ennalleen jättämisessä tulisi olemaan sosiaalilasta purettavan väliseinän alle jäävä pinta-ala, jolle laminaattilattiaa ei luonnollisesti ollut asennettu. Alustavana ratkaisuna väliseinän alta paljastuva aukko laminaattilattiassa suunniteltiin paikattavan yleisilmeeseen sopivalla laatoituksella, jolla vältyttäisiin myös lattian uusimiselta sosiaalitilojen osalta.

5.3 Remontin toteutus

Toimitilojen saneeraus aloitettiin touko-kesäkuun vaihteessa 2019. Urakan valmistumisen tavoiteajankohdaksi valittiin heinäkuun puoliväli. Tämän opinnäytetyön laatija toimi itse urakan valvojana Bionova Oy:n puolelta.

Tässä kappaleessa käydään läpi remontoinnin toteutuksen vastaavuus suunnitelman kanssa. Lisäksi tarkastellaan minkälaisia ratkaisuja kiertotalouden näkökulmasta urakassa lopulta toteutui.

5.3.1 Valmistelevat toimenpiteet

Remontin valmisteleminen aloitettiin kohteen suojauksella. Koska toimitilojen laminaattilattia ei suunniteltu vaihdettavan, tuli se suojata asianmukaisesti työn aiheuttamalta rasiutukselta ja kolhuilta. Koko laminaattilattia peitettiin sekä kovalevyillä että suojapaperilla.

Suojaukseen käytetyt kovalevyt hankittiin käytettynä rakennusliikkeiden ylijäämämateriaaleja välittävältä Netlet Oy:ltä. Suojapaperien alle asetetut kovalevyt säilyivät saneerauksesta asennuskuntoisina, joten levyt myös noudettiin saman yhtiön toimesta uusiokäyttöä varten tulevaisuuden käyttökohteessa.

5.3.2 Talotekniset ratkaisut

Toimitilojen ilmanvaihdon muutostöissä lähtökohtaisena oletuksena raskaimpia tulo- ja poistoilman runkolinjoja ei vaihdettaisi, vaan uudet huonekohtaiset linjat voitaisiin haaroittaa olemassa olevista runkolinjoista. Koska tuloilman jako oli toteutettu suoraan runkolinjaputkesta lähes koko toimitilalle, oli putken kyljessä reikiä koko putken pituudella ilmanjakoa varten. Putkea voitiin kuitenkin hyödyntää myös uudessa ratkaisussa peittämällä nämä aukot.

Lämmönjaon mitoitus onnistui odotetusti lämmityspatterien paikkoja vaihtamalla neuvottelutilojen huonejaon mukaisesti. Myös siivouskomeron muutostyö wc-tilaksi toteutettiin suunnitellusti.

5.3.3 Varastotilat

Varastotilojen muutos neuvottelutiloiksi toteutui pääosin suunnitellusti. Lasiseinän siirtäminen eteläpäädyn varastotilaan onnistui ongelmitta. Seinä oli kiinnitetty ruuveilla ja saumattu silikonilla, joten seinän irrotus sekä uudelleenasennus voitiin toteuttaa seinän osia tai lattia- ja seinäpintoja vahingoittamatta.

Kipsilevyväliseinien purkaminen ei kuitenkaan onnistunut rakenteita rikkomatta. Kipsilevyjen saumakohdat eivät olleet esillä ja niiden päälle tiukasti asennetun lasikuitutapetin irrottaminen aiheutti kipsilevyjen murtumisen. Varastotilojen uuteen tilajakoon suunnitellut väliseinät oli näin ollen rakennettava uusista materiaaleista.

5.3.4 Neuvottelu- ja sosiaalitilat

Kuten varastotilaan siirrettävän lasiseinän kohdalla, myös Toimisto 2:n lasiseinän siirto onnistui suunnitellusti. Sosiaalitalan lattiaan puretun väliseinän alta jäänyt aukko paikattiin kokonaisuudessaan lattialaatoilla (kuva 4).



Kuva 4. Sosiaalitilojen lattian laatoitus (Nguyen 2019)

Jalkalistojen ehjänä irrottaminen osoittautui paikoin haasteelliseksi. Tästä syystä kaikkiin neuvottelutiloihin asennettiin uudet listat ja ehjinä säilyneet vanhat jalkalistat hyödynnettiin sosiaalitilojen sekä uusien lasiseinien listoitukseen. Neuvottelutiloihin asennetuiksi jalkalistoiksi valittiin johtourallinen malli, jonka alle uusien pistorasioiden johdatukset voitiin piilottaa ilman erillisten johtokourujen asentamista.

Neuvottelutilojen välisiin kevyihin väliseiniin lisättyjen ylimääräisten kipsilevyjen kohdalla käytettiin uudelleenkäytettävyyttä mahdollistavaa asennustapaa. Kipsilevyt kiinnitettiin ruuvein ja saumakohtat merkittiin jalkalistojen alle, jotta seiniä purettaessa on helppo nähdä mistä kohdasta kiinnitysruuvit löytyvät.

6 Remontoinnin hiilijalanjälki

Remontin hiilijalanjäljen arviointi suoritettiin Bionova Oy:n kehittämällä One Click LCA -ohjelmistolla. One Click LCA on erityisesti rakennussektorin hankkeiden ympäristövaikutusten arviointiin kehitetty laskentaohjelmisto, joka tukee maailmanlaajuisesti yli 50 rakennus- ja infrahankkeiden sertifiointimenetelmää. Ohjelmistolla on kolmannen osapuolen sertifikaatti yhteensopivuudesta rakentamisen ympäristövaikutusten arviointia ohjaavien EN-15978, ISO 21931-1 ja ISO 21929-1 standardien kanssa. (One Click LCA 2015.)

One Click LCA:n eri laskentatyökaluilla on mahdollista laskea rakennuksen ympäristövaikutusten arviointi koko elinkaaren ajalta rakennusmateriaalien raaka-aineiden hankinnasta alkaen aina loppusijoitukseen asti. Ohjelmiston avulla on mahdollista suorittaa arviointi kaikkiaan EN-15804 standardissa listatuissa 24 ympäristövaikutuskategoriassa sekä kuudessa Yhdysvaltain ympäristönsuojeluviraston (EPA) laatiman TRACI-menetelmään kuuluvassa kategoriassa. Ohjelmistoon on valittavissa eri arviointimenetelmiä noudattavia laskentatyökaluja. Hankkeelle osoitetun arviointimenetelmän mukaisen työkalun valinta määrittää, missä vaikutusluokissa ympäristövaikutukset ilmoitetaan. (One Click LCA 2015.) Koska työn tarkoituksena oli arvioida saneeraustyön hiilijalanjälkeä, valittiin arviointia varten eurooppalaiseen Level(s)-viitekehukseen pohjautuva Level(s) Carbon -työkalu.

6.1 Tavoitteet ja soveltamisala

Tutkimuksen lähtökohtaisena tavoitteena oli Bionova Oy:n hankkimien toimistohuoneiston sisätilaremontin hiilijalanjäljen arviointi. Koska remontoinnissa vältyttiin kiertotalousperiaatteiden ansiosta vältettävissä olevilta materiaali- ja energiavirroilta, suoritettiin tutkimus vertailevana kahden eri vaihtoehdon välillä, joista ensimmäinen edustaa toteutunutta remonttia ja toinen alkuperäistä suunnitelmaa ennen olemassa olevien materiaalien hyödyntämismahdollisuuksien tarkastelua.

Alkuperäisen suunnitelman materiaaliluetteloon lisättiin toteutuneen materiaalimenekin lisäksi ilmanvaihdon runkolinjojen vaihto, lämmityspattereiden uusiminen sekä toimitilojen pääasiallisena lattiamateriaalina toimivan laminaattilattian vaihto. Laminaattilattian vaihtaminen koko toimitilojen laajuudelta olisi tarkoittanut, että sosiaalityökalujen lattiaan ei olisi todennäköisesti asennettu laatoitusta, jolla paikattiin puretun seinän alta paljastunut aukko laminaattilattiassa. Näin ollen sosiaalityökalujen lattialeikat sekä niiden asennukseen käytetyt materiaalmäärät poistettiin alkuperäisen suunnitelman materiaaliluettelosta.

Arvioinnin tuloksia verrataan tulosten tulkintavaiheessa myös Bionova Oy:n (2021) Suomen ympäristöministeriölle laatimassa raportissa julkaistuu keskimääräiseen uudisrakennuksen hiilijalanjälkeen saneerauksen hiilijalanjäljen kokoluokan hahmottamiseksi.

6.1.1 Arvioinnin rajaus

Kohteen arviointi käsitti materiaalien valmistuksesta ja kuljetuksesta sekä saneeraustyössä syntyneestä jätteestä aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt. Laskennassa käytetyt materiaalmäärät perustuivat urakkaan osallistuneiden osapuolten laskutustietoihin. Jättemääriin sisällytettiin sekä asennusvaiheessa hukkaan menneiden rakennusmateriaalien osuus että puretuista osista syntyneet jätevirrat.

Arvioinnin ulkopuolelle jätettiin saneeraustyön energiankulutus. Saneerauksen aikaisesta energiankulutuksesta ei ole tarkkoja kulutustietoja saatavilla. Toimitilat olivat myöskin jo osittaisessa käytössä saneerauksen viimeisen kuukauden aikana, joten saneeraukseen käytetyn sähkön osuutta kokonaiskulutuksesta ei tältä ajalta olisi ollut mahdollista kohdentaa saneeraustyölle. Arviointiin ei myöskään sisällytetty työntekijöiden kodin ja kohteen välistä matkustusta tai työssä käytettyjen välineiden kulumista.

6.1.2 Arviointimenetelmä ja toiminnallinen yksikkö

Koska työn tavoitteena oli arvioida saneerauksen hiilijalanjälkeä, ympäristövaikutuksien tarkastelu rajattiin ilmaston lämpenemispotentiaaliin sadan vuoden ajalle (GWP 100). Arviointiin käytetty ohjelmiston arviointityökalu noudattaa EN 15978:2011 ja EN 15804+A1:2014 standardeja, jotka pohjautuvat CML -IA 2012 arviointimenetelmään (One Click LCA 2015).

Arvioinnin rajauksen ja tavoitteiden mukaisesti toiminnalliseksi yksiköksi valittiin remontointiin käytettyjen materiaalien, niiden kuljetusten sekä saneerauksessa syntyneiden jätevirtojen hiilijalanjälki. Tulosten vertailussa uudisrakennusten hiilijalanjäljen kanssa tulokset kohdennetaan yhtä neliometriä toimitilojen lämmitettyä nettopinta-alaa kohden.

6.2 Inventaarioanalyysi ja vaikutusarviointi

Arvioinnin inventaarioanalyysin tekemisessä käytetään hyödyksi EN 15804+A1:2014 standardin mukaisia rakennusmateriaalien ympäristöselosteita. Mikäli saneerauksen materiaalluettelon tuotteista ei ole julkaistu ympäristöselostetta, valitaan saatavilla olevasta tietokannasta mahdollisimman hyvin saneerauksessa käytettyä tuotetta vastaava vaihtoehto.

One Click LCA:n tietokanta sisältää maailmanlaajuisesti julkaistujen ympäristöselosteiden lisäksi yleisiä materiaalitietoja, jotka on mallinnettu käyttäen Ecoinventin tietokannan

keskimääräisiä eri teollisuudenalojen prosesseja (One Click LCA 2015). Tuotespesifin ympäristöselosteen puuttuessa arvioinnissa käytettiin yleisiä materiaalitietoja, mikäli niiden arvioidaan edustavan saneerauksessa käytettyä tuotetta vaihtoehtoista toisen valmistajan ympäristöselostetta paremmin.

One Click LCA:n arviointityökaluissa sekä yleisiä että valmistajaspesifejä materiaalitietoja voidaan lokalisoida vastaamaan kohdemaan olosuhteita. Lokalisoinnissa materiaalin valmistuksen arvioidusta sähkönkulutuksesta aiheutuvat päästöt mallinnetaan kohdemaan sähköntuotantojakauman mukaan. Lokalisaation avulla voidaan arvioida paikallisesti tuotetuista materiaaleista valmistettujen rakennusten ympäristövaikutuksia myös niissä maissa, joissa materiaalien ympäristöselosteita ei ole julkaistu kattavasti. (One Click LCA 2015.)

Kuljetuksen hiilijalanjäljen arviointiin käytetään ohjelmistossa keskimääräisiä eri kuljetusmuotojen päästötietoja. Erityisesti ulkomailla tuotettujen materiaalien kuljetusetäisyydet arvioidaan karttaperusteisesti. Tarkkojen kotimaassa tuotettujen kuljetusetäisyyksien puuttuessa, tai mikäli niiden osuus hiilijalanjäljestä arvioidaan vähäiseksi, käytettiin kuljetusten mallinnukseen ohjelmistoon määriteltäviä keskimääräisiä pohjoismaisia kuljetusetäisyyksiä. Myös jätemäärien kohdalla inventaarioanalyysia varten käytettiin One Click LCA:n (2015) keskimääräisiä päästötietoja eri jätetyypeille.

Saneerauksen materiaaliluettelon tuotteet ovat osin katettu tuotekohtaisin ympäristöselostein. Suurimmalle osalle tuotteita ei ole laadittu ympäristöselostetta, joten tällaisten tuotteiden kohdalla arviointiin käytettiin joko yleisiä materiaalitietoja tai toisen valmistajan julkaisemaa ympäristöselostetta vastaavanlaisesta tuotteesta. Ympäristöselosteiden kattavuutta käydään tarkemmin läpi tulosten tulkintavaiheessa.

Koska ympäristöselosteet sisältävät EN 15804 standardin mukaisesti tuotteen ympäristövaikutuspotentiaalit valmiiksi luokiteltuina ja karakterisoituina, kattaa tuotteiden valinta ja määrätietojen syöttäminen ohjelmistossa myös vaikutusarviointivaiheen. Ohjelmisto laskee myös arvioinnissa tarkasteltujen vaikutusluokkien tulokset automaattisesti yhteen, joten tietojen syöttämisen jälkeen arvioinnissa voidaan siirtyä suoraan tulosten analysointiin.

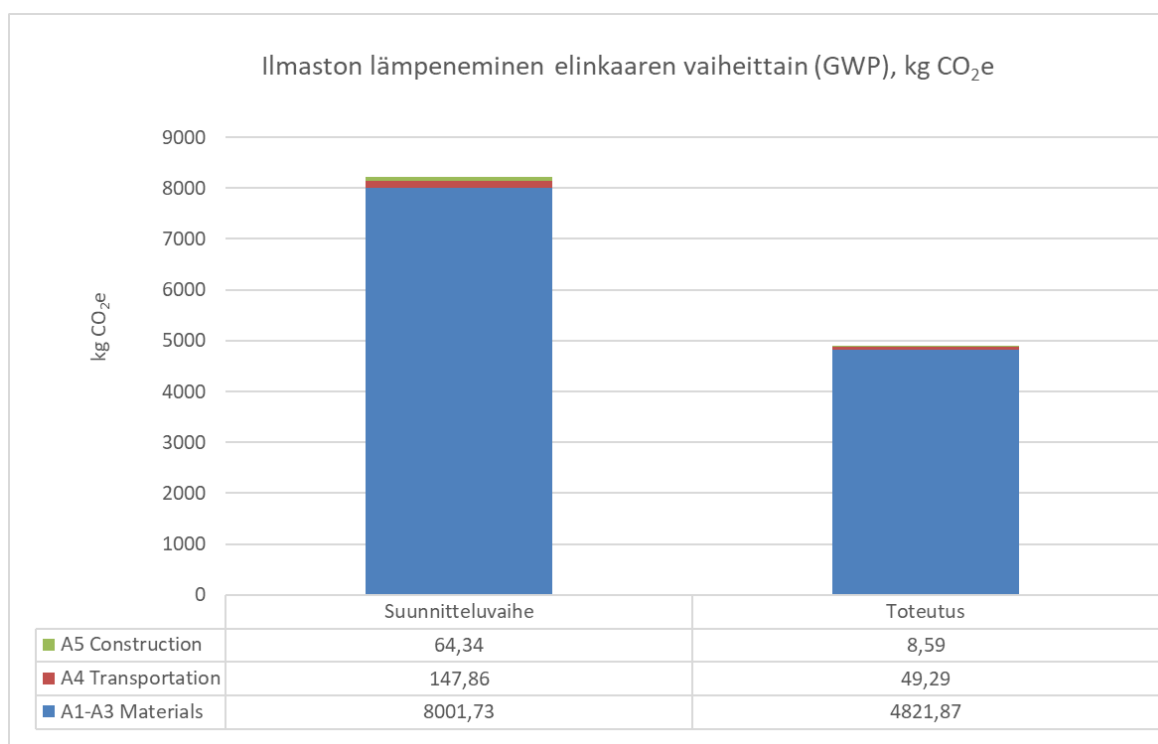
6.3 Tulosten tulkinta

Tulosten tulkintavaiheessa tarkastellaan eniten hiilijalanjälkeen vaikuttavia tekijöitä, sekä suoritetaan herkkyys- ja epävarmuusanalyysi tulosten tarkkuudelle ja edustavuudelle. Lopulta tuloksista tehdään tutkimuksen tavoitteiden mukaiset johtopäätökset.

6.3.1 Merkittävimpien tekijöiden tunnistaminen

Materiaalitietojen syöttövaiheessa nousi esiin ongelma ympäristöselosteiden kattavuudessa. Vaikka useammalle materiaaliluettelon tuotteelle oli olemassa joko tuotekohtainen tai valmistajakohtainen useamman tuotteen kattava ympäristöseloste, erityisesti talotekniikkaan liittyvissä tuotteissa oli käytettävä maakohtaisia yleisiä tietoja erilaisista komponenteista.

Tarkasteluun sisällytetyistä elinkaaren vaiheista selvästi suurin merkitys on tuotteiden valmistusvaiheella (A1-A3 Materials, kuvio 2). Materiaalikohtaisten tulosten perusteella rakennusmateriaaleista tunnistettiin eniten ilmaston lämpenemispotentiaaliin vaikuttavat tuotteet herkkyys- ja epävarmuusanalyysejä varten.



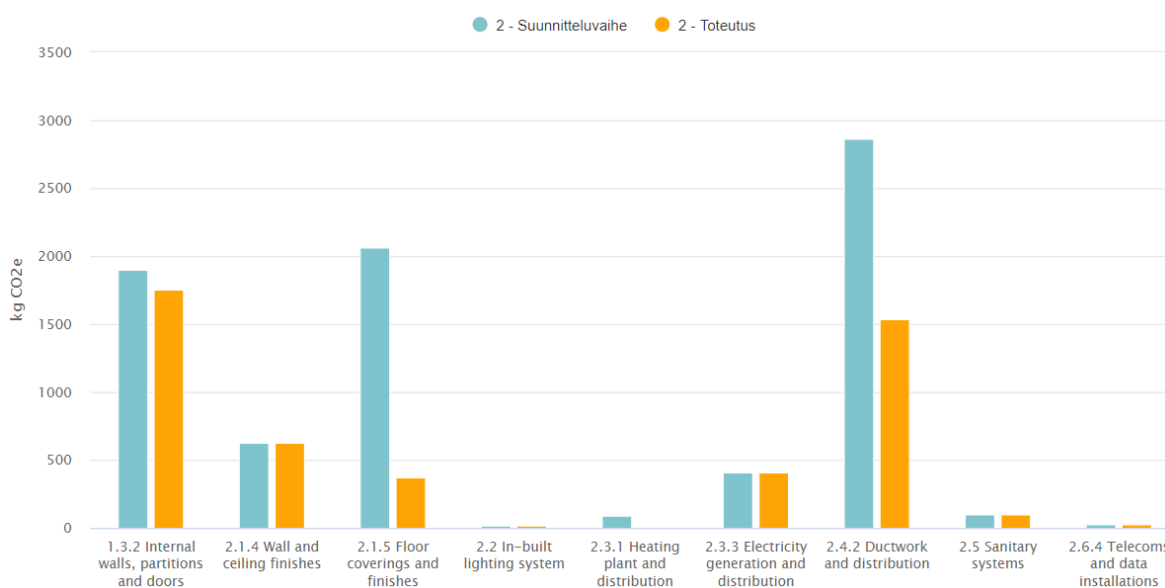
Kuvio 2. Arvioinnin tulosjakauma elinkaaren vaiheittain (One Click LCA)

Kuljetusetäisyyksien osuus (A4 Transportation, kuvio 2) tuloksista on vähäinen, suunnitteluvaiheen arvioinnissa noin 1,8 % kokonaishiilijalanjäljestä ja toteutuksen mukaisessa arvioinnissa noin 1,0 %. Suurimpana syynä eri tuotejärjestelmien väliselle erolle kuljetuksen päästöissä on Keski-Euroopassa valmistetun laminaattilattian määrä, joka oletettiin valittavaksi myös toimitilojen lattian päämateriaaliksi suunnitteluvaiheen arvioinnissa.

Arvioinnissa työmaatoiminnot (A5 Construction, kuvio 2) käsittävät remontin aikana syntyneen jätteen määrän. Jätteidenkäsittelyn osuus hiilijalanjäljestä oli molempien vaihtoehtojen kohdalla vähäinen. Suunnitteluvaiheen vaihtoehdon kohdalla osuus oli kuitenkin

moninkertainen toteutuneeseen vaihtoehtoon verrattuna laminaattilattian vaihdosta aiheutuvan suuremmasta jätemäärästä johtuen.

Toteutuneen vaihtoehdon kokonaishiilijalanjälkeen eniten vaikuttavat materiaalit kuuluivat arvioinnin tulosten perusteella taloteknisiin järjestelmiin sekä väliseiniin liittyviin osiin. Samat osiot olivat vaikuttavimpien materiaalien joukossa myös Suunnitteluvaihe-vaihtoehdossa. Tässä vaihtoehdossa taloteknisten järjestelmien osuus korostui uusittavien runkolinjojen johdosta. Myös lattiapintojen osuus kasvoi selvästi laminaattilattian selvästi suuremman määrän vuoksi (kuvio 3).



Kuvio 3. Arvioinnin tulokset rakennusosittain (One Click LCA)

6.3.2 Herkkyys- ja epävarmuusanalyysi

Tämän arvioinnin osalta herkkyys- ja epävarmuusanalyysissä keskityttiin eniten hiilijalanjälkeen vaikuttaviin materiaaleihin. Näiden materiaalien kohdalla analysoitiin käytettävien tietojen edustavuutta sekä vaihtoehtoisten tietojen valintojen vaikutusta tuloksiin. Materiaali-kohtaiset päästöt on listattu liitteessä 1.

Yksittäisten materiaalien tasolla molemmissa vaihtoehdoissa väliseiniä osalta hiilijalanjälkeen vaikuttavia materiaaleja ovat kipsilevyt, seinämaalit sekä alumiinikarmiset lasiväliseinät. Sekä kipsilevyille että seinämaaleille käytettiin laskennassa valmistajakohtaista ympäristöselostetta, joten epävarmuus arvioitiin pienimmäksi mahdolliseksi.

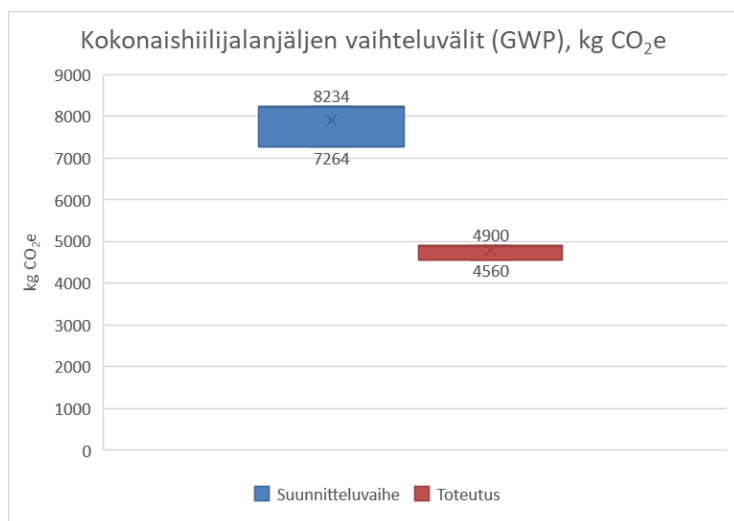
Alumiinikarmiselle lasiväliseinälle arvioinnissa käytettiin teknisiltä ominaisuuksiltaan vastaavan tuotteen ympäristöselostetta. Ohjelmiston tietokannasta löytyi kolme vaihtoehtoista

ympäristöselostetta, jotka vastasivat pääpiirteiltään hyvin toimitiloihin asennettua tuotetta. Eri valinnoilla materiaalin valmistuksen hiilijalanjäljen vaihteluväli oli 0,43–0,50 t CO₂e.

Toimitilojen uusien neuvotteluhuoneiden lattiamateriaaliksi valitulle laminaattilattialle käytettiin valmistajakohtaista ympäristöselostetta. Suunnitteluvaiheen mukaisessa arvioinnissa käytettiin oletuksena, että saman valmistajan tuotetta käytettäisiin myös muiden tilojen uutena lattiamateriaalina, joten arvioinnissa käytettiin samaa ympäristöselostetta myös vaihdettavalle laminaattilattialle.

Taloteknisiin järjestelmiin liittyvien tuotteiden edustavuus on ohjelmistossa käytettävissä olevan tietokannan perusteella kaikista arvioinnin rakennusosista heikointa. Pääasiassa tämän kategorian ympäristötiedot perustuvat yleisiin tietoihin ranskasta ja saksasta. Yksittäisistä materiaaleista merkittävimpiä tässä kategoriassa olivat ilmanvaihdon komponentit kuten tuloilmanhajottimet sekä galvanoidusta teräksestä valmistetut ilmanvaihtokanavat.

Tuloilmanhajottimille käytettiin arvioinnissa yleistä ranskalaista materiaalitietoa, joka vastasi ohjelmiston tietokannan vaihtoehtoista parhaiten asennettua tuotetta. Ilmanvaihtokanaville edustaviksi arvioituja vaihtoehtoja oli kolme, joista kaksi oli yleisiä materiaalitietoja ja yksi valmistajakohtainen ympäristöseloste. Suunnitteluvaiheen arvioinnissa vaihteluväli ilmastointikanavien hiilijalanjäljelle oli 1,0–1,9 t CO₂e ja toteutuneiden materiaalimäärien mukaisessa arvioinnissa 0,3–0,6 t CO₂e.



Kuvio 4. Arvioinnin tulosten vaihteluvälit

Kuviossa 4 esitetään arvioinnin kokonaistulokset ottaen huomioon edellä mainittujen materiaalitietojen vaihteluvälit. Arvioinnin tulosten perusteella toimitiloissa toteutetun saneerauksen hiilijalanjälki oli 2,7–3,3 t CO₂e, eli 37–40 % alkuperäistä suunnitelmaa pienempi.

Suurin ero vaihtoehtojen välillä johtui laminaattilattian säilyttämisestä ennallaan, jonka vaikutus hiilijalanjälkeen oli noin 1,7 t CO₂e, sekä ilmanvaihdon runkolinjojen hyödyntämisestä noin 0,7–1,3 t CO₂e vaikutuksella.

Lopulta normalisoitua tulosta verrattiin Bionova Oy:n (2021, 17) tutkimukseen keskimääräisestä suomalaisten uudisrakennusten päästöistä. Kun toteutuneen remontin hiilijalanjälki jaetaan toimitilojen pinta-alalla, saadaan tulokseksi noin 16,83 kg CO₂e / m². Keskimääräinen toimistohuoneiston hiilijalanjälki on tutkimuksen mukaan 686 kg CO₂e / m², josta osien vaihtojen osuus on 81 kg CO₂e / m². Arvioinnin tulosten vertaaminen tähän lukemaan on todenmukaisin, jos otetaan huomioon, että remontoinnin energiankulutus rajattiin arvioinnin ulkopuolelle, ja ympäristöministeriön menetelmän mukaisissa laskennoissa korjausten ja vaihtojen energiankulutus ilmoitetaan erikseen.

6.3.3 Johtopäätökset

Vertailusta voidaan todeta remontin todella olleen vähähiilinen. Toimistorakennuksen keskimääräisellä osien vaihtojen hiilijalanjäljellä kattaisi yli neljä samanlaista remonttia. Remontissa onnistuttiin käyttämään innovatiivisia ratkaisuja, kuten laminaattilattian paikkaus laatoituksella, mutta lisäksi myös jätemäärät säilyivät kohtuullisina. Kaikki hankitut rakennusmateriaalit käytettiin tehokkaasti loppuun.

Toisaalta voidaan olettaa, että koska lattiamateriaalia ei vaihdettu remontin yhteydessä koko huoneistoon, tullaan lattia uusimaan nopeammin, kuin jos se olisi samalla uusittu. Mutta toisaalta lattiamateriaali on helpointa vaihtaa muuton yhteydessä, ennen kuin kalusteet on tuotu lattian päälle. Päätös jättää laminaattilattia paikalleen saattoi siten säästää yhden vaihtokerran materiaalivirrat sekä niistä aiheutuvat hiilipäästöt.

Kuten arvioinnin herkkyyss- ja epävarmuusanalyysissäkin tuli esille, talotekniikan osalta valmistajat ovat heränneet hitaasti, eikä valinnanvaraa juuri ole tarkempaan laskentaan. Talotekniset järjestelmät olivat arvioinnin suurin yksittäinen epävarmuustekijä, johtuen tietysti pitkälti siitäkin, että ilmanvaihdon komponentit käsittivät niin suuren osuuden tuloksista. Vaikka tulosten vaihteluväli olikin prosentuaalisesti suuri, vastasivat tulokset tutkimuksen tavoitteita hyvin.

Johtopäätöksenä voidaan todeta tärkeimmän hiilipäästöjen välttämistävän olevan turhan rakentamisen välttäminen. Tämän remontin kohdalla se tapahtui monestakin syystä. Ensimmäkin hankitut toimitilat olivat jo valmiiksi pitkälti tarkoitukseen sopivat. Toiseksi olemassa olevia materiaaleja hyödynnettiin mahdollisuuksien puitteissa, ja kolmanneksi remontissa suosittiin korjaavia toimenpiteitä uusimisen sijaan (lattia, lasiseinien karmien maalaus).

7 Yhteenveto

Elinkaariarvioinnin standardisoinnilla on suuri merkitys huomattavan osuuden globaaleista kasvihuonekaasupäästöistä aiheuttavan rakennusalan päästöohjauksen mahdollistamiseksi. Vaikka suuri osa tänä päivänä käytössä olevista arviointimenetelmistä on vapaaehtoisia, eikä tarvitse muuta kuin arvioinnin suorittamisen ilman osoitusta ympäristövaikutusten vähentämisestä, on tutkimustiedon kerääminen olennainen osa tulevien ohjauskeinojen pohjatyötä.

Rakentamisen energiatehokas nykysuunta osoittaa myös tuotevaiheen kasvavan osuuden rakennusten elinkaaresta, mikä osaltaan voi parantaa arvioinnin tarkkuutta. Jos rakennusten pitkä käyttöikä aiheuttaa epävarmuutta tulevaisuuden päästöissä esimerkiksi energiantuotannon päästöintensiteetin kehityksen vuoksi, tarkentaa ympäristöselosteiden lisääntyvä määrä elinkaaren merkittävimmän vaiheen arviointia, jonka aiheuttamat päästöt tapahtuvat arviointihetkellä.

Teoriaosuudessa tehdyn tutkimustyön perusteella korjausrakentamisen elinkaariarvioinnista on tuotettu uudisrakennuksiin verrattuna selvästi vähemmän tutkimuksia. Materiaalien osuus on toki lähtökohtaisesti pieni potentiaalisiin energiansäästöihin verrattuna, mikäli esimerkiksi yläkaton eristyksen parantamisella saadaan huomattava vähennys hukkalämmössä. Elinkaariarvioinnin avulla korjaushanke voidaan kuitenkin optimoida niin, että energiatehokkuuden ylimääräinen parantaminen ei johda materiaaleista aiheutuvien päästöjen tarpeettomaan kasvuun.

Remontin hiilijalanjäljen arvioinnissa lopputulos oli ennakoitavissa, sillä toteutunut remontti käsitti lähes samat materiaalit kuin alkuperäinen suunnitelma, mutta pienemmissä määrin. Jatkokehityksenä remontin elinkaariarvioinnille voisi olla kattavampi materiaaliveikkojen vertailu. Esimerkiksi eri lattiatyyppien välillä on hyvin paljon eroja päästöissä riippuen siitä, valitseeko kokolattiamaton, laminaatin, parketin tai muun vaihtoehdon. (One Click LCA 2015).

Remontin hiilijalanjälkiarvioinnin tulosten perusteella voidaan todeta myös, että esimerkiksi ympäristöministeriön (2019) menetelmän vähähiilisyden arvioinnin ulkopuolelle jätetyt pintamateriaalit kuten maalit ja saumaaineet eivät vaikuta rakennuksen hiilijalanjälkeen merkittävästi. Seinämaalit olivat toki arvioinnissa korkeimpien vaikuttajien joukossa, mutta toimistossa maalattiin kaikki seinäpinnat vähintään kerran, joten maalin määrä ei ollut samassa suhteessa muiden materiaalien, kuten esim. kipsilevyjen kanssa.

Elinkaariarviointi on edelleen nuori tieteenala. Arviointia yhtenäistävät tietokannat, menetelmät ja standardit ovat olleet olemassa vasta n. 20 vuoden ajan, osa paljon lyhyemmänkin

aikaa. On siis selvää, että kaikki tutkimukset arvioinnin parissa voivat hyödyttää arviointimenettelyn kehitystyötä eteenpäin, vaikka eri remontointihankkeet eivät olisikaan vertailukelpoisia keskenään.

Lähteet

Bionova Oy. 2017. Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa. Verkkojulkaisu. Viitattu 28.5.2021. Saatavissa: <https://ym.fi/vahahiili-sen-rakentamisen-tiekartta>

Bionova Oy. 2018. The Embodied Carbon Review. Verkkojulkaisu. Viitattu 26.5.2021. Saatavissa <https://www.oneclicklca.com/embodied-carbon-review/>

Bionova Oy. 2021. Carbon Footprint Limits for Common Building Types. Ministry of Environment, Finland. Viitattu 29.5.2021. Saatavissa <https://www.oneclicklca.com/carbon-footprint-limits-for-buildings-finland/>

Bjørn A., Owsianiak M., Molin C. & Laurent A. 2018a. Main Characteristics of LCA. Teoksessa Hauschild M.Z., Rosenbaum R.K. & Olsen S.I. (toim.). Life Cycle Assessment – Theory and Practice. Cham: Springer. Viitattu 12.5.2021. Saatavissa <https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3>

Bjørn A., Owsianiak M., Molin C. & Hauschild M.Z. 2018b. LCA History. Teoksessa Hauschild M.Z., Rosenbaum R.K. & Olsen S.I. (toim.). Life Cycle Assessment – Theory and Practice. Cham: Springer. Viitattu 12.5.2021. Saatavissa <https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3>

Bjørn A., Owsianiak M., Laurent A., Olsen S.I., Corona A. & Hauschild M.Z. 2018c. Scope Definition. Teoksessa Hauschild M.Z., Rosenbaum R.K. & Olsen S.I. (toim.). Life Cycle Assessment – Theory and Practice. Cham: Springer. Viitattu 12.5.2021. Saatavissa <https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3>

BPIE (Buildings Performance Institute Europe). 2017. 97% of buildings in the EU need to be upgraded. Verkkojulkaisu. Viitattu 27.5.2021. Saatavissa: http://bpie.eu/wp-content/uploads/2017/12/State-of-the-building-stock-briefing_Dic6.pdf

BREEAM. Technical standards. Verkkosivusto. Viitattu 28.5.2021. Saatavissa <https://www.breeam.com/>

Buyle M., Braet J. & Audenaert A. 2013. Life cycle assessment in the construction sector: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews Volume 26. Viitattu 11.5.2021. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.001>

Durão V., Silvestre J.D., Mateus R. & de Brito J. 2020. Assessment and communication of the environmental performance of construction products in Europe: Comparison between PEF and EN 15804 compliant EPD schemes. Resources, Conservation and Recycling

Volume 156. Viitattu 30.5.2021. Saatavissa:

<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104703>

EC-JRC. 2010. International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance. First edition March 2010. EUR 24708 EN. Luxembourg. Publications Office of the European Union. Viitattu 13.5.2021. Saatavissa <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/ILCD-Handbook-General-guide-for-LCA-DETAILED-GUIDANCE-12March2010-ISBN-fin-v1.0-EN.pdf>

Frischknicht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Doka G., Dones R., Heck T., Hellweg S., Hischer R., Nemecek T., Rebitzer G. & Spielmann M. 2005. The Ecoinvent Database: Overview and Methodological Framework. The International Journal of Life Cycle Assessment 10, 3-9. Viitattu 14.5.2021. Saatavissa <http://dx.doi.org/10.1065/lca2004.10.181.1>

Hauschild M.Z. 2018. Introduction to LCA Methodology. Teoksessa Hauschild M.Z., Rosenbaum R.K. & Olsen S.I. (toim.). Life Cycle Assessment – Theory and Practice. Cham: Springer. Viitattu 11.5.2021. Saatavissa <https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3>

Hauschild M.Z., Bonou A. & Olsen S.I. Life Cycle Interpretation. 2018. Teoksessa Hauschild M.Z., Rosenbaum R.K. & Olsen S.I. (toim.). Life Cycle Assessment – Theory and Practice. Cham: Springer. Viitattu 12.5.2021. Saatavissa <https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3>

Koskela S., Sokka L., Korhonen M.-R., Mattila T. & Soimakallio S. 2010. Elinkaariarviointi ja sen käyttö. Teoksessa Antikainen R. (toim.) Elinkaarimetodiikkojen nykytila, hyvät käytännöt ja kehitystarpeet. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 7/2010. SYKE. Viitattu 14.5.2021. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39822/SYKEra_7_2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Kuittinen M. & Häkkinen H. 2020. Rakennusten vähähiilisyiden arviointimenetelmä koetaan pääosin selkeäksi ja kattavaksi – lausuntoyhteenveto ja lausunnot julkaistu. Verkkojulkaisu. Ympäristöministeriö. Viitattu 27.5.2021. Saatavissa: <https://ym.fi/fi/-/rakennusten-vahahiilisyiden-arviointimenetelma-koetaan-paaosin-selkeaksi-ja-kattavaksi-lausuntoyhteenveto-ja-lausunnot-julkaistu>

Lucon O., Ürge-Vorsatz D., Zain Ahmed A., Akbari H., Bertoldi P., Cabeza L.F., Eyre N., Gadgil A., Harvey L.D.D, Jiang Y., Liphoto E., Mirasgedis S., Murakami S., Parikh J., Pyke C. & Vilariño M.V. 2014. Buildings. Teoksessa Edenhofer, O., Pichs-Madruga R., Sokona Y., Farahani E., Kadner S., Seyboth K., Adler A., Baum I., Brunner S., Eickemeier P.,

Kriemann B., Savolainen J., Schlömer S., von Stechow C., Zwickel T. & Minx J.C. (toim.). Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Cambridge ja New York: Cambridge University Press, 671–738. Viitattu 3.5.2021.

Saatavissa <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>

Martínez-Rocamora A., Solís-Guzmán J. & Marrero M. 2016. LCA databases focused on construction materials: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews Volume 58. Viitattu 15.5.2021. Saatavissa <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.243>

58. Viitattu 15.5.2021. Saatavissa <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.243>

Nguyen A. 2019. Valokuva toimitilasta.

One Click LCA. 2015. Helsinki: Bionova Oy.

Rebitzer G., Ekvall T., Frischknecht R., Hunkeler D., Norris G., Rydberg T., Schmidt W.-P., Suh S., Weidema B.P. & Pennington D.W. 2004. Life cycle assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. Environment International Volume 30, Issue 5. Viitattu 10.5.2021. Saatavissa

<https://doi.org/10.1016/j.envint.2003.11.005>

<https://doi.org/10.1016/j.envint.2003.11.005>

Rosenbaum R.K., Hauschild M.Z., Boulay A-M., Fantke P., Laurent A., Núñez M. & Vieira M. 2018. Life Cycle Impact Assessment. Teoksessa Hauschild M.Z., Rosenbaum R.K. & Olsen S.I. (toim.). Life Cycle Assessment – Theory and Practice. Cham: Springer. Viitattu 12.5.2021. Saatavissa <https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3>

12.5.2021. Saatavissa <https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3>

Ruuska A., Häkkinen T., Vares S., Korhonen M-R. & Myllymaa T. 2013.

Rakennusmateriaalien ympäristövaikutukset. Selvitys rakennusmateriaalien vaikutuksesta rakentamisen kasvihuonekaasupäästöihin, tiivistelmäraportti. Ympäristöministeriön raportteja 8/2013. Viitattu 9.5.2021. Saatavissa:

https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/41423/YMra8_2013_Rakennusmateriaalien_ymparistovaikutukset_FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Röck M., Ruschi Mendes Saade M., Balouktsi M, Rasmussen F.N., Birgisdottir H.,

Frischknecht R., Habert G., Lützkendorf T. & Passer A. 2020. Embodied GHG emissions of buildings – The hidden challenge for effective climate change mitigation. Applied Energy Volume 258. Viitattu 21.5.2021. Saatavissa

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114107>

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114107>

SFS-EN 14040:2006. Viittaaminen sähköisiin dokumentteihin tai niiden osiin. Helsinki:

Suomen Standardoimisliitto.

SFS-EN 14044:2006. Viittaaminen sähköisiin dokumentteihin tai niiden osiin. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto.

SFS-EN 15084:2012 + A1:2013. Viittaaminen sähköisiin dokumentteihin tai niiden osiin. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto.

SYKE. 2021. Rakentamisen päästötietokanta. Verkkosivusto. Viitattu 27.5.2021. Saatavissa: <https://co2data.fi/>

USGBC. LEED rating system. Verkkosivusto. Viitattu 28.5.2021. Saatavissa <https://www.usgbc.org/leed>

Vilches A., Garcia-Martinez A. & Sanchez-Montañes. 2017. Life cycle assessment (LCA) of building refurbishment: A literature review. Energy and Buildings Volume 135. Viitattu 28.5.2021. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.11.042>

Yhdistyneiden kansakuntien ympäristöohjelma 2020. 2020 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. Nairobi. Viitattu 3.5.2021. Saatavissa <http://globalabc.org/resources/publications>

Ympäristöministeriö. 2019. Rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmä. Kuittinen M. (toim.) Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:22. Viitattu 10.5.2021. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-029-3>

Liitteet

Liite 1. Materiaaliluettelo ja tuotekohtaiset hiilijalanjälkitulokset

Tuotenumike	Määrä	A1-A3	A4	GWP, kg CO2e	Tuotenumike	Määrä	A1-A3	A4	GWP, kg CO2e
Eristevilla	39,66 m2	80,42	0,16	80,58	Lattialaatat, sosiaalitiilat	9,8 kg	9,65	0,082	9,732
Hienotasoite	66 kg	16,99	0,18	17,17	Lattiatasoite	440 kg	73,25	1,18	74,43
Kertopuu	0,3348 m3	45,53	0,85	46,38	Mäntylauta	20 kg	3,11	0,1	3,21
Kipsilevyt 12,5mm	240,24 m2	600,6	6,38	606,98	Ovilistat	105 kg	86,23	0,52	86,75
Kipsitasoite	45 kg	26,5	0,12	26,62	Palopellit	4 kpl	162,4	0,32	162,72
Kitti	102 kg	19,75	0,27	20,02	Pesuallas	1 kpl	13,35	0,12	13,47
Akryylimassa	8,1 kg	10,2	0,11	10,31	Pienrauta	30 kg	83,01	0,057	83,067
Akustiikkalasi	4,815 m2	158,38	0,23	158,61	Pintatasoite	120 kg	36,5	0,32	36,82
Akustiikkapaneelit	7,2 m2	24,22	0,058	24,278	Pistorasia	13 kpl	11,53	0,0082	11,5382
Alumiinikarm. lasiseinät	9,2 m2	476,41	5,33	481,74	Pisuaari	1 kpl	80,3	0,097	80,397
Asennusliima	3,84 kg	8,45	0,053	8,503	Pohjamaali metallille	0,8 kg	4,39	0,011	4,401
Datapistokkeet	4 kpl	1,6	0,0015	1,6015	Saumalaasti	15 kg	6,46	0,04	6,5
Ethernet-kaapeli	46 m	25,21	0,019	25,229	Saumasilikoni	2 kg	17,32	0,028	17,348
Huonekalumaali	6,16 kg	11,02	0,086	11,106	Seinämaali	299,2 kg	481,8	4,16	485,96
IV-kanava 100	7 m	71,27	0,064	71,334	Sähköjohto	210 m	400,19	0,69	400,88
IV-kanava 125	12 m	148,36	0,13	148,49	Tartuntapohjuste	2,9 kg	12,49	0,04	12,53
IV-kanava 160	5 m	81,82	0,073	81,893	Tuloilmanhajottimet	86,6 kg	758,5	0,56	759,06
IV-kanava 200	9 m	216	0,19	216,19	Uretaanivaaho	2,9 kg	13,72	0,04	13,76
IV-kanava 250	2 m	59,64	0,053	59,693	Venttiili 100 Poisto	2 kpl	1,54	0,0036	1,5436
Jalkalistat	38 kg	70,32	0,19	70,51	Venttiili 100 Tulo	2 kpl	1,54	0,0036	1,5436
Kiinnitysraudat	5,8 kg	16,02	0,024	16,044	Venttiili 125 Poisto	4 kpl	3,96	0,0093	3,9693
Kipsilevy 6,5mm	3,24 m2	4,98	0,048	5,028	Venttiili 125 Tulo	4 kpl	3,96	0,0093	3,9693
Kosteussulku	6,5 kg	13,36	0,09	13,45	Venttiili 160 Poisto	3 kpl	3,88	0,0092	3,8892
Kulmasuojalistat	7 kg	35,85	0,029	35,879	Venttiili 160 Tulo	5 kpl	6,46	0,015	6,475
Kuusilauta	9,8 kg	0,61	0,049	0,659	Venttiili 200 Tulo	9 kpl	17,82	0,042	17,862
Kynnyslista, Alumiini	1,14 kg	19,36	0,0017	19,3617	Vesiputket, kupari	11 m	8,52	0,02	8,54
Laminaattilattia	21,89 m2	142,63	6,69	149,32	WC seinä- ja lattialaatat	17,4 m2	111,9	0,95	112,85
					Kovalevyt - vain kuljetus	1000 kg		6,9	6,9
Jätteet:				A5, kg CO2e					
Teräsjäte	Koolaukset (Pienin hu		8,3 kg	0,08					
Rakennusjäte	Eriste (Sosiaalitiila)		9,2 kg	0,42					
Teräsjäte	Koolaukset (Sosiaaliti		17 kg	0,13			A1-A5	GWP	
Rakennusjäte	Eriste (Sosiaalitiila)		18 kg	0,78			Yhteensä:	4845,7	kg CO2e
Puujäte	Lastulevy (Pienin hu		92 kg	1,01					
Keraaminen jäte	Vaihdetut laatat		175 kg	2,28					
Kipsijäte	Kipsilevyjäte		200 kg	1,81					
Puujäte	Lastulevy (Sosiaalitiila		230 kg	2,08					