

Simo Vanhakartano

MATERIAALITEHOKAS RAKENTAMINEN

Rakennustekniikan koulutusohjelma

2013

MATERIAALITEHOKAS RAKENTAMINEN

Vanhakartano, Simo
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Lokakuu 2013
Ohjaaja: Uusitorppa, Mari
Sivumäärä: 39
Liitteitä: 3

Asiasanat: ekotehokkuus, rakentaminen, hiilijalanjälki

Opinnäytetyössä tutkittiin kirjallisuusselvityksen avulla, mitä materiaalitehokkuudella rakentamisessa tarkoitetaan, miten se voidaan ottaa huomioon suunnittelussa, työmaalla, ylläpitovaiheessa ja rakennuksen elinkaaren lopussa. Tutkittiin myös millaisia apuvälineitä sen edistämiseen on tarjolla ja millaisia materiaalitehokkuuteen vaikuttavia ohjeita ja määräyksiä on olemassa.

Suunnittelussa materiaalitehokkuuteen vaikutetaan muun muassa rakennusmateriaalien valinnalla, tuotantotavalla, rakenneratkaisuilla ja suunnitellulla käyttöiän pituudella. Työmaalla keinot materiaalitehokkuuteen löytyvät logistiikasta, varastoinneista ja siirroista sekä työnteen laadusta. Ylläpitovaiheessa rakennuksen huolto ja kunnossapito ovat materiaalitehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä. Jätteiden käsittely vaikuttaa materiaalitehokkuuteen rakentamisvaiheessa ja rakennuksen elinkaaren lopussa.

Opinnäytetyössä rakentamisen materiaalitehokkuuden arviointiin käytettiin MIPS-laskentaa ja päämateriaalien hiilijalanjälkitietojen vertailua rakennustuotteiden ympäristöselosteita apuna käyttäen. MIPS-laskennassa vertailtiin kattopeltiä ja -tiiltä ja hiilijalanjälkilaskennassa kolmen erilaisen kattorakenteen hiilijalanjälkeä. Kattorakenteiksi valittiin kumibitumikermikatto, betonitiilikatto ja konesaumattu peltikatto.

Tulokset osoittivat, että yksittäisten rakennusmateriaalien materiaalitehokkuuden vertailuun MIPS-laskenta soveltuu hyvin. Hiilijalanjälkilaskennan tuloksista taas havaittiin, että kokonaisten rakennuksien ympäristörasituksia ja sitä kautta materiaalitehokkuuksia on melko yksinkertaista vertailla hiilijalanjälkiä vertailemalla, jos rakennusmateriaalien päästötiedot vain on saatavilla.

MATERIAL EFFICIENT CONSTRUCTION

Vanhakartano, Simo

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Construction Engineering

October 2013

Supervisor: Uusitorppa, Mari

Number of pages: 39

Appendices: 3

Keywords: ecological efficiency, construction, carbon footprint

The purpose of this thesis was to research the meaning of material efficiency in construction and how it can be taken into account in the planning stage, at the construction site, in maintenance and at the end of the building's life-cycle. It was also researched what kind of tools there are available to promote material efficiency and what kind of rules and regulations there are.

The research was carried out by using literature review. In the construction planning material efficiency is affected with, among other things, the choice of materials, production methods, structural solutions and the planned length of life. At the construction site the tools to material efficiency can be found in logistics, warehousing and transporting and also on the quality of working. At the maintenance stage the building's upkeep and service are the factors to material efficiency. Waste treatment affects to material efficiency at the building stage and when the life-cycle of a building is coming to its end.

The methods used in this thesis to measure the material efficiency of construction were the MIPS calculation and, with the help of construction product's environmental declarations, the comparison of carbon footprint of main building materials. In The MIPS calculation tin roof was compared against brick roof and in the carbon footprint calculation three different roof structures, felt roof, brick roof and tin roof were compared.

The results showed that the MIPS calculation is a well-adapted method to compare single building materials. The carbon footprint calculation's results showed that it is fairly simple to compare entire buildings' environmental burdens and thus the material efficiency by comparing carbon footprints as long as the emission data of the building materials is available.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
1.1	Mitä materiaalitehokkuus rakentamisessa tarkoittaa?	5
1.2	Käsitteet	6
1.3	Materiaalitehokkuuden laajuus	7
2	MATERIAALITEHOKKUUS RAKENTAMISESSA.....	9
2.1	Rakentamisen ainepanokset	9
2.2	Materiaalitehokkuus suunnittelussa	9
2.3	Materiaalitehokkuus työmaalla.....	11
2.3.1	Logistiikka	11
2.3.2	Varastointi ja siirrot.....	12
2.3.3	Materiaalimenekki ja -hukka.....	12
2.4	Materiaalitehokkuus käytön aikana	14
2.5	Materiaalitehokkuus ja jätteet	15
2.5.1	Rakentamisen jätemäärät.....	15
2.5.2	Jätelainsäädäntö.....	18
2.5.3	Jätteiden lajittelu, uudelleenkäyttö ja kierrätys	20
2.5.4	Vaaralliset jätteet.....	21
2.6	Materiaalitehokkuuden arvioiminen	23
2.6.1	Ympäristöluokitukset ja -merkit.....	23
2.6.2	Ympäristöselosteet	25
3	RAKENNUSMATERIAALIEN VERTAILU	26
3.1	MIPS	26
3.2	Materiaalien kasvihuonepäästöt.....	28
3.2.1	Puu	28
3.2.2	Betoni	29
3.2.3	Teräs	30
3.3	Hiilijalanjälkilaskuri	31
	YHTEENVETO	35
	LÄHTEET	36

1 JOHDANTO

1.1 Mitä materiaalitehokkuus rakentamisessa tarkoittaa?

Materiaalitehokkuus on terminä selkeä ja yleensä ymmärretään mitä asioita sillä suurin piirtein tarkoitetaan. Tarkkaa määritelmää sille ei ole lainsäädännössä vielä annettu Suomessa tai EU:ssa. Usein kuultu vastaus materiaalitehokkuustermin tarkoitukseen on, miten esimerkiksi rakennustyömaalle tuotavien rakennustarvikkeiden määrää tulisi tarkentaa, jotta hukkaan menevää materiaalmäärää saataisiin pienennettyä. Vastaus on oikea ja liittyy rakennustyömaan logistiikkaan, mutta todellisuudessa termi on paljon laajempi. Se käsittää materiaalin koko tuotantoketjun sen tuotannosta aina käytön jälkeiseen loppusijoitukseen asti sisältäen rakennuksen koko elinkaaren. Siihen vaikutetaan materiaalin valinnassa, sen tuotannossa, käytössä ja loppusijoituksessa.

Yksinkertaistaen materiaalitehokkuudella tarkoitetaan sitä, että saavutetaan mahdollisimman suuri hyöty suhteessa käytettyyn materiaalipanokseen siten, että haitalliset vaikutukset vähenevät elinkaaren aikana. Materiaalipanoksella taas tarkoitetaan materiaalin määrän lisäksi kuljetuksesta ja työstä syntyneitä kustannuksia. Haitalliset vaikutukset on otettava huomioon, jotta materiaalitehokkuus ei olisi pelkästään massapohjainen vähemmästä enemmän ajattelukanta. (Motivan [www-sivut](http://www.motivan.fi) 2013.)

1.2 Käsitteet

Betonin karbonatisoituminen

”Betonin raudoitukselle antama kemiallinen suoja häviää, kun betoni ilman hiilidioksidin vaikutuksesta karbonatisoituu. Tällöin betonin pH-arvo laskee. Kemiallisesti karbonatisoituminen aiheutuu hiilidioksidin reaktiosta betonin kalsiumyhdisteiden kanssa.” (Koskela ym. 2011, 21)

CO₂-ekv

”Kasvihuonekaasupäästöihin lasketaan hiilidioksidin (CO₂) lisäksi myös metaani (CH₄) ja typpioksiduuli (N₂O). Kasvihuonekaasut ilmaistaan hiilidioksidiekvivalentteina. Hiilidioksidin ekvivalenttipäästöihin lasketaan hiilidioksidipäästöt sellaiseenaan, metaanipäästöt (CH₄) kerrottuna luvulla 21 ja typpioksiduulipäästöt (N₂O) kerrottuna luvulla 310. Nämä kertoimet kuvaavat kyseisten yhdisteiden vaikuttavuutta kasvihuoneilmioon hiilidioksidiin verrattuna.” (Valtion Teknillisen Tutkimuskeskuksen www-sivut 2013)

Hankesuunnittelu

”Hankesuunnittelussa asetetaan rakennushankkeelle täsmälliset laajuutta, toimivuutta, laatua, kustannuksia, ajoitusta ja ylläpitoa koskevat tavoitteet. Siinä määritellään rakennuspaikka ja hankkeen toteutustapa.” (RT 10-11107 2013, 5)

Nollaenergiarakentaminen

”Nollaenergiatalo tuottaa uusiutuvaa energiaa vähintään saman verran kuin se kuluttaa uusiutumaton energiaa.” (Motivan www-sivut 2013)

Rakennuksen käyttö- ja huolto-ohje

”Tarkoittaa kiinteistönpitoa tukevaa kiinteistökohtaista asiakirjakokonaisuutta. Siihen kootaan kiinteistön hoidon, huollon ja kunnossapidon lähtötiedot, tavoitteet, tehtävät ja ohjeet sekä asukkaille ja tilojen käyttäjille annettavat ohjeet.” (Suomen RakMK A4, 2000, 2)

1.3 Materiaalitehokkuuden laajuus

Olennainen osa materiaalitehokkuudesta koostuu jätteiden synnyn ja jätteiden haitallisuuden ehkäisystä, uudelleenkäytöstä ja kierrätyksestä. Myös materiaalin pilaantumisen ehkäisy liittyy osaksi materiaalitehokkuutta. Jos otetaan huomioon myös energian käytön tehokkuus ja päästöjen vähentäminen, laajenee käsite materiaalitehokkuudesta ekotehokkuudeksi. Kojo & Lilja ovat kirjoittamassaan ympäristöministeriön raportissa laatineet käsitteistä kaaviokuvan (Kuva 1). Eko-, materiaali- ja energiatehokkuuden lisäksi on olemassa vielä yksi tehokkuuskäsite, resurssitehokkuus. Se on EU:n lanseeraama termi, mutta sille ei ole vielä täysin vakiintunutta määritelmää. Voidaan tulkita, että siihen sisältyy materiaali- ja energiatehokkuuden lisäksi veden ja maan käyttö, jätteiden muodostuminen ja luontoarvojen säilyttäminen. (Hippinen, Österlund, Eskola & Suomi 2012, 9.)



Kuva 1. Käsitteiden väliset suhteet (Kojo & Lilja 2011, 11).

Materiaalitehokkuus tarkastelee materiaalivirtaa enemmän ylävirran kuin alavirran suunnasta. (Kojo & Lilja 2011, 10.) Ylävirran suunnasta tarkastelu tarkoittaa sitä, että ratkaisut joilla tavoitellaan materiaalitehokasta rakentamista, tehdään jo tuotannon alkupäässä materiaaleja valmistettaessa ja rakennusta suunniteltaessa. Vaikka jätteiden synnyn ja haitallisuuden ehkäisy sekä kierrätys ja muu hyödyntäminen ovat

kuvassakin näkyvästi esillä, niin jätteistä puhuttaessa materiaalitehokkuutta tarkastellaan lähinnä vain rakennustuotannon loppuvaiheessa eli alavirran suunnasta.

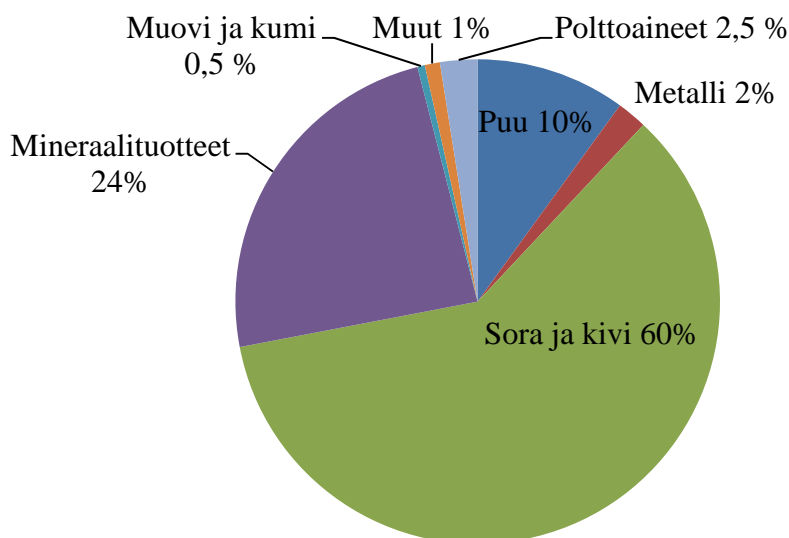
Materiaalitehokkuuden parantaminen ei takaa kestäväää kehitystä. Vaikka tehokkuus kasvaa, luonnonvarojen kulutus voi siitä huolimatta nousta tai pysyä kestäättömällä tasolla. Joskus materiaalitehokkuustermiä halutaan rajata. Esimerkiksi uusiutuvien ja uusiutumattomien materiaalien käytön vaikutuksia materiaalitehokkuuteen on huomioitu lähinnä vain Saksassa. (Kojo & Lilja 2011, 12.)

Suomen hallitusohjelmaan on kirjoitettu: ”Vaikutetaan aktiivisesti EU:n materiaalitehokkuuspolitiikan muotoiluun. Laaditaan kansallinen ohjelma materiaalitehokkuudelle ja luonnonvarojen kestäväälle käytölle ja selvitetään mahdollisuuksia niiden mittaamiseen ja arvioinnin kehittämiseksi” (Pääministeri Jyrki Kataisen hallituksen ohjelma 2011, 70). Materiaalitehokkuusohjelman pitäisi olla aikataulun mukaisesti valmiina vuoden 2013 syksyyn mennessä (Työ- ja elinkeinoministeriön www-sivut 2013).

2 MATERIAALITEHOKKUUS RAKENTAMISESSA

2.1 Rakentamisen ainepanokset

Tonnimääräisesti laskettuna talonrakentamisessa käytettiin vuonna 2002 22,6 miljoonaa tonnia rakennusmateriaaleja, josta yli puolet oli soraa ja kiveä. Mineraalituotteita (betonituotteet, tiilet, rakennuskivet jne.) käytettiin 24 prosenttia ja puuta 10 prosenttia (Kuva 2). Jos tarkastellaan pelkästään itse rakennuksia niin yleisimpien rakennusmateriaalien (betoni, puu ja teräs) keskinäiset käyttösuhteet olivat betonille 54 prosenttia, puulle 38 prosenttia ja teräkselle 8 prosenttia. (Koskela, Korhonen, Seppälä, Häkkinen & Vares 2011, 7–8.)



Kuva 2. Talonrakentamisen ainepanokset vuonna 2002 (Koskela ym. 2011, 7–8).

2.2 Materiaalitehokkuus suunnittelussa

Rakennuksen suunnitteluvaiheessa määritellään kustannukset, jotka toteutuvat rakennusvaiheessa sekä tavoiteltava käyttöikä. Täten suunnittelulla onkin suuri vaikutus materiaalitehokkuuteen. Elinkaariajattelu ja -tekniikka ovat parhaita lähtökohtia materiaalitehokkaalle suunnittelulle, sillä niiden pyrkimyksenä on tuottaa mahdollisimman laadukkaita ja pitkäikäisiä rakennuksia. Elinkaaritekniikan suuntaviivat ovat

hyvin pitkälti samoja, joita materiaalitehokkuudesta puhuttaessa nähdään: (RIL 216-2013 2013, 86.)

- kestävät ja helposti huollettavat rakenteet
- monoliittiset ja yksinkertaiset rakenteet
- rakennussysteemin muunneltavuus ja pitkä käyttöikä
- lyhytikäisten osien helppo kierrätettävyys
- pidetään erilaisten materiaalityyppien lukumäärä pienenä
- pidetään erillään rakenneosat, joissa eri käyttöiät tai kierrätettävyyskäsittely
- rakenteiden yksinkertaiset liittämistavat
- vältetään haitallisia rakennusmateriaaleja

Hankesuunnittelussa laaditaan ympäristöselvitys, johon kirjataan ympäristötavoitteet tai -vaatimukset, kuten käyttöikätaivoite, muuntojoustavuus, tavoitteet luonnonvarojen kulutukselle, tavoitteet ympäristökuormitukselle ja tavoitteet jätteen synnyn ehkäisylle. Hankesuunnitteluvaiheessa vaikutetaan siis jo suurilta osin rakennusprojektin materiaalitehokkuuteen. Rakennesuunnittelussa toteutetaan hankesuunnitelman asettamat vaatimukset. Pyrittäessä materiaalitehokkuuteen kannattaa rakennus suunnitella muuntojoustavaksi, sillä se pidentää rakennuksen käyttöikää ja täten lisää materiaalitehokkuutta. Muuntojoustavuus aiheuttaa kuitenkin omat haasteensa suunnitteluun, sillä rakenteissa on otettava huomioon erilaiset käyttötarkoitukset. (Hänninen & Rahkila 2005, 10–15.)

Myös moduuli- ja standardimitoitus lisäävät materiaalitehokkuutta, sillä elementit, valmisosat ja määrämittaisuus vähentävät jätteen määrää työmaalla. Tehtaalla vakioiduissa työolosuhteissa valmistetut osat tuottavat aina vähemmän jätettä kuin työmaalla paikalla rakentaen. Myös dokumentoinnilla on merkitystä rakennuksen materiaalitehokkuuteen. Dokumenttien avulla saadaan tietoa millaisia materiaaleja ja rakenteita on käytetty ja pystytään toimimaan niiden kanssa oikein, kun rakennuksessa joudutaan tekemään muutostöitä. (Hänninen & Rahkila 2005, 10–15.)

2.3 Materiaalitehokkuus työmaalla

Rakennusvaiheessa materiaalitehokkuuteen vaikutetaan työmaan toimilla. Keinot löytyvät työmaalogistiikan parantamisesta, rakennusmateriaalien varastointien ja siirtojen paremmasta suunnittelusta sekä jätteiden tarkemmasta lajittelusta.

2.3.1 Logistiikka

Työmaalogistiikkaan kuuluu kolme osa-aluetta, jotka ovat tuleva, sisäinen ja lähtevä logistiikka. Tulologistiikkaan kuuluu materiaalien toimitukset ja kuormien vastaanotto ja purku. Sisälogistiikka tarkoittaa materiaalin liikkumista työmaan sisällä sisältäen varastoinnit. Lähtölogistiikkaan kuuluu jätehuolto ja mahdolliset tuotepalautukset. (Venäläinen 2007, 6.)

Logistiikan rooli työmaan tehokkuudessa on kasvamassa, koska esivalmistuksen määrä kasvaa ja paikalla rakentamisen määrä laskee. Suurille työmaille valitaan erikseen logistiikkatyönjohtaja vastaamaan kaikista materiaalitoimituksista purkamisneen, siirtoineen ja varastoimisineen. Logistiikan tehostaminen parantaa materiaalitehokkuutta, koska ylimääräiset välivarastoinnit ja siirrot sekä liian pitkät ulko-varastointiajat aiheuttavat materiaalihukkaa. Siirroissa materiaalit saattavat vahingoittua käyttökelvottomiksi ja liian pitkät ulko-varastointiajat pidentävät materiaalien säärasi-tuksia ja täten kasvattavat pilaantumisriskiä. Rakennustyömaalla voidaan asettaa esimerkiksi aikarajoituksia rakennusmateriaalien ja -tarvikkeiden varastoinneille.

Jotta työmaan logistiikka olisi tehokasta, tarvitaan toimitusten ohjausta. Se tarkoittaa sitä, että materiaalitoimitukset tulevat sopivissa erissä ja oikeaan aikaan. Toimitusten ohjauksella säästytään turhilta siirroilta ja varastoinneilta. Toimitustäsmällisyys onkin yksi työmaalogistiikan merkittävimmistä haasteista. Myöhästymisistä seuraa tuotannon katkoksia, jotka voivat sekoittaa myöhempien työvaiheiden aikataulutuksen. Liian aikaiset toimitukset puolestaan aiheuttavat ylimääräisiä siirtoja ja varastointeja. (Koski, Kiviniemi, Palolahti & Sahlstedt 2009, 3.)

2.3.2 Varastointi ja siirrot

Rakennustyömaalla tulisi pyrkiä siihen, että se toimisi enemmän asennuspaikkana kuin varastona, sillä varastointi maksaa ja siirroissa on aina riski materiaalien vaurioitumiseen. Varastoinnissa tulee huomioida materiaalien suojaus, koska tehdaspakkaukset eivät anna riittävää suojaa muuttuvia sääolosuhteita varten. Usein tarvitaan pienempiä välivarastoja, jotka ovat esimerkiksi lämmitettyjä tai säältä suojattuja. Vartiointiin ja seurantaan tulisi kiinnittää entistä enemmän huomiota rakennusmateriaalien varkauksien jatkuvasti lisääntyessä. (Hänninen & Rahkila 2005, 18.)

Terminaali eli logistiikkakeskus toimii rakennustyömaan eräänlaisena ulkopuolisena välivarastona. Siellä työmaalle lähtevä kuormia voidaan koota eri tavarantoimittajien materiaaleista ja tuotteista, ja toimittaa eteenpäin täsmätoimituksina jonkun tietyn rakennusalueen, esimerkiksi kerroksen tai huoneiston mukaan. Täsmätoimituksien onnistumisen varmistamisen kannalta hyvä tiedonkulku eri osapuolten välillä ja tarkka aikataulusuunnittelu ovat ensiarvoisen tärkeitä. Virheelliset paketoinnit tai toimituksien myöhästymiset aiheuttavat ylimääräistä työtä, varastointeja ja kuluja, jolloin materiaalitehokkuus kärsii. (Koski ym. 2009, 8.)

2.3.3 Materiaalimenekki ja -hukka

Työnsuunnittelu, materiaalien käyttö, hankintatarkkuus, varastointi ja siirrot ovat avainsanoja, kun materiaalimenekkiin halutaan vaikuttaa. Materiaalimenekin yhteydessä puhutaan materiaalilisistä, joita ovat menetelmälisä (ML2), työvaihelisä (ML3) ja työmaalisä (ML4). Yhdessä ne muodostavat kokonaisuuden. Materiaalilisä tarkoittaa työmaasta johtuvaa todellisen ja teoreettisen materiaalimenekin erotusta.

Menetelmälisä (ML2)

Menetelmälisä on menetelmämenekin (M3: valmistusmitat, rakenteiden mitat ja työmenetelmä huomioon ottaen määritelty tavoitteellinen menekki) ja teoreettisen menekin (M2: Talo 90 määrälaskentaohjeen mukaan lasketut lopullisiin piirustuksiin merkityt materiaalimenekit) erotus. Menetelmämenekkiin voidaan vaikuttaa suunnittelussa.

Työnvaihelisä (ML3)

Työnvaihelisä on työnvaihemenekin (M4: työvaiheessa käytetty kokonaismenekki työ kertaalleen tehtynä, ei siis sisällä uudelleenteosta johtuvia menekkilisiä.) ja menetelmämenekin erotus. Syitä siihen ovat työsuorituksen aikana tehdyt virheet kuten esimerkiksi työssä rikki mennyt materiaali ja hukkapalat. Työnvaihelisää voidaan pienentää parantamalla rakenne- ja työmaasuunnittelua, käyttämällä materiaaleja oikein ja tilaamalla määrämittäisiä materiaaleja. Virheelliset tai puutteelliset materiaalihankinnat varastointien, siirtojen, ylijäämäisen ja turmeltuneen materiaalin lisäksi aiheuttavat työmaalisää.

Työmaalisä (ML4)

Työmaalisä on työmaamenekin (M5: työmaalle tuodusta materiaalmäärästä vähennetty käyttämätön jäljelle jäänyt materiaalmäärä) ja työnvaihemenekin erotus. Tähän lisäksi lasketaan esimerkiksi yli jäänyt tai muuhun käyttöön mennyt materiaali sekä varastoinnissa pilaantunut materiaali. Jos jokin rakennuksen osa joudutaan rakentamaan uudelleen, lasketaan siihen käytetyt materiaalit työmaalisään. Tähän lisäksi voidaan vaikuttaa ennen kaikkea työmaan toimilla.

Materiaalihukka tarkoittaa käyttökelvottomaksi muuttunutta materiaalia, johon syitä ovat rakentamisen virheellinen ajoitus, puutteelliset tai virheelliset suunnitelmat, suunnitelmista poikkeamiset, suunnitellun materiaalinkäytön ja materiaalistandardien yhteensopimattomuus, virheellinen työnsuoritus, huono ja puutteellinen työnsuunnittelu, huolimaton työmaajärjestys ja poikkeukselliset sääolosuhteet. Materiaalihukkaa sisältyy kaikkiin materiaalilisiin. (Ratu 1191-S 2000, 2.) Ratu-kortissa 1991-S on menetelmiä ja lisiä havainnollistava kaaviokuva (Kuva 3).

Teoreettinen menekki M2	Menetelmälisä ML2	Työnvaihelisä ML3	Työmaalisä ML4
Menetelmämenekki M3			
Työnvaihemenekki M4			
Työmaamenekki M5			

Kuva 3. Materiaalimenekit (Ratu 1191-S 2000, 1).

2.4 Materiaalitehokkuus käytön aikana

Rakennuksen käyttöikä on suoraan suhteessa materiaalitehokkuuteen. Siksi onkin syytä kiinnittää huomiota rakennuksen ylläpitoon. ”Kiinteistön ylläpidon tavoitteena on pitää rakennus ja lähiympäristö teknisesti ja toiminnallisesti hyvällä tasolla erityisesti ottaen huomioon turvallisuus-, terveellisyys- ja toimivuusnäkökohtia. Lisäksi tavoitteena tulee olla kiinteistön energiankulutuksen optimointi, kiinteistön kunnan ja arvon säilyminen sekä erityisesti kosteusvaurioiden ja sitä kautta homeongelmien estäminen” (RIL 216-2013 2013, 177).

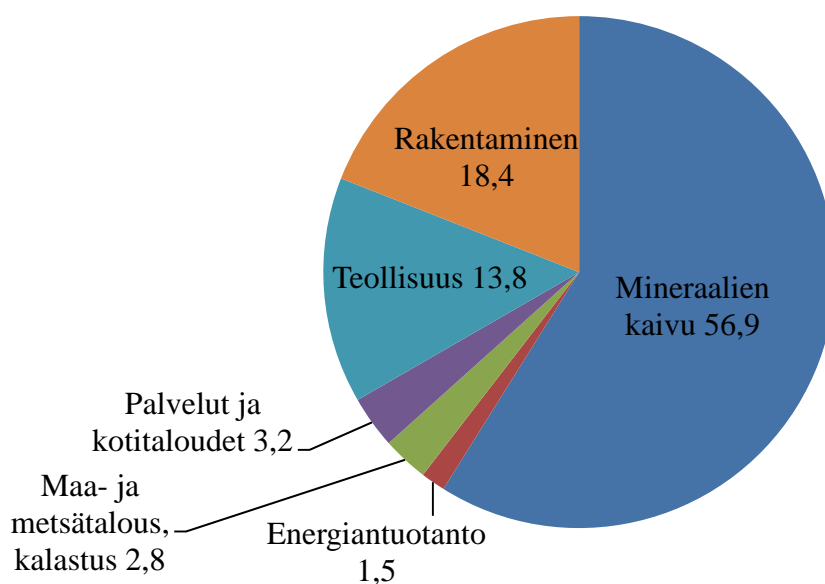
Käytännön apuvälineitä rakennuksen ylläpitoon ovat kiinteistölle laadittava kiinteistöstrategia sekä rakennuksen käyttö- ja huolto-ohje. Kiinteistöstrategiassa määritellään suuntaviivat, miten kiinteistöä halutaan kehittää. Siitä selviää rakennuksen nykytila, tarvittavat lähitulevaisuuden korjaustoimenpiteet sekä suurpiirteiset toimenpiteet seuraavalle kymmenelle vuodelle. Uusille rakennuksille pakolliseen käyttö- ja huolto-ohjeeseen eli huoltokirjaan kirjataan esimerkiksi rakennuksessa käytetyt rakennusmateriaalit ja laitteet sekä rakennukseen tehdyt korjaustoimenpiteet ja tallennetaan tiedot takuuajoista. (RIL 216-2013 2013, 177–186.)

Rakennuksen alkuperäisen käyttötarpeen päättyessä sen elinkaarta voidaan pidentää kehittämällä sille uusi käyttötarkoitus purkamisen sijasta. Mitä vähemmän korjaus- ja lisärakentamista muutostöihin tarvitaan, sitä materiaalitehokkaammin lopputulos saavutetaan. Muutostöitä tehtäessä rakennuksen muuntojoustavuus vaikuttaa siihen, kuinka materiaalitehokkaasti tilat saadaan muutettua uuden käyttötarpeen vaatimusten mukaisiksi. (Kojo & Lilja 2011, 36.)

2.5 Materiaalitehokkuus ja jätteet

2.5.1 Rakentamisen jätemäärät

Viimeisimmät saatavilla olevat jätetilastot ovat vuodelta 2011. Silloin rakentamisen toimialan tuottama jätemäärä Suomessa oli 18,4 miljoonaa tonnia, kun kaikkien jätteidien yhteismäärä oli 96,6 miljoonaa tonnia (Kuva 4). Vuonna 2007 rakentamisen jätemäärä oli 25,5 miljoonaa tonnia. Vuosittainen rakennusjätekertymä on verrannollinen rakentamisen määrään. Valtakunnallisessa jättesuunnitelman seurantaraportissa todetaan, että jätemäärän kasvun taittumisen syy vuonna 2009 oli ainakin osittain vuonna 2008 alkanut taloudellinen taantuma. (Jätetilasto 2011 2013, 1; Ympäristöministeriö 2012, 8.)



Kuva 4. Jätemäärät sektoreittain vuonna 2011, miljoonaa tonnia (Jätetilasto 2011 2013, 1).

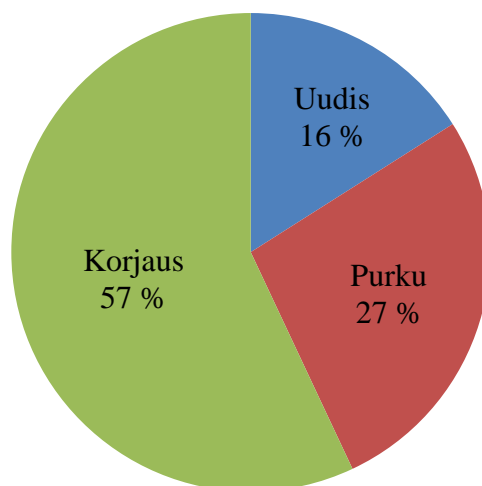
Suomen kokonaisjättemäärästä suurin osa syntyy mineraalien kaivusta. Yhdessä rakentamisen ja teollisuuden kanssa ne tuottavatkin yli 90 prosenttia Suomen jätteiden kokonaismäärästä. Rakentamisenkin toimialan jättemäärästä peräti 97 prosenttia oli mineraaleja vuonna 2011, lähinnä maa-aineksia (Taulukko 1). (Ympäristöministeriö 2012, 7.) Suurin osa mineraalien kaivun jätteistä voidaan käyttää kuitenkin sellaiseenaan tai jatkojalostuksen kautta mm. maanrakentamisessa. (Finstonen www-sivut 2013; Huhtinen, Lilja, Sokka, Salmenperä & Runsten 2007, 21; Kiviniemi ym. 2012, 18.)

Taulukko 1. Jätteiden kertymät rakentamisen toimialalla jätelajeittain vuonna 2011, 1000 tonnia vuodessa (Jätetilasto 2011 2013, 6).

Metalli	Lasi	Paperi ja pahvi	Puu	Eläin ja kasvi	Sekalaiset	Lietteet	Mineraali	Yhteensä	(josta vaarallista jätettä)
265	1	6	253	1	70	14	17815	18425	334

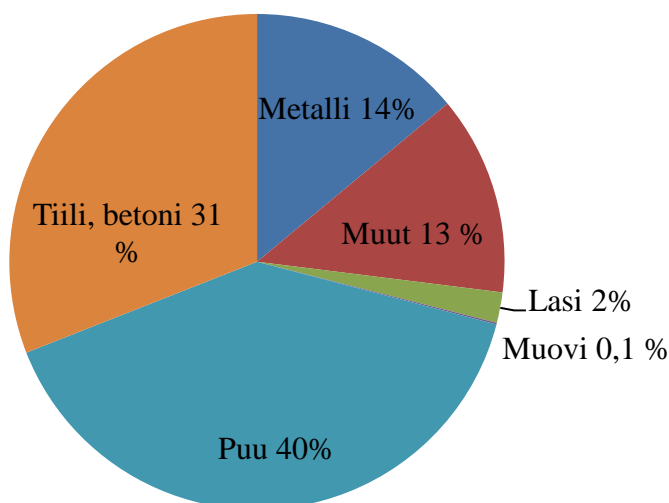
Rakentamisen materiaalitehokkuuden kehitystä on alustavasti voitu arvioida suhteuttamalla talonrakentamisen materiaalihävikki rakentamisen kokonaisvolyymiin, näin laskettuna talonrakentamisen toimialan materiaalitehokkuus on laskenut. Vanhat jätetilastot ovat kuitenkin puutteellisia, joten tarpeeksi luotettavaa materiaalitehokkuuden kehityslaskelmaa ei voida vielä tehdä. (Ympäristöministeriö 2012, 8.)

Rakentamisen toimialasta voidaan siis edelleen tarkastella erikseen talonrakentamisen toimialaa, johon lasketaan uudisrakentaminen, purku ja korjausrakentaminen. Vuonna 2011 talonrakennuksen jättemäärä oli 1,8 miljoonaa tonnia, vuonna 2010 arviolta 2 miljoonaa tonnia. Jättemäärän painopiste on siirtynyt jo vuonna 2006 korjausrakentamiseen, jonka määrä koko alasta on yli puolet 57 prosentin osuudella kokonaisjättemäärästä. Purkutoiminnan osuus oli 27 prosenttia ja uudisrakentamisen 16 prosenttia (Kuva 5). (Ympäristöministeriö 2012, 27–28; Ruuska ym. 2013, 18.)



Kuva 5. Talonrakentamisen jätemäärien jakautuminen vuonna 2006 (Ympäristöministeriö 2012, 28).

Vuonna 2008 talonrakentamisessa syntyneestä jätemäärästä 40 prosenttia oli puuta, 31 prosenttia tiiltä ja betonia ja 14 prosenttia metallia. Muut jätteet koostuivat muoveista, lasista ja yhdyskuntajätteiden kaltaisista jätteistä (Kuva 6). Jätteiden kokonaismäärät eivät sellaisenaan kuvaa materiaalitehokkuutta kovin hyvin, paremmin siihen tarkoitukseen käy kierrätetyn jätemäärän suhde kaatopaikalle päätyvään jätemäärään. Vuonna 2010 talonrakentamisen puujätteistä hyödynnettiin materiaalina ja energiana arviolta 86 prosenttia, metallijätteistä 92 prosenttia ja betoni- ja mineraalijätteistä 72 prosenttia. Kaikista talonrakentamisen jätteistä 20 prosenttia menee kaatopaikalle. (Ympäristöministeriö 2012, 27; Ruuska ym. 2013, 18, 33.)



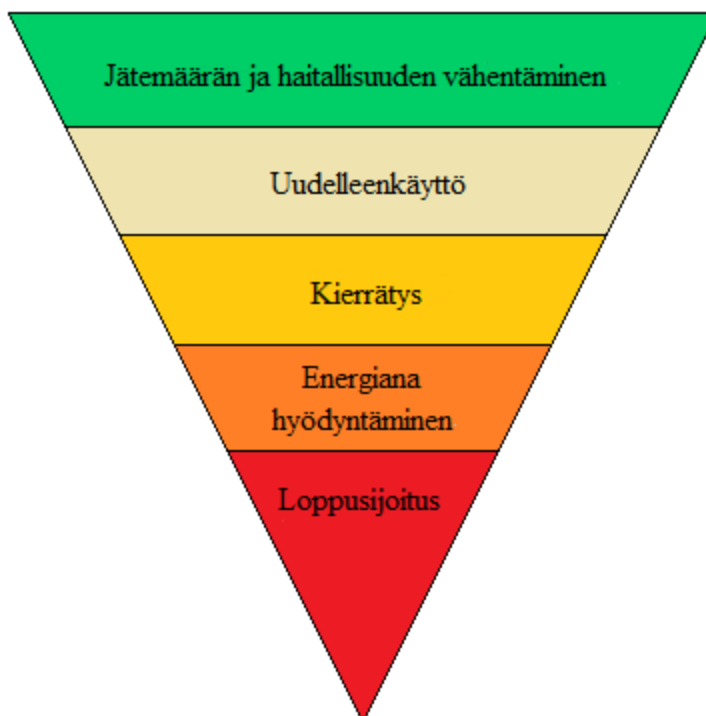
Kuva 6. Talonrakentamisen jätekertymät jätelajeittain (Ympäristöministeriö 2012, 27).

2.5.2 Jätelainsäädäntö

Suomen jätelainsäädäntö uudistui 1. toukokuuta 2012. Silloin astuivat voimaan uusi jätelaki 646/2011 ja jäteasetus 179/2012. Uudistuneessa jätelainsäädännössä asetetaan tavoitteeksi, että muutoin kuin energiana hyödynnetyn rakennus- ja purkujätteen painoprosenttiosuus koko jätemäärästä olisi 70 vuoteen 2020 mennessä. Tähän määrään ei lasketa kallio- tai maaperäaineksia eikä vaarallisia jätteitä. Vuonna 2008 kyseinen painoprosenttiosuus oli arviolta 61. Tavoite on korkeampi kuin valtakunnallisessa jätesuunnitelmassa (VALTSU) asetettu tavoite, jonka mukaan vuonna 2016 rakentamisen jätteistä olisi hyödynnettävä 70 prosenttia mukaan lukien energiana hyödyntäminen. Näin uudella lainsäädännöllä vastataan EU:n jätedirektiivin (2008/98/EY) vaatimuksiin. Uusi lainsäädäntö myös lisää rakennusjätteiden seuranta- ja raportointivelvoitteita. (Jäteasetus 179/2012, 16 §; Jätelaki 646/2011, 8 §; Ruuska ym. 2013, 10; Ympäristöministeriö 2012, 9 & 27–28.)

Uudessa jätelaissa määrätään velvollisuus noudattaa jätteenkäsittelyn etusijajärjestystä eli viisiportaista jättehierarchyä (Kuva 7). Sen tavoitteena on jätteen määrän ja haitallisuuden vähentäminen, uudelleenikäytön, kierrätyksen ja muun hyödyntämisen lisääminen sekä kaatopaikkakäsittelyn vähentäminen. (Jätelaki 646/2011, 8 §; Lilja

& Saramäki 2012, 3.) Jätehierarkian vahvistamiseksi myös ympäristönsuojelulakiin (4.2.2000/86) kirjattiin muutos (17.6.2011/647) materiaalien käytön tehokkuuden huomioon ottamiseksi ympäristölupien lupamääräyksiä annettaessa. Ympäristöministeriö on laatinut oppaan (Materiaalien käytön tehokkuus ympäristölupamenettelyssä), jossa lupaviranomaisia neuvotaan, miten materiaalitehokkuus tulisi luvissa käytännössä ottaa huomioon. (Ympäristölaki 2012, 43 §; Lilja & Saramäki 2012.)



Kuva 7. Jätehierarkia

Vuoden 2011 alussa voimaan tulleen jäteverolain 1126/2010 mukaan kaatopaikalle kuljetettavasta jätteestä on maksettava veroa. Jäteveron suuruus nousi vuoden 2013 alussa 40 eurosta 50 euroon jätetonnilta. (Jäteverolaki 1126/2010, 1 §, 14 §.) Jätevero ja kuntien perimät jätemaksut eivät ole ainoita jätekustannuksia. Todellisuudessa ne muodostavat vain 10 prosentin osuuden kaikista jätekustannuksista. Piileviä kustannuksia muodostuu muun muassa hävikkimateriaaleista ja työvoimakustannuksista. Motivan [www-sivuilta](#) löytyvässä kuvassa havainnollistetaan kustannusten näkyvyyttä (Kuva 8). (Motivan [www-sivut](#) 2013.)



Kuva 8. Hukkamateriaalien kustannusvaikutukset (Motivan www-sivut 2013).

2.5.3 Jätteiden lajittelu, uudelleenkäyttö ja kierrätys

Jäteasetus 179/2012 velvoittaa rakennusjätteiden lajitteluun: ”Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava hankkeen suunnittelusta ja toteuttamisesta siten, että jätelain 8 §:n mukaisesti otetaan talteen ja käytetään uudelleen käyttökelpoiset esineet ja aineet ja että toiminnassa syntyy mahdollisimman vähän ja mahdollisimman haitatonta rakennus- ja purkujätettä” (Jäteasetus 179/2012, 15 §). Päämalleja työmaiden lajitteluun on olemassa kaksi, syntypaikkalajittelu ja kierrätyslaitospainotteinen lajittelu, joita yhdistelemällä tehdään kullekin rakennustyömaalle oma jätteidenkäsittelysystemi. Syntypaikkalajittelu tarkoittaa jätteiden lajittelua niiden syntypaikalla, jossa tulisi pyrkiä mahdollisimman vähäiseen sekajätteen määrään. Syntypaikkalajittelu parantaa rakennusjätteiden hyödyntämismahdollisuuksia työmaalla. Kierrätyslaitospainotteisessa lajittelussa kerätään jätteet yhdeksi kuormaksi, josta ne toimitetaan kierrätyslaitokseen lajiteltavaksi. (Kokkonen 2004, 37.)

Materiaalien uudelleenkäyttöä tai hyötykäyttöä ovat toiminnot, joissa tuote tai osa siitä käytetään sellaisenaan uudestaan, esimerkiksi pakkauksien tai rakennuslavojen uudelleenkäyttö. Kierrätyksessä materiaali palautetaan takaisin tuotantoon pois luki- en energiahyödyntäminen. EU:n analyysin mukaan jätteiden kierrätys on tällä hetkellä jätteidenkäsittelyn merkittävin tapa säästää materiaalia ja parantaa materiaalihokkuutta. Jätteen muodostumisen ehkäisyä katsotaan kuitenkin vahvistavan vaiku-

tustaan materiaalisäästöissä tulevaisuudessa materiaalien uudelleenkäytön ja kulu-
tuskestävämpien rakenteiden lisääntyessä. Myös kevyemmät tuotanto- ja rakennus-
menetelmät ajavat tilastoja kierrätyksestä jätteen muodostumisen ehkäisyyn suuntaan.
(Hippinen ym. 2012, 19.)

Käyttökelpoisten purettujen rakennusosien ja -materiaalien kysyntä on viime vuosina
noussut pienrakentamisessa. Käytettyjä rakennusmateriaaleja voi tiedustella alan
kierrätyskeskuksista ja internetin kauppapaikoilta. Esimerkiksi Porin seudun raken-
nuskulttuuriseura ry:n perustama Varaosapankki myy vanhoja ovia, ikkunoita, katto-
tiiliä, lattialankkuja, kaakeliuuneja, hirsiiä jne. Toinen suuri toimija on Pekolassa si-
jaitseva Metsänkylän Navetta, joka käytetyn rakennustavaran lisäksi välittää koko-
naisia hirsikehikoita siirrettäväksi.

Motiva on käynnistänyt vuonna 2013 hankkeen, jossa selvitetään miten voitaisiin
edistää eri toimijoiden välistä materiaali- ja energiavirtoja Suomessa. On siis kyse
teollisesta symbioosista, joka tarkoittaa sitä, että toinen yritys hyödyntää toisen yri-
tyksen jätevirtoja omissa prosesseissaan. Britanniassa vastaava ohjelma NISP (Na-
tional Industrial Symbiosis Programme) on saavuttanut merkittäviä säästöjä yrityksil-
le. (Motivan www-sivut 2013.)

2.5.4 Vaaralliset jätteet

Vaaralliset jätteet -termi korvasi ongelmajätetermin laissa vuonna 2011. Vaarallisella
jätteellä tarkoitetaan jätettä, jolla on palo- tai räjähdysvaarallinen, tartuntavaarallinen,
muuten terveydelle vaarallinen, ympäristölle vaarallinen tai muu vastaava ominai-
suus (Jätelaki 646/2011, 6 §). Myös varoitusmerkit tulevat muuttumaan. Jatkossa
kaikissa EU-maissa on samanlainen punareunainen merkistö Suomen kansallisten
oranssipohjaisten merkintöjen poistuessa käytöstä. (Turvallisuus- ja kemikaaliviras-
ton www-sivut 2013.) Kuvassa näkyvät käytöstä poistuvat ja niiden tilalle tulevat
uudet varoitusmerkit (Kuva 9).



Kuva 9. Vanhat ja uudet varoitukset (Vestian www-sivut 2013).

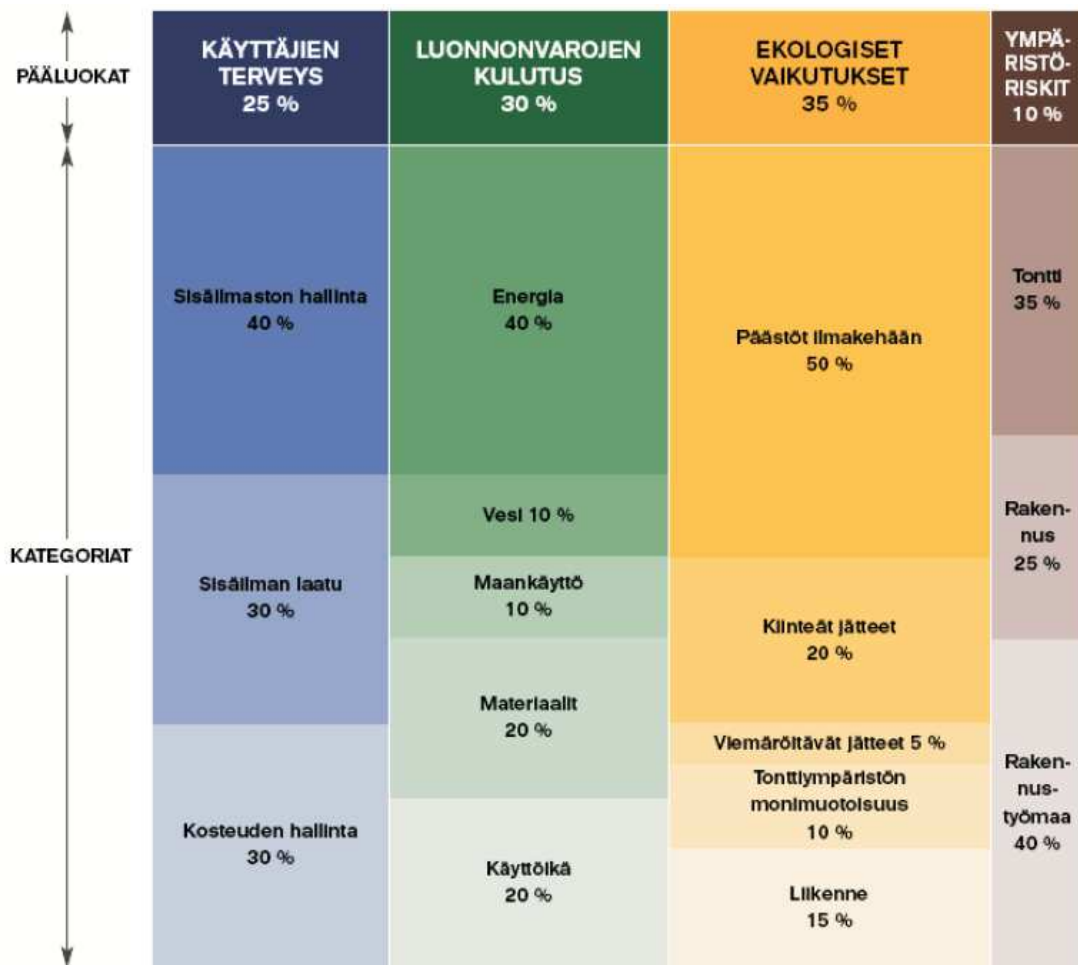
Lain mukaan vaaralliset jätteet on lajiteltava aina erikseen muista jätteistä tarvittaessa pakattuina uudelleensuljettaviin pakkauksiin. Pakkaukseen merkitään jätteen haltijan ja jätteen nimi sekä muut oleelliset tiedot ja varoitukset. Vaarallisen jätteen väli-varastoinnissa on huomioitava, että sitä ei lain mukaan saa säilyttää tilassa, jossa sillä on yhteys maaperään tai tilassa, jossa on viemäri. Rakennustyömaan vaarallisia jätteitä ovat muun muassa: kivihiilitervaa sisältävät bitumiseokset, öljy, painekyllästetty puu, asbesti, elohopea ja PCB (Jätelaki 179/2012, Liite 4). Asbestin käsittelystä on annettu erikseen omat määräyksensä: ”Jätteen haltijan on huolehdittava siitä, että toiminnassa syntyvä asbestijäte kerätään ja kuljetetaan viivytyksettä käsittelyyn erillään muusta jätteestä. Asbestijätteen säilyttämisessä ja kuljettamisessa on käytettävä tiiviisti suljettavia kestäviä pakkauksia, joiden merkinnöistä käy ilmi, että ne sisältävät asbestia. Niitä on rikkoontumisen ehkäisemiseksi käsiteltävä varovasti ja huolellisesti” (Jäteasetus 179/2012, 18 §).

2.6 Materiaalitehokkuuden arvioiminen

2.6.1 Ympäristöluokitukset ja -merkit

Pyrittäessä materiaalitehokkaaseen ja ekologiseen rakentamiseen voidaan suunnittelussa ottaa tavoitteeksi jonkin tietyn ympäristöluokituksen saavuttaminen. Kotimainen PromisE-ympäristöluokitus arvioi rakennuksen ympäristövaikutuksia yksinkertaisten ja luotettavien mittareiden avulla, jonka jälkeen tulokset pisteytetään. Tuloksena saadaan arvosana A–E, A:n ollessa erittäin hyvä (1–2 % Suomen kiinteistöistä) ja E:n vastatessa normaalia nykytasoa. PromisE-ympäristötyökalusta on oma versio uudisrakennuksille (Hanke-Promise, jossa käsitellään suunnittelua ja rakentamista) ja olemassa oleville rakennuksille (Kiinteistö-Promise, jossa käsitellään rakentamista ja ylläpitoa). (Motivan www-sivut 2013; Promisen www-sivut 2013; Käyttöohje, Hanke-Promise, 4.) Hanke-Promisen luokituksen rakennetta ja kategorioiden painoarvoja on kuvattuna seuraavalla sivulla (Kuva 10).

Muita Suomessa käytettäviä ympäristöluokituksia ovat BREEAM (Building Research Establishment's Environmental Assessment Method) ja LEED (Leadership in Energy and Environmental Design). Iso-Britanniassa kehitetty BREEAM on hyvin samankaltainen luokittelutyökalu kuin suomalainen PromisE. Siinä otetaan huomioon muun muassa energian- ja vedenkulutus, käytetyt materiaalit, maankäyttö ja liikenne. Ne pisteytetään ja lopputuloksena saadaan arvosanaksi läpäisty, hyvä, erittäin hyvä tai erinomainen. Yhdysvaltalaisessa LEED:ssa arvioidaan samoja asioita kuin PromisE:ssa ja BREEAM:ssa. Arvosanaksi annetaan certified, silver, gold tai platinum. (Green Building Council Finlandin www-sivut 2013.) Esimerkiksi Skanska on asettanut Porissa rakenteilla olevan Kauppakeskus Puuvillan ympäristöluokitustavoitteeksi LEED-järjestelmän gold-tason.



Kuva 10. ”Hanke-Promise luokituksen rakenne ja kategorioiden painoarvot (asuin-kerrostalo)” (Käyttöohje, Hanke-Promise, 9).

Ympäristöluokitukset koskevat siis kokonaisia rakennuksia. Niiden lisäksi on olemassa ympäristömerkkejä, joita on mahdollista hakea yksittäisille rakennustuotteille, mutta jostain syystä niiden suosio on ollut vähäistä. Pohjoismainen Joutsenmerkki ja Eurooppalainen Kukkamerkki ovat harvinaisia näkyjä rakennustuotteissa. Yhdysvalloissa on käytössä EPP-merkki (Environmental Preferable Product) (Kuva 11). Esimerkiksi Finnforestin Kesto MicroShield terassilauta on ansainnut kyseisen merkin. (Ympäristöystävällinen terassilauta 2011, 4.)



Kuva 11. Pohjoismainen Joutsenmerkki, Euroopan ympäristömerkkijärjestelmän Kukkamerkki ja Yhdysvaltalainen EPP-merkki

2.6.2 Ympäristöselosteet

Ympäristöselosteet ovat rakennustuotteille laadittuja vertailukelpoisia dokumentteja tuotteiden ympäristövaikutuksista, joita ovat esimerkiksi tuotteiden valmistamiseen tarvittu raaka-aineiden kulutus, energian käyttö sekä päästöt. Ympäristöselosteiden avulla suunnittelijat ja rakentajat voivat vertailla vaihtoehtoisten rakennustuotteiden ja -materiaalien ympäristöä kuormittavia ominaisuuksia. Suomessa ympäristöselosteita on laadittu standardien ISO 14020 ja ISO 14040 mukaisen kansallisen menetelmäohjeen mukaan, jonka Rakennustietosäätiö RTS kehitti 2000-luvun alussa yhdessä Rakennusteollisuus RT ry:n, VTT:n (Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus) sekä rakennusalan eri yritysten kanssa. Ympäristöselostekäytäntö on kuitenkin muuttunut ja nykyään uudet ympäristöselosteet tulisi laatia käyttäen standardia EN 15804 Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products. Uuden standardin käyttöönoton tarkoituksena on harmonisoida ympäristöselosteiden laadintaa Euroopassa. (Rakennustietosäätiön www-sivut 2013; Environdec www-sivut 2013.) Suurin ero vanhojen ja uusien ympäristöselosteiden välillä on se, että vanhoissa selosteissa kaikki tuotteen päästöt on ilmoitettu yksitellen, kun taas uusissa selosteissa ilmoitetaan yksinkertaistamalla vain tuotteen yhteenlaskettu ilmastoalustava vaikutus.

3 RAKENNUSMATERIAALIEN VERTAILU

3.1 MIPS

Wuppertal-instituutissa on kehitetty MIPS (Material Input Per Service unit) materiaa-
litehokkuuden mittaukseen. MIPS on luku, joka ilmaisee materiaalipanoksen (MI) ja
yhteenlaskettujen palvelusuoritteiden lukumäärän (S) suhteen. Materiaalipanos on
tuotteen omapaino lisättyä sen ekologiseen selkäreppuun. Ekologinen selkäreppu
taas tarkoittaa luonnonvarojen määrää, joka on tarvittu tuotteen valmistukseen. (Kil-
pailu- ja kuluttajaviraston www-sivut 2013.)

$$\text{MIPS} = \frac{\text{MI (kg)}}{\text{S (kpl)}}$$

MIPS on siis pohjimmiltaan ekotehokkuuden yksikkö ja se kertoo kuinka paljon
luonnonvaroja tarvitaan yhden palveluyksikön tuottamiseen. Sen puutteeksi voidaan
katsoa, ettei se ota huomioon laskennassa käytettävien luonnonvarojen haitallisuutta.
(Ympäristöministeriön www-sivut 2013.)

MIPS-tarkastelu aloitetaan tarkistamalla materiaalin materiaali-intensiteetti eli MI-
kerroin. ”MI-kerroin tarkoittaa sitä materiaalien kokonaismäärää kiloina, joka on tar-
vittu yhden kyseessä olevan raaka-ainekilon tuottamiseksi” (Suomen luonnonsuoje-
luliiton www-sivut 2013). Kertomalla MI-kerroin tuotteen painolla, saadaan selville
tuotteen materiaalipanos. MI-kerroin jakautuu viiteen luokkaan: uusiutumattomat
abioottiset raaka-aineet (mineraalit, fossiiliset polttoaineet), uusiutuvat bioottiset raa-
ka-aineet (kasvit, eläimet), maa- ja metsätaloudessa siirretty maaperä, vesi ja ilma
joten MIPS-lukukin ilmaistaan jokaisessa luokassa erikseen. Wuppertal-instituutti
julkaisee jatkuvasti uusia vahvistettuja MI-kertoimia kotisivuillaan [www.mips-
online.info](http://www.mips-online.info). MI-kertoimet voivat vaihdella esimerkiksi sen mukaan, missä maassa
materiaalit on tuotettu. MIPS-luvun laskennassa tarvittavana palvelusuoritteiden lu-
kumääränä voidaan käyttää esimerkiksi valmiin tuotteen käyttökertoja tai käyttö-
vuosia. (Ritthoff, Rohn, Liedtke & Merten 2002.)

Käytin MIPS-laskentaa tarkoitukseni vertailla tiilen ja pellin materiaalitehokkuutta vesikattorakenteissa. Laskin MIPS-luvun yhtä neliometriä kohden, joten ensin selvitin tiilen ja pellin neliöpainot, jonka jälkeen kerroin ne materiaaleille annetuilla MI-kertoimilla. Palvelusuoritteiden lukumääränä katsoin parhaaksi käyttäjä keskimääräisiä käyttöikävuosia. Laskennan lähtötiedot ovat taulukossa (Taulukko 2).

Taulukko 2. Laskuissa käytetyt lähtöarvot (Monier www-sivut 2013; Ruukin www-sivut 2013; RT 18-10922 2008, 9; Suomen luonnonsuojeluliiton www-sivut 2013).

	Konesaumattu pelti	Betonitiili
neliöpaino	3,93 kg	38,95 kg
käyttöikä	60 v	45 v
MI-luvut		
abioottinen	8,51 kg/kg	2,11 kg/kg
bioottinen	0 kg/kg	0 kg/kg
vesi	74,8 kg/kg	5,3 kg/kg
ilma	0,492 kg/kg	0,065 kg/kg
siirretty maa	0 kg/kg	0 kg/kg

$$\text{Esimerkki: MIPS (pelti, abioottinen)} = \frac{3,93 \text{ kg} * 8,51 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}}{60 \text{ v}} = 0,557 \text{ kg/v}$$

Taulukko 3. MIPS-laskujen tulokset (kg/v).

	Konesaumattu pelti (60 v)	Betonitiili (45 v)
abioottinen	0,557	1,826
vesi	4,899	4,587
ilma	0,032	0,056
	Konesaumattu pelti (60 v)	Betonitiili (60 v)
abioottinen	0,557	1,370
vesi	4,899	3,441
ilma	0,032	0,042

Laskun tuloksista (Taulukko 3) havaitaan, että saadut tulokset ovat konesaumatulle pellille paremmat ilman ja abioottisten materiaalien suhteen. Veden MIPS-luku on tiilille parempi kuin pellille. Jos betonitiilikaton käyttöikä olisi yhtä pitkä konesaumatun peltikaton kanssa, erot abioottisten materiaalien MIPS-lukujen ja ilman MIPS-lukujen välillä tasoittuisivat ja ero veden MIPS-lukujen välillä kasvaisi. Esimerkki kattomateriaalien MIPS-lukujen laskusta oli melko yksinkertainen. MIPS-

luku voidaan laskea kuitenkin hyvin monimutkaisillekin asioille. Esimerkiksi Paula Sinivuori on tehnyt pro gradu -työn ”Kahden Helsingin yliopiston rakennuksen luonnonvarojen kulutuksen selvittäminen” MIPS-laskennan avulla.

3.2 Materiaalien kasvihuonepäästöt

Yksi tapa arvioida rakennusmateriaalien ympäristörasituksia ja rakentamisen materiaalitehokkuutta on mitata raaka-aineiden hankinnan, kuljetusten, käytetyn energian, tuotannon ja itse rakennusmateriaalien valmistuksen aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä. (Kuittinen 2011, 40.) Kasvihuonekaasupäästöjen yksikkönä käytetään suurena hiilidioksidiekvivalenttia ($\text{CO}_2\text{-ekv}$) joka tarkoittaa materiaalin yhteenlaskettua päästölukemaa, josta hiilidioksidin (CO_2) osuus on ylivoimaisesti suurin. Hiilidioksidiekvivalenttia laskettaessa on tarkoitus saada muut päästöt vastaamaan hiilidioksidin päästöjä tietyllä ajanjaksolla. Silloin metaani- (CH_4) ja typpioksiduulipäästöille (N_2O) on käytettävä kertoimia, joiden suuruus hieman vaihtelee lähteestä riippuen. Tässä työssä käytettiin samoja kertoimia kuin Heljo, Nippala ja Nuutila käyttivät vuonna 2005 ilmestyneessä raportissaan Rakennusten energiankulutus ja $\text{CO}_2\text{-ekv}$ päästöt Suomessa. Kertoimet ovat metaanille 21 ja typpioksiduulille 310.

3.2.1 Puu

Puurakentamisessa hiilijalanjälki kasvaa matkalla metsästä sahan kautta työmaalle. Sivutuotteena puutuotannossa saadaan sahanpurua, joka voidaan jatkojalostaa tuotteiksi tai vaihtoehtoisesti polttaa energiaksi. Rakennuksen kasvihuonekaasujen suuruuteen vaikuttaa sen käyttö, korjaustoimenpiteet ja purkaminen. Metsien puusto sitoo hiiltä (puhutaan ns. hiilinielusta), kunnes puu poltetaan tai se joutuu hajoamistilaan, jolloin hiilidioksidi vapautuu. Täten rakennusten puurakenteiden voidaankin katsoa toimivan hiilivarastoina ja se otettu huomioon myös tutkimuksissa, joissa puun ympäristöystävällisyyttä on selvitetty. (Kuittinen 2011, 40.) Esimerkiksi Sitran Energiaohjelma on teettänyt tutkimuksen, jossa vertailtiin viisikerroksisen hybridi-puukerrostalon (välipohjarakenteena liimapuu yhdistettynä ohueen betonikerrokseen) ja vastaavan betonikerrostalon hiilijalanjälkeä. Tulokset osoittivat, että koko elinkaar ajalta puukerrostalon päästöt olivat 5–11 prosenttia betonikerrostaloa pienemmät

riippuen energiatehokkuudesta ja elinkaaren pituudesta. Rakentamisvaiheen päästöt olivat betonikerrostalossa 29 prosenttia suuremmat kuin puukerrostalossa. (Pasanen, Korteniemi & Sipari 2011, 7; Puukerrostalon päästöt on tutkittu 2011, 5.) Toinen esimerkki on Helsinkiin vuonna 2012 valmistunut puukerrostalo, jonka hiilijalanjäljen laskettiin olevan jopa 45 prosenttia pienempi kuin vastaavan betonikerrostalon. Siinä materiaalien tuottamiseen kului puukerrostalossa yli neljä prosenttia vähemmän energiaa kuin betonikerrostalossa. (Viherkoski, Tiukkanen & Van Iterson 2012, 8.)

Vuonna 2013 saatiin valmiiksi hiilijalanjälkistandardi ISO 14067 (Greenhouse gases – Carbon footprint of products – Requirements and guidelines for quantification and communication), josta toivotaan olevan hyötyä, kun arvioidaan miten puurakentamisen hiilenvarastointikyky voitaisiin ottaa elinkaarilaskennassa huomioon. Myös hiilijalanjälkiohjeessa PAS2050 Assessing the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services on ohjeita miten lasketaan hiilen sitoutumisen määrää puurakenteissa. (Koskela ym. 2011, 22.) Puuinfon www-sivuilla on saatavilla joidenkin puutuotteiden ympäristöselosteita, jotka on laadittu vanhan menettelytavan mukaan. Niistä lasketut hiilijalanjäljet (Liite 3) ilman hiilivarastointikykyä ovat sahatavaralle 73 g CO₂-ekv/kg, pinnoittamattomalle havuvanerille 606 g CO₂-ekv/kg, pinnoittamattomalle koivuvanerille 719 g CO₂-ekv/kg, liimapuulle 330 g CO₂-ekv/kg, huokoiselle kuitulevyllä 451 g CO₂-ekv/kg ja puukuitueristeelle 188 g CO₂-ekv/kg. Puutuotteiden välilläkin on siis isoja eroja. (Puuinfon www-sivut 2013.)

Suomen hallitusohjelmassa otetaan kantaa puurakentamisen ympäristöystävällisyyteen. Hallitusohjelmaan on kirjoitettu: ”Edistetään puurakentamista ja rakentamisen energiatehokkuuden laskennassa elinkaarilaskentaa, joka ottaa huomioon myös rakennusmateriaalien ja -tuotteiden valmistuksen” (Pääministeri Jyrki Kataisen hallituksen ohjelma 2011, 72). Puurakentamisen määrää ja laatua halutaan siis lisätä.

3.2.2 Betoni

Suurin osa betonin kasvihuonekaasupäästöistä syntyy sementin valmistuksessa, jossa kalkkikiveä poltetaan 1400 °C-asteen lämpötilassa. Betonirakenteiden valmistuksen kasvihuonekaasupäästöt ovat noin 250–350 kg/m³, joka betonirakenteen ominaispai-

non ollessa 2400 kg/m^3 tarkoittaa $100\text{--}150 \text{ g CO}_2\text{-ekv/kg}$. (Betonin www-sivut 2013; Punkki, Lounamaa & Junnila 2010, 47.) Markkinoille on tullut myös niin kutsuttuja vihreitä betoneita, joiden kasvihuonekaasupäästöt ovat pienempiä kuin normaalin betonin. Esimerkiksi Ruduksen vihreän betonin kasvihuonekaasupäästöjen luvataan olevan $20\text{--}50$ prosenttia perinteistä betonia alhaisemmat. Kasvihuonekaasupäästöjä on saatu vähennettyä käyttämällä Finnsementin Plussementtiä, jonka tuotannon hiilidioksidipäästöt ovat noin 10 prosenttia tavallista sementtiä pienemmät. (Vihreä betoni voi puolittaa betonin hiilidioksidipäästöt 2013, 54.)

Betoni kierrätetään tavallisesti murskeeksi maarakentamisen käyttöön. Murskeen korvata maamassoja ei saavuteta kuitenkaan kovin merkittäviä energiansäästöjä tai päästöhyötyjä, koska maamassojen käyttö ei itsessään ole kovin energiaintensiivistä. Purettuja betonirakenteita voidaan käyttää myös uuden betonin runkoaineena. Betonirakenteiden karbonatisoitumisen tiedetään sitovan osan kalkkikiven poltosta aiheutuneista hiilidioksidipäästöistä. Ilman suhteellisen kosteuden ollessa $50\text{--}60 \%$ ja rakenteiden ollessa sateelta suojattuina karbonatisoituminen on nopeampaa. Myös betonin tiiveydellä ja käytetyn sementin kalkkipitoisuudella on merkitystä. Mitä tiiviimpää betoni on ja mitä vähemmän betonissa on käytetty sementtiä, sitä hitaampaa karbonatisoituminen on. Karbonatisoitumisen hiilidioksidia sitovaa ominaisuutta betonissa ei ole otettu juurikaan huomioon tutkimuksissa, joissa puun ja betonin hiilijalanjälkiä on vertailtu. (Järvinen ym. 2005, 98; Koskela ym. 2011, 21.)

3.2.3 Teräs

Rakentamisessa käytettävien terästuotteiden kasvihuonekaasupäästöt ovat suuria ja eroja eri tuotteiden välillä on paljon. Rautaruukki Oyj on julkaissut www-sivuillaan tärkeimmille terästuotteilleen vanhan menettelytavan mukaisia ympäristöselosteita, joista voi laskea hiilijalanjäljen suuruuden (Liite 1) (Liite 2). Teräslevyjen kasvihuonekaasupäästöt ovat $756\text{--}956 \text{ g CO}_2\text{-ekv/kg}$, putkituotteiden, teräsprofiilien ja teräsmaalujen $1125 \text{ g CO}_2\text{-ekv/kg}$ ja sandwich-paneelien $1000\text{--}3577 \text{ g CO}_2\text{-ekv/kg}$. Ruukki on ottanut päästöjä ilmoittaessaan huomioon maailman terästuottajien järjestön (World Steel Association) elinkaarimallin mukaisen metallien kierrätyskompensaation, mikä tarkoittaa sitä, että teräksen malmi- ja kierrätyspohjainen tuotanto ero-

tetaan toisistaan. Näin laskettuna yhden teräskilon tuottamiseen tarvitaan 1,07 kg kierrätettyä terästä. Teräksen kierrätyksen huomioiminen otetaan yleisesti huomioon elinkaarilaskennassa ja se vähentää teräksen hiilijalanjälkeä huomattavasti. (Koskela ym. 2011, 20–21; Ruukin www-sivut 2013.)

3.3 Hiilijalanjälkilaskuri

Suomen ympäristökeskus on laatinut yksinkertaisen excel-pohjaisen laskurin, jolla voidaan laskea karkea arvio rakennuksen päärakenteisiin käytettävien rakennusmateriaalien aiheuttamasta hiilijalanjäljestä. SYNERGIA Laskuri päärakenteiden hiilijalanjäljelle ja ohje sen käyttöön löytyvät Suomen ympäristökeskuksen www-sivuilta. (Suomen ympäristökeskuksen www-sivut 2013.) Laskuri ei automaattisesti anna materiaaleille lähtötietoja, vaan ne on haettava joko ohjetiedostosta tai esimerkiksi valmistajien sivuilta. Toinen rakennuksille tarkoitettu hiilijalanjälkilaskuri on VTT:n www-selaimella käytettävä ILMARI-arviointipalvelu. Kuten Suomen ympäristökeskuksen, myös VTT:n laskuri keskittyy rakennuksen päärakennusosiin. (Valtion Teknillisen Tutkimuskeskuksen www-sivut 2013.)

Käytin SYNERGIA Laskuria päärakenteiden hiilijalanjäljelle vertaillakseni kolmen erityyppisen kattorakenteen hiilijalanjälkeä. Valitsemani katemateriaalit olivat betoniitiili (Kuva 15), konesaumapelti ja kaksinkertainen kumibitumikermi. Kiinnitystarvikkeita en ottanut huomioon. Hiilijalanjälkilukemat on laskettu kerran asennettuna yhtä neliometriä kohden. Kumibitumikermille ja aluskatteelle käytin ohjelman ohjetiedoston mukaisia lähtöarvoja. Betoniitiilelle, pellille ja puutavaralle löysin ympäristöselosteet valmistajien www-sivuilta.

Ohjelmassa on oma sivu jokaiselle rakennusosalle (alapohja, ulkoseinä, ikkunat ja lasiseinät, väliseinät, runko, välipohjat, yläpohja), jossa kussakin annetaan niissä käytettäville materiaaleille seuraavat lähtötiedot:

- Tilavuuspaino (kg/m^3)
- Kasvihuonekaasupäästöt $\text{g CO}_2\text{-ekv}/\text{kg}$
- Hiilidioksidin varasto $\text{g CO}_2\text{-ekv}/\text{kg}$
- Tilavuus, oletuspinta-alaa (= 1 m^2) kohti (dm^3)

Näiden avulla saadaan materiaalin neliöpaino (kg/m^2), josta lasketaan edelleen hiilijalanjälki ja hiilidioksidin varasto. Joidenkin tuotteiden kohdalla valmistaja saattaa ilmoittaa suoraan materiaalin neliöpainon, jolloin tilavuuspainoa ja tilavuutta pinta-alaa kohti ei tarvita. Ohjelmassa voi myös antaa materiaaleille 100 vuoden ajanjakson vaatimat uusimiskerrat, jota varten kannattaa käyttää apuna RT-korttia 18-10922: Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajakset. Yhteenvedona jokaisella rakennusosavivulla ilmoitetaan rakennetyypin hiilijalanjälki neliömetriä kohden. Päärakenteet yhteensä -sivulle ohjelma kokoaa koko rakennuksen hiilijalanjälkitiedot.

Rakennusmateriaalit ja niiden hiilijalanjälki									
Materiaali <i>(Alkaen ulkoa päin) (Katso materiaalit ja niiden ominaisuudet liitteestä 18.2.)</i>	Ominaisuudet			Tilavuus Oletus- pinta-alaa kohti	Paino Lasketaan automaatti- sesti	Kerrat Jos ei uusi- mistarvetta 100 v aikana, arvo on 1	Hiilijalanjälki		
	Tilavuus- paino	Kasvihuonekaasupäästöt	Hiilidioksidin varasto				päästöi	varasto	
	kg/m^3	$\text{g CO}_2\text{-ekv}/\text{kg}$	$\text{g CO}_2\text{-ekv}/\text{kg}$	dm^3 (eli litraa)	kg		$\text{kg CO}_2\text{-ekv}$		
					0		0	0	
Ruoteet	417	73	1550	7,5	3,1275	1	0,22831	4,84763	
Tuuletusrimat	417	73	1550	1,4	0,5838	1	0,04262	0,90489	
					0	1	0	0	
					0	1	0	0	
					0	1	0	0	
					0	1	0	0	
					0	1	0	0	
					0	1	0	0	
					0	1	0	0	
					0	1	0	0	
					0	1	0	0	
					0	1	0	0	
Tässä voit antaa ne materiaalit, joiden paino on helpompi arvioida kuin tilavuus:					Paino				
Betonitiilikate		203	0		38,95	1	7,90685	0	
Aluskate		2410	0		0,16	1	0,3856	0	
						1	0	0	
						1	0	0	
						1	0	0	
					8,9	42,8213	8,56337	5,75252	
YHTIENVETO									
Rakennetyypin hiilijalanjälki neliömetriä kohti, $\text{kg CO}_2\text{-ekv} / \text{m}^2$								9	6
Rakennetyypin hiilijalanjälki rakennuksessa yhteensä, $\text{kg CO}_2\text{-ekv}$								9	6

Kuva 12. Kuvankaappaus ohjelmasta SYNERGIA Laskuri päärakenteiden hiilijalanjäljelle.

Ohjelma laskee kasvihuonekaasupäästöjen lisäksi myös kattorakenteissa tarvittavan puutavaran hiilidioksidivaraston suuruuden. Kumibitumikermikatossa se on suurin, koska se vaatii umpilaudoituksen. Konesaumapeltikaton alla on laudoitus muutaman sentin raolla. Betonitiilikatossa on alimmaisena aluskate, sen jälkeen tuuletusrimat kattotuolien suuntaisesti 900 mm jaolla ja niiden päällä vaakasuuntaan ruoteet 330 mm jaolla. Kattovertailun tulokset on taulukoituna alla (Taulukko 4).

Taulukko 4. Kattovertailun tulokset (Ympäristöraportti, Kestävä kate kestävään kehitykseen 1999, 5; Ympäristöseloste, Maalipinnoitetut rakennustuotteet 2011, 3–5; RT Ympäristöseloste Puuinfo Oy Sahatavara.)

	Tilavuus- paino kg/m ³	Hiilijalan- jälki g CO ₂ -ekv /kg	Hiilidioksi- divarasto g CO ₂ -ekv /kg	Hiilijalan- jälki kg CO ₂ -ekv /m ²	Hiilidiok- sidivarasto kg CO ₂ -ekv /m ²
Katto 1: Kumibitumikatto					
Pintakermi	1250	1210	0	4,84	0
Aluskermi	1000	1210	0	3,63	0
Umpilaudoitus	417	73	1550	0,76	16,16
Hiilijalanjälki neliometriä kohden kg CO ₂ -ekv/m ²				9,2	16,2
Katto 2: Betonitiilikatto					
Betonitiili		196	0	7,63	0
Ruoteet	417	73	1550	0,23	4,85
Tuuletusrimat	417	73	1550	0,04	0,90
Aluskate		2410	0	0,39	0
Hiilijalanjälki neliometriä kohden kg CO ₂ -ekv/m ²				8,6	5,8
Katto 3: Konesaumapeltikatto					
Konesaumapelti	7850	1212	0	4,76	0
Laudoitus	417	73	1550	0,61	12,93
Hiilijalanjälki neliometriä kohden kg CO ₂ -ekv/m ²				5,4	12,9

Kattorakenteiden hiilijalanjälkivertailun tulos osoittaa, että konesaumapeltikatto tuottaa vähiten kasvihuonekaasupäästöjä neliometriä kohden (5,4 kg CO₂-ekv/m²) ja kumibitumikermikatto eniten (9,2 CO₂-ekv/m²). On huomioitava, että konesaumapeltikatto on myös käyttöikänsä pitkäikäisin (Taulukko 5). Jos katon rasisluokka on ollut normaali ja käyttöikä 100 vuotta, konesaumattu peltikatto on uusittu kerran, kun taas kumibitumikermikatto on uusittu jo neljästi. Silloin kumibitumikermikaton hiilijalanjälkikin kasvaa moninkertaiseksi konesaumattuun peltikattoon verrattuna.

Taulukko 5. Keskimääräinen tekninen käyttöikä vuosina eri katemateriaaleille (RT 18-10922 2008, 9).

	Rasitusluokka		
	vaikea	normaali	kevyt
Kumibitumikermi	25	30	40
Betonitiili	40	45	50
Konesaumapelti	40	60	80

YHTEENVETO

Materiaalitehokkuutta voidaan parantaa pidentämällä rakennuksen elinkaarta ja hyödyntämällä materiaali rakennuksen purkamisen jälkeen. Syitä materiaalitehokkuuden parantamiseen on monia. Sillä saavutetaan suoria kustannussäästöjä hankinnoissa, kun tarkennetaan tilattavien materiaalien määrää. Tehostettaessa logistiikkaa vältytään esimerkiksi ylimääräisiltä siirroilta ja varastonneilta tuotannossa. Jätteen määrän vähentyessä säästetään jätemaksuissa ja jätteiden käsittelyyn kuluvia työtunteja. Suoranaisten kustannussäästöjen lisäksi päästöt ja päästöriskit vähenevät, kiristyvät lupaehdot saadaan täytettyä ja yrityksen markkina-arvo ja ympäristöimago kohoavat. Tulevaisuudessa materiaalitehokkuuden parantaminen muuttuu entistä kannattavamaksi luonnonvarojen hintojen ja jätemaksujen noustessa. (Motivan www-sivut 2013.)

Materiaalitehokkuuden merkitys tulee kasvamaan, koska rakennusten käytön aikainen hiilijalanjälki pienenee Euroopan siirtyessä vuoden 2020 jälkeen lähelle nolla-energiarakentamista. Silloin rakentamisen ympäristövaikutukset painottuvat yhä enemmän kohti itse rakentamisvaihetta, huoltotoimia ja purkua. (Kuittinen 2011, 40.) Rakentamisvaiheen materiaalitehokkuuden merkitys kasvaa myös siksi, että mitä pienemmiksi rakenteiden u-arvo-luvut laskevat, sitä paksummiksi rakenteet muuttuvat, mikä taas tarkoittaa kasvavia materiaalimääriä. Jo olemassa olevista energiatehokkaista rakennuksista on olemassa esimerkkejä, joissa materiaalien aiheuttamiksi päästöiksi on laskettu noin puolet koko rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljestä. (Ruuska, Häkkinen, Vares, Korhonen & Myllymaa 2013, 8.)

LÄHTEET

Betonin www-sivut. 2013. [Viitattu 19.9.13] <http://www.betoni.com/>

Environdec www-sivut. 2013. [Viitattu 18.10.13] <http://www.environdec.com/>

Finstonen www-sivut. 2013. [Viitattu 18.10.13] <http://www.finstone.fi/>

Green Building Council Finlandin www-sivut. 2013. [Viitattu 18.9.13] <http://figbc.fi/>

Heljo, J., Nippala, E. & Nuutila, H. 2005. Rakennusten energiankulutus ja CO₂-ekv päästöt Suomessa. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.

Hippinen, I., Österlund, H., Eskola, P. & Suomi, U. 2012. Materiaalitehokkuushankkeiden seurannan ja vaikutusarvioinnin kehittäminen. Helsinki: Motiva Oy.

Huhtinen, K., Lilja, R., Sokka, L., Salmenperä, H. & Runsten, S. 2007. Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2016, taustaraportti. Helsinki: Suomen ympäristökeskus 16/2007.

Hänninen, K. & Rahkila, L. 2005. Fiksu tuottaa vähemmän jätettä, parhaat käytännöt rakentamisessa. Helsinki: YTV Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta.

Järvinen, M., Koreasalo, R., Korhonen, P., Leppänen, R., Mannonen, R., Mannonen, P., Miettinen, H., Saarinen, O., Sivula, K., Suikka, A., Syrjänen, P., Sääskilähti, S. & Söderlund, K. 2005. Betonitekniikan oppikirja 2004 by 201. 5. uud. p. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.

Jäteasetus. 2012. A 179/2012.

Jätelaki. 2011. L 646/2011.

Jätetilasto 2011. 2013. Helsinki: Tilastokeskus. [Viitattu 19.9.13] http://www.stat.fi/til/jate/2011/jate_2011_2012-11-20_fi.pdf

Jäteverolaki. 2010. L 1126/2010.

Kilpailu- ja kuluttajaviraston www-sivut. 2013. [Viitattu 3.10.13] <http://www.kkv.fi/fi-FI/>

Kiviniemi, O., Sikiö, J., Jyrävä, H., Ollila, S., Autiola, M., Ronkainen, M., Lindroos, N., Lahtinen, P. & Forsman, J. 2012. Tuhkarakentamisen käsikirja, Energiatuotannon tuhkat väylä-, kenttä-, ja maarakenteissa. Luopioinen. [Viitattu 9.10.13] <http://energia.fi/julkaisut/tuhkarakentamisen-kasikirja-ramboll-finland-oy-2012>

Kojo, R. & Lilja, R. 2011. Talonrakentamisen materiaalitehokkuuden edistäminen. Helsinki: Ympäristöministeriön raportteja 21/2011. [Viitattu 12.9.13] <http://www.ym.fi/download/noname/%7BF23DDA2A-1E58-4771-ACA8-90D06AB4FBE6%7D/32103>

- Kokkonen, E. 2004. Pk-yritysten mahdollisuudet rakennusjätteiden kierrätysliiketoiminnassa. Helsinki: Kauppa- ja teollisuusministeriö, KTM julkaisuja 29/2004. [Viitattu 1.10.13]
[http://ktm.elinar.fi/ktm_jur/ktmjur.nsf/All/30EC14F9CAF68E62C2256F3C0046FC1B/\\$file/jul29elo_2004.pdf](http://ktm.elinar.fi/ktm_jur/ktmjur.nsf/All/30EC14F9CAF68E62C2256F3C0046FC1B/$file/jul29elo_2004.pdf)
- Koskela, S., Korhonen, M., Seppälä, J., Häkkinen, T. & Vares, S. 2011. Materiaalinäkökulma rakennusten ympäristöarvioinnissa. Helsinki: Ympäristökeskuksen raportteja 16/2011. [Viitattu 3.10.13]
https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39687/SYKEra_16_2011_alkuperainen.pdf?sequence=1
- Koski, H., Kiviniemi, M., Palolahti, T. & Sahlstedt, S. 2009. Rakennustyömaan toimitusten ohjaus. Helsinki: Rakennusteollisuus RT ry, VTT & Mittaviiva Oy. [Viitattu 2.10.13]
<http://www.rakennusteollisuus.fi/download.aspx?intFileID=1629&intLinkedFromObjectID=8447>
- Kuittinen, M. 2011. Puurakentaminen on vähähiilistä. Vai onko? Puu 3, 40.
- Käyttöohje, Hanke-Promise. [Viitattu 19.9.13]
www.motiva.fi/files/2229/HankePromiseManual.pdf
- Lilja, R. & Saramäki, K. 2012. Ympäristöopas 2012, materiaalien käytön tehokkuus ympäristölupamenettelyssä. Helsinki: Ympäristöministeriö. [Viitattu 9.10.13]
<http://hdl.handle.net/10138/38815>
- Monier www-sivut. 2013. [Viitattu 18.10.13] <http://www.monier.fi/>
- Motivan www-sivut. 2013. [Viitattu 4.9.13] <http://www.motiva.fi/>
- Pasanen, P., Korteniemi, J. & Sipari, A. 2011. Passiivitaso asuinkerrostalon elinkaaren hiilijalanjälki. Tapaustutkimus kerrostalon ilmastovaikutuksista. Helsinki: Sitran selvityksiä 63. [Viitattu 1.10.13] <http://www.sitra.fi/julkaisut/Selvityksi%C3%A4-sarja/Selvityksia63.pdf>
- Promisen www-sivut. 2013. [Viitattu 18.9.13] <http://www.promiseweb.net/>
- Punkki, J., Lounamaa, A. & Junnila, S. 2010. Betonirakenteiden merkitys rakennuksen elinkaaren aikaisista hiilidioksidipäästöistä. Betoni 1, 46–49.
- Puufon www-sivut. 2013. [Viitattu 16.10.13] <http://www.puuinfo.fi/>
- Puukerrostalon päästöt on tutkittu. 2011. Puu 4, 5.
- Pääministeri Jyrki Kataisen hallituksen ohjelma. 2011. Helsinki: Valtioneuvosto.
- Rakennustietosäätiön www-sivut. 2013. [Viitattu 19.9.13]
<https://www.rakennustieto.fi/index.html>
- Ratu 1191-S. Rakennustyön materiaalisat ja -hukat. 2000. Rakennustieto Oy.

RIL 216-2013. Rakenteiden ja rakennusten elinkaaren hallinta. 2013. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Ritthoff, M., Rohn, H., Liedtke, C. & Merten, T. 2002. MIPS-laskenta, Tuotteiden ja palveluiden luonnonvaratuottavuus. Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy At the Science Centre North Rhine-Westphalia.

Ruukin www-sivut. 2013. [Viitattu 15.10.13] <http://www.ruukki.fi/>

Ruuska, A., Häkkinen, T., Vares, S., Korhonen, M-R & Myllymaa, T. 2013. Rakennusmateriaalien ympäristövaikutukset. Selvitys rakennusmateriaalien vaikutuksesta rakentamisen kasvihuonepäästöihin, tiivistelmäraportti. Helsinki: Ympäristöministeriön raportteja 8/2013. [Viitattu 16.10.13]

<http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B1FAF46B2-2649-41ED-B3AA-5EA789C9512F%7D/37571>

RT 10-11107. Hankkeen johtamisen ja rakennuttamisen tehtäväluettelo HJR12. 2013. Helsinki: Asunto-, toimitila- ja rakennuttajaliitto RAKLI ry ja Rakennustietosäätiö RTS 2013.

RT 18-10922. Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajaksot. 2008. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS 2008.

RT Ympäristöseloste Puuinfo Oy Sahatavara. Helsinki. [Viitattu 1.10.13] <http://www.puuinfo.fi/rakentaminen/suunnitteluohjeet/ymparistoselosteet>

Suomen luonnonsuojeluliiton www-sivut. 2013. [Viitattu 2.10.13] <http://www.sll.fi/>

Suomen RakMK A4. 2000. Rakennuksen käyttö- ja huolto-ohje. Määräykset ja ohjeet 2000. Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. [Viitattu 1.10.13] <http://www.finlex.fi/data/normit/6022-A4.pdf>

Suomen ympäristökeskuksen www-sivut. 2013. [Viitattu 26.9.13] <http://www.syke.fi/fi-FI>

Turvallisuus- ja kemikaaliviraston www-sivut. 2013. [Viitattu 9.9.13] <http://www.tukes.fi/fi/>

Työ- ja elinkeinoministeriön www-sivut. 2013. [Viitattu 16.9.13] <http://www.tem.fi/>

Valtakunnallisen jätesuunnitelman seuranta, 1. väliraportti. 2012. Helsinki: Ympäristöministeriön raportteja 3/2012. [Viitattu 13.9.13] <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BD90B6CF8-D1E5-41E2-BBDF-054CE7754522%7D/32126>

Venäläinen, P. Rakennusteollisuuden logistiikan mittarit. 2007. EP-Logistics Oy. [Viitattu 26.9.13] <http://www.rakennusteollisuus.fi/download.aspx?intFileID=604&intLinkedFromObjectID=8447>

Vestian www-sivut. 2013. [Viitattu 17.9.13] <http://vestia.fi/>

Valtion Teknillisen Tutkimuskeskuksen www-sivut. 2013. [Viitattu 4.10.13]
<http://www.vtt.fi/>

Viherkoski, J., Tiukkanen, A. & Van Iterson, O. 2012. Puu 3, 8.

Vihreä betoni voi puolittaa betonin hiilidioksidipäästöt. 2013. Betoni 4, 54–55.

Ympäristölaki. 2012. L 17.6.2011/647.

Ympäristöministeriön www-sivut. 2013. [Viitattu 4.9.13] www.ymparisto.fi

Ympäristöraportti, Kestävä kate kestävään kehitykseen. 1999. Espoo: Lafarge Braas Ormax Katot Oy.

Ympäristöseloste, Maalipinnoitetut rakennustuotteet. 2011. Helsinki: Ruukki Construction Oy.

Ympäristöystävällinen terassilauta. 2011. Puu 3, 4.

Hiilijalanjälkilaskenta: Teräksiset sandwich-paneelit

	Sandwich-paneelit (päästöt ilmoitettu g/m ²)							
	SPA230E LIFE (lasivilla)	SPA200E LIFE (lasivilla)	SPA150E LIFE (lasivilla)	SPA230E (mineraalivillaeristys)	SPA230S (EPS-eristys)	SPB200S (EPS-eristys)	SP2E120PU (PUR-eristys)	SPE120PIR (PIR-eristys)
hiilidioksidi CO ₂	21800,0	20200,0	17500,0	28500,0	36000,0	14400,0	40400,0	40400,0
hiilimonoksidi CO	15,50	13,50	10,20	574,00	800,00	2,68	9,91	9,91
rikkioksidit SO ₂	28,80	25,10	18,80	59,40	82,80	9,51	35,00	35,00
typen oksidit NO _x	107,00	93,40	70,00	81,20	113,00	8,77	45,30	45,30
metaani CH ₄	28,30	24,60	18,50	13,90	19,30	20,80	79,90	79,90
metaani (*21)	594,30	516,60	388,50	291,90	405,30	436,80	1677,90	1677,90
haihtuvat orgaaniset yhdisteet	4,42	3,84	2,89	17,00	23,70	2,57	17,50	17,50
typpioksiduuli N ₂ O	0,4100	0,3700	0,3100	0,4900	0,6300	0,2800	7,3000	7,3000
typpioksiduuli (*310)	127,10	114,70	96,10	151,90	195,30	86,80	2263,00	2263,00
PM ₁₀								
raskametallit	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0300	0,0300
muut hiukkaset	27,50	23,90	17,90	39,60	55,20	0,47	1,58	1,58
pöly								
kemiallinen hapen kulutus COD	0,0390	0,0340	0,0260	0,0210	0,0290	5,4790	162,000	162,000
fosfori P _{tot}	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0014	0,0040	0,0040
typpi N _{tot}	0,0040	0,0030	0,0020	0,0010	0,0020	0,1900	5,8100	5,8100
kiintoaines	0,0700	0,0600	0,0500	0,0200	0,0200	326,000	93,0000	93,0000
summa	22705	20991	18104	29715	37675	15279	44711	44711
tiheys (kg/m ²)	22,7000	20,9000	17,9000	28,7000	36,5000	11,5000	12,5000	12,5000
hiilijalanjälki g CO ₂ -ekv/kg	1000	1004	1011	1035	1032	1329	3577	3577

Hiilijalanjälkilaskenta: Teräslevyt

	Teräslevyt (g/kg)				Putkituotteet, teräsprofiilit ja -paalut (g/kg)	Maalipinnoitetut rakennustuotteet (g/kg)
	Kuumavalsattu	Kylmävalsattu	Maalipinnoitettu	Metallipinnoitettu		
hiilidioksidi CO ₂	710,0	850,0	1036,0	900,0	1070,0	1150,0
hiilimonoksidi CO	7,70	8,30	8,30	8,30	13,00	9,50
rikkioksidit SO ₂	1,80	2,20	3,30	3,30	2,30	3,50
typen oksidit NO _x	0,0480	0,40	1,30	1,00	0,30	1,40
metaani CH ₄	0,80	1,10	1,10	1,10	0,80	1,20
metaani (*21)	16,80	23,10	23,10	23,10	16,80	25,20
haihtuvat orgaaniset yhdisteet	15,00	15,00	15,00	14,00	17,00	15,00
typpioksiduuli N ₂ O	0,0061	0,0062	0,0100	0,0065	0,0063	0,0110
typpioksiduuli (*310)	1,8910	1,9220	3,10	2,0150	1,9530	3,4100
PM ₁₀						
raskasmetallit	0,0015	1,6000	0,0016	0,0016	0,0690	0,0016
muut hiukkaset	1,70	1,80	2,40	2,40	2,00	2,60
pöly						
kemiallinen hapen kulutus COD	0,0540	0,0620	0,1600	0,0740	0,0900	0,1800
fosfori P _{tot}	0,0044	0,0045	0,0044	0,0044	0,0480	0,0045
typpi N _{tot}	0,0430	0,0440	0,0440	0,0440	0,0048	0,0450
kiintoaines	1,3000	1,3000	1,4000	1,4000	1,5000	1,4000
hiilijalanjälki g CO₂-ekv/kg	756	906	1094	956	1125	1212

Hiilijalanjätkilaskenta: Puutuotteet

	sahatavara (g/kg)	pinnoittamaton havuvaneri (g/kg)	pinnoittamaton koivuvaneri (g/kg)	liimapuu (g/kg)	huokoinen kuitulevy (g/kg)	puukuitueriste (g/kg)
hiilidioksidi CO ₂	65	560	650	250	400	180
hiilimonoksidi CO	1,3	1	2,5	1,3	3,7	0,12
rikkioksidit SO ₂	1,1	1,8	2,7	0,45	1,1	1,1
typen oksidit NO _x	0,78	2,2	3,4	1,5	2,3	1,2
metaani CH ₄	0,21	1,8	2,7	0,91	0,74	0,075
metaani (*21)	4,41	37,8	56,7	19,11	15,54	1,575
haihtuvat orgaaniset yhdisteet	0,18	0,69	0,79	0,012	0,55	0,044
typpioksiduuli N ₂ O	8,6E-06	0,00015	0,0033	0,18	0,021	0,0075
typpioksiduuli (*310)	0,00267	0,0465	1,023	55,8	6,51	2,325
PM ₁₀	0,019	1,2	1,1	1,4	0,58	0,23
raskametallit	0,00018	0,00023	0,00056	0,00015	0,00096	5,4E-05
muut hiukkaset						
pöly		0,077	0,35		0,028	0,56
kemiallinen hapen kulutus COD	0,67	0,37	0,33	0,095	13	0,49
fosfori P _{tot}	0,00088	0,004	0,0016	3,8E-05	0,01	0,00048
typpi N _{tot}	0,00036	0,008	0,012	0,00014	0,05	0,003
kiintoaines		0,12	0,065		1,8	
hiilijalanjälki g CO₂-ekv/kg	73	605	719	330	445	188