

Netta Kiiveri

# Rakennuksen hiilijalanjäljen pienentäminen materiaalivalinnoilla

## Kirjallisuuskatsaus

Opinnäytetyö

Tekniikan ammattikorkeakoulututkinto

Ympäristötekniikan koulutus

2023



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Netta Kiiveri
Työn nimi	Rakennuksen hiilijalanjäljen pienentäminen materiaalivalinnoilla
Toimeksiantaja	Brado Oy
Vuosi	2023
Sivut	40
Työn ohjaaja	Liisa Routaharju

## TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyö selvittää, millä keinoilla rakennettavan kohteen ympäristövaikutuksia on mahdollista pienentää materiaalivalintojen kautta. Työssä läpikäytävät materiaalit on rajattu lattia-, alakatto- ja eristemateriaaleihin. Rakennusalan päästöjen hillitsemiseksi on globaalisti alettu valmistelemaan lainsäädäntöä, yhteisiä toimintatapoja sekä linjauksia. Suomessa ympäristöministeriö on teettänyt vähähiilisen rakentamisen tiekartan, jonka tarkoitus on ohjata sekä edistää rakennusalan ilmastotavoitteiden saavuttamista. Rakennettavan kohteen ilmastovaikutuksien arviointiin on kehitetty erilaisia menetelmiä, joista yksi menetelmä on elinkaariarviointi. Sen pyrkimys on pienentää rakennuksen elinkaaren kasvihuonekaasupäästöjä ennakkosuunnittelun keinoin.

Työn tutkimusmenetelmänä on kirjallisuuskatsaus. Tutkimusaineistoa haettiin eri tietokannoista, rekistereistä sekä viranomaistahojen ja alan yritysten nettisivuilta. Työssä käytettävät lähteet valittiin sisäänotto- ja poissulkukriteerien avulla. Työssä tarkasteltaviin lattia-, eriste- ja alakattomateriaaleihin valittiin Suomessa yleisimmin käytettäviä materiaaleja.

Rakennuksen ympäristövaikutuksiin voidaan vaikuttaa hyvällä suunnittelulla, jonka kautta voidaan vähentää materiaalien kokonaistarvetta tai valita vähähiilisiä materiaaleja. Materiaalivalintoja tulee tarkastella rakenteiden tai rakennusosien rakennusfysikaalisen toimivuuden ja pitkäikäisyyden kautta. Ympäristöystävällisiä lattiamateriaaleja valitessa on tärkeää kiinnittää huomiota materiaalin käyttöikään sekä ylläpito- ja huoltotarpeeseen. Eristemateriaalien osalta kohteen ympäristövaikutuksia voidaan pienentää parantamalla rakenteiden lämmöneristävyttä. Eristetuotteiden ympäristövaikutukset kohteen kokonaisvaikutuksista ovat melko vähäiset verrattuna energian säästöstä saataviin vaikutuksiin. Alakattomateriaalien ympäristövaikutuksista tutkimustuloksia löytyi heikosti.

Työ onnistuu tarjoamaan toimeksiantajayritykselle tietoa ja keinoja vähentää kohteen ympäristövaikutuksia materiaalivalintojen kautta. Kuitenkin materiaalien ympäristöselosteiden huono vertailtavuus hankaloittaa materiaalivalintojen tekemistä ja lisätutkimuksille on suuri tarve. Ympäristövaikutusten arvioinneissa käytettäviä arviointimenetelmiä tulee yhdenmukaistaa, jotta tutkimusten tuloksista saadaan vertailukelpoisempia. Opinnäytetyö tarjoaa myös tietoa nykyhetken ongelmista ja kehitystä vaativista kohdista vähähiilisten materiaalien valinnassa.

**Asiasanat:** ympäristövaikutukset, lattiamateriaalit, eristemateriaalit, alakattomateriaalit, ympäristöseloste, elinkaariarviointi

Degree title	Bachelor of Engineering
Author	Netta Kiiveri
Thesis title	Reducing the carbon footprint of a building with material choices
Commissioned by	Brado Oy
Time	2023
Pages	40
Supervisor	Liisa Routaharju

## ABSTRACT

The purpose of the thesis was to explain how the environmental impact of a building could be reduced through material decisions. The materials included in the thesis were limited to flooring, insulation, and suspended ceiling materials. Global measures have been initiated to curb emissions from the construction industry. In Finland, the Ministry of the Environment has prepared a road map for low-carbon construction, the purpose of which is to guide and promote the low-carbon transition of the industry. In Finland, by 2025, legislation to control the carbon footprint during the life cycle of buildings will enter into force. Different climate effect assessment methods have been developed. The most used is the Life Cycle Assessment, the aim of which is to reduce greenhouse gas emissions during the building's life cycle.

The thesis was implemented as a literature review. Research material was gathered from databases, registers and the websites of authorities and companies in the field. The research materials were selected using inclusion and exclusion criteria. The flooring, insulation and ceiling materials surveyed in the thesis were selected from commonly used materials in Finland.

The study showed that the environmental impact of the building could be influenced by good planning, through which the total need for materials could be reduced or low-carbon materials can be selected. Material choices should be considered through the physical functionality and longevity of the structures or building components. In terms of flooring materials, it is important to pay attention to the material's service life and the need for maintenance during its life cycle. Regarding insulation materials, the environmental impact of the building can be reduced by improving the thermal insulation of the structures. Research regarding suspended ceiling materials was scarce which indicated the need for further research.

The thesis succeeded in providing the commissioning company information and ways to reduce a building's environmental impact through material choices. However, the poor comparability of materials' EPDs makes decision making difficult, and therefore there is a great need for further research and development. The assessment methods used in environmental impact assessments should be harmonized in order to make the results of the studies more comparable. The thesis also provided information on current problems and areas requiring development in the selection of low-carbon materials.

**Keywords:** environmental impact, flooring materials, insulation materials, suspended ceiling materials, EPD, LCA

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	VÄHÄHIILINEN RAKENTAMINEN .....	6
2.1	Hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki .....	7
2.2	Vähähiilisen rakentamisen tiekartta .....	8
3	RAKENTAMISEN PÄÄSTÖJEN SÄÄNTELY .....	9
4	RAKENNUSTEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET JA ARVIOINTIMENETELMÄT .....	11
4.1	Rakennuksen päästöarviointi .....	13
4.2	Elinkaariarviointi .....	16
4.3	CO <sub>2</sub> -päästötiedot ja ympäristöselosteet .....	16
5	RAKENNUSMATERIAALIEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSIA .....	17
5.1	Lattiamateriaalit .....	19
5.2	Eristemateriaalit .....	22
5.3	Alakattomateriaalit .....	24
5.4	Materiaalien kierrätys .....	25
6	AINEISTO JA MENETELMÄT .....	26
7	TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU .....	27
8	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	34
	LÄHTEET .....	37

## 1 JOHDANTO

Ilmastonmuutoksen myötä monilla aloilla on kiinnitettävä enemmän huomiota ympäristön kannalta haitalliseen toimintaan sekä rajoitettava erilaisten toimintojen aiheuttamia ympäristölle haitallisia päästöjä. Rakennusalan päästöjen vähennys on välttämätöntä kansallisten ja kansainvälisten ilmastotavoitteiden saavuttamisessa. Vähähiilinen rakentaminen keskittyy rakennusten käytönaikeisen energiankulutuksen pienentämisen lisäksi vähentämään rakennusten koko elinkaaren aikana aiheutuvia ympäristövaikutuksia. (Vähähiilinen rakentaminen s.a.)

Ympäristöministeriö on luonut vähähiiliselle rakentamiselle tiekartan, joka ohjaa sekä edistää rakentamisen ja rakennusmateriaalien hiilijalanjäljen vähentämiseen sekä Suomen rakennus- ja kiinteistöalaa koskevien ilmastotavoitteiden edistämiseen. Tavoitteena on ohjata rakennusten elinkaaren aikaista hiilijalanjälkeä lainsäädännöllä vuoteen 2025 mennessä. (Vähähiilisen rakentamisen tiekartta s.a.) Muutos on jo käynnissä ja vauhdittuu parin vuoden sisällä, joka tekee opinnäytetyön aiheesta ajankohtaisen.

Rakennusalan vähähiilinen siirtymä vaatii kansallisesti ja kansainvälisesti yhtenäiset toimintatavat ja ohjausmenetelmät sekä valtioiden ohjausta. Lisäksi alalla tarvitaan osaamista hiilijalanjäljestä sekä laskentatyökaluja. Rakennustuotteiden päästötiedot tulisi saada yhteiseen tietokantaan, jonka lisäksi päästötietojen laatu tulisi varmistaa. Tällä hetkellä rakennustuotteiden päästötietojen laatu on vaihtelevaa. (Bionova Oy 2017.) Myös elinkaariarvioinnin menetelmiä ja käyttöä on yhtenäistettävä. Elinkaariarviointia ohjaavat ISO-standardit sallivat suuria vapauksia elinkaariarvioinnissa käytettävien menetelmien soveltamisessa. Tämä voi johtaa merkittäviinkin eroihin saaduissa tuloksissa. (Füchsl ym. 2022.)

Opinnäytetyön tarkoituksena on löytää vastauksia siihen, kuinka materiaalivalinnoilla voidaan pienentää rakennettavan kohteen ympäristövaikutuksia sekä millaisilla valinnoilla positiivisia vaikutuksia voidaan saavuttaa. Vastauksia etsitään etenkin hiilijalanjäljen osalta. Rakennusmateriaalien ympäristövaikutuksia selvitetessä Ruuska ym. (2013) totesivat, että kantavien rakennusosien

lisäksi myös pintamateriaaleilla ryhmänä on suuri merkitys materiaalien hiilijalanjälkeen. Työssä käydään läpi rakennusmateriaalien ympäristövaikutuksia rajaten tarkasteltavat materiaalit lattia-, alakatto- ja eristemateriaaleihin.

Opinnäytetyön toimeksiantajayrityksenä toimii Brado Oy, joka rakennusalan toimijana haluaa olla mukana edistämässä alaa ympäristön kannalta suotuisampaan suuntaan. Opinnäytetyö tulee tarjoamaan yritykselle lisää ymmärrystä rakennusmateriaalien ympäristövaikutuksista sekä keinoja rakennusten elinkaaren ympäristövaikutusten pienentämiseen materiaalivalintojen kautta. Kirjallisuuskatsauksesta saatujen tulosten avulla toimeksiantajalla on rakentajana paremmat mahdollisuudet esittää materiaalivaihtoehtoja tilaajille. Rakentamisen päästöjen suuruuteen vaikuttavat päätökset tehdään suunnitteluprosessin alussa, joka korostaa tilaajien ja suunnittelijoiden vastuuta (Häkkinen ym. 2015).

## 2 VÄHÄHIILINEN RAKENTAMINEN

Kansalliset ja kansainväliset ilmastotavoitteet ohjaavat vähähiilisen rakentamisen suuntaan myös Suomessa. Esimerkiksi energiatehokkuus on viime vuosina parantunut uusien energiamääräysten astuessa voimaan vuonna 2018. Energiatehokkuuden rinnalla rakennusalan on kiinnitettävä enemmän huomiota rakennusten päästöihin koko rakennusten elinkaaren aikana. Koko rakennuksen elinkaaren päästöjen huomioiminen tarkoittaa, että tarkastellaan myös rakennusten elinkaaren alkua ja loppua, jotka ovat jääneet vähemmälle huomiolle. Tällöin huomioidaan vaikutukset, joita mm. rakennusmateriaalien valmistuksella, rakentamisella sekä rakennusjätteen synnyn ehkäisyllä ja kierrätyksellä on. (Vähähiilinen rakentaminen s.a.) Rakennetun ympäristön päästöt voidaan jakaa päästölähteisiin (taulukko 2).

Taulukko 2. Rakennetun ympäristön päästölähteet päästöosuuksineen (Raivio ym. 2020)

Rakennetun ympäristön päästölähteet ja niiden osuudet (%)	
Elinkaaren aikainen energian käyttö	76
Rakennusmateriaalit (rakennukset, liikenneverkot, yhdyskuntatekniikka)	15
Kuljetukset ja työmaatoiminnot	7
Purkaminen ja jätteet	2

Tavoite vähähiilisessä rakentamisessa on vähentää päästöjä, jotka aiheutuvat elinkaaren aikaisista materiaali- ja energiavirroista. Konseptissa perehdytään löytämään vaihtoehtoisia ratkaisuja toteuttaa sama palvelu pienemmillä ympäristövaikutuksilla. Kun suunnitellaan vähähiilistä rakennusta, voidaan sitä lähestyä kolmesta näkökulmasta, jotka ovat rakennuksen peruskonsepti, tilakoko ja tehokkuus. Yhdenkin näkökulman kautta saadaan rakennuksen hiilijalanjälkeä pienennettyä, mutta ottamalla suunnitteluvaiheessa kaikki kolme näkökulmaa huomioon, saadaan aikaan merkittävämpiä vaikutuksia. Esimerkiksi tilakokoa voidaan pienentää, mikäli palvelu on mahdollista tuottaa vähemmällä tilalla. Tällä on suora vaikutus ympäristövaikutuksiin, kun lämmitettävän tilan määrä sekä rakennettava ala pienenee. Tehokkuutta voidaan parantaa huomioidamalla energiatehokkuus ja käytettävät materiaalit. Tilan muunneltavuudella, monikäyttöisyydellä ja kestävyydellä sekä materiaalien kierrättävyydellä voidaan vaikuttaa rakennuksen materiaali- ja energiavirtoihin rakennuksen koko elinkaaren ajalta. (Häkkinen & Kuittinen 2020, 92–93.)

## 2.1 Hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki

Hiilijalanjälki on määritettävissä kaikelle tuotettavalle materiaalille, tuotteille, ihmisille sekä eri aloille. Vaikka puhutaan hiilijalanjäljestä, hiilijalanjäljen määrittämisessä huomioidaan hiilidioksidin ( $\text{CO}_2$ ) ohella muutkin merkittävät ilmastoa lämmittävät kaasut, kuten metaani ( $\text{CH}_4$ ) ja dityppioksidi ( $\text{N}_2\text{O}$ ). (Sjöstedt 2016.) Hiilijalanjälki ilmaisee siis syntyvien päästöjen ja päästöjä vähentävien niin kutsuttujen nielujen summaa. Hiilijalanjälki ilmaistaan hiilidioksidiekvivalentteina ( $\text{CO}_2\text{e}$ ). (Häkkinen & Kuittinen 2020, 18.) Eri kasvihuonekaasuilla on erilainen ilmaston lämpenemispotentiaali, joka ilmaisee valitun, yleensä 100 vuoden, jakson aikana kaasupäästön absorptiovaikutusta. Tätä absorptiovaikutusta verrataan samansuuruisen hiilidioksidimäärän vaikutukseen. Mitä suurempi ilmaston lämpenemispotentiaali, sitä merkittävämpi on lämmitysvaikutus verrattuna hiilidioksidiin valitun ajanjakson aikana. (Häkkinen & Kuittinen 2020, 15.) Rakentamisessa rakennettavan kohteen hiilijalanjälki muodostuu rakennuksen elinkaaren aikaisista materiaali- ja energiamääristä sekä maan käytöstä aiheutuvista vaikutuksista. Näin ollen rakennuksen hiilijalanjäljen muodostumiseen vaikuttaa rakennuksessa käytettävien materiaalien ja energioiden oma hiilijälki. (Häkkinen & Kuittinen 2020, 8.)

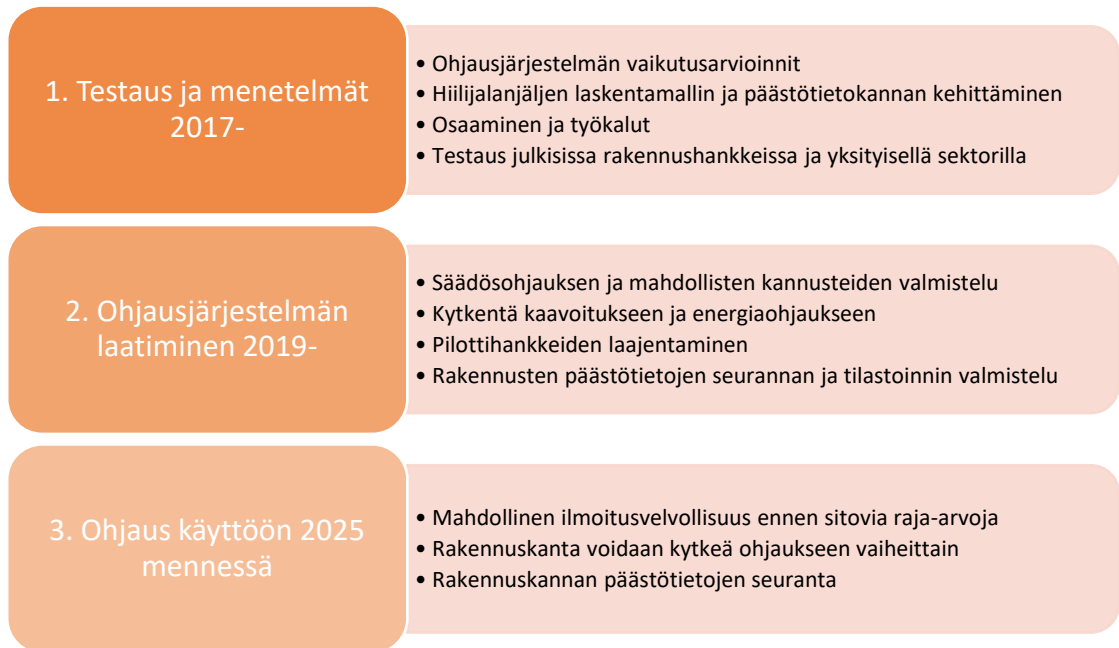
Hiilikädenjälki on positiivinen mittari, joka ilmaisee tuotteen positiiviset ilmasto-vaikutukset. Sen tarkoitus on lisätä yritysten keinoja esittää myös positiivisia ympäristövaikutuksia. Sen avulla yritykset voivat kehittää tuotteita ja palveluita, jotka puolestaan auttavat asiakkaita pienentämään hiilijalanjälkeään. Keinoja parantaa hiilikädenjälkeä ovat mm. energiatehokkuuden parantaminen, materiaalin käytön vähentäminen, tuotteen käyttöiän pidentäminen sekä hukkamateriaalin määrän vähentäminen. Hiilikädenjälki pohjautuu jo olemassa oleviin standardoituihin ympäristövaikutusten arviointimenetelmiin. (Hiilikädenjälki...2018.)

## **2.2 Vähähiilisen rakentamisen tiekartta**

Vuonna 2017 ympäristöministeriö teetti selvityksen vähähiilisen tiekartan luomisesta. Vähähiilistä tiekarttaa on tarkoitus käyttää apuna rakennusten elinkaaren aikaisen hiilijalanjäljen huomioimista rakentamisen ohjauksessa. Sääntely tulee ottamaan huomioon myös rakennusmateriaalien kasvihuonekaasupäästöt, sillä Suomessa ei vielä ole sääntelyä rakennusten koko elinkaaren aikaisille päästöille. Rakennusten koko elinkaaren päästölaskenta on tähän mennessä ollut vapaaehtoista. (Bionova Oy 2017.)

Tiekartta julkaistiin kolmivaiheisena ja se on tarkoitus ottaa käyttöön vuoteen 2025 mennessä. Tiekartan kolme vaihetta ovat testaus ja menetelmät, ohjausjärjestelmän laatiminen ja ohjaus käyttöön 2025 mennessä (kuva 1). Vaiheet sisältävät toimia suunnittelun, valmistelun ja käyttöönoton osalta. (Vähähiilisen rakentamisen tiekartta s.a.)





Kuva 1. Vähähiilisen tiekartan vaiheet (Vähähiilisen rakentamisen tiekartta s.a.)

Vuonna 2018 teknologian tutkimuskeskuksen (VTT) tekemässä tiekartan vaikutusarviossa säädösohjaus todettiin vaikuttavammaksi ohjauskeinoksi. Säädösohjaus perustuu rakentamisen raja-arvo-ohjaukseen, joka tulisi kohdistumaan ensisijaisesti uudisrakentamiseen. Säädösohjaus kytkeytyy myös energiankulutuksen ohjaukseen rakennuksen käytön aikana. Rakennuksen elinkaaren aikaisia päästöjä tarkasteltaisiin käyttäen eurooppalaista standardoitua laskentamenetelmää. Ehdotuksen mukaan sitova sääntely ja rakennuskohtaiset raja-arvot tulisivat käyttöön asteittain. (Vähähiilisen rakentamisen tiekartta s.a.)

Suomi on mukana Euroopan tasolta tapahtuvassa rakennustuotteiden sääntelyssä. Tavoitteena on, että rakennusmateriaalien päästöjä ohjataan yhteisesti sovitulla menetelmällä. Tällä hetkellä jo käytössä olevat laskentamenetelmät perustuvat eurooppalaisiin standardeihin. Eurooppalaisten standardien käytöstä on alalla osaamista, mutta osaamista ja työkaluja halutaan edelleen lisätä. (Bionova Oy 2017.)

### 3 RAKENTAMISEN PÄÄSTÖJEN SÄÄNTELY

Päästöjen ohjaaminen vaatii tiedon lisäämistä päästöistä, menetelmistä, osaamisesta ja työkaluista. Rakennustuotteiden eurooppalainen päästösääntely on tähän mennessä ollut kokonaisuus, joka on koostunut päästökaupasta ja

sääntelyn mahdollistavista vaatimuksista ja viitteistä. Suurin osa eurooppalaisesta ohjauksesta perustuu standardeihin ja informaatio-ohjaukseen. Päästökauppa on velvoittava rakennusmateriaalien päästöjä sääntelevä ohjausjärjestelmä Euroopassa. (Bionova Oy 2017, 15.) Päästökaupan velvoitteista on säädetty päästökauppalaissa. Päästökauppalain tarkoitus on viedä eteenpäin kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistä. Päästökauppalain mukaan tuotantolaitokset, jotka tuottavat mm. rauta-, teräs-, sementti-, kalkki-, lasi-, keramiikka-, mineraalivilla-, kipsi-, puu- tai kuitumassaa tai alumiinia ovat velvoitettuja hakemaan laitokselle päästöluvan (Päästökauppalaki 8.4.2011/311).

Euroopan komissio on laatinut rakentamisen resurssitehokkuuden mittaamiseen Level(s)-menetelmän. Resurssitehokkuuden mittaamisen lisäksi sen avulla edistetään kiertotalouden lisäämistä. Menetelmä sisältää kuusi päätavoitetta (kuva 2), joista valtaosa velvoittaa EN-standardien käyttöä. Level(s)-menetelmän on tarkoitus toimia perustana eri maiden käyttämille rakentamisen resurssitehokkuuden ja ekologisuuden mittareille. Menetelmä tuokin selkeämpää tietoa rakentamisen resurssien kulutuksesta kuluttajille, suunnittelijoille, rakentajille ja sijoittajille. Level(s) on hyvä pohja myös kaupallisten ympäristösertifikaattien kehittämisessä. (Level(s) – rakennusten... s.a.)

Päätavoite 1	• Elinkaaren hiilijalanjälki
Päätavoite 2	• Resurssitehokas materiaalien käyttö
Päätavoite 3	• Veden kulutus
Päätavoite 4	• Terveelliset tilat ja sisäilman laatu
Päätavoite 5	• Sopeutuminen ilmastomuutokseen
Päätavoite 6	• Elinkaarikustannukset

Kuva 2. Level(s)-menetelmän päätavoitteet (Level(s) – rakennusten... s.a.)

Menetelmää testattiin EU:n jäsenmaissa ennen käyttöönottoa. Suomessa testaus toteutettiin vuosina 2018–2019 ympäristöministeriön ja Green Building

Council Finland:in johtamana. Suomessa menetelmän testauksessa painotettiin menetelmän kahta ensimmäistä päätavoitetta elinkaaren hiilijalanjälkeä ja materiaalien resurssitehokasta käyttöä. Menetelmän käyttö on vapaaehtoista ja Suomessa menetelmä otetaan huomioon vähähiilisen tiekartan toteuttamisessa. (Level(s) – rakennusten... s.a.)

Rakennusten elinkaaren päästölaskenta on myös vapaaehtoista ja päästölaskennan käytön kannustimena käytetään kaupallisia ympäristöluokitusjärjestelmiä maailman laajuisesti. Suomessa käytetyissä ympäristöluokitus- ja arviointijärjestelmissä keskeisessä osassa ovat hiilijalanjälki tai elinkaariarviointi. Näitä Suomessa käytettäviä järjestelmiä ovat mm. Leed, Breeam, RTS ja GBC Finland. Ympäristöluokituksessa kohteiden ympäristövaatimusten täyttymistä valvoo riippumaton taho. Valvova taho antaa myös kohteelle sertifikaatin kohteen ympäristövaikutusten mukaan. Sertifiointia käytetään yleensä liikeraikentamisessa, sillä sertifiointi on kaupallista toimintaa. Ympäristöarviointi puolestaan liittyy omaehtoiseen parantamiseen, jossa toiminnan kehittämistä pyritään parantamaan ilman kaupallista sertifikaattia. (Bionova Oy 2017.)

#### **4 RAKENNUSTEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET JA ARVIOINTIMENETLMÄT**

Rakennuksen elinkaareen liittyy useita vaiheita, jotka aiheuttavat kasvihuonekaasupäästöjä. Elinkaaren vaiheet voidaan jakaa kolmeen päävaiheeseen, jotka ovat tuotevaihe eli valmistusvaihe, käyttövaihe ja elinkaaren loppu (kuva 3). Valtaosa rakennusten elinkaaren aikaisista päästöistä aiheutuu käytön aikaisesta energiankulutuksesta. Energiatehokkuuden parantaminen on ollut tähän mennessä tärkein toimi päästöjen vähentämisessä. Se on merkittävä keino, mutta ei itsessään ole riittävä, jonka vuoksi koko elinkaaren vaikutusten huomiointi lisääntyy. (Häkkinen & Kuittinen 2020, 18.)



Kuva 3. Rakennuksen elinkaaren päävaiheet (Häkkinen & Kuittinen 2020, 19)

On arvioitu, että rakennusalalla on hyvät edellytykset päästövähennyksiin. Kiertotalouden omaksuminen rakennusalalla on arvioitu yhdeksi keskeisimmistä päästöjen vähennyskeinoista. Rakentamisen kiertotalouden avulla alan on mahdollista pysyä mukana Pariisin ilmastopimuksessa sovituissa tavoitteissa. Hiili-intensiivisten materiaalien, kuten sementin, teräksen, alumiinin ja muovin, käyttö maailman laajuisesti on arvioitu vain kasvavan kohti vuosisadan loppua. Rakentamisala käyttää näitä materiaaleja määrällisesti eniten ja näiden suuri kulutus uhkaakin Pariisin ilmastopimuksen tavoitteiden saavuttamista. Rakennusalalla vaaditaan radikaaleja toimia hiili-intensiivisten materiaalien käytön vähentämisessä sekä vähäpäästöisen energian käytössä. Näitä toimia tukee hyvä materiaalien käytön suunnittelu. Iso vastuu vähäpäästöisemmästä rakentamisesta on rakennusten tilaajilla, suunnittelijoilla ja toteuttajilla. (Häkkinen & Kuittinen 2020, 19–20.) Etenkin tilaajien ja suunnittelijoiden vastuu korostuu, sillä rakentamisesta aiheutuvien päästöjen määrään vaikuttavat päätökset tehdään jo suunnitteluprosessin alussa (Häkkinen ym. 2015).

Ruuska ym. (2013) tekivät selvityksen rakennusmateriaalien ympäristövaikutuksista ja rakennusmateriaalien vaikutuksesta rakentamisen kasvihuonekaasupäästöihin. Selvityksen mukaan isoin merkitys materiaalien hiilijalanjälkeen on mm. ulkoseinillä, väliseinillä, välipohjilla ja yläpohjilla. Lisäksi mikäli tarkastellaan ikkunoita, ovia ja lasituksia, kalusteita, varusteita ja pintamateriaaleja

ryhminä, todettiin niilläkin olevan suuri merkitys. Lopputuloksesta näistä jokaisen osuus on n. 5 % tai enemmän. Selvityksessä tarkasteltiin myös korjausmateriaalien vaikutusta ja se todettiin suureksi. Pintamateriaalit ovat olennainen osa myös korjausmateriaalien vaikutuksia. Pintamateriaalien valinnoilla vaikutetaan päästöjen suuruuteen monissa rakennusosissa sekä useassa vaiheessa rakennuksen elinkaarta.

#### **4.1 Rakennuksen päästöarviointi**

Rakennusten ja rakennustuotteiden elinkaari on jaettu standardeissa määritettyihin vaiheisiin, jotta elinkaariarviointi olisi yksiselitteistä ja täsmällisempää. Elinkaaren vaiheet koostuvat tuotteiden valmistuksesta ja kuljetuksesta, rakentamisesta, käyttövaiheesta ja käyttövaiheen aikaisista korjauksista sekä purkamisesta ja purkujätteen kierrätyksestä. (Häkkinen & Kuittinen 2020, 70). Rakennuksen päästöarvioinnissa käytetään apuna valmiiksi määritettyjä moduuleja (SFS-EN 15978:en). Jako on tehty moduuleihin A–D (kuva 4), joista jokainen sisältää numeroituja alamuoduuja (Häkkinen & Kuittinen 2020, 70).



Kuva 4. Ympäristövaikutusten arvioinnin moduulit (Häkkinen & Kuittinen 2020, 72)

Tuotantovaiheen moduulit A1–3 liittyvät ennen rakennuksen käyttöä muodostuviin vaikutuksiin. Näitä ovat rakennustuotteiden valmistuksen vaadittavien raaka-aineiden hankinta, kuljetus tehtaalle ja kuljetuksen jälkeen tapahtuvat valmistusprosessit. Tämän moduulin päästöjen arviointiin liittyy vain vähän epävarmuuksia, kun mietitään koko rakennuksen elinkaarta. Moduulin päästöt ovat myös hyvin arvioitavissa. Rakentamisvaiheen moduuleihin A4–5 sisältyy

tuotteiden kuljetus tehtaalta työmaalle sekä kaikki työmaalla tapahtuvat työmaatoiminnot rakennuksen valmistumiseen asti. (Häkkinen & Kuittinen 2020, 70–72.)

Moduulit B1–7 sisältää käyttövaiheen päästöjä, jotka muodostuvat useiden vuosien aikana ja useasta eri lähteestä. Tästä syystä käyttövaiheen päästöjä arvioidaan rajatun arviointijakson ajalle, koska tulevaisuuden päästöjen arviointi lisää epävarmuutta. Moduulin B1 päästöt tulevat tuotteiden käytöstä rakennuksessa. Moduulin B2 päästöt ovat koko rakennuksen osalta vähäiset. Päästöt aiheutuvat kunnossapidosta, kuten esim. kiinteistön huollosta, siivouksesta, puhdistuksesta ja lumen aurauksesta. Nämä toimet voivat kuluttaa energiaa, kemikaaleja sekä tarvikkeita. Moduuleihin B3–4 sisältyvät korjaukset ja osien vaihdot. Elinkaaren aikana joudutaan vaihtamaan mm. kalusteita, kulumia pintoja sekä varusteita. Näiden vaikutukset liittyvät energian sekä materiaalien kulumiseen. Moduuli B5 sisältää laajemmista korjauksista aiheutuvat päästöt. Näissä muutostöissä rakennuksen käyttö muuttuu oleellisesti suurelta osalta tai rakennuksessa tehdään laajoja uudistuksia. Koko arviointijakson ajalta aiheutuvat energian käyttöön liittyvät päästöt sisältyvät moduuliin B6. Tämä tarkoittaa rakennuksen ostoenergian valmistuksessa aiheutuvia päästöjä. Moduuliin B7 liittyvät päästöt tulevat veden käytöstä. Tämän moduulin päästövaikutukset ovat melko vähäiset, koska käyttöveden lämmitykseen käytettävä energia huomioidaan moduulissa B6. (Häkkinen & Kuittinen 2020, 71.)

Moduuli C1–4 sisältää päästöjä rakennuksen elinkaaren loppupäässä, joka aiheuttaa huomattavia epävarmuuksia arviointiin. Moduulin päästöt liittyvät purkuun, rakennusjätteen kuljetukseen ja jatkokäsittelyyn, purkujätteen käsittelyyn sekä purkujätteen loppusijoittamiseen. Muun muassa loppusijoitettava haitta-aineita sisältävä hyötykäyttökelvoton purkujäte voi aiheuttaa päästöjä loppusijoituksen jälkeenkin. Näitä kymmenien tai satojen vuosien päästä aiheutuvia mahdollisia päästöjä on vaikea arvioida. Viimeinen moduuli D sisältää arviot järjestelmärajan ulkopuolelle jäävistä hyödyistä ja haitoista. Näitä ovat rakennusmateriaalien uusiokäyttö ja kierrätys. Mahdollisesti saavutettavat edut uusiokäytöstä ja kierrätyksestä pohjautuvat vastaavan uuden tuotteen tai materiaalin valmistuksesta syntyvien päästöjen välttämiseen. (Häkkinen & Kuittinen 2020, 71.)

## 4.2 Elinkaariarviointi

ISO 14040 ja ISO 14044-standardit määrittävät yleiset periaatteet sekä vaatimukset elinkaariarvioinnille. EN 15978 on rakennuslalla vakiintunut elinkaariarvioinnin standardi, jota hyödynnetään Euroopassa liki kaikissa rakennusten ympäristöluokitusjärjestelmissä. (Bionova Oy 2017.) Elinkaariarvioinnin pyrkimys on pienentää rakennuksen elinkaaren kasvihuonekaasupäästöjä ennakosuunnittelun keinoin. Rakentamisesta aiheutuvat elinkaari-vaikutukset ja vähähiilisyys ovat osana myös maankäyttö- ja rakennuslain uudistusta. Elinkaariarvioinnissa käytettävä ympäristöministeriön laatima arviointimenetelmä perustuu Euroopan komission luomaan Level(s)-menetelmään. Menetelmä pohjautuu eurooppalaisiin kestävän rakentamisen standardeihin sekä tieteellisiin tutkimuksiin. (Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä 2019.)

Elinkaariarviointi on koko elinkaaren ajalta tapahtuvaa tuotejärjestelmän pannon, tuotosten sekä niihin sidoksissa olevien potentiaalisten ympäristövaikutusten selvittämistä ja arviointia (SFS-EN ISO 14040:2006 + A1:2020; SFS-EN ISO 14044:2006 + A1:2+18 + A2:2020). Elinkaariarvioinnissa on neljä osaa; tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, inventaarioanalyysi, vaikutusarviointi ja tulosten tulkinta. Ympäristövaikutuksia arvioidaan eri vaikutuskategorioissa. Näitä ovat mm. ilmastonmuutos, toksisuus, rehevöityminen, luonnonvarojen käyttö, happamoituminen, pienhiukkaset, otsonikato ja maankäyttö. (Elinkaariarviointi... 2022.) Lisäksi elinkaariarvioinnilla käsitellään tuotejärjestelmien ympäristönäkökohtia ja -vaikutuksia sekä sen avulla tunnistetaan mahdollisuuksia, joilla voidaan parantaa tuotteiden ympäristönäkökohtia. Elinkaariarvion avulla voidaan vertailla eri vaihtoehtoja sekä kehittää mm. valmistusprosesseja. (Häkkinen & Kuittinen 2020, 52.)

## 4.3 CO<sub>2</sub>-päästötiedot ja ympäristöselosteet

CO<sub>2</sub>-päästötietoja ja ympäristöselosteita käytetään apuna päästölaskennassa. Rakennustuotteiden CO<sub>2</sub>-päästötietoja on löydettävissä mm. tuotteiden ympäristöselosteista, tietokannan sisältävistä päästölaskentaohjelmistoista ja erillisistä päästötietokannoista. Saman materiaalityypin materiaalien päästöt voivat poiketa toisistaan. Onkin huomioitava, että rakennustuotteiden päästöjen laskenta on voitu tehdä eri tavoin ja päästötiedot voivat koskea teknisesti keskenään erilaisia tuotteita. Lisäksi lasketut päästöt voivat kuvata



tuotteiden hiilijalanjälkeä eri valmistusmaissa, eri tekniikoilla tai ominaisuuksilla. (Bionova Oy 2017.) Laadittu ympäristöseloste on virallisesti voimassa vain viisi vuotta (SFS-EN 15804:2012 + A2:2019). Ympäristöselosteita tarkastellessa on huomioitava, että voimassaoloajan määrittävä standardi on ollut voimassa vain kymmenisen vuotta ja sitä vanhemmat rakennustuotteiden ympäristötiedot eivät vastaa standardissa esitettäviä vaatimuksia (Bionova Oy 2017).

Päästötietojen laskentamenetelmien yhdenmukaisuudella ja laadulla on merkitystä, jotta alan toiminta on yhdenmukaista ja tieto luotettavaa. Tämän vuoksi EN 15804-standardia pidetään minimivaatimuksena rakennustuotteiden ja palveluiden ympäristöselosteiden laatimiselle. Standardin mukaisia laskuperusteita käyttämällä vähennetään saadun tiedon hajontaa ja poikkeavuuksia. (Bionova Oy 2017.) Ympäristöselosteissa ympäristövaikutukset on selvitettävä moduulien A1–3, C1–4 ja D osalta ja määriteltyjen vaikutusluokkine mukaan. Rakentamisvaiheen (C4–5) ja käyttövaiheen (B) moduulit voidaan jättää tarkastelun ulkopuolelle. (SFS-EN 15804: 2012 + A2:2019.)

Rakennustietosäätiö käynnisti EN-standardien mukaisen ympäristöselosteiden julkaisujärjestelmän Suomessa vuonna 2016 (Bionova Oy 2017). Ympäristöselosteet ovat luotettava lähde rakennustuotteiden ympäristövaikutuksien tarkasteluun. Ympäristövaikutusten laskenta tehdään elinkaarianalyysillä, joka antaa tiedot ympäristövaikutuksista huomioiden tuotteen koko elinkaaren. Kun valitaan rakennusmateriaaleja, ovat elinkaarenaikaiset ympäristövaikutukset tärkeä tieto ohjaamaan päätöksiä. Rakennustietosäätiön julkaisujärjestelmän ympäristöselosteet ovat vapaaehtoisia sekä puolueettomia ja niiden vertailukelpoisuus on varmistettu käyttämällä tietojen esityksessä EN 15804-standardia. (RTS EPD -ympäristöseloste... s.a.) Rakennustietosäätiön ympäristöselosteiden julkaisujärjestelmän lisäksi Suomen ympäristökeskus (SYKE) ylläpitää CO2data.fi-palvelua.

## **5 RAKENNUSMATERIAALIEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSIA**

Opinnäytetyöhön sisällytetyt rakennusmateriaaleja ovat lattia-, alakatto- ja eristemateriaalit (taulukko 3), joita vertaillaan ympäristövaikutusten osalta. Ja-

ottelu materiaaleihin tai materiaaliryhmiin on tehty tutkimuksista löytyvien tietojen pohjalta riippuen siitä, onko tutkimuksissa tutkittu tietyn materiaalin, kuten keraamisen laatan vaikutuksia vai suuremman ryhmän, kuten tekstiililattioiden vaikutuksia. Jaotteluun vaikuttavat mm. orgaanisen ja epäorgaanisen materiaalin sisältö sekä materiaaleista jalostettavat lopputuotteet.

Taulukko 3. Tarkasteltavien materiaalien jaottelu

Lattiamateriaalit	Eristemateriaalit	Alakattomateriaalit
Keraaminen laatta	Selluloosa ja puukuitu	Kipsi
Linoleum	Mineraalivilla (lasi ja kivi)	Polyuretaanikipsi
Muovimatto (PVC)	EPS	Mineraalivilla (lasi ja kivi)
Tekstiililattia	XPS	Metalli
Puu- ja korkkilattia	Polyuretaani	Puu

Häkkinen ja Kuittinen (2020, 25) avasivat suomalaisen esimerkkikerrostalon hiilijalanjälkeä. Tässä esimerkissä 63 % päästöistä olivat käyttösidonnaisia ja loput 37 % tuotesidonnaisia päästöjä. Näistä tuotesidonnaisista päästöistä 26 % tulee tuotteiden valmistuksesta, 4 % rakentamisesta, 6 % korjauksista ja 1 % purkamisesta. Tässä työssä tarkasteltavien materiaalien päästöt sisältyvät pitkälti tuotesidonnaisten päästöjen osuuteen.

Häkkinen & Kuittinen (2020, 29) avasivat myös eri rakennusosien valmistuksen suhteellisia osuuksia päästöistä. Lattia-, alakatto- ja eristemateriaaleja käytetään useissa rakennusosissa ja niiden vaikutukset sisältyvät näiden rakennusosien suhteellisiin päästöosuuksiin (taulukko 4). Opinnäytetyössä tarkasteltavat materiaalit ovat olennainen osa myös korjausrakentamisen päästöjä. Näistä osa aiheutuu mm. tuotesidonnaisista päästöistä eli uusien materiaalien käytöstä, rakennusosien purkamisesta ja jätteiden käsittelystä (Häkkinen & Kuittinen 2020, 30).

Taulukko 4. Lattia-, alakatto- ja eristemateriaaleja sisältävien rakennusosien suhteelliset päästöosuudet (Häkkinen & Kuittinen 2020, 29)

Rakennusosa	Suhteellinen päästöosuus (%)
Kiintokalusteet ja pintamateriaalit	6
Perustukset	3
Alapohjat	2
Ulkoseinät	17
Väliseinät	11
Ei-kantavat väliseinät	2
Välipohjat	19
Yläpohjat	5
Hornit	1
Korjausrakentamisen tuotteet	15

Kantava runko käsittää yläpohjat, kantavat väliseinät, välipohjat ja ulkoseinät. Näiden valmistuksen päästöt ovat noin 35 % koko rakennuksen tuotesidonnaisista päästöistä. Täydentäviin rakennusosiin sisältyvät mm. väliseinät, pinnat ja kiintokalusteet. Täydentävien rakennusosien valmistuksen päästöt koko rakennuksen tuotesidonnaisista päästöistä on noin 16 %. (Häkkinen & Kuittinen 2020, 27–28.)

## 5.1 Lattiamateriaalit

Lattiamateriaalien joukko on suuri ja eri vaihtoehtoja on lukuisia. Tässä työssä tarkasteltaviin lattiamateriaaleihin on valittu Suomessa yleisimmin käytettävät lattiapäällystemateriaalit (taulukko 3, s. 19), joiden vaikutuksista löytyi tutkittua tietoa. Eri lattiamateriaalien tuotantoprosessit sekä elinkaaren vaiheet ovat erilaiset, joten materiaaleilla ja valmiilla tuotteilla on myös erilaiset ympäristövaikutukset. Lattiamateriaalien valmistus on ympäristövaikutusten kannalta monimutkainen prosessi. Tuotannon ympäristövaikutuksiin vaikuttavat monet parametrit, joita ovat mm. erilaiset kemialliset päästöt, jätteen syntyminen, melu, tärinä, pöly, säteily, energiankulutus ja kierrätettävyyys. (Vjestica ym. 2014.)

Rakennusalalla käytettävien keraamisten laattojen tuotantoon käytettävät materiaalit ovat epäorgaanisia ja ei-metallisia materiaaleja, jotka sisältävät mineraaleja sekä eri kivilajeja. Keraaminen materiaali on pääasiassa luonnollista

raaka-aineseosta, joka sisältää piidioksidia, vähintään yhtä maaperäistä mineraalia ja yleensä myös alkalioksideja. Eräissä tutkimuksissa selvitettiin neljän Portugalissa tuotetun keraamisen laatan koko elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset. Keraamisen laatan elinkaari koostuu raaka-aineiden ja apuaineiden louhinnasta ja tuotannosta, polttoaineiden tuotannosta (maakaasu ja diesel), sähköntuotannosta, tuotepakkauksien tuotannosta, raaka-aineiden kuljetuksesta tuotantoon, keraamisen laatan tuotantoprosessista, valmiiden tuotteiden kuljetuksesta jakelukeskuksiin sekä tuotteiden kuljetuksesta käyttökohteeseen. Keraamisten laattojen tuotanto on eniten negatiivisia ympäristövaikutuksia aiheuttava vaihe, kun tarkastellaan laattojen koko elinkaarta. Etenkin raaka-aineiden louhinnalla sekä fossiilisten polttoaineiden poltolla on todettu olevan negatiivisia ympäristövaikutuksia. Nämä vaikutukset liittyvät mm. ilmaston lämpenemiseen sekä ympäristön happamoitumiseen. Tutkimuksessa havaittiin myös eroja neljän tutkitun keraamisen laatan välillä. Laattojen välisiä eroja selittävät mm. raaka-aineiden kuljetusmatkojen vaihtelevuus. Lisäksi yhden tutkitun laatan tuotannossa kierrätettiin kaikki käytetty vesi, joka jo itsessään pienentää ympäristövaikutuksia. (Almeida ym. 2015.)

Linoleum on kestävä biopohjainen lattiamateriaali, joka koostuu pellavaöljystä, hartsista, puujauheesta ja kalkkikivestä, väriaineista sekä juuttitekstiilimateriaalista. Linoleumituotteiden tuotannon ympäristövaikutuksiin vaikuttaa merkittävästi tuotteen värjäykseen käytettävät väriaineet. Muiden kuin titaanioksidipigmenttien käyttö tuotannossa voi lisätä mm. ilmaston lämpenemistä, myrkyllisyyttä vesieliöille ja sedimentille sekä hapettumisen muodostumista. (Rosso ym. 2020.)

Puu- ja korkkivalmisteisia lattiapäällysteitä ovat mm. laminaatti, parketti ja erilaiset korkkilattiat (pois lukien vinyylikorkki). Korkkilattian koko elinkaaren aikana eniten ympäristövaikutuksia aiheutuu tuotteen kokoonpanovaiheessa. Toiseksi ja kolmanneksi merkittävämät vaikutukset syntyvät tuotannon perusvalmistusvaiheessa ja maalausvaiheessa. Korkkilattian valmistukseen liittyvät negatiiviset ympäristövaikutukset liittyvät mm. maakaasun ja sähkön kulu- tukseen. Orgaanista materiaalia sisältävien tuotteiden koko elinkaaren aikana aiheutuvien ympäristövaikutusten merkittävyyden arvioinnissa on kiinnitettävä erityistä huomiota eloperäisen hiilen arviointimenetelmään. Tutkimusten mukaan arvioinnin lopputulokseen vaikuttaa metodologian valinta. Tuotteeseen

varastoidun eloperäisen hiilen määrä riippuu tuotteen oletetusta käyttöiästä sekä valitusta elinkaaren lopun skenaariosta. (Demertzi 2015.)

Ros-Dosda ym. (2019) tekivät tutkimuksen sisätilojen lattiapäällysteiden ympäristövertailusta. Tutkimus sisälsi materiaalien elinkaariarvioinnin kehdoista kehtoon sekä arvioinnin materiaalien suorituskyvystä käyttövaiheessa. Käyttövaiheen skenaariot määriteltiin jalankulkijoiden liikenteen intensiteetin funktiona. Tämä määritti huolto-, korjaus- ja vaihtotoimenpiteet sekä taajuudet. Tutkimuksessa todettiin, että mikäli tarkastellaan puupohjaisten lattiapäällysteiden ympäristövaikutuksia vain ympäristöselosteiden sisältämien pakollisten tietojen pohjalta, päädytään virheelliseen johtopäätökseen puupohjaisten päällysteiden ympäristövaikutuksista. Puupohjaisten materiaalien menestyminen elinkaariarvioinnissa johtuu hiilen sitoutumisesta niiden biomassaan. Epäorgaanista materiaalia sisältävien lattiapäällysteiden eli kivilattioiden ja keraamisten lattioiden ympäristövaikutukset olivat kaikista vertailuista lattiamateriaaleista pienimmät käyttövaiheessa. Kun otetaan huomioon elinkaariarvioinnin lisäksi käyttövaiheen vaikutukset, kivilattiat ja keraamiset lattiat pärjäävät puupohjaisia lattiapäällysteitä paremmin niiden kestävyysvuoksi. Laminaattilattian osalta suurimmat ympäristövaikutukset liittyivät sen lyhyeen käyttöikänsä. Parkettilattian osalta suurimmat ympäristövaikutukset syntyivät käyttövaiheessa. Tämä johtui tutkimuksen mukaan vaadittavista korjaus- ja ylläpitotoimenpiteistä, joiden aiheuttamat vaikutukset kasvoivat jalankulkuliikenteen määrän kasvaessa. Parkettilattian koko elinkaaren ympäristöarvion osalta merkittäviä ympäristövaikutuksia syntyi myös elinkaaren loppuvaiheessa johtuen oletetusta varastoidun elollisen hiilen vapautumisesta.

Muovisia lattiapäällysteitä löytyy mm. mattoina, laattoina ja lankkuina. Ros-Dosda ym. (2019) havaitsivat laminaatin lisäksi myös polyvinyylidikloridilattioiden (PVC) ympäristövaikutukset suurimmaksi käyttövaiheessa johtuen muovilattian lyhyestä käyttöiästä. Samassa tutkimuksessa synteettisen maton osalta suurimmat ympäristövaikutukset havaittiin liittyvän polyamidin valmistukseen. Synteettisen maton negatiiviset ympäristövaikutukset liittyvät korkeaan energiankulutukseen valmistus- ja huoltovaiheessa sekä lyhyeen käyttöikänsä, joka edellyttää lattiapäällysteen huoltoa tai vaihtoa uuteen.

Tekstiilisten lattiapäällysteiden sisältö voi olla täysin synteettinen tai esimerkiksi luonnollisten raaka-aineiden, kuten puuvillan tai villan sekä synteettisten materiaalien sekoitetta. Synteettisen maton negatiiviset ympäristövaikutukset liittyvät lyhyeen käyttöikään, mutta villaa sisältävän lattiamaton ympäristövaikutukset ovat huomattavia johtuen villan tuotannosta aiheutuvista päästöistä. Villamaton käyttöikä on lyhyehkö ja sen lisäksi lampaiden kasvatuksesta aiheutuvat metaanipäästöt lisäävät villaa sisältävän tekstiilimaton negatiivisia ympäristövaikutuksia merkittävästi. Villaa sisältävällä tekstiilimatolla on suuri ilmaston lämpenemispotentiaali sen luonnollisista ainesosista huolimatta. (Bowyer ym. 2019.)

## 5.2 Eristemateriaalit

Euroopan markkinoilla on saatavilla useita lämmöneristemateriaaleja. Markkinoista 60 % kattaa epäorgaaniset ja mineraalimateriaalit, 30 % öljyperäiset materiaalit ja 10 % muut materiaalit sekä orgaaniset luonnon materiaalit (Pargana ym. 2014). Yleisesti alapohjissa käytettävät eristeet ovat muovipohjaisia, seinissä käytettävät eristeet muovipohjaisia tai villaeristeitä ja yläpohjissa käytettävät puhallettavia puukuitu- tai mineraalivillaeristeitä (Raivio ym. 2020). Eristemateriaalien ympäristövaikutuksia avataan Suomessa yleisimmin käytettävien materiaalien osalta (taulukko 3, s. 19).

Pargana ym. (2014) tutkivat useiden eristemateriaalien ympäristövaikutuksia. Polyuretaanin ympäristövaikutukset kehdosta tehtaan portille (A1–3) todettiin merkittävimiksi raaka-aineen hankintavaiheessa. Toiseksi suurimmat vaikutukset todettiin tuotantovaiheessa, jotka ovat seurausta pääosin suuresta sähkökulutuksesta. Paisutetun polystyreenimuovin (EPS) osalta merkittävimmät ympäristövaikutukset syntyivät raaka-aineen hankintavaiheessa. Toiseksi merkittävimmät ympäristövaikutukset olivat tuotteen valmistusvaiheessa. EPS-eristeen valmistusvaiheen vaikutukset liittyvät teollisuusbensiinin polttoon, sähkökulutukseen ja pentaanin sekä isopentaanin vapautumiseen valmistuksen aikana. Elinkaariarvioinnin mukaan muissa vaikutuskategorioissa EPS-eristeen vaikutukset olivat melko vähäiset. Suulakepuristetun polystyreenimuovieristeen (XPS) vaikutuksia arvioitiin kahden eri paksuuden osalta johtuen siitä, että yhtä vaahdotusainesarjaa käytetään 80 mm tai sitä pienemmille paksuuksille ja toista sarjaa 80 mm tai sitä suuremmille paksuuksille. Myös

XPS-eristeen suurimmat vaikutukset molemmille paksuuksille tuotevaiheessa syntyivät raaka-aineen hankintavaiheessa ja toiseksi suurimmat vaikutukset tuotteen valmistusvaiheessa. XPS-eristeen valmistusvaiheen vaikutukset johtuvat pääosin energiankulutuksesta ja ilmaan päätyvistä päästöistä. Ilmaan päätyvät päästöt syntyvät tuotantojätteen sisäisestä kierrätyksestä ja dimetyylieetterin vapautumisesta pursotusmenetelmän aikana. XPS-eristeen (molemmat paksuudet) ilmaston lämpenemispotentiaali oli tutkimuksen mukaan suurempi kuin EPS-eristeellä. XPS-eristeen osalta vaikutuksia nostaa dimetyylieetterin vapautuminen.

Vaahtolämmöneristeiden ympäristövaikutuksia lisää fluorihilivetyjen sekä muiden vaahdotusaineiden, joilla on ilmastoja lämmittävä potentiaali, käyttö. Näitä aineita käytetään mm. EPS- ja polyuretaanieristeissä lisäämään näiden lämpöominaisuuksia. Näiden aineiden käytöstä aiheutuvia päästöjä voi esiintyä useissa eri vaiheissa, kuten valmistusprosesseissa, asennus- ja käyttövaiheen aikana sekä elinkaaren lopussa tapahtuvan materiaalin hävittämisen aikana. Materiaalin hävittämisen aikana aiheutuvat päästöt riippuvat käytettävästä jätteenkäsittelymenetelmästä. (Shrestha ym. 2014.)

Füchsl ym. (2022) tutkivat useiden lämmöneristemateriaalien ympäristövaikutuksia kehdosta tehtaan ulkoportille (A1–A3). Kivi- ja lasivillan osalta suurimmat ympäristövaikutukset aiheutuvat tuotantovaiheessa. Tämä johtuu lasin ja kivimateriaalin sulatus- ja kuidutusprosessista, jotka vaativat merkittävän määrän energiaa. Schiavoni ym. (2016) analyysin mukaan kivivillasta valmistettujen materiaalien ympäristösuoriutumisen oli heikompi kehdosta portille menetelmällä arvioituna, kuin kehdosta hautaan arvioituna. Selitystä tälle erolle ei löytynyt informaation puutteen vuoksi, mutta sen epäiltiin johtuvan elinkaaren lopussa tapahtuvan mahdollisen materiaalin kierrättämisen takia kehdosta hautaan menetelmässä.

Füchsl ym. (2022) vertasivat useiden tutkimusten tuloksia selluloosapohjaisten eristemateriaalien ympäristövaikutuksiin. Näiden tutkimusten perusteella selluloosan ympäristövaikutukset kehdosta portille ovat melko vähäiset. Selluloosasta valmistetut eristeet ovat usein valmistettu kierrätetystä paperista, joka vähentää ympäristövaikutuksia. Suurimmat vaikutukset syntyvät lisäaineiden,

kuten palonestoaineiden ja sienitorjunta-aineiden käytöstä. Puukuidun ympäristövaikutukset ovat hieman eriäviä tutkimusten välillä. Osa tutkimustuloksista osoittaa puukuitujen ympäristövaikutuksista 30–40 % aiheutuvan side- ja lisäaineiden käytöstä. Toiset tutkimustulokset taas osoittavat 74–98 % vaikutuksista syntyvän tuotantoprosesseissa ja etenkin kuivauslämpöä tuottavien puukattiloiden energiantarpeesta. Myös tuotannonaikaisen sähkönkulutuksen aiheuttamat ympäristövaikutukset todettiin merkittävimmäksi. Fuchsl ym. (2022) mukaan nämä tutkimustulosten erot johtuvat tuotejärjestelmien eroista.

Raivio ym. (2020) avaavat raportissaan kivivillan, lasivillan, sellukuitueristeiden, EPS-eristeen, XPS-eristeen ja polyuretaanieristeen elinkaaren aikaisia päästökertoimia. Alhaisin päästökerroin on sellukuitueristeellä (99–240 kgCO<sub>2e</sub>/t). Lasivillan päästökerroin (1000–1400 kgCO<sub>2e</sub>/t) on tuotteesta riippuen hieman alhaisempi tai yhtä suuri kuin kivivillan (1100–1700 kgCO<sub>2e</sub>/t). Suurimmat päästökertoimet ovat polyuretaanieristeellä (3900–4200 kgCO<sub>2e</sub>/t) sekä EPS- ja XPS-eristeillä (3300–7000 kgCO<sub>2e</sub>/t).

### 5.3 Alakattomateriaalit

Yleisesti alakatoissa käytettävät pintamateriaalit ovat mm. kipsi, polyuretaanikipsi, kivi- ja lasivilla, metalli sekä puu. Kipsi- ja polyuretaanikipsilevyjen elinkaaret ovat hyvin samanlaiset. Näiden tuotteiden elinkaari eroaa lähinnä polyuretaanikipsilevyn kierrätysmateriaalien liittämisprosessissa, joka puuttuu tavallisen kipsilevyn tuotantoprosessista. Tutkimuksessa, jossa tehtiin kipsi- sekä polyuretaanikipsilevyjen elinkaariarviot, huomattiin molempien tuotteiden osalta merkittävimpien ympäristövaikutuksien syntyvän tuotantovaiheessa. Nämä ympäristövaikutukset liittyvät mm. ilmaston lämpenemispotentiaaliin sekä luonnonvarojen ehtymiseen (fossiilisten polttoaineiden käyttö). Kipsi- ja polyuretaanikipsilevyjen samankaltaisesta elinkaaresta huolimatta niiden elinkaaren aikaisissa ympäristövaikutuksissa on eroja. Polyuretaanikipsilevyjen sisältämä kierrätetty polyuretaanijäte pienentää tuotteen ympäristövaikutuksia. Tavallinen kipsilevy ei sisällä kierrätettyä materiaalia, joka kasvattaa sen ympäristövaikutuksia, etenkin vedenkäytön ja energiankäytön osalta sekä suuremman kipsimateriaalisällön myötä. (Rodrigo-Bravo ym. 2022.)



Alakatoissa käytetään myös esimerkiksi metallista, puusta ja mineraalivillasta valmistettuja materiaaleja. Näiden ympäristövaikutuksista ei löytynyt tutkittavaa aineistoa. Puupohjaisiin ja mineraalivillapohjaisiin alakattomateriaaleihin liittyy osittain samoja vaikutuksia, kuin samoista materiaaleista valmistettujen lattia- ja eristemateriaalien kohdalla. Kuten lattiamateriaaleissakin puupohjaiset alakattomateriaalit sitovat hiiltä ja niihin sitoutunut hiili vapautuu materiaalin elinkaaren lopussa. Puuta voidaan hyödyntää energiana, mutta vapautunut hiili lisää puupohjaisen materiaalin elinkaaren aikaisia päästöjä. Mineraalivillalla voidaan tarkoittoa kivi- tai lasivillaa. Kivi- tai lasivillaa sisältävien alakattomateriaalien suurimmat ympäristövaikutukset aiheutuvat mahdollisesti materiaalin tuotantovaiheessa, kuten näistä valmistettujen eristemateriaalienkin kohdalla (kappale 5.1).

#### **5.4 Materiaalien kierrätys**

Neitseellisten materiaalien tuotannon välttäminen on lueteltu yhdeksi ilmasto- ratkaisuksi rakentamisessa. Kierrätysmateriaalien käytöllä vältetään neitseellisten materiaalien tuotannosta aiheutuvia päästöjä, hyödynnetään teollisuuden sivuvirtoja sekä eri alojen jätevirtoja. Myös rakennusosien uudelleenkäyttö ja materiaalien kierrätys on listattu mukaan rakentamisen ilmatoratkaisuihin. Kierrätysmateriaalia sisältävien rakennustuotteiden käytöllä vältetään jätteenkäsittelyyn liittyviä päästöjä sekä uusien rakennustuotteiden valmistuksesta syntyviä päästöjä. (Häkkinen & Kuittinen 2020, 175.) Rakennusosien uudelleenkäyttö ja materiaalien kierrätys on yhteydessä neitseellisten materiaalien tuotannon välttämiseen ja nämä molemmat ohjaavat kiertotalouden lisäämiseen rakennusalalla.

Rakennustuotteiden hiilijalanjälkeen vaikuttaa keskeisesti tuotteen valmistusvaihe (Häkkinen & Kuittinen 2020, 58). Ruuska ym. (2013) selvittivät rakennusmateriaalien ympäristövaikutuksia esimerkkikohteen avulla. Selvityksessä todettiin, että purettavien materiaalien jalostaminen uudelleen käytettäväksi raaka-aineeksi vaatii yleensä vähemmän energiaa ja luonnonvaroja kuin uuden tuotteen valmistaminen, joka edellyttää neitseellisten raaka-aineiden käyttöä. Toisaalta kierrätyksellä hankittu kokonaishyöty on riippuvainen mm. kierrätysmateriaalien kuljetus- ja käsittelytarpeesta sekä etenkin siitä, minkälaisia materiaaleja tai tuotteita on mahdollista korvata.

## 6 AINEISTO JA MENETELMÄT

Opinnäytetyön tutkimusmenetelmänä on kirjallisuuskatsaus, jonka tarkoituksena oli löytää kirjallisuudesta keinoja vähentää rakennettavan kohteen ympäristövaikutuksia materiaalivalintojen kautta. Opinnäytetyön alussa avataan rakennusalan tarvetta vähähiiliseen siirtymään, siirtymän vaatimia toimia sekä ympäristövaikutusten arvioinnissa käytettäviä menetelmiä. Taustatiedon jälkeen opinnäytetyö etenee käsittelemään rakennusmateriaalien ympäristövaikutuksia. Läpikäytävät materiaalit on rajattu lattia-, alakatto- ja eristemateriaaleihin.

Opinnäytetyön työstäminen alkoi lähdeaineiston kasaamisella tietokannoista ja rekistereistä. Lähdeaineiston keräämisessä käytettiin apuna sisäänotto- ja poissulkukriteerejä (taulukko 1). Tärkeimpiä tietokantoja aineiston kasaamiseen olivat Sciencedirect sekä Google Scholar, joista etsittiin alalla tehtyjä tutkimuksia hakusanoilla ”environmental-impact-building-flooring-insulation-ceiling-materials-LCA”. Löydettyjä maksullisia tutkimuksia haettiin Researchgate-sivustolta, jossa tutkimuksia on mahdollista saada luettavaksi lähettämällä pyynnön tutkijoille. Hakusanoja käytettiin myös Googlen hakukoneeseen, jotta löydettiin viranomaistahojen sekä yritysten sivuilta ajankohtaista yleistietoa. Taustatietoa rakennusalan vähähiilisyyden edistämisestä etsittiin ympäristöministeriön sivuilta ja alalla käytettävistä standardeista. Ympäristöministeriö on yksi tärkeimmistä toimijoista rakennusalan ympäristövaikutusten vähentämisessä sekä käytettävien menetelmien edistämisessä. Koko opinnäytetyön osalta ajankohtaista tietoa etsittiin Häkkinen & Kuittinen (2020) kirjasta ”Kohti vähähiilistä rakentamista”. Kirja toimi hyvänä runkona opinnäytetyön kannalta keskeisten aiheiden esittämisessä. Näitä keskeisiä aiheita olivat mm. elinkaariarviointi, ympäristövaikutusten arvioinnin moduulit sekä rakennetun ympäristön ympäristövaikutukset.

Taulukko 1. Sisäänotto- ja poissulkukriteerit

Sisäänottokriteerit	Poissulkukriteerit
Julkaistu vuoden 2010 jälkeen	Julkaistu ennen vuotta 2010
Julkaisukieli suomi tai englanti	Julkaistu muulla kuin suomen tai englannin kielellä

Ilmaiset tai korkeakoulun tunnuksilla saatavilla olevat aineistot	Maksulliset tai korkeakoulun tunnuksilla saamattomissa olevat aineistot
Pyydettyäessä saatavilla olevat aineistot	

Tutkimuksen aineisto pyrittiin pitämään mahdollisimman tuoreena, sillä aiheen osalta on tapahtunut paljon muutoksia viime vuosina. Lakeihin ja sääntelyihin on myös tulossa muutoksia lähiaikoina ja EU:n tasolla tapahtuvaa toimintaa kehitetään edelleen tälläkin hetkellä. Tutkimusaineiston ajankohtaisuuteen ohjasi esimerkiksi poissulkukriteeri, jonka mukaan ennen vuotta 2010 julkaistua aineistoa ei otettu mukaan opinnäytetyöhön. Lähdeaineiston etsimisessä keskityttiin löytämään Suomen ja Euroopan tasolla olennaista tietoa. Myös työssä käsiteltävät materiaalit valittiin Suomessa yleisesti käytettävistä materiaaleista.

## 7 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

Kun halutaan pienentää rakennettavan kohteen ympäristövaikutuksia käytettävien materiaalien kautta, nousee suunnittelu yhdeksi tärkeimmistä tekijöistä. Kun pohditaan suunnitteluvaiheessa materiaalien näkökulmasta keinoja parantaa rakennuksen vähähiilisyttä, on olemassa kaksi vaihtoehtoa, jotka ovat materiaalien kokonaistarpeen vähentäminen tai vähähiilisten materiaalien valitseminen. Kun lähdetään miettimään keinoja materiaaleista aiheutuvien päästöjen vähentämiseksi, tulee huomioida materiaalien kautta saavutettavat toiminnalliset, taloudelliset ja tekniset ominaisuudet. Lisäksi tulee arvioida näitä vähintään rakenteiden tai rakennusosien osalta. Usein saman toiminnallisen tai teknisen suorituskyvyn sisältävä rakenne on mahdollista toteuttaa monella eri tavalla. Juuri nämä päätökset tapahtuvat suunnitteluvaiheessa, sillä hiilijalanjälki voi olla erilainen samat toiminnalliset vaatimukset täyttävien rakennetyyppien välillä. Esimerkiksi lämmöneristävyys, desibeliluokka ja paloluokka voivat eri runko- ja pintamateriaaleilla sekä eristeillä olla sama, mutta materiaalien hiilijalanjälki voi olla huomattavan erilainen. Valmiiden tuotteiden erilainen hiilijalanjälki on seurausta mm. tuotantolaitosten ja kuljetusmatkojen vaihteluista. (Häkkinen & Kuittinen 2020, 122–123.)

Kun lopputulokseen halutaan vaikuttaa valitsemalla vähähiilisiä materiaaleja, lattiamateriaaleista aiheutuvia ympäristövaikutuksia on mahdollista pienentää valitsemalla tuotteita, jotka on valmistettu luonnollisista materiaaleista, kuten

puusta, korkista tai linoleumista. Näistä luonnonmateriaaleista valmistettujen tuotteiden pienemmät ympäristövaikutukset liittyvät näiden materiaalien tuottamiseen. Näiden materiaalien raaka-aineet tuotetaan kasvavilla kasveilla, jotka sitovat hiilidioksidia ja vapauttavat happea. Näistä raaka-aineista tuotettavat materiaalit sisältävät kasvien sitoman hiilen ja hiili on täten varastoituna materiaaliin. Näiden hiiltä sitovien materiaalien myöhempi muuntaminen tuotteiksi, kuten lattiapäällysteiksi, vaatii yleensä suhteellisen vähän lisäenergiaa. Lisäksi näiden tuotteiden massasta suuri osa koostuu varastoidusta hiilestä. Ympäristövaikutuksia voi pienentää myös suosimalla lattiamateriaalina vinyyliä tai laat-  
taa, joka sisältää kierrätettyjä materiaaleja, verrattuna tuotteisiin, jotka sisältävät merkittäviä määriä synteettistä hartsia. Myös tekstiilimattojen ja etenkin villaa sisältävien mattojen välttämällä voi saada aikaan positiivisia vaikutuksia. Villaa sisältävien materiaalien negatiiviset ympäristövaikutukset liittyvät lampaiden aiheuttamiin metaanipäästöihin. Tekstiilimattojen käyttöikä on suhteellisen lyhyt verrattuna esimerkiksi korkki- ja puupohjaisiin lattiamateriaaleihin, linoleumiin ja keraamiseen laattaan. Lyhyen käyttöiän lisäksi tekstiilimattojen tuotantoon liittyvä fossiilisten polttoaineiden suuri käyttö nostaa materiaalin ympäristövaikutuksia merkittävästi. (Bowyer ym. 2019.)

Ros-Dosda ym. (2019) tutkimuksessa tekemä normalisointi- ja painokertoimien soveltaminen mahdollisti yksinkertaistetun vertailun lattiamateriaalien välillä. Tutkimuksessa analysoitiin 149 ympäristöselostetta ja vertailu tehtiin kuuden eri lattiaratkaisun välillä. Tämän menetelmän mukaan tutkimuksessa parhaiten suoriutuivat epäorgaaniset lattiapäällysteet (keraaminen ja luonnonkivi) ja toiseksi parhaiten laminaatti ja PVC. Parketin vaikutukset olivat verrattavissa laminaatin ja PVC:n vaikutuksiin vähäliikenteisillä alueilla. Sellaisilla alueilla, joilla tapahtui raskaampaa liikennöintiä, parketti pärjäs selvästi huonommin. Tekstiilipäällysteen ympäristövaikutukset olivat kaikista huonoimmat verrattuna muihin materiaaleihin. Tämän huomasivat myös Bowyer ym. (2019). Kaikkien lattiapäällysteiden osalta huoltovaihe oli yksi eniten negatiivisia ympäristövaikutuksia synnyttävistä elinkaaren vaiheista. Vaaditut huoltotoimenpiteet aiheuttivat merkittäviäkin vaikutuksia ja tästä syystä vertailua tehdessä käyttöikä oli keskeinen muuttuja. Käyttöikä määritti vaihtojen määrän tutkimusjakson aikana ja näin ollen vaikutti huomattavasti ympäristövaikutusten suuruuteen materiaalien välillä. Käyttöiän arvoja määrittäessä tutkimuksessa suo-

ritettiin herkkyysanalyysi, jotta käyttöiän arvot olivat linjassa kaikkien materiaalien osalta. Sen avulla havaittiin, että päällysteiden ennaikainen vaihtaminen lisäsi merkittävästi ympäristövaikutuksia. Tutkimuksen tulokset perustuvat keskiarvoihin, mutta tuloksia ei voi yksilöidä jokaiseen tapaukseen, sillä sama tuoteluokka sisälsi vaihtelua tuotteissa ja/tai vaikutuksissa.

Kiinassa on tehty tapaustutkimus keraamisen laatan korvaamisesta puulattialla. Tutkimuksessa selvitettiin puulattioiden käytöstä saavutettavia kasvihuonekaasupäästöjen vähennyksiä sekä kustannustehokkuutta verrattuna keraamiseen laattaan. Tutkimuksessa käytetyt puulattiat olivat 19 mm paksu massiivipuulattia sekä 10 mm paksu vanerista ja viilipäällysteestä koostuva puulattia. Tutkimuksen mukaan kasvihuonekaasupäästöjä saatiin pienennettyä korvaamalla keraaminen laatta valituilla puulattioilla. Korvaamisesta aiheutuva päästövähennys kasvaa ja päästöjen vähentämisen kustannukset laskevat, kun puulattian hiilivarasto otetaan huomioon, lattia poltetaan energian talteenottoa käyttäen elinkaaren lopussa ja keraamisen laatan hinta nousee. (Geng ym. 2017.) Tämä tutkimus osoittaa yhdessä Bowyer ym. (2019) tutkimuksen kanssa puulattian suurimman edun olevan sen luonnollinen alkuperä ja energiankäytön hyödyntämisen mahdollisuus tuotteen elinkaaren lopussa.

VTT on teettänyt raportin, joka toimii kokoelmana rakennusmateriaalien hiilijalanjäljistä. Raportti keskittyy etenkin puupohjaisiin tuotteisiin ja sen tarjoamia tietoja voidaan käyttää arvioitaessa materiaalikohtaisia rakennusmateriaalien tuotantovaiheen kasvihuonekaasupäästöjä. Tarkasteltaessa laminaatin, massiiviparketin ja monikerroksisen parketin hiilijalanjälkeä (CO<sub>2e</sub> g/kg) tuotantovaiheessa (A1–3), voidaan havaita merkittäviä eroja näiden välillä. Monikerroksisen parketin hiilijalanjälki on lähes kymmenkertainen verrattuna laminaattiin ja lähes kaksi ja puoli kertaa suurempi kuin massiiviparketin. (Ruuska 2013.)

Tämän kaltainen vertailu keskittyy vain tuotantovaiheen hiilijalanjälkeen, mutta vertailu avartaa tuotteiden välisiä eroja. Esimerkiksi puupohjaisia lattiamateriaaleja käyttämällä voidaan lisätä rakennuksen kokonaishiilen varastoa ja kasvattaa hiilikädenjälkeä, mutta summittaisella valinnalla voidaankin huomata kasvattaa hiilijalanjälkeä. Täten materiaalivalintojen osalta hiilivarastojen lisääminen ja vähähiilisten materiaalien käyttö, eivät välttämättä kulje käsi

kädessä. Jotta voidaan saavuttaa hiilivarastojen kasvattamisen hyödyt ja vähähiilisten materiaalien käytön hyödyt samanaikaisesti, on hyvä tehdä vertailua materiaaliryhmän tuotteiden välillä mahdollisuuksien mukaan. Materiaalien ympäristövaikutusten vertailututkimuksia tarvitaan kuitenkin lisää luotettavien johtopäätösten tekemiseksi.

Materiaalivalintoja ei voida kuitenkaan tehdä vain vertaamalla materiaaleja keskenään. Itse materiaalista aiheutuvien vaikutusten lisäksi merkittävä rooli on rakenteiden pitkäikäisyydellä sekä helpolla huollettavuudella, purettavuudella ja kierrätettävyydellä. Tämän havaitsivat myös Ros-Dosda ym. (2019) tutkimuksessaan. Pienempien ympäristövaikutusten omaavien materiaalien käyttö on perusteltua, kun tarkastelussa on huomioitu myös rakenteiden pitkäikäisyys ja helppo huollettavuus, purettavuus ja kierrätys. (Häkkinen & Kuitinen 2020, 124.) Tämä voidaan todeta myös vertailemalla Bowyer ym. (2019) ja Ros-Dosda ym. (2019) tutkimuksien tuloksia. Näiden kahden tutkimusten erot tuloksissa voivat johtua juuri siitä, että Bowyer ym. (2019) tekemässä tutkimuksessa otettiin huomioon vaihteleva käyttöikä ja lyhytikäisten tuotteiden vaihtamiseen liittyvät vaikutukset, mutta materiaalien elinkaarenaikaiset huolto- ja kunnostustoimenpiteet jätettiin huomioimatta. Ros-Dosda ym. (2019) tutkimuksen mukaan nimenomaan huoltotoimenpiteet olivat yksi eniten vaikutuksia aiheuttavista elinkaaren vaiheista. Bowyer ym. (2019) huomauttavat kuitenkin, että vaikka jotkut lattiatuotteet aiheuttavat huomattavasti suurempia ympäristövaikutuksia kuin toiset, ei mikään lattiovaihtoehto ylitä muita vertailtavia vaihtoehtoja kaikissa tarkasteltavissa vaikutusluokissa.

Lämmöneristeiden osalta kohteen ympäristövaikutuksia voidaan pienentää parantamalla lämpöä eristävien rakenteiden lämmöneristävyyttä, jolla on suora vaikutus lämmitys- ja jäähdytysenergian tarpeeseen. Eristemateriaalien välillä on eroja lämmöneristävyydessä ja eri materiaaleilla saavutetaan vaihtelevia energiatehokkuuksia. Tämän takia eristeiden ja rakenteen kokonaislämmönjohtavuuden suhdetta voidaan verrata rakenteen hiilijalanjälkeen. Useiden lämmöneristeiden kohdalla saavutettava hyöty on suurempi energiatehokkuutta parantamalla, sillä eristet tuotteiden hiilijalanjälki on tähän verrattuna vähäinen. Toisaalta lisäämällä eloperäisten materiaalien hiilivarastoja etenkin kantaviin rakenteisiin ja lämmöneristeisiin voidaan rakennuksen elinkaaren hii-

lijalanjälkeä pienentää. (Häkkinen & Kuittinen 2020, 123–124.) Lisäämällä hiilivarastoja kasvatetaan hiilikädenjälkeä, joka on tärkeä huomioida hiilijalanjäljen pienentämisen ohella (Häkkinen & Kuittinen 2020, 175). Vähähiilisen rakentamisen peruseriaatteen ohjaavat etenkin energian ja materiaalien käytössä mahdollisimman pieneen hiilijalanjälkeen, mutta suureen hiilikädenjälkeen (Häkkinen & Kuittinen 2020, 179). Myös Raivio ym. (2020) mukaan esimerkiksi mineraalivillojen raaka-aineiden vaihtamisella tai saman sulamispisteen omaavien kierrätysmateriaalien käyttämisellä ei saavuteta merkittäviä eroja yksikköpäästöihin.

Vaikka lämmöneristeiden osalta isompi vaikutus voidaan saada parantamalla energiatehokkuutta, Hill ym. (2018) tekemän eristemateriaalien ympäristövaikutusten vertailuselvityksen mukaan tietyn materiaalin tuotekategorioissa kuitenkin on eroja tuotteeseen sen elinkaaren aikana käytetyn energian määrässä sekä ilmaston lämpenemispotentiaalissa. Tutkimuksen johtopäätöksien mukaan rakennushankkeiden materiaalivalinnat tulee tehdä ympäristövaikutukset huomioiden, mutta valinnoissa tulisi käyttää tuotekohtaisia tietoja. Sellaisen tiedon käyttöä tulee välttää, joka ei ota huomioon luontaisia epävarmuustekijöitä. Ympäristötietojen tulisi perustua tarkoituksenmukaiseen toiminnalliseen yksikköön ja niissä tulee huomioida koko elinkaaren vaikutukset. Schiavoni ym. (2016) raportoivat tutkimiansa lämmöneristeiden ympäristövertailun kärsineen saatavilla olevan tiedon puutteesta. He havaitsivat, että joissain tutkimuksissa ei määritelty laskennan järjestelmärajoja ja/tai käytettyä metodologiaa. Järjestelmärajojen määrittelemättömyys vaikeuttaa vertailua kaikkien materiaalien kohdalla. Lopputulokseen voi suuresti vaikuttaa se, onko elinkaarenaikaisia vaikutuksia tutkittu kehdosta portille vai kehdosta hautaan asti. Juuri nämä erot tutkimuksissa voivat johtaa vääriin johtopäätöksiin, kuten havaittiin Ros-Dosda ym. (2019) ja Bowyer ym. (2019) tutkimusten kohdalla.

Mattoni ym. (2019) tutkimuksen mukaan lämmöneristeitä valitessa tulisi suosia alhaisemman tiheyden materiaaleja, joiden tuotesidonnaiset ilmastopäästöt ovat alhaiset. Lisäksi tulee ottaa huomioon materiaalien luonnollinen alkuperä ja kierrätysmateriaalien käyttö. Tutkimuksessa huomattiin myös kierrätysmateriaaleista valmistetun EPS-eristeen pärjäävän vertailussa ympäristövaikutuksiltaan pienemmän selluloosakuitueristeen kanssa. Tämä havainnollistaa kierrätysmateriaalien käytöstä saavutettavia hyötyjä. Myös tämän tutkimuksen

mukaan kehitystä vaatii elinkaariarvioinnin käyttö ja tulevaisuudessa kaiva- taankin lisää tutkimuksia eristemateriaalien ympäristövaikutuksista koko elin- kaaren ajalta eikä vain kehdestä portille. Elinkaarianalysointiin tarvitaan uusia indikaattoreita ja parametrejä materiaalien ympäristövaikutusten arvioimiseen, jotta materiaalien analysointi saadaan täydellisemmäksi ja yhdenmukaisem- maksi.

Käytettävän eristeen valintaan vaikuttaa rakennusosa, jossa eristettä käyte- tään. Tiedon puutteen ja tulosten epävarmuuden vuoksi valintoja ei välttä- mättä voida tehdä luotettavasti tietystä materiaalista valmistettujen tuotteiden sisällä. Raivio ym. (2020) ilmoittamien eristeiden elinkaaren aikaisten päästö- kertoimien avulla voidaan kuitenkin tehdä karkeita havaintoja, eri materiaali- tyyppien välillä. Mikäli tarkastellaan kivivillaa, lasivillaa, sellukuitueristeitä, EPS- ja XPS-eristeitä sekä polyuretaania päästökertoimien näkökulmasta, on kannattavaa suosia sellukuitueristettä ja mineraali-/kivi- tai lasivillaeristeitä. EPS-, XPS- ja polyuretaanieristeillä on kuitenkin paikkansa rakentamisessa ja niiden eduksi on hyvä huomioida, että niitä voidaan polttaa energiaksi tai kier- rittää elinkaaren lopussa. Etenkin kierrätyksen hyödyt ovat laaja-alaiset ja kierrättämisellä saadaan lisättyä kiertotaloutta. Myös Sellukuitueristettä voi- daan käyttää elinkaaren jälkeen energiana tai kierrättää materiaali. Sellukui- tueriste erottuukin edukseen pienellä päästökertoimella sekä kierrätettävyy- dellä. Polyuretaanieristeen öljypohjaisten polyolien osittainen korvaaminen uu- siutuvilla raaka-aineilla parantaa sen suoriutumista vertailussa. Useiden eris- temateriaalien päästöt syntyvät tuotantovaiheessa ja etenkin tuotannon ener- giankäytön parannusten myötä jotkin materiaalit voivat tulevaisuudessa pär- jätä paremmin vertailuissa. Päästökertoimien pohjalta tehdystä tarkastelusta huolimatta myös Raivio ym. (2020) korostavat Häkkinen & Kuittinen (2020) ohella eristeiden roolia ja merkitystä ennen kaikkea energiankäytön hillin- nässä.

Tällä hetkellä materiaaleja vertailtaessa on hyvä huomioida, että useiden ma- teriaalien ympäristövaikutukset voivat olla muutaman vuoden päästä merkittä- vän erilaisia. Fuchsl ym. (2022) tekivät elinkaariarvioinnin eri lämmöneristema- teriaaleille analysoiden 47 tehdyn tutkimuksen tuloksia. Heidän mukaansa useiden materiaalien, kuten mm. epäorgaanisten materiaalien tuotantoproses- seja on parannettava. Kun tuotantoprosesseja parannetaan, parannetaan

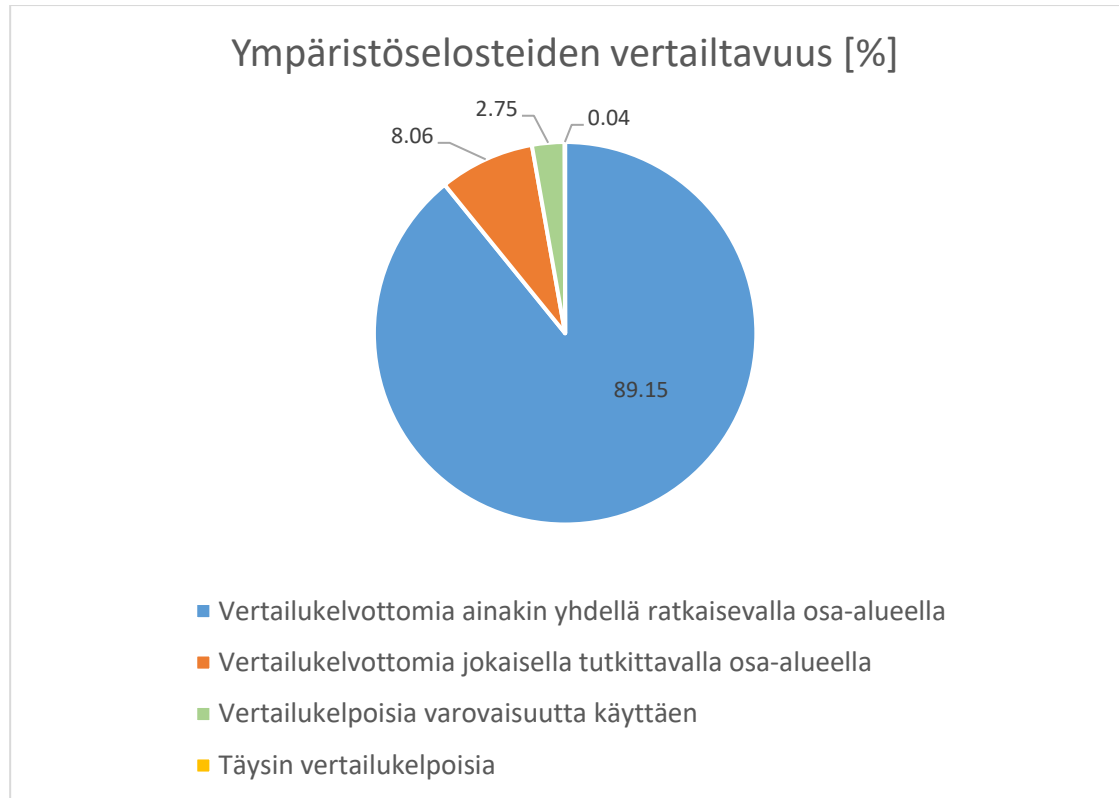


myös näiden materiaalien suoriutumista ympäristövertailuissa. Samassa tutkimuksessa todettiin orgaanisten uusiutumattomien materiaalien tarvitsevan kestävämpiä raaka-aineita, mikäli ympäristövaikutuksia halutaan pienentää. Tutkimuksessa analysoiduista eristemateriaaleista ne, jotka oli valmistettu uusiutuvista materiaaleista, omasivat parhaimmat parannusmahdollisuudet. On hyvinkin mahdollista, että etenkin tuotantovaiheiden parannuksia tullaan tekemään lähitulevaisuudessa, johon ohjaa Euroopassa mm. päästökauppalaki.

Alakattomateriaalien osalta tarvitaan lisää tutkimuksia sekä vertailua niiden ympäristövaikutuksista. Tällä hetkellä tutkimukset opinnäytetyössä tarkasteltavien materiaalien osalta painottuu lattia- ja eristemateriaaleihin. Kun käydään läpi puupohjaisten lattiamateriaalien ympäristövaikutuksia ja niiden suoriutumista vertailuissa, voidaan päätellä, että puupohjaisten materiaalien käyttö alakatossa voi olla kannattavampaa kuin niiden käyttö lattiapinnoitteena. Alakatto on passiivinen osa rakennusta ja siihen ei kohdistu juurikaan kulutusta. Näin ollen valinnassa ei tarvitse huomioida käytön aikaisia materiaalin huolto- ja ylläpitotoimista johtuvia vaikutuksia. Lattiamateriaaleissa puun heikko suoriutuminen verrattuna muihin lattiamateriaaleihin johtui suurilta osin sen huonosta soveltuvuudesta korkean kulutuksen kohteissa, joka lisäsi käytön aikaisia vaikutuksia (Ros-Dosda ym. 2019). Valitsemalla puupohjaisia alakattomateriaaleja voidaan kasvattaa rakennuksen kokonaishiilivarastoa. Mikäli vaihtoehtoina on polyuretaanikipsilevy ja tavallinen kipsilevy, voidaan ympäristövaikutuksia pienentää valitsemalla polyuretaanikipsilevy, mikäli se sisältää kierrätettyä polyuretaanijätettä (Rodrigo-Bravo ym. 2022).

Tutkimuksista saatujen tietojen ja tulosten vertailtavuus on todettu useissa tutkimuksissa heikoksi. Koska täysin vakiintuneita analysointimenetelmiä ei ole vielä olemassa, tutkimusten lopputuloksiin vaikuttavat useat eri tekijät, jotka voivat vaihdella tutkimusten kesken. Materiaalien vertailu pohjautuu pitkälti ympäristöselosteiden vertailuun, ja tällä hetkellä ympäristöselosteet sisältävät liikaa eroja luotettavien tulosten saamiseksi. Móre ym. (2022) tekivät selvityksen ympäristöselosteiden täydellisyydestä ja vertailukelpoisuudesta. ISO 14025 standardin mukaan samoilla säännöillä kehitetyt ympäristöselosteet ovat keskenään vertailukelpoisia. Tutkimukset kuitenkin osoittavat, että edes samoilla säännöillä laadittuja selosteita ei voi vertailla keskenään (kuva 5).

Analyysissä arvioitiin 436 ympäristöselostetta, jotka oli kehitetty käyttäen samoja tuoteryhmiä ja tuoteryhmäsääntöjä, alatuoteryhmäsääntöjä sekä ohjelmatoimijoita.



Kuva 5. Ympäristöselosteiden vertailtavuus (Móre ym. 2022)

Analyysin mukaan valtaosa tutkituista ympäristöselosteista olivat vertailukelvottomia (kuva 5). Vertailtavuuteen vaikuttivat merkittävästi vaadittujen tietojen puute, sillä vain noin 5 % ympäristöselosteista sisälsi kaikki pakolliset tiedot. Vertailtavuutta hankaloittivat myös mm. toiminnallisten yksiköiden ja allokointimenettelyiden joustavat määritelmät. Selvitys osoittaaakin tarpeen ympäristöselosteiden laadinnan yhdensuuntaiselle kehittämiselle.

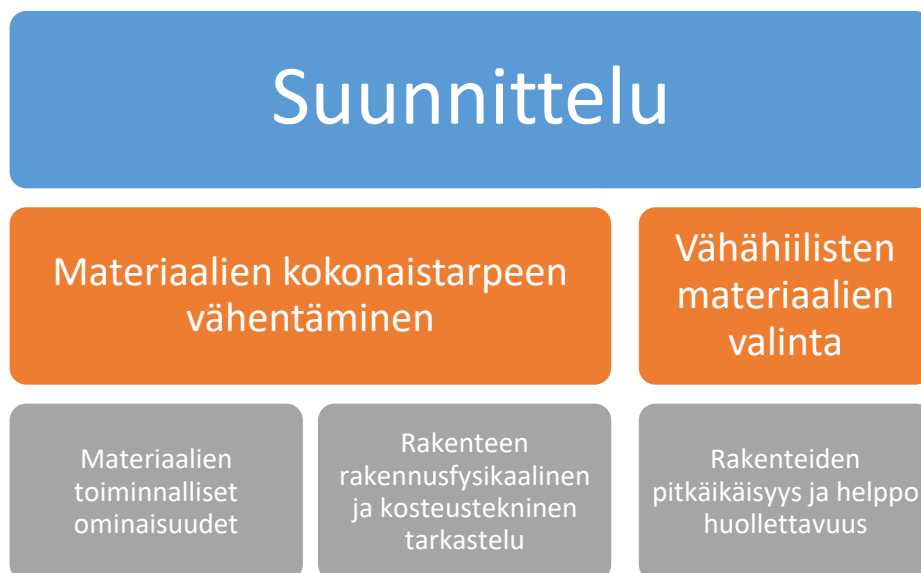
## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Rakennuksen hiilijalanjälkeä ja ympäristövaikutuksia voidaan pienentää hyvällä suunnittelulla, joka on merkittävä lähtötekijä rakennuksen kokonaispäästöjen pienentämisessä. Suunnittelun avulla voidaan vähentää materiaalien kokonaistarvetta tai valita vähähiilisiä materiaaleja. Materiaalivalintoja ei kuitenkaan voi tehdä rakennusosien ja rakenteiden rakennusfysikaalisen toimivuus-

den ja pitkäikäisyyden kustannuksella. Rakennusosien ja rakenteiden rakennusfysikaalinen toimivuus ja pitkäikäisyys ajaa vähähiilisuuden edelle, joten materiaaleja ei voi valita vain vähähiilisuuden näkökulmasta. Kun tämä on otettu huomioon, on materiaalivaihtoehtoja saatu jo rajattua. (kuva 6.)

Edellä mainitun tarkastelun myötä voidaan keskittyä jäljelle jääneiden materiaalityyppien vaikutuksiin. Lattiamateriaalien valinnassa tulee huomioida kohteen käyttö, jolla on vaikutusta materiaalien kulumiseen. Kohteen käytön ja materiaaleihin kohdistuvan kulutuksen määrän kartoittamisella voidaan jälleen poissulkea ja rajata vaihtoehtoja. Suuremman jalankulkuliikenteen kohteissa ympäristövaikutuksia voidaan pienentää valitsemalla kulutusta kestäviä materiaaleja. Kulutusta kestävien lattiamateriaalien, kuten keraamisen laatan käytön aikaiset negatiiviset vaikutukset ovat pienemmät verrattuna esimerkiksi puupohjaisiin lattiamateriaaleihin huolimatta niiden korkeammista tuotantovaiheen päästöistä. Pienemmän jalankulkuliikenteen kohteissa ympäristövaikutuksia voidaan pienentää valitsemalla luonnollisia materiaaleja. Näin voidaan lisätä kohteen hiilivarastoja ja käyttää materiaaleja, joiden tuotannonaikaiset vaikutukset ovat pienemmät.

Eristemateriaalien valinnassa täytyy kiinnittää huomiota lämmöneristävyyden lisäämiseen ja kokonaishiilivaraston kasvattamiseen valitsemalla orgaanista materiaalia sisältäviä tuotteita. Kokonaishiilivaraston kasvattaminen lisää myös kohteen hiilikädenjälkeä. Eriste- ja alakattomateriaaleihin ei kohdistu samalla tavalla kulutusta, kuin lattiamateriaaleihin, joten kokonaishiilivaraston kasvattaminen on perustellumpaa. Alakattomateriaalien tutkimukset ovat tällä hetkellä vähäisiä, joten lisätutkimuksia ja vertailua ympäristövaikutuksista tarvitaan valintojen tekemisen helpottamiseksi. Alakattomateriaaleissa voidaan mahdollisesti soveltaa lattia- ja eristemateriaalien vertailuista saatuja tietoja, mutta vähähiilisiä valintoja ei voi tehdä luotettavasti vain niiden pohjalta. Kaikkien materiaalien osalta ympäristövaikutuksia voidaan pienentää myös valitsemalla tuotteita, jotka sisältävät kierrätettyjä materiaaleja. Kierrätysmateriaalien käytöllä voidaan vähentää tuotantovaiheeseen liittyvien päästöjen määrää verrattuna neitseellisistä raaka-aineista valmistettuihin tuotteisiin.



Kuva 6. Materiaalivalinnoissa huomioitavia tekijöitä

Ympäristöselosteiden huono vertailtavuus hankaloittaa materiaalivalintoja ympäristövaikutusten näkökulmasta ja lisää epävarmuutta tulosten yleistettävyyteen. Työn tulokset korostavat tarvetta ympäristöselosteiden laadintamien kehittämiseksi. Tutkimuksissa elinkaariarvioinnin järjestelmäraajat vaihtelevat tutkimusten kesken, joka myös hankaloittaa materiaalien keskinäistä vertailua tutkimusten pohjalta. Sillä onko vaikutuksia tutkittu kehdosta portille vai kehdosta hautaan, voi olla suuri merkitys lopputuloksen kannalta. Saadut tulokset antavat kuitenkin toimeksiantajalle tietoa materiaalivalintojen tekemiseen. Lisäksi tulokset tarjoavat tietoa huomiota ja kehitystä vaativista kohdista, joiden ymmärtämisestä on hyötyä vähähiilisen rakentamisen kehittyessä eteenpäin. Näiden kohtien kehittämisen myötä materiaalien keskinäinen vertailu odotettavasti myös helpottuu tulevaisuudessa.

## LÄHTEET

Almeida, M., Dias, A., Demertzi, M. & Arroja, L. 2016. Environmental profile of ceramic tiles and their potential for improvement. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sciencedirect-com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S095965261630419X> [viitattu 21.1.2023].

Bionova Oy. 2017. Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Tiekartta-rakennuksen-elinkaaren-hiilijalanjäljen-huomioonottamiseksi-rakentamisen-ohjauksessa-%7B4B3172BC\\_4F20\\_43AB\\_AA62\\_A09DA890AE6D%7D-129197.pdf/f339dfd3-aa84-fb03-29aa-f6377253ce68/Tiekartta-rakennuksen-elinkaaren-hiilijalanjäljen-huomioonottamiseksi-rakentamisen-ohjauksessa-%7B4B3172BC\\_4F20\\_43AB\\_AA62\\_A09DA890AE6D%7D-129197.pdf?t=1603260765618](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Tiekartta-rakennuksen-elinkaaren-hiilijalanjäljen-huomioonottamiseksi-rakentamisen-ohjauksessa-%7B4B3172BC_4F20_43AB_AA62_A09DA890AE6D%7D-129197.pdf/f339dfd3-aa84-fb03-29aa-f6377253ce68/Tiekartta-rakennuksen-elinkaaren-hiilijalanjäljen-huomioonottamiseksi-rakentamisen-ohjauksessa-%7B4B3172BC_4F20_43AB_AA62_A09DA890AE6D%7D-129197.pdf?t=1603260765618) [viitattu 14.12.2022].

Bowyer, J., Pepke, E., Fernholz, K., Henderson, C., Groot, H. & Erickson, G. 2019. Comparison of Environmental Impacts of Flooring Alternatives. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://dovetailinc.org/upload/tmp/1579549416.pdf> [viitattu 22.12.2022].

Demertzi, M., Garrido, A., Dias, A. & Arroja, L. 2015. Environmental performance of a cork floating floor. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sciencedirect-com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S0261306914010462> [viitattu 22.1.2023].

Elinkaariarviointi tukee kestävyysmurrosta. 2022. Suomen ympäristökeskus. WWW-dokumentti. Päivitetty 4.2.2022. Saatavissa: <https://www.syke.fi/fi/Elinkaariarviointi> [viitattu 31.1.2023].

Füchsl, S., Rheude, F. & Röder, H. 2022. Life cycle assessment (LCA) of thermal insulation materials: A critical review. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sciencedirect-com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S277239762200079X> [viitattu 26.1.2023].

Geng, A., Zhang, H. & Yang, H. 2017. Greenhouse gas reduction and cost efficiency of using wood flooring as an alternative to ceramic tile: A case study in China. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sciencedirect-com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S0959652617317742> [vootattu 3.3.2023].

Hiilikädenjälki: Uusi ympäristömittari tuotteiden positiivisten ilmastovaikutusten arviointi. 2018. VTT. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vttresearch.com/fi/uutiset-ja-tarinat/hiilikadenjalki-uusi-ymparistomittari-tuotteiden-positiivisten> [viitattu 28.1.2023].

Hill, C., Norton, A. & Dibdiakova, J. 2018. A comparison of the environmental impacts of different categories of insulation materials. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sciencedirect-com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S0378778817334679> [viitattu 30.1.2023].

Häkkinen, T. & Kuittinen, M. 2020. Kohti vähähiilistä rakentamista. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Häkkinen, T., Kuittinen, M., Ruuska, A. & Jung, N. 2015. Reducing embodied carbon during the design process of buildings. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sciencedirect-com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S2352710215300036> [viitattu 13.12.2022].

Level(s) – rakennusten resurssitehokkuuden yhteiset EU-mittarit. s.a. Ympäristöministeriö. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ym.fi/levels-rakennusten-resurssitehokkuuden-mittarit> [viitattu 16.12.2022].

Mattoni, B., Bisegna, F., Evangelisti, L., Guattari, C. & Asdrubali, F. 2019. Influence of LCA procedure on the green building rating tools outcomes. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/609/7/072044/pdf> [viitattu 3.3.2023].

Móre, F., Galindro, B. & Soares, S. 2022. Esitarkastettu versio. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.researchgate.net/publication/363577358\\_Assessing\\_the\\_completeness\\_and\\_comparability\\_of\\_environmental\\_product\\_declarations](https://www.researchgate.net/publication/363577358_Assessing_the_completeness_and_comparability_of_environmental_product_declarations) [viitattu 12.2.2023].

Pargana, N., Duarte Pinheiro, M., Dinis Silvestre, J. & de Brito, J. 2014. Comparative environmental life cycle assessment of thermal insulation materials of buildings. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sciencedirect-com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S0378778814005842> [viitattu 24.1.2023].

Päästökauppalaki 8.4.2011/311.

Raivio, T. 2020. Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035 osa 2. Raportissa Laine, A., Klimscheffskij, M., Lehtomäki, J., Heino, A., Johansson, H., Pokela, P. & Ahlfors, M. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.rt.fi/globalassets/ymparisto-ja-energia/vahahiili\\_seminaaries/raportit\\_lopulliset/rt-raportti-2\\_vahahiilisyyden-mahdollisuudet\\_final.pdf](https://www.rt.fi/globalassets/ymparisto-ja-energia/vahahiili_seminaaries/raportit_lopulliset/rt-raportti-2_vahahiilisyyden-mahdollisuudet_final.pdf) [viitattu 17.2.2023].

Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä. 2019. Ympäristöministeriö. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161761/YM\\_2019\\_22\\_Rakennuksen\\_vahahiilisyyden\\_arviointimenetelma.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161761/YM_2019_22_Rakennuksen_vahahiilisyyden_arviointimenetelma.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [viitattu 16.12.2022].

Rodrigo-Bravo, A., Alameda Cuenca-Romero, L., Calderon, V., Rodriguez, A. & Gutierrez-Gonzalez, S. 2022. Comparative Life Cycle Assessment (LCA) between standard gypsum ceiling tile and polyurethane gypsum ceiling tile. Saatavissa: <https://www.sciencedirect-com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S037877882200038X> [viitattu 23.1.2023].

Ros-Dosda, T., Celades, I., Vilalta, L., Fullana-i-Palmer, P. & Monfort, E. 2019. Environmental comparison of indoor floor coverings. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969719334382?fr=RR-2&ref=pdf\\_download&rr=78df5d519d38fe58](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969719334382?fr=RR-2&ref=pdf_download&rr=78df5d519d38fe58) [viitattu 22.1.2023].

Rosso, F., Pisello, A., Pigliautile, I., Cavalaglio, G. & Coccia, V. 2020. Natural, bio-based, colored linoleum: Design, preparation, characteristics and preliminary life cycle assessment. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620322496> [viitattu 21.1.2023].

Ruuska, A. 2013. Carbon footprint for building products. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2013/T115.pdf> [viitattu 8.2.2023].

Ruuska, A., Häkkinen, T., Vare, S., Korhonen, M-R. & Myllymaa, T. 2013. Rakennusmateriaalien ympäristövaikutukset. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/41423/YMra8\\_2013\\_Rakennusmateriaa-lien\\_ymparistovaikutukset\\_FINAL.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/41423/YMra8_2013_Rakennusmateriaa-lien_ymparistovaikutukset_FINAL.pdf?sequence=2&isAllowed=y) [viitattu 24.1.2023].

SFS-EN 15804: 2010 + A2: 2019. Kestävä rakentaminen. Rakennustuotteiden ympäristöselosteet. Laadinnan yleissäännöt.

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

SFS-EN 15978:en. 2012. Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method.

SFS-EN ISO 14044: 2006 + A1:2018 + A2:2020. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja suuntaviivoja.

Schiavoni, S., D'Alessandro, F., Bianchi, F. & Asdrubali, F. 2016. Insulation materials for the building sector: A review and comparative analysis. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sciencedirect-com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S1364032116301551> [viitattu 27.1.2023].

Shrestha, S., Biswas, K. & Desjarlais, A. 2014. A protocol for lifetime energy and environmental impact assessment of building insulation materials. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sciencedirect-com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S0195925514000031#s0020> [viitattu 27.1.2023].

Sjöstedt, T. 2016. Mitä nämä käsitteet tarkoittavat? WWW-dokumentti. Päivitetty 21.10.2022. Saatavissa: <https://www.sitra.fi/artikkelit/mita-nama-kasitteet-tarkoittavat/> [viitattu 21.11.2022].

Vjestica, S., Budak, I., Kljajin, M., Vukelic, D., Milanovic, B., Milanovic, D. & Hodolic, J. 2014. Model for analysis of environmental impacts of production processes in flooring industry based on LCA. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://hrcak.srce.hr/en/file/182122> [viitattu 22.1.2023].

Vähähiilinen rakentaminen. s.a. Ympäristöministeriö. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ym.fi/vahahiilinen-rakentaminen> [viitattu 14.12.2022].

Vähähiilisen rakentamisen tiekartta. s.a. Ympäristöministeriö. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ym.fi/vahahiilisen-rakentamisen-tiekartta> [viitattu 15.12.2022].



