



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**OLLI SUONPÄÄ**

**ELINKAARIMITTARIT ASUINRAKENNUKSEN SUUNNITTELUN JA  
KÄYTÖN TYÖKALUNA**

Diplomityö

Tarkastaja: professori Timo Kalema  
Tarkastaja ja aihe hyväksytty  
Teknisten tieteiden tiedekuntaneu-  
voston kokouksessa 3. syyskuuta  
2014

## TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Automaatiotekniikan koulutusohjelma

**SUONPÄÄ, OLLI:** Elinkaarimittarit asuinrakennuksen suunnittelun ja käytön työkaluna

Diplomityö, 72 sivua, 2 liitesivua

Joulukuu 2014

Pääaine: Talotekniikka

Tarkastaja: professori Timo Kalema

Avainsanat: elinkaarimittarit, hiilijalanjälki, elinkaarikustannus

Suomen kasvihuonekaasupäästöistä noin 38 prosenttia aiheutuu rakennuksissa. Suurin osa rakennuksissa aiheutuvista päästöistä muodostuu käytetyn sähkö- ja lämmitysenergian tuottamisesta. EU on pyrkinyt direktiiveillään vähentämään kasvihuonekaasupäästöjen syntymistä erityisesti energiantarpeen vähentämisen kautta. EU:n direktiivit ovat vaikuttaneet Suomen rakentamismääräyksiin, jotka ohjaavat rakentamista Suomessa.

Tämän työn tarkoituksena oli tutkia Green Building Council Finlandin elinkaarimittareiden laskentamenetelmien ja tunnuslukujen toimivuutta. Elinkaarimittareiden toimivuutta kokeiltiin kahdella erilaisella case-kohteella ja tutkittiin pystytäänkö elinkaarimittareiden tunnuslukuja käyttämään rakennusten arvioinnissa. Tässä työssä käydään myös läpi miten Suomen rakentamismääräykset ohjaavat rakennusten hiilijalanjälkeä energiankäytön kautta.

Case-kohteille tehtiin usealla erilaisella skenaariolla GBC Finlandin elinkaarimittareiden mukaiset laskelmat, joiden tuloksilla voitiin tarkastella skenaarioiden vaikutuksia elinkaarimittareiden tunnuslukuihin. Skenaarioiden avulla pyrittiin löytämään ratkaisuja, joilla pystyttäisiin pienentämään rakennuksen E-lukua sekä elinkaaren hiilijalanjälkeä. Laskennan apuna käytettiin IDA ICE –ohjelmistoa sekä NCC:n omaa Esti-Model –ohjelmaa.

Tutkittujen GBC Finlandin tunnuslukujen mukaan skenaarioilla päästiin tavoitteisiin, jolloin sekä E-luku että hiilijalanjälki saatiin pieneneään. Helsingin Munkkiniemenrannan kohteessa saatiin pienennettyä E-lukua arvosta 135 kWh/m<sup>2</sup> arvoon 89 kWh/m<sup>2</sup> sekä elinkaaren hiilijalanjälkeä noin 48 prosenttia. Turun Loft-tehtaassa pieneni E-luku arvosta 130 kWh/m<sup>2</sup> arvoon 100 kWh/m<sup>2</sup> ja hiilijalanjälki noin 37 prosenttia. Molemmissa kohteissa sekä E-lukua että hiilijalanjälkeä onnistuttiin pienentämään eniten skenaariolla, jossa otettiin käyttöön rakennuksen lämmitysjärjestelmäksi kaukolämmön tilalle pellettilämmitys. Hiilijalanjäljen ja E-luvun lisäksi skenaarioiden avulla saatiin pienennettyä myös elinkaaren kokonaiskustannusta molemmissa kohteissa.

Case-kohteiden avulla huomattiin, että elinkaarimittarien tunnusluvut eivät ole yksinkertaisia eivätkä yksikäsitteisiä laskea. Erityisesti elinkaaren hiilijalanjäljen määrittäminen on työlästä sekä epätarkkaa. Myöskään elinkaaren hiilijalanjäljeksi saatava tulos ei kerro yksinään paljoa rakennuksesta. Nykymuodossaan elinkaarimittareihin vaikuttaa liikaa laskennat tekevä henkilö, sillä laskentaa ei ole rajattu tarpeeksi yksiselitteiseksi.

## ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Automation Engineering

**SUONPÄÄ, OLLI:** Life Cycle Indicators as a Tool of Design and Usage of Residential Buildings

Master of Science Thesis, 72 pages, 2 Appendix pages

December 2014

Major: Building Services Engineering

Examiner: Professor Timo Kalema

Keywords: life cycle indicators, carbon footprint, life cycle cost

In Finland about 38 percent of all greenhouse gas emissions are caused in buildings. Most of those emissions are caused by production of electricity and heat. The EU has established directives to reduce greenhouse gas emissions. In particular, directives have made to reduce energy demand in the buildings. EU directives have affected Finnish building regulations that determine construction in Finland.

This thesis was made to investigate the functionality of Green Building Council Finland's new life cycle indicators. Functionality of the life cycle indicators was tested in two different case studies and the capabilities to use them as an evaluation of buildings were examined. This thesis also introduces how the Finnish building regulations guide the building's carbon footprint through the use of energy.

Calculations of the life cycle indicators were made for the case studies in several different scenarios. Results of the calculations were used to examine how scenarios affect the life cycle indicators. The scenarios were aimed at finding solutions to reduce building's energy factor and the carbon footprint.

The calculated results of life cycle indicators show that the objectives were achieved with the scenarios. Both the energy factor and the carbon footprint were reduced in both case studies. In the case study of Munkkiniemenranta the energy factor was decreased from 135 kWh/m<sup>2</sup> to 100 kWh/m<sup>2</sup> and the carbon footprint was decreased by about 48 percent. Loft-tehdas' energy factor decreased from 130 kWh/m<sup>2</sup> to 100 kWh/m<sup>2</sup> and the carbon footprint decreased about 37 percent. In both case studies both energy factor and carbon footprint were reduced most with the scenario where the building's heating system was changed for pellet heating. In both case studies the scenarios were also able to reduce the total life cycle cost.

The case studies revealed that the life cycle indicators are not simple to calculate. In particular, the determination of the carbon footprint is laborious and inaccurate. Either the carbon footprint does not tell much about the building without any point of reference. Calculations of the life cycle indicators are influenced too much by the person who is making the calculations because the calculation methods are not simple enough.

## ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Optiplan Oy:lle vuoden 2014 aikana. Työn ohjaajana toimi DI Kimmo Liljeström Optiplanilta ja tarkastajana professori Timo Kalema.

Ensimmäisenä haluan kiittää Kimmoa hänen antamastaan mahdollisuudesta tehdä diplomityö Optiplanille. Kiitos myös työni ohjaamisesta ja suunnan näyttämisestä. Kiitos Timo Kalemalle hyvästä kommentoinnista sekä työn tarkastamisesta.

Lopuksi haluan kiittää vanhempiani koko opiskelujeni ajan kestäneestä tuesta. Erityiskiitokset Sannalle, joka on jaksanut kannustaa läpi pitkän diplomityöurakan.

Turussa 26.10.2014

Olli Suonpää

## SISÄLLYS

1	Johdanto .....	1
1.1	Työn tausta .....	1
1.2	Työn tavoitteet .....	2
1.3	Työn rajaus ja rakenne .....	2
2	Ympäristöystävällisen rakentamisen määräykset ja ohjeet.....	4
2.1	Euroopan Unionin direktiivit .....	4
2.2	Määräykset ja ohjeet Suomessa .....	6
2.2.1	Suomen rakentamismääräyskokoelma.....	6
2.2.2	E-luku .....	7
2.2.3	Energiatodistus .....	11
2.3	Muita rakentamista ohjaavia tekijöitä .....	13
2.3.1	Hiilijalanjälki .....	13
2.3.2	Sisäilmaluokka.....	16
2.4	Kuntien vaatimukset ja tavoitteet.....	20
2.4.1	Helsinki.....	20
2.4.2	Tampere .....	21
2.4.3	Turku.....	21
2.5	Ympäristöluokitukset ja mittarit .....	22
2.5.1	Yleistä ympäristöluokituksista.....	22
2.5.2	Ympäristöluokitusjärjestelmät .....	23
3	GBC Finlandin elinkaarimittarit .....	26
3.1	GBC Finland .....	26
3.2	Elinkaarimittarit .....	26
3.2.1	Hankevaihe .....	27
3.2.2	Käyttövaihe.....	30
4	Asuinrakennusten elinkaaren suunnittelu ja hallinta.....	34
4.1	Vihreä rakentaminen .....	34
4.2	Vaikutusmahdollisuudet hiilijalanjälkeen.....	35
4.2.1	Käytönaikainen energia .....	35
4.2.2	Materiaalit.....	38
4.2.3	Kustannukset.....	41
4.3	Elinkaariominaisuuksien hallinta prosessissa .....	43
4.3.1	Työkalut.....	43
5	Case-kohteet.....	45
5.1	Munkkiniemenranta .....	45
5.1.1	Elinkaarimittareiden tunnusluvut.....	52
5.2	Loft-tehdas .....	53
5.2.1	Elinkaarimittareiden tunnusluvut.....	59
5.3	Elinkaarimittareiden analysointi .....	60
6	Asuinrakennusten elinkaarimittareiden hyödyntäminen suunnittelutoimistossa....	62

6.1 Hankevaihe.....	62
6.2 Käyttövaihe .....	63
7 Yhteenveto .....	64
Lähteet.....	66

Liite 1: Asuinrakennusten energiatehokkuusluokkien rajat

## TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

E-luku	Energiamuotojen kertoimilla painotettu rakennuksen vuotuinen standardikäytöllä määritelty energiankulutus lämmitettyä nettoneliötä kohti. E-luku ilmoitetaan yksikössä kWh/m <sup>2</sup> .
Energiamuoto	Eri energianlähteistä koostuva ryhmä. Energiamuotoja ovat esimerkiksi fossiiliset energianlähteet ja sähkö.
Energiamuodon kerroin	Energiamuodon painotuskerroin E-luvun laskennassa.
Esiteollinen kausi	Esiteollinen kausi sijoittuu vuosien 1500-1800 väliin.
g-arvo	Auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin, kertoo koko ikkunarakenteen auringonsäteilyn läpäisevyyden.
GBC Finland	Tässä työssä GBC Finland on lyhenne Green Building Council Finlandista.
Greenhouse Gas Protocol	Kansainvälisesti käytetty työkalu kasvihuonekaasupäästöjen tunnistamisissa ja hallinnassa.
IDA ICE	IDA Indoor and Climate Energy on dynaaminen simulointiohjelmisto, jolla voidaan simuloida rakennuksen sisäilmastoa ja energiantarpeita.
Tunnusluku	Tässä työssä tunnusluvuilla tarkoitetaan GBC Finlandin elinkaarimittareiden suureita.
U-arvo	Rakennusmateriaalin lämmönläpäisykerroin, joka ilmoitetaan yksikössä W/m <sup>2</sup> K.

**STANDARDIT**

EN 12464-1	Light and lighting. Lighting of work places. Indoor work places.
EN 15251	Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics.
EN 15643-4	Sustainability of construction works. Assessment of buildings. Framework for the assessment of economic performance.
EN 15978	Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method.
EN ISO 13790	Energy performance of buildings. Calculation of energy use for space heating and cooling.
EN ISO 14040	Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework.
EN ISO 14044	Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines.

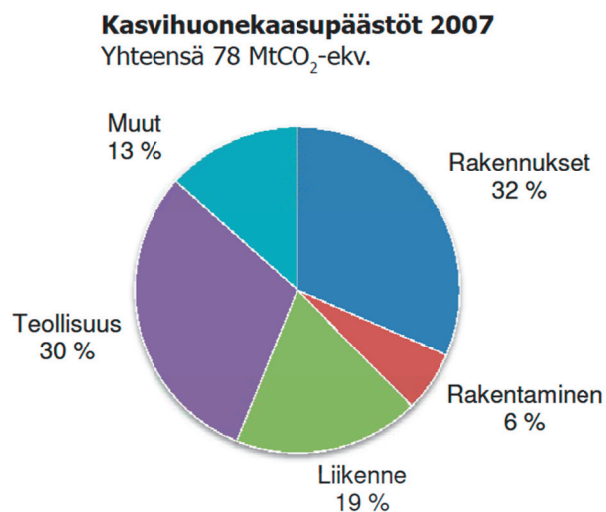


# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn tausta

Maailmanlaajuinen ilmaston lämpeneminen on saanut erinäiset tahot taistelemaan sen kehittymistä vastaan. Ilmaston lämpeneminen aiheuttaa jäätiköiden sulamista sekä vahvistaa ilmaston ääri-ilmiöitä. Ilmastoon vapautuvat kasvihuonekaasut ovat suurin ihmisten aiheuttama ilmaston lämpenemistä edistävä tekijä. Kasvihuonekaasuista suurin osa on hiilidioksidipäästöjä. Hiilidioksidia syntyy paljon erityisesti energiantuotannossa, jossa käytetään fossiilisia polttoaineita. (Ilmatieteenlaitos 2014) Siksi onkin järkevää lähteä etsimään mahdollisia ratkaisuja ilmaston lämpenemistä vastaan hiilidioksidipäästöjen vähennyksien kautta.

Rakennuksissa tapahtuva energiankäyttö on noin 40 % kaikesta Suomen energiankulutuksesta sekä päästöistä. Se on suurin yksittäinen energiaa kuluttava ja päästöjä aiheuttava sektori. Se on myös energiatehokkuuden parantamisen kannalta erittäin potentiaalinen. Rakennuksista voidaan tehdä ja pyritään tekemään energiatehokkaampia energian säästämiseksi ja päästöjen vähentämiseksi. (Sitra 2012) Energian tuottaminen maksaa ja tuottaa päästöjä ilmastoon, joten mahdollisimman vähän energiaa kuluttava rakennus on edullinen ylläpitää, sekä taloudellisesti, että ympäristölle. Rakennuksien osalta päästöjä aiheutuu myös rakentamisesta sekä rakennuksen vaatimista materiaaleista ja niiden valmistuksesta. Materiaalien osuus tuleekin ottaa huomioon kokonaisvaltaisessa rakennuksen hiilijalanjäljen määrittämisessä. Kuvassa 1.1 esitetään Suomen kasvihuonekaasupäästöjen jakautuminen sektoreittain vuonna 2007. Kasvihuonekaasupäästöjä syntyi yhteensä noin 78 MtCO<sub>2</sub>-ekv (Sitra 2010).



*Kuva 1.1. Suomen kasvihuonekaasupäästöt sektoreittain vuonna 2007 (Sitra 2010).*

Jotta rakennuksista aiheutuvia päästöjä ja energian käyttöä pystytään vähentämään, pitää niitä pystyä myös mittaamaan. Rakennuksille onkin luotu monia erilaisia ympäristöluokituksia, -sertifikaatteja ja -mittareita, jotka ottavat huomioon rakennusten energiatehokkuuden sekä sen aiheuttamat päästöt. Yleisimmät Suomessa käytettävät ympäristöluokitukset ovat BREEAM ja LEED, sekä Suomessa kehitetty PromisE. Vuonna 2013 Green Building Council Finland julkaisi uudet elinkaarimittarit, joiden tarkoituksena on määrittää rakennuksen koko eliniän aikaiset kustannukset ja päästöistä aiheutuva hiilijalanjälki. Mittareilla saadaan aikaan yksiselitteiset rakennusta koskevat tunnusluvut, joiden avulla pystytään vertailemaan rakennuksen vaihtoehtoisia suunnitelmia keskenään. Elinkaarimittareiden kehitystyö on vielä kesken, mutta niiden toimivuutta on testattu muutamissa kohteissa. (Green Building Council 2013a)

## 1.2 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on tutkia Green Building Council Finlandin elinkaarimittarien laskentamenetelmää sekä laskea elinkaarimittarien hankevaiheen mukaiset tunnusluvut kahdelle case-kohteelle. Case-kohteille lasketaan hankevaiheen tunnusluvut usealla eri skenaariolla, joissa jokaisessa muutetaan jotain rakennuksen ominaisuutta. Skenaarioiden avulla pyritään erityisesti pienentämään rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkeä sekä E-lukua. Tunnuslukujen laskennan avulla pyritään tarkastelemaan elinkaarimittareiden toimivuutta yleisenä mittaristona.

Työn tavoitteena on myös pohtia miten elinkaarilaskentaa voitaisiin käyttää hyväksi osana suunnittelutoimiston liiketoimintaa. Tämän lisäksi käydään hieman läpi miten elinkaarisuunnittelu tulee ottaa huomioon rakennusprosessin aikana.

## 1.3 Työn rajaus ja rakenne

Työssä keskitytään asuinkerrostalojen elinkaarisuunnitteluun Green Building Council Finlandin elinkaarimittareita käyttämällä. Case-kohteille lasketaan vain hankevaiheen elinkaarimittarien tunnusluvut, sillä käyttövaiheen mittareiden vaatimia mittauksia ei voida tehdä uudiskohteille. Case-kohteiden elinkaarimittareiden laskentaan tarvittavat lähtötiedot saadaan IDA Indoor Climate and Energy -ohjelmistolla sekä NCC:n omalla EstiModel -ohjelmalla. Kaikkia elinkaarikustannukseen ja hiilijalanjälkeen vaikuttavia komponentteja ei voida tämän työn puitteissa ottaa tarkasti huomioon. Siksi rakennuksen kustannusten ja hiilijalanjäljen laskennassa on jouduttu käyttämään selviä yksinkertaistuksia sekä pyritty keskittymään eniten päästöjä ja kustannuksia aiheuttaviin tekijöihin.

Työn ensimmäinen luku on johdanto, jossa kuvataan työn tausta, tavoitteet ja rajaukset. Toisessa luvussa käydään läpi asuinkerrostalojen energiatehokkuuteen ja ympäristöystävällisyyteen liittyviä EU:n, Suomen ja Suomen kaupunkien asettamia ympäristövaatimuksia ja tavoitteita. Toisessa luvussa käsitellään myös GBC Finlandin han-

kevaiheen tunnuslukujen taustoja sekä muita ympäristösertifikaatteja. Kolmannessa luvussa tarkastellaan Green Building Council:n elinkaarimittareita ja niiden laskennan taustalla olevia menetelmiä. Neljännessä luvussa käydään läpi elinkaarisuunnittelu prosessia ja tutkitaan mitä lähtötietoja tunnuslukujen laskemiseen tarvitaan ja mitä työkaluja pystytään käyttämään hyväksi. Viides luku pitää sisällään kahden case-kohteen hankkeiden elinkaarimittareiden tunnuslukujen laskennan sekä tulosten vertailun eri suunnitteluratkaisujen välillä. Kuudes luku keskittyy pohdintaan, miten elinkaarimittareita voidaan käyttää hyväksi osana suunnittelutoimiston liiketoimintaa ja kenelle elinkaarimittarit ovat hyödyllisiä. Lopuksi, viimeisenä lukuna on koko työn yhteenveto.

## 2 YMPÄRISTÖYSTÄVÄLLISEN RAKENTAMISEN MÄÄRÄYKSET JA OHJEET

Ympäristöystävällinen rakentaminen on kehittymässä ja sen tarkoitus on toimia energiantarpeen ja kasvihuonekaasujen vähentäjänä. Rakennuksen omistajan kannalta ympäristöystävällisen ja energiatehokkaan rakentamisen päätarkoitus on usein kustannusten pienentäminen, mutta samalla vähennetään rakennuksen aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä.

Tässä luvussa käydään ensin lyhyesti läpi miten Euroopan Unioni ohjaa ympäristöystävällistä rakentamista ja millä keinoilla Suomi pyrkii määräykset ja tavoitteet täyttämään. Koska määräyksien yksi tarkoitus on vähentää kasvihuonekaasujen määrää, tutustutaan mistä asioista rakennusten hiilijalanjälki muodostuu. Rakennuksien tärkein tavoite on kuitenkin luoda ihmisille viihtyisä ja terveellinen ympäristö elää, joten tarkastellaan myös miten rakennusten sisäilmaluokitukset ohjaavat rakennuksen sisäilmaston suunnittelua. Lopuksi tarkastellaan, minkälaisia omia tavoitteita kaupungeilla on ympäristönkuormitusten vähentämiseksi sekä minkälaisia ympäristömittareita on kehitetty rakennusten ympäristöystävällisyyden arviointiin.

### 2.1 Euroopan Unionin direktiivit

Euroopan Unioni on laatinut jäsenvaltioilleen rajoja ja tavoitteita energiariippuvuuden ja kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi. Tällä hetkellä onkin voimassa vuonna 2007 julkaistu niin sanottu 20-20-20 tavoite, jonka mukaan vuoteen 2020 mennessä 20 % EU:n energiankulutuksesta tulisi tuottaa uusiutuvalla energiantuotannolla, kasvihuonekaasupäästöjä tulisi vähentää 20 % ja energiatehokkuutta tulisi lisätä 20 %. Vertailuarvoina käytetään 1990-luvun arvoja. Näillä tavoitteilla pyritään rajoittamaan ilmaston lämpötilan nousu enintään 2 °C:seen verrattuna esiteollisen kauden tasoon. (Euroopan yhteisöjen komissio 2007)

Jotta päätettyihin tavoitteisiin päästäisiin, on Euroopan Unioni laatinut useita direktiivejä. Rakennuksia koskevan rakennusten energiatehokkuusdirektiivin 2010/31/EU tarkoitus on edistää rakennusten energiatehokkuutta ja asettaa rakennuksille vähimmäisvaatimukset, joita EU:n jäsenvaltioiden tulee noudattaa. Tämä direktiivi ei kuitenkaan rajoita jäsenvaltioita asettamasta omia vaatimuksiaan EU:n vaatimuksia tiukemmiksi. (Euroopan unioni 2010)

Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi määrää ja ohjeistaa jäsenvaltioita ottamaan käyttöön laskentamenetelmät, joiden avulla saadaan laskettua rakennuksille niiden energiatehokkuus. Laskentamenetelmiä voidaan soveltaa kansallisella ja alueellisella

tasolla erikseen vallitsevien ympäristöolosuhteiden mukaan. Laskentamenetelmien tulee kattaa koko vuotuinen energiatehokkuus sekä ottaa huomioon lämpöominaisuuksien lisäksi lämmitys- ja ilmastointijärjestelmät, uusiutuvien energianlähteiden käyttö, passiiviset lämmitys- ja jäähdytys-elementit, varjostumiset, sisäilman laatu, riittävän luonnonvalo ja rakennuksen suunnittelu. (Euroopan unioni 2010)

Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin mukaan EU:n jäsenvaltioiden pitää luoda myös rakennusten energiatehokkuudelle sertifiointijärjestelmä, joka asettaa energiatehokkuuden minimivaatimukset. Sertifiointijärjestelmän avulla rakennuksien energian käyttöä pystytään helposti vertailemaan keskenään. Sertifiointijärjestelmän tuloksiin saa vaikuttaa ainoastaan rakennuksen omat ominaisuudet. Käyttäjä ei saa pystyä vaikuttamaan tuloksiin omalla energiankäytöllään. (Euroopan unioni 2010)

Energiatehokkuuden parantamiseksi direktiivissä määritetään rakennusten teknisille järjestelmille vaatimuksia. Järjestelmien tulee olla mahdollisimman hyvin optimoitu kokonaisenergiatehokkuuden kannalta. Järjestelmävaatimukset tulee asettaa vähintään lämmitys-, lämminvesi- ja ilmastointijärjestelmille. Lämmitys- ja ilmastointijärjestelmille tulee asettaa tarkastukset, joissa tarkistetaan järjestelmien kunnollinen toiminta, hyötysuhde ja mitoitus koko rakennuksen lämmitystarpeisiin nähden. (Euroopan unioni 2010)

Energiatehokkuutta pyritään parantamaan kaikin mahdollisin keinoin. Kuitenkin energiatehokkuuden kustannustehokkuus tulee ottaa huomioon. Pitää arvioida investointien hyödyt rakennuksen elinkaaren aikana säästettyjen energiakustannusten osalta. Kallista järjestelmää ei kannata ottaa käyttöön, jos siitä saadut hyödyt eivät ole kovinkaan merkittäviä. EU ei kuitenkaan estä jäsenvaltioita säätämästä omia vähimmäisvaatimuksiaan energiatehokkaammiksi kuin mikä olisi kustannuksien kannalta optimaalisinta. (Euroopan unioni 2010)

Pyrkimyksenä on, että rakennukset tarvitsevat mahdollisimman vähän ulkopuolista energiaa. Nykyään rakennetaankin nettonolla- ja plusenergiarakennuksia, jotka tuottavat energiaa omiin tarpeisiin. Nettonollaenergiarakennus tuottaa vuoden aikana saman määrän energiaa kuin tarvitseekin ja plusenergiarakennus puolestaan tuottaa enemmän kuin tarvitsee. (Finnfoam 2014) EU:n jäsenvaltioiden on huolehdittava siitä, että vuodesta 2021 alkaen kaikki uudet rakennukset ovat lähes nollaenergiarakennuksia. Viranomaisten käytössä ja omistuksessa oleviin rakennuksiin tämä vaatimus tulee voimaan jo vuonna 2019. EU:n jäsenvaltioiden on määritettävä niiden omiin ilmastolosuhteisiin sopiva lähes nollaenergiataso. (Euroopan unioni 2010)

EU:n direktiivin vaatimukset koskevat ainoastaan uusia rakennuksia. Jo olemassa oleviin rakennuksiin vaatimuksia sovelletaan korjausrakentamisen yhteydessä. (Euroopan unioni 2010) Direktiivi asettaa vaatimuksia ainoastaan energiatehokkuuden osalta. Se ei ota huomioon kovinkaan tarkasti miten energiatehokkuuteen on päästy. Direktiivin avulla pyritään säästämään energiaa ja pienentämään hiilidioksidipäästöjä. Mutta jos energiansäästöjä aikaansaavat toimet aiheuttavat paljon hiilidioksidia, niin rakennuksen hiilijalanjälki on energiatehokkuudesta huolimatta korkea. Vielä ei ole lakia, joka asettaisi rajoituksia rakennusten hiilijalanjäljille.

Euroopan komissio on tehnyt pitkän ajan suunnitelman, jonka mukaan pyritäisiin siirtymään kilpailukykyiseen vähähiiliseen talouteen vuoteen 2050 mennessä. Tämän pitkän aikavälin tavoitteen mukaan kasvihuonekaasupäästöjä pyritään vähentämään 80-95 prosenttia vuoden 1990 tasosta vuoteen 2050 mennessä. (TEM 2014)

## 2.2 Määräykset ja ohjeet Suomessa

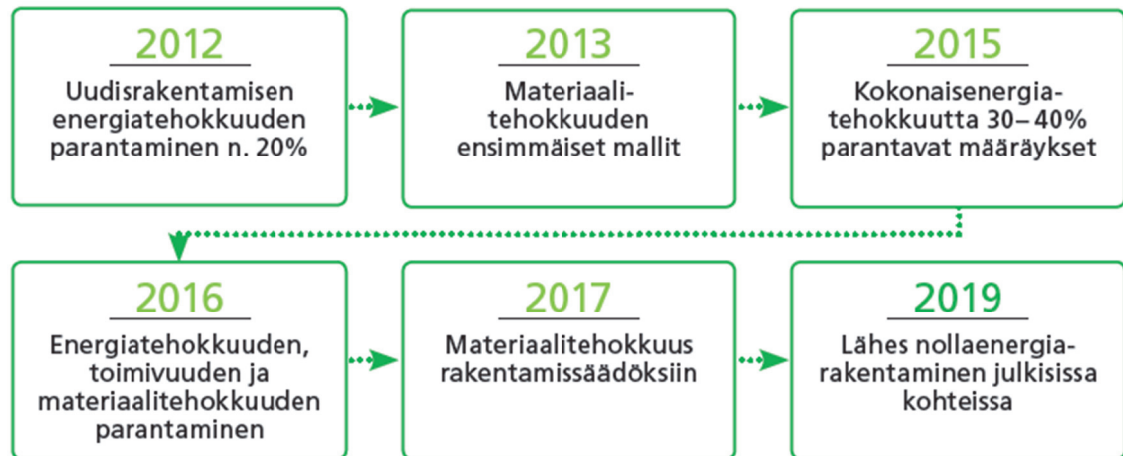
### 2.2.1 Suomen rakentamismääräyskokoelma

Suomessa voimassa olevat rakentamiseen liittyvät säännökset ympäristöministeriö on koonnut Suomen rakentamismääräyskokoelmaan, mitkä perustuvat lakeihin, standardeihin ja direktiiveihin. Rakentamismääräyskokoelman määräykset ovat velvoittavia uudisrakennuksille, mutta korjausrakentamisen osalta niitä sovelletaan korjausten laajuuden ja rakennuksen käyttötarkoituksen perusteella. Rakentamismääräyskokoelma on jaettu seitsemään eri osaan, jotka ovat kerätty taulukkoon 2.1. Rakennusten energiatehokkuuden kannalta tärkeimmät rakentamismääräyskokoelman osat ovat taulukon 2.1 mukaiset osat A - Yleinen osa, C - Eristykset sekä D - LVI ja energiatalous. (Ympäristöministeriö 2014)

*Taulukko 2.1. Rakentamismääräyskokoelman osat (Ympäristöministeriö 2014).*

A	Yleinen osa
B	Rakenteiden lujuus
C	Eristykset
D	LVI ja energiatalous
E	Rakenteellinen paloturvallisuus
F	Yleinen rakennussuunnittelu
G	Asuntorakentaminen

Rakentamismääräyskokoelman energiatehokkuuteen liittyvät säädökset sisältävät rakennusten vähimmäisvaatimuksia ja ohjeistoja. Näillä säädöksillä pyritään siihen, että rakennuksen energiatehokkuus pysyy halutuissa rajoissa sekä rakennuksen sisäilman laatu on riittävän hyvää asumista ja työskentelyä varten. Esimerkiksi eri tiloihin tarvittaville tuloilmamäärille ja eri rakenteiden U-arvoille on määritetty omat vaatimuksensa. (Ympäristöministeriö 2012a, 2012b) Energiatehokkuuden kannalta säännöksillä pyritään energiatehokkaaseen rakentamiseen, joka täyttää EU:n asettamat vaatimukset ja tavoitteet. Rakentamismääräyskokoelman säädökset eivät vielä täytä EU:n määrittämiä vuoden 2020 tavoitteita, mutta niitä on tiukennettu ja tullaan tiukentamaan asteittain. (ARA 2011) Kuvassa 2.1 on esitetty rakentamismääräysten suunniteltu kehitys.



*Kuva 2.1. Rakentamismääräysten suunniteltu kehityssuunta (Puuinfo 2011).*

Energiatehokkuuden kannalta tiukentuvien rakentamismääräysten tavoitteena on, että kaikki vuoden 2019 jälkeen rakennetut julkiset rakennukset olisivat lähes nollaenergiarakennuksia. Vuoden 2020 jälkeen määräys koskisi myös kaikkia asuinrakennuksia. (ARA 2011)

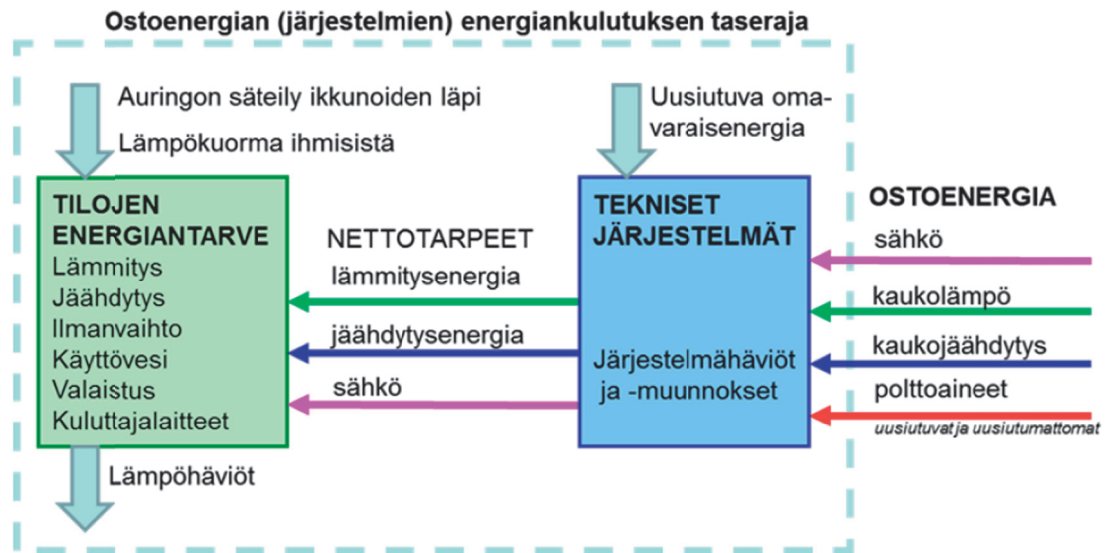
Rakentamismääräyskokoelmaan on laadittu EU:n vaatimat rakennusten energiatehokkuuden laskentamenetelmät. Laskentamenetelmien päätavoite on selvittää rakennuksen laskennallinen kokonaisenergiankulutus eli E-luku. Rakentamismääräyskokoelmassa on laskentaohjeet kaikkiin rakennuksen energiaa tarvitseviin ja tuottaviin osaluokkiin, kuten esimerkiksi rakennuksen lämmitysenergian nettotarve, jäähdytysjärjestelmän energiankulutus, käyttöveden lämmitystehontarve ja aurinkosähköjärjestelmän sähköntuotto. Kokonaisenergiankulutusta määritettäessä lasketaan kaikki rakennuksessa käytettävä energia, joka tarvitaan rakennuksen miellyttävien asumisolosuhteiden ylläpitämiseen. Rakentamismääräyskokoelman osiin D3 ja D5 on koottu rakennuksen energiankäyttöön liittyvät laskentamenetelmät. Nämä laskentamenetelmät soveltuvat kuukausitason energiankulutuksen laskentaan. Kuukausitason laskentamenetelmiä voidaan käyttää rakennuksille, joissa ei ole jäähdytystä tai jäähdytystä on vain yksittäisissä huoneissa. (Ympäristöministeriö 2012b, 2012c)

Rakentamismääräyskokoelman osassa D3 määritellään, että uudisrakennuksille pitää tehdä energiaselvitys. Energiaselvitys on vaadittu vuoden 2008 alusta alkaen ja se tarvitaan ennen rakennusluvan myöntämistä. (Rakennusvalvontavirasto 2012) Energiaselvitys pitää sisällään rakennuksen energialaskennan lähtötiedot ja tulokset, rakennuksen lämmitystehon, kesäaikaiset huonelämpötilat ja jäähdytystehon, E-luvun, energiatoistuksen sekä selvityksen, että rakennus täyttää lämpöhäviövaatimukset. Energiaselvitys on siis laaja selvitys rakennuksen energian käytöstä. (Ympäristöministeriö 2012b)

## 2.2.2 E-luku

E-luku kuvaa rakennuksen vuotuista kokonaisenergiankulutusta, joka lasketaan standardikäytön aikaisen energiankulutuksen mukaan ja ilmoitetaan lämmitettyä nettopinta-alaa kohden yksikössä kWh/m<sup>2</sup>. E-luvun laskemiseksi tulee ensin selvittää koko raken-

nuksen eri energiamuotojen vuotuinen ostoenergiantarve. Energiantarve sisältää rakennuksen lämmityksen, jäähdytyksen, ilmanvaihdon, käyttöveden, valaistuksen ja kuluttajalaitteet. Kuvassa 2.2 on kuvattu rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen vaikuttavat tekijät sekä ostoenergian energiankulutuksen taseraja. Taseraja kuvaa käytännössä kiinteistön rajoja ja nuolet energiavirtoja. (Ympäristöministeriö 2012b)



**Kuva 2.2.** E-lukuun vaikuttavat tekijät (Ympäristöministeriö 2012b).

E-luvun laskenta tapahtuu käyttäen joko kuukausitason laskentamenetelmiä tai dynaamista laskentaa. Laskettaessa E-lukua kuukausitasolla, voidaan käyttää rakentamismääräyskokoelman osan D5 ja standardin EN ISO 13790 sisältämiä laskentaohjeita. Kuukausitason laskentamenetelmiä voidaan käyttää rakennuksille, joissa ei ole jäähdytystä tai jäähdytystä on vain yksittäisissä huoneissa. Jäähdytettyjen rakennusten E-luvun laskennassa täytyy käyttää dynaamista laskentaa, joka pystyy ottamaan huomioon ajasta riippuvaisena rakenteiden lämmönvarausominaisuuden. (Ympäristöministeriö 2012b) Dynaamista laskentaa varten on tehty ohjelmistoja, joiden avulla laskelmat saadaan tehtyä helposti. Suomessa yleisesti käytössä olevia ohjelmistoja ovat esimerkiksi Riuska ja IDA Indoor Climate and Energy. (Equa Simulation Finland 2013) Rakennuksen E-lukua laskettaessa käytetään rakentamismääräyskokoelman säävyöhykkeen I säätietoja. Säävyöhykettä I käytetään rakennuksen todellisesta rakennuspaikasta riippumatta. Kuvan 2.3 kartassa on kuvattu kaikki rakentamismääräyskokoelman säävyöhykkeiden alueet. Säävyöhykkeiden säätietoina käytetään TRY2012 tietoja, jotka ovat julkaistu vuonna 2012 ja koottu vuosien 1980-2009 säähavainnoista. TRY2012 säätiedot pyrkivät vastaamaan nykyistä ilmastoa. Säävyöhykkeiden I ja II TRY2012 säätiedot ovat samat, sillä niiden keskilämpötilojen erot ovat pieniä. (Ympäristöministeriö 2011a)





**Kuva 2.3.** Rakentamismääräyskokoelman sävyöhykkeet (Ympäristöministeriö 2012b).

Rakennuksen ostoenergian energianlähteellä on merkitystä E-lukuun. Suomen rakentamismääräyskokoelmalla pyritään ympäristöystävällisempään rakentamiseen, joten E-luvun laskennassakin ympäristöystävällisistä ratkaisuista palkitaan. E-luku lasketaan kaavalla 2.1, jossa  $f_x$  on energiamuodon kerroin,  $Q_x$  on tarvittava energian määrä,  $W_{\text{sähkö}}$  on tarvittava ostosähkön määrä ja  $A_{\text{netto}}$  on rakennuksen lämmitettävä nettopinta-ala. Energiamuotojen kertoimet ovat koottu taulukkoon 2.2. (Ympäristöministeriö 2012c)

$$E = \frac{f_{\text{kaukol.}}Q_{\text{kaukol.}} + f_{\text{kaukoj.}}Q_{\text{kaukoj.}} + \sum_i f_{\text{polttoaine},i}Q_{\text{polttoaine},i} + f_{\text{sähkö}}W_{\text{sähkö}}}{A_{\text{netto}}} \quad (2.1)$$

**Taulukko 2.2.** Energiamuotojen kertoimet (Ympäristöministeriö 2012b).

Energiamuoto	Kerroin
Sähkö	1,7
Kaukolämpö	0,7
Kaukojäähdytys	0,4
Fossiiliset polttoaineet	1,0
Uusiutuvat polttoaineet	0,5

Energiamuotojen kertoimien mukaan energiaa kannattaa hankkia mahdollisimman paljon uusiutuvia polttoaineita käyttäen, jotta E-luku saataisiin mahdollisimman alas. Uusiutuvia polttoaineita ovat esimerkiksi puu ja pelletti. Uusiutuvien polttoaineiden kerrointa saa käyttää vain, jos energia on tuotettu kiinteistöön liitetyllä tuotantojärjestelmällä. Eli ostosähkö saa aina kertoimen 1,7, vaikka se olisi tuotettu uusiutuvia energianlähteitä hyödyntäen. (Ympäristöministeriö 2012b) Ostosähkön kerroin onkin varsin korkea verrattuna kaukolämpöön ja fossiilisiin polttoaineisiin. Saman lämmitystarpeen omaava öljylämmitteinen rakennus saa paljon alhaisemman E-luvun kuin sähkölämmitteinen, vaikka sähkö voidaan hankkia vähäpäästöisemmistä energianlähteistä.

Energiamuotojen kertoimet perustuvatkin primäärienergiakertoimiin, jotka kuvaavat luonnonvarojen kulumista ja ohjaavat rakennusten energiatehokkuutta päästökertoimia paremmin. Ostosähkön korkea kerroin kuvaa sen korkeaa jalostusastetta. Sähkön korkea jalostusaste kertoo siitä, että sähköenergiaa tarvitaan moneen muuhunkin tarkoitukseen kuin lämmitykseen. Lämmitykseen voidaan käyttää sähkön sijasta muitakin energianlähteitä. (Ympäristöministeriö 2011b)

Suomen rakentamismääräyskokoelmassa on asetettu ylärajat rakennusten E-luvuille. Rajoihin vaikuttavat rakennuksen käyttötarkoitus, tyyppi ja nettopinta-ala. Taulukkoon 2.3 on koottu erilaisten asuinrakennusten E-lukujen raja-arvot. Jos rakennuksesta yli 10 prosenttia kuuluu johonkin muuhun käyttötarkoituluokkaan, tarvitsee sen täyttää oman luokkansa vaatimukset. Muuten se voidaan laskea muihin luokkiin kuuluvaksi. (Ympäristöministeriö 2012b)

**Taulukko 2.3.** *Asuinrakennusten E-lukujen vähimmäisvaatimukset (Ympäristöministeriö 2012b).*

Luokka 1	Erillinen pientalo, rivi- ja ketjutalo	Lämmitetty nettoala, $A_{\text{netto}}$	kWh/m <sup>2</sup> /vuosi
	Pientalo	$A_{\text{netto}} < 120 \text{ m}^2$	204
		$120 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 150 \text{ m}^2$	$372-1,4*A_{\text{netto}}$
		$150 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 600 \text{ m}^2$	$173-0,07*A_{\text{netto}}$
		$A_{\text{netto}} > 600 \text{ m}^2$	130
	Hirsitalo	$A_{\text{netto}} < 120$	229
		$120 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 150 \text{ m}^2$	$397-1,4*A_{\text{netto}}$
		$150 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 600 \text{ m}^2$	$198-0,07*A_{\text{netto}}$
		$A_{\text{netto}} > 600 \text{ m}^2$	155
	Rivi- ja ketjutalo		150
Luokka 2	Asuinkerrostalo		130

E-luvun tarkoitus on toimia energiankäytön tunnuslukuna eikä niinkään kuvata todellista energiankulutusta. Todellinen energiankulutus ja E-luku eivät ole vertailukelpoisia keskenään sillä E-luku lasketaan rakennuksen standardikäytöllä sekä käyttämällä energiamuotojen kertoimia. Lisäksi laskennassa käytetyt säätiedot ovat säävyöhykkeeltä I. Jos rakennus sijaitsee säävyöhykkeen IV alueella, on todellinen säätiedosto hyvin erilainen kuin laskennoissa käytetty. (Ympäristöministeriö 2012b) Samalla alueella sijaitsevien jo olemassa olevien rakennusten E-lukuja vertailemalla saadaan helposti vertailtua niiden energiankäyttöä. Uudisrakennusta suunniteltaessa pystytään vaikuttamaan rakennuksen muotoon, aukotukseen, rakennusmateriaaleihin ja energiamuotoihin. Nämä asiat vaikuttavat kaikki omalta osaltaan E-lukuun. Vertailemalla eri suunnitteluratkaisujen vaikutusta E-lukuun, voidaan niistä valita paras vaihtoehto. (Green Building council 2013a)

Rakennuksen standardikäyttö tarkoittaa rakennuksen vakioitua käyttöä. Standardikäytössä otetaan huomioon rakennuksen käyttöaika ja käyttöaste sekä valaistuksen,

kuluttajalaitteiden ja ihmisten aiheuttamat sisäiset lämpökuormat. Rakennuksen käyttäjät eivät siten voi vaikuttaa E-lukuun sillä standardikäytön mukaiset lukuarvot ovat annettu rakentamismääräyskokoelman osassa D3. (Ympäristöministeriö 2012b)

E-lukua saadaan pienennettyä tuottamalla omavaraisenergiaa uusiutuvista energianlähteistä. Omavaraisenergialla saadaan suoraan vähennettyä ostoenergian tarvetta. Uusiutuvana omavaraisenergiana voidaan pitää kiinteistöön kuuluvalla laitteistolla uusiutuvista energialähteistä tuotettua energiaa. Uusiutuvia energiamuotoja ovat esimerkiksi tuulisähkö, aurinkolämpö, aurinkosähkö ja lämpöpumpun lämmönlähteestä otettu energia. (Ympäristöministeriö 2012b) Ostoenergian tarvetta pystytään vähentämään myös varjostamisella kesäaikana. Varjostamisella vältetään auringon säteilyn aiheuttamalta ylikuumenemiselta, mikä vähentää rakennuksen jäähdytysenergiatarvetta. Varjostaminen voidaan toteuttaa esimerkiksi markiiseilla, jotka estävät auringon säteilyn ikkunoiden läpi. (Ympäristöministeriö 2012c)

E-luku on tullut käyttöön vuonna 2012 rakentamismääräyskokoelman uudistuksen myötä. Ennen E-lukua käytettiin ET-lukua, joka on myös rakennuksen energiatehokkuusluku. E- ja ET-luku eivät kuitenkaan ole vertailukelpoisia keskenään, sillä ET-luvun laskenta on erilainen. Suurimpina eroina on, että ET-luku ilmoitetaan rakennuksen bruttopinta-alaa kohti, sen laskennassa ei käytetä energiamuotojen kertoimia ja laskennassa käytetään Jyväskylän säätietoja. (Lamil 2012)

### 2.2.3 Energiatodistus

Suomessa on otettu käyttöön energiatodistus, joka on EU:n rakennusten energiatehokkuusdirektiivin määräämä rakennusten energiatehokkuuden sertifiointijärjestelmä. Energiatodistus kertoo rakennuksen energiatehokkuusluokan, joka määräytyy E-luvun mukaan. Energiatehokkuusluokka määritellään asteikolla A-G. A-luokka on energiatehokkuudeltaan paras ja G huonoin. Lisäksi käytössä on luokka H, jonka saa rakennukset, joiden arvo tai vuokra on hyvin pieni tai kohdetta ei esitellä julkisesti. Tällöin rakennukselle ei määritellä sen energialuokitusta ollenkaan. (Ympäristöministeriö 2013a)

Ensimmäiset energiatodistukset otettiin käyttöön vuonna 2008. Tuolloin energiatodistus vaadittiin vain uudisrakennuksille. Energiatodistus uudistui vuoden 2013 kesäkuussa ja se tulee pakolliseksi vaiheittain rakennustyyppin mukaan. Energiatodistus vaaditaan uudisrakennuksille osana energiaselvitystä ja vanhoille rakennuksille myynnin tai vuokrauksen yhteydessä. Ensimmäisenä uudistunut energiatodistus tuli pakolliseksi uudisrakennuksille, asuinkerrostaloille ja vuoden 1980 jälkeen käyttöön otetuille pientaloille kesäkuussa 2013. Vuoden 2014 heinäkuusta alkaen energiatodistus vaaditaan rivi- ja ketjutaloille sekä liike- ja toimistorakennuksille. Vuoden 2015 heinäkuussa energiatodistus tarvitaan hoitoalan rakennuksille sekä kokoontumis- ja opetusrakennuksille. Viimeisenä energiatodistus vaaditaan ennen vuotta 1980 käyttöön otetuilta pientaloilta, joille energiatodistus vaaditaan vuoden 2017 heinäkuusta alkaen. Energiatodistusta ei kuitenkaan tarvita kaikille rakennuksille, kuten esimerkiksi loma-asunnoille eikä alle 50 m<sup>2</sup>:n kokoisille rakennuksille. Energiatodistus on voimassa korkeintaan kymme-

nen vuotta sen laatimispäivästä. Energiatodistuksen voimassaolon umpeuduttua se pitää uusia, mikäli rakennus halutaan myydä tai vuokrata. (Ympäristöministeriö 2013a)

Rakennuksen energialuokka määräytyy suoraan sen E-luvun mukaan. Liitteessä 1 on taulukot, joihin on koottu eri asuinrakennustyyppien energialuokkien E-lukujen rajat. Energialuokkarajoihin vaikuttaa samat rakennuksen ominaisuudet kuin E-luvun rajoihin eli lämmitetty nettopinta-ala ja rakennuksen tyyppi. Rakennus saa energialuokituksen C, jos se rakennetaan täyttämään juuri rakentamismääräyskokoelman vähimmäisvaatimukset. Energialuokaltaan huonompia uudisrakennuksia ei siis saa rakentaa. Kuvassa 2.4 on energiatoistuksen ensimmäinen sivu, jossa kerrotaan rakennuksen perustiedot, energialuokka, voimassaoloaika sekä todistuksen laatija. (Ympäristöministeriö 2013b)

**ENERGIATODISTUS**

Rakennuksen nimi ja osoite:

Rakennustunnus:  
Rakennuksen valmistusvuosi:

Rakennuksen käyttötarkoitusluokka:  
Todistustunnus:

Energiatehokkuusluokka	
A	
B	
C	C
D	
E	
F	
G	

Rakennuksen laskennallinen kokonaisenergiankulutus (E-luku)  $\text{kWh}_e / (\text{m}^2 \cdot \text{vuosi})$

Todistuksen laatija: Yritys:

Allakirjoitus:

Todistuksen laatimispäivä: Viimeinen voimassaolopäivä:

**Kuva 2.4.** Energiatodistuksen ensimmäinen sivu (Ympäristöministeriö 2013b).

Kuvan 2.4 energiatoistustus näyttää samankaltaiselta kuin kodinkoneidenkin energiatoistustukset. Käyttötarkoituskkin on samankaltainen. Energiatoistustuksen ensimmäinen sivu sisältää rakennuksen perustiedot, E-luvun ja energialuokan. Energiatoistustuksen muilla sivuilla on ilmoitettu E-luvun laskentaan tarvittavat lähtötiedot, tulokset ja rakennuksen energiatehokkuuden parantamisehdotuksia. Energiatoistustus on laadittu, jotta rakennusten energiankäyttöjä pystyttäisiin vertailemaan paremmin ja valitsemaan niiden perusteella itselle hyvä vaihtoehto. Energiatoistustuksilla saadaan myös rakennuksen omistajille tieto rakennuksen energiankäytöstä ja miten sitä voi halutessaan parantaa. Jo olemassa olevien rakennusten omistajien kannalta energiatoistustuksen tärkeä kohta on toimenpide-ehdotukset, johon on laadittu keskeiset suositukset rakennuksen energiatehokkuuden parantamiseksi ja E-luvun pienentämiseksi. (Ympäristöministeriö 2013b)

## 2.3 Muita rakentamista ohjaavia tekijöitä

### 2.3.1 Hiilijalanjälki

Rakennukselle voidaan arvioida sen hiilijalanjälki, joka kuvaa rakennuksen aiheuttamaa ympäristökuormaa. Ympäristökuorma aiheutuu kasvihuonekaasujen ympäristövaikutuksista, joita syntyy rakennusmateriaalien valmistuksesta, rakentamisesta sekä rakennuksen käyttämisestä ja sen purkamisesta. Hiilijalanjälki ilmoitetaan usein yksikössä kgCO<sub>2</sub>e, joka kuvaa kasvihuonekaasujen hiilidioksidiekvivalenttista massaa. Hiilidioksidiekvivalenttiin otetaan huomioon kaikki kasvihuonekaasut ja ne suhteutetaan vastaamaan hiilidioksidipäästöistä aiheutuvia ympäristövaikutuksia. Kasvihuonekaasuista hiilidioksidilla on todettu olevan suurin merkitys ilmastonmuutokseen (Puuinfo 2011). Hiilijalanjälki toimii E-luvun rinnalla hyvänä ympäristöystävällisyyden mittarina ja suunnitteluratkaisujen valinnan apuna.

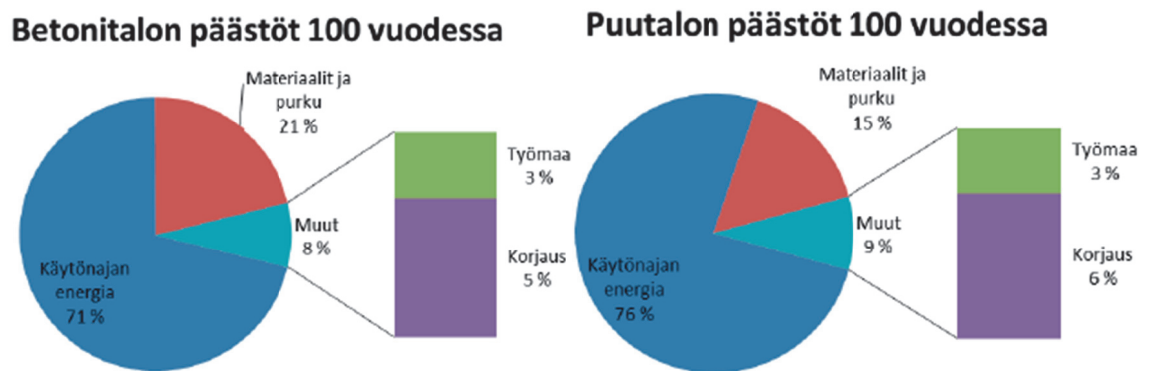
Eri tuotteiden hiilijalanjäljen laskennat perustuvat yleensä tuotteiden elinkaariarviointia käsitteleviin standardeihin EN ISO 14040 ja EN ISO 14044. Standardit sisältävät kuvauksen tuotteiden elinkaariarvioinnista sekä sen eri vaiheet ja keskeiset piirteet. Jotta eri rakennusmateriaalien aiheuttamia ympäristövaikutuksia pystytään vertailemaan, tulee niiden ympäristöpäästöt arvioida samalla tavalla. Standardit ovat tehty yhdenmukaistamaan laskentatavat. Rakennusten hiilijalanjäljen laskentaan on tehty CEN/TC 350 – Sustainability of Construction Works – standardiperhe, jonka tavoitteena on kestävä kehityksen edistäminen sekä rakennusten ja rakennustuotteiden päästöjen mittaaminen. Rakennusten hiilijalanjäljelle ei ole lain määrittämiä vaatimuksia, mutta standardit antavat yhteiset laskentamenetelmät hiilijalanjäljen määrittämiseen. (Green Building Council 2013a)

Rakennuksen elinkaaren kokonaispäästöt muodostuvat materiaaleista, rakentamisesta, käytöstä ja kierrätyksestä (Puuinfo 2011). Rakennuksen käyttäjät pystyvät hienon vaikuttamaan omalla toiminnallaan käytönaikaisiin päästöihin. Esimerkiksi energian ja vedenkulutuksen pienentäminen vähentävät päästöjä. Suomessa käyttö- ja jäteveden puhdistuksen osalta CO<sub>2</sub>e-päästöjä syntyy vuodessa noin 43 kg/hlö, joka vastaa noin 250 km matkaa autolla ajettuna (Helsingin seudun ympäristöpalvelut 2010). Kuvassa 2.5 on kuvattu rakennuksen elinkaaren vaiheet, jotka vaikuttavat rakennuksen kokonaispäästöihin.



**Kuva 2.5.** Rakennuksen elinkaaren vaiheet hiilijalanjäljen laskennassa (Puuinfo 2011).

Sitra on tehnyt tutkimuksen Vierumäelle vuonna 2011 rakennetun As Oy Puu-Eran hiilijalanjäljestä. As Oy PuuEra on Suomen ensimmäinen viisikerroksinen puukerrostalo, jossa on 27 asuntoa. Tutkimuksessa tutkittiin puu- ja betonimateriaalien, rakennuksen eliniän ja lämmitysjärjestelmän vaikutusta hiilijalanjälkeen eri energialuokan rakennuksille. Kuvassa 2.6 on 100 vuoden käyttöajan omaavan betoni- ja puurakenteisen passiivitalon hiilijalanjäljen jakauma. Lämmitysjärjestelmänä on kaukolämpö ja ostoenergiantarve 100 kWh/m<sup>2</sup>/a. Tutkimuksen mukaan rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljestä suurin osa aiheutuu käytön aikaisesta energiankulutuksesta. Puutalon materiaalien ja purkamisen osuus hiilijalanjäljestä on pienempi, sillä puiset materiaalit ovat vähäpäästöisempiä sekä purkuvaiheessa niitä pystytään uusiokäyttämään paremmin kuin betonisia materiaaleja. Esimerkkirakennusten kokonaispäästöjen määrä on betonitalon osalta 10 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a ja puutalon osalta 9,4 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a. (Sitra 2011)



**Kuva 2.6.** *Betoni- ja puurakenteisen passiivirakennuksen CO<sub>2</sub>e-päästöjen jakautuma 100 vuoden käyttöajalla (Sitra 2011).*

Rakennuksen energiatehokkuus, lämmitysmuoto, käyttöaika ja rakennusmateriaalit vaikuttavat rakennuksen päästöjakaumaan sekä päästöjen määrään. Energiatehokkaampien rakennusten päästöt ovat pienemmät ja niiden käytönajan energian osuus kokonaispäästöistä on pienempi. Taulukkoon 2.4 on koottu eri energialuokkien ja rakennustyyppien hiilidioksidiekvivalenttiset vuotuiset CO<sub>2</sub>e-päästölukemat pinta-alaa kohti. Hiilidioksidiekvivalenttiset päästöt ovat jaettu tasaisesti rakennuksen eliniän ja pinta-alan mukaan. Taulukosta 2.4 havaitaan, että vuotuiset CO<sub>2</sub>e-päästöt pienenevät rakentamalla energiatehokkaampi rakennus, jolla on pitkä käyttöikä. Tämä johtuu siitä että rakennusmateriaalien ja rakentamisen osuus pienenee käyttöiän kasvaessa. Lisäksi Sitra on ottanut laskelmiin mukaan energiantuotannon oletetun kehityksen, joka alentaa elinkaaren hiilijalanjälkeä merkittävästi. Taulukon 2.4 viimeinen sarake, 100 v\*, ei ota huomioon oletettua energiantuotannon CO<sub>2</sub>e-päästöjen kehitystä. Sitran tekemän tutkimuksen mukaan elinkaaren hiilijalanjälkeä pystyttäisiin pienentämään jopa 45 % vaihtamalla lämmitysjärjestelmä uusiutuvalla energialla toimivaksi. (Sitra 2011)

**Taulukko 2.4.** Rakennuksen elinkaaren vuotuiset CO<sub>2</sub>e-päästöt (kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a) eri energiatasoilla ja käyttöiällä (Sitra 2011).

Energialuokka	Materiaali	30 v	50 v	100 v	100 v*
Määräykset 2012	Puuhybridi	28,0	19,6	11,1	30,2
Määräykset 2012	Betoni	30,5	21,1	11,8	30,8
Passiivi	Puuhybridi	23,7	16,6	9,4	24,7
Passiivi	Betoni	26,3	18,1	10,0	25,3
Lähes nolla	Puuhybridi	20,3	14,2	8,0	20,3
Lähes nolla	Betoni	22,9	15,7	8,6	20,9

Sadan vuoden aikana betonisen passiivitalon koko elinkaaren hiilijalanjäljestä noin 70 prosenttia muodostuu rakennuksen käytönaikaisesta energiankulutuksesta. Materiaalien ja rakennuksen purkamisen osuus on noin 20 prosenttia. Loput noin 10 prosenttia sisältää muun muassa rakennuksen rakentamisen ja korjaukset. Taulukkoon 2.5 on koottu eri energialuokkien betoni- ja puurakenteisten rakennusten käytönaikaiset energian osuudet rakennuksen elinkaaren kokonaispäästöistä, kun lämmitysjärjestelmänä on kaukolämmitys. Taulukon 2.5 arvoihin on otettu huomioon energiantuotannon CO<sub>2</sub>e-päästöjen oletettu kehitys. Taulukon 2.5 viimeinen sarake, 100 v\*, ei ota huomioon odotettua energiantuotannon CO<sub>2</sub>e-päästöjen kehitystä. (Sitra 2011) Taulukosta 2.5 havaitaan, että mitä pidempi on rakennuksen käyttöaika, sitä enemmän käytönaikaisella energiankulutuksella on vaikutusta rakennuksen kokonaispäästöihin ja materiaalien osuus on siten pienempi.

**Taulukko 2.5.** Käytönaikaisen energian osuus rakennuksen elinkaaren CO<sub>2</sub>e-päästöistä (kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a) eri energiatasoilla ja käyttöiällä (Sitra 2011).

Energialuokka	Materiaali	30 v	50 v	100 v	100 v*
Määräykset 2012	Puuhybridi	77 %	78 %	80 %	93 %
Määräykset 2012	Betoni	71 %	72 %	75 %	91 %
Passiivi	Puuhybridi	73 %	74 %	76 %	91 %
Passiivi	Betoni	66 %	68 %	71 %	89 %
Lähes nolla	Puuhybridi	69 %	69 %	72 %	89 %
Lähes nolla	Betoni	61 %	63 %	66 %	86 %

Rakentamismääräyksiä tiukennetaan kohti energiatehokkaampaa rakentamista. Tämä aiheuttaa sen, että materiaalien osuus rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljestä kasvaa. Materiaalien osuuden kasvaessa tulee myös niiden hiilijalanjälkeen kiinnittää huomiota. Rakennusmateriaalien valinnalla pystytään vaikuttamaan myös rakennuksen korjaustarpeisiin. Hyvät materiaalit voivat kestää jopa koko rakennuksen eliniän, jolloin korjauskustannuksia ja uusien materiaalien aiheuttamia päästöjä ei synny.

### 2.3.2 Sisäilmaluokka

Yksi asuinrakennuksen tärkeimmistä tarkoituksista on luoda ihmisille viihtyisä ja turvallinen ympäristö elää. Koska ihminen käyttää sisätiloissa elämästään noin 90 prosenttia, tulee sisätilojen ilmaston olla riittävän hyvää. Hyvä sisäilmasto auttaa pysymään virkeänä ja terveenä. Terveellinen sisäilma on hajuton, pölytön, vedoton, meluton ja lämpötilaltaan miellyttävä. Lämpötila, ilmanvaihto, kosteus, valaistus, akustiikka ja rakennusmateriaalit ovat sisäilmaston kannalta tärkeimmät asiat, joihin kannattaa ja voidaan kiinnittää huomiota rakennuksen suunnitteluvaiheessa. Huono sisäilma saattaa aiheuttaa terveyshaittoja kuten esimerkiksi limakalvojen kuivumista, päänsärkyä, väsymystä ja astmaa. (Allergia- ja astmaliitto 2011)

Rakennuksen sisäilmaston mittariksi Sisäilmastoyhdistys ry on kehittänyt nykyisen sisäilmastoluokitusjärjestelmän vuonna 2008. Luokituksia on kolme, jotka ovat paremmuus järjestyksessä S1 - yksilöllinen sisäilmasto, S2 - hyvä sisäilmasto ja S3 - tyydyttävä sisäilmasto. Sisäilmastoluokitusten tarkoitus on antaa rakennushankkeessa mukana oleville tahoille apuväline sisäilmaston suunnitteluun. Luokitusjärjestelmän avulla annetaan rakennukselle sisäilmaston tavoitearvot, jotka pyritään suunnittelun avulla saavuttamaan. Sisäilmastoluokitus antaa myös ohjeita suunnitteluun sekä rakennustöihin. Sisäilmastoluokitus on pääosin tehty uudisrakennuksia varten, mutta sitä voidaan soveltaa myös korjausrakentamisen kohteissa. (Rakennustieto 2009)

Rakentamismääräyskokoelma asettaa sisäilmalle vähimmäismääräyksiä, mutta sisäilmaluokituksen avulla sisäilmalle pystytään antamaan yhteisiä ja tiukempia tavoitearvoja. Sisäilmastoluokitus on jaettu kolmeen lukuun, jotka ovat sisäilmaston tavoitearvot, suunnittelu- ja toteutusohjeet sekä vaatimukset rakennustuotteille. Luokitusten taustalla on kansainvälisiä standardeja, jotka ohjaavat sisäilmaluokitusten tavoitearvoja. Sisäilmastoluokituksista S3 vastaa rakentamismääräysten vähimmäisvaatimuksia. S2-luokituksen sisäilmasto on laadultaan hyvä eikä rakenteissa ole epäpuhtauksien lähteitä. S2-luokituksen tiloissa ei ole vedon tunnetta ja lämpöolot sekä ääni- ja valaistusolosuhteet ovat hyvät. Kuumina kesäpäivinä sisätilojen yllämpeneminen on kuitenkin mahdollista. S1-luokituksessa on keskitytty vielä enemmän parantamaan sisäilman laatua, lämpöoloja ja ehkäisemään yllämpenemistä. S1-luokituksen tiloissa lämpö- ja valaistusolosuhteet tulee olla yksilöllisesti säädettävissä. (Rakennustieto 2009)

#### Lämpötila

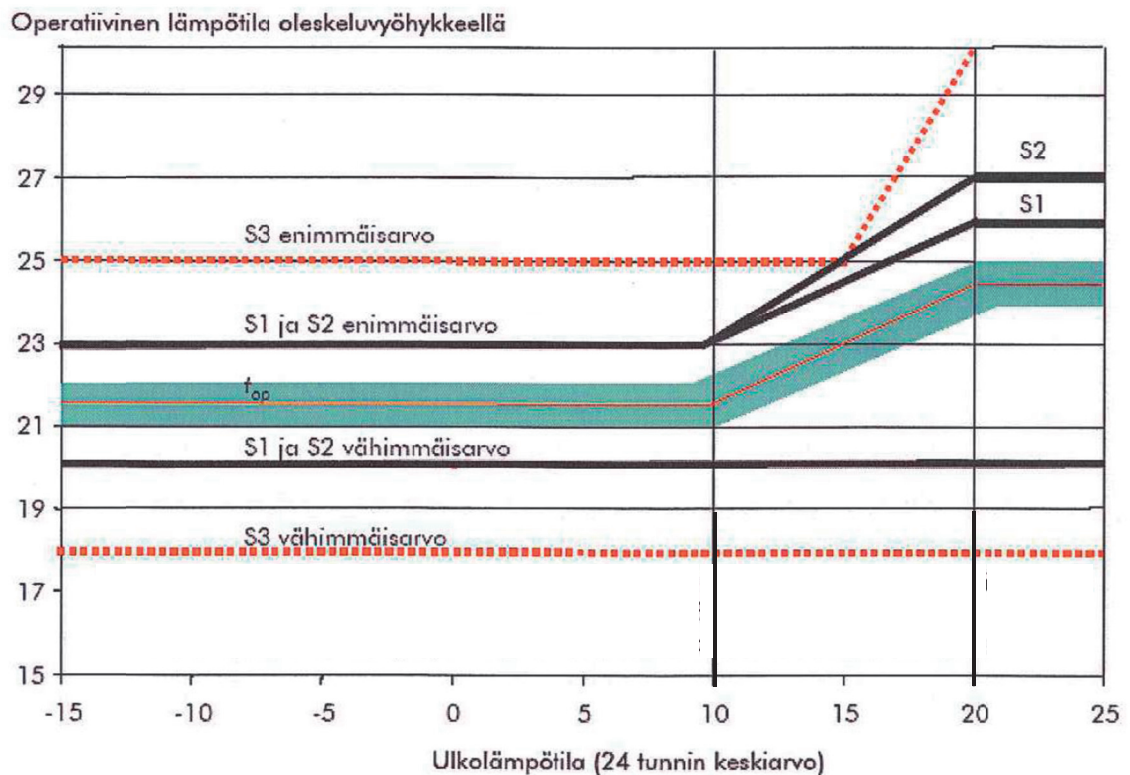
Sisätilojen oikea lämpötila on tärkeä ihmisen viihtyvyyden, virkeyden ja terveyden kannalta. Lämpötilalla on vaikutusta sisäilman laatuun, ilman kosteuteen sekä rakennusmateriaaleista irtoaviin haitallisiin päästöihin. Lämpötila-arvona voidaan käyttää joko ilman lämpötilaa tai operatiivista lämpötilaa. Ilman lämpötila on niin sanottu mittarilämpötila, jonka tavallinen lämpömittari näyttää. Operatiivisella lämpötilalla tarkoitetaan lämpötilaa, jossa ihmisen kehon lämmönluovutus on sama kuin tarkasteltavan tilan lämpötila. Yksinkertaisemmin operatiivinen lämpötila on ihmiskehon tuntema lämpötila. Operatiiviseen lämpötilaan vaikuttavat ilman lämpötila ja virtausnopeus sekä ympä-



rillä olevien kylmien ja kuumien pintojen säteily. Operatiivisen lämpötilan mittaus pysytään tekemään pallolämpömittarilla. Jos ilman virtausnopeus ei ole suuri ja pintojen lämpötila ei paljoa eroa ilman lämpötilasta, on operatiivinen lämpötila hyvin lähellä ilman lämpötilaa. Operatiivinen lämpötila vaikuttaa rakennuksen käyttäjien tyytyväisyyteen, viihtyvyyteen sekä terveyteen. (Tampereen amk. 2009)

Rakentamismääräyskokoelmassa annetaan sisäilman lämpötiloille suunnitteluarvot, joiden mukaan mitoitukset toteutetaan. Sisälämpötilan suunnitteluarvot ovat lämmityskaudella 21 °C ja kesäkaudella 23 °C. Määräysten mukaan asuinrakennusten lämmitysraja on 21 °C ja jäähdytysraja 27 °C. Kesäajan huonelämpötila ei saa nousta jäähdytysrajan yläpuolelle enempää kuin 150 astetuntia 1. kesäkuuta ja 31. elokuuta välisenä aikana. Asetunti on raja-arvon ylittävän lämpötilan ja ajan tulo. Rakentamismääräyskokoelman ilman lämpötilat eivät ole operatiivisia lämpötiloja. (Ympäristöministeriö 2012a)

Sisäilmastoluokitukset mittaavat sisälämpötilat operatiivisina lämpötiloina ja asettavat vaatimuksia sisälämpötiloille ja sen pysyvyydelle. Sisälämpötilan vaatimukset vaihtelevat ulkolämpötilan 24 tunnin keskiarvon perusteella. Esimerkiksi S1-luokituksen tavoitesisälämpötila on kesällä 24,5 °C ja talvella 21,5 °C. Asuinrakennuksissa tavoitelämpötila-alueella on pysyttävä 90 % ajasta, jotta S1-luokituksen lämpötilavaatimukset täytetään. S1-luokitusta varten sisälämpötila tulee olla huoneistokohtaisesti säädettävissä  $\pm 1,5$  °C tavoitelämpötilasta. (Rakennustieto 2009) Kuvassa 2.7 on esitetty sisäilmastoluokkien operatiivisten lämpötilojen rajat suhteessa ulkolämpötilaan.



**Kuva 2.7.** Sisäilmastoluokituksen operatiivisten lämpötilojen rajat (Optiplan 2014).

Kuvasta 2.7 nähdään eri luokitusten vaatimukset operatiivisen lämpötilan pysyvyydelle. S2-luokan vaatimus S1-luokitukseen verrattuna helpottuu kun ulkolämpötila nousee yli 10 °C:een. S3-luokan vaatimukset ovat selvästi helpommat kuin muilla luokituksilla. Kuitenkin ulkolämpötilan ollessa 15 °C, S2- ja S3-luokituksen operatiivisen lämpötilan enimmäisarvot ovat samat ja ero S1-luokitukseen ainoastaan 0,5 °C.

Ulkolämpötila lasketaan 24 tunnin keskiarvona. Suomen sääolosuhteissa 24 tunnin aikana ulkolämpötila saattaa vaihdella paljon etenkin kevät- ja syyskausina. Tämä aiheuttaa haasteita ilmanvaihdolle sekä operatiivisen sisälämpötilan pysyvyyteen. (FINVAC 2014) Ilmanvaihdon automatisoinnilla ja hyvillä säädöillä operatiivinen lämpötila saataisiin pidettyä halutuissa raja-arvoissa. Tämä vaatii kuitenkin lämpötilan mitausta sekä sisä- että ulkotilasta.

## **Ilmanvaihto**

Ilmanvaihtojärjestelmien tarkoitus on poistaa likaista ilmaa ja korvata se puhtaalla. Puhdas ilma luo ihmiselle viihtyisän ja terveellisen ympäristön elää. Puhdas ja riittävä ilmanvaihto suojaa ihmisiä tartunnoilta, jotka leviävät ilman kautta. (Rakennustieto 2007)

Rakentamismääräyskokoelman osassa D2 on määritetty ilmanvaihdon vähimmäisilmavirrat erilaisille tiloille kun rakennus- ja sisustusmateriaaleina käytetään vähäpäästöisiä materiaaleja. Määräykset ottavat huomioon henkilöiden lukumäärän sekä huoneistojen pinta-alat, joiden perusteella ilmavirran määrät valitaan. (Ympäristöministeriö 2012a) Liian suuri ilmanvaihto aiheuttaa ilman kuivumista, vetoa ja kylmyyttä. Liian pieni ilmanvaihto ilmenee ilman tunkkaisuutena, hajuina ja kosteutena. Kosteaa ilmaa edistää rakennuksessa elävien mikrobikasvustojen syntymistä ja leviämistä. (Rakennustieto 2007) Ilmanvaihdolla on siis tärkeä rooli ihmisten hyvinvoinnin lisäksi myös rakennuksen kunnon ylläpitäjänä.

Sisäilmaluokitusten ilmanvaihtomäärät perustuvat standardiin EN-15251:2007, jossa on määritetty ilmanvaihdon vaatimukset eri tiloille ja luokituksille. Standardissa ilmavirrat määräytyvät asuinrakennuksien osalta käyttäjien lukumäärän ja pinta-alan mukaan. Muissa rakennustyypeissä huomioon otetaan myös rakennuksesta aiheutuvat epäpuhtaustekijät. (EN-15251:2007)

Rakennuksessa epäpuhtauksia ilmaan tulee ihmisistä, ulkoilmasta sekä rakennus- ja sisustusmateriaaleista. Materiaalien osalta Rakennustietosäätiö ylläpitää parhaan päästöluokituksen saaneiden luettelo. Materiaalien päästöluokituksia ovat M1, M2 ja M3. Luokka M1 on paras ja sillä on tiukimmat vaatimukset materiaalien päästöille. M3-luokalla ei ole vaatimusrajoja vaan siihen kuuluvat ne materiaalit, jotka eivät täytä M2-luokan vaatimuksia. Luokitusten vaatimuksina on materiaalista haihtuvien yhdisteiden emissioarvoja. Sisäilmastoluokituksen kannalta S1-luokitukseen pyrittäessä tulee rakennusmateriaaleina suosia vähäpäästöisiä M1-luokituksen saaneita materiaaleja. (Rakennustieto 2007)

## Valaistusominaisuudet

Hyvät valaistusominaisuudet antavat miellyttävän ympäristön elää ja työskennellä. Valaistusominaisuuksiin vaikuttavat asiat ovat valaistusvoimakkuus, tasaisuus, häikäisy- ja värintoistoindeksi. Valaistusvoimakkuuden yksikkö on luks (lx), joka kertoo valonlähteen voimakkuuden valaistavalla pinnalla. Valaistusvoimakkuuteen vaikuttaa valonlähteen valovirta ja etäisyys valaistavasta pinnasta. Valovirta kertoo valaisimesta lähtevän valon määrän ja sen yksikkö on lumen (lm). (Motiva 2014a)

Asuinrakennusten valaistusvoimakkuudelle ei ole tehty standardien tai määräyksien ohjaamia vaatimuksia. Valaistusvoimakkuudelle on kuitenkin annettu suuntaa antavia ohjearvoja eri tiloille. Ohjearvojen mukaan työtasoilla valaistusvoimakkuuden tulisi olla noin 300-500 luksia. Asuinrakennusten huoneistojen pystypinnoille suositeltu valovoimakkuus on 100-200 luksia ja lattiapinnoille noin 100 luksia. (Motiva 2014b) Ohjearvot ovat samoja kuin EN 12464-1 standardissa, jossa asetetaan toimistojen työpisteille valaistusvoimakkuuden vaatimukset. Sisäilmastoluokitusten valaistuksen vaatimukset ja suunnittelu perustuu myös EN 12464-1 standardiin. Sisäilmastoluokitus asettaa asuintilojen valaistusvoimakkuudelle tavoitearvoja, jotka ovat keittiön ja kylpyhuoneen työalueilla vähintään 300 luksia. Lisäksi S1-luokituksen asunnoissa tulee olla himmentimellä varustetut valaisinkatkaisijat sekä ikkunoissa säädettävä auringonsuojaus, esimerkiksi säleverhot. (Rakennustieto 2009)

Asuinrakennuksien valaistussuunnittelulla ei pystytä tarkoin määrittämään todellista asunnon valaistusta. Suunnittelulla voidaan päättää ainoastaan kiinteistä valaisimista sekä yleisvalaisimien osalta asennuspaikat. Rakennuksen asukkaat hankkivat valaisimet omien mieltymysten mukaan, mikä ei välttämättä takaa hyviä valaistusominaisuuksia.

## Akustiikka

Rakennuksen akustiikalle eli ääniolosuhteille annetaan rakentamismääräyskoelmassa määräyksiä, joiden mukaan rakennuksessa tai sen lähellä oleviin henkilöihin ei saa aiheutua terveydellisiä riskejä eikä melu saa olla muutenkaan häiritsevää. Näissä määräyksissä on annettu esimerkiksi tilakohtaisia ilmanvaihdosta aiheutuvia sallittuja äänenpainetasoja, joita rakennuksessa ei saa ylittää. (Ympäristöministeriö 1998) Sisäilmaluokitusta varten ääniolosuhteet suunnitellaan standardin SFS 5907 "Rakennusten akustinen luokitus" mukaan. Standardissa on esitetty eri tiloille ja luokituksille äänitasovaatimuksia. (Rakennustieto 2009)

Rakennuksen sisäilmaston melutasoa pyritään pitämään mahdollisimman alhaisina, jotta rakennuksessa on mukava asua. Rakennuksen sisällä ääniä aiheuttavat esimerkiksi LVI-laitteet ja asukkaiden askeleet. LVI-laitteille asetetut rajoitukset huomioidaan suunnitteluvaiheessa. Äänitasoon vaikuttavat esimerkiksi ilmanvaihtolaitteiden valinta, mitoitus ja kanaviston äänenvaimentimet. LVI-laitteet eivät saa aiheuttaa liian kovaa melua myöskään rakennuksen ulkopuolelle, milloin se saattaa häiritä esimerkiksi naapureita. Muiden äänien, kuten esimerkiksi askelten ja puheen, kantautumiseen ra-

kennuksen sisällä huoneistoista toiseen vaikuttavat rakenne- ja pintamateriaalit sekä niiden paksuudet. (Rakennustieto 2007)

Rakennuksen ulkopuolinen melu torjutaan rakennuksen ulkoseinien materiaalien avulla. Ikkunoiden läpi äänet kantautuvat sisätiloihin helpommin kuin ulkoseinien läpi. Ikkunoiden ääneneristyskyvyllä onkin suuri merkitys sisätiloihin pääsevän melun suhteen. Kuitenkin, jos ääneneristämisvaatimus on tiukka, joudutaan myös rakennuksen seinien ääneneristämiskykyä parantamaan. (Rakennustieto 2007)

## 2.4 Kuntien vaatimukset ja tavoitteet

Kunnilla ja kaupungeilla voi olla omia vaatimuksia ja tavoitteita, jotka ovat tiukempia kuin EU:n tai Suomen lakien määräämät. Niillä pyritään kehittämään kunnan kestävän rakentamisen mallia. Kunnilla on paljon vaikutusmahdollisuuksia alueensa rakentamiseen ja toteuttamiseen. Kunnat voivat kaavoituksessa määrittää, että alueelle rakennetaan vain mahdollisimman vähän hiilidioksidipäästöjä tuottavia rakennuksia. Muutenkin, ekotehokkaan rakennuksen rakennuttajalle voidaan antaa monenlaisia etuuksia. Esimerkiksi tonttivuokrasta ja kunnallistekniikan liittymismaksuista voidaan antaa alennusta sekä lupa ylittää rakennusoikeus, jos rakennuksesta tulee erityisen ekologinen. Ekologisia ratkaisuja voidaan suosia myös tontin luovutuksessa sekä rakennusluvan hakuprosessin kulussa. (Puuinfo 2011)

Suomen kuusi suurinta kaupunkia (Helsinki, Vantaa, Espoo, Tampere, Turku ja Oulu) ovat mukana kaupunginjohtajien ilmastoverkostossa. Ilmastoverkosto on perustettu vuonna 2011 ja sen tavoitteena on varmistaa EU:n energia- ja ilmastotavoitteiden toteutumista sekä ekotehokkaan kaupunkikehityksen edistäminen. Suurimpien kaupunkien sitoutuessa eko-ohjelmaan, voidaan saavuttaa kansallisesti merkittäviä säästöjä päästöissä. (ERA 2014) Ekotehokasta rakentamista edustavat muun muassa uusiutuvien energiamuotojen käyttö sekä puiset rakennukset, joita Suomessa tehdään vain noin parissa prosentissa kaikista aloitettavista hankkeista. Ruotsissa vastaava luku on noin 20 prosenttia. (Helsingin kaupunki 2013a) Suomessa puurakentamisen osuutta pyritään nostamaan noin 10 prosenttiin vuoden 2015 mennessä (Organisaatio-Sanommat 2013). Seuraavissa kappaleissa kerrotaan hieman kaupunginjohtajien ilmastoverkoston kuuluvien Helsingin, Tampereen ja Turun ilmastotavoitteista sekä käynnissä olevista ekotehokkaista projekteista.

### 2.4.1 Helsinki

Helsinki on luonnonläheinen ja merellinen kaupunki, jolle puhdas luonto on hyvin tärkeää asukkaiden viihtyvyyden ja imagon ylläpitämisen kannalta. Helsingin kaupungilla on kovat ympäristötavoitteet ja niiden toteuttaminen vaatii parannuksia kaikilla toimialoilla. Erityisesti julkisen raideliikenteen ja pyörällä liikkumisen parantaminen on yksi kaupungin päätavoitteista. Raideliikenteen avulla pyritään luomaan Helsingistä raideliikenteen verkostokaupunkia, jossa raideliikenteen avulla pystyy siirtymään nopeasti ja helposti joka puolelle kaupunkia. Hyvällä julkisen liikenteen verkostolla vähennetään

yksityisautoilun tarvetta, joka aiheuttaa ilman epäpuhtauksia sekä meluhaittoja. (Helsingin kaupunki 2013b)

Rakennusten kannalta Helsingillä on tavoitteena vähentää hiilidioksidipäästöjä rakentamalla ekotehokkaita puurakennuksia. Helsinki onkin Suomen suurin puurakentaja, jonka tavoitteena on rakentaa vuonna 2020 joka neljäs asuinrakennus puusta. Helsingissä on jo useita puusta rakennettuja asuinalueita ja lisää on tulossa kokoajan. Esimerkiksi Itä-Helsingin Myllypuron alueelle tulee vuoteen 2017 mennessä 2000 asukkaan Puu-Myllypuro, joka on rakennettu kokonaan puusta. Malminkartanon pohjoisosan on tulossa Honkasuon asuinalue, jonne rakennetaan 1600 asukkaalle puurakenteisia matalaenergiataloja. Honkasuon asuinalue on Helsingin ensimmäinen, jossa matalaenergiarakentaminen on mukana kaavassa (Helsingin kaupunki 2014). Honkasuon läheisyyteen rakennetaan myös Kuninkaantammi, jonne on suunniteltu 700 asukkaalle matalaenergiapuurakennuksia. Kuninkaantammen alueella pyritään myös hyödyntämään uusiutuvaa energiaa sekä paikallista kiviainesta. Käyttämällä paikallista kiviainesta, vähennetään kuljetuksista aiheutuvia päästöjä. (Helsingin kaupunki 2013a)

### 2.4.2 Tampere

Tampereella on ECO<sub>2</sub>-hanke, jonka tarkoituksena on edesauttaa kasvihuonekaasupäästöjen määrä laskuun. ECO<sub>2</sub>-hanke otettiin käyttöön vuonna 2010 ja sen tavoite on muuttaa Tamperetta ekotehokkaammaksi vuoteen 2020 asti. Tampereen tavoitteena onkin tehdä kaikista uudisrakennuksista energialuokaltaan A-luokkaa vuoteen 2017 mennessä. Hiilineutraaliuteen Tampere pyrkii vuoteen 2050 mennessä, joka on tavoitteena myös monilla muilla Suomen kaupungeilla. (Tampereen kaupunki 2013)

Puurakentaminen on vahvasti mukana myös Tampereen suunnitelmissa. Esimerkiksi Vuoreksen Isokuusen uudelle asuinalueelle on tulossa puisia rakennuksia noin 4000 asukkaalle. Tavoitteena on, että Isokuusen alueesta tulee hiilineutraali. Hiilijalanjälki laskelmat tehdään jo kaavoituksen alkuvaiheessa, jolloin eri vaihtoehtojen vertailulla määritellään mahdollisimman ekotehokkaat ratkaisut. Vuoreksesta on tulossa muutenkin Suomen energiatehokkain asuinalue. Alueelle rakennettavien rakennusten tulee saavuttaa A-energialuokka. Jos rakennus tehdään passiivi- tai nettonollaenergiataloksi, saavat rakentajat 50 prosentin alennuksen tonttivuokrasta ensimmäisen viiden vuoden ajan. Vuoreksen alueella oli vuonna 2012 asuntomessut. Asuntomessualueella joka kolmannessa talossa on aurinkoenergialla toimivaa omavaraistuotantoa, joko aurinkolämmön tai -sähkön muodossa. (Tampereen kaupunki 2013)

### 2.4.3 Turku

Turku on myös mukana kaupunginjohtajien ilmastoverkostossa. Turku on lähtenyt mukaan tavoitteeseen, jossa kasvihuonekaasupäästöjä pyritään vähentämään. 2000-luvun aikana Turku onkin Suomen suurimmista kaupungeista saanut vähennettyä kasvihuonekaasupäästöjään eniten. Kokonaispäästöt ovat pienentyneet yli 20 prosenttia. Tämän tahdin jatkuessa Turku lähenee hiilineutraaliutta vuoteen 2040 mennessä. Suurimmat

kasvihuonekaasupäästövähennykset on saavutettu lisäämällä uusiutuvan energian käyttöä kaukolämmöntuotannossa. Päästöjä on saatu vähennettyä myös erillislämmityksen ja liikenteen osalta. (Turun kaupunki 2014)

Turussa on suunniteltu raidejunien ja sähköbussien käyttöönottoa, joilla julkista liikennettä saataisiin kehitettyä sekä päästöjä vähennettyä. Sähköenergiantarvetta on Turussa vähennetty vaihtamalla kaupungin elohopeahöyryvalaisimia LED-valaisimiin. Tarkoitus on että vuoden 2015 loppuun mennessä kaikki kaupungin valaisimet ovat korvattu LED-valaisimilla. LED-valaisimilla pystytään säättämään energiaa noin 70 prosenttia. LED-valaisimilla on hyvin pitkä käyttöikä, jolloin säästytään myös useilta valaisimien vaihdoilta. (Uusi Suomi 2014)

Rakentamisen kannalta Turussa ei ole tehty erityisen ekotehokkaita asuinalueita, mutta niitä kyllä suunnitellaan. Turussa on kehitteillä Skanssin asuinalue, josta pyritään tekemään uudenlainen älykaupunginosa. Alueen älykkäät ratkaisut ovat pääasiassa energiaratkaisuja, joiden avulla luodaan sähkö-, kylmä-, ja lämmitysjärjestelmät toimimaan mahdollisimman tehokkaasti. Esimerkiksi suunnitteilla on normaalista poiketen kaksisuuntainen energiaverkko, joka antaa mahdollisuuden myydä itse tuotettu ylimääräinen sähkö sekä lämpö takaisin energiaverkkoon. Tavoitteena on myös energianvarastoinnin mahdollisuuksien kartoittaminen. Alueen on tarkoitus valmistua kokonaisuudessaan noin vuonna 2030 ja asuntoja on suunniteltu jopa 8000 asukkaalle. Talot ovat suunniteltu passiivitaloiksi, joiden katoilla ja seinillä on aurinkopaneeleja. Skanssin asuinalueen suunnittelussa pyritään löytämään kustannustehokkaat ratkaisut energiantuotuksen ja hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen. (Turku Energia 2013)

## **2.5 Ympäristöluokitukset ja mittarit**

### **2.5.1 Yleistä ympäristöluokituksista**

Rakennuksille on tehty ympäristöluokitusjärjestelmiä, joiden tehtävä on edistää kestävä kehitystä ja kertoa rakennusten energiankäytöstä. Rakennusten energiatodistus on eräänlainen pakollinen ympäristöluokitusjärjestelmä, mutta vapaaehtoisiaakin on tehty monia. Ympäristöluokitusjärjestelmän tarkoitus on auttaa rakennusten vertailussa, energiatehokkuuden parantamisessa ja ympäristövaikutusten vähentämisessä. (Green Building Council 2013b)

Rakennusten energiatodistuksen energialuokka määräytyy ainoastaan E-luvun perusteella, mutta ympäristöluokitusjärjestelmät ottavat laajemmin kantaa rakennuksen energiatehokkuuteen, sisäilmanlaatuun, elinkaarikustannuksiin sekä ympäristövaikutuksiin. Ympäristöluokitusjärjestelmät huomioivat koko rakennuksen elinkaaren aikana aiheutuvia ympäristövaikutuksia. Ympäristöluokitusjärjestelmät toimivat useasti pisteytys periaatteella. Arvioitaville osa-alueille annetaan pisteitä, joiden mukaan ympäristöluokitus määräytyy. Pisteytysten avulla saadaan jo rakennuksen suunnitteluvaiheessa suunniteltua rakennuksen rakentamisen, käytön ja purkamisen ja kierrätyksen ympäristövaikutuksia sekä panostettua terveelliseen asumiseen.

Ympäristöluokituksilla on monia erilaisia hyötyjä. Rakennuksen ympäristöluokitus nostaa rakennuksen imagoa ja siinä toimivien yritysten brändiä. Ympäristösertifikaatin avulla saadaan sijoittajien ja käyttäjien investoinnille paremmat rahalliset hyödyt, sillä suunnittelussa on otettu huomioon elinkaarikustannuksia energian- ja vedenkulutuksen muodossa. Lisäksi rakennuksen arvo ja vuokrat nousevat ympäristösertifikaatin avulla. (McGraw-Hill Construction 2012) Ympäristöluokituksen avulla pystytään osoittamaan rakennuksen ympäristöystävällisyys ja käyttämään sitä hyödyksi markkinoinnissa.

Suomessa yleisimmät ympäristöluokitusjärjestelmät ovat kotimainen PromisE, yhdysvaltalainen LEED ja isobritannialainen BREEAM (Green Building Council 2013b). Nämä luokittelevat rakennukset omalla asteikollaan eivätkä siten ole vertailukelpoisia keskenään. Luokitusjärjestelmillä on omat laskentamenetelmät eri rakennustyypeille erilaisten vaatimusten takia. Luokitusjärjestelmät antavat myös mahdollisuuden määrittää ympäristöluokitus joko uudiskohteelle tai jo olemassa olevalle rakennukselle. Luokitusjärjestelmien lisäksi pohjoismaissa käytetään Joutsenmerkkiä, joka kertoo rakennuksen olevan ympäristöystävällinen. Seuraavassa luvussa on esitelty lyhyesti yleisimmät Suomessa käytössä olevat ympäristöluokitusjärjestelmät ja Joutsenmerkki.

Kun käytössä on monta erilaista ympäristöluokitusjärjestelmää, voidaan jollekin rakennukselle haluta monta eri sertifiointia. Jos rakennus on sertifioitu monen luokitusjärjestelmän avulla, pystytään sitä vertailemaan useamman muun rakennuksen kanssa. Jos käytössä olisi vain yksi yhtenäinen järjestelmä, voitaisiin kaikkia sertifioituja rakennuksia vertailla toisiinsa. Koska ympäristöluokituksen hankkiminen ei ole ilmaista, tulee monen sertifiointin hankkimisesta lisäkustannuksia.

## 2.5.2 Ympäristöluokitusjärjestelmät

### **BREEAM**

BREEAM (Building Research Establishment's Environmental Assessment Method) on Isossa-Britanniassa kehitetty rakennusten ympäristöluokitusjärjestelmä. BREEAM on maailman yleisin ympäristöluokitusjärjestelmä ja se on käytössä yli 50 maassa. BREEAM julkaistiin vuonna 1990 ja vuoden 2014 alkuun mennessä yli 250000 rakennukselle on myönnetty BREEAM-sertifikaatti. Niiden lisäksi yli miljoona rakennusta on rekisteröity arvioitavaksi BREEAM-sertifikaatilla. Rakennuksen sertifiointin voi suorittaa ainoastaan koulutuksen ja lisenssin saaneet riippumattomat arvioitsijat. (BREEAM 2014a)

BREEAM-sertifiointijärjestelmä on hyvin joustava. Se on tarkoitettu käytettäväksi toimisto-, liike- sekä teollisuusrakennuksille, mutta sitä on helppo muokata mille tahansa rakennustyyppille. Lisäksi BREEAM:sta on tehty versioita, jotka on suunniteltu erityisesti Euroopan, Iso-Britannian ja Persianlahden maita varten. Kuitenkin BREEAM:n joustavuuden ansiosta siitä saadaan muokattua muihinkin maihin sopiva. (ERMS 2014a)

BREEAM-sertifiointi kattaa kaikki rakennuksen vaiheet, joita ovat aluesuunnittelu, rakennesuunnittelu, rakentaminen ja käyttövaihe. (ERMS 2014a) BREEAM kan-

nustaa suunnittelijoita sekä asiakkaita valmistamaan rakennuksia, joilla on korkea BREEAM-sertifiointi. Sertifioinnissa korkean arvosanan saaneen rakennuksen vaikutus ympäristöön on mahdollisimman pieni ja sertifioinnin ansiosta rakennuksen arvo nousee. (BREEAM 2014b)

BREEAM-luokitusjärjestelmä antaa rakennuksille pisteitä ominaisuuksista, jotka edistävät ympäristön hyvinvointia, asumisen mukavuutta sekä terveellisyyttä. BREEAM antaa pisteitä yhdeksässä eri kategoriassa, joita ovat kiinteistön johtaminen, terveys ja hyvinvointi, energian käyttö, kuljetus ja liikenne, vedenkäytön tehokkuus, materiaalit, jätteet, ekologia sekä saasteet. Saatujen pisteiden ja kategorioiden painotuskertoimien avulla rakennus luokitellaan asteikolla Pass, Good, Very Good, Excellent ja Outstanding. (BREEAM 2014c) Vastaavien luokitusten pisterajat maksimipisteistä ovat 30%, 45%, 55%, 70% ja 85% (e-Dome 2014).

## **LEED**

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) on yhdysvaltalaisen U.S. Green Building Council:n ylläpitämä rakennusten luokitusjärjestelmä, joka on otettu käyttöön vuonna 2000. LEED on levinnyt kansainvälisesti hyvin laajalle ja se on kansainvälisesti vertailukelpoinen. Lähes 150 maassa rakennukselle on myönnetty LEED-sertifikaatti. (USGBC 2014a)

LEED-luokitusjärjestelmä on kehittynyt vuosien varrella ja laskentaan perustuvat kriteerit ovat muuttuneet. Uusien versioiden avulla pyritään kehittämään laskentamenetelmiä soveltuvaksi yhä useampiin kohteisiin sekä edistämään rakennusten ympäristövaikutusten vähentämistä. (USGBC 2014b) LEED-luokitusjärjestelmä on hyvin samankaltainen kuin BREEAM. Se perustuu myös eri kategorioiden mukaan annettuihin pisteisiin, joiden määrän avulla lasketaan rakennuksen LEED-luokitus.

LEED-sertifiointijärjestelmä on tehty soveltuvaksi melkein mille rakennustyyppille tahansa. Uudiskohteille ja jo olemassa oleville rakennuksille sekä eri rakennustyypeille on tehty omat arviointiperusteet. Pisteitä rakennus saa viidessä eri kategoriassa, jotka ovat kestävä ympäristö, vedenkäytön tehokkuus, energia ja ilmasto, materiaalit ja resurssit sekä sisäympäristön laatu. Tämän lisäksi eri rakennustyypeillä on erilaisia lisä- ja bonuskategorioita. Esimerkiksi asuinrakennukselle lisäkategorioina on sijainti ja yhteydet sekä ennakoiti ja koulutus. Bonuskategorioina asuinrakennuksilla on innovatiivinen suunnittelu sekä alueelliset prioriteetit. (USGBC 2014c)

LEED-luokituksia on neljä, mitkä ovat Certified, Silver, Gold ja Platinum. (USGBC 2014a) Pisteytysjärjestelmän mukaan asuinrakennuksilla on mahdollisuus saada maksimissaan 125 peruspistettä sekä 11 lisäpistettä innovatiivisesta suunnittelusta. Luokitusten pisterajat huonoimmasta parhaimpaan ovat 40, 50, 60 ja 80 pistettä. (USGBC 2014a) LEED-sertifioinnin tulee suorittaa koulutettu lisenssin omaava riippumaton kolmas osapuoli (Green Building Council 2013b).



## **PromisE**

PromisE on suomalainen ympäristöluokitusjärjestelmä, jonka kehittäminen on alkanut vuonna 1999. PromisE on pyritty tekemään mahdollisimman yksinkertaiseksi ja käyttäjystävälliseksi. Sen käyttäminen ei vaadikaan koulutettua käyttäjää eikä riippumatonta kolmatta osapuolta. PromisE-luokitus voidaan määrittää internet-pohjaisen työkalun avulla. (Ympäristöministeriö 2008)

PromisE jakaa ympäristövaikutukset neljään pääryhmään, jotka ovat käyttäjien terveys, luonnonvarojen kulutus, ekologiset vaikutukset ja ympäristöriskit. Pääryhmät jakautuvat vielä yhteensä 16 alaryhmään, jotka koostuvat mitattavista ja arvioitavista indikaattoreista. Indikaattoreille annetaan arvosanoja, joiden avulla määrytyy ympäristöluokitus asteikolla A-E. Ryhmillä on myös painotusarvot, joilla saadaan painotettua tärkeimpiä ympäristöominaisuuksia. (Ympäristöministeriö 2008) PromisE pohjautuu kansallisiin keskilukuihin, joten sen käyttäminen kansainvälisenä luokitusjärjestelmänä ei ole mahdollista. (Green Building council 2013b)

## **Joutsenmerkki**

Joutsenmerkki on pohjoismaiden ministerineuvoston vuonna 1989 perustama ympäristömerkki. Joutsenmerkki on käytössä kaikissa Pohjoismaissa. Pohjoismaissa Joutsenmerkki tunnetaan ympäristömerkkinä, jolla on hyvin tiukat kriteerit ja vaatimukset. Joutsenmerkki eroaa muista rakennusten ympäristömerkeistä siten, että sitä käytetään muihinkin tuotteisiin ja palveluihin. (Pohjoismainen ympäristömerkintä 2013)

Rakennusten osalta Joutsenmerkin voi saada pientalo, asuinkerrostalo sekä päiväkotit. Joutsenmerkki vaatii, että rakennuksen ympäristövaikutus tulee olla alhainen ja rakennuksen sisäympäristö täyttää vaatimukset. Joutsenmerkki asettaa vaatimukset rakennusvaiheelle, materiaaleille ja energiankulutukselle. Sisäilmaston osalta vaatimukset koskevat sisätilojen materiaaleja, ilmanvaihtoa, rakentamista sekä laatua. Rakennuksen ympäristöön vaikuttavia tekijöitä, joihin Joutsenmerkki ottaa kantaa ovat rakennuksen energiankulutus, rakennusjätteiden ympäristöystävällinen käsittely sekä rakennuksen käyttö- ja ylläpitosuunnitelma. Myös terveyteen vaikuttavat asiat ja rakennusmateriaalien sisältämät haitalliset aineet vaikuttavat Joutsenmerkin saantiin. (Pohjoismainen ympäristömerkintä 2013)

Joutsenmerkin myöntää sen valtion Pohjoismainen ympäristömerkintä johon rakennus rakennetaan, sillä kaikissa maissa on hieman erilaiset vaatimusrajat (Pohjoismainen ympäristömerkintä 2013). Suomessa Joutsenmerkin myöntää Ympäristömerkintä, joka on Motiva Services Oy:n alainen yksikkö (Joutsenmerkki 2014). Joutsenmerkki anotaan hakemuksella, johon liitetään kaikki hakemukseen tarvittavat liitteet. Hakemuksen käsittelee Pohjoismainen ympäristömerkintä, joka tarkastaa täyttääkö rakennus kaikki vaatimukset. Joutsenmerkillä ei ole luokitusasteikkoa kuten useimmilla luokitusjärjestelmillä, vaan Joutsenmerkki joko myönnetään tai ei myönnetä. (Pohjoismainen ympäristömerkintä 2013)

## **3 GBC FINLANDIN ELINKAARIMITTARIT**

### **3.1 GBC Finland**

Green Building Council Finland (GBC Finland) on vuonna 2010 perustettu suomalainen voittoa tavoittelematon yhdistys, joka kuuluu kansainväliseen World Green Building Council -verkostoon. Yhdistyksen tarkoituksena on toimia puolueettomana rakennetun ympäristön kestävä kehityksen edistäjä. Yhdistykseen kuuluu lähes 100 jäsenorganisaatioita, joille yhdistys tarjoaa koulutusta, tietopalvelua ja kehitystoimintaa. Jäsenorganisaatiot ovat pääasiassa kiinteistö- ja rakentamialalla toimivia yrityksiä, jotka ovat halukkaita parantamaan ympäristö- ja energiatehokkuutta sekä toimimaan yhteistyössä keskenään. (Green Building Council 2013c)

Green Building Council Finland on ottanut käyttöön rakennusten ympäristö- ja energiatehokkuutta, elinkaaritaloutta sekä käyttäjien hyvinvointia mittaavat elinkaarimittarit. Mittareiden päätavoitteena on toimia kestävä kehityksen edistäjänä sekä olla käyttäjien apuna muun muassa suunnittelu-, rakentamis-, ylläpito-, käyttö- ja peruskorjausvaiheen päätöksissä. (Green Building Council 2013a)

### **3.2 Elinkaarimittarit**

Elinkaarimittarit kuvastavat rakennuksen taloudellisia, sosiaalisia sekä ympäristöllisiä vaikutuksia rakennuksen koko elinkaaren aikana. Elinkaarimittarit ovat tärkeä osa rakennuksen suunnitteluvaiheessa sillä niiden avulla pystytään arvioimaan erilaisten suunnitteluratkaisujen vaikutusta rakennuksen ominaisuuksiin, kustannuksiin sekä ympäristöön. (Green Building Council 2013a)

Green Building Council Finlandin elinkaarimittareina toimii kahdeksan eri tunnuslukua, jotka jaetaan hanke- ja käyttövaiheeseen. Molemmista vaiheista tehdään omat kiinteistöpassit, joiden tarkoituksena on toimia helposti ymmärrettävänä työkaluna rakennusten tunnuslukujen esittämiseen ja vertailuun. Tunnuslukujen lisäksi kiinteistöpassit sisältävät rakennuksen perustiedot. Kiinteistöpassien ei ole tarkoitus toimia ympäristöluokituksena kuten esimerkiksi BREEAM ja LEED, vaan niissä kerrotaan rakennuksen suorituskyky lukuarvoina. Siten eri rakennuksia on helppo vertailla osaluokittain keskenään. Kuvassa 3.1 on malliesimerkit hanke- ja käyttövaiheiden kiinteistöpassista. (Green Building Council 2013a)

Kiinteistöpassi		HANKEVAIHE
<b>NIMI</b>	<b>KESKUSTAKIRJASTO</b>	
Osoite	Keskustakirjastonkatu 1, 00100 Helsinki	
Käyttötarkoitus	Kirjastorakennus	
Rakennusvuosi	2015	
Bruttoala	21 344 m <sup>2</sup>	
Lämmitetty nettoala	18 083 m <sup>2</sup>	
Pinta-ala käyttötarkoituksittain	lukusalit 10 224 m <sup>2</sup> , toimisto 1250 m <sup>2</sup> , seminaaritilat 1856 m <sup>2</sup> , muut tilat 2344 m <sup>2</sup>	
Mitoitettu käyttäjämäärä	Kapasiteetti 2 500 henkilöä	
Yksityiskohtaiset tiedot	www.figbc.fi	
<b>ELINKAARIMITTARI</b>	<b>TUNNUSLUKU</b>	
Elinkaaren hiilijalanjälki	9 840 tn CO <sub>2</sub> e	
Elinkaarikustannus	12 168 000 €	
E-luku	135	
Sisäilmaluokka	S2	

Kiinteistöpassi		KÄYTTÖVAIHE
<b>NIMI</b>	<b>EDUSKUNTATALO</b>	
Osoite	Mannerheimintie 30, 00100 Helsinki	
Käyttötarkoitus	kokous-, hallinto- ja toimistorakennus	
Rakennusvuosi	1931	
Bruttoala	17 200 m <sup>2</sup>	
Pysäköintitarkaisu	Pysäköintihalli	
Yksityiskohtaiset tiedot	www.figbc.fi	
<b>KÄYTTÖNAJAN MITTARI</b>	<b>TUNNUSLUKU</b>	
Seurantavuosi	2014	
Energiankulutus	3 213 600 kWh	
Käytön hiilijalanjälki	540 000 kg CO <sub>2</sub> e	
Pohjateho	85 kW	
Käyttäjättyytyväisyys	72 %	

Kuva 3.1. Kiinteistöpassien malliesimerkit (Green Building council 2013a).

Mittarit ja niiden laskentamenetelmät perustuvat Suomen lainsäädäntöön ja eurooppalaiseen rakennusalan ympäristöstandardeihin. Tunnusluvuista ainoastaan E-luvulle on Suomen lainsäädäntö asettanut vaatimuksia, mutta lait eivät ota kantaa esimerkiksi hiilijalanjälkeen eivätkä rakennuksen todelliseen energiankulutukseen. Elinkaarimittareiden tavoitteena onkin antaa mittareille yhteinen esitystapa sekä puolueettomat standardien mukaiset laskentamenetelmät. (Green Building council 2013a)

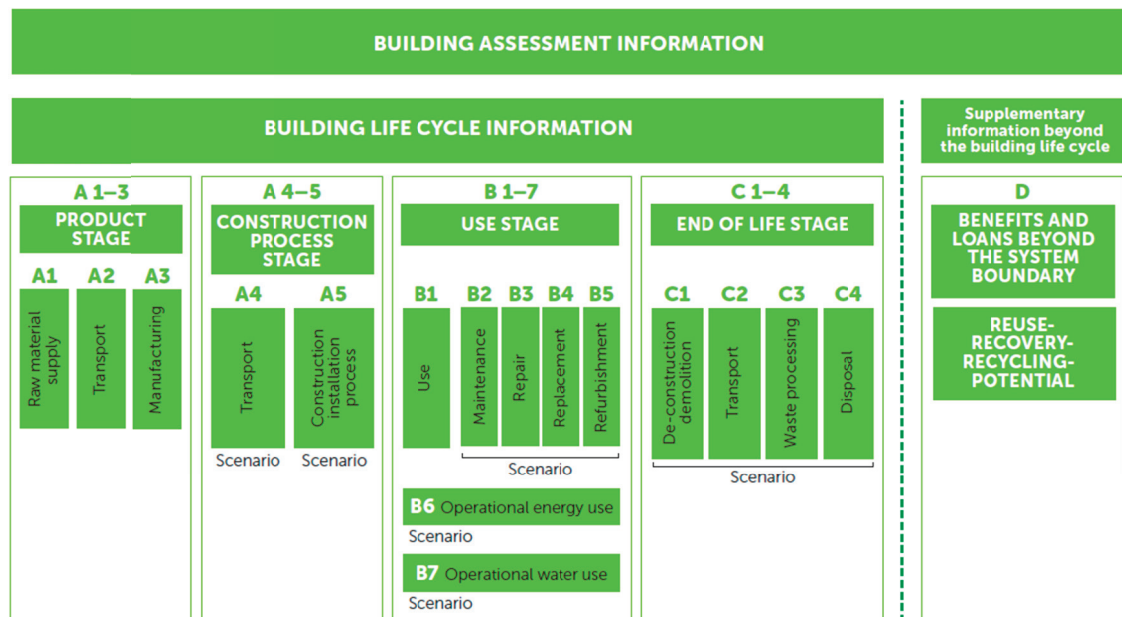
### 3.2.1 Hankevaihe

Hankevaiheelle on neljä mittaria, jotka ovat elinkaaren hiilijalanjälki, elinkaarikustannus, E-luku ja sisäilmaluokka. Hankevaiheen kiinteistöpassin tunnusluvut saadaan määritettyä jo suunnitteluvaiheessa. Suunnitteluvaiheessa pystytään helposti vaikuttamaan rakennuksen kokonaiskustannuksiin ja ympäristöominaisuuksiin. (Green Building council 2013a) Hankevaiheen tunnuslukuja voidaan käyttää esimerkiksi tavoitevaatimuksina, jotka pyritään vähintään saavuttamaan tai rakennuksen eri suunnitteluratkaisujen vertailuun.

#### Elinkaaren hiilijalanjälki

Elinkaaren hiilijalanjälki -mittarilla kuvataan rakennuksesta elinkaaren aikana aiheutuvia päästöjä yksikössä tnCO<sub>2</sub>e. Laskemalla rakennuksen hiilidioksidiekvivalenttiset päästöt, saadaan selvitettyä rakennuksen kokonaisympäristövaikutus. Mikään laki ei aseta rakennuksen hiilijalanjäljelle vaatimuksia, mutta tämä mittari on tehty sen laskemiseen. Mittarin laskenta perustuu standardiin EN 15978. Kuvassa 3.2 on kuvattu standardin mukaiset rakennuksen elinkaaren vaiheet, jotka tulee huomioida elinkaaren

hiilijalanjäljen laskennassa. Hiilidioksidipäästöjä laskettaessa otetaan huomioon esimerkiksi rakennusmateriaalien valmistus ja kuljetus, työmaatoiminnot, rakennuksen käyttö ja kunnossapito, kiinteistön veden ja energian käyttö sekä rakennuksen purkaminen ja jätteiden käsittely. Laskennasta voidaan jättää huomioimatta hyvin vähän päästöjä aiheuttavat osat tai osat joita ei pystytä määrittämään. Raportoinnissa tulee ilmetä mitkä osat on jätetty pois tai mitkä ovat laskettu elinkaarimittareiden laskentaohjeen oletusarvoilla. (Green Building council 2013a)

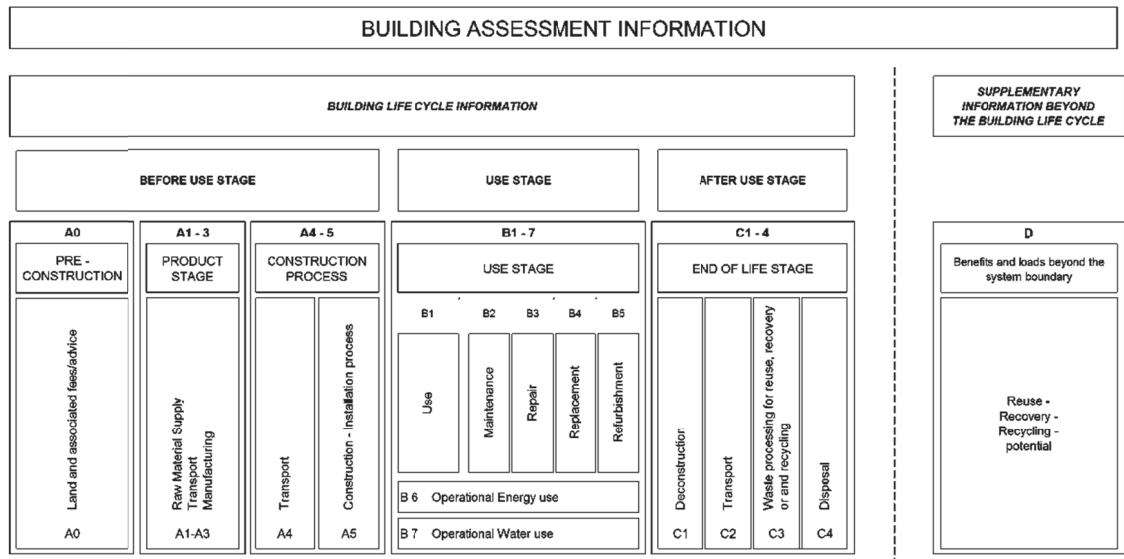


**Kuva 3.2.** Rakennuksen elinkaaren vaiheet hiilijalanjäljen laskennassa (Green Building council 2013a).

Elinkaaren hiilijalanjälki -mittarilla pystytään arvioimaan ja vertailemaan erilaisien suunnitteluratkaisujen vaikutusta rakennuksen aiheuttamaan kokonaishiilijalanjälkeen. Rakennuksen hiilijalanjälkeen ja ympäristövaikutuksiin pystytään vaikuttamaan kaikkein eniten ja helpoiten rakennushankkeen alkuvaiheessa. Pienen hiilijalanjäljen omaava rakennus on todettu olevan ympäristöystävällinen ja vähän energiaa tarvitseva. (Green Building council 2013a)

### Elinkaarikustannus

Elinkaarikustannus tarkoittaa koko rakennuksen elinkaaren aikana aiheutuvia kustannuksia. Elinkaarikustannus ilmoitetaan euroina ja se mahdollistaa erilaisten suunnitteluvaihtoehtojen kokonaiskustannusten vertailun. Elinkaarikustannusten laskenta perustuu standardiin EN 15643-4. Kuvassa 3.3 on laskentaan mukaan otettavat elinkaaren vaiheet. Ne ovat muuten samat kuin hiilijalanjäljen laskennassakin, mutta elinkaarikustannukset sisältävät vaiheen A0. Vaihe A0 kuvaa rakennuksen tontin ja lupien hankinnasta aiheutuvia kustannuksia. (Green Building council 2013a)



**Kuva 3.3.** Standardin EN 15643-4 mukaiset elinkaarikustannusten vaiheet (EN 15643-4:2012).

Elinkaarikustannus -mittarin yksinkertaistetut kustannuksia aiheuttavat elinkaaren vaiheet ovat: ennen rakentamista, ennen käyttövaihetta, käyttö, kunnossapito, korjaus, laajamittaiset korjaukset, energian käyttö ja purkamisvaihe. Elinkaarikustannus -mittari ei ota huomioon esimerkiksi tuloja ja sen tarkoitus onkin kertoa kuinka paljon rakennuksen omistaja joutuu koko rakennuksen elinkaaren aikana maksamaan. Elinkaarikustannus ei siis ole aivan sama asia kuin kannattavuuslaskelma, mutta ne sisältävät samankaltaisia piirteitä. (Green Building council 2013a)

## E-luku

E-luku on energiamuotojen kertoimilla painotettu ostoenergian vuotuinen tarve lämmitettyä nettopinta-alaa kohti ja se lasketaan käyttämällä rakentamismääräyskoelman osan D3 ohjeita. E-luku kuvaa rakennuksen energiatehokkuutta ja sen avulla pystytään vertailemaan ja optimoimaan eri suunnitteluratkaisuja. E-luvun laskenta on pakollista uudisrakennuksille jo rakennuslupaa ja energiatodistusta varten. (Green Building council 2013a)

### Sisäilmaluokka

Elinkaarimittareiden sisäilmaluokka määräytyy suoraan Sisäilmaluokitus 2008:n mukaisesti. Sisäilmaluokka kertoo rakennuksen sisäilmaston laadusta ja siihen vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi huonelämpötila, ilman laatu, valaistuvoimakkuus ja akustiikka. GBC Finlandin mittaristossa sisäilmaluokitus voidaan ilmoittaa neljällä eri arvolla, jotka ovat:

- S1: Yksilöllinen sisäilmasto
- S2: Hyvä sisäilmasto
- S3: Tyydyttävä sisäilmasto
- -: Ei luokiteltu

Sisäilmaluokitusta ei ole tehty rakennusten sisäilman vertailuun, mutta sitä pystytään käyttämään rakennuksen suunnittelun apuna käyttäjien hyvinvoinnin varmistamiseksi. Rakennuksen pääasiallista käyttötarkoitusta palvelevista tiloista pitää vähintään 80 prosentin osuudelta määrittää sisäilmastoluokitus, jotta sille voidaan antaa sisäilmaluokka. Alhaisin luokitus on S3, joka on suunniteltu siten, että se täyttää rakentamismääräyskokoelman vaatimukset. (Green Building council 2013a)

Elinkaarimittarit eivät aseta vaatimuksia sisäilmaluokalle. Sisäilmaluokitus kuitenkin vaikuttaa muiden elinkaarimittareiden tunnuslukujen vertailtavuuteen. Kahta rakennusta ei tulisi vertailla keskenään, jos niillä on eri sisäilmaluokitukset. Parempi sisäilmaluokitus vaatii rakennusmateriaaleilta ja talotekniikalta enemmän, joten se osaltaan vaikuttaa tarvittaviin energiamääriin ja materiaalien aiheuttamaan hiilijalanjälkeen. (Green Building council 2013a)

### 3.2.2 Käyttövaihe

Käyttövaiheelle on myös neljä mittaria, jotka ovat energiankulutus, käytön hiilijalanjälki, pohjateho ja käyttäjätyytyväisyys. Käyttövaiheen tunnusluvut ovat mitattuja lukuarvoja, jotka voidaan mitata joka käyttövuodelle erikseen. Käyttövaiheen kiinteistöpassien avulla voidaan seurata rakennuksen suorituskykyä sekä kehitystä vuosittain. Tunnuslukujen huonontuessa mahdolliset ongelmat havaitaan mahdollisimman nopeasti ja ongelma-kohtiin voidaan tehdä korjauksia. (Green Building council 2013a)

### Käytön hiilijalanjälki

Käytön hiilijalanjälki -mittari kuvaa rakennuksen käytöstä aiheutuvia vuotuisia kasvihuonekaasupäästöjä yksikössä kgCO<sub>2</sub>e. Mittarin laskentaan otetaan mukaan vähintään rakennuksen sisäilmaston ylläpitämisen tarvittava energia sekä rakennuksessa kulutettu sähköenergia. Kulutetun energian määrät saadaan suoraan energiankulutusmittareista. Kasvihuonekaasupäästöjen laskennassa käytetään energiantuottajan todellisia päästökertoimia. Taulukkoon 3.1 on koottu GBC Finlandin ohjeiden mukaiset pakolliset ja vapaaehtoiset indikaattorit, joita käytetään käytön hiilijalanjäljen laskentaan. Va-

paahteoisina indikaattoreina ovat jäte- ja vesihuollon päästöt, ajoneuvojen polttoaineet sekä rakennuksen ylläpidon vaatimat päästöt. Käytön hiilijalanjälki -mittari on yhteensopiva Greenhouse Gas Protocolin laskentamallin kanssa. Voidaan siis valita kumpaa laskentatapaa käytetään. (Green Building council 2013a)

**Taulukko 3.1.** Käytön hiilijalanjälki -mittarin indikaattorit (Green Building council 2013a).

<b>Päästölähde</b>	<b>Rajaus</b>	
Kaukolämpö	Energiankulutus	Pakollinen
Kaukojäähdytys	Energiankulutus	Pakollinen
Polttoaineet, lämmitys	Energiankulutus	Pakollinen
Kiinteistösähkö	Energiankulutus	Pakollinen
Käyttäjäsähkö	Energiankulutus	Pakollinen
Jätehuolto	Jäte- ja vesihuollon päästöt	Vapaaehtoinen
Kylmäaineet	Kylmäaineiden päästöt ilmakehään	Vapaaehtoinen
Polttoaineet, oma kalusto	Polttoaineet yrityksen omassa kalustossa. Jos ajoneuvojen päästöt eivät jakaudu kiinteistöittäin, ne voidaan raportoida myös koko yrityksen tasolla.	Vapaaehtoinen
Polttoaineet, muu kalusto	Liikematkojen ja palveluiden jne. päästöt muulla kuin yrityksen omissa ajoneuvokalustolla	Vapaaehtoinen
Ylläpito	Rakennusten ylläpitopalvelut pl. jätehuolto	Vapaaehtoinen

### **Energiankulutus**

Energiankulutus -mittarilla tarkoitetaan tässä kohtaa kaikkea rakennuksen käyttämää ostettua energiaa. Mittari ilmoitetaan yksikössä kWh ja se koostuu kaukolämmöstä, kaukojäähdytyksestä, polttoaineista, käyttäjäsähköstä ja kiinteistösähköstä. Mahdollisella omavaraistuotannolla tuotettua ylijäämä sähköä, joka myydään verkkoon, ei vähennetä energiankulutuksesta. Siitä voidaan kuitenkin mainita mittarin lisätiedoissa. Kokonaisenergiankulutus saadaan laskettua energiamittareiden todellisten kulutuslukemien perusteella sekä käytettyjen polttoaineiden määrän ja niiden lämpöarvo kertomien avulla. Taulukkoon 3.2 on kerätty yleisimpien polttoaineiden lämpöarvoja. (Green Building council 2013a)

**Taulukko 3.2. Polttoaineiden lämpöarvoja (Motiva 2010).**

<b>Polttoaine</b>	<b>Lämpöarvo</b>
Kevyt polttoöljy	10,02 kWh/litra
Raskas polttoöljy	11,42 kWh/kg
Jyrsinturve	2,7 kWh/kg
Palaturve	3,3 kWh/kg
Puupelletti	4,7 kWh/kg
Polttohake	700 kWh/irto-m <sup>3</sup>
Pilkkeet (havu- ja sekapuu)	1300 kWh/pino-m <sup>3</sup>
Pilkkeet (koivu)	1700 kWh/pino-m <sup>3</sup>
Olki	3,8 kWh/kg

### **Käyttäjättyytyväisyys**

Käyttäjättyytyväisyydellä tarkoitetaan käyttäjien tyytyväisyyttä rakennuksen sisäilmastoon. Sisäilmastolla on suora vaikutus käyttäjien terveyteen, viihtyvyyteen ja työn tuottavuuteen. Käyttäjättyytyväisyys selvitetään kyselylomakkeella. Lomake sisältää kysymyksiä koskien viittä eri osa-aluetta, jotka ovat:

- Lämpöviihtyisyys jäähdytyskaudella (kesällä)
- Lämpöviihtyisyys lämmityskaudella (talvella)
- Huoneilman laatu (hajut, tunkkaisuus)
- Valaistusolosuhteet (voimakkuus, häikäisyt)
- Ääniosuhteet (meluisuus, akustinen yksityisyys).

Kyselyyn vastataan asteikolla -3...+3, erittäin tyytymätön ... erittäin tyytyväinen. Käyttäjä todetaan tyytymättömäksi, jos hän vastaa kysymykseen negatiivisella vastausvaihtoehdolla. Tyytymättömiltä käyttäjiltä kannattaa myös kysyä tarkempi sanallinen selitys miksi on tyytymätön. Tyytymättömien osuus jokaisella osa-alueella pyritään pitämään alle 25 prosentissa. Jos johonkin osa-alueeseen ollaan yli 25 prosenttisesti tyytymättömiä, tulee syyt selvittää ja tehdä mahdollisia parannuksia sisäilmastoon. Alhainen käyttäjättyytyväisyys voi kertoa monista ongelmista, joiden korjaamatta jättäminen voi vaarantaa rakennuksen kuntoa tai käyttäjien terveyttä. Esimerkiksi huonosti toimiva tai väärin säädetty ilmanvaihtojärjestelmä saattaa aiheuttaa huonolaatuisen sisäilmaston. Kaikkien osa-alueiden tyytyväisten keskiarvo pyritään pitämään vähintään 75 prosentissa, joka toteutuu jos osa-aluekohtainen tyytymättömyys pysyy alle 25 prosentissa. (Green Building council 2013a)

### **Pohjateho**

Rakennuksen pohjateho tarkoittaa tyhjäkäyntitehoa, jonka rakennus käyttää kun se ei tuota käyttäjälleen tarkoituksenmukaista palveluaan tai on tyhjillään. Pohjateho koostuu energiankulutuksesta, joka tarvitaan sisäolosuhteiden ylläpitämiseen. Pohjateho



muodostuu muun muassa lämmityksestä, ilmanvaihdosta ja kylmälaitteista. Pohjatehon laskennan avulla saadaan arvioitua talotekniikan käyttämää energiaa ja vähennettyä turhaa energiankulutusta.

Pohjateho lasketaan ajalta, jolloin rakennuksessa on vähiten toimintaa ja vähintään viikon mittaiselta ajanjaksolta. Esimerkiksi asuinrakennuksessa mittaus kannattaa tehdä arkisin kello 10.00–14.00, jolloin suurin osa asukkaista on poissa kotoa. Pohjatehon avulla saadaan laskettua myös koko vuoden tyhjäkäyttökulutus, joka on usein suuri osa rakennuksen koko energiankulutuksesta. (Green Building council 2013a)

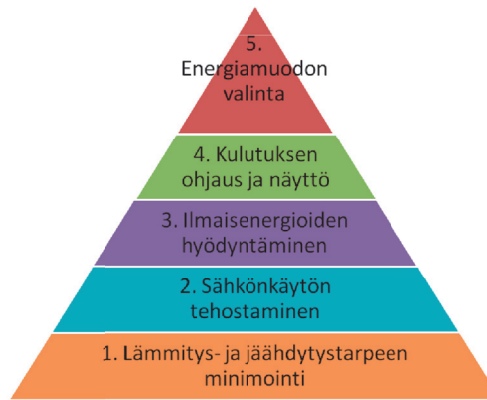
## 4 ASUINRAKENNUSTEN ELINKAAREN SUUNNITTELU JA HALLINTA

### 4.1 Vihreä rakentaminen

Kestävän kehityksen mukainen rakentaminen eli niin sanottu vihreä rakentaminen on kasvussa. Kasvua kuvaa ympäristösertifioitujen kohteiden nopea kasvu. (McGraw-Hill Construction 2012) Vihreällä rakentamisella tarkoitetaan ympäristöystävällistä ja mahdollisimman vähäpäästöistä rakentamista. Vihreän rakentamisen edellytyksenä on hyvien suunnitelmien laadinta ja kaikkien osapuolten tavoitteellinen osallistuminen heti rakennusprosessin alkuvaiheesta lähtien. (Motiva 2012)

Vihreän rakennuksen suunnittelussa tulee ottaa huomioon koko rakennuksen elinkaari eikä vain joitain osa-alueita. Hyvällä suunnittelulla pystytään arvioimaan jokaisen vaiheen muodostamaa hiilijalanjälkeä. Suunnitteluvaiheessa päätetäänkin suurin osa rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljestä. Materiaalivalinnat sekä käytönaikaisen energian ja huollon tarve ovat rakennuksen suurimmat hiilidioksidipäästöjen aiheuttajat. Onkin tärkeää tietää mistä hiilidioksidipäästöt aiheutuvat, jotta niitä saadaan tehokkaimmin vähennettyä. Tässä luvussa käsitellään rakennuksen käytön ja materiaalien vaikutusta rakennuksen hiilijalanjälkeen sekä elinkaarikustannuksien muodostumista. Lisäksi käydään läpi mitä työkaluja voidaan käyttää elinkaarisuunnittelun hallinnassa.

Rakentamismääräykset rajoittavat suurelta osin ympäristökuormien ja elinkaarikustannusten liiallista kertymistä. Rakenteiden U-arvojen minimivaatimukset rajoittavat käytönaikaisen energiankulutusta, josta suurin osa rakennuksen hiilijalanjäljestä muodostuu. Nykyisillä määräyksillä rakennuksen rakentaminen ja rakennusmateriaalit aiheuttavat yhteensä noin 20 prosenttia rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljestä. Loput noin 80 prosenttia aiheutuu käytöstä, mikä on melkein kokonaisuudessaan energiankulutuksesta aiheutuneita päästöjä (Ilmasto-opas 2011). Energiankulutusta onkin viimeaikoina pyritty vähentämään, sillä se on huomattava päästöjen ja kustannusten aiheuttaja rakennuksissa. Rakentamismääräyskokoelmakin tiukentuu vaiheittain energiankäytön osalta kohti EU:n asettamia tavoitteita ja lähes nollaenergiarakentamista. Energiansäästöä ja E-luvun pienentämistä voidaan saavuttaa monella tavalla. Kuvassa 4.1 on esitetty Kioton pyramidi, joka toimii energiatehokkaan ja ympäristöystävällisen rakentamisen suunnittelumallina. Pyramidissa energiansäästöjen tärkeysjärjestys kulkee pyramidin pohjalta ylös. Ensimmäinen on tärkeää välttää turha energiankulutus ja lopuksi vasta valita miten energia tuotetaan. (Keski-Suomen Energiatoimisto 2011)



*Kuva 4.1. Kioto-pyramidi (Keski-Suomen Energiatoimisto 2011).*

Kuvan 4.1 Kioto-pyramidin mukaiseen ensimmäiseen portaaseen vaikuttaa muun muassa rakennuksen muoto, suuntaus, lämmöneristys, ilmanpitävyys ja koko. Toinen porras käsittelee sähkölaitteita, joiden tulee olla mahdollisimman energiatehokkaita. Kodinkoneille on annettu energiatodistuksia, joista voidaan valita energiatehokkain. Myös valaistuksen energiankäytössä voidaan säästää LED-valoilla. Kolmannen portaan ilmaisenergioita ovat esimerkiksi auringosta saatava energia. Auringon energiaa voidaan hyödyntää aurinkopaneeleilla ja ikkunoiden läpi tulevalla lämpösäteilyllä. Kulutuksen ohjaus on portaalla neljä, joka tarkoittaa käyttäjien energian käyttötottumuksia. Käyttäjät pystyvät säästämään energiaa muun muassa sammuttamalla valot ja muut elektroniikka-laitteet, kun niitä ei tarvita. Energian hankintamuoto on pyramidin viimeisellä portaalla. Energiamuodon valinnalla pystytään vaikuttamaan tarvittavan energian tuottamisesta aiheutuvien CO<sub>2</sub>e-päästöjen määrään. (Keski-Suomen Energiatoimisto 2011)

## 4.2 Vaikutusmahdollisuudet hiilijalanjälkeen

### 4.2.1 Käytönaikainen energia

Rakennuksen käytönaikainen energiankulutus on nykyisillä rakentamismääräyksillä suurin hiilidioksidipäästöjen aiheuttaja rakennuksen elinkaaren aikana. Käytön aikaisen energian käyttö aiheuttaa noin 80 prosenttia rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljestä. (Ilmasto-opas 2011) Käytönaikaisesta energiasta noin 45 prosenttia kuluu rakennuksen lämmittämiseen ja sisäilmaston ylläpitämiseen. Noin 25 prosenttia energiasta kuluu käyttöveden lämmittämiseen ja siirtämiseen sekä loput noin 30 prosenttia aiheutuu sähköenergian käytöstä. (Motiva 2009)

Koska suurin osa rakennuksen energiasta kuluu lämmitykseen ja sisäilmaston ylläpitämiseen, on luonnollista keskittyä vähentämään lämmityksen ja jäähdytyksen tarvetta kun halutaan pienentää rakennuksen käytöstä johtuvaa hiilijalanjälkeä. Lämmityksen tarvetta saadaan vähennettyä hyvällä ilmanvaihtojärjestelmällä, energiatehokkailta rakennuksen ulkokuoren rakenteilla sekä parantamalla rakennuksen ilmatiiveyttä. Ilmanvaihtojärjestelmään kannattaa sisällyttää lämmön talteenotto (LTO). Lämmön

talteenotolla saadaan käytettyä poistoilman lämpö hyväksi ilmanvaihtojärjestelmän ulkoa ottaman ilman esilämmittämiseen. Lisäksi ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho (SFP-luku) pitäisi saada mahdollisimman alhaiseksi. Ominaissähköteho kertoo kuinka paljon sähkötehoa tarvitaan ilmavirran  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  siirtämiseen. Ylimääräisiä lämpöhäviöitä pystytään ehkäisemään rakenteiden kylmäsiltojen ja ilmatiiveyden parantamisella. (Energiatehokas koti 2013) Jäähdytyksen tarpeen vähentämiseksi ikkunoiden läpi tulevaa lämpöä tulisi estää ikkunoiden varjostamisella kesäaikana. Varsinaisina jäähdytysjärjestelminä voidaan käyttää aktiivisia tai passiivisia jäähdytysjärjestelmiä.

Käyttäjäsähkön ja veden kulutukseen rakennuksen käyttäjät pystyvät vaikuttamaan omilla toimillaan enemmän kuin lämmitysjärjestelmän toimintaan. Ylimääräisen veden juoksuttamisen ja sähkölaitteiden päällä pidon vähentäminen vähentää energiankulutuksen lisäksi kustannuksia sekä hiilidioksidipäästöjä. Suuremmille kodinkoneille on annettu energialuokitukset, joiden perusteella pystytään vertailemaan hankintavaihtoehtojen energiankulutuksia keskenään. Käyttäjien kuluttamasta sähköstä valaistus vie suuren osan. Valaistuksessa pystytään säästämään valitsemalla valaisimiksi energiansäästö- tai LED-lamput halogeenilamppujen tilalle. Vedenkulutusta pystytään vähentämään käyttäjän omien toimien lisäksi asentamalla nykyaikaisia vesikalusteita, joiden avulla rajoitetaan veden virtaamaa. Kerros- ja rivitaloissa pystytään vähentämään vedenkulutusta myös asuntokohtaisilla vesimittareilla. Omien vesimittareiden avulla asukkaat harkitsevat enemmän vedenkäyttöä, koska tällöin asukkaat maksavat kokonaisuudessaan oman vedenkulutuksensa. (Sitra 2014)

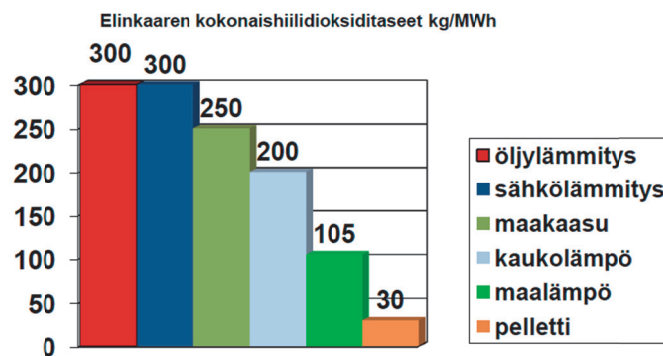
Rakennuksen automatisoinnilla saadaan luotua tasaiset sisäolosuhteet ja sen avulla pystytään välttämään ylimääräistä energiankulutusta. Automaatiolla pystytään ohjaamaan lämmitysjärjestelmiä ja ilmanvaihtoa esimerkiksi vallitsevien ulko- ja sisälämpötilojen mukaan. Kun huoneiston sisälämpötilaa mitataan ja lämmitys- sekä ilmanvaihtojärjestelmää säädetään automaattisesti, vältytään yllilämmittämiseltä ja -jäähdyttämiseltä. Myös valaistuksen automaattinen säätäminen vähentää energiankulutusta, kun valot voidaan sammuttaa automaattisesti käyttämättömistä tiloista. Jos huoneiston asukkaat ovat poissa kotoa esimerkiksi loma-aikana, voidaan huoneiston jäähdytysjärjestelmä kytkeä pois päältä ja lämmitysjärjestelmä asettaa pitämään rakennuksen peruslämpö. Automatisoituja järjestelmiä pystytään säätämään vaikka etäkäyttönä, jolloin lämpötila saadaan takaisin miellyttäväksi ennen kuin palataan takaisin kotiin pidemmältä matkalta. (KNX 2014)

Suomessa käytetään paljon KNX-järjestelmiä rakennusten automaation ohjauksessa. KNX on kansainvälinen väylätekniikkaan perustuva kiinteistöautomaatiostandardi, joka takaa kaikkien KNX-laitteiden yhteensopivuuden. KNX on yksinkertainen ja yleistymässä oleva järjestelmä kotien ja toimistorakennusten automaatiojärjestelmänä. KNX:n avulla pyritään luomaan energiatehokas, muunneltava ja käyttömukava rakennus. (KNX 2014)

Käytönaikaisen energian aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä pystytään vähentämään valitsemalla vähäpäästöinen energianlähde. Esimerkiksi ostetun sähköenergian tuotantomuodon pystyy helposti vaihtamaan sähköyhtiön kautta. Ostosähkön määrää

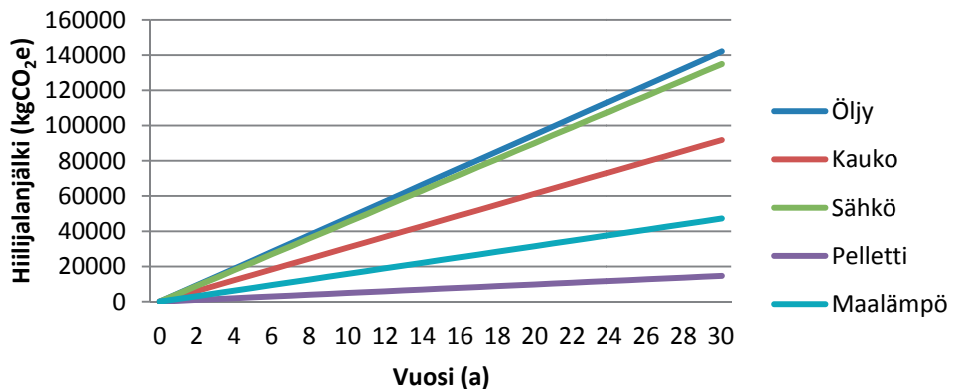
pystytään myös vähentämään omavaraistuotannolla, joista helpoimmin hankittavia ovat tuuli- ja aurinkoenergia. Ne eivät tuota ollenkaan hiilidioksidipäästöjä ja ovat todellista lähienergiaa. Parhaassa tapauksessa ulkopuolista energiaa ei tarvita lainkaan. Tämä ei kuitenkaan käytännössä ole kovinkaan helppo toteuttaa, sillä itse tuotettua sähköä ei ole aina saatavissa aurinko- ja tuuliolojen vaihdellessa.

Eri lämmitysjärjestelmien hiilidioksidin tuotoissa on myös suuria eroja. Pellettien valmistaminen tuottaa noin 90 prosenttia vähemmän hiilidioksidipäästöjä kuin öljyn ja sähkön valmistus. (Bioenergia 2013) Uusien pellettikattiloiden hyötysuhde on lähes yhtä hyvä kuin öljykattiloiden, joten CO<sub>2</sub>-päästöjä on mahdollista vähentää lähes 90 prosenttia lämmitysjärjestelmää vaihtamalla (Energiälämmitys 2014). Eri lämmitysjärjestelmien aiheuttamat hiilidioksidipäästöt ovat kuvattu kuvassa 4.2.



**Kuva 4.2.** Lämmitysjärjestelmien aiheuttamat hiilidioksidipäästöt (Bioenergia 2013).

Pelletit ovat puusta tehtyä uusiutuvaa energiaa, mutta silti sillä on hiilijalanjälki. Usein uusiutuville energioille annetaan hiilijalanjäljeksi 0 g/kWh. Hiilijalanjälkeä määrittäessä tulee kuitenkin ottaa huomioon, että esimerkiksi pellettien tuottaminen ja kuljettaminen aiheuttaa kasvihuonekaasupäästöjä. Kuvaan 4.3 on havainnollistettu eri lämmitysjärjestelmien energian hiilijalanjäljen kertyminen 30 vuoden ajalta pientalossa, jonka tilojen ja lämpimän käyttöveden lämmitystarve on 15000 kWh vuodessa. Laskennassa on käytetty kuvan 4.2 mukaisia päästöarvoja.

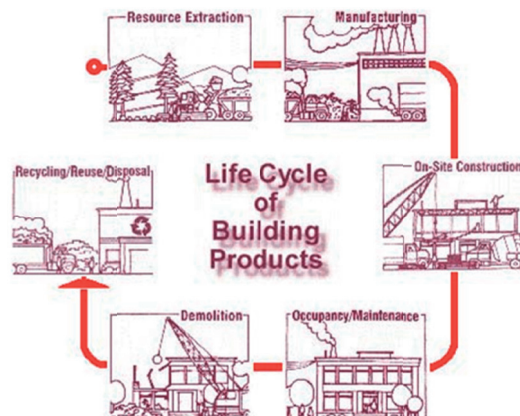


**Kuva 4.3.** Eri lämmitysjärjestelmien aiheuttama hiilijalanjälki pientalossa 30 vuoden aikana.

Kuvassa 4.3 öljy- ja sähkölämmityksen arvot eroavat toisistaan vaikka niillä on samansuuruinen päästökerroin. Ero johtuu öljykattilan huonommasta hyötysuhteesta. Kuvasta havaitaan, että pellettilämmityksen hiilijalanjälki on huomattavasti pienempi kuin muiden vaihtoehtojen. Toiseksi paras vaihtoehto on maalämpö ja sen jälkeen kaukolämpö. Maalämmön aiheuttama hiilijalanjälki on kuitenkin yli kolminkertainen pellettiin verrattuna. Öljy- ja pellettilämmityksen ero on noin 90 prosenttia.

#### 4.2.2 Materiaalit

Energiantarpeen vähentyessä rakennusmateriaalien osuus rakennuksen kokonaispäästöistä kasvaa, jolloin materiaalivalinnat tulevat hiilijalanjäljen kannalta merkittävämmiksi. Onkin tärkeää tietää eri materiaalien vaikutukset ympäristöön, jotta pystytään valitsemaan kustannuksien ja ympäristövaikutusten kannalta järkevät materiaalit. Materiaalien hiilijalanjälki muodostuu raaka-aineiden hankinnasta, kuljetuksista ja valmistuksesta. Lisäksi materiaalien kierrätysmahdollisuudet rakennuksen purkuvaiheessa vaikuttavat materiaalien osalta rakennuksen kokonaisympäristövaikutukseen. Kuvassa 4.4 on kuvattu rakennusmateriaalien elinkaaren kiertokulku materiaalin raaka-aineiden hankinnasta kierrätykseen.



**Kuva 4.4.** Rakennusmateriaalien elinkaari (Jonathan Ochshorn 2012).

Eri valmistajien materiaaleilla voi olla suuriakin eroja hiilidioksidipäästöissä. Esimerkiksi Kiinasta ja Suomesta hankitulla teräksellä on hyvin erilaiset päästöarvot. Suomesta hankittu teräs on huomattavasti ympäristöystävällisempi, sillä sen valmistuksesta aiheutuvat päästöt ovat pienemmät tiukempien päästövaatimusten takia. (Green Building Council 2013a) Jotta materiaaleja voidaan luotettavasti vertailla keskenään, tulee niiden aiheuttaman hiilijalanjäljen määrittely olla yhdenmukaista ja läpinäkyvää. Materiaaleista pyritään saamaan hiilijalanjäljeltään parempia. Esimerkiksi Rudus Oy onkin tuonut markkinoille Vihreän betonin, jonka tuotannon hiilidioksidipäästöt ovat 20-50 prosenttia tavallista betonia pienemmät. (Rudus 2011)

Rakennusmateriaaleille on luotu standardeja mutta todellisia vaatimuksia ympäristövaikutusten kannalta ei ole. Materiaalien hiilijalanjälki vaikuttaa suoraan rakennuksen osuuteen kokonaishiilijalanjäljestä. Materiaalien ja rakenteiden muut ominaisuudet,

kuten U-arvot vaikuttavat energiantarpeen kautta kokonaishiilijalanjälkeen. Rakennusmateriaalien U-arvojen vaatimukset ovat kehittyneet taulukon 4.5 mukaisesti. Siten myös energiantarve ja sen aiheuttama hiilijalanjälki on saatu vuosien saatossa pienene-mään. Vaikka käytettävien materiaalien hiilijalanjälki olisikin alhainen, on huomioitava mahdollinen energiantarpeen kasvu. Rakennusta suunniteltaessa ja materiaaleja valitta-essa tulee huomioida rakennuksen koko elinkaari kokonaisuutena.

**Taulukko 4.5.** Rakennusmateriaalien U-arvojen vaatimustason kehitys (Equa Simulati-on Finland 2013).

Rakennusosa	Rakennusluvan vireilletulovuosi								
	-1969	1969-	1976-	1978-	1985-	10/20 03-	2008-	2010-	2012-
<b>Lämpimät tilat</b>									
Ulkoseinä	0.81	0.81	0.70	0.35	0.28	0.25	0.24	0.17	0.17
Maanvarainen alapohja	0.47	0.47	0.40	0.40	0.36	0.25	0.24	0.16	0.16
Ryömintätilainen alapohja	0.47	0.47	0.40	0.40	0.40	0.20	0.20	0.17	0.17
Ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0.35	0.35	0.35	0.29	0.22	0.16	0.16	0.09	0.09
Yläpohja	0.47	0.47	0.35	0.29	0.22	0.16	0.15	0.09	0.09
Ovi	2.2	2.2	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.0	1.0
Ikkuna	2.8	2.8	2.1	2.1	2.1	1.4	1.4	1.0	1.0

Betonirakenteisen rakennuksen materiaalien hiilijalanjäljestä noin 60 prosenttia muodostuu runkorakenteista, jotka muodostavat myös suurimman osan rakennuksen painosta. Painavat materiaalit vaikuttavatkin kevyitä materiaaleja enemmän elinkaaren aikaiseen hiilijalanjälkeen. (Puuinfo 2013) Taulukkoon 4.6 on koottu vuonna 2011 rakennetun 7 kerroksisen A-energialuokan betonielementtiasuinkerrostalon materiaalien massa- ja hiilijalanjälkiarvio. Massojen ja materiaalien hiilijalanjäljen vaihteluväli on suhteellisen suuri, sillä jokainen rakennus on erilainen. Laskettuna arvona on käytetty perustapausta, joka kuvaa vuonna 2011 valmistunutta asuinkerrostaloa. Vaihteluväli on haettu muokkaamalla perustapauksen rakenteita ja suunnitteluratkaisuja. (Ympäristömi-nisteriö 2013c)

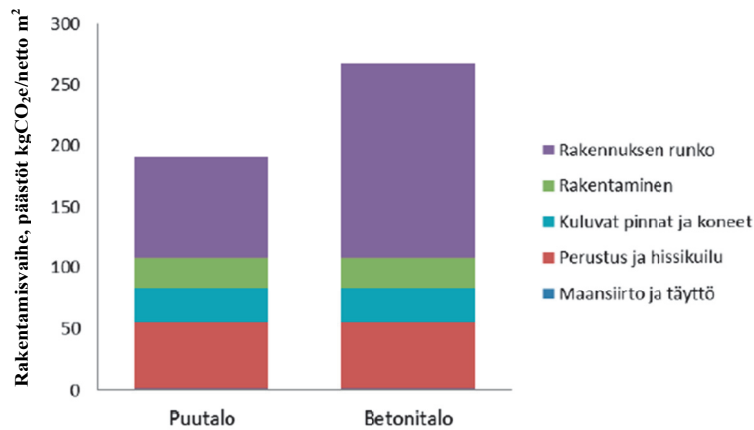
**Taulukko 4.6.** 7-kerroksisen betonielementtitalon arvioitu massa sekä materiaalien hiilijalanjälki (Ympäristöministeriö 2013c).

	Massa Perustapaus (tn)	Vaihteluväli, min... max, (tn)	CO <sub>2</sub> -ekv Perustapaus (tn)	Vaihteluväli min... max (tn)
Maa-ainekset	252	0... 1508	1	0... 7
Paalutus	146	0... 518	21	0... 75
Perustukset	292	164... 460	34	19... 54
Alapohjat	286	232... 407	23	21... 45
Erillinen, kantava rakennusrunko	0	60... 0	0	21... 0
Ulkoseinät	664	302... 1028	185	83... 267
Väliseinät	624	213... 624	126	59... 126
Välipohjat	1143	529... 1611	212	121... 256
Yläpohjat	204	51... 358	58	24... 82
Parvekkeet	461	130... 461	93	35... 93
Hormit	78	9... 78	16	4... 16
Portaat	6	1... 6	1	0... 1
Ei-kantavat väliseinät	48	39... 77	17	14... 30
Ikkunat, ovet, lasitukset	30	23... 38	54	42... 69
Kalusteet, varusteet, pintamateriaalit	99	75... 125	65	49... 82
Rakenteisiin kiinnittämättömät materiaalmäärät	35	26... 44	18	13... 22
Talotekniset järjestelmät	22	14... 29	31	23... 38
Korjaukset, 50 vuoden elinkaari	322	238... 408	281	211... 354
Korjaukset, 100 vuoden elinkaari	886	604... 1291	713	489... 918
Yhteensä, 50 vuoden elinkaari	4712	2106... 7780	1235	741... 1617
Yhteensä, 100 vuoden elinkaari	5276	2472... 8663	1667	1020... 2181

Taulukon 4.6 mukaisen kohteen mukaan suurimmat kasvihuonekaasupäästöjä aiheuttavat tekijät ovat rakennuksen korjaukset ja rakenteista välipohjat, ulkoseinät, väliseinät sekä parvekkeet. Rakennusmateriaalien elinikä vaikuttaa myös paljon hiilijalanjälkeen. Lyhytikäisiä materiaaleja joudutaan korjaamaan ja vaihtamaan, jolloin tarvitaan lisää materiaaleja. Vaikka pitkäikäinen materiaali aiheuttaisikin paljon hiilidioksidipäästöjä, voi se olla ympäristöystävällinen vähäsen korjaustarpeen johdosta.

Painavan betoniseinän valmistus voi aiheuttaa jopa kymmenkertaisen hiilijalanjäljen verrattuna ekovillalla eristettyyn puuseinään (Maaseudun tulevaisuus 2011). Kuvassa 4.7 on kuvattu passiivitasoisen puu- ja betonirakenteisen asuinkerrostalon rakentamisvaiheen hiilijalanjäljen jakautuma. Kuvan mukaiset päästöarvot eivät ota huomioon materiaalien kierrätystä eivätkä niihin sitoutunutta hiiltä. Puumateriaalien tuottaminen kuluttaa vähän ympäristöä ja ne sitovat hiiltä pitkäksi aikaa. Puumateriaalit voidaan usein kierrättää tai hävittää polttamalla, jolloin niistä saadaan energiaa talteen polttolaitoksessa. Rakennusalalla pyritään kehittämään kierrätettäviä materiaaleja, joiden avulla pystyttäisiin pienentämään rakennusten aiheuttamia ympäristövaikutuksia. (Ympäristöministeriö 2013c)





*Kuva 4.7. Passiivitasoisen puu- ja betonirakenteisen asuinkerrostalon rakentamisvaiheen CO<sub>2</sub>e-päästöjen jakauma (Sitra 2011).*

Kuvan 4.7 mukaan rakennuksen runko on suurin päästöjä aiheuttava tekijä. Puutalon rungon aiheuttama hiilijalanjälki on noin 40 prosenttia pienempi kuin betonitalon. Muut rakentamisen päästöt ovat yhtä suuret molemmissa rakennuksissa.

#### 4.2.3 Kustannukset

Rakennuksen suunnittelulla on tärkeä rooli kokonaisenergiakulutusten määräytymisessä. Suunnittelun aikana päätetään 90 prosenttia rakennuskustannuksista ja 80 prosenttia elinkaaren käyttökustannuksista (Keski-Suomen Energiatoimisto 2011). Rakennuksen kustannuksista suuri osa muodostuu tarvittavista materiaaleista ja työn määrästä. Käyttökustannukset muodostuvat tarvittavan energian ja veden hankinnasta sekä rakennuksen ylläpidosta.

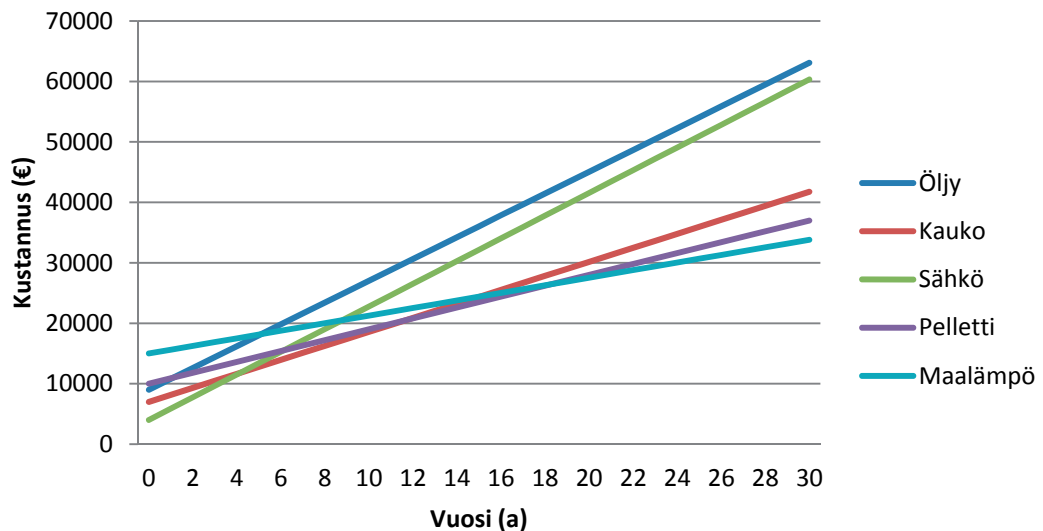
Hiilijalanjäljen alentaminen ei välttämättä tarkoita rakennuksen kustannuksien kasvua. Rakennukset, joissa on käytetty paljon puuta, voivat olla jopa edullisempia kuin betonirakenteiset. Puurakenteilla pystytään myös saavuttamaan samantasoisia lämmönläpäisykertoimia kuin betonirakenteiden kanssa. (EstiModel) Eli tarvittavan energian määrä pysyy samana.

Käytön aikaisen energian tuotannolla on merkitystä hiilijalanjälkeen. Maalämpö ja pellettilämmitys ovat ympäristöystävällisiä lämmitysmuotoja. Niiden investointihinta on hieman korkeampi kuin sähkö-, kaukolämpö- ja öljyjärjestelmillä. Pelletti ja maalämpö ovat kuitenkin edullisia käyttökustannuksiltaan. Kaukolämpö on edullinen vaihtoehto, mutta sitä voidaan käyttää vain jos rakennus sijaitsee kaukolämpöverkkoalueella. (Energianeuvonta 2014) Taulukkoon 4.1 on kerätty pientalon eri lämmitysjärjestelmien kustannuksia ja hiilidioksidipäästöjen määrä.

**Taulukko 4.1.** Pientalon lämmitysjärjestelmien kustannukset (Energianeuvonta 2014, Bioenergia 2013).

Lämmitysjärjestelmä	Investointihinta (€)	Lämmityksen hinta (snt/kWh)	Hiilidioksidipäästöt (g/kWh)
Öljy	9000	12,02	300
Kaukolämpö	7000	7,72	200
Sähkö	5000	12,52	300
Pelletti	10000	6,00	30
Maalämpö	15000	4,18	105

Taulukon 4.1 tietojen perusteella on luotu kuvan 4.8 kuvaaja. Kuvassa 4.8 on pientalon lämmitysenergian kustannukset kun käyttöaika on 30 vuotta ja energiantarve 15000 kWh. Kuvaajaan ei ole otettu huomioon mahdollisia huolto- ja korjauskustannuksia eikä energianhinnan nousua. Kuvajasta nähdään, että kokonaiskustannuksiltaan edullisimmat lämmitysjärjestelmät ovat maalämpö, pellettilämmitys ja kaukolämpö. Sähkö- ja öljylämmitys ovat selvästi kalliimpia.

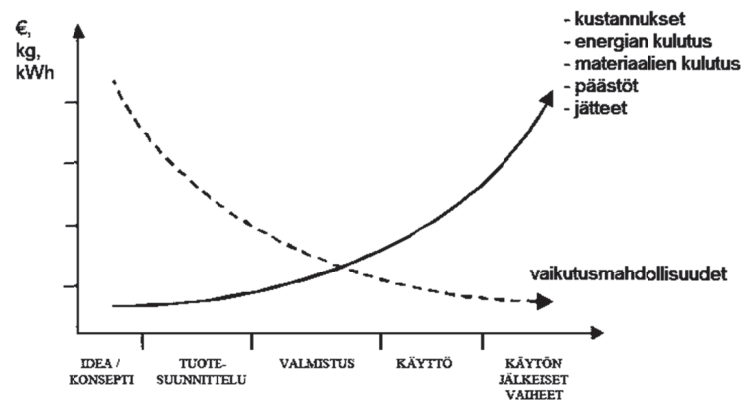


**Kuva 4.8.** Eri lämmitysjärjestelmien aiheuttama kokonaiskustannus pientalossa 30 vuoden aikana.

Aurinkopaneeleilla saadaan tuotettua ilmaista ja puhdasta energiaa itse. Niiden investointikustannukset ovat korkeita, mutta takaisinmaksuajaksi arvioidaan 10-15 vuotta (Suomen ympäristökeskus 2014). Aurinkopaneelit tuottavat puhdasta energiaa, mutta itse paneelilla on myös oma hiilijalanjälkensä. Laitteistojen valmistuksessa tarvitaan energiaa ja siinä vapautuu hiilidioksidipäästöjä. Aurinkopaneelit tuottavat alle kolmessa vuodessa sen valmistamiseen tarvittu energia ja ne säästävät alle kahdessa vuodessa paneelien valmistuksen aiheuttamat hiilidioksidipäästöt. (Naps Systems 2013)

### 4.3 Elinkaariominaisuuksien hallinta prosessissa

Rakennuksen elinkaariominaisuuksiin pystytään vaikuttamaan helpoiten ja kustannustehokkaimmin jo rakennuksen suunnitteluvaiheessa. Myöhemmin vaikutusmahdollisuudet ovat rajallisia ja muutokset voivat olla hyvinkin kalliita toteuttaa. Kuvassa 4.9 on havainnollistettu elinkaariominaisuuksien kertyminen ja vaikutusmahdollisuuksien muutos niiden pienentämiseksi rakennuksen elinkaaren aikana.



*Kuva 4.9. Elinkaariominaisuuksien ja vaikutusmahdollisuuksien kehitys tuotteen elinkaaren aikana (Ilmasto-opas 2011).*

Rakennuksen rakenteiden ja taloteknisten järjestelmien elinkaarisuunnittelussa otetaan huomioon niiden taloudellisuus, energiatehokkuus, ympäristöystävällisyys, käyttöikä, huollettavuus ja korjattavuus. Rakennuksen hankesuunnittelussa saadaan arvioitua rakennuksen tarvittavien materiaalien määrät sekä arvio rakennuksen tarvitsemista energioista elinkaaren aikana. Näiden avulla pystytään laskemaan GBC Finlandin hankevaiheen elinkaarimittarien tunnusluvut ja käyttämään niitä suunnitelmien arvioinnissa.

#### 4.3.1 Työkalut

Elinkaariominaisuuksien hallinnan apuna voidaan käyttää monenlaisia ohjeita ja ohjelmia. GBC Finlandin elinkaarimittarien laskentamenetelmät toimivat hyvinä ohjeina hiilijalanjäljen laskentaan. Laskentamenetelmistä nähdään mitä asioita laskentaan tulee ottaa huomioon. Laskenta voidaan suorittaa monella tavalla eikä mikään ole absoluuttisen oikea tapa. Laskennoissa käytettävät arvot ovat vain mahdollisimman tarkkoja arvioita, joten niiden takia elinkaarilaskennan tulokset saattavat hieman vaihdella.

Rakennuksen materiaalien hiilijalanjäljenlaskentaan on tehty ohjelmia. Esimerkiksi VTT ylläpitää ILMARI-laskuria, jolla pystytään arvioimaan rakennuksen hiilijalanjälki. Laskuri ottaa huomioon merkittävimmät rakennusosat sekä niiden kuljetukset ja materiaalihukan. (VTT 2013) Suomen ympäristökeskus on kehittänyt SYNERGIA-työkalun, jolla myös pystytään arvioimaan rakennuksen päärakenteiden hiilijalanjälkeä.

SYNERGIA -työkalu ottaa huomioon ainoastaan materiaalien ja sen valmistuksen aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt. (Suomen ympäristökeskus 2013)

Rakennuksen käytönaikaisen energiankulutuksen hiilijalanjälki voidaan laskea tarvittavan energian ja energiantuoton yksikköhiilijalanjäljen tulona. Käytönaikaisen energiantarpeen laskentaan voidaan käyttää tietokoneohjelmistoja, kuten IDA ICE ja Riuska. Nämä ohjelmat pystyvät simuloimaan rakennuksen energiantarpeen koko vuoden ajalta. Ohjelmistojen avulla pystytään arvioimaan erilaisten rakenneratkaisujen vaikutusta elinkaarimittareiden tunnuslukuihin. Käytönaikaisen vedenkulutuksen hiilijalanjälki lasketaan samalla tavalla kuin energiankin.

GBC Finlandin elinkaarimittarit ja ympäristöluokitusjärjestelmät toimivat omalta osaltaan työkaluina rakennuksen arvioinnissa. Uudisrakennuksille pakollista E-lukua voidaan myös käyttää eräänlaisena suunnittelun työkaluna.

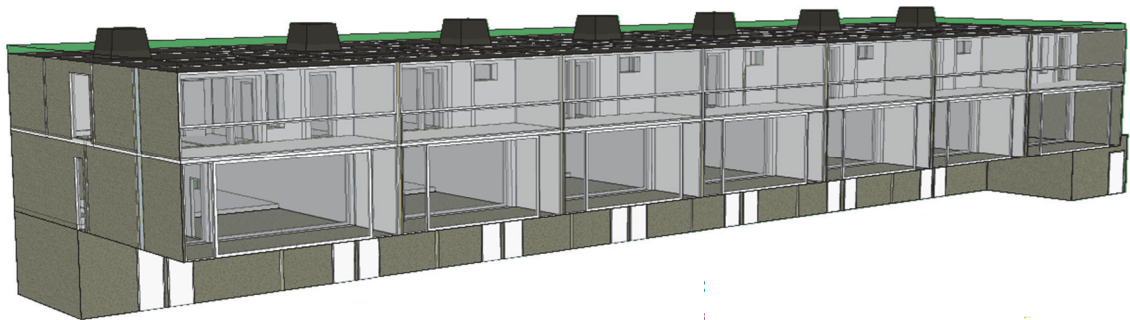
## 5 CASE-KOhteet

Tässä työssä käsitellään kaksi erilaista case-kohdetta, Munkkiniemenranta ja Loft-tehdas. Case-kohteille lasketaan GBC Finlandin hankevaiheen elinkaarimittareiden tunnusluvut käyttämällä elinkaarimittarien laskentaohjeita, IDA ICE ja NCC:n EstiModel -ohjelmistoja. IDA ICE ohjelmalla saadaan laskettua rakennuksen energiantarpeet simuloimalla rakennus koko vuoden ajalta. EstiModel ohjelmaa käytetään rakennuksen rakentamiskustannusten sekä rakennuksen materiaalien ja kunnossapidon hiilijalanjäljen arviointiin. Käytönaikaisen energian- ja vedenkulutuksen hiilijalanjälki lasketaan arviotujen kulutusten ja keskimääräisten päästökertoimien avulla. Käyttövaiheen mittareita ei tässä lasketa, sillä ne tarvitsevat rakennuksen todellisia käytönaikaisia mittauksia ja kulutuslukemia.

Laskennan pohjana käytetään määräykset täyttävää perustapauksen suunnitelmaa rakennuksesta. Työn tavoitteena on muuttaa suunnitteluratkaisuja eri skenaarioissa, siten että rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkeä ja E-lukua saataisiin pienennettyä. Hiilijalanjäljen laskentaa ei suoriteta erityisen tarkasti. Tässä työssä tarkastellaan vain suuntaa antavasti miten paljon eri suunnitteluratkaisut vaikuttavat elinkaaren hiilijalanjälkeen.

### 5.1 Munkkiniemenranta

As Oy Munkkiniemenranta 47 on Helsingin Munkkiniemenrantaan rakennettava seitsemän asunnon rivitalo. Asunnot ovat kolmekerroksisia, joista alin kerros on osittain maanalainen. Kuvassa 5.1 on rakennuksen 3D-mallinnus, joka on luotu IDA ICE -ohjelmistolla. Kuvassa on kuvattu ainoastaan lämpimät tilat. Lämpimien tilojen lisäksi rakennuksen keskimmäisen kerroksen parvekkeiden edessä on terassialuetta ja alapuolella on jokaiselle asunnolle oma autotalli.



*Kuva 5.1. AS Oy Munkkiniemenranta 47:n IDA ICE 3D-mallinnus.*

Kyseiselle kohteelle tehdään tarkasteluja seitsemässä eri skenaariossa, joissa jokaisessa muutetaan jotain rakennuksen ominaisuutta. Skenaarioiden tärkeimmät tulokset taulukoidaan ja lasketaan GBC Finlandin elinkaarimittarien tunnusluvut. Tuloksista tarkastellaan erityisesti ensimmäisen ja viimeisen skenaarion elinkaarimittareiden tunnuslukuja. Skenaarioiden muutokset tehdään aina edelliseen skenaarioon nähden. Eli esimerkiksi 4. skenaario sisältää 2. ja 3. skenaarion muutokset.

Ensimmäinen skenaario on määräykset täyttävä perustapaus, jota yritetään seuraavilla skenaarioilla parantaa. Toisessa skenaariossa vaihdetaan rakennuksen ikkunat lämmönläpäisykertoimeltaan 0,6 W/m<sup>2</sup>K arvoiksi. Uusien ikkunoiden g-arvo on 0,49. Samassa skenaariossa muutetaan myös rakennuksen ulkoseinät ja yläpohja puurakenteisiksi. Samalla lämmönläpäisykertoimet paranevat ulkoseinien osalta arvoon 0,15 W/m<sup>2</sup>K ja yläpohjan arvoon 0,08 W/m<sup>2</sup>K. Kolmannessa skenaariossa parannetaan rakennuksen ilmanvuotolukua (n<sub>50</sub>) arvosta 2 1/h arvoon 1 1/h. Neljännessä skenaariossa ilmanvuotolukua parannetaan entisestään arvoon 0,5 1/h, joka täyttää jo passiivitalon vaatimuksen 0,6 1/h. Viidenteen skenaarioon otetaan käyttöön hyötysuhteeltaan hieman parempi lämmön talteenottojärjestelmä. Kuudenteen skenaarioon vaihdetaan lämmitys-järjestelmä kaukolämmöstä pellettikattilaan. Viimeiseen skenaarioon otetaan käyttöön 100 m<sup>2</sup> aurinkosähköpaneelit, jotka sijoitetaan rakennuksen katolle näyttämään etelän suuntaan ja 40 asteen kulmaan. Taulukkoon 5.1 on koottu kaikkien skenaarioiden lähtötiedot.

*Taulukko 5.1. Skenaarioiden lähtötiedot.*

	Skenaario 1	Skenaario 2	Skenaario 3	Skenaario 4	Skenaario 5	Skenaario 6	Skenaario 7
Ikkunoiden U-arvo (W/m <sup>2</sup> K)	1,0	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Ikkunoiden g-arvo	0,55	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
Ulkoseinien U-arvo (W/m <sup>2</sup> K)	0,17	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Yläpohjan U-arvo (W/m <sup>2</sup> K)	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Lämmitysjärjestelmä	Kaukol.	Kaukol.	Kaukol.	Kaukol.	Kaukol.	Pellettik.	Pellettik.
Energiantuotanto	-	-	-	-	-	-	Aurinkop. 100m <sup>2</sup>
Rakenne	Betoni	Puu	Puu	Puu	Puu	Puu	Puu
Ilmavuotoluku, n <sub>50</sub> -luku (1/h)	2,0	2,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5
LTO:n hyötysuhde	0,64	0,64	0,64	0,64	0,85	0,85	0,85

Taulukon 5.1 lähtötietojen ja alkuperäisen IDA ICE -mallin perusteella tehdään jokaiselle skenaariolle IDA ICE -simulointi koko vuoden ajalta. Saadut tulokset taulu-

koidaan taulukkoon 5.2. EstiModel -ohjelmalla arvioidut skenaarioiden investointikustannukset ja rakennuksen hiilijalanjäljet ovat koottu myös taulukkoon 5.2. Materiaalien hiilijalanjäljen laskennassa käytetään GBC Finlandin mukaista rajausta. Laskelmiin otetaan mukaan kaikki muut materiaalit paitsi sisustukselliset pintamateriaalit, kiinteät ja irtokalusteet sekä asukkaiden oma irtaimisto. Rakennuksen hiilijalanjälkeen on arvioitu materiaalien kuljetuksesta aiheutuvat CO<sub>2</sub>e-päästöt mukaan. EstiModel:n elinkaariarvioksi on asetettu 60 vuotta. EstiModel laskee asetetun ajan aikana vaadittavat korjaustarpeet ja niiden aiheuttamat kustannukset ja hiilijalanjäljen.

**Taulukko 5.2. IDA ICE -simulointien ja EstiModel:n tulokset.**

	Skenaario 1	Skenaario 2	Skenaario 3	Skenaario 4	Skenaario 5	Skenaario 6	Skenaario 7
Tilojen lämmitys (kWh)	74700	67500	52300	45800	46300	46300	46300
Tilojen jäähdytys (kWh)	6800	7900	9000	9700	9700	9700	9700
Ostosähkö (kWh)	46700	47100	47800	48300	48200	48200	37400
Ostolämpö (kWh)	149400	141800	125600	118600	112800	115700	115700
Investointikustannukset (1000 €)	3940	3520	3520	3520	3520	3520	3550
Kunnossapitokustannukset (1000 €)	1700	1730	1730	1730	1730	1730	1730
Rakennuksen hiilijalanjälki (tnCO <sub>2</sub> e)	850	720	720	720	720	720	730
Kunnossapidon hiilijalanjälki (tnCO <sub>2</sub> e)	370	340	340	340	340	340	350

Käytönaikaisen energian eri tuotantomuodoilla on erilaiset hankintakustannukset ja päästöarvot. Taulukkoon 5.3 on kerätty tämän kohteen ostoenergian kustannusten ja hiilijalanjäljen laskentaan tarvittavat kertoimet.

**Taulukko 5.3. Energian kustannukset ja päästöt (Bioenergia 2013).**

	Kaukolämpö	Pelletti	Sähkö
Energian hinta (€/kWh)	0,0757	0,0552	0,1252
Hiilijalanjälki (g/kWh)	200	30	300

Simulointien avulla saadaan luotua E-lukujen laskentaan tarvittavat tiedot. E-luvut lasketaan Optiplanin Excel-pohjaisella E-lukulaskurilla. Lasketut E-luvut ja niiden mukaiset energialuokat on kerätty taulukkoon 5.4. Taulukon 5.2 energiantarpeiden ja taulukon 5.3 mukaisten energian hintojen ja päästöarvojen avulla saadaan muodostettua

taulukon 5.4 mukaiset ostoenergian kustannukset, hiilijalanjälki sekä niiden prosentuaaliset muutokset edelliseen skenaarioon verrattuna.

**Taulukko 5.4. E-luku ja ostoenergian tunnusluvut.**

	Skenaario 1	Skenaario 2	Skenaario 3	Skenaario 4	Skenaario 5	Skenaario 6	Skenaario 7
E-luku (kWh/m <sup>2</sup> )	135	132	124	121	118	103	89
Energialuokka	C	C	C	C	C	B	B
Ostoenergian kustannukset (1000 €/a)	17,2	16,6	15,5	15,0	14,6	14,8	13,4
Kustannusten muutos edelliseen skenaarioon (%)	-	-3,1	-6,8	-3,0	-3,0	1,5	-9,1
Ostoenergian hiilijalanjälki (tnCO <sub>2</sub> e/a)	44	43	40	38	37	18	15
Hiilijalanjäljen muutos edelliseen skenaarioon (%)	-	-2,3	-7,0	-5,0	-2,6	-51,4	-16,7

Elinkaaren hiilijalanjälkeen on otettu huomioon rakennuksessa käytetyn käyttö- ja jäteveden puhdistuksen hiilijalanjälki. Laskennassa on oletettu, että veden ja jäteveden puhdistus aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä 466 g/m<sup>3</sup>. Rakennuksen käyttäjien lukumääräksi on oletettu 30 ja vedenkulutukseksi 158 l/vrk/hlö. (Helsingin seudun ympäristöpalvelut 2010) Näillä arvoilla tässä rakennuksessa kulutetun veden aiheuttama hiilijalanjälki on noin 48 tnCO<sub>2</sub>e elinkaaren aikana. Käyttö- ja jäteveden kustannuksiksi on arvioitu 3 €/m<sup>3</sup>. Tämän perusteella rakennuksen 60 vuoden elinkaaren vedestä aiheutuvat kustannukset ovat noin 311 000 €. Rakennuksen hiilijalanjäljen laskentaan on laskettu myös rakennuksen purkamisesta aiheutuva hiilijalanjälki, joka voidaan GBC Finlandin ohjeiden mukaisesti olettaa olevan 20 kgCO<sub>2</sub>e/brutto m<sup>2</sup>. Tämän rakennuksen osalta se on noin 38 tnCO<sub>2</sub>e.

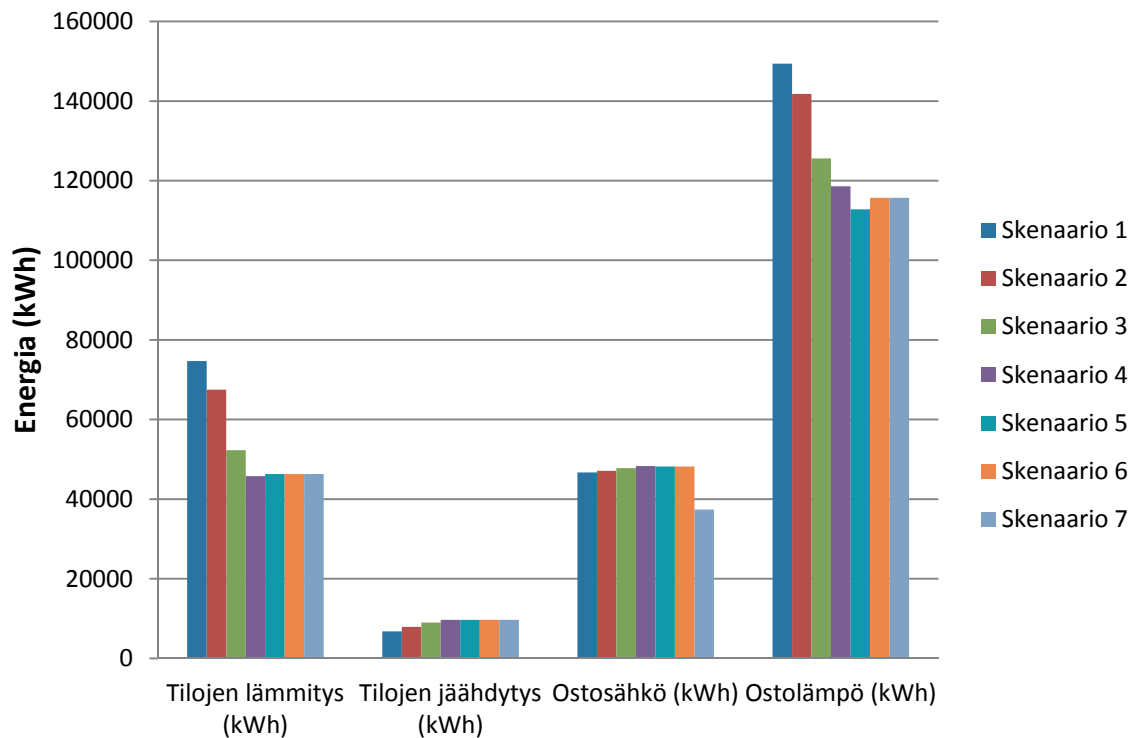
Ottamalla huomioon simulointien avulla saadut tulokset, purkamisen ja veden puhdistuksen aiheuttamat päästöt ja kustannukset, saadaan laskettua haluttujen elinkaarimittarien tunnusluvut. Taulukkoon 5.5 on laskettu elinkaarikustannukset, elinkaaren hiilijalanjälki sekä skenaarioiden avulla saadut prosentuaaliset muutokset aina edelliseen skenaarioon verrattuna.



**Taulukko 5.5. Elinkaarimittareiden tunnusluvut.**

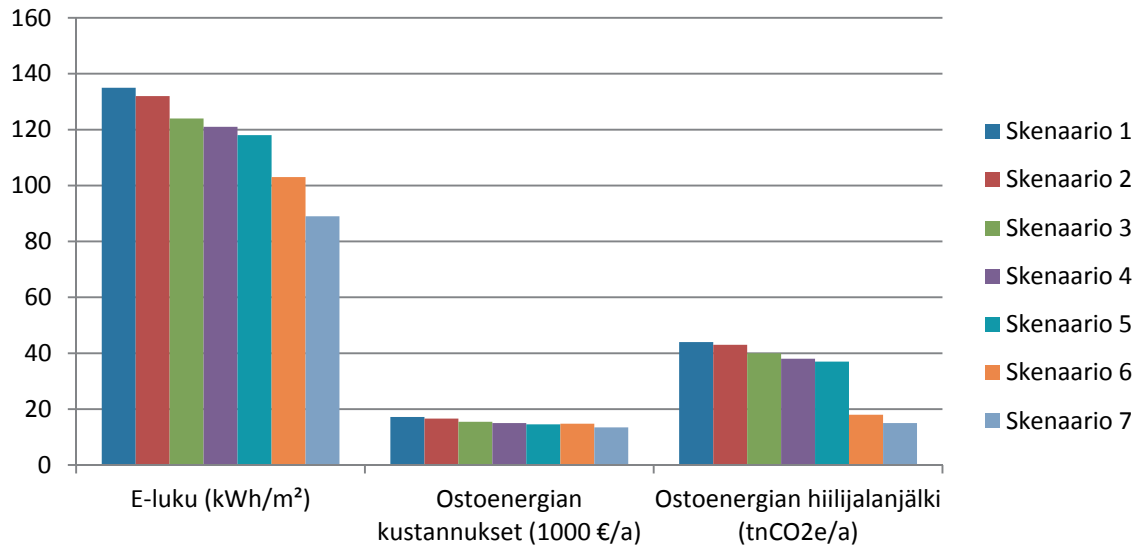
	Skenaario 1	Skenaario 2	Skenaario 3	Skenaario 4	Skenaario 5	Skenaario 6	Skenaario 7
Elinkaarikustannukset (1000 €/60a)	6980	6560	6490	6460	6440	6450	6400
Kustannusten muutos edelliseen skenaarioon (%)	-	-6,0	-1,1	-0,5	-0,3	0,2	-0,8
Elinkaaren hiilijalanjäl- ki (tnCO <sub>2</sub> e/60a)	3965	3744	3564	3444	3384	2244	2078
Hiilijalanjäljen muutos edelliseen skenaarioon (%)	-	-5,6	-4,8	-3,4	-1,7	-33,7	-7,4

Taulukoiden 5.2, 5.4 ja 5.5 perusteella pystytään luomaan kuvien 5.2, 5.3 ja 5.4 mukaiset kuvaajat. Kuvaajat havainnollistavat hyvin eri skenaarioilla saatuja hyötyjä.

**Kuva 5.2. Lämmityksen ja jäähdytyksen tarve sekä ostoenergioiden määrät eri skenaarioissa.**

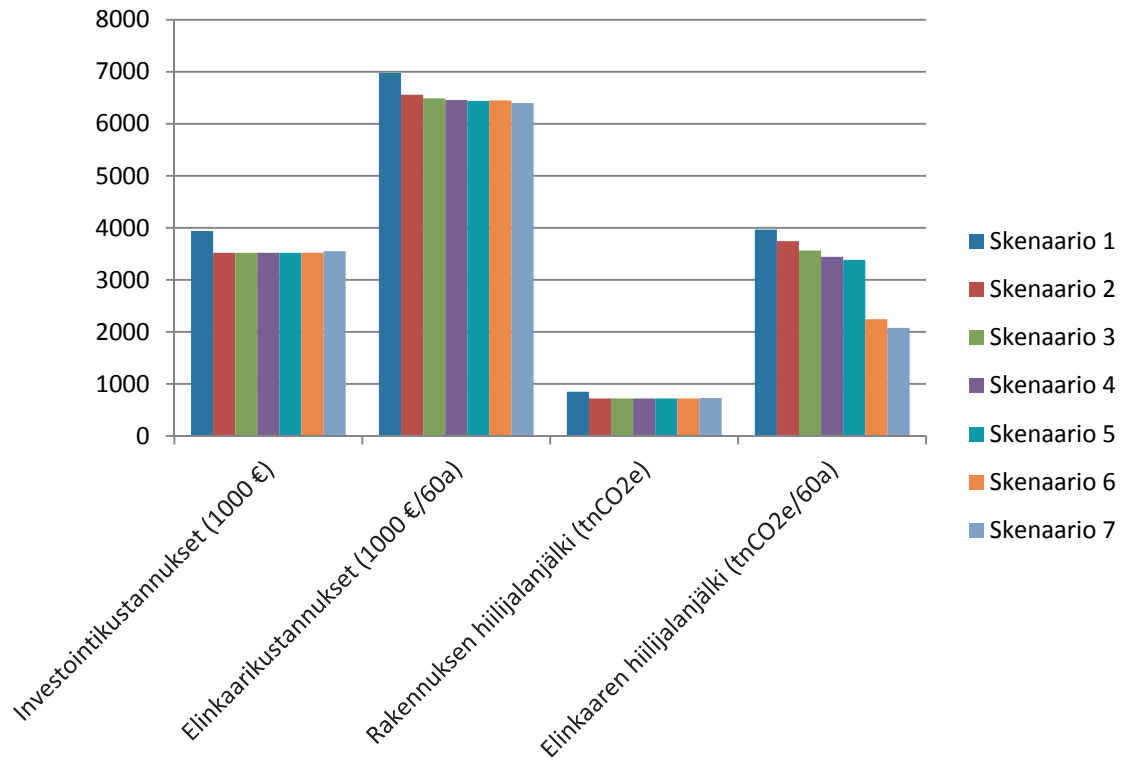
Kuvasta 5.2 havaitaan, että skenaarioiden avulla saatiin vähennettyä tilojen lämmitystarvetta. Samalla jäähdytysenergian tarve kasvoi. Ostosähkön määrä kasvoi

hieman lisääntyneen jäähdytystarpeen myötä. Viimeisen skenaarion aurinkosähköpaneelilla tuotetulla sähköllä saatiin kuitenkin ostosähkön kokonaistarvetta vähennettyä selvästi. Rakennuksen ilmanpitävyyden parantamisella saatiin eniten vähennettyä lämmitystarvetta sekä ostoenergian määrää. Ikkunoiden, seinien ja katon lämmönläpäisykertoimen parantamisella saatiin myös selviä säästöjä.



**Kuva 5.3.** E-luku sekä ostoenergian tunnusluvut eri skenaarioissa.

Kuvasta 5.3 ja taulukosta 5.4 havaitaan että skenaarioiden muutoksilla saatiin hyötyjä E-lukuun sekä ostoenergian kustannuksiin ja hiilijalanjälkeen. E-luku pieneni yhteensä  $46 \text{ kWh/m}^2$ , ostoenergian kustannukset noin 22 prosenttia ja ostoenergian hiilijalanjälki noin 66 prosenttia. Suurin vaikutus ostoenergian hiilijalanjälkeen saatiin skenaariolla kuusi, jolla otettiin käyttöön uusiutuvaa energiaa käyttävä pellettikattila. Pellettilämmityksen hiilijalanjälki on hyvin alhainen verrattuna muihin yleisiin lämmitysmuotoihin. Aurinkosähköpaneelien avulla saadut suuret muutokset E-luvussa johtuvat siitä, että aurinkopaneelilla korvataan ostosähköä. Kaikista energiamuodoista ostosähköllä on suurin energiamuodonkerroin E-luvun laskennassa.

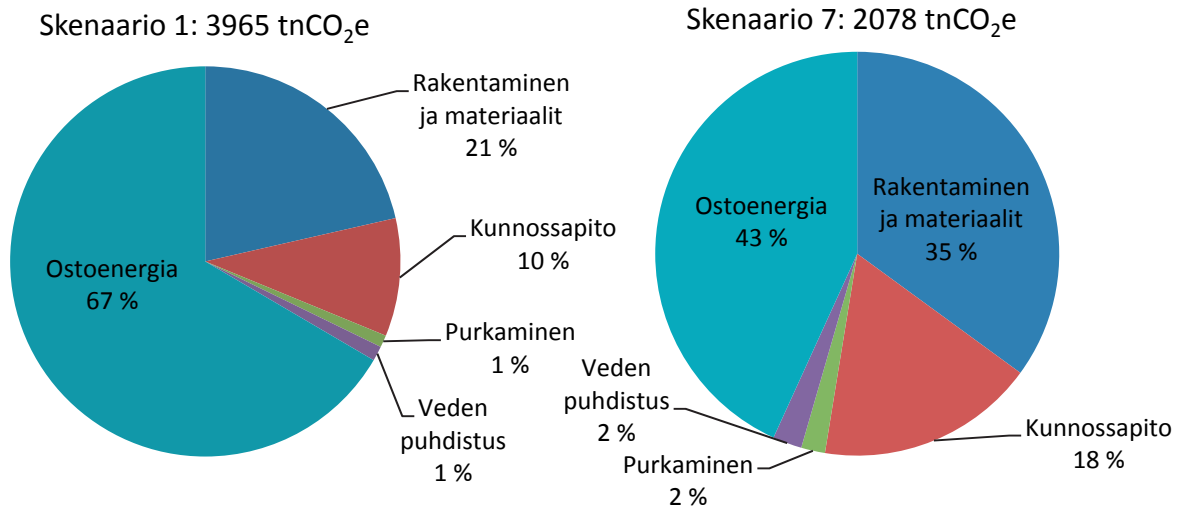


**Kuva 5.4.** Elinkaaren sekä rakennuksen tunnusluvut eri skenaarioissa.

Kuvasta 5.4 nähdään, että toisella skenaariolla saatiin eniten laskettua investointikustannuksia. Investointikustannukset vähenivät lisääntyneen puun käytön myötä. Samalla pieneni myös rakennuksen aiheuttama hiilijalanjälki, kun rakenteita vaihdettiin betonista puuhun. Skenaarioita 1 ja 7 vertaamalla saatiin elinkaarikustannuksia pienennettyä noin 8 prosenttia ja elinkaaren hiilijalanjälkeä noin 48 prosenttia. Suurin osa elinkaaren hiilijalanjäljen säästöistä saatiin muuttamalla lämmitysjärjestelmä kaukolämmöstä pellettikattilaa.

Jos hiilijalanjälkeä pienennettäisiin entisestään, tulisi keskittyä materiaalien aiheuttamiin päästöihin. Materiaaleina tulisi käyttää enemmän puuta sekä mahdollisimman paljon kierrätettäviä materiaaleja. Ostoenergian hiilijalanjälkeä pystyttäisiin vielä pienentämään lisäämällä energiantuotantoa ja parantamalla rakenteiden lämmönläpäisykertoimia.

Elinkaaren hiilijalanjälki muodostuu pääosin ostoenergiasta, rakentamisesta, rakenteista ja kunnossapidosta. Kuvassa 5.5 on havainnollistettu näiden sekä purkamisen ja veden aiheuttaman hiilijalanjäljen osuus koko elinkaaren päästöistä. Kuvaan on otettu mukaan skenaarioiden 1 ja 7 elinkaaren hiilijalanjälkijakaumat.



**Kuva 5.5.** Skenaarioiden 1 ja 7 elinkaaren hiilijalanjäljen jakauma.

Kuvasta 5.5 nähdään, että rakennuksen ja kunnossapidon osuus elinkaaren hiilijalanjäljestä on selvästi kasvanut. Tämä johtuu siitä, että ostoenergian osuus on saatu paljon pienemmäksi skenaarioiden mukaisilla muutoksilla. Skenaarioissa 7 rakennuksen materiaalien ja niiden korjaamisen elinkaaren hiilijalanjälki on yhteensä suurempi kuin ostoenergian. Rakennuksen purkamisen sekä tarvittavan käyttö- ja jäteveden puhdistuksen hiilijalanjäljet muodostavat hyvin pienen osan elinkaaren kokonaishiilijalanjäljestä.

### 5.1.1 Elinkaarimittareiden tunnusluvut

Saatujen tulosten mukaiset lukuarvot voitaisiin täyttää myös GBC Finlandin valmiiden raportointipohjien mukaisiin taulukoihin. Taulukoilla eritellään aiheutuneet päästöt ja kustannukset tarkemmin osa-alueittain standardien mukaisesti. Tämän työn puitteissa tarkempaa erittelyä ei tehdä, mutta tarkastellaan kuitenkin elinkaarimittareiden hankevaiheen kiinteistöpassseja. Taulukkoon 5.6 on kerätty skenaarioiden 1 ja 7 hankevaiheen kiinteistöpassien mukaiset mittarit ja niiden tunnusluvut.

**Taulukko 5.6.** Skenaarioiden 1 ja 7 hankevaiheen kiinteistöpassien tunnusluvut.

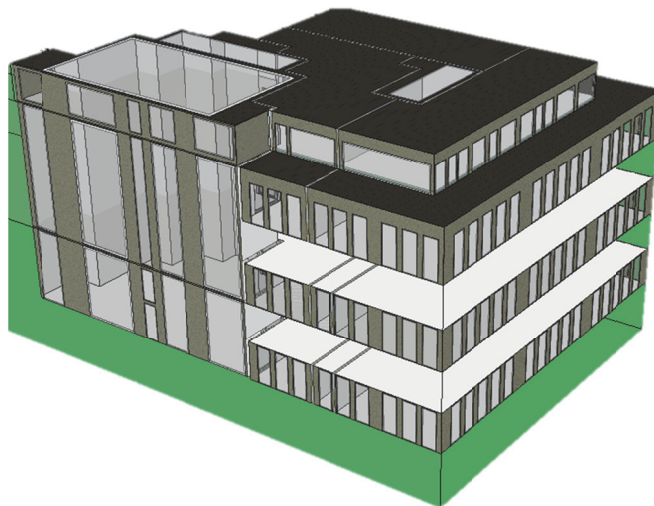
Elinkaarimittari	Skenaario 1	Skenaario 7
Elinkaaren hiilijalanjälki (tnCO <sub>2</sub> e)	3 965	2 078
Elinkaarikustannus (€)	6 980 000	6 400 000
E-luku (kWh/m <sup>2</sup> )	135	89
Sisäilmaluokka	-	-

Taulukon 5.6 elinkaarimittarien tunnuslukujen mukaan kaikkia tunnuslukuja saatiin parannettua skenaarioiden avulla. Elinkaaren hiilijalanjälki melkein puolittui ja elinkaarikustannukset pienenevät myös selvästi. E-luku pieneni vastaamaan energialuokkaa B. Tässä kohteessa ei annettu sisäilmaluokalle mitään vaatimuksia, joten sitä ei tässä määritetty.

## 5.2 Loft-tehdas

Toinen case-kohde on vanhaan Wärtsilän L-tehtaaseen rakennettava asuinkerrostalo Turussa, Aurajoen rannalla. Wärtsilän L-tehdas on rakennettu vuonna 1934 ja se on toiminut Wärtsilän konepajahallina. Nyt konepajahalliin rakennetaan korkeatasoisia asuntoja ja rakennus kulkee nimellä Loft-tehdas. Loft-tehtaaseen tulee yhteensä 155 asuntoa kuuteen kerrokseen. Lisäksi rakennuksen sisälle tulee kaksi sisäpihaa sekä katu-tason kerrokseen autohalli.

Kuvassa 5.6 on kuvattu tarkasteltavan kohteen A-rapun kerrokset 2-7, joissa kaikki rapun asunnot sijaitsevat. Loft-tehtaalte tehdään samat laskelmat kuin edellisellekin kohteelle. Laskelmat tehdään rakennuksen A-rapulle seitsemällä eri skenaariolla. Ensimmäinen skenaario on perustapaus, jota pyritään parantamaan. Toisessa tapauksessa parannetaan rakennuksen ilmanvuotolukua ( $n_{50}$ ) arvoon 1 1/h. Kolmannessa skenaariossa ilmanpitävyysluku parannetaan entisestään arvoon 0,5 1/h. Neljännessä skenaariossa parannetaan ilmanvaihdon lämmön talteenoton hyötysuhdetta arvosta 0,6 arvoon 0,85. Viidennessä skenaariossa rakennuksen ikkunat vaihdetaan U-arvoltaan paremmiksi sekä yläpohja puurakenteiseksi, jolloin parannetaan myös yläpohjan U-arvoa. Kuu-dennessa skenaariossa vaihdetaan lämmitysjärjestelmä kaukolämmöstä pellettilämmitykseksi. Viimeiseen skenaarioon lasketaan mukaan 100 m<sup>2</sup> aurinkosähköpaneelien avulla saadut hyödyt. Koska rakennus on vanha ja sen ulkoseinät ovat suojeltuja, ei alapohjan ja ulkoseinien lämmönläpäisykerrointa voida parantaa. Kaikkien skenaarioiden lähtötiedot ovat koottu taulukkoon 5.7.



**Kuva 5.6.** Loft-tehtaan A-rapun sekä sisäpihan IDA ICE -malli.

**Taulukko 5.7. Skenaarioiden lähtötiedot.**

	<b>Skenaario 1</b>	<b>Skenaario 2</b>	<b>Skenaario 3</b>	<b>Skenaario 4</b>	<b>Skenaario 5</b>	<b>Skenaario 6</b>	<b>Skenaario 7</b>
Ikkunoiden U-arvo (W/m <sup>2</sup> K)	0,85	0,85	0,85	0,85	0,6	0,6	0,6
Ikkunoiden g-arvo	0,55	0,55	0,55	0,55	0,49	0,49	0,49
Ulkoseinien U-arvo (W/m <sup>2</sup> K)	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Yläpohjan U-arvo (W/m <sup>2</sup> K)	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08
Lämmitysjärjestelmä	Kaukol.	Kaukol.	Kaukol.	Kaukol.	Kaukol.	Pellettik.	Pellettik.
Energiantuotanto	-	-	-	-	-	-	Aurinkop. 100m <sup>2</sup>
Ilmavuotoluku, n <sub>50</sub> -luku (1/h)	2	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
LTO:n hyötysuhde	0,64	0,64	0,64	0,85	0,85	0,85	0,85

Taulukon 5.7. lähtötietojen pohjalta pystytään tekemään IDA ICE -simuloinnit. Simulointien avulla saadaan selville rakennusten laskennalliset energiantarpeet koko vuodelle. Saadut tulokset taulukoidaan taulukkoon 5.8. Rakennuksen kustannukset ja hiilijalanjälki arvioidaan EstiModel -ohjelmalla samalla tavalla kuin edellisessäkin kohteessa. GBC Finlandin ohjeiden mukaan myös vanhan rakennuksen rungon hiilijalanjälki tulee olla laskennassa mukana, sillä sen valmistamisesta on joskus muodostunut päästöjä yhtälailla kuin uudenkin rakentamisesta. Arvioidut skenaarioiden kustannukset ja rakennuksen hiilijalanjäljet ovat koottuna myös taulukkoon 5.8.

**Taulukko 5.8.** IDA ICE -simulointien ja EstiModel:n tulokset.

	Skenaario 1	Skenaario 2	Skenaario 3	Skenaario 4	Skenaario 5	Skenaario 6	Skenaario 7
Tilojen lämmitys (kWh)	87300	75700	69900	69700	55900	55900	55900
Tilojen jäähdytys (kWh)	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900
Ostosähkö (kWh)	161100	161100	161100	161000	161000	161000	150200
Ostolämpö (kWh)	320800	308500	302300	252500	238300	254300	254300
Investointikustannukset (1000 €)	6130	6130	6130	6140	6060	6060	6090
Kunnossapitokustannukset (1000 €)	2920	2920	2920	2920	2900	2900	2900
Rakennuksen hiilijalanjälki (tnCO <sub>2</sub> e)	1800	1800	1800	1800	1770	1770	1770
Kunnossapidon hiilijalan- jälki (tnCO <sub>2</sub> e)	790	790	790	790	760	760	770

IDA ICE -simulointien ja Optiplanin E-lukulaskurin avulla saadaan laskettua taulukon 5.9 mukaiset tulokset. Energian päästöarvoina ja hintoina on käytetty taulukon 5.3 arvoja. Lisäksi kaukokylmän päästöarvoina on käytetty arvoa 60 g/kWh ja hintana 0.1 €/kWh.

**Taulukko 5.9.** E-luku ja ostoenergian tunnusluvut.

	Skenaario 1	Skenaario 2	Skenaario 3	Skenaario 4	Skenaario 5	Skenaario 6	Skenaario 7
E-luku (kWh/m <sup>2</sup> )	130	128	127	118	115	105	100
Energialuokka	C	C	C	C	C	C	B
Ostoenergian kustannukset (1000 €/a)	267	258	253	216	205	217	216
Kustannusten muutos edel- liseen skenaarioon (%)	-	-3,5	-1,8	-14,9	-5,0	5,9	-0,6
Ostoenergian hiilijalanjälki (tnCO <sub>2</sub> e/a)	113	110	109	99	96	56	53
Hiilijalanjäljen muutos edel- liseen skenaarioon (%)	-	-2,2	-1,1	-9,2	-2,9	-41,6	-5,8

Oletetaan rakennuksen asukasmääräksi 310 henkilöä. Kun laskennassa käytetään edellisen kohteen päästö- ja hinta-arvoja, vuosittainen veden käyttö aiheuttaa päästöjä noin 8,3 tnCO<sub>2</sub>e sekä noin 54 000 euron vuosittaiset kustannukset. 60 vuoden elinka-

ren aikana hiilikalanjälki on noin 500 tnCO<sub>2</sub>e ja kustannukset noin 3,2 miljoonaa euroa. GBC Finlandin ohjeiden mukainen arvio rakennuksen purkamisesta tuottaa tässä tapauksessa noin 77 tnCO<sub>2</sub>e päästöt.

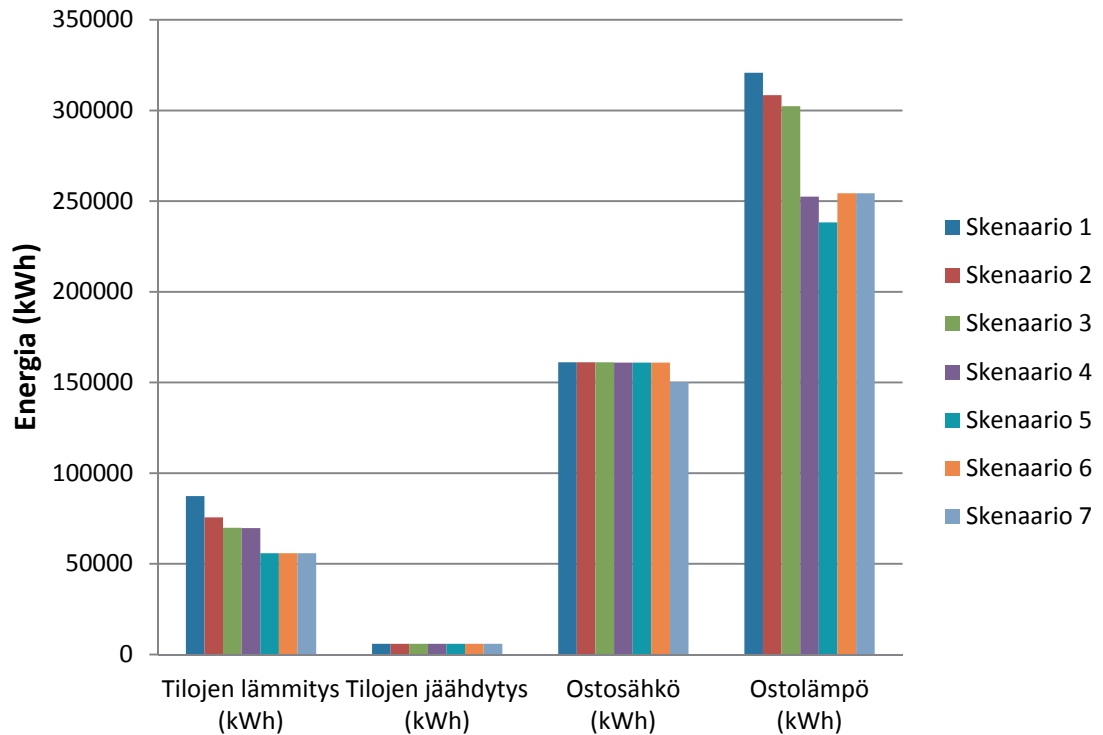
Ottamalla huomioon simulointien avulla saadut tulokset, purkamisen sekä käyttö- ja jäteveden puhdistuksen aiheuttamat päästöt ja kustannukset, saadaan laskettua haluttujen elinkaarimittarien tunnuslukujen arvot. Taulukkoon 5.10 on laskettu elinkaarikustannukset, elinkaaren hiilijalanjälki sekä skenaarioiden avulla saadut prosentuaaliset muutokset aina edelliseen skenaarioon verrattuna.

**Taulukko 5.10. Elinkaarimittareiden tunnusluvut.**

	<b>Skenaario 1</b>	<b>Skenaario 2</b>	<b>Skenaario 3</b>	<b>Skenaario 4</b>	<b>Skenaario 5</b>	<b>Skenaario 6</b>	<b>Skenaario 7</b>
Elinkaarikustannukset (1000 €/60a)	28299	27740	27459	25206	24461	25188	25137
Kustannusten muutos edelliseen skenaarioon (%)	-	-2,0	-1,0	-8,2	-3,0	3,0	-0,2
Elinkaaren hiilijalanjälki (tnCO <sub>2</sub> e/60a)	9938	9790	9716	9116	8886	6484	6299
Hiilijalanjäljen muutos edelliseen skenaarioon (%)	-	-1,5	-0,8	-6,2	-2,5	-27,0	-2,8

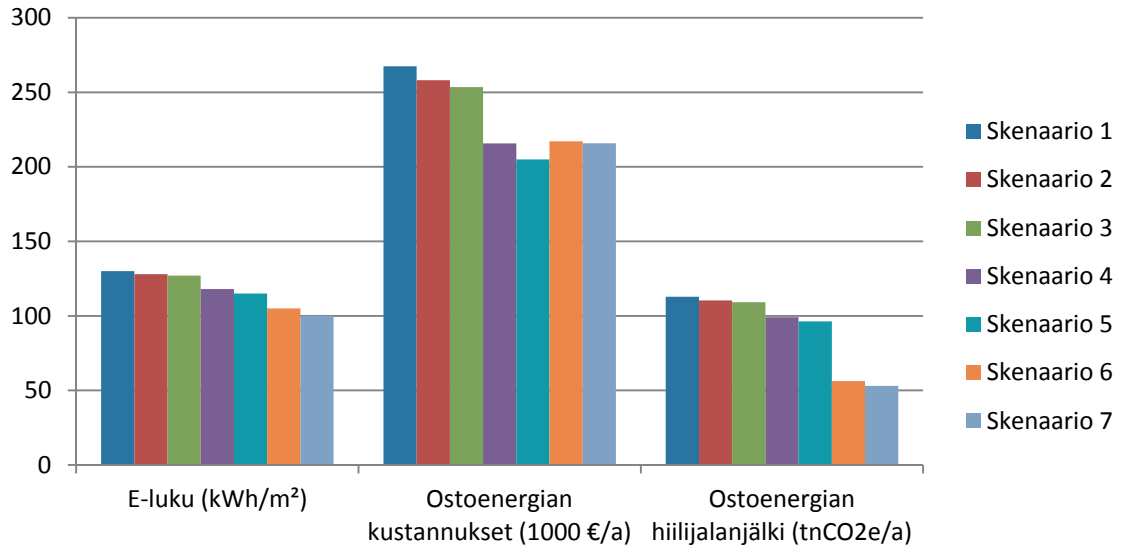
Taulukoiden 5.8, 5.9 ja 5.10 perusteella luodaan kuvien 5.7, 5.8 ja 5.9 mukaiset kuvaajat. Kuvaajat havainnollistavat hyvin eri skenaarioiden vaikutuksia tarkasteltaviin lukuarvoihin.





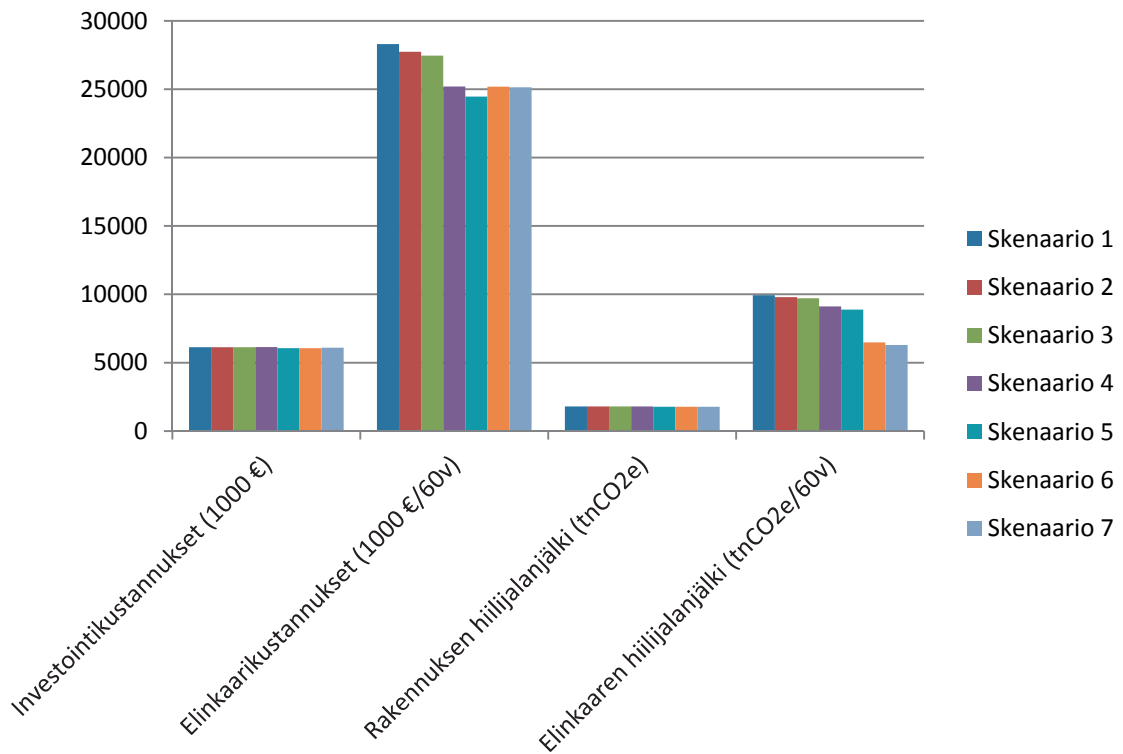
**Kuva 5.7.** Lämmityksen ja jäähdytyksen tarve sekä ostoenergioiden määrät eri skenaarioissa.

Kuvasta 5.7 havaitaan, että skenaarioiden avulla saatiin vähennettyä tilojen lämmitystarvetta. Lämmitysenergian tarve pieneni eniten ikkunoiden ja yläpohjan vaihdon seurauksena. Myös rakennuksen vuotoilman vähentämisellä saatiin reiluja vähennyksiä lämmitysenergiatarpeeseen. Jäähdytysenergian tarve sekä ostosähkön määrä pysyivät kaikissa skenaarioissa hyvin samoissa lukemissa. Ainoastaan aurinkosähköpaneelien avulla saatiin tuntuvasti vähennettyä ostosähkön tarvetta. Tässä kohteessa on käytössä kaukojäähdytys, joka ei vaadi juurikaan sähköä toimiakseen. Vähentyneen lämmitysenergiatarpeen johdosta myös ostolämmön määrää saatiin pienennettyä. Ostolämpöä saatiin vähennettyä erittäin paljon ottamalla käyttöön parempi lämmön talteenottojärjestelmä skenaariossa viisi. Pellettikattilalla on hieman huonompi hyötysuhde kuin kaukolämmöllä, mistä johtuu ostolämmöntarpeen nousu kahteen viimeiseen skenaarioon.



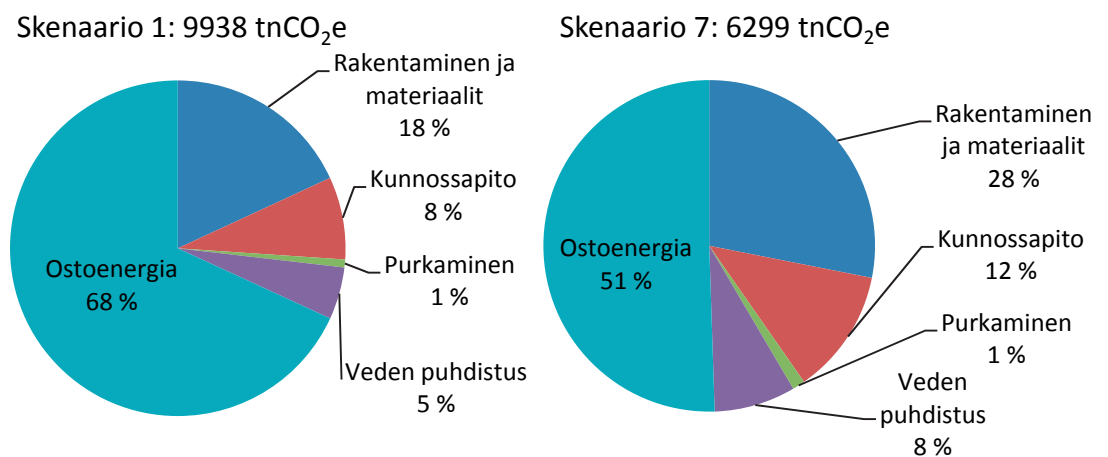
**Kuva 5.8.** E-luku sekä ostoenergian tunnusluvut eri skenaarioissa.

Kuvasta 5.8 ja taulukosta 5.9 havaitaan että skenaarioiden muutoksilla saatiin hyötyjä E-lukuun sekä ostoenergian kustannuksiin ja hiilijalanjälkeen. Ensimmäisen ja viimeisen skenaarion vertailussa E-luku pieneni 30 kWh/m<sup>2</sup>, ostoenergian kustannukset noin 19 prosenttia ja ostoenergian hiilijalanjälki noin 53 prosenttia. Ostoenergian kustannuksia saatiin vähennettyä eniten parantamalla lämmön talteenottoa skenaariossa neljä. Jälleen pellettikattilan käyttöönotolla saatiin pienennettyä ostoenergian hiilijalanjälkeä paljon, mutta samalla kustannukset hieman kasvoivat.



**Kuva 5.9.** Elinkaaren sekä rakennuksen tunnusluvut eri skenaarioissa.

Kuvasta 5.9 nähdään, että itse rakennuksen aiheuttamaan hiilijalanjälkeen ja kustannuksiin ei pystytty skenaarioiden avulla juurikaan vaikuttamaan. Tämä johtuu siitä että rakennus on vanha ja kaikkiin ominaisuuksiin ei voida tehdä paljoa muutoksia. Elinkaaren kustannuksia ja hiilijalanjälkeä saatiin kuitenkin pienennettyä energiantarpeen vähentämällä sekä lämmitysjärjestelmää vaihtamalla. Suurin hyöty elinkaaren kokonaiskustannuksiin saatiin lämmön talteenoton avulla, jolla vähennettiin ostolämmön tarvetta merkittävästi. Skenaarioita 1 ja 7 vertaamalla nähdään, että parhaalla vaihtoehdolla saadaan elinkaarikustannuksia pienennettyä noin 11 prosenttia ja elinkaaren hiilijalanjälkeä noin 37 prosenttia. Kuvaan 5.10 on havainnollistettu elinkaaren hiilijalanjäljen jakautuminen eri osa-alueisiin skenaarioissa 1 ja 7.



**Kuva 5.10.** Skenaarioiden 1 ja 7 elinkaaren hiilijalanjäljen jakauma.

Kuten edellisessäkin skenaariossa, ostoenergian osuus kokonaishiilijalanjäljestä pieneni ja rakennuksen osuus kasvoi. Ensimmäisessä skenaariossa ostoenergian osuus kokonaishiilijalanjäljestä oli noin 70 prosenttia ja viimeisessä skenaariossa enää noin puolet. Muiden osa-alueiden osuus kokonaishiilijalanjäljestä kasvoi jälleen elinkaaren kokonaishiilijalanjäljen pienenemisen johdosta.

### 5.2.1 Elinkaarimittareiden tunnusluvut

Kuten edellisessäkin kohteessa, tarkastellaan GBC Finlandin mukaisen hankevaiheen kiinteistöpassien tunnuslukuja. Taulukkoon 5.11 on kerätty skenaarioiden 1 ja 7 hankevaiheen kiinteistöpassien arvot.

**Taulukko 5.11.** Skenaarioiden 1 ja 7 hankevaiheen kiinteistöpassien tunnusluvut.

Elinkaarimittari	Skenaario 1	Skenaario 7
Elinkaaren hiilijalanjälki (tnCO <sub>2</sub> e)	9 938	6 299
Elinkaarikustannus (€)	28 299 000	25 137 000
E-luku (kWh/m <sup>2</sup> )	130	100
Sisäilmaluokka	-	-

Taulukon 5.11 elinkaarimittarien tunnuslukujen mukaan kaikkia tunnuslukuja saatiin parannettua skenaarioiden avulla. Elinkaaren hiilijalanjälki pieneni noin 37 prosenttia eli noin 3639 tnCO<sub>2</sub>e. Elinkaarikustannukset pienenivät noin 11 prosenttia ja E-luku pieneni 30 kWh/m<sup>2</sup>. E-luvun pienenemisellä saavutettiin energialuokka B.

### 5.3 Elinkaarimittareiden analysointi

Molemmissa case-kohteissa päästiin tavoitteisiin, jotka olivat hiilijalanjäljen ja E-luvun pienentäminen. Eniten vaikuttava tekijä tavoitteiden saavuttamiselle oli lämmitysjärjestelmän vaihtaminen pellettilämmitykseen. Pellettilämmitys ei kuitenkaan ole kaikissa kohteissa kustannuksien takia kannattavaa. Pellettilämmityksen käyttöönotto tulee kalliiksi esimerkiksi korjausrakentamisen kohteissa, joissa ei ole vesikiertoista lämmitysjärjestelmää. Muidenkin skenaarioiden muutoksilla saatiin säästöjä energiantarpeeseen, joka on suuri hiilijalanjäljen sekä kustannusten aiheuttaja.

Näiden kahden case-kohteen avulla havaittiin, että jotkin muutostratkaisut eivät välttämättä tuota yhtä hyviä tuloksia kaikissa kohteissa. Esimerkiksi Munkkiniemenrannan kohteessa rakennuksen ilmanpitävyyden parantamisella saatiin paremmat hyödyt kuin Loft-tehtaassa. Loft-tehtaassa taas lämmön talteenottojärjestelmän hyötysuhteen parantaminen vaikutti enemmän kuin Munkkiniemenrannan kohteessa. Rakennusten parannusehdotukset täytyy siten käsitellä tapauskohtaisesti ja miettiä millä tavalla saataisiin kustannustehokkaasti paras hyöty elinkaaren hiilijalanjäljen sekä kustannusten kannalta. Aurinkopaneeleilla saatu hyöty oli molemmissa kohteissa sama. Prosentuaalinen hyöty jää kuitenkin Loft-tehtaassa paljon pienemmäksi sillä se on huomattavasti suurempi rakennus. Lisäksi Loft-tehtaassa paljon enemmän asukkaita, jolloin rahallinen hyöty asukasta tai asuntoa kohden jää hyvin pieneksi.

Loft-tehtaan kohteessa elinkaaren hiilijalanjälkeä ei saatu pienenemään prosentuaalisesti yhtä paljon kuin Munkkiniemenrannan kohteessa. Tämä johtuu siitä että Loft-tehtaan ulkoseinät ovat suojeltuja ja niiden U-arvoon ei pystytä vaikuttamaan kovinkaan paljoa. Vanhojen seinien U-arvo on korkea, joiden läpi on paljon lämpöhäviötä. Parhaaseen elinkaarisuunnittelun tulokseen päästäänkin, kun pystytään vaikuttamaan kaikkiin rakennuksen osa-alueisiin. Siten huomataan, että elinkaarisuunnittelu kannattaa aloittaa mahdollisimman aikaisessa vaiheessa projektia. Projektin edetessä pidemmälle monia muutoksia ei enää pystytä tai niitä ei kannata alkaa tekemään.

Case-kohteiden elinkaarimittareiden tuloksena saatiin tunnusluvut, jotka ovat hyvin erisuuruiset keskenään. Kahden eri rakennuksen vertailu suoraan tunnusluvuilla on hyvin vaikeaa. Ainoastaan E-luvut ovat vertailukelpoisia keskenään, sillä E-luku kertoo energiantarpeesta neliometriä kohden. Muidenkin mittareiden tulisi olla ilmoitettu neliometriä tai tilavuuskuutiota kohden vertailtavuuden parantamiseksi. Esimerkiksi Munkkiniemenrannan kohteessa neliömetreille jaettu elinkaaren hiilijalanjäljeksi saadaan ensimmäisessä skenaariossa  $2,90 \text{ tnCO}_2\text{e/m}^2$  ja viimeisessä  $1,52 \text{ tnCO}_2\text{e/m}^2$ . Loft-tehtaan vastaaviksi luvuiksi saadaan  $2,58 \text{ tnCO}_2\text{e/m}^2$  ja  $1,63 \text{ tnCO}_2\text{e/m}^2$ . Näillä luvuilla havainnollistetaan huomattavasti paremmin hiilijalanjäljen suuruusluokka eri kohteissa. Saaduista neliökohtaisista luvuista huomataan myös, että ensimmäisten skenaarioiden tapauksissa Loft-tehtaan hiilijalanjälki on pienempi. Tähän vaikuttaa Loft-tehtaan suuri koko. Suurten rakennusten materiaalien sekä energiantarve neliötä kohti on pienempi kuin pienillä rakennuksilla. Viimeisten skenaarioiden osalta Loft-tehtaan hiilijalanjälki on suurempi huonomman lämmöneristyksen takia.

Tunnuslukuista hiilijalanjäljen laskenta vaatii kaikkein eniten työtä. Sen määrittämiseen on harvoin käytössä tarkkoja lähtöarvoja, joiden pohjalta laskentaa voidaan lähteä suorittamaan. Tämän takia lähtöarvojen hankinta sekä niiden tulkinta vaatii laskennan tekevältä arviointia. Arviointi aiheuttaa aina epätarkkuutta lopputuloksiin. Laskettaessa rakennuksen hiilijalanjälkeä GBC Finlandin elinkaarimittareiden mukaisesti, tarvitsee laskentaan ottaa hyvin monia asioita mukaan. Näin ollen laskennan suorittava arvioitsija joutuu tekemään monia oletuksia. Arvioitsija itse vaikuttaakin hyvin paljon saatuihin tuloksiin. Kahden eri arvioitsijan tekemät laskelmat samasta kohteesta voivat sisältää paljonkin hajontaa juuri käytettyjen lähtötietojen ja kertoimien eroavaisuuksien takia. (Green Building Council 2014) GBC Finlandin laskentaohjeet eivät anna esimerkiksi päästökertoimia käytetylle energialle, mikä antaa arvioitsijalle mahdollisuuden valita lähteensä itse. Käytetyn energian tuotanto aiheuttaa rakennuksen elinkaaren aikaisista päästöistä suurimman osan, jolloin päästökertoimilla on hyvin suuri merkitys saatuihin tuloksiin. Myös materiaalien määrät ja niiden päästökertoimet ovat arvioitsijan harkinnan alaisuudessa, joten niidenkään aiheuttamat kokonaispäästöt eivät kahdella eri arvioitsijalla ole samat. Rakennusvaiheen hiilijalanjäljen määrittäminen on myös hyvin hankalaa ja laskentaohjeet eivät anna selkeää kuvaa siitä mitä laskentaan tarvitsee ottaa mukaan. (Green Building Council 2014)

## 6 ASUINRAKENNUSTEN ELINKAARIMITTA-REIDEN HYÖDYNTÄMINEN SUUNNITTELUTOIMISTOSSA

Vihreä rakentaminen on nykyään pinnalla ja vihreällä rakentamisella voidaan pyrkiä nostamaan rakennuksen arvoa. Samalla kun vihreä rakentaminen nostaa rakennuksen arvoa nostetaan hyvällä elinkaarisuunnittelulla myös suunnittelutoimiston imagoa ympäristövaikutusten vähentäjänä. Suunnittelutoimistolla voi olla omat ympäristötavoitteet, jotka ovat määräyksiä tiukemmat. Ympäristöystävällisiä ratkaisuja voidaan ainakin ehdottaa, vaikka asiakas niitä ei hyväksyisikään. Tällä pyritään siihen, että luodaan asiakkaille tietoisuus ympäristöasioiden huomioon ottamisesta.

GBC Finlandin elinkaarimittareiden mukaista elinkaarisuunnittelupalvelua voidaan tarjota suunnittelutoimiston asiakkaille. Elinkaarisuunnittelulla voidaan parantaa suunnittelutoimiston ja asiakkaan välistä kommunikaatiota halutun suunnitteluvaihtoehdon löytämisessä ja toteuttamisessa. Elinkaarimittareiden tunnuslukujen laskenta ei ole pakollista, mutta niiden avulla pystytään saavuttamaan monia hyötyjä. Erityisesti rakennuttajat ja rakennuksen omistajat saavat hyötyjä tunnuslukujen käytöstä. Tunnusluvut toimivat suunnitteluvaiheessa rakentamis- ja rahoitusratkaisujen valinnassa. Osa rakennuttajista voi haluta investointi- tai käyttökustannuksiltaan mahdollisimman edullisen ratkaisun ja toiset vähäpäästöisen rakennuksen. Omistajille suunnatut käyttövaiheen tunnusluvut pitävät omistajat ajan tasalla rakennuksen käyttöenergian määrästä, päästöistä sekä käyttäjätyytyväisyydestä.

### 6.1 Hankevaihe

Hankevaiheessa suuri osa suunnittelutoimiston asiakkaista on rakennuttajia. Eri rakennuttajilla on erilaiset intressit rakennuksen rakentamiselle. Rakennuttaja, joka myy rakennuksen heti sen valmistumisen jälkeen pois, haluaa todennäköisesti investointikustannuksiltaan mahdollisimman edullisen ratkaisun. Investoinniltaan edullisimmassa ratkaisussa saattaa olla käytön aikaiset kulut korkeammat. Käyttökustannukset eivät kuitenkaan tässä tapauksessa tule rakennuttajan maksettavaksi. Mutta, jos rakennus myynnin sijasta vuokrataan, siitä aiheutuu käytön aikana kuluja rakennuttajalle. Tämän takia tulee tarkoin pohtia rakennusratkaisut, sillä käytön aikaisista kuluista voi muodostua suurikin osa kokonaiskustannuksista.

Parhaiten elinkaarimittareita voidaan käyttää kokonaissuunnittelukohteissa, joissa voidaan vaikuttaa kaikkiin rakennuksen osa-alueisiin. Elinkaarisuunnittelu tulee ottaa huomioon koko rakennusprosessin ajan. Erityisesti prosessin alkuvaiheessa, hanke-

luonnos-, ja toteutussuunnittelun aikana voidaan vaikuttaa elinkaaren kustannuksiin sekä ympäristövaikutuksiin. Elinkaarilaskennalla pystytään ohjaamaan suunnittelijan, rakennuttajan, käyttäjän sekä rakentajan välistä yhteistyötä.

Suunnittelutoimistolla on mahdollisuus vaikuttaa valittaviin ratkaisuihin ehdottamalla erilaisia ratkaisuja. Kun eri materiaalivaihtoehdoilla päästään samoihin teknisiin ja kustannuksiltaan samoihin arvoihin, tulisi valita hiilijalanjäljeltään parempi vaihtoehto. Muutenkin rakennusmateriaalivalinnoissa tulisi suosia materiaaleja, joille on laadittu ympäristöselosteet. Täten hiilijalanjälkilaskenta on luotettavampaa, kun materiaalien hiilijalanjälki on määritetty ympäristöselosteen vaatimalla tavalla.

Hankevaiheen tunnuslukujen tarkkojen lähtötietojen kerääminen ei kuitenkaan ole helppoa eikä yksiselitteistä. Jokainen hanke täytyy käsitellä tapauskohtaisesti, jolloin työmäärä lisääntyy. Erityisesti elinkaaren hiilijalanjäljen määrittäminen vaatii paljon työtä. (Green Building Council 2014) Suuntaa antavien lukuarvojen hankkiminen kuitenkin onnistuu suhteellisen helposti arvioitujen materiaalimenekkiä ja käytettävien keskiarvopäästöjen mukaan.

## 6.2 Käyttövaihe

Käyttövaiheen tunnuslukujen laskenta perustuu todellisiin käytönajan energiankulutuksiin. GBC Finlandin käyttövaiheen mittarit ovat yksinkertaisia laskea. Todelliset energiankulutukset saadaan taloyhtiön energiamittareista ja niiden avulla saadaan laskettua energiankulutus, käytön hiilijalanjälki sekä pohjateho. Pohjatehon laskenta vaatii tunti-kohtaiset kulutuslukemat, mutta moni energiantoimittaja pystyy ne nykyään tarjoamaan. Käyttäjätyytyväisyyttä varten täytyy tehdä kyselylomake rakennuksen asukkaille. Yksinkertaisimmillaan käytön hiilijalanjälki ja energiankulutusmittarit sekä pohjatehon laskenta tarvitsevat taulukon 3.1 pakolliset indikaattorit ja niistä aiheutuvat päästöt.

Suunnittelutoimisto pystyy helposti ja pienellä työmäärällä laskemaan jo olemassa oleville rakennuksille GBC Finlandin käyttövaiheen mittareiden tunnusluvut sekä tuottamaan kiinteistöpassin (Green Building Council 2014). Laskelmat pystytään tekemään vuosittain, jolloin pystytään pitämään seurantaa tunnuslukujen kehityksestä ja tunnistamaan mittareiden parantamismahdollisuuksia. Samalla suunnittelutoimisto pystyy antamaan asiakkaalleen rakennuksen korjausehdotuksia energiankulutuksen ja hiilijalanjäljen pienentämiselle sekä käyttäjätyytyväisyyden parantamiselle. Korjausehdotusten yhteydessä pystytään antamaan myös tarjous suunnittelun ja korjauksen kustannuksista sekä arvio saaduista säästöistä päästöjen ja kustannusten suhteen. Säästöt pystytään laskemaan vuosittaisiksi ja esimerkiksi 10 vuodeksi, jolloin pystytään hahmottamaan pitkän aikavälin hyödyt.

Käyttövaiheen mittareiden avulla suunnittelutoimiston sekä rakennuksen omistajien välinen yhteistyö ei katkea rakennushankkeen valmistuessa. Omistajille pystytään tarjoamaan käyttövaiheenmittarien laskentaa esimerkiksi viideksi vuodeksi kerrallaan, jolloin saadaan pidettyä seurantaa mittarien kehittymisestä. Tällöin suunnittelutoimisto saa pidettyä asiakkaistaan kiinni myös käyttövaiheen aikana.

## 7 YHTEENVETO

Tämän työn tavoitteena oli tutkia Green Building Council Finlandin elinkaarimittareiden laskentamenetelmiä sekä tunnuslukuja ja niiden toimivuutta rakennusten arvioinnissa. Erityisesti tarkastelun kohteena olivat hankevaiheen tunnusluvut. Elinkaarimittarien tarkoitus on antaa laskentatavat ja ohjeet rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen sekä elinkaarikustannusten yhdenmukaiseen laskentaan. GBC Finlandin elinkaarimittareiden laskennan tavoitteena on saada muodostettua yksinkertaiset tunnusluvut eri suureille.

GBC Finlandin elinkaarimittarit perustuvat standardeihin, jotka määrittävät mittareiden tunnuslukujen laskentaan sisällytettävät asiat. Karkeasti rakennuksen elinkaari ja sen laskenta on jaettu neljään osa-alueeseen, jotka ovat: materiaalit, rakentaminen, käyttö ja kierrätys. Kaikki osa-alueet on vielä jaettu moneen osaan, jolloin laskettavia komponentteja on hyvin monta. Komponenteista melkein jokainen vaatii arviointia, jolloin tulosten luotettavuuteen tulee kiinnittää erityistä huomiota. Arvioinnin tarpeesta johtuen itse arvioitsija voi vaikuttaa paljonkin lopputuloksiin. Laskennan lähtötietojen tarkkuus ja käytettävät kertoimet esimerkiksi materiaalien ja energian tuotannon päästöissä vaikuttavat paljon lopputuloksiin.

Elinkaarimittarien käyttövaiheen tunnuslukujen laskenta on huomattavasti helpompaa kuin hankevaiheen tunnuslukujen. Käyttövaiheen tunnusluvut määritellään todellisten energiankulutusten avulla. Kuitenkin myös käyttövaiheen tunnuslukujen laskenta vaatii hieman arviointia. Erityisesti energiantuotannon päästökertoimet vaikuttavat energiankulutuksen hiilijalanjäljen tunnuslukuun. Käyttövaiheen tunnusluvut voidaan laskea joka vuodelle erikseen, milloin pystytään seuraamaan rakennuksen kehitystä sen elinkaaren aikana.

Suurin heikkous elinkaarimittareissa on arvioitsijan suuri vaikutus tunnuslukujen lopputuloksiin. Kaksi arvioitsijaa todennäköisesti saavat eri tulokset samasta kohteesta. Tulokset voivat vaihdella paljonkin pitkän elinkaaren aikana. Myöskään elinkaaren hiilijalanjäljen sekä elinkaarikustannusten tuloksena saatu tunnusluku ei kerro paljoa yksittäisessä rakennuksessa. Elinkaarimittarien tunnusluvut toimivatkin parhaiten yhden arvioitsijan tekemänä ja yhden kohteen erilaisten suunnitteluratkaisujen vertailussa.

Case-kohteilla havaittiin, että elinkaarimittarien tunnusluvut toimivat eri suunnitteluratkaisujen vertailussa. Kahden case-kohteen avulla huomattiin myös, että elinkaarimittarien tunnusluvut eivät ole vertailukelpoisia eri rakennusten välillä. Jo rakennuksen koko yksinään vaikuttaa hiilijalanjälkeen ja kustannuksiin, joten elinkaarimittarien tunnuslukujen yksiköt tulisi olla ilmoitettu neliötä tai tilavuuskuutiota kohden vertailtavuuden parantamiseksi.



Case-kohteissa pyrittiin eri ratkaisulla pienentämään hiilijalanjälkeä sekä E-lukua. Molemmissa kohteissa tässä onnistuttiin. Kuitenkaan molemmissa kohteissa kaikki ratkaisut eivät tuottaneet yhtä hyviä vaikutuksia. Munkkiniemenrannan kohteessa saatiin pienennettyä E-lukua arvosta  $135 \text{ kWh/m}^2$  arvoon  $89 \text{ kWh/m}^2$  sekä elinkaaren hiilijalanjälkeä noin 48 prosenttia. Skenaarioista eniten parannusta saavutettiin pelletti- ja aurinkosähköenergian käyttöönotolla. Pellettilämmitys alensi E-lukua  $15 \text{ kWh/m}^2$  ja hiilijalanjälkeä noin 34 prosenttia. Aurinkosähköenergian avulla E-luku pieneni vielä  $14 \text{ kWh/m}^2$  ja hiilijalanjälki noin 7 prosenttia.

Loft-tehtaassa E-lukua onnistuttiin pienentämään arvosta  $130 \text{ kWh/m}^2$  arvoon  $100 \text{ kWh/m}^2$  sekä elinkaaren hiilijalanjälkeä noin 37 prosenttia. Tässäkin kohteessa lämmitysjärjestelmän vaihtaminen kaukolämmöstä pellettilämmitykseen vaikutti eniten tarkasteltaviin suureisiin. Pellettilämmityksellä saatiin pienennettyä E-lukua  $10 \text{ kWh/m}^2$  ja elinkaaren hiilijalanjälkeä noin 27 prosenttia. Loft-tehtaassa aurinkosähköpaneelilla ei saatu niin hyviä vaikutuksia tarkasteltaviin tunnuslukuihin kuin lämmön talteenottojärjestelmän hyötysuhteen parantamisella. Paremmalla lämmön talteenottojärjestelmällä E-luku pieneni  $9 \text{ kWh/m}^2$  ja hiilijalanjälki noin 6 prosenttia.

Tarkasteltavana tunnuslukuna oli myös elinkaaren kokonaiskustannus. Molemmissa kohteissa kokonaiskustannusta saatiin pienennettyä. Kuitenkaan kaikki skenaariot eivät pienentäneet kustannuksia. Kustannusten kasvua aiheutti pellettikattilan käyttöönotto. Pellettikattilan aiheuttama kokonaiskustannusten kasvu ei kuitenkaan ollut kovinkaan suuri verrattuna siitä saatuun hiilijalanjäljen pienemiseen. Munkkiniemenrannan kohteessa pellettikattilan käyttöönotto lisäsi elinkaaren kokonaiskustannuksia alle prosentin. Loft-tehtaan osalta pellettikattila nosti kokonaiskustannuksia noin 3 prosenttia.

Rakennuksen hiilijalanjäljen pienentäminen kannattaa aloittaa jo suunnitteluvaiheessa, jolloin siihen pystytään helpoiten ja kustannustehokkaimmin vaikuttamaan. Ensimmäisenä kannattaa pyrkiä vähentämään tarvittavan energian määrää. Energiantarvetta voidaan vähentää parantamalla rakenteiden lämmönläpäisykerrointa sekä muuttamalla rakennuksen muotoa, suuntausta sekä ikkunoiden kokoa.

Rakennuksen hiilijalanjäljen pienentäminen on mahdollista ja GBC Finlandin elinkaarimittarit pystyvät siinä hieman auttamaan. Kuitenkaan laajamittaisemmaksi mittaristoksi elinkaarimittarit eivät nykymuodossaan sovellu kovinkaan hyvin. Yksinään hiilijalanjälki ei kerro paljoakaan rakennuksen ympäristöystävällisyydestä. Jotta hiilijalanjälki olisi helposti ymmärrettävissä, tarvitsee se vertailukohtaksi toisen ratkaisun. Vertailukohta voisi olla esimerkiksi rakentamismääräykset juuri täyttävä perusrakennus, jonka hiilijalanjäljen laskentamenetelmä on tarkoin määritetty.

## LÄHTEET

- Allergia- ja astmaliitto. 2011. Sisäilmaopas [PDF]. [Viitattu 8.5.2014]. Saatavissa: [http://allergia-fi-bin.directo.fi/@Bin/7ff00855b18c008c90bdd4f6c812a2b9/1399546667/application/pdf/734312/HeliSis%C3%A4ilmaopas\\_web.pdf](http://allergia-fi-bin.directo.fi/@Bin/7ff00855b18c008c90bdd4f6c812a2b9/1399546667/application/pdf/734312/HeliSis%C3%A4ilmaopas_web.pdf).
- ARA. 2011. Energiaskenaarioiden järjestelmävaikutukset rakennuskantaan. [PDF]. [Viitattu 11.3.2014]. Saatavissa: <http://www.ara.fi/download/noname/%7BD15851E5-8E5A-4598-9236-58FD964B23E6%7D/23788>.
- Bioenergia. 2013. Pelletti lämmittää monenkokoisia kiinteistöjä. [PDF]. [Viitattu 11.7.2014]. Saatavissa: [http://www.ilmase.fi/site/wp-content/uploads/2013/10/Parviainen2\\_28112013.pdf](http://www.ilmase.fi/site/wp-content/uploads/2013/10/Parviainen2_28112013.pdf).
- BREEAM. 2014a. What is BREEAM?. [WWW]. [Viitattu 17.3.2014]. Saatavissa: <http://www.breeam.org/about.jsp?id=66>.
- BREEAM. 2014b. Value of green buildings. [WWW]. [Viitattu 17.3.2014]. Saatavissa: <http://www.breeam.org/page.jsp?id=224>.
- BREEAM. 2014c. BREEAM International New Construction (NC). [WWW]. [Viitattu 17.3.2014]. Saatavissa: <http://www.breeam.org/page.jsp?id=293>
- Equa Simulation Finland. 2013. Rakennusten energiatodistus ja sen E-luvun laskenta 1.6.2013 alkaen. [PDF]. [Viitattu 4.3.2014]. Saatavissa: [http://energiatodistus.motiva.fi/energiatodistustenlaatijat/tapahtumat/et\\_vuolle\\_verkkoon\\_19032013.pdf](http://energiatodistus.motiva.fi/energiatodistustenlaatijat/tapahtumat/et_vuolle_verkkoon_19032013.pdf).
- e-Dome. 2014. What can certification do for you?. [WWW]. [Viitattu 15.5.2014]. Saatavissa: <http://www.edome.sk/en/sluzby-sluzby-leed-a-breeam-certifikacia-budov/>.
- EN-15251:2007. Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. BSI. pp. 56.
- EN 15643-4:2012. Sustainability of construction works. Assessment of buildings. Part 4: Framework for the assessment of economic performance. BSI. pp. 40.
- Energialämmitys. 2014. Täysautomaattiset pellettikattilat. [WWW]. [Viitattu 19.9.2014]. Saatavissa: <http://www.energialammitys.fi/tuotteet/pellettikattila/>.
- Energianeuvonta. 2014. Lämmitystapojen vertailulaskuri. [WWW]. [Viitattu 15.7.2014]. Saatavissa: <http://lammitysvertailu.eneuvonta.fi>.
- Energiatehokas koti. 2013. Määritelmiä ja termejä. [WWW]. [Viitattu 11.7.2014]. Saatavissa: [http://www.energiatehokaskoti.fi/perustietoa/hyva\\_tietaa/maaritelmia\\_ja\\_termeja/](http://www.energiatehokaskoti.fi/perustietoa/hyva_tietaa/maaritelmia_ja_termeja/).

- ERA. 2014. Kaupunginjohtajien ilmastoverkosto. [WWW]. [Viitattu 15.8.2014]. Saatavissa: <http://era17.fi/maankaytto/kaupunginjohtajista-suunnannayttajia/>.
- ERMS. 2014a. BREEAM toimii kaikkialla maailmassa. [WWW]. [Viitattu 17.3.2014]. Saatavissa: <http://www.erms.fi/cms/fi/vihreae-rakentaminen/mikae-breeam-on>.
- ERMS. 2014b. BREEAM-sertifikaatti uusille rakennuksille. [WWW]. [Viitattu 17.3.2014]. Saatavissa: <http://www.erms.fi/cms/fi/vihreae-rakentaminen/breeam-sertifikaatti-uusille-rakennuksille>.
- EstiModel. NCC. Kustannusarvio-ohjelma.
- Euroopan unioni. 2010. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU. 23s.
- Euroopan yhteisöjen komissio. 2007. Maailmanlaajuisen ilmastonmuutoksen rajoittaminen kahteen celsiusasteeseen, Toimet vuoteen 2020 ja sen jälkeen. [PDF]. [Viitattu 18.2.2014]. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2007:0002:FIN:FI:PDF>.
- Finnfoam. 2014. Nollaenergiatalo on jo tätä päivää!. [WWW]. [Viitattu 11.3.2014]. Saatavissa: <http://www.nollaenergiatalo.fi/>.
- FINVAC. 2014. Ehdotus lähes nollaenergiarakentamisen laskennan lähtötiedoiksi. [PDF]. [Viitattu 7.9.2014]. Saatavissa: [http://files.kotisivukone.com/en.finvac.kotisivukone.com/tiedostot/raportti\\_tilojen\\_kayttoprofiilit\\_20140207.pdf](http://files.kotisivukone.com/en.finvac.kotisivukone.com/tiedostot/raportti_tilojen_kayttoprofiilit_20140207.pdf).
- Green Building Council. 2013a. Rakennusten elinkaarimittarit. [PDF]. [Viitattu 11.3.2014]. Saatavissa: [http://figbc.fi/wp-content/uploads/2013/01/Rakennusten\\_elinkaarimittarit\\_2013.pdf](http://figbc.fi/wp-content/uploads/2013/01/Rakennusten_elinkaarimittarit_2013.pdf).
- Green Building Council. 2013b. Rakennusten ympäristuluokitukset. [WWW]. [Viitattu 14.3.2014]. Saatavissa: <http://figbc.fi/tietopankki/ymparistoluokitukset/>.
- Green Building Council. 2013c. Green Building Council Finland. [WWW]. [Viitattu 12.5.2014]. Saatavissa: <http://figbc.fi/gbc-finland/>.
- Green Building Council. 2014. Pilotoinnin tulokset. [PDF]. [Viitattu 4.9.2014]. Saatavissa: <http://figbc.fi/wp-content/uploads/2014/01/REM-pilotoinnin-loppuraportti.pdf/>.
- Helsingin kaupunki. 2013a. Uutta Helsinkiä - Puurakentamisen uudet tuulet. [WWW]. [Viitattu 15.8.2014]. Saatavissa: [http://www.uuttahelsinki.fi/sites/default/files/inline-attachments/2014-01/uh-liite2\\_puurakentaminen\\_0.pdf](http://www.uuttahelsinki.fi/sites/default/files/inline-attachments/2014-01/uh-liite2_puurakentaminen_0.pdf).
- Helsingin kaupunki. 2013b. Helsingin yleiskaava. [WWW]. [Viitattu 15.8.2014]. Saatavissa: [http://www.hel.fi/hel2/ksv/julkaisut/yos\\_2013-23.pdf](http://www.hel.fi/hel2/ksv/julkaisut/yos_2013-23.pdf).

Helsingin kaupunki. 2014. Kaupunkikyliä uuden ajan mausteilla. [WWW]. [Viitattu 15.8.2014]. Saatavissa: <http://www.uuttahelsinki.fi/fi/kuninkaantammi-honkasuo/asuminen/kaupunkikyliä-uuden-ajan-mausteilla>.

Helsingin seudun ympäristöpalvelut. 2010. [PDF]. [Viitattu 21.7.2014]. Saatavissa: [http://www.hsy.fi/tietoahsy/Documents/Julkaisut/8\\_2011\\_hsyn\\_energiatase\\_ja\\_kasvihuonekaasujen\\_paastot\\_2010.PDF](http://www.hsy.fi/tietoahsy/Documents/Julkaisut/8_2011_hsyn_energiatase_ja_kasvihuonekaasujen_paastot_2010.PDF).

Ilmasto-opas. 2011. Kestävä tuotesuunnittelu. [WWW]. [Viitattu 14.7.2014]. Saatavissa: [https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/e25090fe-19b6-40aea65b-78b901433a2a/kestava-tuotesuunnittelu.html#cli\\_references](https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/e25090fe-19b6-40aea65b-78b901433a2a/kestava-tuotesuunnittelu.html#cli_references).

Ilmatieteenlaitos. 2014. Ilmastonmuutos. [WWW]. [Viitattu 17.2.2014]. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/ilmastonmuutoskysymyksiä>.

Jonathan Ochshorn. 2012. Materials: Life Cycle Assessment and Life Cycle Costing. [WWW]. [Viitattu 15.7.2014]. Saatavissa: <https://courses.cit.cornell.edu/arch262/notes/06a.html>.

Joutsenmerkki. 2014. Joutsenmerkki. [WWW]. [Viitattu 9.7.2014]. Saatavissa: <http://joutsenmerkki.fi/joutsenmerkki/>.

Keski-Suomen Energiatoimisto. 2011. Energiatehokas rakentaminen. [PDF]. [Viitattu 11.7.2014]. Saatavissa: [www.kesto.fi/GetItem.asp?item=file;5477](http://www.kesto.fi/GetItem.asp?item=file;5477).

KNX. 2014. KNX Suomen kattavin kotiautomaatiojärjestelmä. [WWW]. [Viitattu 11.7.2014]. Saatavissa: <http://www.knx.fi/index.php?k=220418>

Lamil. 2012. Uudisrakennuksen energiatehokas suunnittelu ja energiaselvityksen laatiminen. [PDF]. [Viitattu 6.3.2014]. Saatavissa: [rateko.e21solu.fi/download.aspx?intFileID=2879](http://rateko.e21solu.fi/download.aspx?intFileID=2879).

USGBC. 2014a. About LEED. [WWW]. [Viitattu 17.3.2014]. Saatavissa: <http://www.usgbc.org/articles/about-leed>.

USGBC. 2014b. The next version of LEED. [WWW]. [Viitattu 17.3.2014]. Saatavissa: <http://www.usgbc.org/about/leed/future-versions>.

USGBC. 2014c. LEED Rating System. [WWW]. [Viitattu 17.3.2014]. Saatavissa: <http://www.usgbc.org/leed/rating-systems>.

Maaseudun tulevaisuus. 2011. Puu rakennusmateriaaleista selvästi energiatehokkain. [WWW]. [Viitattu 14.7.2014]. Saatavissa: <http://www.maaseuduntulevaisuus.fi/ymp%C3%A4rist%C3%B6/puu-rakennusmateriaaleista-selv%C3%A4sti-energiatehokkain-1.980>.

- McGraw-Hill Construction. 2012. Green Building Accelerates Globally through Economic Downturn, According to New McGraw-Hill Construction Study. [WWW]. [Viitattu 17.4.2014]. Saatavissa: <http://www.construction.com/about-us/press/green-building-accelerates-globally-through-economic-downturn.asp>.
- Motiva. 2009. Pientalon lämmitysjärjestelmät. [PDF]. [Viitattu 15.7.2014]. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/files/2701/Pientalon\\_lammitysjarjestelmat.pdf](http://www.motiva.fi/files/2701/Pientalon_lammitysjarjestelmat.pdf).
- Motiva. 2010. Polttoaineiden lämpöarvot, hyötysuhteet ja hiilidioksidin ominaispäästökerroimet sekä energian hinnat. [PDF]. [Viitattu 10.7.2014]. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/files/3193/Polttoaineiden\\_lampoarvot\\_hyotysuhteet\\_ja\\_hiilidioksidin\\_ominaispaastokertoimet\\_seka\\_energianhinnat\\_19042010.pdf](http://www.motiva.fi/files/3193/Polttoaineiden_lampoarvot_hyotysuhteet_ja_hiilidioksidin_ominaispaastokertoimet_seka_energianhinnat_19042010.pdf).
- Motiva. 2012. Kiinteistön energiatehokkaat sähkötekniiset ratkaisut. [PDF]. [Viitattu 10.7.2014]. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/files/7974/Kiinteiston\\_energiatehokkaat\\_sahkotekniset\\_ratkaisut.pdf](http://www.motiva.fi/files/7974/Kiinteiston_energiatehokkaat_sahkotekniset_ratkaisut.pdf).
- Motiva. 2013. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi. [WWW]. [Viitattu 17.2.2014]. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/taustatietoa/ohjauskeinot/direktiivit/rakennusten\\_energiatehokkuusdirektiivi](http://www.motiva.fi/taustatietoa/ohjauskeinot/direktiivit/rakennusten_energiatehokkuusdirektiivi).
- Motiva. 2014a. Lamppujen ominaisuuksia. [WWW]. [Viitattu 7.4.2014]. Saatavissa: <http://www.lampputieto.fi/lamput/lamppujen-ominaisuuksia>.
- Motiva. 2014b. Valaistusvoimakkuus eri tiloissa. [WWW]. [Viitattu 7.4.2014]. Saatavissa: <http://www.lampputieto.fi/valaistussuunnittelu/valaistusvoimakkuus>.
- Naps Systems. 2013. Aurinkosähkö puhuttaa paljon, mutta mitkä asiat ovat totta ja mikä tarua?. [WWW]. [Viitattu 14.7.2014]. Saatavissa: <http://www.napssystem.com/wordpress/fi/aurinkosahko-totta-vai-tarua>.
- Optiplan. 2014. LVI- ja Energiasuunnittelu. PowerPoint-esitys.
- Organisaatio-Sanomat. 2013. Kotimaiseen vihreään rakentamiseen kaivataan uusia innovaatioita. [WWW]. [Viitattu 15.8.2014]. Saatavissa: <http://www.organisaatio-sanomat.fi/kotimaiseen-vihreaan-rakentamiseen-kaivataan-uusia-innovaatioita/>.
- Pohjoismainen ympäristömerkintä. 2013. Joutsenmerkin kriteerit. [PDF]. [Viitattu 14.3.2014]. Saatavissa: [http://joutsenmerkki.fi/wp-content/uploads/2014/02/Pientalot-kerrostalo-ja-paivakotirakennukset-2\\_8.pdf](http://joutsenmerkki.fi/wp-content/uploads/2014/02/Pientalot-kerrostalo-ja-paivakotirakennukset-2_8.pdf).
- Puuinfo. 2011. Rakennusmateriaalien hiilijalanjälki. [PDF]. [Viitattu 30.4.2014]. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/info/rakennusmateriaalien-hiilijalanjalki/rakennusmateriaalien-hiilijalanjalki-web.pdf>.
- Puuinfo. 2013. Rakennusmateriaaleilla merkittävä vaikutus rakennuksen kasvihuonekaasupäästöihin. [WWW]. [Viitattu 14.7.2014]. Saatavissa:

<http://www.puuinfo.fi/ajankohtaista/rakennusmateriaaleilla-merkittava-vaikutus-rakennuksen-kasvihuonekaasupaastoihin>.

Rakennustieto. 2007. LVI 05-10417. Rakennusten sisäilmaston suunnitteluperusteet. Helsinki. 20s.

Rakennustieto. 2009. LVI 05-10440. Sisäilmastoluokitus 2008. Helsinki. 22s.

Rakennusvalvontavirasto. 2012. Energiaselvitys lupahakemuksiin. [WWW]. [Viitattu 11.3.2014]. Saatavissa: <http://www.hel.fi/wps/portal/Rakennusvalvontavirasto/Artikkeli?url=hki:path:/Rakvv/fi/uutiset/energiaselvitys+lupahakemuksiin&current=true>.

Rudus. 2011. Rudus Vihreä betoni pienentää rakentamisen hiilijalanjälkeä. [WWW]. [Viitattu 14.7.2014]. Saatavissa: <http://www.rudus.fi/ajankohtaista/2011/11/17/rudus-vihrea-betoni-pienentaa-rakentamisen-hiilijalanjalkea>.

Sitra. 2010. Rakennetun ympäristön energiankäyttö ja kasvihuonekaasupäästöt. [PDF]. [Viitattu 7.7.2014]. Saatavissa: [http://era17.fi/wp-content/uploads/2010/10/sitran\\_selvityksia\\_39.pdf](http://era17.fi/wp-content/uploads/2010/10/sitran_selvityksia_39.pdf).

Sitra. 2011. Passiivitason asuinkerrostalon elinkaaren hiilijalanjälki. [PDF]. [Viitattu 8.5.2014]. Saatavissa: <http://www.sitra.fi/julkaisut/Selvityksi%C3%A4-sarja/Selvityksia63.pdf>.

Sitra. 2012. Energiahuollon kokonaiskuva. [WWW]. [Viitattu 17.2.2014]. Saatavissa: <http://www.sitra.fi/hankkeet/energiahuollon-kokonaiskuva>.

Sitra. 2014. Jyväskylän resurssiviisaiden kokeilujen vaikutusarviointi sekä laajenemisvaikutukset. [PDF]. [Viitattu 11.7.2014]. Saatavissa: <http://www.sitra.fi/julkaisut/Selvityksi%C3%A4-sarja/Selvityksia75.pdf>.

Suomen ympäristökeskus. 2013. SYNERGIA Hiilijalanjälki –työkalu. [WWW]. [Viitattu 14.7.2014]. Saatavissa: [http://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus\\_kehittaminen/Kulutus\\_tuotanto\\_ja\\_luonnonvarat/Laskurit/Synergia](http://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Kulutus_tuotanto_ja_luonnonvarat/Laskurit/Synergia).

Suomen ympäristökeskus. 2014. Suomen suurin aurinkopaneelien yhteistilaus edennyt toteutukseen HINKU-kunnissa. [WWW]. [Viitattu 14.7.2014]. Saatavissa: [http://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus\\_kehittaminen/Kulutus\\_tuotanto\\_ja\\_luonnonvarat/Suomen\\_suurin\\_aurinkopaneelien\\_yhteistil\(28234\)](http://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Kulutus_tuotanto_ja_luonnonvarat/Suomen_suurin_aurinkopaneelien_yhteistil(28234)).

Tampereen amk. 2009. Lämpömukavuus c <http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojaksot/0505015/1119948180490/1119952720312/1119959444731/1119959469687.html>

Tampereen kaupunki. 2013. Ensimmäiset 3 vuotta. [WWW]. [Viitattu 15.8.2014]. Saatavissa: [http://www.tampere.fi/material/attachments/e/6Gr1utwqL/ECO2\\_Kirja\\_FINAL.pdf](http://www.tampere.fi/material/attachments/e/6Gr1utwqL/ECO2_Kirja_FINAL.pdf).

- TEM. 2014. Energia- ja ilmastotiekartta 2050. [WWW]. [Viitattu 30.4.2014]. Saatavissa: <http://www.tem.fi/tiekartta2050>.
- Turku Energia. 2013. Skanssista tulee Turun älykkäin kaupunginosa. [WWW]. [Viitattu 15.8.2014]. Saatavissa: <http://www.turkuenergia.fi/valopilkku/index.php?page=781acfcefd0dbe5bcb6b8f467ce4d11>.
- Turun kaupunki. 2014. Turku vähentänyt päästöjään nopeimmin. [WWW]. [Viitattu 15.8.2014]. Saatavissa: <http://www.turku.fi/public/default.aspx?contentid=490926&nodeid=4910>.
- Uusi Suomi. 2014. Turku löysi helpon tavan säästää: Energiasäästö noin 70 %. [WWW]. [Viitattu 15.8.2014]. Saatavissa: <http://www.uusisuomi.fi/kotimaa/70050-turku-loysi-helpon-tavan-saastaa-energiasaasto-noin-70>.
- VTT. 2013. Laskuri rakennusmateriaalien hiilijalanjäljen arvioimiseen. [WWW]. [Viitattu 14.7.2014]. Saatavissa: [http://www.vtt.fi/news/2013/ilmari-laskuri\\_rakennusmateriaalien\\_hiilijalanjaljen\\_arvioimiseen.jsp](http://www.vtt.fi/news/2013/ilmari-laskuri_rakennusmateriaalien_hiilijalanjaljen_arvioimiseen.jsp).
- Ympäristöministeriö. 2008. Rakennusten ympäristöluokitus Promise. [PDF] [Viitattu 13.3.2014]. Saatavissa: [https://www.rakennustieto.fi/bin/get/id/631CStSjs%3A\\$47\\$RK080301\\$46\\$pdf/RK080301.pdf](https://www.rakennustieto.fi/bin/get/id/631CStSjs%3A$47$RK080301$46$pdf/RK080301.pdf).
- Ympäristöministeriö. 1998. C1 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa. [PDF]. [Viitattu 11.3.2014]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/normit/1917-c1.pdf>.
- Ympäristöministeriö. 2011a. Rakennusten energianlaskennan testivuodet. [PDF] [Viitattu 7.7.2014]. Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/noname/%7B8D997677-9ECB-49DC-9D73-9DD93C1C875E%7D/31275>.
- Ympäristöministeriö. 2011b. Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta. [PDF] [Viitattu 6.3.2014]. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/files/4147/Muistio\\_rakentamismaarausten\\_osasta\\_D3.pdf](http://www.motiva.fi/files/4147/Muistio_rakentamismaarausten_osasta_D3.pdf).
- Ympäristöministeriö. 2012a. D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. [PDF]. [Viitattu 11.3.2014]. Saatavissa: [http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012\\_Suomi.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf).
- Ympäristöministeriö. 2012b. D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Rakennusten energiatehokkuus. [PDF]. [Viitattu 11.3.2014]. Saatavissa: [http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012\\_Suomi.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf).
- Ympäristöministeriö. 2012c. D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. [WWW]. [Viitattu 11.3.2014]. Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/noname/%7B8C5C3B41-E127-4889-95B0-285E9223DEE6%7D/40468>.

Ympäristöministeriö. 2013a. Näin luet energiatodistusta. [WWW]. [Viitattu 28.2.2014]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B15D524AF-A157-412B-B838-DA82A7C6DB13%7D/57789>.

Ympäristöministeriö. 2013b. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta. [WWW]. [Viitattu 11.3.2014]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B27BAFE2B-E645-4464-AFB8-CBFB162B5ADC%7D/31591>.

Ympäristöministeriö. 2013c. Rakennusmateriaalien ympäristövaikutukset. [PDF] [Viitattu 14.7.2014]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B1FAF46B2-2649-41ED-B3AA-5EA789C9512F%7D/37571>.

Ympäristöministeriö. 2014. Suomen rakentamismääräyskokoelma. [WWW]. [Viitattu 17.2.2014]. Saatavissa: [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma).



# LIITE 1 (1). Asuinrakennusten energiatehokkuusluokkien rajat (Ympäristöministeriö 2013b)

## Erilliset pientalot

Käyttötarkoitukseluokka: Yhden asunnon talot  
 Kahden asunnon talot  
 Muut erilliset pientalot  
 Majoituselinkeinoon harjoittamiseen tarkoitettut loma-asunnot, jotka ovat erillisiä pientaloja

### $A_{\text{netto}} < 120 \text{ m}^2$

Energiatehokkuusluokka	Kokonaisenergiankulutus, E-luku (kWh <sub>p</sub> /m <sup>2</sup> vuosi)
A	E-luku $\leq 94$
B	$95 \leq \text{E-luku} \leq 164$
C	$165 \leq \text{E-luku} \leq 204$
D	$205 \leq \text{E-luku} \leq 284$
E	$285 \leq \text{E-luku} \leq 414$
F	$415 \leq \text{E-luku} \leq 484$
G	$485 \leq \text{E-luku}$

### $120 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 150 \text{ m}^2$

Energiatehokkuusluokka	Kokonaisenergiankulutus, E-luku (kWh <sub>p</sub> /m <sup>2</sup> vuosi)
A	E-luku $\leq 150 - 0,47 \times A_{\text{netto}}$
B	$150 - 0,47 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku} \leq 320 - 1,30 \times A_{\text{netto}}$
C	$320 - 1,30 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku} \leq 372 - 1,40 \times A_{\text{netto}}$
D	$372 - 1,40 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku} \leq 452 - 1,40 \times A_{\text{netto}}$
E	$452 - 1,40 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku} \leq 582 - 1,40 \times A_{\text{netto}}$
F	$582 - 1,40 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku} \leq 652 - 1,40 \times A_{\text{netto}}$
G	$652 - 1,40 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku}$

### $150 \text{ m}^2 < A_{\text{netto}} \leq 600 \text{ m}^2$

Energiatehokkuusluokka	Kokonaisenergiankulutus, E-luku (kWh <sub>p</sub> /m <sup>2</sup> vuosi)
A	E-luku $\leq 83 - 0,02 \times A_{\text{netto}}$
B	$83 - 0,02 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku} \leq 131 - 0,04 \times A_{\text{netto}}$
C	$131 - 0,04 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku} \leq 173 - 0,07 \times A_{\text{netto}}$
D	$173 - 0,07 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku} \leq 253 - 0,07 \times A_{\text{netto}}$
E	$253 - 0,07 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku} \leq 383 - 0,07 \times A_{\text{netto}}$
F	$383 - 0,07 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku} \leq 453 - 0,07 \times A_{\text{netto}}$
G	$453 - 0,07 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku}$

### $A_{\text{netto}} > 600 \text{ m}^2$

Energiatehokkuusluokka	Kokonaisenergiankulutus, E-luku (kWh <sub>p</sub> /m <sup>2</sup> vuosi)
A	E-luku $\leq 70$
B	$71 \leq \text{E-luku} \leq 106$
C	$107 \leq \text{E-luku} \leq 130$
D	$131 \leq \text{E-luku} \leq 210$
E	$211 \leq \text{E-luku} \leq 340$
F	$341 \leq \text{E-luku} \leq 410$
G	$411 \leq \text{E-luku}$

**LIITE 1 (2).** Asuinrakennusten energiatehokkuusluokkien rajat (Ympäristöministeriö 2013b)

**Rivi- ja ketjutalot**

Käyttötarkoitukseluokka: Rivi- ja ketjutalot  
Majoituselinkeinoon harjoittamiseen tarkoitettut loma-asunnot, jotka ovat rivi- tai ketjutaloja

Energiatehokkuusluokka	Kokonaisenergiankulutus, E-luku (kWh <sub>E</sub> /m <sup>2</sup> vuosi)
A	E-luku ≤ 80
B	81 ≤ E-luku ≤ 110
C	111 ≤ E-luku ≤ 150
D	151 ≤ E-luku ≤ 210
E	211 ≤ E-luku ≤ 340
F	341 ≤ E-luku ≤ 410
G	411 ≤ E-luku

**Asuinkerrostalot**

Käyttötarkoitukseluokka: Luhtitalot  
Muut asuinkerrostalot

Energiatehokkuusluokka	Kokonaisenergiankulutus, E-luku (kWh <sub>E</sub> /m <sup>2</sup> vuosi)
A	E-luku ≤ 75
B	76 ≤ E-luku ≤ 100
C	101 ≤ E-luku ≤ 130
D	131 ≤ E-luku ≤ 160
E	161 ≤ E-luku ≤ 190
F	191 ≤ E-luku ≤ 240
G	241 ≤ E-luku