

# KIERRÄTYS- MATERIAALIEN KÄYTTÖ RAKENTAMISESSA

**PÄIVI VEIJOLA**

Tampereen teknillinen yliopisto

Rakennetun ympäristön tiedekunta

Syksy 2011

Graafinen suunnittelu: Leena Kisonen

Painettu kierrätyspaperille



YMPÄRISTÖMINISTERIÖ  
MILJÖMINISTERIET  
MINISTRY OF THE ENVIRONMENT



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
Arkkitehtuurin koulutusohjelma

Päivi Veijola

# **KIERRÄTYS- MATERIAALIEN KÄYTTÖ RAKENTAMISESSA**

*Diplomityö*

Tarkastaja: Kari Salonen, professori

23.11.2011

# TIIVISTELMÄ

**AVAINSANAT:** kestävä rakentaminen, materiaalien ekologisuus, kierrätys, uusiomateriaali, ekologinen estetiikka, lähiökorjaaminen.

Tässä diplomityössä kestävää rakentamista tarkastellaan rakennusmateriaalien kautta. Valittuja näkökulmia on kolme: materiaalien ekologisuus, kierrätys ja estetiikka. Työ on luonteeltaan kirjallisuustutkimus, jonka tehtävänantona oli selvittää, millaisia uusiomateriaaleja ja -tuotteita on olemassa ja miten ne soveltuvat rakentamiseen. Teoriaosuudessa tutkitaan rakennusmateriaalien ekologisuuteen vaikuttavia tekijöitä sekä rakentamisessa tavallisesti käytettyjen materiaalien ympäristövaikutuksia. Samalla selvitetään myös sitä, mitä jätteitä Suomessa syntyy ja miten niitä voitaisiin hyödyntää rakentamisessa. Lisäksi pohditaan sitä, millaista estetiikkaa ja arkkitehtuuria uusiomateriaaleilla voidaan luoda ja mitä on ekologinen estetiikka.

Diplomityön soveltavassa osuudessa tarkastellaan rakentamisen päämateriaaleja ja pyritään löytämään ekologisempia vaihtoehtoja rakentamiseen. Uusiotuotteista ja niiden käyttöä löydetty tieto on koottu yhteen käsikirjan muotoon. Työn lopussa rakennusmateriaalien luontevaa käyttötapaa havainnollistetaan vielä esimerkkikohteiden avulla. Johtopäätöksenä kuitenkin havaitaan, että rakennusmateriaalien ekologisuus on monimutkainen kokonaisuus, eikä niiden käytölle löydy yksiselitteisiä vastauksia. Tämän ei kuitenkaan saa antaa estää uusiomateriaalien käyttöä rakentamisessa, sillä ekologisuuteen liittyvien hyötyjen lisäksi kierrätys voi tuoda materiaaleihin myös uudenlaista, merkityksellistä syvyyttä.

Diplomityö on osa *Luonnonvaratasapainoinen vuokratulo* -kehityshanketta, jonka osapuolet ovat VAV Asunnot Oy, NCC Rakennus Oy, Optiplan Oy sekä Tampereen teknillinen yliopisto. Lisäksi työ on tehty osana Tampereen teknillisen yliopiston *Energiätehokas lähiökorjaaminen (ENTELKOR)* -hanketta sekä monialaisessa Aarre-tutkimusryhmässä.

# ABSTRACT

**KEYWORDS:** sustainable building, ecological building materials, recycling, recycled material, ecological aesthetics, suburban renewal.

This thesis examines sustainable construction, through the use of building materials. Three perspectives have been selected: ecology, recycling, and aesthetics. The work takes the form of a literary research paper, the purpose of which was to clarify what recycled materials and products exist, and how they are suitable for building. The theoretical section investigates factors influencing the ecology of building materials, as well as the environmental impact of the materials normally used in construction. At the same time, it also identifies what waste is generated in Finland, and how it could be utilised in construction. Furthermore, there is a consideration of what kind of aesthetic and architecture can be created with recycled materials, and what constitutes an ecological aesthetic.

The dissertation's applied section examines construction's primary materials, and endeavours to find greener alternatives for building. Information found regarding recycled materials and their use has been compiled into handbook form. At the end of the work, the natural way to use building materials is also demonstrated, with the help of example projects. In conclusion, however, it is observed that, as a whole, the ecology of building materials is complex, nor are unambiguous answers to be found for their use. Nonetheless, one must not allow this to prevent the use of recycled materials in construction, since, in addition to the ecology-related benefits, recycling can inject novel and significant depth to materials.

The dissertation is part of the *Luonnonvaratasapainoinen vuokratulo* project, the parties of which are VAV Asunnot Oy, NCC Rakennus Oy, Optiplan Oy, and Tampere University of Technology. Additionally, the work is done as part of Tampere University of Technology's *Energiätehokas lähiökorjaaminen (ENTELKOR)* project, as well as in a multidisciplinary Aarre research group.

## ALKUSANAT

Diplomityöni aihe tuli minulle sattuman kautta, opetti matkan varrella paljon ja vei lopulta mukanaan. Etsiessäni diplomityöpaikkaa tiesin aluksi vain sen, että haluan tehdä nimenomaan tutkimuspainotteisen lopputyön. Sähköpostilistalta löysin siten ilmoituksen, jossa mainitut uusiokäyttö arkkitehtuurissa sekä rakennusosien ja -materiaalien kierrättäminen kuulostivat kiinnostavilta aiheilta ja halusin tietää lisää. Diplomityön aihe tarkentui yhteistyökumppanien ja ohjaajieni kanssa käydyissä keskusteluissa, mutta sain melko vapaat kädet työn sisällön määrittelyyn. Tutkimuksen rajaaminen ja työn rakenteen luominen olikin sekä haastavaa että palkitsevaa. Olen saanut perehtyä tärkeään ja ajankohtaiseen aiheeseen ja samalla olla mukana kehityshankkeen tutkimusvaiheessa. Lisäksi työni liitettiin osaksi Tampereen teknillisen yliopiston ENTELKOR-hanketta ja Aarre-ryhmän tutkimusta.

Toivon, että kehityshankkeen lisäksi työni innostaisi muitakin kokeilemaan ja kierrättämään arkkitehtuurissa.

Haluan kiittää

diplomityöni tarkastajaa professori KARI SALOSTA,

HARRI HAGANIA diplomityön aiheesta ja ohjauksesta,

ELINA ALATALOA ohjauksesta ja kaikesta tuesta,

Luonnonvaratasapainoinen vuokratulo -hankkeen johtoryhmää:  
JENNI SAARINEN, JARI VALO, HARRI SAVOLAINEN,  
TEEMU JAAKKOLA, LASSE VAHTERA, TEIJA OJANKOSKI,  
sekä monia muita,

KATRIINA KAKKOA yhteisestä työhuoneesta,

KAISU KIISKISTÄ oikoluvusta ja JOE CARROLLIA käännöksestä,

Aarre-tutkimusryhmää,

Kahvikerhoa hyvistä keskusteluista ja huonoista jutuista,

rakkaita opiskelukavereitani ANNAA, AINOA, NEAA, SINIÄ ja TIMOA  
kaikesta yhdessä koetusta.

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ 4

## ALKUSANAT 6

## JOHDANTO 11

## 1. EKOLOGISUUS 15

### Ajankohtaisia näkökulmia 17

- Arkkitehdit 17
- Rakennusteollisuus 18

### Kasvihuonekaasupäästöt 19

- hiilen kiertokulku ja varastot 21

### Elinkaariajattelu 24

- Cradle to cradle 25

### Materiaalien vaikutus rakennuksen energiankulutukseen 28

### Materiaalien ympäristövaikutukset 32

## 2. KIERRÄTYS 39

### Eroon jätteestä 40

### Jätteen määrä toimialoittain 44

### Potentiaaliset uusioraaka-aineet 46

### Kierrätys talonrakentamisessa 55

## 3. ESTETIIKKA 59

### Arkkitehtuuria kaikille aisteille 60

- Moniaistisuus 61

### Fenomenologinen ympäristöestetiikka 61

- Paikan kokeminen 63
- Asuminen on rakentamista 64

### Materiaalin tuntu 66

- Materiaalien ikääntyminen 68
- Paikallisuus 71

### Ekologinen estetiikka 71

### Lähiöestetiikan ongelmat 73

## 4. MATERIAALIT 77

### Betoni 79

- Raaka-aineet ja valmistus 79
- Ympäristövaikutukset 79
- Kierrätys 82
- Tulevaisuuden sementti 85

### Puu 88

- Raaka-aineet ja valmistus 88
- Ympäristövaikutukset 89
- Kierrätys 90

### Teräs 92

- Raaka-aineet ja valmistus 92
- Ympäristövaikutukset 94
- Kierrätys 96

### Materiaalien vertailua 97

- Rakenteet 100
- Rakennus 102

## 5. UUSIOTUOTTEET 105

- Betoni 107
- Betonelementti, uudelleenkäytetty 109
- Kevytsorabetoni 111
- Hamppubetoni 113
- Lentotuhkatiili 115
- Teräs 117
- Kontti 119
- Puu 121
- Ristiinlaminoitu liimapuu 123
- Kartonki 125
- Olkirakenteet 127
- Puukuitueriste 128
- Puuvillakuitueriste 129
- Mineraalivilla, uudelleenkäytetty 130
- Lasivilla 131
- Vahtolasi 132
- Polyesterikuitu 133
- Orgaaninen eriste 134
- Puumuovikomposiitti 137
- Uusiomuovi 139
- Uusiolasi 141
- Kumi 143
- Metallikatteet 144

### Viherkatto 145

- Kipsilevy 146
- Lentotuhkalevy 147
- Puupohjaiset rakennuslevyt 148
- Muovikomposiittilevy 149
- Keraamiset laatat 150
- Vuolukivikomposiitti 151
- Massiivimuovi 152

## 6. ESIMERKKEJÄ RAKENTAMISESTA 155

### Clay Fields 157

- Ekologisuus 157
- Estetiikka 157
- Soveltaminen 158

### Big Dig House 161

- Kierrätys 161
- Estetiikka 161
- Soveltaminen 164

### Murray Grove 167

- Ekologisuus 167
- Estetiikka 168
- Soveltaminen 168

## YHTEENVETO 171

## LÄHTEET 172

# JOHDANTO

Ympäristöystävällisyys ja kierrätys ovat nykypäivän megatrendejä, ja myös rakennusalalla käydään aiheesta vilkasta keskustelua. Rakentamisessa on tähän mennessä keskitytty ennen kaikkea rakennusten energiatehokkuuden parantamiseen, sillä noin 80-90 % rakennuksen elinkaaren aikaisista kasvihuonekaasupäästöistä syntyy rakennuksen käytön aikana<sup>1</sup>. Tulevaisuudessa rakennusten energiankulutuksen alenemisen myötä rakentamisen ja rakennusmateriaalien aiheuttamien päästöjen merkitys tulee kuitenkin korostumaan.

Kestävä rakentaminen ei tarkoita pelkästään energiatehokkuutta tai hiilijalanjäljen pienentämistä. Jo yksi kestävä rakentamisen osatekijöistä, ekologinen rakentaminen, on monimutkainen kokonaisuus, joka käsittää mm. luonnonvarojen säästeliään käytön, rakennusosien kierrätyksen ja korjaamisen sekä paikallisten materiaalien hyödyntämisen. Ekologisuuden lisäksi tarkastelen työssäni rakennusmateriaaleja kierrätyksen ja estetiikan kautta. Näiden kolmen näkökulman avulla olen pyrkinyt hahmottelemaan sitä, **mitä on kestävä rakentaminen**.

Diplomityöni tehtävänantona oli selvittää, **millaisia uusiomateriaaleja ja -tuotteita on olemassa ja miten ne soveltuvat rakentamiseen**. Vastaavasti työssä tutkitaan myös sitä, **mitä jätteitä Suomessa syntyy ja miten niitä voitaisiin hyödyntää rakentamisessa**. Samalla selvitetään myös rakentamisessa tavallisesti käytettyjen materiaalien ympäristövaikutuksia ja pyritään löytämään ekologisempia vaihtoehtoja. Lisäksi ta-

<sup>1</sup> Martinkauppi, K. (toim.) ERA17 – Energiaviisaan rakennetun ympäristön aika 2017, 2010

voitteena on tutkia, **millaista estetiikkaa ja arkkitehtuuria uusiomateriaaleilla voidaan luoda ja mitä on ekologinen estetiikka**. Työssä pohditaan kierrätyksen tuomaa lisäarvoa arkkitehtuurissa sekä rakennusmateriaalien luontevaa käyttötappaa esimerkkikohteiden avulla.

Työ on osa *Luonnonvaratasapainoinen vuokratulo* -kehityshanketta, jonka osapuolet ovat VAV Asunnot Oy, NCC Rakennus Oy, Optiplan Oy sekä Tampereen teknillinen yliopisto. Kehityshankkeen tavoitteena on suunnitella ja rakentaa asuinkerrostalo, joka on luonnonvaratasapainoisuudeltaan sekä energia- ja materiaalitehokkuudeltaan merkittävästi VAV:n nykyistä rakennuskantaa parempi. Hankkeessa saatujen tutkimustulosten käyttökelpoisuutta testataan koerakentamiskohteessa, joka rakennetaan Marja-Vantaalla vuonna 2015 pidettäville asuntomessuille. Koerakentamiskohteesta tulee kohtuuhintainen vuokra-asuintalo senioriasukkaille.

Tutkimukseni pääpaino on kehityshankkeen mukaisesti teolliseen asuinrakentamiseen soveltuissa uusiomateriaaleissa. Diplomityössä tarkastellaan sekä yleisesti käytössä olevia että vasta kehittyasteella olevia materiaaleja. Uusiomateriaalien lisäksi tutkitaan myös rakentamisessa tavallisesti käytettyjä runkomateriaaleja, kuten betonia ja puuta, sekä rakennusmateriaalien uudelleenkäyttöä. Lisäksi diplomityö on osa Tampereen teknillisen yliopiston *Energiatehokas lähiökorjaaminen (ENTELKOR)* -hanketta, joten uudisrakentamisen lisäksi materiaaleja tarkastellaan myös lähiöiden ja niiden korjaamisen kannalta. Käsitteellä lähiö tarkoitetaan tässä työssä 60- ja 70-luvulla rakennettuja asuinalueita, jotka koostuvat betonielementtirakenteisista kerrostaloista.

Diplomityö on luonteeltaan kirjallisuustutkimus, jossa hyödynnetään myös internetiä erityisesti kerätessä tietoa eri rakennusmateriaaleista ja -tuotteista. Lisäksi aineistoa on täydennetty puhelimitse ja sähköpostitse tehdyillä tiedusteluilla. Koottu tieto yhdessä kriittisen pohdinnan kanssa muodostaa diplomityön teoriaosuuden (*Ekologisuus, Kierrätys, Estetiikka*), jonka pohjalta valittuja rakennusmateriaaleja tarkastellaan työn soveltavassa osuudessa (*Materiaalit, Uusiotuotteet, Esimerk-*

*kejä rakentamisesta*). Näen diplomityöni luvun 5. *Uusiotuotteet* eräänlaisena käsikirjana, joka kokoaa yhteen kiinnostavia, ekologiseen rakentamiseen ja kierrätykseen liittyviä materiaaleja. Irrallisena osiona tarkasteltuna se tarjoaa ideoita materiaalien käyttöön rakentamisessa, mutta vasta diplomityön muodostaman kokonaisuuden hahmottaminen avaa pohtimaan materiaalien syvempää merkitystä kestävässä rakentamisessa.

Etsiessäni tietoa eri rakennusmateriaaleista törmäsin lähes aina sanaan ”eko”. Nykyisin melkein mitä tahansa tuotetta voidaan markkinoida ympäristöystävällisyydellä, mutta välillä lähempi tarkastelu paljastaa sen pelkäksi retoriikaksi ja päälleliimatuksi viherpesuksi. Esimerkiksi maininta ”100-prosenttisesti kierrätettävä” ei vielä takaa mitään kierrätyksen toteutumisesta käytännössä, ja puumuovikomposiitista valmistettu tuote, joka ”voidaan hävittää tavallisen kotitalousjätteen joukossa”, päättyy siis kaatopaikalle. Tavoitteena onkin tarkastella eri rakennusmateriaaleja ja niihin liitettyjä argumentteja mahdollisimman kriittisesti. Olen pyrkinyt välttämään työssäni ”puu on ekologinen rakennusmateriaali” -tyyppisiä mielikuvia ja viittaamaan aina lähdekirjallisuuteen. Käytännössä rakennusmateriaalien ympäristövaikutusten vertailu osoittautui kuitenkin vaikeaksi, sillä luotettavaa, ulkopuolisen tahon tuottamaa tietoa ei juurikaan ole saatavilla.

Olen halunnut käyttää diplomityössäni mahdollisimman paljon kuvia. Arkkitehtuurin ja rakennusmateriaalien havainnointi pelkästään visuaalisesti antaa kohteesta kuitenkin hyvin rajallisen kuvan, mikä nousee esille työni estetiikkaa käsittelevässä osuudessa. Jos kuva kertoo kohteesta enemmän kuin tuhat sanaa, kuinka paljon lisää tietoa ja tuntemusta voimme saada fyysisesti koskettamalla. Valitettavasti olen itsekin joutunut perehtymään osaan diplomityössä esittelemistäni rakennusmateriaaleista vain kirjallisen tiedon ja valokuvien perusteella. Seuraava askel olisikin koota fyysinen ”materiaalipankki”, jotta eri materiaaleja voisi tarkastella kaikkien aistien välityksellä. Toivottavasti kuitenkin aihetta kohtaan tuntemani innostus, etsiminen ja oivallus välittyvät tekstistä myös lukijalle.





# 1 EKOLOGISUUS

Mikä on ekologisen rakentamisen ja kestävän kehityksen välinen suhde? Kestävä kehitys voidaan määritellä *maailmanlaajuisesti, alueellisesti ja paikallisesti tapahtuvaksi jatkuvaksi ja ohjatuksi yhteiskunnalliseksi muutokseksi, jonka päämääränä on turvata nykyisille ja tuleville sukupolville hyvät elämisen mahdollisuudet*. Se sisältää kolme toiminnallista ulottuvuutta: *ekologisen, yhteiskunnallisen ja kulttuurisen*.<sup>2</sup> Arkkitehtuurista keskusteltaessa kestävän rakentamisen ja ekologisen rakentamisen käsitteitä käytetään usein sekaisin. Ekologia on alun perin biologian käsite, joka tutkii eliöiden ja ympäristön välisiä riippuvuussuhteita. Tämän vuoksi sen käyttöä kestävän kehityksen mukaiseen rakentamiseen liittyy on myös kritisoitu.<sup>3</sup> Mutta koska ekologisesti kestävä kehitys, joka määritelmän mukaan *tarkastelee luonnon monimuotoisuuden säilyttämistä ja ihmisen toiminnan sopeuttamista luonnon kestävykseen*<sup>4</sup>, on osa kestävästä kehityksestä, voidaan ekologinen rakentaminen samoin nähdä osana kestävästä rakentamisesta.

Tässä työssä rakentamisen ekologisuutta tarkastellaan rakennusmateriaalien kautta. Monet toimijat, rakennusteollisuus mukaan lukien, ovat ottaneet kasvihuonekaasupäästöt tärkeäksi mittariksi, jolla niiden toiminnan ympäristövaikutuksia mitataan. Samalla kuitenkin helposti unohtuu, että rakentamisen ja rakennusmateriaalien ekologisuus koostuu monista muistakin tekijöistä, joita tässä luvussa pyritään määrittelemään ja tarkastelemaan.

2, 4 *Kestävä kehitys. Raportti määritelmää pohtineen työryhmän keskusteluita*. 1994

3 Hänninen, P. *Mitä maapallolla tapahtuu?* Arkkitehti 105(2008)1





## Ajankohtaisia näkökulmia

### Arkkitehdit

Vuonna 2008 ilmestynyt Arkkitehti-lehden erikoisnumero käsittelee ilmastonmuutosta ja kestäväää rakentamista. Ilmastonmuutos on tunnustettu, nyt pitää pyrkiä sen hillitsemiseen ja sopeutua sen mukanaan tuomiin haasteisiin. Tarjottu keino, kenties ainoa mahdollisuus, on kestävä rakentaminen. ”Arkkitehtuuriin ja rakentamiseen tarvitaan kokonaan uusi ideologia, yhtä suuri ajattelutavan mullistus kuin mitä 1900-luvun alun modernisaatio oli.”<sup>5</sup> Kolmen vuoden jälkeen aihe on edelleen mitä ajankohtaisin.

Lehden pääkirjoituksessa muistutetaan antiikin Vitruviuksesta, jonka mukaan arkkitehtuurin tulee pyrkiä kauneuteen (*venustas*), kestävyyteen (*firmitas*) ja toimivuuteen (*utilitas*). Nykyajan teollisessa rakentamisessa kestävyuden käsite on kuitenkin päässyt unohtumaan. Lehden artikkeleissa nousee esille se, että suomalaisilta suunnittelijoilta puuttuu vielä kestävä rakentamisen koulutus ja osaaminen. Kirjoittajat peräänkuuluttavatkin korkeakouluihin kestävä rakentamisen oppituleja.<sup>6</sup>

”Kestävässä rakentamisessa on kyse kokonaisajattelusta, jossa eri osatekijät tukevat toisiaan.” Yksi tärkeimmistä tekijöistä on rakennusten energiakulutuksen pienentäminen ja vaihtoehtoisten energialähteiden hyödyntäminen. Myös luonnonvaroja tulee käyttää säästeliäästi. Rakennuksilta vaaditaan pitkää elinkaarta, muuntojoustavuutta ja laadukasta sisäilmaa. Niiden suunnittelussa ja suuntaamisessa tulee huomioida tontin ilmasto ja auringon suunta sekä sovittaa rakennukset osaksi ympäristöään ja luonnon kiertokulkua. Materiaalivalinnoissa korostetaan paikallisuutta, kierrätettävyyttä ja tarkoituksenmukaisuutta. Oleellinen osa kestäväää rakentamista ovat myös sosiaaliset ja ympäristön laatua parantavat tekijät.<sup>7,8</sup>

Käytännössä kestävä rakentaminen jakautuu usein kahteen koulukuntaan: teknologiaan luottaviin ja luonnonmukaiseen rakentamiseen uskoviin, mikä näkyy myös rakennusten ulkoasussa. Teknologisen koulukunnan edustajat luottavat talotek-

5, 6, 7 Hautajärvi, H. *Oletko valmis muutokseen?* Arkkitehti 105(2008)1

8 Hänninen, P. *Kohti kestävämpää rakentamista.* Arkkitehti 105(2008)1

**KUVA** (Luis Arturo Corzo): Arkkitehti Bruno Eratin kotitalo Villa Solbranten on suomalaisen ekorakentamisen klassikko.



nisiin järjestelmiin rakennuksen energiakulutuksen hallinnassa. Tämä insinöörimäinen, vallassa oleva ajattelutapa tuntuu saavan osakseen paljon kritiikkiä arkkitehtikirjoittajien suunnalta. Rakennusten koneellistuminen koetaan liian monimutkaisena ja teknisesti virhealttiina, kun taas luonnonmukaisen rakentamisen puolestapuhujat korostavat rakenteiden yksinkertaisuutta sekä materiaalien luonnonmukaisuutta ja paikallisuutta. Käytännössä toimivimmat ratkaisut on kuitenkin mahdollista yhdistää, ja rakennusten tulee olla kestäviä myös eettisesti.<sup>9</sup>

9 Hänninen, P. *Kohti kestävämpää rakentamista*. Arkkitehti 105(2008)1

## Rakennusteollisuus

Rakennusteollisuudessa keskustelu ekologisesta rakentamisesta on keskittynyt rakennusten energiatehokkuuden parantamiseen. Vuonna 2012 voimaan tulevat uudet energiamääräykset muuttavat rakentamisen energiatehokkuuden ohjausta oleellisesti. Tällöin siirrytään tarkastelemaan rakennuksen kokonaisenergiankulutusta (E-luku), mikä antaa vapauden valita hankekohtaisesti sopivimmat keinot vaaditun energiatehokkuuden saavuttamiseksi. Uudet energiamääräykset huomioivat myös sen, mitä energiamuotoja ja lämmitystapoja talossa käytetään. Uudistuksen tavoitteena on rakentamisen siirtyminen lähes nollaenergiarakentamiseen vuoteen 2021 mennessä EU:n energiatehokkuusdirektiivin 2010/3 mukaisesti.<sup>10</sup>

Uudet energiamääräykset saivat valmisteluvaiheessa osakseen myös paljon kritiikkiä ja ne koskevatkin ainoastaan uudisrakentamista. Osa rakennusalan tutkijoista pelkäsi, että kiristyvät energiamääräykset aiheuttavat terveysriskejä ja peräänkuulutti lisää tutkimustietoa ja osaamista. Erityisesti lähiöiden energiakorjaukset ovat haaste korjausrakentamiselle.<sup>11</sup> 1970-luvun lähiöbuumissa rakennetut betonielementtikerrostalot ovat usein päässeet rapistumaan ja tulleet peruskorjauksiin. ARAn laskelmien mukaan jopa 40 000 aravavuokra-asuntoa odottaa lähivuosina perusteellista korjausta tai purkua<sup>12</sup>. Betoniteollisuus kuitenkin muistuttaa, että peruskorjaustarve ei riipu käytetystä materiaalista tai rakennustekniikasta. Asuin-

10 Kurnitski, J. *Energiamääräykset 2012*. TM Rakennusmaailma (2011)6

11 Mölsä, S. *Kaavailltu energiasäästöpakko lisää korjaushankkeiden riskejä*. Rakennuslehti 45(2011)19

12 *Osittainen purkaminen keinoksi lähiöiden muodonmuutokseen*. ARA, 2011

rakennuksia ei yleensä pureta siksi, että ne olisivat teknisesti vanhentuneita, vaan koska niillä ei enää ole kysyntää.<sup>13</sup> Lähiöissä tarvitaankin asuntojen korjaamisen lisäksi koko rakennetun ympäristön kohentamista paremmin asukkaiden tarpeita vastaavaksi.

Viime vuosina rakennusallalla on keskusteltu paljon myös puurakentamisen edistämisestä Suomessa. Puun käytön puolesta puhuvat mm. sen uusiutuvuus ja kyky varastoida hiiltä, minkä vuoksi puun käyttöä halutaan monipuolistaa ja lisätä erityisesti kerrostalorakentamisessa. Aikaisemmin yhtenä puurakentamisen esteenä on pidetty paloturvallisuutta, mutta huhtikuussa 2011 voimaan astuneet uudet palomääräykset helpottavat puun käyttöä rakentamisessa<sup>14</sup>.

Uusien palomääräysten mukaan puurunkoisia ja puulla verhottuja kerrostaloja voidaan rakentaa taulukkomitoituksella jopa kahdeksankerroksisiksi, kun aiemmin vain nelikerroksiset puukerrostalot ovat olleet mahdollisia. Paloturvallisuus edellyttää puukerrostaloilta runkorakenteiden suojaverhousta ja 5–8-kerroksisissa rakennuksissa lisäksi automaattisia sammutuslaitteita. Sprinklatuissa puukerrostaloissa puuta voidaan käyttää myös sisäpinnoissa. Lisäksi ilman sprinklausta puuta voidaan käyttää enintään nelikerroksisten betonirunkoisten talojen julkisivumateriaalina ja enintään seitsenkerroksisiin betonikerrostaloihin voidaan rakentaa puinen lisäkerros.<sup>15</sup>

## Kasvihuonekaasupäästöt

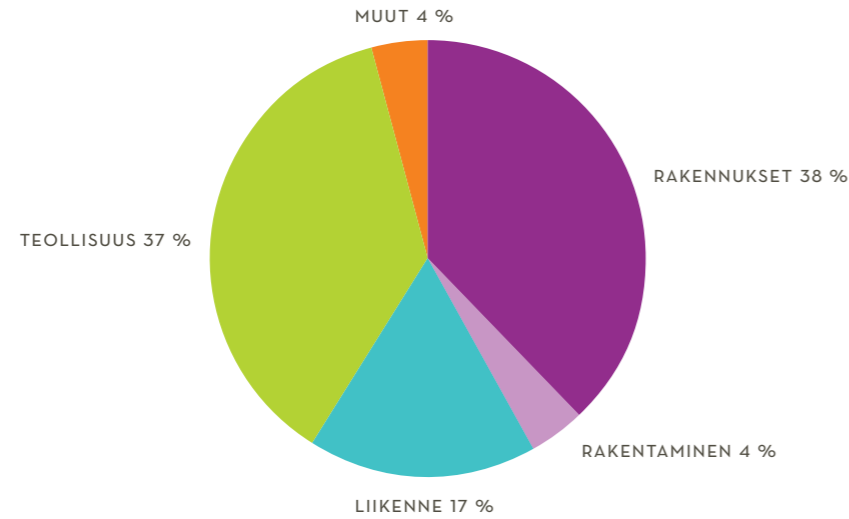
Maapallon ilmasto on vaihdellut aina, mutta ilmastomuutoksesta puhuttaessa tarkoitetaan ihmiskunnan toiminnasta johtuvaa kasvihuoneilmion voimistumista, joka aiheuttaa maapallon ilmaston lämpenemisen. Kasvihuoneilmiö toimii siten, että ilmakehän kasvihuonekaasut päästävät auringosta tulevan säteilyn maan pinnalle, mutta estävät maapallon lämpösäteilyä karkaamasta suoraan avaruuteen. Ilman luonnollista kasvihuoneilmiötä maapallon lämpötila olisi paljon kylmempi eikä elämälle suotuisa, mutta nykyinen kasvihuonekaasujen määrän lisääntyminen ilmakehässä lämmittää maapalloa. Tärkeimmät

13 Hämäläinen, O. *Lähiöiden korjaaminen on ratkaistava*. Rakennuslehti 45(2011)23

14, 15 *Uudistuvat palomääräykset lisäävät puun käyttömahdollisuuksia*. Puuinfo, 2011

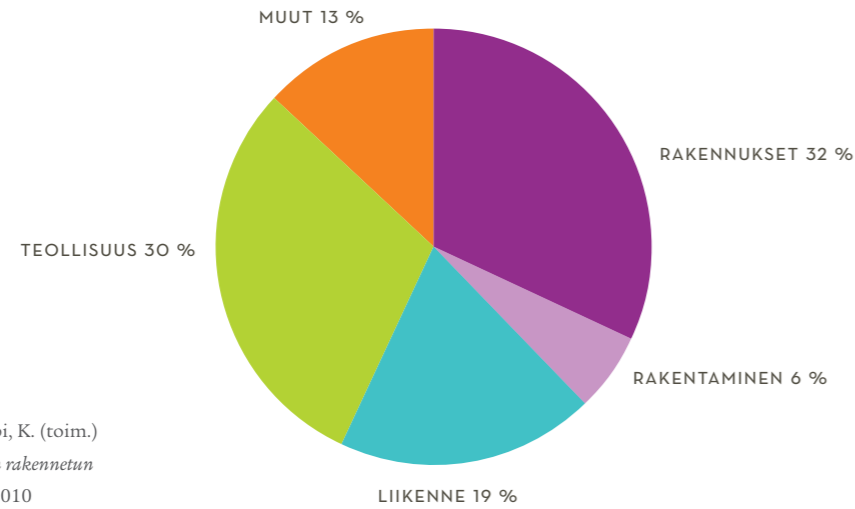
### Energian loppukäyttö vuonna 2007

YHTEENSÄ 307 TWh



### Kasvihuonekaasupäästöt vuonna 2007

YHTEENSÄ 78 MtCO<sub>2</sub>-ekv.



Kaaviot: Martinkauppi, K. (toim.)  
ERA17 – Energiviisaan rakennetun  
ympäristön aika 2017, 2010

kasvihuonekaasut ovat vesihöyry, hiilidioksidi, metaani, typpioksiduuli ja otsoni. Ihmiskunnan tuottamista kasvihuonekaasuista selvästi merkittävin on hiilidioksidi.<sup>16</sup>

Suomessa valtaosa kasvihuonekaasupäästöistä muodostuu kulutetun energian tuottamisesta ja käytöstä. Rakennetun ympäristön kohdalla energian käyttöön ja kasvihuonekaasupäästöihin vaikuttavat rakennukset ja rakentaminen, yhdyskuntarakenne sekä liikenne. Vuonna 2007 energian loppukäyttö Suomessa oli 307 TWh. Tästä rakennusten käytön, eli sähkön ja lämmitysenergian, osuus oli 38 % ja rakentamisen ja rakennusmateriaalien valmistuksen osuus 4 %. Samana vuonna Suomen kasvihuonekaasupäästöt olivat 78 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. Rakennusten käytön kasvihuonekaasupäästöt olivat 32 % ja rakentamisen ja rakennusmateriaalien valmistuksen kasvihuonekaasupäästöt 6 % koko Suomen päästöistä. Rakennusmateriaaleista aiheutuviin päästöihin vaikuttivat erityisesti sementin valmistuksen päästöt.<sup>17</sup>

Suomessa energiankulutus ja kasvihuonekaasupäästöjen kehittyminen on jo saatu hitaaseen laskuun<sup>18</sup>. Kasvihuonekaasujen vähentäminen, uusiutuvan energian käytön lisääminen ja energiatehokkuuden parantaminen ovat kuitenkin haasteita myös tulevaisuudessa. Olemassa oleva rakennuskanta tulee korjata ja rakentaa uudet rakennukset energiatehokkaiksi.

### Hiilen kiertokulku ja varastot

Keskustelussa ilmastonmuutoksesta ihmiskunnan aiheuttamat hiilidioksidipäästöt nousevat keskeiseen asemaan. Rakennusmateriaalien kohdalla tämä tarkoittaa paitsi valmistuksen hiilidioksidipäästöjen myös materiaalien sisältämän hiilen huomioimista. Hiilen kierto maapallolla on suljettu systeemi, jossa hiili kiertää koko ajan eri varastojen välillä. Sitä on luonnossa kaikkialla: vesistöihin liuenneena, kasvien ja eläinten biomassassa, ilmakehässä sekä kallio- ja maaperässä. Varastot ovat eri-ikäisiä, joissain varastoissa hiili viipyy vain minuutteja ja toisissa se pysyy jopa miljardeja vuosia. Ihmiskunnan ilmaan tuottaman hiilidioksidin on arvioitu jakautuneen hiilen kier-

16 Miksi ilmasto muuttuu? Ilmatieteen laitos, 2010

17, 18 Martinkauppi, K. (toim.)  
ERA17 – Energiviisaan rakennetun  
ympäristön aika 2017, 2010



19 Miksi ilmasto muuttuu? Ilmatieteen laitos, 2010

20, 22 Keskitalo, J. Maapallon muuttuva ilmasto. 2005

21 Ylönen, M. Moniongelmainen energiaturve.

23 Ilmasto.org

Kaavio: Miksi ilmasto muuttuu? Ilmatieteen laitos, 2010

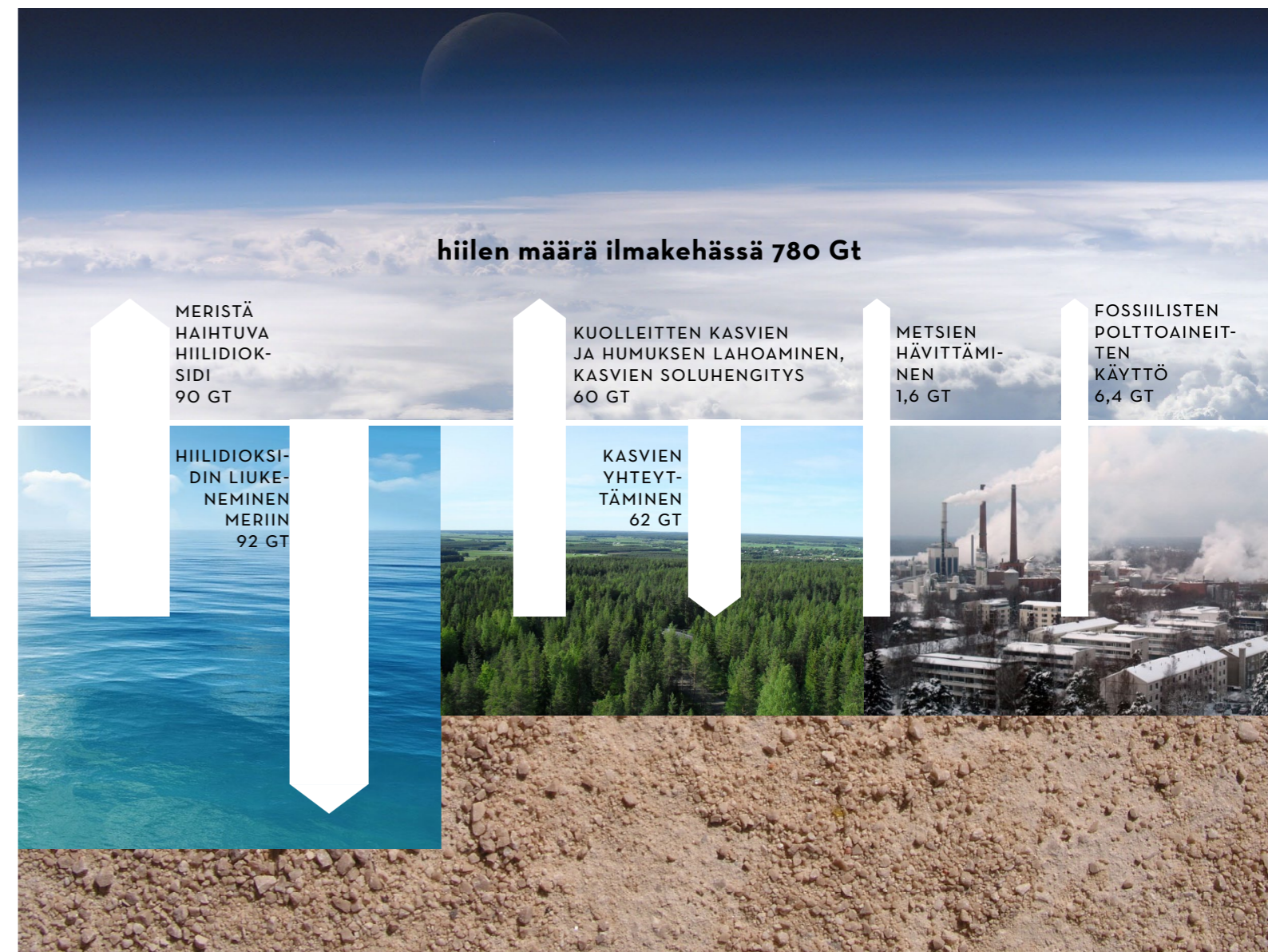
Hiilen kiertokulku maapallolla.

tokulussa ilmakehään (45 %), meriin (30 %) ja kasvipeitteeseen (25 %). Suurin osa hiilidioksidipäästöistä on peräisin fossiilisten polttoaineiden käytöstä, ja toinen merkittävä päästölähde on sademetsien hävittäminen.<sup>19</sup>

Fossiiliset polttoaineet, kivihiili, öljy ja maakaasu, ovat muodostuneet biomassasta vähitellen kovassa kuumuudessa ja paineessa ja varastoituneet maaperään miljoonia vuosia sitten. Fossiilisia polttoaineita käytettäessä niihin varastoitunut hiili vapautuu takaisin ilmakehään ja muuttaa hiilen kierron luonnollista tasapainoa.<sup>20</sup> Kansainvälisissä luokituksissa myös turve luokitellaan usein fossiiliseksi polttoaineeksi, sillä siihen varastoitunut hiili on kertynyt soihin 5–10 tuhannessa vuodessa<sup>21</sup>. Fossiiliset polttoaineet ovat uusiutumattomia tai turpeen tapauksessa hyvin hitaasti uusiutuvia luonnonvaroja.

Hiilinielulla tarkoitetaan maaperää, metsiä tai meriä, jotka sitovat itseensä ilmakehän hiilidioksidia. Kioton pöytäkirjan määritelmän mukaan hiilinielu on prosessi, toiminta tai mekanismi, joka sitoo kasvihuonekaasun, aerosolin tai niiden esiasteen ilmakehästä. Maapallon tärkeimpiä hiilinieluja ovat valtameret ja toisen merkittävän nielun muodostaa maanpinnan kasvillisuus. Nielut eivät ole pysyviä, vaan ne voivat myös muuttua hiilen lähteeksi ajan kuluessa. Esimerkiksi merten hiilidioksidin kyllästyspitoisuuden ylittyessä ne muuttuisivat hiilidioksidin päästölähteeksi, minkä ei kuitenkaan uskota tapahtuvan vielä tällä vuosisadalla.<sup>22</sup> Nieluihin varastoitunut hiili voi myös vapautua hyvin nopeasti, esimerkiksi metsästä metsäpalon seurauksena<sup>23</sup>.

Kasvien yhteyttäminen eli fotosynteesi sitoo ilmakehästä hiilidioksidia orgaaniseen aineeseen hiilenä ja tuottaa samalla happea ilmakehään. Kasveihin varastoitunut hiili palautuu hiilidioksidina takaisin ilmakehään osittain kasvien soluhengityksessä ja lopulta orgaanisen aineen hajotessa. Metsien hiilivarasto koostuu maaperästä ja kasvillisuudesta. Luonnossa kuolleet puut lahoavat vähitellen takaisin luonnon kiertokulkuun, mutta talousmetsässä puut korjataan ja niistä valmistetaan puutuotteita, joissa hiili pysyy varastoituneena puutuotteen koko elinkaaren ajan. Puuperäisten tuotteiden keskimääräinen käyt-



24 *Puutuotteiden hiilen kierto*. Eurooppalaiset puualan tietosivut

25 Keskitalo, J. *Maapallon muuttuva ilmasto*. 2005

töikä vaihtelee, sanomalehdellä se on kaksi kuukautta ja rakennusten puurakenteilla 75 vuotta<sup>24</sup>. Puutuotteiden käyttöikä voidaan pidentää korjaamalla ja kierrättämällä, mikä samalla lisää hiilen varastointia, mutta lopulta lahoamisen tai energiakäytön myötä hiili vapautuu takaisin luonnolliseen kiertoonsa. Kun hakatun metsän tilalle kasvaa tai istutetaan vastaava määrä uutta puustoa, hiilidioksidipäästöjen vaikutus on nol-la.<sup>25</sup> Puun energiakäyttö on osa hiilen lyhytaikaista kiertoa eikä se häiritse luonnon tasapainoa.

## Elinkaariajattelu

Elinkaarella tarkoitetaan tarkasteluajanjaksoa, joka käsittää tuotteen vaiheet raaka-aineiden hankinnasta tuotteen loppukäsittelyyn. Rakennuksen elinkaari muodostuu suunnittelusta, rakentamisesta, käytöstä, kunnossapidosta, korjauksista ja mahdollisista muutoksista ja päättyy rakennuksen purkamiseen sekä rakennusosien kierrätykseen ja jätehuoltoon. Purkamisen jälkeen yksittäisten rakennusosien elinkaari voi vielä jatkua, jos ne käytetään uudelleen toisessa rakennuskohteessa. Rakennusosan elinkaareen kuuluvat raaka-aineiden tuotanto ja kuljetus tehtaalle, rakennusosan valmistus, varastoiminen, kuljetus, käyttö sekä syntyneiden jätteiden hyödyntäminen ja loppukäsittely.<sup>26</sup>

Rakennusalalla elinkaariajattelu nähdään kestäväen kehityksen teknillis-taloudellisena konkretisointina, jonka avulla etsitään parannuksia rakennuksille ja rakenteille, jotta ne voitaisiin tuottaa alhaisemmilla ympäristökuormilla tai resursseilla kaikissa elinkaaren vaiheissa<sup>27</sup>. Elinkaaren hallinta on monimutkainen ja laaja kokonaisuus, jossa pyritään tunnistamaan kaikki elinkaaren aikaisten vaikututtavat tekijät. Elinkaaren aikaisten ympäristövaikutusten selvittämiseen käytetään elinkaariarviointia eli LCA-laskentaa. Myös rakentamistaloudessa on siirrytty koko elinkaaren aikaisten kustannusten tarkasteluun, sillä merkittävä osa rakennuksen kaikista kustannuksista syntyy käyttövaiheessa.<sup>28</sup>

26, 27 *Rakenteiden elinkaaritekniikka* Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL, 2001

28 *Ekotehokkuus ja elinkaariajattelu rakentamisessa*. Ympäristöministeriö, 2010

## Käyttöikä

Käyttöiällä tarkoitetaan sitä aikaa, jonka rakenne valmistuksen tai asennuksen jälkeen asianmukaisesti huollettuna säilyy käyttökelpoisena. Rakennuksen ja sen osien pitkä käyttöikä vaikuttaa positiivisesti niin rakennuksen toimivuuteen, elinkaarikustannuksiin kuin ympäristövaikutuksiinkin.<sup>29</sup> Rakennusten pitkäikäisyys on merkittävä ominaisuus myös kestäväen kehitykseen sisältyvistä kulttuurillisista näkökohdista.

Käyttöikä mitoitetaan rakennuksen käyttötarkoituksen, pysyvyyden ja merkittävyyden perusteella. Asuinrakennuksen suunniteltu käyttöikä on noin 50–100 vuotta.<sup>30</sup> Rakennusosat ovat joko pysyviä, kuten kantavat rakenteet, tai vaihdettaviksi suunniteltuja, jolloin niiden ei tarvitse kestää koko rakennuksen käyttöikä<sup>31</sup>. Rakennuksen käyttökelpoisuus ei kuitenkaan pääty suunnittelukäyttöään täytyttyä, vaan käyttöä voidaan jatkaa rakennusosia korjaamalla ja vaihtamalla. Rakennusmateriaalien valinnalla on suora yhteys rakennusosien käyttöikään.

## Kestävyys ja korjattavuus

Rakentamisen ympäristövaikutuksia voidaan pienentää rakentamalla kestäviä ja helposti korjattavia rakennuksia. Rakennusosan kestävyteen ja suunniteltuun käyttöikään vaikuttavat huomattavasti olosuhteet. Rakenteet tulee suunnitella ja toteuttaa huolellisesti, jotta ne kestävät kosteutta, sään vaihteluja ja käytöstä aiheutuvaa kulumista. Yksinkertaisissa rakenteissa on vähemmän mahdollisuuksia virheille kuin monimutkaisissa. Käytön aikana rakenteet vaativat ylläpitoa ja huoltoa. Rakennuksissa kannattaa suosia pitkäikäisiä, helppohoitoisia, korjattavia sekä tarkoituksenmukaisia tuotteita ja materiaaleja.<sup>32</sup> Rakennustuote, jota mainostetaan huoltovapaana, voi käytössä osoittautua korjauskelvottomaksi.

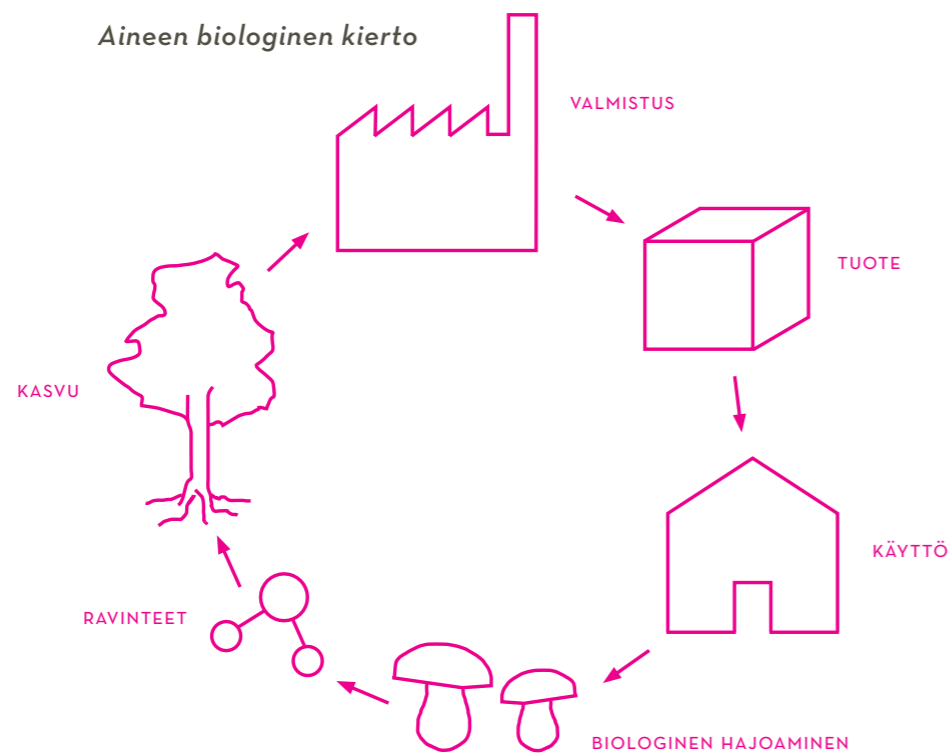
## Cradle to cradle

Perinteisen elinkaariajattelun, ”kehdosta hautaan”, haastaa William McDonough'n ja Michael Braungartin tunnetuksi tekemä *cradle to cradle*, eli ”kehdosta kehtoon” -ajattelutapa. Te-

29, 31 Häkkinen, T., Vares, S., Vesikari, E., Karhu, V. *Rakennusten elinkaaritekniikka*. Tuoteinformaatio käyttöikäsuunnittelun tueksi. 2001

30 Häkkinen, T., Vares, S., Siltanen, P. *Tuotteiden käyttöikäinformaatio ja sen käyttö rakennushankkeessa*. Loppuraportin tiivistelmä.

32 Heino, E., Sundholm, P. *Ekotalon rakennusaineet*. 1995

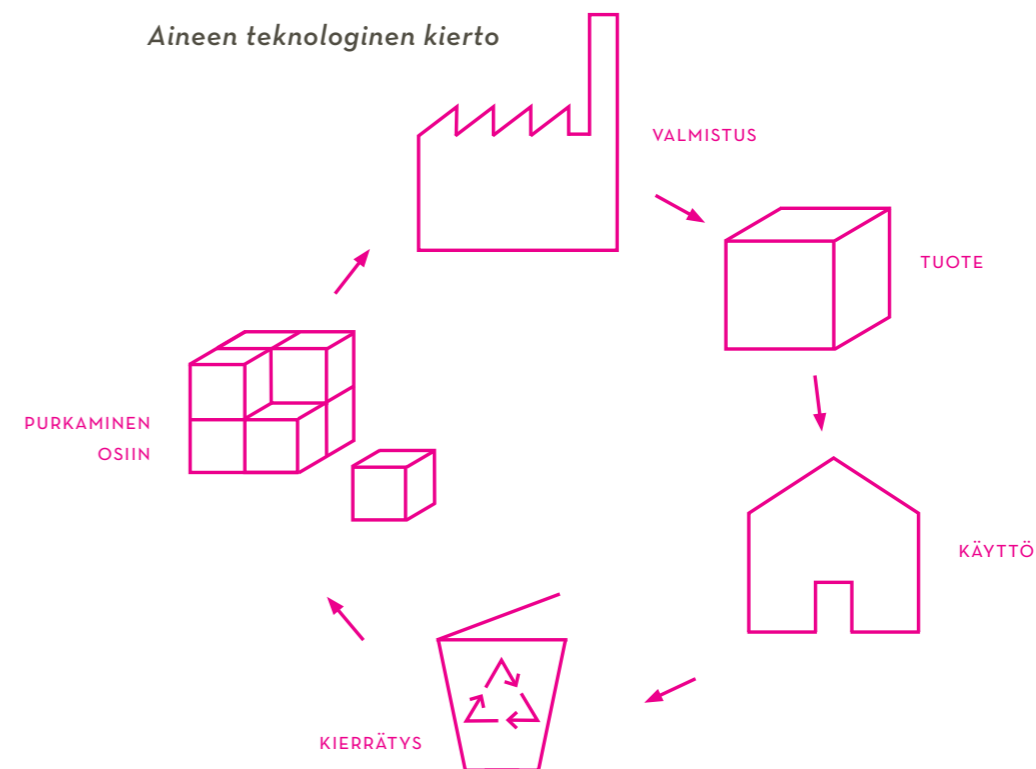


Kaaviot: Environmental Protection and Encouragement Agency (EPEA)

ollistumisen myötä ihmiskunta on alkanut kuluttaa luonnonvaroja kiihtyvään tahtiin ja niistä valmistetut tuotteet kertyvät käytön jälkeen kaatopaikoille. *Cradle to cradle* perustuu ajatukseen, jossa kaikki tuotteet nähdään osana aineen kiertoa maapallolla. Tuotteissa käytetty materiaali kiertää olomuodosta toiseen eikä jätteen käsitettä tunneta. McDonough ja Braungart puhuvatkin raaka-aineiden ja materiaalikierron sijaan ravinteista ja aineenvaihdunnasta.<sup>33</sup>

Aineen kierto maapallolla voidaan jaotella kahteen osaan: biologiseen ja teknologiseen kiertoon. Biologisessa kierrossa uusiutuvat luonnon materiaalit kasvavat, jalostetaan tuotteiksi ja käytön jälkeen ne maatuivat takaisin ravinteiksi. Tähän kiertoon kuuluvat myös viemäriin tai ilmaan päästetyt aineet,

33 Environmental Protection and Encouragement Agency (EPEA)



joiden tulee olla luontoon sopivia tai jopa sitä hyödyttäviä. Teknologinen kierto on ihmisen luoma ja ylläpitämä. Uusiutumattomat luonnonvarat kiertävät suljetussa systeemissä siten, että käytöstä poistetut tuotteet kerätään ja kierrätetään kokonaan eikä jätettä pääse syntymään.<sup>34</sup>

Aineen kierron lisäksi *cradle to cradle* -lähtöinen toiminta perustuu uusiutuvan energian käyttöön ja luonnon monimuotoisuuden korostamiseen. Ympäristöystävällisyys on perinteisesti tarkoittanut kulutuksen, materiaalin ja energian vähentämistä, mutta *cradle to cradle* -ajattelu pyrkii maksimoimaan ekologisen, taloudellisen ja sosiaalisen hyödyn ilman nykyisestä elintasosta luopumista. Tarkoitus on parantaa elämänlaatua ilman syyllisyyden tunnetta. *Cradle to cradle* luo myös kaupallisia mahdolli-

34 Environmental Protection and Encouragement Agency (EPEA)



35 Lacy, P., Rosenberg, D. *Rocking the Cradle to Cradle Revolution in Davos*. 2011

36 Cradle to Cradle Products Innovation Institute

suuksia ja haasteita. Koko materiaalikierron hallinta edellyttää sitä, että tuotteet suunnitellaan osiin purettaviksi ja valmistetaan oikein valituista raaka-aineista siten, että valmistuksessa ei synny kiertoon sopimatonta jätettä. Tuotteen myyjän tulee paitsi saattaa tuote käyttäjälle myös kerätä käytöstä poistetut tuotteet ja toimittaa ne takaisin tehtaalle. Lisäksi tuotteen käyttäjän, joka usein on tavallinen kuluttaja, tulee osaltaan osallistua tuotteen kierrättämiseen.<sup>35</sup>

Ajattelutavan lisäksi *cradle to cradle* on myös tuotesuunnitteluyritys MBDC:n (McDonough Braungart Design Chemistry) tuotteille myöntämä sertifikaatti. Sertifikaatti arvioi tuotteen raaka-aineita ja niiden kierrätettävyyttä, uusiutuvan energian käyttöä, veden kierrätystä ja sosiaalista kestävyyttä. Sertifikaatti on jaettu neljään eri tasoon: perus, hopea, kulta ja platina.<sup>36</sup> *Cradle to cradle* -sertifikaatti tarjoaa yhden keinon ekologisempien vaihtoehtojen löytämiseen rakennustuotteiden joukosta, mutta on syytä muistaa, että sertifikaatin myöntämisessä on kyse myös kaupallisesta toiminnasta.

## Materiaalien vaikutus rakennuksen energiakulutukseen

Rakennuksen energiankulutukseen vaikuttavat monet tekijät, kuten sijaintipaikan ilmasto ja olosuhteet, passiivisen aurinkoenergian hyödyntäminen, rakennuksen muoto, koko ja tilankäyttö, vaippa ja rakenteet, lämmitys-, ilmanvaihto- ja jäähdytysratkaisut sekä sähkölaitteet. Myös rakennuksen ylläpidon laadulla ja sitä käyttävien ihmisten kulutustottumuksilla on suuri merkitys. Rakennusmateriaalien valinnalla voidaan vaikuttaa rakennuksen vaipan kautta tapahtuviin energiahäviöihin. Energiankulutuksen kannalta vaipan tärkeimmät ominaisuudet ovat sen lämmöneristävyys, lämpökapasiteetti sekä ilmanpitävyys.<sup>37</sup>

### Lämmöneristävyys

Lämmönjohtavuus ( $\lambda$ ) on materiaalin fysikaalinen ominaisuus ja kuvaa sitä, miten hyvin materiaali johtaa lämpöä. Mitä pie-

37 Lappalainen, M. *Energia- ja ekologia-käsikirja. Suunnittelu ja rakentaminen*. 2010

nempi lämmönjohtavuusluku on, sitä parempi eriste materiaali on. Koska rakennusmateriaalien lämmönjohtavuus kasvaa kosteuden lisääntyessä, on parempi käyttää lämmöneristävyysarvoissa normaalista lämmönjohtavuutta ( $\lambda_n$ ), joka huomio materiaalin sisältävän tietyn määrän kosteutta. Lämmönjohtavuus voidaan ilmoittaa myös useilla muilla eri tavoin määritetyillä arvoilla, kuten laboratorio-oloja vastaava  $\lambda_{10}$  tai eurooppalaisten tuotestandardien mukaiset  $\lambda_{design}$  ja  $\lambda_{declared}$ .<sup>38</sup> Eristemateriaaleja vertailtaessa tulee kuitenkin huomata, että eri lämmönjohtavuusarvoja ei voi suoraan verrata keskenään.

Rakennusmateriaalin lämmönjohtavuusarvoa käytetään koko rakenteen lämmönläpäisykertoimen (U-arvo) määrittämiseen. U-arvo kuvaa rakenteen lämmöneristyskykyä: mitä pienempi U-arvo, sitä paremmin rakenne eristää lämpöä. Tähän asti rakennuksen vaipalle asetetut U-arvojen rajat ovat pitkälle ohjanneet rakentamista, mutta vuodesta 2012 lähtien uudisrakentamisessa siirrytään tarkastelemaan rakennuksen kokonais-

38 Siikanen, U. *Rakennusfysiikka. Perusteet ja sovellukset*. 1996

### Rakennusaineiden lämmönjohtavuusarvoja

AINE	NORMAALINEN LÄMMÖNJOHTAVUUS $\lambda_n$ , W/m°C
POLYURETAANI	0,024...0,037
MINERAALIVILLA	0,037...0,050
PUHALLUSMINERAALIVILLA	0,040...0,045
SELLUKUITUERISTE	0,041...0,050
SOLULASI	0,060...0,070
KEVYTSORA	0,10...0,13
KEVYTSORABETONI	0,20...0,27
PUU	0,14
TIILI MUURATTUNA	0,50...0,70
BETONI	1,7
TERÄS	50...70

Taulukko: Siikanen, U. *Rakennusfysiikka. Perusteet ja sovellukset*. 1996

energiankulutusta (E-luku), mikä lisää merkittävästi suunnittelun vapautta<sup>39</sup>.

### Lämpökapasiteetti

Ominaislämpökapasiteetti (c) kuvaa materiaalin kykyä sitoa ja varastoida itseensä lämpöä. Rakennusosan lämmönvaraamiskykyyn vaikuttaa myös sen massa, joten mitä painavampi ja suurempi ominaislämpökapasiteetti on, sitä enemmän lämpöä rakennusosa pystyy varastoimaan. Kullakin materiaalilla on tehollinen paksuus, jonka jälkeen tehollinen lämpökapasiteetti ei enää kasva vaikka materiaalin paksuutta lisätään. Rakenteet, joilla on suuri lämpökapasiteetti, voivat varastoida itseensä rakennusten tilapäistä sisäilman yllilämpöä ja luovuttaa sitä vastaavasti rakennuksen sisäilman lämpötilan laskiessa. Teoriassa tämä pienentää rakennuksen sisäilman lämpötilavaihtelua ja säästää lämmitysenergiaa. Lämmön varastoituminen rakenteeseen edellyttää, että sen lämpötilan ja myös huoneilman lämpö-

### Lämpökapasiteettiarvoja

AINE	OMINAISLÄMPÖ, c kJ/kg°C
PUU	2,300
PUU / RAKENNUSLEVY	1,500
KIPSIKARTONKILEVY	1,100
BETONI	0,840
REIKÄTIILI	0,800
TÄYSTIILI	0,920
KEVYTBETONI	1,050
KIVET, SORA, HIEKKA	0,840
LASI	0,840
MINERAALIVILLA	1,000
SAHANPURU	2,300

tilan sallitaan muuttua. Rakennuksen lämpökapasiteettiin vaikuttavat myös monet muut seikat, kuten sijainti ja ikkunoiden suuntaus sekä lämmityksen säätö. Käytännössä lämpökapasiteetin vaikutusta rakennuksen energiankulutukseen pidetään vähäisenä, mutta suuri lämpökapasiteetti hyödyttää tasaamalla sisälämpötilan huippuja kesäaikaan.<sup>40</sup>

### Ilmanpitävyys

Ilmanpitävyys on rakenteen ominaisuus, joka estää aineen läpi tapahtuvia ilmavirtauksia. Vaipan hyvä ilmanpitävyys parantaa rakennuksen viihtyisyyttä ja vähentää energiankulutusta, haitallisia ilmavirtauksia ja paine-eroja sekä kosteuden kertymistä rakenteisiin. Tarvittaessa keveän rakenteen, kuten puurakenteisen vaipan, ilmanpitävyyttä voidaan parantaa erillisellä ilmansulkukerroksella, joka asennetaan lämmöneristyksen sisäpuolelle. Tuulensuoja parantaa rakennuksen lämmöneristystä estämällä ulkoilmasta rakenteeseen ja takaisin ulkoilmaan tapahtuvaa ilmavirtausta.<sup>41</sup>

Rakenteen tiiviyyttä mitataan ilmanvuotoluvulla (n50-arvo), joka kuvaa rakenteen läpi siirtyvän vuotoilman määrää tunnin aikana ilmanpaine-eron ollessa 50 Pa. Mitä pienempi ilmanvuotoluku on, sitä parempi on rakenteen ilmanpitävyys. Suomen rakentamismääräyskokoelma C3:n suositusten mukaan rakennusten ilmanvuotoluvun vertailuarvon tulisi olla noin 1,0 l/h. Passiivitalon kohdalla ilmanvuotoluvun tulee olla alle 0,6 l/h.

### Rakenteen hengittävyys

Keveissä rakenteissa käytetty ilmansulku toimii usein samalla myös höyrinsulkuna, joka estää vesihöyryä kulkeutumasta haitallisessa määrin rakenteisiin. Vesihöyryn mukana rakenteisiin siirtyy kosteutta vesihöyryn osapaine-eron (diffuusio) sekä rakenteen eri puolilla vallitsevan ilmanpaine-eron aiheuttaman ilmavirtauksen vaikutuksesta (konvektio). Yleisen säännön mukaan rakenteen sisäpinnan vesihöyrynvastuksen tulisi olla viisinkertainen ulkopintaan verrattuna. Tavallisesti höyrinsulkuna käytetään muovikalvoa.<sup>42</sup>

Puupohjaisten ja muiden luonnonkuiduista valmistettujen

40 Siikanen, U. *Rakennusfysiikka. Perusteet ja sovellukset*. 1996

41, 42 Lappalainen, M. *Energia- ja ekologia- ja -kirja. Suunnittelu ja rakentaminen*. 2010

43 Kokko, E. *Hengittävä puukuiturakenne. Fysikaalinen toimintaperiaate ja vaikutukset sisäilmaan*. 2002

44 Vinha, J. *Seinä rakenteiden kosteus- ja lämpötekninen toiminta*.

tuotteiden yhteydessä käytetään usein termiä hengittävä rakenne. Tämä tarkoittaa sitä, että materiaalit ovat hydroksooppisia, eli niillä on kyky sitoa itseensä sisäilman vesihöyryä ja luovuttaa kosteutta takaisin sisäilmaan ilman suhteellisen kosteuden muuttuessa. Hengittävässä rakenteessa ei käytetä erillistä höyrinsulkua, vaan kosteuden sallitaan siirtyä rakenteeseen ja sen läpi. Tämä tasaa sisäilman kosteuden vaihteluja ja parantaa sen laatua. Hengittävä rakenne ei korvaa ilmanvaihtoa, mutta lieventää puutteellisesta ilmanvaihdosta aiheutuvia haittoja.<sup>43</sup> Toisaalta hengittävän rakenteen toimivuutta on myös kritisoitu. Sen haittoja ovat mm. home- ja kosteusvaurioriski, mahdollisten homeitiöiden ja muiden haitallisten aineiden kulkeutuminen sisäilmaan sekä eristeiden lämmöneristävyyden aleneminen kosteuden vaikutuksesta<sup>44</sup>.

## Materiaalien ympäristövaikutukset

Rakennusmateriaalien kaikkien ympäristövaikutusten arviointi on mahdotonta. Materiaalien ympäristövaikutukset syntyvät niiden koko elinkaaren aikana, valmistuksesta käytöstä poistamiseen ja mahdolliseen kierrätykseen. Käytön aikana materiaalivalinnoilla vaikutetaan mm. rakennuksen energiankulutukseen sekä rakennusosien käyttöikään, kestävyys ja korjattavuuteen. Seuraavaksi tarkastellaan erityisesti rakennusmateriaalien raaka-aineiden ja valmistuksen aiheuttamia ympäristövaikutuksia. Koottu lista ei suinkaan ole täydellinen eikä kaikkia vaikutuksia ole kovin helppo mitata, mutta se antaa suuntaa materiaalien vertailulle.

Rakennustietosäätiö RTS julkaisee internetsivuillaan RT-Ympäristöselosteet, joista löytyy tietoa eri rakennustuotteiden ympäristövaikutuksista. Ympäristöselostetta voidaan hyödyntää tuotteen ympäristöprofiilin ja rakennuksen elinkaariarvion laskemisessa. Ympäristöseloste ei kuitenkaan ota kantaa tuotteen käyttöikään tai ympäristövaikutusten kokoluokkaan eikä se aseta tuotteita paremmuusjärjestykseen. Lisäksi ympäristöselosteiden ongelmana on se, ettei tuotetietoja useinkaan ole päivitetty vastaamaan voimassa olevaa tietoa.

## Uusiutuvuus

Tuotteiden ja materiaalien raaka-aineet saadaan luonnosta tai kierrättämällä. Ainetta ei katoa tai ilmesty tyhjästä, vaan se kiertää maapallolla suljetussa systeemissä. Maapallon luonnonvarat voidaan jakaa uusiutuviin ja uusiutumattomiin, mutta tämä jaottelu perustuu ihmisen taloudelliseen aikamittakavaan. Käytännössä uusiutuvuus edellyttää aina myös sitä, että aineen käyttö on sen uusiutumista hitaampaa.<sup>45</sup> Uusiutuvia luonnonvaroja ovat mm. happi, puhdas vesi ja biomassa ja uusiutumattomia mm. fossiiliset polttoaineet ja malmit. Monet mineraaliset luonnonvarat, kuten kivi, hiekka ja savi ovat uusiutumattomia, mutta käytännössä niitä on saatavilla runsaasti<sup>46</sup>.

## Raaka-aineen kulutus

Tietoisuus luonnonvarojen rajallisuudesta edellyttää niiden käyttöä materiaalitehokkaasti. Materiaalitehokkuus tarkoittaa sitä, että tuotetaan kilpailukykyisiä tuotteita ja palveluja pienemmällä materiaalipanoksilla. Samalla syntyy vähemmän päästöjä ja jätteitä. Materiaalien tehokas hyödyntäminen vaatii paitsi tuotannon myös koko toimitus- ja arvoketjun kehittämistä.<sup>47</sup> Lisäksi eri rakennusmateriaalien valmistukseen tarvittavien luonnonvarojen määrä suhteessa valmiin rakennusmateriaalin määrään vaihtelee.

## Alkuperä

Raaka-aine voi tulla tehtaalle hyvinkin kaukaa, ja pitkät kuljetusmatkat lisäävät päästöjä. Erilaiset raaka-aineiden alkuperää valvovat sertifikaatit takaavat, että raaka-aineet on tuotettu kestävästi. Raaka-aineet otetaan luonnosta esim. louhimalla, kaivamalla, kaatamalla tai pumppaamalla, mikä muuttaa maisemaa ja voi aiheuttaa erilaisia haittoja, kuten melua ja haitallisten aineiden pääsyä ympäristöön.

Usein ekologisimpana vaihtoehtona pidetään paikallisten raaka-aineiden käyttöä. Paikallisuus itsessään ei vielä takaa materiaalin ekologisuutta, mutta paikallisten materiaalien käyttöön liittyy monia etuja. Yleensä niiden oton ympäristö-

45 Kivelä, J. *Ravinteiden kierto ekologian kannalta*.

46 Heino, E., Sundholm, P. *Ekotolon rakennusaineet*. 1995

47 *Mitä on materiaalitehokkuus?* Elinkeinoelämän keskusliitto, 2008



vaikutuksia on helpompi kontrolloida, kuljetusmatkat jäävät lyhyemmiksi ja niiden käytöllä ja osaamisella on pitkät perinteet<sup>48</sup>. Raaka-aineiden oton vaikutus maisemaan nähdään yleensä haittana, mutta toisaalta se voi myös luoda paikkakunnalle identiteettiä. Museovirasto onkin luokitellut esimerkiksi Paraisten kalkkitehtaan alueen valtakunnallisesti merkittäväksi rakennetuksi kulttuuriympäristöksi.

Kierrätysraaka-aineet ja sivutuotteet ovat peräisin eri kierrätysjärjestelmistä ja toimialoilta. Samalla on hyvä huomata, että saatava raaka-aine on monella tapaa sidoksissa sitä tuottavaan toimialaan. Esimerkiksi lentotuhkan valmistuksen ei itsessään katsota aiheuttavan päästöjä sen sivutuoteluonteen vuoksi, mutta lentotuhkan saatavuus raaka-aineena perustuu siihen, että energiaa tuotetaan jatkossakin fossiilisilla polttoaineilla. Mikäli kivihiilellä tuotetusta energiasta tulevaisuudessa luovutaan, ei lentotuhkaa enää synny sivutuotteena, vaan sen käyttö raaka-aineena edellyttäisi erillistä tuotantoa.

### Kuljetukset

Tuotteen kuljetusketju muodostuu raaka-aineiden kuljetuksesta tehtaalle, käsittelystä ja varastoinnista sekä tuotteen toimittamisesta asiakkaalle. Kuljetusketjuun voi sisältyä useita eri kuljetusmuotoja: tie-, rautatie, meri- ja lentokuljetusta. Kuljetuksen ympäristövaikutukset syntyvät energian, tilan ja luonnonvarojen kulutuksesta sekä liikenteen aiheuttamista kasvihuonekaasupäästöistä, epäpuhtauksista ilmaan ja meluhaitoista. Vuonna 2007 Suomessa liikenteen osuus energian loppukäytöstä oli 17 % ja osuus koko maan kasvihuonekaasupäästöistä 19 %<sup>49</sup>.

Kuljetusmuoto valitaan kuljetettavan tavaran, matkan, matkan keston ja kustannusten perusteella. Eri kuljetusmuotojen ympäristövaikutusten vertailu ei kuitenkaan ole yksiselitteistä. Ympäristöystävällisimpänä kuljetusmuotona pidetään yleisesti rautatieliikennettä, joka soveltuu erityisesti pitkille kuljetusmatkoille ja suurien tavaramäärien säännölliseen kuljetukseen. Vesikuljetukset ovat energiataloudellisia ja niiden ympäristöhaitat liittyvät ensisijaisesti vesien laatuun ja



KUVAT (Luonto-Liitto ja Jukka Leinonen): Hakkuualue Lopen Keihäsjärvellä sekä Talvivaa-ran nikkelikaivos Sotkamossa.



50 Suominen, K. *Kuljetusten ympäristöjohtaminen*. 2007

rikkipäästöihin. Tiekuljetukset ovat tärkein kuljetusmuoto lähes kaikissa teollisuusmaissa ja ne aiheuttavat samalla suurimman osan liikenteen hiilidioksidi-, typenoksidi- ja häkäpäästöistä sekä energiankulutuksesta. Lentokuljetukset soveltuvat pienien tavaramäärien kiireelliseen kuljetukseen, mutta aiheuttavat erityisesti pakokaasupäästöjä ja melua.<sup>50</sup> Koska kuljetuksista aiheutuu aina haittoja ympäristölle, voidaan yleisenä ohjenuorana pitää kuljetusten minimoimista. Paras kuljetus on lyhyt kuljetus.

Taiwanilainen Miniwiz valmistaa julkisivuelementtejä kierätetyistä PET-pulloista ja on kehittämässä tuotteelle myös uudenlaista kuljetustapaa. Valmiin tuotteen kuljettaminen vaatii kalliita lentokuljetuksia, mutta sen valmistamiseen käytettyjä muovipulloja on helposti saatavilla joka paikassa. Yrityksen tarkoituksena onkin kuljettaa tuotteen sijaan itse valmistusprosessi. Niinpä valmistusyksikkö rakennetaan kuljetuskontin sisälle ja kuljetetaan meritse rakennuspaikalle, jossa tuotteet valmistetaan paikallisista raaka-aineista.<sup>51</sup>

### Valmistuksen energiankulutus

Rakennusmateriaalien ja -tuotteiden valmistuksen energiankulutus muodostuu sähkön sekä fossiilisten polttoaineiden ja uusiutuvien energialähteiden käytöstä. Ympäristön kannalta energiankulutuksen kohdalla merkitystä on kulutuksen määrällä sekä tavalla, jolla energia tuotetaan. Energiatehokkuuden tavoitteena on tuotteiden valmistaminen entistä pienemmällä energiamäärällä. Primäärienegiasällöllä tarkoitetaan tuotteen raaka-aineen ottoon, jalostukseen ja kuljetuksiin kokonaisuudessaan kuluva energiamäärä<sup>52</sup>. Suomessa öljyn, maakaasun ja hiilen yhteinen osuus on puolet koko energiantuotannosta ja sähköstä vajaa neljännes tuotetaan fossiililla polttoaineilla. Fossiilisten polttoaineiden käytön suurin ympäristöongelma ovat hiilidioksidipäästöt. Sen lisäksi niiden poltosta aiheutuu typpi- ja rikkipäästöjä ja prosessissa muodostuu metalleja sisältävää tuhkaa ja savukaasujen puhdistusjätettä.<sup>53</sup>

52 Heino, E., Sundholm, P. *Ekotalon rakennusaineet*. 1995

53 Lappalainen, M. *Energia- ja ekologiakäsikirja. Suunnittelu ja rakentaminen*. 2010

### Hiilidioksidipäästöt

Rakennusmateriaalien valmistuksessa hiilidioksidia vapautuu ilmaan polttoaineiden ja hiilipitoisten raaka-aineiden poltossa. Hiilidioksidipäästöt ovat vain osa kasvihuonekaasupäästöjä, mutta usein hiili-alkuisia käsitteitä käytetään harhaanjohtavasti ilmastokeskustelussa. Esimerkiksi hiilidioksidiekvivalentti (CO<sub>2</sub>-ekv.) on suure, joka kuvaa kasvihuonekaasujen yhteisvaikutusta ilmastoon siten, että eri kaasujen vaikutus on muunnettu vastaamaan hiilidioksidin ilmastovaikutusta<sup>54</sup>. Hiilijalanjälki, jonka määritelmä ei vielä ole vakiintunut, tarkoittaa yleensä kasvihuonekaasupäästöjen kokonaismäärää, joka syntyy sekä suorasti että epäsuorasti tuotteen koko elinkaaren aikana<sup>55</sup>.

Eri materiaalien hiilidioksidipäästöjen laskemista ja vertailla vaikeuttaa se, että orgaanisten materiaalien, kuten puun, kohdalla huomioidaan jossain laskelmissa myös materiaaliin varastoitunut hiilidioksidi. Jos valmistuksen hiilidioksidipäästöistä vähennetään materiaaliin sitoutuneen hiilidioksidin määrä, voi lopputulos olla myös negatiivinen. Tällöin materiaali toimii hiilinieluna.

### Happamoittavat päästöt

Happamoitumisessa on kyse siitä, että maaperän tai vesistöjen kyky neutraloida ilmasta tulevaa hapanta laskeumaa heikkenee. Tästä on haittaa sekä vesieliöille että kasveille, happamoituminen on esimerkiksi vahingoittanut kalakantoja. Happamoittavat päästöt ilmaan koostuvat rikkidioksidista (SO<sub>2</sub>) ja typen oksideista (NO<sub>x</sub>). Myös ammoniakki (NH<sub>3</sub>) on potentiaalisesti happamoittava aine. Rikkidioksidia syntyy fossiilisten polttoaineiden käytöstä, mutta polttoprosessin savukaasujen puhdistaminen on osoittautunut toimivaksi tavaksi vähentää rikkioksidipäästöjä. Typen oksideja syntyy kaikessa palamisessa ja päästöjen vähentäminen on huomattavasti hankalampaa kuin rikkioksidipäästöjen.<sup>56</sup>

54, 55 Nevalainen, O. *Hiilijalanjälki ekotehokkuuden mittarina*. 2009

56 *Happamoituminen*. Ympäristöministeriö, 2010



## 2 KIERRÄTYS

Kierrätys on oleellinen ja yhä ajankohtaisempi osa ekologisuutta. Ihmiskunta on kautta aikojen kierrättänyt ja korjannut luonnosta kerran käyttöön ottamiaan raaka-aineita ja maatalousyhdyskunnan tuottama jäte on ollut luonteeltaan biohajotavaa. Vasta teollistuminen toi mukanaan nykyisen kertakäyttökulttuurin. Kierrättäminen liitetään yhä helposti köyhyyteen, mutta huoli ilmastonmuutoksesta avaa mahdollisuuksia myös uudenlaisen kierrätyskulttuurin synnylle.

Tässä luvussa tarkastellaan sekä kierrätysmateriaalien käyttöä rakentamisessa että rakennusmateriaalien kierrätysmahdollisuuksia. Materiaalien kierrätys tarjoaa uusia mahdollisuuksia myös rakennusalalla, mitä ei vielä kovin hyvin osata hyödyntää. Tarkoituksena on selvittää, mitä jätteitä Suomessa vuosittain syntyy ja millaisia määriä. Kierrätyksen kohdalla materiaalilähtöisyys lähtee siitä, mitä kierrätysmateriaalia on saatavilla, ja vasta sen jälkeen voidaan miettiä sopivaa käyttökohdetta. On myös hyvä huomata, että rakentamisessa käytetyn kierrätysmateriaalin ei suikaan tarvitse olla peräisin rakentamisesta, vaan potentiaalisia raaka-aineita voidaan löytää yllättäviltäkin tahoilta. Kierrätysmateriaalilla tarkoitetaan tässä työssä jo kertaalleen käytettyä materiaalia tai tuotetta, jota hyödynnetään uudelleen. Uusiomateriaali tai -tuote valmistetaan ainakin osittain kierrätysmateriaalista.



## Eroon jätteestä

Nykyinen jätelaki määrittelee kierrätyksen toiminnaksi, jossa jäte valmistetaan tuotteeksi, materiaaliksi tai aineeksi joko alkuperäiseen tai muuhun tarkoitukseen<sup>57</sup>. Tässä työssä kierrätyksellä tarkoitetaan tuotteen tai materiaalin uudelleenkäyttöä ja uusiokäyttöä raaka-aineena. Hyötykäyttöä on kierrätyksen lisäksi jätteen sisältämän materiaalin tai energian hyödyntäminen. Jätteen hyötykäyttö ei ehkäise jätteen syntymistä, mutta vähentää kaatopaikalle päätyvän jätteen määrää. Esimerkiksi betonin kierrätys voi tarkoittaa kerrostalosta puretun betonielementin käyttöä uudestaan seuraavassa rakennuksessa tai murskattuna betonin valmistuksessa kiviaineena. Sen sijaan betonimurskan käyttö maantäyttöön ei ole kierrätystä, vaan hyötykäyttöä. Tässä työssä määrittelen jätteen kierrätyksen, hyötykäytön ja loppusijoituksen vaihtoehdot seuraavasti:

1. jätteen synnyn ehkäisy
2. uudelleenkäyttö
3. uusiokäyttö
4. käyttö materiaalina
5. energiakäyttö
6. maaduttaminen
7. kaatopaikka

### Jätteen synnyn ehkäisy

Jätelain ensisijainen tavoite on jätteen synnyn ehkäisy. Jäte määritellään aineeksi tai esineeksi, jonka sen haltija on poistanut, aikoo poistaa tai on velvollinen poistamaan käytöstä<sup>58</sup>. Jätteen synnyn ehkäisy tapahtuu jo ennen kuin tuote tai materiaali luokitellaan jätteeksi. Jätteen syntyä voidaan ennaltaehkäistä monin tavoin, kuten suunnittelulla ja materiaalien käytön vähentämisellä, huollolla ja korjauksella, tuotteen monikäyttöisyydellä, välttämällä haitallisia aineita sekä pakkausten minimoinnilla.<sup>59</sup>

<sup>59</sup> Koski, E. *Jätteen synnyn ehkäisyn tietopohja*. 2003

**KUVA:** Ämmänsuon kaatopaikka  
Espoossa.





## Uudelleenkäyttö

Uudelleenkäyttöä on tuotteen tai materiaalin käyttö sellaiseenaan tai osittain jossain muussa kuin alkuperäisessä kohteessa tai käyttötarkoituksessa. Periaatteessa uudelleenkäyttö on jätteen ennaltaehkäisyä, mutta käytännössä ennemminkin tarpeettomaksi jääneen tuotteen tai materiaalin, eli jätteen, hyödyntämistä. Jätteen tuottajan tulisi kuitenkin erottaa uusiokäyttöön aiotut tuotteet ja materiaalit varsinaisesta jätteestä, sillä rakennuslaki rajoittaa jätteeksi luokitellun tuotteen ottamista takaisin käyttöön ja se vaatii aina viranomaisen hyväksynnän<sup>60</sup>. Rakennusosista uudelleenkäyttöön hyvin soveltuvat esimerkiksi ikkunat, ovet, lautalattiat, kakluunit, kylpyammeet, pesualtaat, valaisimet ja rakenneteräksset. Rakennusten kohdalla uudelleenkäyttö tarkoittaa kunnostamista uuteen käyttöön tai koko rakennuksen siirtämistä purkamisen sijaan.<sup>61</sup>

## Uusiokäyttö

Uusiokäytöllä tarkoitetaan tässä työssä tuotteen tai materiaalin käyttöä uusiotuotteen raaka-aineena. Esimerkiksi paperilla ja pahvilla, lasilla ja metallilla on toimivat keräysjärjestelmät, jotka kierrättävät kyseiset jätteet teollisuuden uusioraaka-aineeksi. Uusien rakennusosien raaka-aineeksi hyvin sopivia jättemateriaaleja ovat mm. kivennäispohjaiset mineraalit, metallit, kipsilevyt ja mineraalivillat<sup>62</sup>. Termillä uusioraaka-aine (tai kierrätysraaka-aine) tarkoitetaan tässä työssä sekä raaka-aineeksi kierrätettyjä jätteitä että teollisuuden sivutuotteita. Sivutuote muodostuu jonkin toisen tuotteen valmistuksen yhteydessä ja se kerätään talteen tehtaalla. Esimerkiksi puuhake on metsäteollisuuden sivutuote, jota voidaan käyttää lastulevyn valmistukseen.

## Käyttö materiaalina

Jätteen käyttö sellaisenaan materiaalina tarkoittaa murskaamista ja käyttöä maarakentamisessa rakennuspaikalla tai toisella työmaalla<sup>63</sup>. Joissain lähteissä myös käyttö materiaalina katsotaan uusiokäytöksi, mutta koska jätelain mukaan maantäyttö ei ole kierrätystä, tässä työssä uusiokäytöllä tarkoitetaan

60 Huuhka, S. *Kierrätys arkkitehtuurissa. Betonielementtien ja muiden rakennusosien uudelleenkäyttö uudisrakentamisessa ja lähiöiden energiatehokkaassa korjaus- ja täydennysrakentamisessa*. 2010

61, 62, 63 *Rakenteiden elinkaartekniikka* Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL, 2001

ainoastaan käyttöä uusiotuotteen raaka-aineena. Maarakentamiseen soveltuvia jättemateriaaleja ovat mm. betoni- ja tiilimurska, kivihiilen polton lento- ja pohjatuhka sekä murskatut renkaat ja niiden käyttökohteita mm. katu- ja tierakenteet, kenttäeränteet ja pengertäytöt. Jätteiden käytöllä maarakentamisessa voidaan vähentää luonnon maa- ja kiviainesten käyttöä. Toisaalta voidaan kuitenkin kysyä, onko kyseessä todella jätteen hyödyntäminen vai pelkästään keino kiertää jättemaksumia ja hankkiutua eroon jätteestä<sup>64</sup>.

## Energiäkäyttö

Polttoaineeksi kelpaava jäte voidaan hyödyntää energiantuotannossa. Poltossa jätteen sisältämä energia otetaan talteen ja jätteestä tuotetulla energialla voidaan korvata muita polttoaineita. Suomessa pääosa jätteestä poltetaan seospolttoaineena yhdessä esimerkiksi hiilen, turpeen tai puun kanssa<sup>65</sup>. Suurin osa poltettavasta jätteestä on yhdyskuntien sekajätettä, mutta rakennusjätteestä energiakäyttöön kelpaa mm. käsittelemätön puu, puupohjaiset levyt ja liimapuu pienissä määrin, monet muovit (ei PVC-muovi) sekä uusiokäyttöön kelpaamaton paperi ja pahvi<sup>66</sup>. Jätteen poltossa syntyy ympäristölle haitallisia päästöjä, minkä vuoksi savukaasujen puhdistaminen on erityisen tärkeää. Jätteen polttoa on kritisoitu myös siitä, että jätteenpolttolaitos tarvitsee toimiakseen jätettä, mikä vaikeuttaa jätteiden synnyn ehkäisyn kehittämistä ja kilpailee kierrätyksen kanssa samoista materiaaleista<sup>67</sup>.

## Maaduttaminen

Orgaaninen jäte maatuu lopulta, mutta prosessia voidaan hyödyntää ja nopeuttaa kompostoinnilla. Kompostoinnissa mikrobit hajottavat biojätettä mullan raaka-aineeksi, jota voidaan hyödyntää viherrakentamisessa ja lannoitteena. Biojätteen kompostointi vähentää syntyviä kasvihuonekaasupäästöjä kaatopaikkasijoitukseen verrattuna. Entisestään kasvihuonekaasupäästöt vähenevät, jos biojätteestä tuotetaan energiaa mädättämällä. Mädätys on prosessi, jossa mikrobit hajottavat orgaanista ainetta ja lopputuotteena syntyy biokaasua ja mä-

64 Kämäräinen, T. *Eräiden jätteiden hyödyntäminen maarakentamisessa*. 2009

65 *Jätteen poltto*. Ympäristöministeriö, 2001

66 *Rakenteiden elinkaartekniikka* Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL, 2001

67 *Jätteenpoltto*. Suomen luonnon-suojeluliitto, 2009

68 Myllymaa, T., Tohka, A., Dahlbo, H., Tenhunen, J. *Ympäristönäkökulmat jätteen hyödyntämisessä energiana ja materiaalina. Valtakunnallinen jättesuunnitelma vuoteen 2016. Taustaselvitys osa III.* 2006

69 Mroueh, U.-M., Ajanko-Laurikko, S., Arnold, M., Laiho, A., Wiher-  
saari, M., Savolainen, I., Dahlbo, H.,  
Korhonen, M.-R. *Uusien jätteenkä-  
sittelykonseptien mahdollisuudet kasvi-  
huonekaasupäästöjen vähentämisessä.*  
2007

70 *Rakenteiden elinkaaritekniikka*  
Suomen Rakennusinsinöörien Liit-  
to RIL, 2001

71, 72 *Jätetilasto 2007.* Tilastokes-  
kus, 2009

dätettyä biomassaa. Biokaasu voidaan hyödyntää polttamalla sähkön- ja lämmöntuotannossa tai ajoneuvojen polttoaineena. Mädätyksessä syntynyt biomassa kompostoidaan. Mädätykseen soveltuvat hyvin yhdyskuntien biojäte sekä liete ja lanta, sen sijaan puu ja paperi hajoavat huonosti.<sup>68</sup>

### Kaatopaikka

Kaatopaikka on viimeinen vaihtoehto loppusijoituspaikaksi sille jätteelle, jolle ei löydy hyötykäyttöä ja joka ei ole ongelmajätettä. Jätteen hajotessa syntyy kaatopaikkakaasua, joka sisältää pääosin metaania ja hiilidioksidia, jotka ovat kasvihuonekaasuja. Kaatopaikkakaasu on mahdollista ottaa talteen ja hyödyntää energiantuotannossa. Tärkein kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiskeino on kuitenkin kaatopaikkajätteen määrän minimointi. Muita kaatopaikan aiheuttamia ympäristöongelmia ovat mm. suotovedet, hajut, roskaantumisen ja muut haitalliset päästöt ilmaan.<sup>69</sup> Rakennusjätteestä kaatopaikalle päätyvät mm. kattuhuopa, polttoon kelpaamaton muovi, kyllästetty puu ja teräsvahvisteinen lasi<sup>70</sup>.

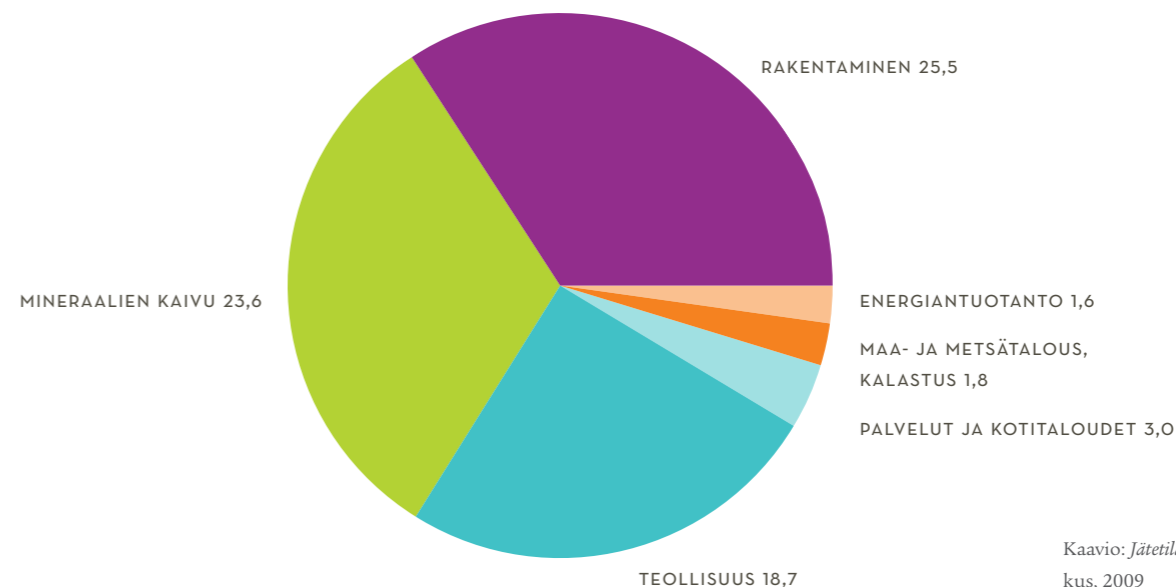
### Jätteen määrä toimialoittain

Suomessa syntyi jätettä vuonna 2007 yhteensä 74 miljoonaa tonnia. Jätteen hyödyntämisaste oli lähes 40 %, eniten hyödynnettiin maamassoja sekä puu- ja metallijätettä. Suurimmat jätemäärät muodostuivat rakentamisesta syntyvästä jättemaasta, mineraalien kaivun jätteistä sekä teollisuudesta. Mineraalien kaivun jätteet pitävät sisällään mm. sivukiveä, rikastushiekkaa ja poistomaata. Energiantuotannon jätteistä pääosa oli mineraalipohjaista jätettä, kuten poltossa syntyvää tuhkaa sekä savukaasujen rikinpoistossa syntyvää kipsiä. Yhdyskuntajätteen osuus kokonaisjätemäärästä oli vain noin 3,6 %.<sup>71</sup>

Teollisuudessa suurimmat jätteiden erät muodostuivat puu- ja paperiteollisuuden puujätteistä, kemianteollisuuden ja metallien jalostuksen mineraalijätteistä sekä muista kemiallisista jätteistä<sup>72</sup>. Suomessa syntyvän teollisuusjätteen määrä on yksi suurimmista Euroopassa asukasta kohden laskettuna,

### Jättemäärät Suomessa vuonna 2007

YHTEENSÄ 74 MILJOONAA TONNIA



Kaavio: *Jätetilasto 2007.* Tilastokeskus, 2009

mikä johtuu mm. massa- ja paperiteollisuuden sekä perusteollisuuden tuotannon volyymin kasvusta. Teollisuusjätteen määrää voidaan vähentää esimerkiksi materiaalitehokkuutta ja tuotantoprosesseja parantamalla ja jätteiden hyödyntämisaste onkin noussut jatkuvasti. Toisaalta jätteen määrää on vähentänyt myös se, että jätteen määritelmä on osin muuttunut.<sup>73</sup> EU:n uuden jätedirektiivin mukaan osa aiemmin jätteeksi luokitelluista materiaaleista katsotaan nykyään sivutuotteiksi, ei jätteeksi. Nykyisin teollisuuden jätteiden hyödyntämisaste onkin noin 90 %<sup>74</sup>.

Rakentamisen jätteistä valtaosa on mineraalipohjaisia maa-

73 Huhtinen, K., Lilja, R., Sokka, L., Salminen, H., Runsten, S. *Valtakunnallinen jättesuunnitelma vuoteen 2016. Taustaraportti.* 2007

74 *Jätteiden hyödyntäminen ja jätteen määritelmä.* Elinkeinoelämän keskusliitto, 2010

75 *Rakentamisen jätteet*. Ympäristöministeriö, 2009

76 *Jätetilasto 2009*. Tilastokeskus, 2010

77 *Recycling accounted for a quarter of total municipal waste treated in 2009*. Eurostat newsrelease, 2011

78 Pirhonen, I., Heräjärvi, H., Saukkola, P., Rätty, T., Verkasalo, E. *Puutuotteiden kierrätys*. Finnish Wood Research Oy:n osarahoittama esiselvityshankkeen loppuraportti. 2011

79 J452/2004 *Laki jätelain muuttamisesta*.

massoja. Ilman jätemaita talonrakentamisessa syntyi vuonna 2007 noin 1,6 miljoonaa tonnia jätettä. Talonrakentamisen jätteistä 16 % on peräisin uudisrakentamisessa, 57 % korjausrakentamisesta ja 27 % rakennusten purkamisessa. Vuonna 2007 näistä jätteistä noin 40–42 % oli puuta, 28–31 % kivipohjaisia aineita kuten betonia ja tiiltä, 14 % metallia ja loput muovi- ja maalijätettä, lasia sekä yhdyskuntajätteen kaltaisia jätteitä.<sup>75</sup> EU:n jätedirektiivi edellyttää, että talonrakentamisen jätteistä on kierrätettävä 70 % vuoteen 2020 mennessä.

Yhdyskuntajäte koostuu kotitalouksien tuottamasta jätteestä sekä teollisuudessa ja palvelualoilla syntyvästä, yhdyskuntajätteeseen rinnastettavasta ja jätehuollon piirissä olevasta jätteestä. Vuonna 2009 kotitalouksien osuus yhteiskuntajätteen määrästä oli noin 60 %.<sup>76</sup> Yhdyskuntajäte sisältää mm. biojätettä, keräyspaperia ja pahvia, lasia, metallia ja ongelmajätettä joko sekajätteenä tai erikseen kerättynä. Vuonna 2009 yhdyskuntajätteestä hyödynnettiin 54 %, mikä jakaantui kierrätykseen (24 %), jätteen polttoon (18 %), ja kompostointiin (12 %). Loput 46 % yhdyskuntajätteestä päätyi kaatopaikalle.<sup>77</sup>

## Potentiaaliset uusiöraaka-aineet

Rakentamisen kohdalla olisi loogista pyrkiä hyödyntämään ensisijaisesti sen itsensä aiheuttamat jätteet, mutta myös muiden toimialojen jätteitä ja sivutuotteita voidaan käyttää uusiotuotteiden raaka-aineena. Kierrätysraaka-aineen käyttökelpoisuuteen vaikuttavat sen määrä ja saatavuus, käytännössä vain arvokkailla raaka-aineilla on toimivat kierrätysjärjestelmät.

Kotitalouksissa syntyvää jätettä kerätään yleisökeräyspisteissä, kunnallisilla jäteasemilla sekä jätteiden vastaanotto- ja keräyspisteissä. Yritysten ja yhteisöiden käyttökelpoiset jätteet kerätään omiin keräyspisteisiinsä.<sup>78</sup> Kattavimmin kierrätys on järjestetty niiden jätteiden osalta, jotka kuuluvat tuottajavastuun piiriin. Tuottajavastuun mukaan vastuu jätteen talteen ottamisesta ja hyödyntämisestä ensisijaisesti aineena on lain mukaan tuottajalla eli tuotteen valmistajalla tai maahantuojalla<sup>79</sup>.

## Puujäte

Jätepuuta syntyy Suomessa vuosittain n. 12,5 miljoonaa tonnia. Tästä noin kaksi kolmasosaa päätyy energiakäyttöön ja loput hyödynnetään materiaalina. Puun uusiokäyttöä olisi siis mahdollista lisätä. Kaatopaikalle jätepuusta päätyy 24 500 tonnia eli n. 2 % kokonaismäärästä. Suurin osa puujätteestä muodostuu sahatavaran ja puutuotteiden valmistuksessa (7,3 milj. tonnia), massa- ja paperiteollisuudessa (3,2 milj. tonnia) sekä maa- ja metsätaloudessa (1,6 milj. tonnia). Tämä sisältää sekä hakkuutähteitä että puuhaketta, purua ja kuorta, jotka ovat luonteeltaan sivutuotteita. Varsinaista käytön jälkeisestä puujätettä syntyy vuosittain noin 850 000 tonnia, josta 79 % on peräisin rakentamisesta.<sup>80, 81</sup> Rakentamisen puujätteet koostuvat mm. lautatavaran hukkapaloista, telineistä ja suojakaiteista, muottilaudoista, kuormalavoista ja purettavista puurakenteista.

## Betoni- ja tiilijäte

Betonijätteen määrästä Suomessa ei ole tarkkaa tietoa, mutta arvioiden mukaan sitä syntyy vuosittain noin 700 000–1 000 000 tonnia, mistä hyödynnetään noin 80 %<sup>82</sup>. Suurin osa betonijätteestä syntyy purkutyömailla (noin 80 %) ja ontelolaattatehtailla (noin 20 %)<sup>83</sup>. Betonijätteeseen kuuluvat betonikappaleet, -laatat ja -pilarit, elementit, ontelolaatat sekä valujen ylijäämäbetonit. Puhdas betonijäte luokitellaan kappalekoon perusteella ja mukana voi olla betonirautoja. Sekalainen betonijäte voi sisältää betonin lisäksi tiiltä tai kevytbetonia korkeintaan 30 % ja puuta tai muovia korkeintaan prosentoin painostaan. Tiilijätettä ovat poltetun tiilen lisäksi erilaiset savi- ja hiekkatiilet, kevyt- ja kevytsorabetoni, muurauslaasti ja muut vastaavat mineraalipohjaiset materiaalit. Tiilijätteen joukossa voi olla pieniä määriä keramiikkaa, kuten laattoja ja kaakeleita.<sup>84</sup>

## Metallijäte

Metallit ovat arvokkaita raaka-aineita, joiden laatu ei heikene uusiokäytössä ja joilla on toimiva kierrätysjärjestelmä Suomessa. Metalleja käytetään pääasiallisesti rakennustoiminnassa sekä metallituote-, kone- ja laite-, sähkö- ja elektroniikka- sekä

80 *Jätetilasto 2007*. Tilastokeskus, 2009

81 Pirhonen, I., Heräjärvi, H., Saukkola, P., Rätty, T., Verkasalo, E. *Puutuotteiden kierrätys*. Finnish Wood Research Oy:n osarahoittama esiselvityshankkeen loppuraportti. 2011

82 Vakkuri, R. *Purkubetoni hyödynnetään, mutta vielä yksipuolisesti*. Betoni 81(2011)2

83 Huuhka, S. *Purkubetoni kierrätetään tienpohjiksi, tulevaisuudessa ehkä myös taloiksi*. Betoni 80(2010)2

84 *Rakenteiden elinkaartekniikka* Suomen Rakennusinsinöörien Liiton RIL, 2001





kulkuneuvoteollisuuden tuotteissa. Metallien ja niistä valmistettävien tuotteiden valmistuksessa syntyvän metallijätteen kierrätysaste on lähes 100 %<sup>85</sup>. Tuotteiden käytöstä poistamisessa syntyvän metallijätteen eli romun määrää on vaikea arvioida, koska Suomeen myös tuodaan paljon romua hyödynnettäväksi ja jonkin verran myös viedään<sup>86</sup>. Suomessa käytöstä poistetun teräksen hyödyntämisprosentti on kuitenkin yli 90 %<sup>87</sup>. Metallipitoiset tuotteet kerätään, lajitellaan ja puretaan, murskataan ja erotellaan eri metallimurskeiksi, jotka kierrätetään takaisin teollisuuden raaka-aineiksi.

### Muovijäte

Muovi on yleisnimi synteettisesti valmistetuille aineille, jotka koostuvat polymeereistä eli kemialliselta rakenteeltaan yleensä hiiltä sisältävistä molekyyliketjuista. Muovit jaetaan kertaja kestonuoveihin, joista jälkimmäisiä voidaan kierrättää ja työstää uudelleen mekaanisesti muokkaamalla<sup>88</sup>. Muovijätettä voidaan myös kierrättää kemiallisesti muokkaamalla takaisin peruskemikaaleiksi. Kierrätyksen haasteina ovat eri muovilaatujen lajittelu ja muovijätteeltä vaadittava puhtaus, minkä vuoksi muovit hyödynnetään usein energiana. Suomessa on tällä hetkellä toimiva kierrätysjärjestelmä ainoastaan muovipulloille ja -koreille. Muovipullojen kierrätysaste on noin 80 %. Vuonna 2007 muovi- ja kumijätettä syntyi Suomessa noin 103 000 tonnia, josta hyödynnettiin noin 60 %<sup>89</sup>. Rakentamisessa kierrätysmuovista voidaan valmistaa erilaisia rakennusosia, kuten profileita ja putkia, rakennuseristettä sekä komposiittimateriaaleja.<sup>90</sup>

### Lasijäte

Lasia voidaan kierrättää periaatteessa rajattomasti valmistuksen laadun silti heikkenemättä. Lasijätettä syntyi Suomessa vuonna 2007 noin 250 000 tonnia, josta hyödynnettiin vain noin 48 %<sup>91</sup>. Pakkauslasin eli lasipullojen ja -purkkien kierrätys on Suomessa hoidettu tehokkaasti, suurin osa pakkauslasista kierrätetään uudelleen täyttämällä. Muuta kierrätykseen sopivaa lasijätettä ovat mm. käytöstä poistetut lasipakkaukset,

85 Melanen, M., Palperi, M., Viitanen, M., Dahlbo, H., Uusitalo, S., Juutinen, A., Lohi, T.-K., Koskela, S., Seppälä, J. *Metallivirrat ja romun kierrätys Suomessa*. 2000

86 Huhtinen, K., Lilja, R., Sokka, L., Salmenperä, H., Runsten, S. *Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2016. Taustaraportti*. 2007

87 *Jätteiden hyödyntäminen ja jätteen määrätelmä*. Elinkeinoelämän keskusliitto, 2010

88 Suomen Uusiomuovi Oy

89, 91 *Jätetilasto 2007*. Tilastokeskus, 2009

90 Mroueh, U.-M., Ajanko-Laurikko, S., Arnold, M., Laiho, A., Wiheraari, M., Savolainen, I., Dahlbo, H., Korhonen, M.-R. *Uusien jätteenkäsittelykonseptien mahdollisuudet kasihuonekaasupäästöjen vähentämisessä*. 2007

**KUVAT:** Rakentamisen betoni-, puu- ja tiilijätettä sekä taso-lasia, PET-pulloja ja metalliromua.



92, 94 Ritola, J., Vares, S. *Keräyslasin hyötykäyttö vaahtolasiutuotteina*. 2008

93, 97 Mroueh, U.-M., Ajanko-Laurikko, S., Arnold, M., Laiho, A., Wihersaari, M., Savolainen, I., Dahlbo, H., Korhonen, M.-R. *Uusien jätteenkäsittelykonseptien mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä*. 2007

95 *Keräyspaperin ja -kartongin talteenotto Suomessa vuosina 1980–2009*. Suomen Metsäyhdistys ry.

96 *Kierrätyskuitu on arvokas raaka-aine*. Metsäteollisuuden tietopalvelu, 2011

98 Moliis, K., Teerioja, N., Ollikainen, M. *Ennuste yhdyskuntajätteen kehityksestä vuoteen 2030*. 2009

**KUVAT:** Vanhoja renkaita, keräyspaperia, tekstiilijätettä, olkea sekä energiantuotannossa syntyntä kipsiä ja lentotuhkaa.

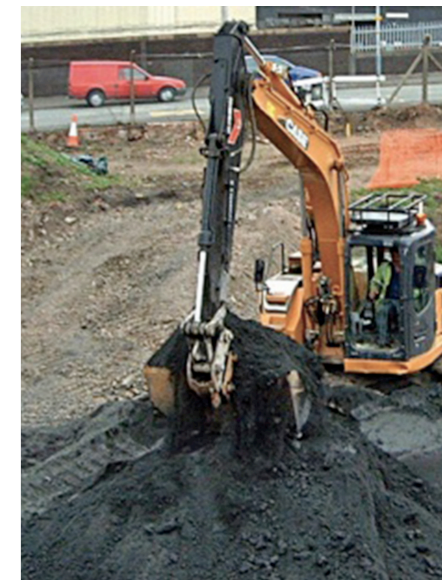
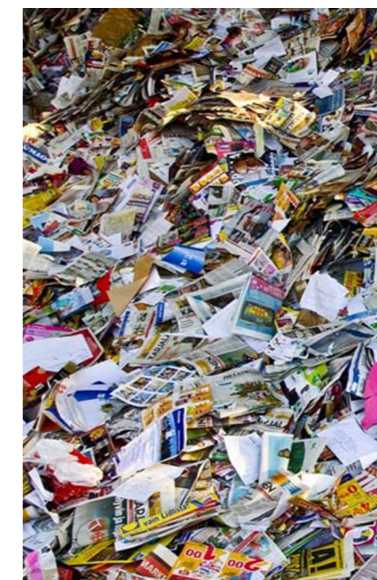
autojen lasit, hehkulamput ja loisteputket, televisioiden ja tietokoneiden näyttöjen kuvaputket sekä korjausrakentamisessa poistettu ikkunalasi ja ikkunalasin tuotannon leikkausjäte.<sup>92</sup> Murskattua kierrätyslasia hyödynnetään raaka-aineena yleensä pakkaus- ja ikkunalasien sekä lasivillan valmistuksessa. Muita mahdollisia käyttökohteita ovat mm. vaahtolasin, lasitiilien ja lasibetonin valmistus ja keramiikkatuotanto.<sup>93</sup> Tutkimuksen mukaan esim. vaahtolasin valmistukseen sopivaa, tavallisesti hyödyntämätöntä lasijätettä syntyy vuosittain noin 43 000 tonnia<sup>94</sup>.

### **Keräyspaperi- ja pahvi**

Keräyspaperi ja -pahvi koostuvat teollisuudessa, kotitalouksissa ja toimistoissa käytöstä poistetuista sanoma- ja aikakauslehdistä, luetteloista ja mainosjulkaisuista, toimistopaperista, aaltopahvista ja kartonkipakkauksista, muista vastaavista paperi- ja pahvituotteista sekä teollisuuden leikkuutähteistä ja hylkyeristä. Keräyspaperin ja -kartongin kierrätys kuuluu tuottajavastuun piiriin. Vuonna 2009 keräyspaperia otettiin talteen 725 000 tonnia<sup>95</sup>. Tuottajavastuun mukainen keräyspaperin hyödyntämistavoite vuodelle 2005 oli 75 %, mutta vuonna 2009 keräyspaperista hyödynnettiin enää 71 %, mikä on Euroopan keskitasoa. Keräyspaperista ja -pahvista saadaan kierrätyskuitua, jota käytetään raaka-aineena pääasiassa sanomalehtipaperin, pehmopaperin ja hylsy- ja pakkauskartongin valmistuksessa. Kierrätyskuidusta noin 5 % hyödynnetään eristeteollisuuden raaka-aineena.<sup>96</sup>

### **Tekstiilijäte**

Arvion mukaan Suomessa syntyi 2000-luvun alussa vuosittain noin 15 000 tonnia tekstiiliteollisuuden haaskiota<sup>97</sup>. Suurin osa tekstiilijätteestä syntyy kuitenkin kotitalouksissa, vuonna 2007 kotitalouksien tuottaman tekstiilijätteen määrä oli 89 000 tonnia<sup>98</sup>. Tekstiilijätettä voidaan kierrättää sekä käyttökelpoisten tekstiilien uudelleenkäytöllä että raaka-aineena. Uusiokäyttö tarkoittaa joko mekaanista muokkausta tai synteettisten kuitujen kohdalla kemiallista muokkausta tai sulattamista. Raken-





99 Räsänen, J. *Tekstiilijätteen katoa-  
mistemppu. Kuluttajapoistojen hyötykäy-  
tön ennalasuunnittelumahdollisuudet  
suomalaisessa tekstiili- ja vaateustuotan-  
nossa.* 2010.

100 Suomen Rengaskierrätys Oy

101 *Viljakasvit ja olki.* Thermopolis

102 Tuomisto, H. *Biokaasun ja pelto-  
energian tuotannon ja käytön ympäristö-  
vaikutukset.* 2005

103 Huhtinen, K., Lilja, R., Sokka,  
L., Salmenperä, H., Runsten, S. *Val-  
takunnallinen jätesuunnitelma vuoteen  
2016. Taustaraportti.* 2007

104 *Kiinteät jätteet.* Energiateolli-  
suus ry

nusteollisuudessa tekstiilijätettä hyödynnetään raaka-aineena mm. parketinalushuovissa sekä ääni- ja lämpöeristeissä. Murskatusta tekstiilijätteestä kehitetään myös sementtiin sekoitetuna uutta komposiittimateriaalia.<sup>99</sup>

### Romurenkaat

Suomessa poistuu käytöstä vuosittain noin 40 000 tonnia renkaita. Renkaiden ja renkailla varustettujen laitteiden valmistajat ovat tuottajavastuun nojalla vastuussa renkaiden keräyksestä ja hyödyntämisestä. Nykyisin romurenkaat saadaankin hyödynnettyä 100-prosenttisesti. Käytöstä poistetut renkaat voidaan pinnoittaa ja käyttää uudelleen tai rouhia ja hyödyntää materiaalina tie- ja maarakentamisessa. Lisäksi rengasrouhetta voidaan hyödyntää energiantuotannossa.<sup>100</sup>

### Olki

Olki on viljan viljelyssä syntyvä maatalouden sivutuote. Suomessa olkea tuotetaan vuosittain noin 3 000 000 tonnia<sup>101</sup>. Tästä osa hyödynnetään maataloudessa kateaineena ja kuivikkeena sekä vähäisessä määrin bioenergian tuotannossa. Maataloudessa oljen hyötykäyttö on kuitenkin nykyisin vähäistä, joten useimmiten olki päätty jätteeksi.<sup>102</sup> Rakentamisessa oljen käytöllä on pitkät perinteet. Sitä voidaan hyödyntää mm. olki-paali- ja kevytsavirakenteissa sekä rakennuslevyissä.

### Kipsi

Kipsi on kiderakenteinen mineraali, jota saadaan sekä luonnosta että teollisuuden ja energiantuotannon prosesseista. Kipsiä syntyy mm. kemianteollisuuden jätteenä sekä sivutuotteena kivihiilivoimalan savukaasujen rikinpoistossa<sup>103</sup>. Rikinpoiston märkämenetelmällä syntyvä kipsi vastaa ominaisuuksiltaan luonnon kipsiä ja sitä voidaan käyttää rakennusteollisuudessa kipsilevyn raaka-aineena, sementin lisäaineena sekä laastin valmistuksessa. Märkämenetelmällä syntyneestä kipsistä hyödynnetään yli 95 %. Kipsilevyjen raaka-aineena voidaan käyttää myös kierrätyskipsiä, joka on peräisin rakennustyömaalta, kipsilevyn tuotannosta tai mahdollisesti jopa käytetyistä kipsilevyistä.<sup>104</sup>

### Lentotuhka

Lentotuhka on kivihiilen, turpeen tai puun poltossa syntyvä sivutuote. Yleensä lentotuhkalla tarkoitetaan kuitenkin juuri kivihiilen lentotuhkaa. Kivihiilivoimalan polttoprosessissa syntyvien savukaasujen sisältämästä mineraalisesta aineksesta muodostuu savukaasujen jäähtyessä lentotuhkaa, joka erotetaan suodattimilla. Lentotuhka koostuu pääosin pioksidista, alumiinioksidista sekä kalsiumin, magnesiumin ja raudan oksideista. Se sisältää myös pieniä määriä raskasmetalleja. Pölymäinen lentotuhka on terveystarve sitoutuneena sitä pidetään yleisesti terveydelle vaarattomana.<sup>105</sup>

Kivihiilen poltossa tuhkaa saadaan 10–15 % poltettavan kivihiilen painosta. Talteen otettavan tuhkan määrästä lentotuhkaa on 5–40 % ja loput raskaampaa pohjatuhkaa, jota hyödynnetään maarakentamisessa<sup>106</sup>. Kivihiilen poltosta syntyy vuosittain yli 500 000 tonnia lentotuhkaa ja sen hyödyntämistä on 60–80 %. Lentotuhkaa voidaan hyödyntää sementin, betonin ja asfaltin valmistuksen raaka-aineena sekä maarakentamisessa.<sup>107</sup>

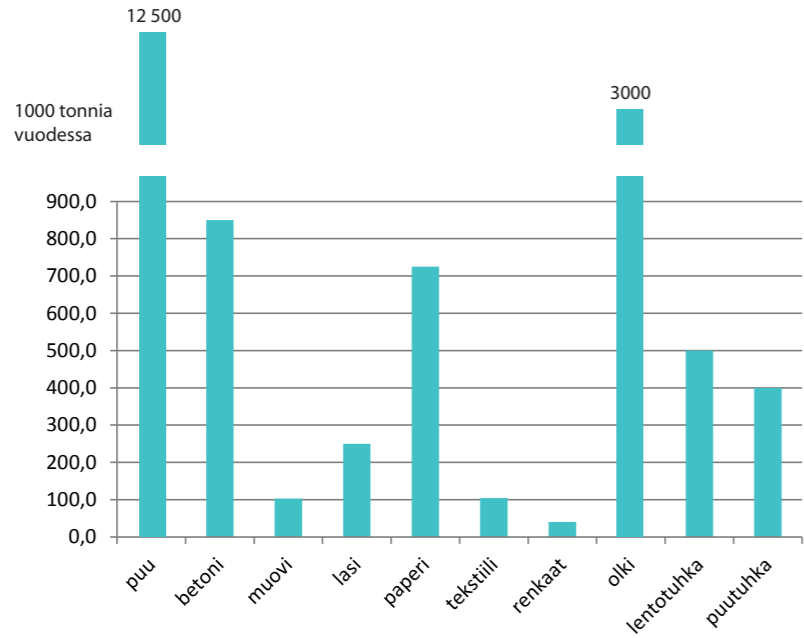
### Puun ja turpeen polton tuhka

Puun ja turpeen poltossa syntyy sivutuotteena tuhkaa vuosittain noin 400 000 tonnia. Suurin osa tuhkasta päätty kaatopai-  
kalle ja teollisuuden läjitysalueille, mutta myös hyötykäyttöä on alettu tutkia. Sekä puun että turpeen tuhkat sisältävät kuitenkin raskasmetalleja, mikä rajoittaa niiden käyttöä. Puutuhkal-  
la on mahdollista lannoittaa metsiä ja myös puulentotuhkan käyttöä betonin seosaineena on tutkittu. Betonin seosaineena voidaan käyttää kivihiilen lentotuhkaa, mutta nykyisen lentotuhkastandardin mukaan vain 10 % lentotuhkasta saa olla oheispolttoaineiden, kuten puun, synnyttämää<sup>108</sup>. Tutkimusten mukaan puutuhka kuitenkin näyttäisi soveltuvan betonin seosaineeksi. Puutuhkan kohdalla huomattiin myös, että osa puutuhkasta on väriltään rusehtavaa ja sitä voidaan käyttää betonin värjäämiseen. Turvetuhkaa voidaan hyödyntää maanparannusaineena sekä kivihiilen lentotuhkan tavoin maarakenta-

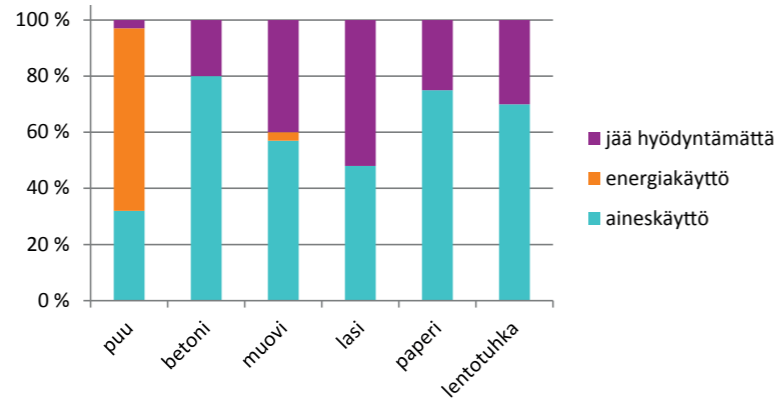
105, 107, 108 *Lentotuhkan käyttö  
betonissa 2008 by 52.* Suomen betoni-  
yhdistys r.y., 2008

106 Rudus Oy

### Jätelajien kertymät



### Eräiden jätelajien hyödyntäminen



Kaaviot on koottu tekstissä esitettyjen tietojen pohjalta. Kaikkien jätelajien hyödyntämisestä ei ollut saatavilla tarkkaa tietoa.

misessä ja betoniteollisuudessa.<sup>109</sup>

Mitkä kierrätysmateriaalit sopivat parhaiten uusiomateriaalien raaka-aineeksi? Rakentamisessa syntynyt jäte, esimerkiksi betonirakenteet, kannattaa ensisijaisesti käyttää uudelleen sellaisenaan. Uusiokäytön kohdalla kiinnostavimpia ovat materiaalit, jotka tällä hetkellä hyödynnetään energiana tai ne päätyvät kaatopaikalle. Uusioraaka-aineeksi soveltuvien kierrätysmateriaalien määrät on esitetty viereisen sivun kaaviossa. Kaavio ei sisällä metallijätettä eikä kipsiä, jotka kierrätetään jo käytännössä lähes kokonaan. Myös käytettyjen renkaiden kierrätysaste on hyvin korkea, mutta maarakentamisen sijaan rengasmurskaa olisi mahdollista hyödyntää myös raaka-aineena. Puujätteen suurin osa menee tällä hetkellä energiakäyttöön, joten sen hyödyntämistä raaka-aineena olisi mahdollista lisätä. Toisaalta puun energiakäytöllä voidaan kuitenkin korvata fossiilisia polttoaineita. Betonin kohdalla lähes kaikki kierrätetty betonijäte päätyy murskattuna maa- ja tierakenteisiin, mihin se soveltuu teknisesti hyvin<sup>110</sup>. Betonimurskasta valmistetun uusiobetonin valmistusta ei Suomen oloissa tällä hetkellä pidetä järkevänä, sillä uusiobetonin valmistuksessa tarvitaan enemmän sementtiä kuin tavallisen betonin valmistuksessa<sup>111</sup>. Ehkäpä tulevaisuudessa kehitetään kuitenkin myös kierrätysbetonista valmistettuja komposiittimateriaaleja, joiden sideaineet ovat ympäristöystävällisempiä.

### Kierrätys talonrakentamisessa

”Kierrättäminen tulisi aloittaa jo rakennuksen suunnitteluvaiheessa.” Rakentamiseen kaivataan avointa rakentamiskoodia, jonka pohjalta suunnitellut rakennusosat sopisivat uudelleenkäyttöön valmistajasta riippumatta. Rakenteet tulee suunnitella siten, että ne voidaan purkaa rakennusosia vaurioittamatta. Itävallassa on tutkittu rakennusten kierrätettävyyden parantamista niistä laadittavan rakennuspassin avulla. Rakennuspassi pitäisi sisältää tiedot rakennuksen teknisistä laitteista, rakennusmateriaaleista ja purkumenetelmistä sekä toimisi pohjana

109 Vornanen, C., Penttala, V. *Puuperäisestä lentotubkasta uusi betonin seosaine*. *Betoni* 78(2008)4

110, 111 Vakkuri, R. *Purkubetoni hyödynnetään, mutta vielä yksipuolisesti*. *Betoni* 81(2011)2

112 Pirhonen, I., Heräjärvi, H., Saukkola, P., Rätty, T., Verkasalo, E. *Puutuotteiden kierrätys. Finnish Wood Research Oy:n osarahoittama esiselvityshankkeen loppuraportti.* 2011

113 Korjaustieto.fi

114 295/1997. *Valtioneuvoston päätös rakennusjätteistä.*

115 *Rakenteiden elinkaartekniikka* Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL, 2001

116 Huuhka, S. *Kierrätys arkkitehtuurissa. Betonielementtien ja muiden rakennusosien uudelleenkäyttö uudisrakentamisessa ja lähiöiden energiatehokkaassa korjaus- ja täydennysrakentamisessa.* 2010

rakennuksen ympäristövaikutusten arvioinnille.<sup>112</sup>

Rakennusjätteestä on vastuussa hankkeen päätoteuttaja, joka on yleensä suunnitteluvaiheessa rakennuttaja ja rakennustyön aikana pääurakoitsija. Työmaalla syntyvän jätteen määrää voidaan minimoida mm. tehokkaalla materiaalien hallinnalla, määrämittaisen tavaran käytöllä, oikeilla työmenetelmillä ja välineillä, mittatarkkuudella ja tavaran suojaamisella varastoinnin aikana. Pakkausjätettä voidaan vähentää käyttämällä pakkaamattomia, kevyesti pakattuja tuotteita sekä hyödyntämällä kestopakkauksia.<sup>113</sup> Lain mukaan hyötykäyttöä varten tulee lajitella betoni-, tiili-, kivennäislaatta-, keramiikka-, kipsi- ja metallijätteet sekä kyllästämättömät puujätteet, kun rakennusjätettä syntyy yhteensä yli 5 tonnia. Mikäli maa-ainesjätettä syntyy yli 800 tonnia, lajitellaan maa- ja kiviainekset sekä ruoppausjätteet.<sup>114</sup>

Purettavien rakennusosien kierrätys vaatii lajittelevaa purkamista. Lajitteleva purkaminen ei tarkoita yksittäistä menetelmää vaan eri työmenetelmien yhdistelmää, joka mahdollistaa rakennusosien erottelun ja laadun säilymisen. Lajitteleva purkaminen on rakentamisen käänteinen versio, jossa rakennus puretaan vaiheittain ja rakennusosat erotellaan omiin ryhmiinsä. Se myös vaatii enemmän käsityötä kuin perinteinen purkaminen.<sup>115</sup> Seuraava askel lajittelevasta purkamisesta on rakennusosien ehjänä purkaminen. Ehjänä purkaminen on Suomessa vielä lähes tuntematon käsite, mutta käytännössä sitä on kokeiltu mm. Raahen Kummatissa, jossa betonielementtien purkaminen ehjänä osoittautui taloudelliseksi ja yksinkertaiseksi<sup>116</sup>.





## 3 ESTETIIKKA

Kestävä rakentaminen pitää sisällään myös kulttuurisen ja henkisen ulottuvuuden, jota tässä työssä tarkastellaan estetiikan kautta. Rakentamisen estetiikka ei ole pelkkää visuaalista havainnointia, vaan paljon monimuotoisempi kokonaisuus. Kun rakennettua ympäristöä ja rakennusmateriaaleja tarkastellaan moniaistisen tutkimuksen ja fenomenologisen ympäristöestetiikan näkökulmista, saa estetiikan käsite laajemman merkityksen. Tarkoituksena on tarkastella estetiikan ja eettisyyden välistä suhdetta ja pohtia, mitä on ekologinen estetiikka. Lisäksi tarkastellaan, mitä lisäarvoa kierrätys voi tuoda arkkitehtuuriin.

Estetiikan näkökulmasta tarkasteltuna kiinnostavaksi nousee erityisesti kierrätysmateriaalien käyttö rakentamisessa ja lähiöiden korjaaminen. Näissä molemmissa on kyse vanhan ja uuden yhdistämisestä. Kierrätysmateriaalit ja lähiöt pitävät sisällään merkityksiä ja tarinoita, jotka uusiotuotteen valmistuksen tai peruskorjauksen yhteydessä saavat uuden kontekstin. Ajallinen syvyys ja historia ovat vahvuuksia, jotka uudisrakentamisessa helposti jäävät puuttumaan.

Materiaalien estetiikka on luonteeltaan jotain sellaista, mitä ei voida mitata samoin kuin esimerkiksi niiden ympäristövaikutuksia. Se pitää kokea. Kun uusiotuotteiden hyväksyttävyyttä pohditaan niistä rakennetun asuintalon asukkaan näkökulmasta, mielipiteet ovat sekä järki- että tunneperäisiä. Samaa tunneperäisyyttä tarvitaan myös rakennusmateriaalien käytössä pelkän teknisen tiedon lisäksi.

**KUVA:** Nea Lindgrénin maalaus *Senza Titolo* (2008) ammentaa kaupunkitilaan syntyneistä seinäkirjoituksista.

## Arkkitehtuuria kaikille aisteille

Ihmisen aistit ovat lihas- ja tasapainoaisesti, tuntoaisti, näköaisti, kuuloaisti, hajuasti ja makuaisti. Makuaistia lukuun ottamatta kaikkia näitä aisteja pidetään oleellisena ympäristön ja tilan kokemisen kannalta.

Lihaskohtainen ja tasapainoaisesti mahdollistaa pystyasennon ja toimii tiiviisti yhdessä muiden aistien kanssa, erityisesti näköaistin. Toisaalta juuri lihas- ja tasapainoistien avulla näkövammaisenkin henkilö pystyy hahmottamaan suuntia ja ympäröivää tilaa. Lihaskohtainen ja tasapainoistien avulla aistitaan pintojen muotoja, kaltevuutta ja materiaalieroja.<sup>117</sup>

Ihmisen tuntoaisti toimii kehon ja sen pinnan kautta. Kehon omaa kosketusta täydentää kohteiden aistiminen jonkin välineen kautta, esimerkiksi ihokarvojen tai näkövammaisen valkoisen kepin avulla tunnustelu. Koskettamalla voidaan arvioida mm. esineen tai pinnan muotoa, painoa, jäykkyyttä, elastisuutta ja tekstuuria, ja tuntoaistin avulla havaitaan myös tilan lämpötila ja ilmavirtaukset. Tuntoaistin kautta ihminen on jatkuvassa lähikontaktissa ympäröivään tilaan.<sup>118</sup>

Näköaistin avulla hahmotetaan ympäristöä ja havaitaan sen muutokset, tunnistetaan erilliset kohteet ja havaitaan liike ja tapahtumat. Näköä pidetään perinteisesti ihmisen tärkeimpänä aistina ja sen merkitys nykyisessä tiedonsaannissa on korostunut. Arkkitehtuuria onkin syytetty liiasta visuaalisuudesta ja muiden aistien merkityksen aliarvioimisesta.<sup>119</sup>

Kuuloaisti rekisteröi ympäristön ääniä, mutta niiden havainnoimiseksi täytyy kuunnella. Pintojen materiaalit vaikuttavat tilan akustiikkaan ja kaiun avulla voidaan aistia tilan kokoa ja muita ominaisuuksia. Kuuloaistilla aistimme myös takana tai nurkan takana olevaa ympäristöä, joka ei ole näköaistin kautta havaittavissa. Autoistumisen myötä äänien ja taustamelun määrä on kasvanut rakennetussa ympäristössä.<sup>120</sup>

Hajuaistin avulla luodaan mielikuvia tilasta ja esineistä. Hajuaistin välittämä informaatio on kuitenkin sattumanvaraista ja muuttuvaa, sillä ympäristön hajut vaihtelevat ja ihminen myös tottuu hajuihin. Positiivisiksi ja negatiivisiksi koetut hajut vaikuttavat mielikuvaan tilasta ja jopa ohjaavat kulku-

reittien valintaa. Länsimaissa rakennetun ympäristön hajut koetaan usein ei-toivottuina, toisaalta hajusteiden käyttö mm. kaupallisessa tarkoituksessa on lisääntynyt.<sup>121</sup>

## Moniaistisuus

Havainnoimme ympäristöämme kaikkien aistien avulla, ja niiden samanaikaista työskentelyä rinnakkain kutsutaan moniaistisuudeksi. Käsitteellä aistitarjouma tarkoitetaan ympäristön tarjoamia aistiärsyksiä, joita yksilö voi vastaanottaa. Esimerkiksi luonnon ympäristö tarjoaa luonnostaan aistitarjoumia kaikille aisteille, kuten hajuja, ääniä sekä lämpötilan ja valoisuuden vaihtelua. Luonnossa liikkumisen lisäksi moniaistinen havainnointi on perusedellytys myös sosiaaliselle kanssakäymiselle. Nykymaailmassa ympäristö on muuttunut hallitsemattomaksi tietotulvaksi, josta itselle tärkeää tietoa joudutaan valikoimaan.<sup>122</sup>

Tilakokemus syntyy visuaaliseen kokemuksen lisäksi ympäröivän tilan äänistä ja hajuista, kosketuksista, ruumiin liikkeestä tilassa ja kosketusten ja painaumien äänestä. Tilan havainnointi on sekä tietoista että tiedostamatonta. Kaikki aistit tilan suunnittelussa huomioimalla tilakokemuksesta saadaan monipuolinen ja tasapainoinen. Kokonaisuus hahmottuu eri aisteilla havaittujen yksityiskohtien kautta. Aistit toimivat yhdessä toisiaan ajoittain voimistaen, vaimentaen tai muuttaen. Tilan havainnointi vaikeutuu, jos aistit antavat ristiriitaista informaatiota. Esimerkiksi lasiseinä voi harhauttaa näköaistia viestimällä läpikuljettavuudesta ja tuntoaisti havaitsee erehdyksen vasta seinään törmätessä.<sup>123</sup>

## Fenomenologinen ympäristöestetiikka

Paikan ja asumisen käsitteet ovat fenomenologisen ympäristöestetiikan keskeisiä teemoja. Fenomenologinen ympäristöestetiikka, joka syntyi 1900-luvulla, tarkastelee rakennettua ympäristöä fenomenologisesta näkökulmasta. Fenomenologia on filosofian suuntaus, joka pohjautuu erityisesti saksalaisten

121, 122, 123 Jokiniemi, J. *Kaupunki kaikille aisteille. Moniaistisuus ja saavutettavuus rakennetussa ympäristössä*. 2007

117, 118, 119, 120 Jokiniemi, J. *Kaupunki kaikille aisteille. Moniaistisuus ja saavutettavuus rakennetussa ympäristössä*. 2007





Edmund Husserlin (1859-1938) ja Martin Heideggerin (1889-1976) ajatuksiin. Sananmukaisesti fenomenologia tarkoittaa ”oppia ilmiöistä”. Fenomenologinen ympäristöestetiikka korostaa ympäristön esteettisen havaitsemisen moniaistisuutta, havaitsijan ja ympäristön suhteen vastavuoroisuutta sekä ihmisen identiteetin ja paikan välisen suhteen merkityksellisyyttä.<sup>124</sup>

### Paikan kokeminen

Fenomenologisen ajattelun mukaan paikan olemus on kompleksinen, monimuotoinen ja alati muuttuva. Myös havaitsijan odotukset ja mielikuvat ovat osa paikkakokemusta. ”Paikka on elävä kokonaisuus eikä pelkkä tapahtumien kulissi.” Teoksessaan *Paikan estetiikka* Anne-Mari Forss tarkastelee paikan kokemista sen aistein havaittavien ominaisuuksien, ajallisen syvyyden, historiallisen ulottuvuuden, kollektiivisen muistin, sosiaalisen ulottuvuuden, mielikuvien sekä tunnelman ja *genius locin* kautta.<sup>125</sup>

Aistein havaittavia ominaisuuksia ovat paikan aineelliset muodot, mittasuhteet ja pinnat. Paikan muodot muodostuvat mm. sen topografiasta, arkkitehtonisista muodoista, asemakaavasta, kasvillisuudesta ja esineiden muodoista. Mittasuhteet ovat näiden muotojen kokoon ja aineellisiin suhteisiin liittyviä ja pinnat pintamateriaaleihin liittyviä ominaisuuksia. Myös aineettomat ominaisuudet, kuten äänet, tuoksut sekä valo ja varjo, kuuluvat paikan aistein havaittaviin ominaisuuksiin. Aistein havaittavat ominaisuudet ovat niitä, jotka usein mielletään vähiten muuttuviksi. Muutosta kuitenkin aina tapahtuu. Se voi olla esimerkiksi luonnollista ajan kulumista tai sään, vuorokauden- ja vuodenajan vaihtelua. Nämä maltilliset muutokset koetaan kuitenkin osana paikan pysyvyyttä.<sup>126</sup>

Muut paikan ominaisuudet ovat luonteeltaan tulkinnallisia, mutta vahvasti sidoksissa paikan aistein havaittaviin ominaisuuksiin muodostaen kokonaisuuden yhdessä niiden kanssa. Ajallinen syvyys on ajan luonnollista kulumista, kuten pinnan patinoituminen tai sammaloituminen. Ajallinen syvyys on havaittavissa suoraan paikalla ja siksi merkittävä osa paikka-

124, 125, 126 Forss, A-M. *Paikan estetiikka. Eletyn ja koetun ympäristön fenomenologiaa*. 2007

**KUVA:** Arkkitehti Peter Zumthorin suunnittelema Valsin kylpylässä on vahva ja moniaistisesti välittyvä tunnelma.



127, 128, 129 Forss, A-M. *Paikan estetiikka. Eletyn ja koetun ympäristön fenomenologiaa*. 2007

kokemusta. Historiallinen ulottuvuus puolestaan on ihmisen toiminnan jättämä jälki ajan kuluessa. Se on kirjoihin kirjattua tietoa paikan tapahtumista, jota ei välttämättä voi havaita suoraan paikassa. Toisaalta paikan historiallinen ulottuvuus näkyy mm. katujen nimissä, monumenteissa ja arkkitehtonisissa tyy-leissä. Paikan historia tallentuu myös sen asukkaiden kollektiiviseen muistiin. Samalla paikassa asumalla sen historia eletään kollektiivisen muistin kautta. Kollektiiviseen muistiin kuuluvat niin erityistä arvoa ja merkitystä omaavat monumentit kuin jo kadonneet merkit historiasta ja toteutumattomat utopiat.<sup>127</sup>

Sosiaalisessa ulottuvuudessa on kyse paikassa tapahtuvasta inhimillisestä toiminnasta sekä ihmisten välisestä vuorovai-kutuksesta. Se muodostuu sekä asukkaiden että ohikulkijoi-den luomasta aineettomasta verkostosta, arkipäivän toimista juhlaparaateihin, ja on erottamaton osa paikkakokemusta. Fe-nomenologisen näkökulman mukaan paikan kokemisessa on aina kyse mielikuvasta. Mielikuva muodostuu sekä paikan ais-teihin havaittavien että tulkinnallisten ominaisuuksien pohjalta, mutta siten, että jokin ominaisuuksista korostuu. Mielikuva paikasta voi olla henkilökohtainen tai yhteisöllinen, sen synty-miseen vaikuttavat kokijan henkilökohtaiset ominaisuudet ja aiemmat kokemukset.<sup>128</sup>

Tunnelma ja *genius loci* ovat samankaltaisia käsitteitä, jois-ta kumpikin ilmaisee paikan erityistä luonnetta ja identiteet-tiä. Tunnelmat ovat tiloja, jotka aistitaan tilan kokemukselli-suuden kautta. Tunnelmallisia ominaisuuksia ovat mm. värit, tuoksut, valot ja varjot. Myös sosiaalinen ulottuvuus vaikut-taa paikan tunnelmaan. Tunnelmaa voidaan myös muuttaa ja muokata, esimerkiksi arkkitehtonisin keinoin, mutta se on vain osittain hallittavissa. *Genius loci* on alun perin roomalainen kä-site ja tarkoittaa paikan henkeä. *Genius loci* on se kokonaisko-kemus paikasta, mikä elävöittää sen. Se ilmenee juuri elämisen tavasta paikassa.<sup>129</sup>

### Asuminen on rakentamista

Paikka ja ihmisen identiteetti sitoutuvat yhteen asumisen kaut-

ta, Heideggerin mukaan asuminen on ihmisenä olemista. Ra-kentamista ja asumista ei voida erottaa toisistaan, sillä rakenta-minen itsessään on jo asumista. Rakentamisella voidaan katsoa olevan kaksi luonnetta, rakennusten pystyttäminen ja raken-taminen huolenpitoa. Nykyään asumisessa painottuu juu-ri ihmisen mahdollisuus huolenpitoon kotipaikastaan, mikä edellyttää myös mahdollisuutta osallistua ja vaikuttaa asuin-ympäristönsä rakentamiseen ja suunnitteluun. Vaikutusmah-dollisuuksien puute vähentää motivaatiota huolehtia paikasta ja heikentää ihmisen paikantajua.<sup>130</sup>

130 Forss, A-M. *Paikan estetiikka. Eletyn ja koetun ympäristön fenomenologiaa*. 2007

**KUVA:** *Morning Sun* (1952). Amerikkalainen Edward Hopper on kuvannut maalauksis-saan modernin elämän vie-raantuneisuutta.





131, 132 Forss, A-M. *Paikan estetiikka. Eletyn ja koetun ympäristön fenomenologiaa*. 2007

Kun ihmisen suhde paikkaan heikkenee, voidaan puhua paikattomuudesta, joka on paikan kokemisen vastakohta. Paikattomuus näkyy ympäristön monotonisuudessa ja yhdenmukaisuudessa, kuten rakentamisen kansainvälisessä tyyliässä. Toisaalta yhdenmukaistuneet paikat eivät kuitenkaan koskaan voi olla kokemuksellisesti täysin yhteneviä. Paikkalähtöinen rakentaminen lähtee ympäristön monimuotoisuuden vaalimisesta, jos kaupunkisuunnittelussa sallitaan myös suunnittelemattomia ja epätäydellisiä paikkoja, voidaan siellä kokea seikkailun tuntua.<sup>131</sup>

Nykyaikaisen paikattomuuden katsotaan johtuvan myös telekommunikaation, median ja liikennevälineiden nopeasta kehityksestä. Forssin mukaan moderni asuminen on jatkuvaa liikettä paikan ja paikattomuuden välillä. Jotta emme kadota identiteettiämme, on asumisen ajattelemisen tärkeää. Jatkuva matka kohti asumista tarkoittaa sitä, että etsiessämme olemme jo perillä.<sup>132</sup>

## Materiaalin tuntu

Arkkitehtuurissa käsitteellä materiaalin tuntu tarkoitetaan sitä, että rakennusmateriaalin käyttö ilmaisee sen luonnetta. Materiaalin aistein havaittavia ominaisuuksia ovat mm. muoto, väri, tuoksu, lämpötila, elastisuus ja tekstuuri. Materiaalin pinnan ominaisuudet, kuten sileys/karheus ja kovuus/pehmeys, vaikuttavat siihen, miltä materiaali tuntuu, miten se heijastaa valoa ja reagoi valoon sekä miten se toimii akustisesti. Arkkitehtuurissa on perinteisesti kiinnitetty huomiota erityisesti materiaalien visuaaliseen esteettisyyteen.<sup>133</sup> Ehkäpä tulevaisuudessa rakennusten suunnittelussa huomioidaan myös esimerkiksi hajuaisti, onhan tuoksujen käyttö jo ajankohtaista mm. markkinoinnissa.

Rakennusmateriaalien valinta vaikuttaa rakennusten ominaistuuksiin. Suomalaisien miellyttäväksi kokemat tuoksut liittyvät usein luontoon, esimerkiksi metsä, vastaleikattu nurmi ja terva<sup>134</sup>. Luonnollinen tapa tuoda tämä tuoksumailma rakennettuun ympäristöön on luonnonmateriaalien käyttö. Pin-

133 Jokiniemi, J. *Kaupunki kaikille aisteille. Momaistisuus ja saavutettavuus rakennetussa ympäristössä*. 2007

134 Achte, I. *Tuoksumarkkinointi yleistyä Suomessa*. 2009



takäsittely peittää helposti puun ominaistuoksun, mutta esimerkiksi lämpökäsitellyn tai tervatun puun tuoksu on selvästi erottuva. Rakennetun ympäristön kasvillisuutta ja sen tuoksuja voidaan lisätä istutuksilla ja viherkatolla tai -seinällä. Voimakkaat ja selvästi erottuvat tuoksut sopivat kuitenkin parhaiten julkisiin tiloihin ja ulkotiloihin.

**KUVAT:** Joost Bakkerin Australiaan suunnitteleminen pop up -ravintoloiden seinässä voi kasvaa mansikoita (kuvassa) tai basilikaa.







135 Jokiniemi, J. *Kaupunki kaikille aisteille. Moniaistisuus ja saavutettavuus rakennetussa ympäristössä.* 2007

136 Forss, A-M. *Paikan estetiikka. Eletyn ja koetun ympäristön fenomenologiaa.* 2007

### Materiaalien ikääntyminen

Kaikki materiaalit vanhenevat, mutta aika jättää niihin erilaisia jälkiä. Luonnonmateriaalien etuna on se, että niistä pystytään usein parhaiten aistimaan ikää ja historiaa<sup>135</sup>. Esimerkiksi puussa kulumisen on yleensä helposti silmin havaittavissa, toisin kuin esimerkiksi lasissa. Luonnollinen kulumisen, rapautuminen, sammaloituminen ja patina koetaan paikan ajallisena syvyytenä, joka konkretisoituu materiaalissa. Fenomenologisen ajattelutavan mukaan materiaalien ikääntyminen koetaan esteettisenä arvona. Rakennusta ei käsitellä valmiina yksikkönä vaan jatkuvasti muuttavana prosessina.<sup>136</sup>

Anne-Mari Forss muistuttaa, että Eliel Saarisen mukaan kaikkia rakennuspintoja ei tulisi suojata ajan kulumiselta, sillä se lisää niiden kauneutta. Hitlerin arkkitehti Albert Speer mietti jo suunnitteluvaiheessa, kuinka rakennuksista ajan saatossa tulisi näyttäviä raunioita. Esimerkkinä patinan merkityksestä ihmisten paikkakokemukselle Forss kertoo Helsingin tuomiokirkon restauroinnista 1990-luvun loppupuolella, jolloin kirkon kupolikattojen kupariverhous vaihdettiin uuteen. Uudet

kuparinhoitoiset katot eivät kuitenkaan vastanneet ihmisten kollektiivisessa muistissa olevaa kuvaa vihreäksi patinoituneista kupolikatoista, minkä vuoksi katot päädyttiin käsittelemään keinotekoisesti hapolla.<sup>137</sup>

Uudisrakentamisen kohdalla kierrätysmateriaali ja siihen liittyvä tarina voi olla juuri se tekijä, mikä antaa rakennukselle identiteetin ja vahvistaa paikkakokemusta. Rakennuksessa käytetty kierrätysmateriaali, jonkaannetaan olla näkyvissä ja näyttää kierrätetyltä, tuo rakennukseen ajallista syvyyttä. Kierrätysmateriaalin käyttö tuo rakennukseen myös historiallista ulottuvuutta, kun sen alkuperä on tiedossa ja koetaan merkitykselliseksi. Esimerkiksi käytetyistä lasipulloista voidaan tiilen tavoin muurata seinärakenteita, joissa yksittäiset pullot ovat selvästi silmin havaittavissa<sup>138</sup>. Toisaalta myös tiedämme, että käytetyt lasipullot ovat jätettä, joka pahimmassa tapauksessa päättyy kaatopaikalle.

137 Forss, A-M. *Paikan estetiikka. Eletyn ja koetun ympäristön fenomenologiaa.* 2007

138 McLaren, W. *Recycled Wine Bottle Building Wins Energy Grant.*

**KUVA:** Nevadassa sijaitseva Kelly's Bottle House rakennettiin jo vuonna 1905. Sen ulkoseinät on muurattu vanhoista olutpulloista.







## Paikallisuus

Paikallisten rakennusmateriaalien käyttö on yksi kestävän rakentamisen perusajatuksista. Paikalliset materiaalit ja tapa käyttää niitä vahvistavat myös paikan identiteettiä. Fenomenologisen ympäristöestetiikan näkökulmasta paikallisuuden määrittely pelkästään paikallisten materiaalien käytöksi ja maisemasta lähteväksi muotokieleksi on kuitenkin liian ahdas. Forssin mukaan arkkitehtuurin paikallisuutta tulisikin tulkita paikallis-historiallis-poliittisessa viitekehyksessä, jossa rakentaminen huomioi myös paikan tulkinnalliset ominaisuudet ja lähtee niiden ehdoista. Paikallinen rakentaminen tarkoittaaakin merkityksellisen vuorovaikutussuhteen luomista ympäristöönsä. Tämä suhde voi olla joko ympäristöä tukeva tai sen haastava. Myös asukkaiden näkemysten kuunteleminen ja suunnittelu-prosessiin mukaan ottaminen on tärkeää paikallisessa rakentamisessa.<sup>139</sup>

Paikallisuutta on mahdollista korostaa myös kierrätysmateriaalien käytöllä. Esimerkiksi uuden rakennuksen tilalta purettava rakennus voi edustaa paikan historiaa, perinteisiä materiaaleja ja rakentamistapaa rakennusosiensa uudelleenkäytön ja uusiokäytön kautta. Myös korealaisen sementtitehtaan vierailijoille tarkoitetun info-rakennuksen arkkitehtuurissa korostuu paikallisuus. Sementtitehtaan ja läheisen luonnonpuiston välissä sijaitseva rakennus on rakennettu betonista ja kierrätysbetonimurskasta<sup>140</sup>. Vieressä sijaitsevat vuoret ja metsä ovat vaikuttaneet rakennuksen ulkomuotoon, ja samalla teollisuuden runtelemaa ympäristöä on kohennettu<sup>141</sup>. Rakennusprojektin tarkoituksena on kertoa ihmisille betonin kierrätyksestä ja sen mahdollisuuksista, mitä rakennus itse hyvin ilmaisee.

## Ekologinen estetiikka

Rakentamisen estetiikkaa on totuttu tarkastelemaan sen visuaalisten ominaisuuksien kautta. Tällöin ekologinen estetiikka, samoin kuin ekologinen rakentaminenkin, jakautuu tyylillisesti kahteen koulukuntaan, luonnonmukaisuutta ja teknologiaa korostavaan. Satu Huuhkan mukaan estetiikan valinnassa on

139 Forss, A-M. *Paikan estetiikka. Eletyn ja koetun ympäristön fenomenologiaa*. 2007

140, 141 *Hanil Visitors Center & Guest House*. BCHO Architects

KUVAT (Yong Kwan Kim): Korealain Hanil Visitors Center & Guest House.

142 Huuhka, S. *Kierrätys arkkitehtuurissa. Betonielementtien ja muiden rakennusosien uudelleenkäyttö uudisrakentamisessa ja lähiöiden energiatehokkaassa korjaus- ja täydennysrakentamisessa.* 2010

143 Carlson, A. *Ympäristöestetiikka ja esteettisen kasvatuksen dilemma.* In: Sepänmaa, Y. (toim.). *Alligaattorin hymy. Ympäristöestetiikan uusi aalto.* 1994

kyse myös kohdeyleisön valinnasta. Ekologinen arkkitehtuuri mielletään usein orgaaniseksi, dekonstruktivistiseksi ja ”risukasamaiseksi”. Teknologiaestetiikkaa edustavat rakennukset puolestaan näyttävät konemaisina ja kiiltävinä. Molempia tyynejä yhdistää se, että estetiikan halutaan näkyvän ja erottuvan. Toisaalta ekologisuuden vaatimat ratkaisut voidaan myös piilottaa rakennuksen tavanomaisen ulkokuoren alle, mikä saattaa miellyttää eniten suurta yleisöä. Aidoimmillaan rakentamisen estetiikka lähtee kuitenkin käytetyistä materiaaleista.<sup>142</sup>

Voiko ekologisuus itsessään tuoda rakentamiseen esteettistä lisäarvoa? Teoksessa Alligaattorin hymy -Ympäristöestetiikan uusi aalto Allen Carlson ja Cheryl Foster tarkastelevat esteettisen ja eettisen suhdetta. Allen Carsonin mukaan esteettinen miellyttävyys voidaan kokea ”ohuessa” tai ”syvässä” merkityksessä. Ohuella merkityksellä tarkoitetaan sitä, että tarkasteltava kohde tuottaa mielihyvää sen aistein havaittavien ominaisuuksien, erityisesti visuaalisuuden, vuoksi. Syvässä merkityksessä mielihyvä perustuu aistein havaittavien ominaisuuksien lisäksi niihin arvoihin ja laatuominaisuuksiin, mitä kohde ilmentää. Näitä arvoja ja laatuominaisuuksia voidaan kutsua ”elämänarvoiksi”. Ne eivät perustu yksittäisten ihmisten mieltymyksiin vaan yhteisössä vallitseviin syvempiin arvoihin.<sup>143</sup>

Carson havainnollistaa ajatteluaan käyttämällä esimerkkinä muovipuuta, ja tätä esimerkkiä myös Foster kehittää eteenpäin. Metsään on pystytetty muovinen puu, joka on niin taitavasti valmistettu, ettei sitä voi aistein erottaa muista puista. Kesällä metsään tulee kulkija, joka pitää sitä kauniina, ja muovipuun on hänen kauniina pitämiensä puiden joukossa. Vasta kun kyseinen kulkija syksyllä palaa metsään ja havaitsee, ettei vuodenaikojen vaihtelu vaikuta muovipuuhun, hän päättää muovipuun keinotekoiseksi. Ohuessa merkityksessä keinotekoisuus voi saada kulkijan pitämään muovipuuta naurettavana tai häiritsevänä, mutta toisaalta kulkija voi myös tuntea sitä kohtaan miellyttävää uteliaisuutta. Syvässä merkityksessä puun keinotekoisuus voi herättää kulkijassa pettymystä ja kielteisiä mielikuvia, mutta ehkäpä kyseessä onkin kantaa ottava ympäristötäideos. Muovipuun voidaan siis kokea monella eri

tavalla ja sen ohut ja syvä esteettisyys keskenään myös ristiriitaisesti. Foster kuitenkin korostaa, että luonnollisuus itsessään ei ole esteettisyyden edellytys eikä keinotekoisuus välttämättä vähennä muovipuun esteettisyyttä.<sup>144</sup>

Keinotekoisuuden sijaan muovipuun esteettisyyteen vaikuttaa sen raaka-aine muovi. Muovia pidetään epäekologisenä materiaalina ja lisäksi se yhdistetään kerskakulutukseen. Syvässä merkityksessä kohdetta, joka edustaa tuhoa ja elämänkielteisyyttä, ei voida pitää esteettisesti miellyttävänä. Tällöin myös kohteen miellyttävyys sen ohuessa merkityksessä muuttuu usein kielteiseksi. Eettiset tekijät siis rajoittavat esteettistä havaitsemista ja ovat ennen kaikkea arvokysymyksiä.<sup>145</sup> Samalla kysymys estetiikasta ja ekologisuuden siihen tuomasta lisäarvosta jää epäolennaiseksi. Nykypäivänä ekologisuus ei ole estetiikan keino, vaan perusedellytys.

## Lähiöestetiikan ongelmat

Nykyaikainen paikattomuus ja identiteetin puute kiteytyvät huonokuntoisissa lähiöissä. 1960- ja 70-luvulla rakennetut betonielementtilähiöt ovat saaneet osakseen paljon kritiikkiä ympäristön yksipuolisuudesta sekä rakennusten heikosta esteettisestä laadusta. Nykyinen lähiökorjaaminen keskittyykin erityisesti julkisivujen tekniseen korjaamiseen ja ympäristön elävöittämiseen<sup>146</sup>. Tyypillinen lähiö koostuu suorakulmaisista lamelleista, jotka on sijoitettu nosturinkantaman päähän toisistaan. Rakennukset ovat ”harmaita”, tasaisesti aukotettuja ja samankaltaisia. Yhtenä julkisivun visuaalisena ongelmana pidetään myös elementtisaumaa, sillä se viestii lyhytikäisyydestä, kertakäyttöisyydestä ja monistettavuudesta<sup>147</sup>. Lähiöiden rapistuneet julkisivut ja hoitamattomat ulkotilat huonontavat asuminen laatua ja viestivät alueen matalasta statuksesta. Lisäksi lähiöistä usein puuttuvat rakennukset, jotka olisivat luonteeltaan monumentteja. Monumentit ovat paikan kiinnekohtia ja osa paikan historiaa, rakennetta ja luonnetta. Monumenttia ei voi pystyttää, vaan se vaatii aikaa syntyäkseen.<sup>148</sup> Liian yhdenmukainen rakentaminen ei anna tähän edes mahdollisuutta.

144, 145 Foster, C. *Esteettinen de-silluusio: ympäristö, etiikka, taide.* In: Sepänmaa, Y. (toim.). *Alligaattorin hymy. Ympäristöestetiikan uusi aalto.* 1994

146, 147 Hagan, H. *Lähiökorjaamisen arkkitehtoniset vaikutukset.* 1996

148 Forss, A-M. *Paikan estetiikka. Eletyn ja koetun ympäristön fenomenologiaa.* 2007



Lähiöiden korjaamisen yhteydessä nousee esiin kysymys tasapainosta vanhan ja uuden välillä. Rakennuskannan ajallinen kerroksellisuus korostaa paikan monimuotoisuutta ja vaatii sekä uuden rakentamista että vanhan suojelua. 1960-luvulla betonielementtilähiöiden rakentamista leimasi voimakas vanhan rakennuskannan purkaminen, ja vaikka rakennussuojelun merkitys on nykypäivänä lisääntynyt, ei näitä betonielementtilähiöitä erityisesti arvosteta. Rakennukset ovat kulttuurisia tuotteita, joita kulutetaan ja korjataan. Arkkitehti Panu Kailan mukaan rakennuksen luonteeseen kuuluu myös sen muuntelu. Ajallisen kerroksellisuuden säilyminen kuitenkin edellyttää, että muutokset ovat asteittaisia ja rakennusten muoto ja materiaali ainakin osittain säilyvät alkuperäisenä.<sup>149</sup>

Nykyisessä lähiökorjauksessa ei kuitenkaan ole kyse vanhojen rakennusten restauroinnista, sillä korjauskohteiden muoto, värit ja materiaalit saattavat muuttua huomattavastikin. Korjaaminen edellyttää valintoja ja on sitä jo itsessään. Lähiöiden arvottaminen esteettisesti ja historiallisesti onkin haaste, sillä rakennussuojelun kannalta ne eivät vielä ole tarpeeksi vanhoja tai rakennustaiteellisesti arvokkaita<sup>150</sup>. Nyt tehtyjä arvostuksia ja valintoja tullaan tulevaisuudessa vielä arvioimaan uudelleen. Selvää kuitenkin on, että muutosta kaivataan. Kierrätysmateriaalien käyttö ja ekologinen estetiikka voisivatkin olla keinoja, joilla lähiö saa uuden merkityksen ja paikallisen identiteetin.

149 Forss, A-M. *Paikan estetiikka. Eletyn ja koetun ympäristön fenomenologiaa*. 2007

150 Hagan, H. *Lähiökorjauksen arkkitehtoniset vaikutukset*. 1996

**KUVAT** (Harri Hagan): Kummatin asuinalue ennen peruskorjausta ja sen jälkeen.



# 4 MATERIAALIT

Suomessa rakentamisen päämateriaalit ovat betoni, puu ja teräs. Betonin osuus rakentamisessa on 54 %, puun 38 % ja teräksen 8 %. Kerrostaloissa betonin osuus on yli 95 %.<sup>151</sup> Tässä osiossa näiden kolmen materiaalin ekologisuutta ja kierrätystä tarkastellaan teoriaosuudessa esiin nousseiden tekijöiden kautta. Tavoitteena on löytää ekologisempia vaihtoehtoja rakentamiseen. Eri rakennusmateriaalien ympäristövaikutuksia voidaan vertailla myös materiaalitasolla, mutta vasta koko rakennuksen tarkastelu antaa riittävän kokonaiskuvan. Vertailussa ongelmalliseksi muodostuu kuitenkin se, että luotettavaa ja puolueettoman tahon tuottamaa tietoa eri materiaalien koko elinkaaren aikaisista ympäristövaikutuksista ei juurikaan ole saatavilla. Käytännössä puu-, betoni- ja terästeollisuus ajavat kukin omia etujaan ja tukevat itseään hyödyttävää tutkimusta. Rakentamisen materiaalivalintoihin ei kuitenkaan ole olemassa yhtä oikeaa vastausta, vaan oleellista on löytää kullekin materiaalille sopivin käyttötarkoitus.

Kierrätyksen kannalta haastavia ovat erityisesti komposiittimateriaalit, sillä niissä käytettyjä raaka-aineita ei voida erotella erillistä kierrätystä varten. Perinteisin komposiiteista on betoni, mutta nykyisin pääpaino on muovi- ja puupohjaisten komposiittimateriaalien kehittämisessä. Komposiittimateriaaleista valmistettujen tuotteiden kohdalla on myös oleellista tarkastella, mitä tuotteita niiden käytöllä korvataan. Esimerkiksi puumuovikomposiittia voidaan käyttää sekä raaka-öljystä valmistetun muovin tai uusiutuvan puun korvikkeena.

<sup>151</sup> Koskela, S., Korhonen, M.-R., Seppälä, J., Häkkinen, T., Vares, S. *Materiaalinäkökulma rakennusten ympäristöarvioinnissa*. 2011





## Betoni

### Raaka-aineet ja valmistus

Suomessa käytetään vuosittain noin viisi miljoonaa m<sup>3</sup> betonia<sup>152</sup>. Betoni valmistetaan kiviaineksesta, sideaineesta ja vedestä. Tavallisin sideaine on portlandsementti. Betonissa voidaan käyttää myös erilaisia lisäaineita, jotka vaikuttavat fysikaalisesti tai kemiallisesti sen ominaisuuksiin. Betonirakenteen vetolujuutta voidaan lisätä raudoituksella. Teräsbetonissa käytetty harjateräs valmistetaan yleensä romuraudasta<sup>153</sup>.

Betonin tilavuudesta noin 70 % on kiviainesta. Tavallisin kiviaines on sora, mutta myös esim. hiekka, kivi- ja kalliomurske sekä kevytsora sopivat käyttöön. Betonin kiviaineesta noin 10–20 % voidaan korvata uusioraaka-aineilla, kuten murskatulla betonilla, tiilellä tai lasilla. Portlandsementin pääraaka-aine on kalkkikivi, joka on yksi maapallon yleisimmistä kivilajeista. Kalkkikivi ja luonnon kiviaines ovat uusiutumattomia luonnonvaroja, mutta käytännössä ehtymättömiä ja saatavissa rajattomasti lähes kaikkialla maailmassa.<sup>154</sup>

Portlandsementin valmistusprosessissa kalkkikivi louhitetaan, murskataan ja jauhetaan yhdessä muiden mineraalisten raaka-aineiden kanssa raakajauheeksi, joka poltetaan n. 1400–1450 °C:n lämpötilassa klinkkeriksi. Jäähdytettyyn klinkkeriin lisätään kipsiä ja mahdollisesti seosaineita ja se jauhetaan sementiksi. Valmis sementti sekoitetaan veden kanssa sementti-liimaksi, joka yhdessä kiviaineksen kanssa kovettuessaan muodostaa betonin.<sup>155</sup>

### Ympäristövaikutukset

Sementin valmistus, erityisesti klinkkerin poltto korkeassa lämpötilassa, kuluttaa paljon energiaa ja aiheuttaa suurimman osan betonin hiilidioksidipäästöistä. Suomessa sementtitonin valmistus ja kuljetus vaatii energiaa n. 4500–5000 MJ ja vapauttaa hiilidioksidia n. 700–800 kg. Hiilidioksidipäästöistä n. 40 % muodostuu valmistusprosessin energiankulutuksessa ja 60

152, 154, 155 *Betonirakenteiden ympäristöominaisuudet*. Betonikeskus ry. 2007

153 Celsa Steel Service Oy



156, 157 *Betonirakenteiden ympäristöominaisuudet*. Betonikeskus ry. 2007

% klinkkerin poltossa tapahtuvassa kemiallisessa reaktiossa. Sementin valmistusprosessia Suomessa kehitetään koko ajan. Hiilidioksidipäästöjä voidaan vähentää polttouunien energia- tehokkuutta parantamalla ja kivihiilen korvaamisella muilla polttoaineilla, kuten käytetyillä autonrenkailla, lihaluu jauhol- la, jäteöljyllä ja biopolttoaineilla.<sup>156</sup>

Toinen tapa vähentää sementin hiilidioksidipäästöjä on korvata osa klinkkeristä seosaineilla. Seosaineena voidaan hyödyntää muun teollisuuden sivutuotteita, kuten kivihiilen poltossa syntyvää lentotuhkaa, raudan valmistuksen masu- unikuonaa sekä piiraudan ja piin valmistuksesta saatavaa si- likaa. Seosaineita käyttämällä voidaan myös parantaa betonin ominaisuuksia, esimerkiksi silika lisää betonin lujuutta. Seo- saineita voidaan käyttää sementissä kuitenkin vain rajallinen määrä (yleensä enintään 35 %), sillä niiden osuuden lisääminen heikentää betonin laatua.<sup>157</sup> Eurooppalaisen sementtistandar- din (SFS-EN 197-1) mukaisia seosaineita ovat masuunikuona, kalkkikivi, silika, pozzolaanit, lentotuhka ja poltettu liuske. Lisäksi 10 % lentotuhkasta voi lentotuhkastandardin (SFS- EN 450-1) mukaan olla oheispolttoaineiden, kuten puun tai oljen synnyttämää<sup>158</sup>. Sementtilajien rasisusluokan perusteella

158 *Lentotuhkan käyttö betonissa* 2008 by 52. Suomen betoniyhdistys r.y., 2008

### Sementin sallitut koostumukset

Sementtilaji	Koostumusvaatimukset (%)					
	Klinkkeri	Kuona	Silika	Lentotuhka	Kalkkikivi	Muut
CEM I	95-100	-	-	-	-	0-5
CEM II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	0-5
CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	0-5
CEM III/A-D	90-94	-	6-10	-	-	0-5
CEM II/A-V	80-94	-	-	6-20	-	0-5
CEM II/B-V	65-79	-	-	21-35	-	0-5
CEM III/A-LL	80-94	-	-	-	6-20	0-5
CEM III/A-M	80-94	6-20				0-5
CEM II/B-M	65-79	21-35				0-5
CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-	0-5
CEM III/B	20-34	66-80	-	-	-	0-5

Taulukko: *Suomalainen sementti*. Finnsementti oy



KUVAT (Jari Sjölund, Buildipe- dia): Paraisten kalkkikivilou- hos ja betonin valamista.



159 *Suomalainen sementti*. Finnsementti Oy

160, 162 *Betonirakenteiden ympäristöominaisuudet*. Betonikeskus ry. 2007

161 Virtanen, J. *Betoni on hiilidioksidinielu*. Betoni 80(2010)4

kuitenkin vain osa standardissa esitetystä sementeistä sallitaan Suomen olosuhteissa.<sup>159</sup>

Kovettunut betoni sisältää kalsiumhydroksidia, joka ilman kanssa kosketuksiin joutuessaan reagoi hiilidioksidin kanssa ja muuttuu kalsiumkarbonaatiksi. Tätä reaktiota kutsutaan betonin karbonatisoitumiseksi.<sup>160</sup> Karbonatisoituminen aiheuttaa raudoituksen ruostumista ja betonin lohkeilua, minkä vuoksi se pyritään minimoimaan teräsbetonirakenteissa. Toisaalta betonin karbonatisoituminen kuitenkin sitoo hiilidioksidia takaisin betoniin. Betonin karbonatisoituminen alkaa jo käytön aikana, mutta nopeutuu huomattavasti, jos betonirakenne purkamisen jälkeen murskataan. Tutkimusten mukaan 70 vuoden käytön aikana betonista karbonatisoituu noin 20–40 %, ja jos betoni tämän jälkeen murskataan karbonatisoituminen on 60–80 %. Sadan vuoden kuluttua sementin valmistuksesta noin neljännes sen aiheuttamista hiilidioksidipäästöistä on sitoutunut takaisin betoniin.<sup>161</sup>

## Kierrätys

Betonin valmistusprosessissa syntyy tuoretta ylijäämäbetonia, lietettä ja prosessivettä. Tuoreen jätebetonin ja lietteen sisältämä karkea kiviaines erotetaan ja hyödynnetään betonin valmistuksessa tai maarakentamisessa. Betonilietettä voidaan myös käyttää kuivattuna maatalouden lannoitteena. Valmistuksessa syntyvä jätevesi kierrätetään uudelleen prosessiin eikä tehtaalta pois johdettu vesi aiheuta ongelmia ympäristölle.<sup>162</sup>

Betonirakenteiden purkaminen kokonaisuutena ja uudelleenkäyttö rakentamisessa on teknisesti mahdollista, mutta vielä suhteellisen harvinaista. Elementtien uudelleenkäyttöä on tutkittu erityisesti Saksassa, jossa purkumenetelmiä ja koerakentamista on kokeiltu myös käytännössä. Betonielementtirakenteet voidaan jo alun perin suunnitella purettaviksi, mutta se ei ole edellytys uudelleenkäytölle. Myös paikalla valettuja betonirakenteita voidaan leikata uudelleenkäyttöön sopiviksi paloiksi. Suomessa betonielementtien uudelleenkäyttöä on tutkinut mm. arkkitehti Satu Huuhka diplomityössään *Kierrätys*

*arkkitehtuurissa*. Käytännössä ehjänä purkamista ja elementtien uudelleenkäyttöä on Suomessa kokeiltu vasta Raahen Kummatissa.<sup>163</sup>

Murskattua betonia voidaan kierrättää uusiobetonin kiviaineena. Betonimurskan käyttö vähentää luonnon uusiutumattomien kiviainesten tarvetta, mutta ei uusiobetonin valmistuksen energiankulutusta ja päästöjä, sillä ne aiheutuvat sementin valmistuksesta. Itse asiassa betonimurskan käytöllä on päinvastainen vaikutus, sillä se lisää betonissa tarvittua sementin määrää. Uusiobetonin hiilijalanjälki on siis tavannoista betonia jopa hieman suurempi. Sen edut ovat luonnonvarojen säästö ja betonijätteen vähentäminen. Suomessa hyödynnettävästä betonijätteestä 95 % käytetäänkin murskattuna maarakentamisessa, missä se korvaa luonnon kiviaineksia. Jätebetonin murskaus parantaa myös sen karbonatisoitumista.<sup>164</sup>

163 Huuhka, S. *Kierrätys arkkitehtuurissa*. Betonielementtien ja muiden rakennusosien uudelleenkäyttö uudisrakentamisessa ja lähiöiden energiatehokkaassa korjaus- ja täydennysrakentamisessa. 2010

164 Vakkuri, R. *Purkubetoni hyödynnetään, mutta vielä yksipuolisesti*. Betoni 81(2011)2

**KUVA** (Harri Hagan): Osapurkamista Raahen Kummatissa.







## Tulevaisuuden sementti

Betoni on maailman yleisin rakennusmateriaali ja arvioiden mukaan yksistään sementin valmistus aiheuttaa noin 5 % koko maapallon hiilidioksidipäästöistä<sup>165</sup>. Lisäksi sementin käytön odotetaan kasvavan tulevaisuudessa, erityisesti Kiinan ja Intian taloudellisen kasvun myötä<sup>166</sup>. Useat yritykset maailmalla ovatkin kehittämässä kilpaa uudenlaisia ”ekosementtejä”, joiden valmistusprosessi aiheuttaa tavanomaista huomattavasti vähemmän hiilidioksidipäästöjä tai jopa sitoo hiilidioksidia. Tulevaisuuden hiilidioksidivarastot eivät siis sijaitse ainoastaan öljy- ja kaasukentissä ja merenpohjassa, vaan hiilidioksidia voidaan mahdollisesti varastoida myös rakennusaineisiin ja näin saada hyötykäyttöön.

## Potsolaanit

Portlandsementti on hydraulinen sideaine, joka reagoi veden kanssa muodostaen kovettuvan sementtikiven. Tätä kemiallista reaktiota kutsutaan hydrataatioksi. Nykyisen kaltainen portlandsementti keksittiin vasta 1800-luvulla, mutta betonirakentaminen oli tuttua jo antiikin roomalaisille. Roomalaisen betonin (*Opus caementicum*) sideaineena käytettiin kalkkilaastia, joka sisälsi nopeasti kovettuvaa potsolaania. Roomalaisten käyttämä potsolaani oli vulkaanista tuhkaa sisältävä, savi- ja kalkkipitoinen maalaji.<sup>167</sup>

Potsolaanilla tarkoitetaan hienojakoista ainetta, joka yhdessä kalsiumhydroksidin ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) kanssa muodostaa sementtikiven kaltaisia pysyviä reaktiotuotteita. Kalsiumhydroksidin lähde voi olla esimerkiksi portlandsementin hydrataatioreaktio. Esimerkiksi vulkaaninen tuhka on luonnostaan potsolaaninen aine, mutta potsolaaneja voidaan valmistaa myös teollisesti. Teollisia potsolaaneja, kuten lentotuhkaa ja silikaa, käytetään portlandsementin seosaineena. Lisäksi sementin seosaineena voidaan käyttää potsolaanin kaltaisia aineita, esimerkiksi masuunikuonaa, joilla on piilevät hydrauliset ominaisuudet.<sup>168</sup> Uudet – kehitteillä olevat, hiilidioksidipäästöjä vähentävät – sementit perustuvat usein juuri potsolaanien hyödyntämiseen.

165 Punkki, J., Lounamaa, A., Junnila, S. *Betonirakenteiden merkitys rakennuksen elinkaaren aikaisista hiilidioksidipäästöistä*. *Betoni* 80(2010)1

166 *Hiilineutraalin sementin metsästyksen CO<sub>2</sub>-raportti*, 2009

167 Perkkiö, M. *Valumuuritekniikka*. In: Kaila, P. (toim.). *Antiikin rakennustekniikka: Rooma*. 2002

168 *Suomalainen sementti*. Finnsementti Oy

**KUVA** (Päivi Veijola): Roomalaisesta betonista rakennettu Pantheon on noin 2000 vuotta vanha.

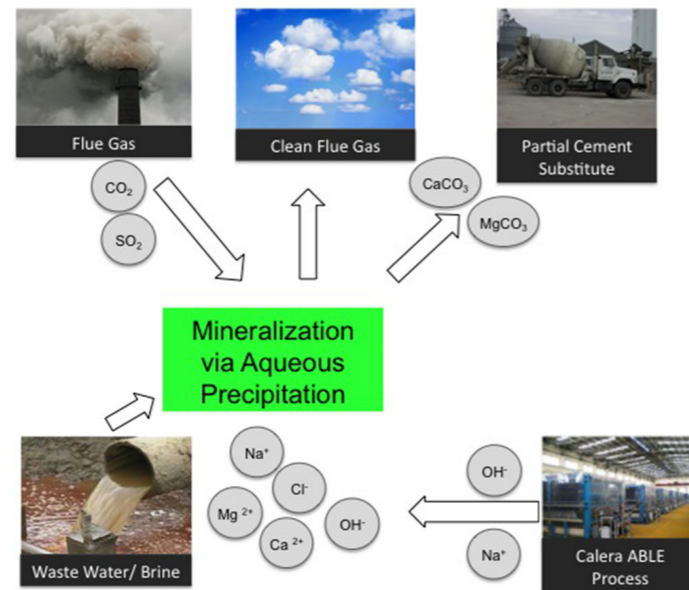


169 Juntunen, J. *Tulevaisuuden ekotalo*. TM Rakennusmaailma (2010)5E

170 Calera

Yhdysvaltalainen Calera valmistaa sementin kaltaista ainetta (Calera SCM) kivihiilivoimalan savukaasuista suodattamalla ne suolapitoisen veden läpi. Valmistusprosessi perustuu samaan ajatukseen kuin hiilen kiertokulussa tapahtuva hiilidioksidin sitoutuminen valtamerissä mineraaleiksi. Monivaiheisen valmistusprosessin lopputuloksena on kalkkia, magnesiumkarbonaattia ja muita mineraaleja sisältävä aine, joka on ominaisuuksiltaan lentotuhkan kaltainen. Yrityksen tuotekehityksessä on keskitytty kehittämään betonin seos- ja täyteaineita ja Caleran mukaan sen tuotteilla on mahdollista korvata 20 % portlandsementistä betonin valmistuksessa. Hiilinegatiivisen seosaineen valmistus on jo alkanut, mutta sitä ei vielä ole käytetty talonrakentamisessa.<sup>169,170</sup>

#### Caleran kemiallinen valmistusprosessi



Kaavio: Calera

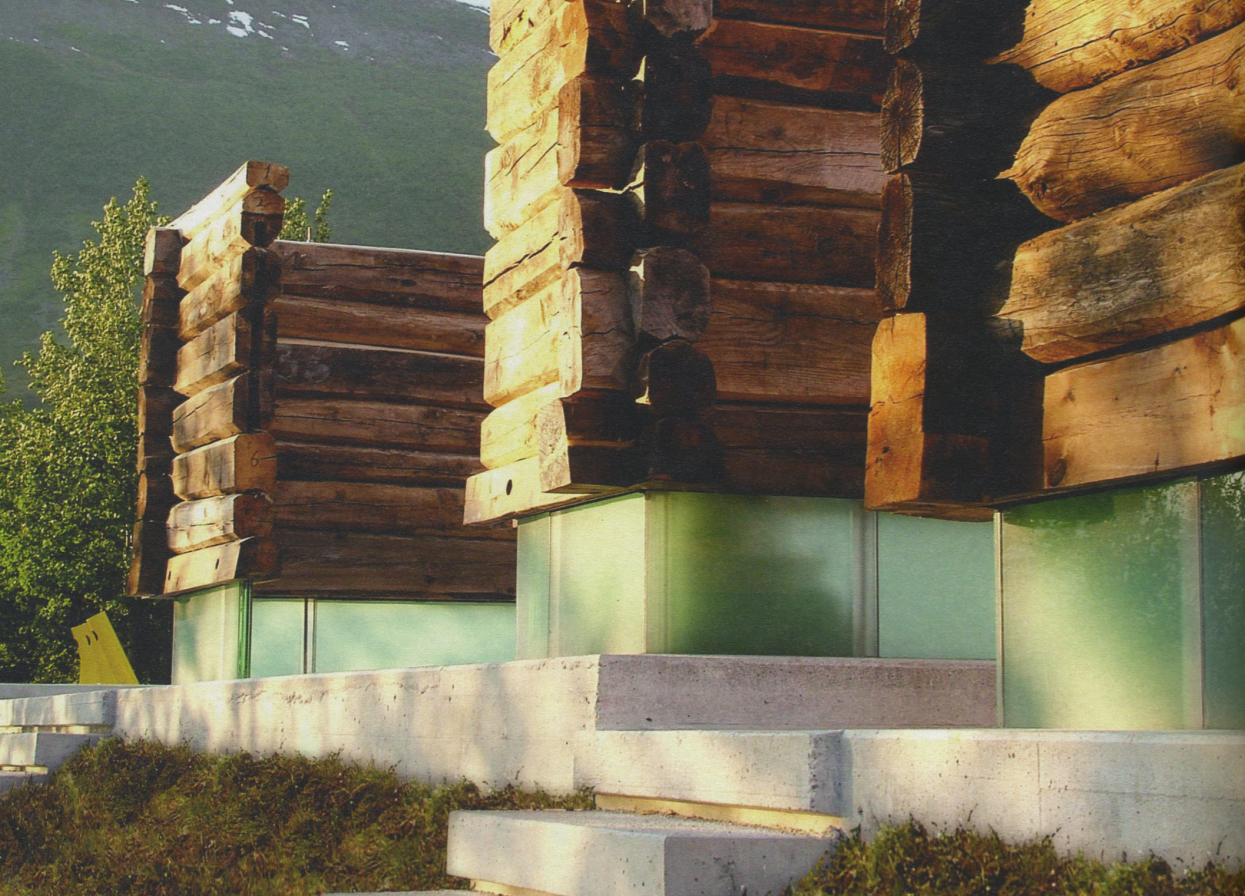
Brittiläinen Novacem on kehittänyt sementin, jonka sideaine on kalkkikiven sijaan magnesiumoksidi. Magnesiumoksidia valmistetaan matalammassa lämpötilassa kuin portlandsementtiä, joten valmistusprosessissa on mahdollista hyödyntää myös vaihtoehtoisia energialähteitä. Novacemin mukaan sementin valmistusprosessi sitoo yhteensä 10 % enemmän hiilidioksidia kuin siinä vapautuu. Tällä uudella, hiilinegatiivisella sementillä voitaisiin teoriassa korvata portlandsementin käyttö kokonaan, mutta käytännössä se on vielä kehitysasteella ja valmista tuotetta tuskin on luvassa lähiaikoina.<sup>171</sup>

Uudet "ekosementit" ovat herättäneet paljon kiinnostusta ja korkeita odotuksia. Käytännössä niiden ensimmäiset soveltamiskohteet löytyvät kuitenkin vasta tierakentamisen puolelta. Haasteena on kehittää uusi sementti, jolla on hiilinegatiivisuuden lisäksi yhtä hyvät tekniset ominaisuudet kuin portlandsementillä ja kilpailukykyinen hinta. Myös raaka-aineiden saatavuus voi osoittautua vaikeaksi. Onnistuessaan "ekosementillä" on kuitenkin mahdollisuus mullistaa koko rakennusteollisuus.

171 Novacem



KUVA: Novacemin kehittämä sementti.



KUVA (3RW Arkitekter): Retkeilijöille tarkoitetun info-rakennuksen hirsirakenteet ovat peräisin paikallisista autiotaloista.

172 Puutuoteteollisuus, 2004

## Puu

### Raaka-aineet ja valmistus

Puu on uusiutuva luonnonvara ja perinteinen rakennusmateriaali Suomessa. Sitä käytetään rakentamisessa monin eri tavoin, kuten sahatavarana ja sen jatkojalosteina, hirsinä sekä raaka-aineena vanereissa ja puupohjaisissa levyissä, eristeissä sekä komposiittimateriaaleissa. Yleisimmät Suomessa käytetyt puulajit ovat mänty ja kuusi. Teollisissa puutuotteissa käytetty puu kasvaa talousmetsässä, josta se korjataan koneellisesti ja kuljetetaan sahalle. Sahalla raakapuu kuoritaan, työstetään sahaamalla ja mahdollisesti höyläämällä ja kuivataan sen jälkeen sahatavaraksi.<sup>172</sup>

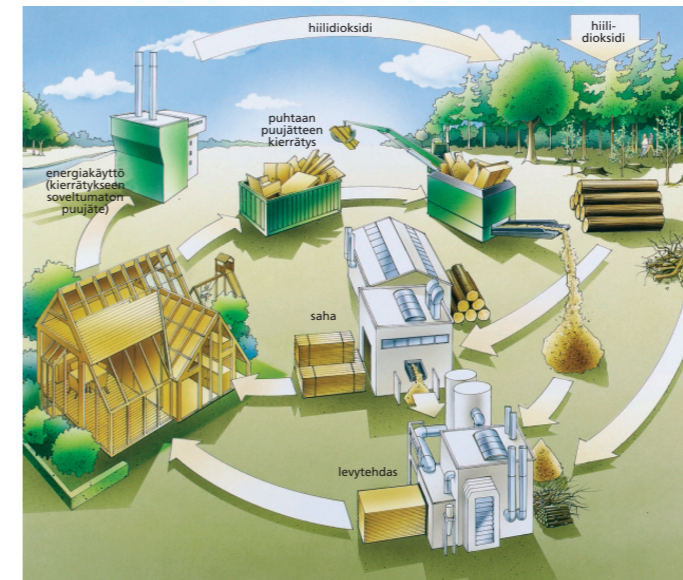
## Ympäristövaikutukset

Muihin tavallisiin rakennusmateriaaleihin verrattuna puutuotteiden valmistuksen energiankulutus on pieni<sup>173</sup>. Kokonaisenergiankulutusta vähentää puuhun sen kasvuvaiheessa sitoutunut energia, joka voidaan hyödyntää elinkaaren lopussa polttamalla ja samalla korvata fossiilisia polttoaineita. Puutuotteiden valmistuksessa käytetään pääosin uusiutuvaa energiaa, kuten valmistuksessa sivutuotteena syntyvää puun kuorta ja puupurua. Myös sahatavaran valmistuksen hiilidioksidipäästöt ovat vähäiset verrattuna muihin rakennusmateriaaleihin. Kun lisäksi huomioidaan puuhun varastoitunut hiilidioksidi, voidaan sahatavaraa pitää kokonaisvaikutukseltaan hiilinegatiivisena.<sup>174</sup> On kuitenkin syytä huomata, että mitä pidemmälle puutuotteita jalostetaan, sitä enemmän niiden valmistus kuluttaa energiaa ja aiheuttaa päästöjä ilmakehään.

173 Lappalainen, M. *Energia- ja ekologiakäsikirja. Suunnittelu ja rakentaminen*. 2010

174 Puuinfo

### Puutuotteiden hiilen kierto



Kaavio: Puutuotteiden hiilen kierto. Eurooppalaiset puualan tietosivut



175 Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes)

Puun kemialliseen suojaukseen käytetään mm. maalia, painekyllästystä sekä erilaisia siveltäviä suoja-aineita. Suojauksessa käytetyt aineet sisältävät kuitenkin usein ympäristölle haitallisia aineita, mikä vaikeuttaa puun energiakäyttöä. Esimerkiksi painekyllästyksessä aiemmin käytetty CCA-kylläste sisältää mm. arseenia, kuparia ja kromia, jotka ovat myrkyllisiä sekä ihmisille että eliöille<sup>175</sup>. Painekyllästetty puu luokitellaankin ongelmajätteeksi, joten sen käytön tulee aina olla harkittua. Painekyllästettyä puuta voidaan korvata lämpökäsitellyn puun ja puumuovikomposiitin käytöllä sekä puun rakenteellisella suojauksella.

176 Puutuotteiden hiilen kierto. Eurooppalaiset puualan tietosivut

Metsien kestävä käyttö kannalta on tärkeää, että puu tulee oikein hoidetusta metsästä. Euroopan metsistä kolme neljäsosa on talousmetsää ja metsien vuotuinen kasvu ylittää vuotuiset hakkuut<sup>176</sup>. Puun alkuperän seurantaan on olemassa useita sertifiointijärjestelmiä, kuten kansainvälinen FCS-sertifikaatti (Forest Stewardship Council) sekä Suomen Metsäsertifiointi ry:n myöntämä PEFC-sertifikaatti. Suomen rakennusteollisuus käyttää sekä kotimaista että tuontipuuta, josta noin 90 % tuodaan Venäjältä ja Baltiasta<sup>177</sup>. Kotimaisista talousmetsistä 95 % on sertifioitu, mutta arvioiden mukaan jopa 10–27 % Venäjältä tuodusta puusta on laitonta<sup>178</sup>. Sertifioidun puun lisäksi voidaan käyttää paikallisesti tuotettua tai kierrätettyä puuta. Trooppisten sademetsien puulajeja sen sijaan tulisi välttää kokonaan, sillä niiden hakkuut tuhoavat sademetsiä ja kiihdyttävät ilmastonmuutosta.

177, 178 Koipijärvi, T. *Tuontipuun alkuperäkäysmykset*. 2006

## Kierrätys

Puurakenteita on helppo korjata ja käyttää uudelleen. Perinteiset hirsirakenteet olivat siirrettäviä ja myös nykyaikaiset puiset elementti- ja runkorakenteet soveltuvat uudelleenkäyttöön. Käytännössä puurakenteiden uudelleenkäyttöä vaikeuttavat kuitenkin sekä lainsäädäntö että hinta. Kantavissa rakenteissa käytetyn puun tulee olla lujuusluokiteltua ja luokituksen saaminen kierrätyspuulle tulee kalliiksi. Lisäksi hintaa nostaa se, että uudelleen käyttöön tulevat puurakenteet joudutaan pur-

**KUVAT** (Elke Reichel Architekten): Kierrätyspuusta rakennetun autokatoksen massiivipuiset ulkoseinät koostuvat päällekkäisistä laudoista.





179, 181, 182, 184 Pirhonen, I., Heräjärvi, H., Saukkola, P., Rätty, T., Verkasalo, E. *Puutuotteiden kierrätys. Finnish Wood Research Oy:n osarahoittama esiselvityshankkeen loppuraportti*. 2011

180 *Puutuotteiden hiilen kierto*. Eurooppalaiset puualan tietosivut

183 *Rakenteiden elinkaartekniikka*. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2001

**KUVA** (Päivi Veijola): Teräsrakentamista Lontoossa.

kamaan käsityönä. Parhaiten uudelleenkäyttöön soveltuvatkin tällä hetkellä puuosat, joita voidaan käyttää ei-kantavissa rakenteissa, kuten sisä- ja ulkoverhouksessa ja lattialankkuina.<sup>179</sup>

Kierrätyspuuta sekä puun jalostuksessa syntyvää puuhaketta ja sahanpurua voidaan uusiokäyttää esim. lastu- ja kuitulevyn sekä komposiittimateriaalien raaka-aineena. Vuonna 2003 eurooppalaisen lastulevyteollisuuden käyttämästä raaka-aineesta 23 % oli kierrätyspuuta, 53 % puuhaketta ja sahanpurua ja loput raakapuuta<sup>180</sup>. Käytännössä suomalainen lastu- ja kuitulevyteollisuus hyödyntää kuitenkin vain puunjalostuksen sivutuotteena syntyvää puuhaketta ja purua, sillä kierrätyspuun käyttö vaatii erillistä puhdistusta, ja lisäksi sitä pidetään kalliina ja vaikeasti saatavana.<sup>181</sup>

Tutkimusten mukaan suurin yhteiskunnallinen hyöty saadaan kierrättämällä puu puutuotteiden kautta energiakäyttöön. Energiantuotannossa puun käytöllä voidaan korvata fossiilisia polttoaineita. Vaikka suurin osa jätetuusta päätyykin energiakäyttöön, on kierrätyspuun osuus koko energiantuotannosta vähäinen (vuonna 2008 noin 5 %).<sup>182</sup> Energiakäyttöön kelpaavan puuaineksen tulee olla mahdollisimman puhdasta. Maaleja ja paljon liimaa sisältäviä tuotteita voidaan polttaa haketettuna muun polttokelpoisen materiaalin joukossa. Paine- ja lämpökäsitellyt ja muuta haitallisia aineita sisältävää puuta sen sijaan voidaan polttaa vain erityisissä polttolaitoksissa, joissa on savukaasunpuhdistuslaitteet.<sup>183</sup>

Haketettua puuta voidaan hyödyntää myös kompostoinnissa, eläinten kuivikkeena sekä kateaineena maisemoinnissa. Tulevaisuudessa jätetuusta valmistetaan kenties myös ajoneuvojen polttoainetta.<sup>184</sup>

## Teräs

### Raaka-aineet ja valmistus

Teräs on rautametallin ja hiilen seos, jonka hiilipitoisuus on alle 1,7 %. Teräs sisältää aina myös pieniä määriä seosaineita,





jotka vaikuttavat teräksen rakenteeseen, mekaanisiin ominaisuuksiin sekä korroosiokestävyyteen. Tavallisimpia seosaineita ovat pii, mangaani ja alumiini. Teräksen pääraaka-aine rauta saadaan joko luonnon rautamalmista tai kierrätysromusta. Rautamalmi on uusiutumaton luonnonvara, mutta siitä jalostetut metallit ovat kierrätettävissä. Maailmanlaajuisesti romun osuus teräksen raaka-aineesta on noin 50 % ja ruostumattoman teräksen kohdalla 60 %. Käytännössä kuitenkin esimerkiksi Ruukin terästuotannon raaka-aineesta vain 20–30 % on romua<sup>185</sup>. Teräksen raaka-aineena käytetty rautamalmi tuodaan Suomeen ulkomailta, kuten Ruotsista ja Venäjältä. Ruostumaton teräs sisältää yli 10 % kromia, jonka raaka-ainetta kromiittia saadaan Outokummun louhokselta Kemistä.<sup>186</sup>

Teräksen valmistus malmista alkaa malmin louhinnalla ja rikastuksella. Rikastuksessa malmi murskataan hienoksi ja rautaoksidi erotetaan sivukivestä. Tavallisimmat menetelmät ovat vaahdotus, ominaispaineerotus ja magneettinen rikastus. Jauhemuotoinen rikaste jalostetaan edelleen kappalemuotoon, yleensä pelleteiksi. Pelkistyksessä pelletit poltetaan masuunissa yhdessä kaksin kanssa raakaraudaksi. Tämän jälkeen raudan hiilipitoisuutta alennetaan mellottamalla ja lopputuloksena syntyy terästä. Teräs seostetaan erilaisilla seosaineilla, tiivistetään ja valetaan teräsaihoiksi, jotka valssataan tai taotaan haluttuun muotoon.<sup>187</sup>

### Ympäristövaikutukset

Teräksen valmistuksessa tarvitaan rautamalmia, kalkkia ja hiiltä, jotka louhitaan maaperästä. Kaivostoiminnalla on kuitenkin haitallisia vaikutuksia maisemaan ja maaperään. Myös malmin riittävydestä maapallolla on olemassa ristiriitaista tietoa. Romun käyttö teräksen raaka-aineena säästää ennen kaikkea energiaa ja luonnonvaroja. Myös romun kierrätys itsessään aiheuttaa päästöjä ympäristöön, mutta kokonaisvaikutuksiltaan romupohjainen teräksen valmistus on malmipohjaista tuotantoa ympäristöystävällisempää<sup>188 189</sup>.

Teräksen valmistus malmista kuluttaa paljon energiaa eri-

185 Rautaruukki Oyj

186, 189 Seppälä, J., Koskela, S., Palperi, M., Melanen, M. *Metallien jalostus ja ympäristö*. 2000

187 Siikanen, U. *Rakennusaineoppi*. 1996

188 Melanen, M., Palperi, M., Viitanen, M., Dahlbo, H., Uusitalo, S., Juutinen, A., Lohi, T.-K., Koskela, S., Seppälä, J. *Metallivirrat ja romun kierrätys Suomessa*. 2000

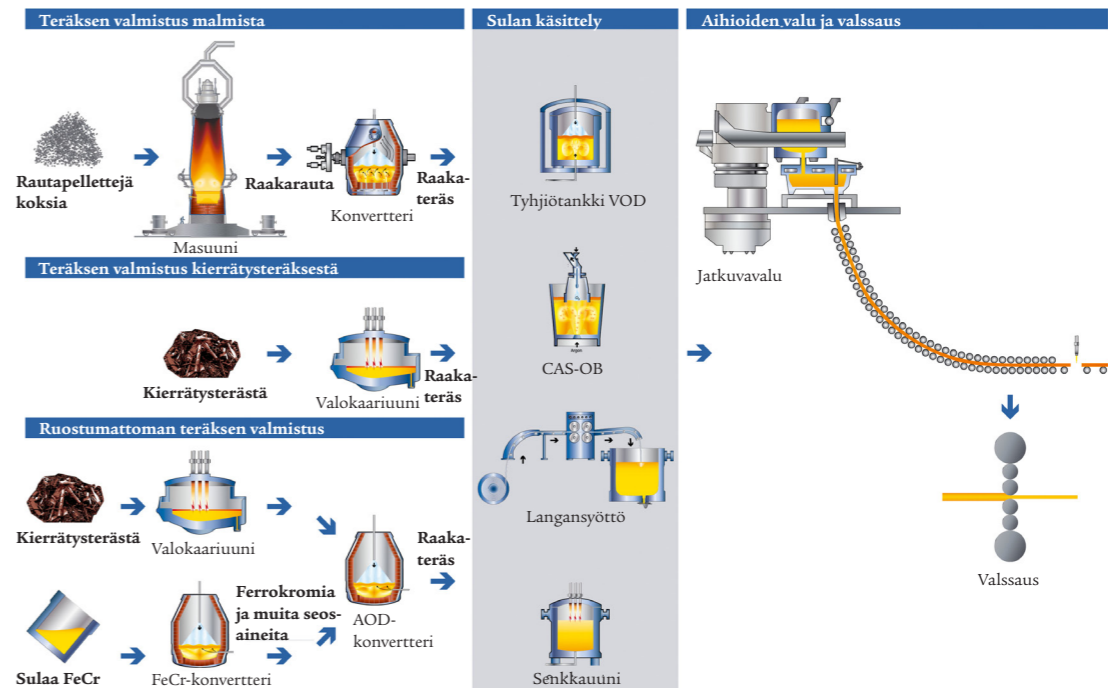
tyisesti masuuniprosessin vuoksi. Kierrätysterästä valmistetaan valokaariuunimenetelmällä, jossa romun sulatus ja mellotus tapahtuu sähköenergialla toimivassa valokaariuunissa. Romun käyttö teräksen raaka-aineena kuitenkin pienentää valmistuksen energiakulutusta, sillä romun uudelleensulattaminen kuluttaa vähemmän energiaa kuin malmin pelkistäminen ja sulattaminen.<sup>190</sup>

Malmipohjaisen terästuotannon hiilidioksidipäästöistä noin 90 % syntyy hiilipitoisten raaka-aineiden poltosta masuunissa, eikä masuuniprosessille toistaiseksi ole kehitetty korvaavaa vaihtoehtoa. Valokaariuuniprosessissa hiilidioksidipäästöjä syntyy huomattavasti vähemmän, sillä kierrätysraa-

190 Seppälä, J., Koskela, S., Palperi, M., Melanen, M. *Metallien jalostus ja ympäristö*. 2000

Kaavio: *Teräskirja*. Metallinjalostajat ry., 2009

### Teräksen valmistuksen perusmenetelmät



191, 192, 194 *Teräskirja*. Metallinjalostajat ry., 2009

ka-aine ei vaadi uudelleen pelkistystä, mutta toisaalta prosessi kuluttaa paljon sähköä, joka voi olla tuotettu fossiilisilla polttoaineilla. Teräksen hiilidioksidipäästöjen vähentäminen keskittyy valmistusprosessin energian käytön tehostamiseen ja masuunikaasujen hyödyntämiseen energiana.<sup>191</sup>

Hiilidioksidipäästöjen lisäksi teräksen valmistuksen merkittävimmät päästöt ilmaan muodostuvat hiukkaspäästöistä. Valmistusprosessissa kaasujen mukana poistuu myös hienojakoista pölyä, josta pääosa on rautaoksidia.<sup>192</sup> Muita teräksen valmistuksen päästöjä ovat mm. rikkidioksidi, typen oksidit ja raskasmetallit.

## Kierrätys

Teräsrakenteet soveltuvat periaatteessa hyvin uudelleenkäyttöön, mutta käytännössä uudelleenkäyttö ei ole kovin yleistä. Joitain terässiltoja ja hallirakenteita on kuitenkin siirretty Suomessa. Uudelleenkäyttöä helpottaa, jos teräsrakenteissa on käytetty helposti irrotettavia pulttiliitoksia. Kantavien teräsrakenteiden lisäksi myös mm. julkisivujen teräskasettijärjestelmiä, peltikatteita, teräskaitteita ja -portaita sekä teräsrankoja voidaan uudelleenkäyttää.<sup>193</sup>

Suomessa teräksen kierrätysprosentti on noin 94 %<sup>194</sup>. Romua voidaan hyödyntää sekä malmipohjaisessa tuotannossa lisäraaka-aineena että romupohjaisessa valmistuksessa pääraaka-aineena. Teoriassa romua voidaan kierrättää loputtomasti, mutta käytännössä osa siitä poistuu kierrosta hävikkinä. Myös romun kierrätys itsessään aiheuttaa päästöjä ympäristöön, mutta kokonaisvaikutuksiltaan romupohjainen teräksen valmistus on malmipohjaista tuotantoa ympäristöystävällisempää. Malmipohjaisen teräksen valmistuksen korvaamista kokonaan romulla pidetään kuitenkin epärealistisena, sillä teräksen kulutus kasvaa koko ajan eikä kierrätysraaka-ainetta ole tarpeeksi saatavilla. Lisäksi esteenä romun käytölle pidetään sitä, että se vaatii oman tuotantolaitteiston eikä kaikkia teräslajeja voida puhtausvaatimusten vuoksi valmistaa romusta.<sup>195</sup>

Teräksen valmistuksen suurimman jätemäärät muodos-

193 Lehmus, E. *Ympäristötietoa teräsrakentamisesta*. 2000

195 Melanen, M., Palperi, M., Viitanen, M., Dahlbo, H., Uusitalo, S., Juutinen, A., Lohi, T.-K., Koskela, S., Seppälä, J. *Metallivirrat ja romun kierrätys Suomessa*. 2000

tuvat kaivostoiminnan sivukivestä ja rikastushiekasta, joita voidaan hyödyntää louhosten täytteenä ja maarakentamisessa. Teräksen valmistuksessa sivutuotteena syntyy mm. masuuni- ja teräskuonaa, joita hyödynnetään maa- ja tierakentamisessa, maanparannusaineina sekä teollisuuden raaka-aineina. Koksausprosessissa syntyy tervaa, bentseeniä ja rikkiä voidaan hyödyntää kemianteollisuudessa ja kaasut kierrätetään prosessin polttoaineeksi. Valmistuksen jätelämpö voidaan ottaa talteen ja hyödyntää yhdyskuntien kaukolämpöverkossa.<sup>196</sup>

## Materiaalien vertailua

Rakennusmateriaalien ympäristövaikutusten vertailu pelkäästään eri materiaalien välillä on mahdotonta. Materiaalien vaikutus ympäristöön riippuu myös siitä, kuinka paljon materiaalia rakennuksessa tarvitaan ja kuinka sitä käytetään. Esimerkiksi metallien valmistuksessa kuluu betoniin verrattuna paljon enemmän energiaa painoyksikköä kohden, mutta toisaalta metallia käytetään rakentamisessa massallisesti selvästi betonaa vähemmän. Rakentamisessa materiaalien ympäristövaikutuksia tulisikin verrata keskenään koko rakennuksen tasolla. Materiaalien keskinäinen vertailu tarjoaa toki pohjatiet-

## Materiaalien valmistukseen kuluva luonnonvarojen määrä

• Lasi	1–3 kg
• Puu	2–12 kg
• Paperi	3–15 kg
• Pahvi	3–15 kg
• Muovi	5–20 kg
• Puuvilla	20–160 kg
• Teräs	7 kg
• Alumiini	61 kg
• Kupari	250 kg
• Kulta	540 000 kg

196 Seppälä, J., Koskela, S., Palperi, M., Melanen, M. *Metallien jalostus ja ympäristö*. 2000

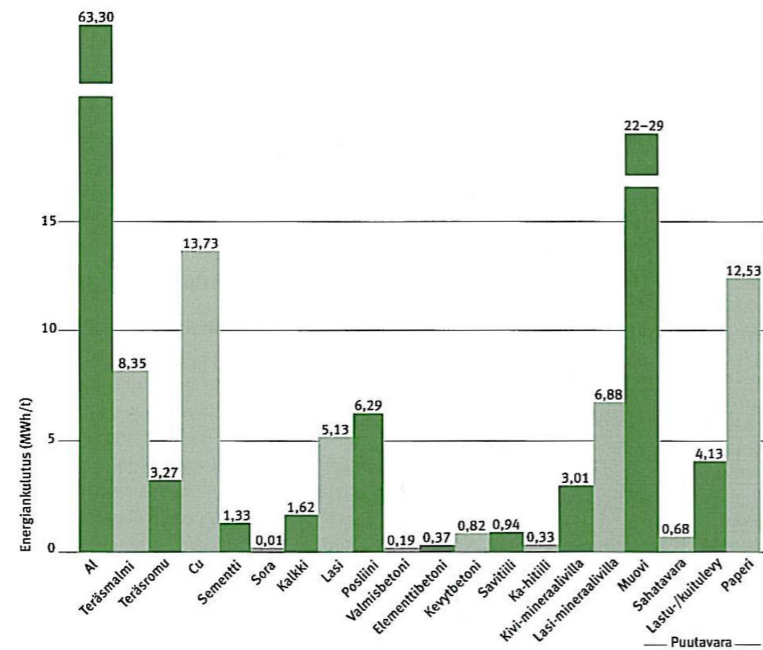
Taulukko: Lappalainen, M. *Energia- ja ekologia käsikirja. Suunnittelu ja rakentaminen*. 2010  
Materiaalien valmistukseen kuluva luonnonvarojen määrä yhtä valmista materiaalikiloa kohti.



toa, mutta sen perusteella ei vielä voida vetää koko rakennusta koskevia johtopäätöksiä.

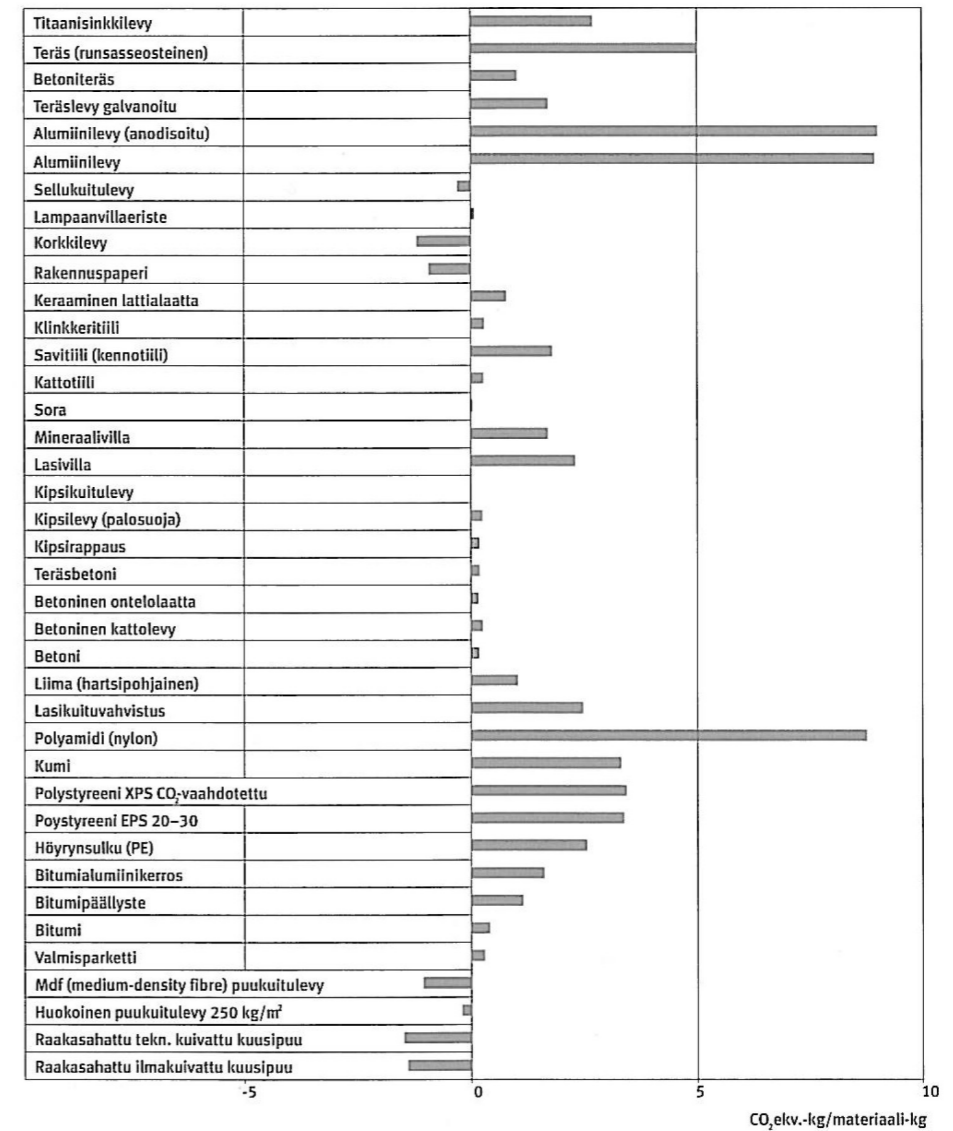
Yleensä eri rakennusmateriaalien ympäristövaikutuksia vertailtaessa esiin nostetaan erityisesti valmistuksen energiankulutus ja siitä aiheutuneet kasvihuonekaasupäästöt sekä luonnonvarojen kulutus. Kierrätysmateriaalien käyttö säästää luonnonvaroja ja pienentää samalla syntyvän jätteen määrää. Yleensä myös valmistuksen energiankulutus ja kasvihuonekaasupäästöt pienenevät, jos kierrätysraaka-aineella korvataan neitseellisiä luonnonvaroja. VTT:n tutkimuksessa Uusien jätteenkäsittelykonseptien mahdollisuudet kasvihuonekaasujen vähentämisessä on tutkittu myös kasvihuonekaasupäästöjen eroa, kun kierrätysraaka-aineesta valmistettua tuotetta käyte-

### Materiaalien tuotannossa kulutettu energia



Kaaviot: Lappalainen, M. *Energia- ja ekologia*käsikirja. Suunnittelu ja rakentaminen. 2010

### Materiaalien valmistuksen kasvihuonekaasupäästöt



197 Mroueh, U.-M., Ajanko-Laurikko, S., Arnold, M., Laiho, A., Wihersaari, M., Savolainen, I., Dahlbo, H., Korhonen, M.-R. *Uusien jätteenkäsittelykonseptien mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä*. 2007

198 Saari, A. *Rakennusten ja rakennusosien ympäristöselosteet*. 2001

199, 200 Koskela, S., Korhonen, M.-R., Seppälä, J., Häkkinen, T., Vares, S. *Materiaalinäkökulma rakennusten ympäristöarvioinnissa*. 2011

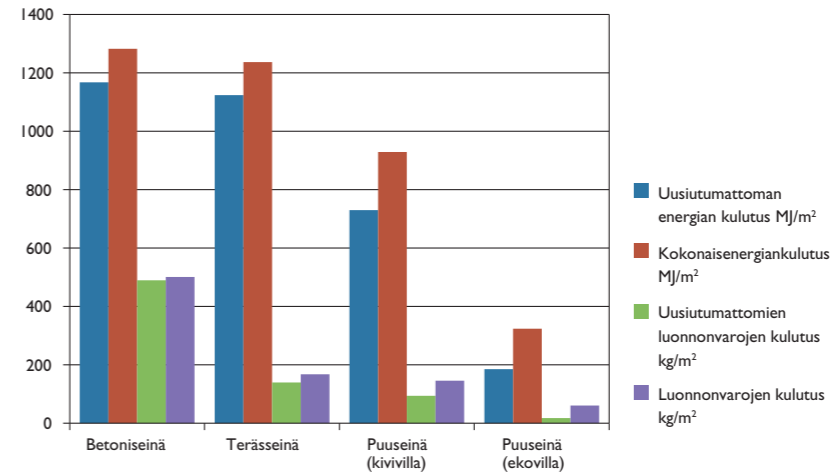
tään korvaamaan muita samaan käyttötarkoitukseen käytettyjä materiaaleja. Tutkimuksen mukaan kierrätysmateriaalien käyttö itsessään ei välttämättä vähennä kasvihuonekaasupäästöjä, sillä päästöt riippuvat myös korvattavasta materiaalista. Suurimmat säästöt päästöissä saavutetaan korvaamalla fossiilipohjaisia materiaaleja, kuten muovia ja terästä.<sup>197</sup>

## Rakenteet

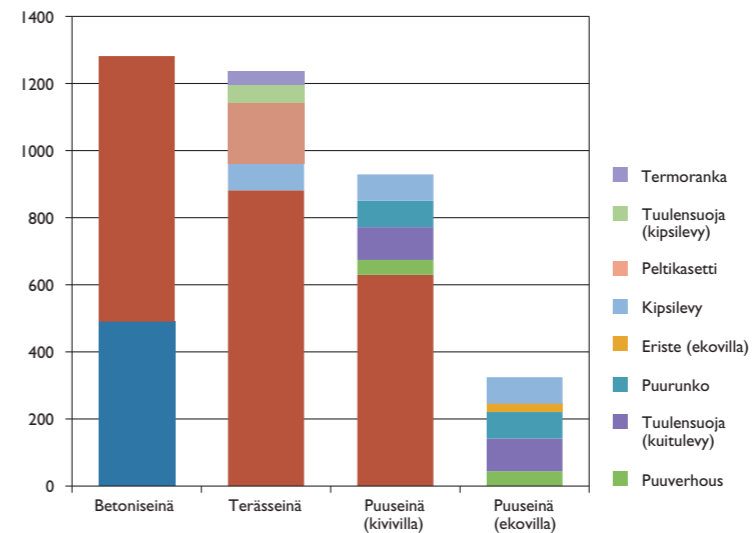
Rakennustuotteiden lisäksi myös rakennuksille ja rakennusosille on laadittu ympäristöselosteet, joissa tarkasteltavia ominaisuuksia ovat uusiutumaton ja uusiutuva energiankulutus, tuotteisiin varastoitunut energia, uusiutumattoman ja uusiutuvan raaka-aineen kulutus, kasvihuonekaasupäästöt, tuotteisiin varastoitunut hiilidioksidi, happamoituminen sekä oksidanttien muodostuminen<sup>198</sup>. Suomen ympäristökeskuksen vuonna 2011 julkaisemassa raportissa esitetään betonista, puusta ja teräksestä valmistettujen ulkoseinärakenteiden ympäristökuormitukset, jotka on laskettu RT-ympäristöselosteiden ja valmistajilta saatujen tietojen pohjalta. Seinärakenteet on valittu teknisesti mahdollisimman vertailukelpoisiksi, esimerkiksi u-arvon (0,17 Wm<sup>2</sup>/K) osalta.<sup>199</sup>

Raportin mukaan eri materiaaleista valmistettujen seinärakenteiden ympäristövaikutuksissa on selkeitä eroja. Betonirakenteisen seinän valmistus kuluttaa eniten energiaa ja luonnonvaroja sekä aiheuttaa suurimmat kasvihuonekaasupäästöt. Teräsrakenteinen seinä on betonia jonkin verran parempi vaihtoehto ja puurakenteinen selvästi paras. Kaaviosta 2 voidaan havaita, että suurin osa seinärakenteiden energiankulutuksesta aiheutuu itse asiassa kivivillan valmistuksesta. Puurakenteisessa seinässä kivivillan korvaaminen kierrätysraaka-aineesta valmistetulla selluvillalla laskee energiankulutusta huomattavasti, sillä kierrätysraaka-aineen kohdalla sen valmistuksen energiankulutusta ei tarvitse huomioida.<sup>200</sup> Samalla on hyvä huomata, että runkomateriaalin lisäksi myös käytetyllä eristeellä on merkitystä. Myös betonirakenteissa olisi mahdollista käyttää eristeenä kivivillaa ympäristöystävällisempiä eristemateriaaleja.

## Eri seinävaihtoehtojen energian ja luonnonvarojen kulutus



## Kokonaisenergiankulutuksen jakautuminen eri rakennusmateriaaleille

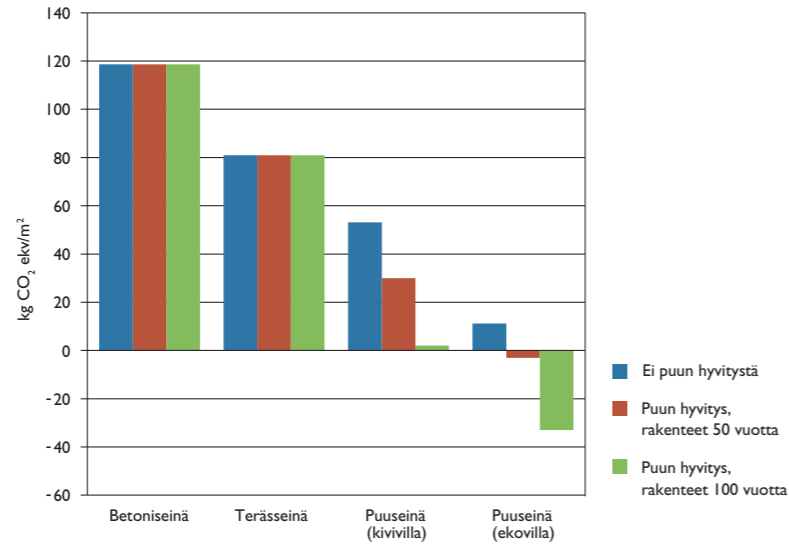


Kaaviot: Koskela, S., Korhonen, M.-R., Seppälä, J., Häkkinen, T., Vares, S. *Materiaalinäkökulma rakennusten ympäristöarvioinnissa*. 2011



Kaavio: Koskela, S., Korhonen, M.-R., Seppälä, J., Häkkinen, T., Vares, S. *Materiaalinäkökulma rakennusten ympäristöarvioinnissa*. 2011  
 Ilmastovaikutukset hiilidioksidiekvivalentteina ilmaistuna, kun hiilidioksidin sitoutuminen puuhun on otettu huomioon ja rakenteiden käyttöikä on joko 50 tai 100 vuotta.

**PAS-standardin mukaiset ilmastovaikutukset 100 vuoden kuluttua**



## Rakennus

Rakennus on materiaaleista ja rakenteista muodostuva toiminnallinen kokonaisuus. Rakennusmateriaalien aiheuttamia ympäristövaikutuksia tulee arvioida koko rakennuksen näkökulmasta, mutta samalla on hyvä muistaa, että itse rakennuksen ympäristövaikutuksiin vaikuttavat toki muutkin tekijät, kuten rakennuksen energiankulutus ja korjaustarve. Eri materiaalien vaikutusta rakennuksen ympäristövaikutuksiin on tutkittu paljon, erityisesti betonin korvaamista puulla. Tutkimusten perusteella näyttäisi siltä, että puurakentaminen pienentää selvästi energian ja luonnonvarojen kulutusta ja aiheuttaa vähemmän kasvihuonekaasupäästöjä kuin betoni tai teräs.<sup>201</sup> Puun käyttö vähentää esimerkiksi rakennuksen elinkaaren aikaisia kasvihuonekaasupäästöjä noin 3,7 t CO<sub>2</sub>-ekv. käytettyä puutonnin kohden<sup>202</sup>.

Materiaalien vertailussa tuloksiin vaikuttaa valittu tarkasteluajanjakso, esimerkiksi rakennusosien ympäristöselosteissa se on 50 vuotta. Heinolaan rakenteilla olevan PuuEra-puukerrostalon hiilijalanjälkilaskennasta käy ilmi, että puu- ja betonirakenteisten kerrostalojen päästöissä ei ole merkittäviä eroja, jos rakennuksen elinkaareksi oletetaan sata vuotta. Tämä johtuu siitä, että hiilijalanjäljen kannalta rakennuksen energiatehokkuus nousee selvästi rakentamisen päästöjä tärkeämmäksi.<sup>203</sup> Betoniteollisuus korostaakin, että betonirakenteiden osuus kerrostalon elinkaaren aikaisista hiilidioksidipäästöistä on vain 4 %, mutta energiansäästäjänä betoni on kevyempiä materiaaleja selvästi parempi<sup>204</sup>.

Betonin kohdalla on myös hyvä huomata, että betonin karbonisoitumista ei yleensä huomioida laskelmissa. Toisaalta, jos tarkoitus on rakentaa mahdollisimman pitkäikäisiä rakennuksia, karbonisoituminen eroaa hiilidioksidin varastoitumisesta puuhun siinä, että karbonisoitumisen kohdalla hiilidioksidin sitoutuminen materiaaliin edellyttää rakennuksen purkamista, puun kohdalla rakentamista.

203 *Rakennuksen hiilijalanjäljen ratkaisee energiapihiys*. Rakennusteollisuus RT ry., 2011

204 Virtanen, J. *Betoni on hiilidioksidinielu*. Betoni 80(2010)4

201 Koskela, S., Korhonen, M.-R., Seppälä, J., Häkkinen, T., Vares, S. *Materiaalinäkökulma rakennusten ympäristöarvioinnissa*. 2011

202 Sathre, R., O'Connor, J. *A synthesis of Research on Wood products & Greenhouse Impacts*. 2010

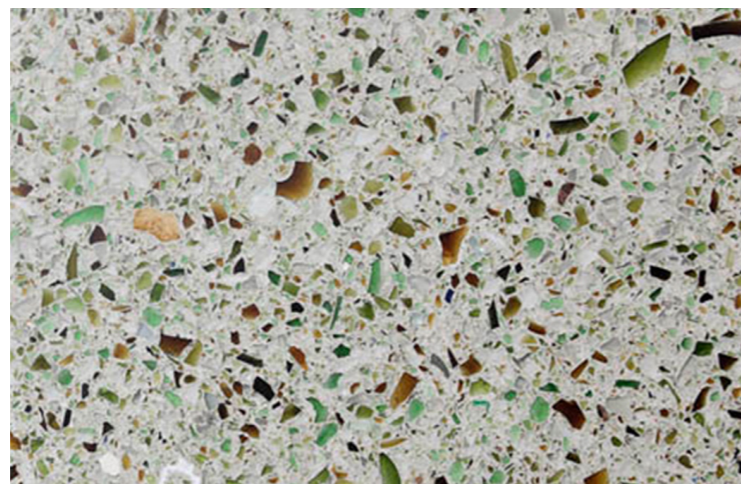
# 5 UUSIOTUOTTEET

Mitä erilaisia uusiomateriaaleja ja niistä valmistettuja rakennustuotteita on olemassa? Tarkan vastauksen sijaan tässä osiossa pyritään löytämään yleiskuva eri uusiomateriaaleista ja niiden käytöstä. Osa esitellyistä uusiomateriaaleista on rakentamisessa hyvinkin tavallisia, osa vielä kehitysasteella. Monet olemassa olevat uusiomateriaalit saattavat puuttua listasta ja uusia kehitetään koko ajan.

Pääpaino on uusiomateriaaleissa, mutta lisäksi käsitellään myös joitakin uudelleenkäytettäviä rakennusmateriaaleja, betonia ja puuta sekä näiden sovelluksia. Tarkoituksena on katsoa potentiaalisia rakennusmateriaaleja laajemmin kierrätyksen ja ekologisuuden kautta. Eri uusiomateriaalien kohdalla on myös hyvä huomata, että niiden sisältämän kierrätysraaka-aineen osuus vaihtelee suuresti. Joissakin uusiotuotteissa kierrätysraaka-aineita on 100 %, osassa alle 50 %. Tässä työssä ei kuitenkaan ole niinkään merkitystä sillä, mikä on ”oikea uusiotuote”, vaan mitä uusia mahdollisuuksia kierrätys ja uusiokäyttö tuovat rakentamiseen.

Teoriaosuudessa esille nousseita rakennusmateriaalien ekologisuuteen ja kierrätykseen liittyviä tekijöitä on esitetty esimerkkituotteiden avulla. Valitettavasti joistakin uusiomateriaaleista tietoa oli hyvin vähän saatavilla. Tuotteiden tiedot eivät kuitenkaan annetussa muodossa ole vertailukelpoisia keskenään, mutta niitä voidaan käyttää ympäristövaikutusten laskemisessa niille rakenteille, joissa tuotetta käytetään.





## BETONI

## RUNKO

Betoni on komposiitti, joka koostuu kiviaineesta, sideaineesta ja vedestä. Tavallisin sideaine on portlandsementti, jonka valmistus aiheuttaa suurimman osan betonin päästöistä ja energiankulutuksesta.

Betonin raaka-aineet ovat luonnonmineraaleja. Osa sementistä voidaan korvata seosaineilla, kuten kivihiilen poltossa syntyvällä lentotuhkalla tai raudan valmistuksen masuunikuonalla, jotka ovat teollisuuden sivutuotteita. Betonin kiviaineksesta noin 10–20 % voi olla uusioraaka-ainetta, kuten murskattua betonia, tiiltä tai lasia. Teräsbetonissa käytetty rauditus valmistetaan yleensä romuraudasta.<sup>205</sup>

Teoriassa noin neljännes sementin valmistuksen aiheuttamista hiilidioksidipäästöistä sitoutuu takaisin betoniin sen karbonatisoituessa käytön aikana ja erityisesti murskattuna purkuvaiheen jälkeen.<sup>206</sup>

TUOTE: VALMISBETONI K35

AINESOSAT: KIVIAINES, SEMENTTI, VESI

UUSIUTUVUUS: EI

VALMISTUS (CRADLE TO GATE)

ENERGIANKULUTUS: 0,85 MJ/KG

RAAKA-AINEEN KULUTUS: 983 G/KG

CO<sub>2</sub>-PÄÄSTÖT: 1040 G/KG

SO<sub>2</sub>-PÄÄSTÖT: 0,064 G/KG

OMINAISUUDET

TIHEYS: 2400 KG/M<sup>3</sup>

KIERRÄTYS: MAARAKENTAMINEN, UUSIOKIVIAINES

VALMISTUSMAA: SUOMI

205, 206 *Betonirakenteiden ympäristöominaisuudet*. Betonikeskus ry. 2007

*RT-Ympäristöseloste Betoniteollisuus Valmisbetoni K35*. Rakennustietosäätiö.

Ympäristöseloste on laadittu Lohja Rudus Oy Ab:n, Lujabetoni Oy:n ja betset Oy:n tiedoista.

**KUVAT** (Yong Kwan Kim, Maritta Koivisto ja Lignacite Ltd): Betonimurskaa julkisivumateriaalina, paikalla valettu betonipinta sekä kierrätyslasia betonin kiviaineena.





## BETONIELEMENTTI, UUELLEENKÄYTETTY

RUNKO

Ehjänä purettuja betonielementtejä on mahdollista käyttää uudelleen rakentamisessa.

Monet Suomessa 1970-luvulla rakennetut betonielementtilähiöt ovat päässeet rapistumaan ja niitä odottaa perusteellinen korjaus tai purkaminen. Samalla lähiökerrostalot tarjoavat kuitenkin mahdollisuuden betonielementtien uudelleenkäyttöön, materiaalista ei tule olemaan pulaa. Uudelleenkäytön haasteet ovatkin teknisiä, sillä elementtien irrottaminen ehjinä ja kokonaisina edellyttää uudenlaisia purkumenetelmiä. Saksassa elementtien ehjänä purkaminen on kuitenkin osoittautunut teknisesti ja taloudellisesti mahdolliseksi. Teoriassa myös paikallavalettuja betonirakenteita voidaan leikata levyiksi ja käyttää elementtien tapaan.<sup>207</sup>

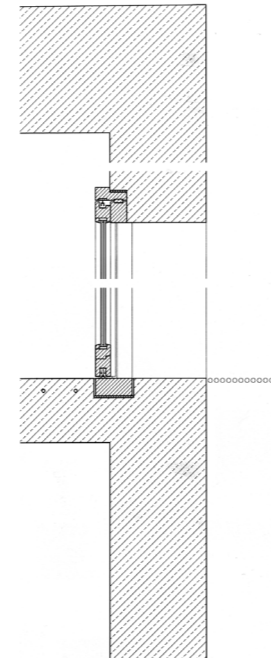
*207 Huuhka, S. Purkubetoni kierrätetään tienpohjiksi, tulevaisuudessa ehkä myös taloiksi. Betoni 80(2010)2*



**KUVA** (Harri Hagan): Purettuja betonielementtejä.

**VIEREINEN SIVU** (Claus Asam): Ehjänä purkamista Saksassa.





## KEVYTSORABETONI

RUNKO

Kevytsorabetonissa betonin runkoaineena käytetään murskatun kiven sijaan kevytsoraa, joka valmistetaan savesta paisutamalla.

Kevytsoran lisänä runkoaineessa voidaan käyttää kierrätyslasista valmistettua vahtolasia. Sekä paisutettu savi että vahtolasi valmistetaan korkeassa lämpötilassa, mikä kuluttaa paljon energiaa ja aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä. Toisaalta syntyvät rakeet ovat kevyitä ja sisältävät paljon ilmaa, joten raaka-aineita tarvitaan vähemmän.<sup>208</sup>

Vahtolasia sisältävällä kevytsorabetonilla voidaan rakentaa massiivisia rakenteita, jotka ovat kantavia eivätkä vaadi lisäeristystä Keski-Euroopan olosuhteissa<sup>209</sup>. Koerakennuskohteissa betonipinta on jätetty käsittelemättömäksi, mikä korostaa rakenteen yksiaineisuutta.

TUOTE: LIAPOR INSULATING CONCRETE

KIERRÄTYSAINES: KIERRÄTYSLASI

ALKUPERÄ: YHDYSKUNTAJÄTE

MUUT AINESOSAT: SEMENTTI, PAISUTETTU SAVI, VESI

UUSIUTUVUUS: EI

OMINAISUUDET

TIHEYS: <math><1000 \text{ KG/M}^3^\*</math>

LÄMMÖNJOHTAVUUS: <math>0,32 \text{ W/MK}^\*</math>

KIERRÄTYS: MAARAKENTAMINEN, UUSIOKIVIAINES

VALMISTUSMAA: SAKSA

208 Ritola, J., Vares, S. *Keräyslasin hyötykäyttö vahtolasituotteina*. 2008

209 *Lightweight concrete – variety and elegance*. Liapor news.

Liapor GmbH & Co. KG

\**Lightweight concrete – variety and elegance*. Liapor news. Tiedot kohteesta House in Chur.

**KUVAT** (Thomas Dix ja Patrick Gartmann): Arkkitehti Patrick Gartmannin suunnittelema House in Chur on rakennettu vahtolasia sisältävästä kevytsorabetonista.





## HAMPPUBETONI

RUNKO / ERISTE

Hamppubetoni on komposiittimateriaali, joka valmistetaan hamppukuidusta ja kalkkikivipohjaisesta sidosaineesta.

Hamppu on yksi maailman vanhimmista viljelykasveista. Suomessa sitä on viljelty kuidun vuoksi 1950-luvulle asti. Hamppu kasvaa hyvin pohjoisilla leveysasteilla, mutta nykyisin sitä viljellään Suomessa vain koeluontoisesti. Kuituhampun tuotantoa löytyy esimerkiksi Euroopasta.<sup>210</sup>

Hamppu on uusiutuva luonnonmateriaali, joka kasvaessaan sitoo hiilidioksidia. Hamppubetonin sidosaine on sementin kaltainen, joten sen valmistus kuluttaa energiaa ja aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä. Yhteisvaikutukseltaan hamppubetonia pidetään kuitenkin hiilinegatiivisena.<sup>211</sup>

Hamppubetoni on kevyt materiaali, joka eristää lämpöä ja ääntä. Sitä voidaan käyttää rakennuksessa sekä eristeenä että runkomateriaalina. Tyypillinen seinärakenne koostuu kantavasta puurungosta ja sen ympärille valetusta hamppubetonista. Ulkopinnassa hamppubetoni tulee suojata säältä esim. rapauksella.<sup>212</sup>

TUOTE: TRADICAL HEMCRETE

AINESOSAT: HAMPPUKUITU, KALKKIKIVIPOHJAINEN SIDOSAINE, VESI

UUSIUTUVUUS: OSITTAIN

VALMISTUS

CO<sub>2</sub>-PÄÄSTÖT: 427 G/KG\*

CO<sub>2</sub>, VARASTOITUNUT: 1836 G/KG\*

CO<sub>2</sub>, YHTEENSÄ: -1409 G/KG\*

OMINAISUUDET

TIHEYS: 275 KG/M<sup>3</sup>

LÄMMÖNJOHTAVUUS: 0,06 W/MK

KIERRÄTYS: LANNOITE\*

VALMISTUSMAA: ISO-BRITANNIA

210 Nevalainen, H., Klemola, S.

*Erikoispeletkasvit – viljelytekniikka.*

*Tarkastelussa camelina, hamppu, rypsi,*

*kumina, speltti ja tattari. 2007*

211,212 Bevan, R., Woolley, T.

*Hemp lime construction. A guide to building*

*with hemp lime composites. 2008*

Lime Technology Ltd

\* Bevan, R., Woolley, T. *Hemp lime*

*construction. A guide to building with*

*hemp lime composites. 2008*

CO<sub>2</sub>-arvot on laskettu taulukon

*Summary of carbon sequestration for*

*hemp lime (s.81) pohjalta.*





## LENTOTUHKATIILI

RUNKO

Lentotuhkatiilen raaka-aineena käytetään perinteisen saven sijaan kivihiilen poltossa sivutuotteena syntyvää lentotuhkaa.

Perinteinen tiili valmistetaan savesta ja mahdollisista lisä-aineista. Savi puristetaan muotoonsa, kuivataan ja poltetaan 950–1100 °C:n lämpötilassa tiileksi.<sup>213</sup> Yhdysvaltalainen Cal-Star puolestaan valmistaa tiiliä lentotuhkasta, joka on potso-laaninen aine. Tiilet kovetetaan kuumassa höyryssä, mikä säästää energiaa ja aiheuttaa vähemmän hiilidioksidipäästöjä kuin tavanomainen tiilen valmistusprosessi. Yrityksen käyttämä lentotuhka saadaan paikallisesta hiilivoimalasta ja tiilet pyritään toimittamaan lähialueille.<sup>214</sup>

Lentotuhkatiilien mitat ovat 92 x 57 x 194 mm tai 92 x 92 x 295 mm ja niitä valmistetaan useissa eri väreissä.

TUOTE: CALSTAR FLY ASH BRICK  
 KIERRÄTYSAINES: LENTOTUHKA 40 %  
 ALKUPERÄ: HIILIVOIMALA  
 MUUT AINESOSAT: TÄYTEAINES, VÄRIPIGMENTTI, MUUT AINESOSAT  
 UUSIUTUVUUS: EI

VALMISTUS  
 ENERGIANKULUTUS: < 1,054 MJ/TIILI  
 CO<sub>2</sub>-PÄÄSTÖT: < 45,4 G/TIILI

KIERRÄTYS: UDELLEENKÄYTTÖ, MAARAKENTAMINEN  
 VALMISTUSMAA: YHDYSVALLAT

<sup>213</sup> Siikanen, U. *Rakennusaineoppi*. 1996

<sup>214</sup> Juntunen, J. *Tulevaisuuden ekotalo*. TM Rakennusmaailma (2010)5E

CalStar Products, Inc.



## TERÄS

Teräs on rautametallin ja hiilen seos, jonka pääraaka-aineena käytetään joko luonnon rautamalmia tai kierrätysromua. Suomessa romun osuus rakentamisessa käytetyn teräksen raaka-aineesta on tavallisesti 20–30 %<sup>215</sup>.

Teräksen valmistus kuluttaa paljon energiaa, mutta kierrätysteräksen valmistuksessa energiaa kuluu vain viidesosa malmista valmistettuun teräkseen verrattuna. Masuuniprosessissa syntyviä sivutuotteita, kuten masuuni- ja teräskuonaa, voidaan käyttää maa- ja tierakentamisessa, maanparannuksessa ja teollisuudessa.<sup>216</sup>

Teräs on täysin kierrätettävä materiaali ja lähes kaikki Suomessa käytöstä poistettu teräs saadaan kiertoon. Kierrätysaineesta valmistettaessa yhtä teräskiloa kohden tarvitaan 1,07 kg kierrätysterästä<sup>217</sup>. Teräsosia voidaan myös uudelleenkäyttää rakentamisessa. Uudelleenkäyttön kannalta helposti irrotettavat pulttiliitokset ovat parhaita.

TUOTE: RUUKKI TERÄSPUTKIPALKIT, -PAALUT JA -PROFIILIT  
 KIERRÄTYSAINES: KIERRÄTYSTERÄS 20-30 %  
 MUUT AINESOSAT: TERÄS  
 UUSIUTUVUUS: EI

### VALMISTUS (CRADLE TO GATE)

ENERGIANKULUTUS:	11,9 MJ/KG*
RAAKA-AINEEN KULUTUS:	720 G/KG*
CO <sub>2</sub> -PÄÄSTÖT:	1070 G/KG*
SO <sub>2</sub> -PÄÄSTÖT:	2,3 G/KG*

### OMINAISUUDET

TIHEYS:	7850 KG/M <sup>3</sup> *
---------	--------------------------

KIERRÄTYS: UUSIOKÄYTTÖ, UDELLEENKÄYTTÖ  
 VALMISTUSMAA: SUOMI

## RUNKO

215 Rautaruukki Oyj

216 Seppälä, J., Koskela, S., Palperi, M., Melanen, M. *Metallien jalostus ja ympäristö*. 2000

217 RT Ympäristöseloste Ruukin teräsputkipalkit, -paalut ja -profiilit. Rakennustietosäätiö.

Rautaruukki Oyj

\*RT Ympäristöseloste Ruukin teräsputkipalkit, -paalut ja -profiilit. Rakennustietosäätiö.

KUVAT, YLÄRIVI (Sander Architects): Tämän "ekotalon" teräsrunko on kierrätetty.





## KONTTI

## RUNKO

Käytöstä poistettuja kuljetuskontteja voidaan uudelleenkäyttää rakentamisessa. Teräsrakenteisen kontin kehikko on kantava, seinät ja katto teräslevyä ja lattia vaneria<sup>218</sup>. Kontin rakenne on sellainen, että sitä voidaan aukottaa ja seiniä poistaa.

Uudelleenkäyttö säästää aina energiaa ja raaka-aineita. Kontit ovat standardikokoisia, halpoja ja kestäviä. Niitä on helppo kuljettaa ja myös konteista rakennettavat rakennukset voidaan suunnitella siirrettäviksi.

ISO-standardin mukaisen rahtikontin nimellismitat ovat tavallisesti: pituus 3, 6, 9 tai 12 metriä, leveys 2,4 metriä ja korkeus 2,4 tai 2,6 metriä.

218 Aulanko, H. *Konttivauriot*; Case: Loadmasters Oy. 2010

KUVA (Päivi Veijola): Container City II.



VIEREINEN SIVU (Jan Tännler ja Antje Quiriam, Stéphane Chalmeau): Zurichiin rakennettu Freitagin lippulavamyymälä sekä arkkitehti Christophe Norgyn koteista suunnittelema pientalon laajennusosa.





## PUU

Puu on uusiutuva rakennusmateriaali, joka kasvaessaan sitoo itseensä hiiltä.

Sahatavaran valmistuksen energiankulutus ja hiilidioksidipäästöt ovat muihin rakennusmateriaaleihin verrattuna pieniä. Energianlähteenä hyödynnetään pääosin uusiutuvaa energiaa, kuten valmistuksessa sivutuotteena syntyvää puun kuorta ja puupurua.<sup>219</sup> Tutkimusten mukaan puun käyttö vähentää rakennuksen elinkaaren aikaisia kasviuonekaasupäästöjä noin 3,7 t CO<sub>2</sub>-ekv. käytettyä puutonnia kohden<sup>220</sup>.

Rakennuksen rungon lisäksi sahatavaraa käytetään mm. julkisivuverhouksessa erilaisina paneelina ja rimoituksina. Puun käytössä tulee kuitenkin huomioida palomääräykset.

TUOTE: SAHATAVARA  
AINESOSAT: MÄNTY TAI KUUSI  
UUSIUTUVUUS: KYLLÄ

### VALMISTUS (CRADLE TO GATE)

ENERGIANKULUTUS:	4,3 MJ/KG
RAAKA-AINEEN KULUTUS:	1135 G/KG
CO <sub>2</sub> -PÄÄSTÖT:	65 G/KG
CO <sub>2</sub> , VARASTOITUNUT:	1550 G/KG
CO <sub>2</sub> , YHTEENSÄ:	-1485 G/KG
SO <sub>2</sub> -PÄÄSTÖT:	1,1 G/KG

### OMINAISUUDET

TIHEYS:	366 KG/M <sup>3</sup> (KUUSI) 417 KG/M <sup>3</sup> (MÄNTY)
LÄMMÖNJOHTAVUUS:	0,13 W/MK*

KIERRÄTYS: ENERGIÄKÄYTTÖ, UDELLEENKÄYTTÖ  
VALMISTUSMAA: SUOMI

## RUNKO

219 Puuinfo

220 Sathre, R., O'Connor, J. *A synthesis of Research on Wood products & Greenhouse Impacts*. 2010

*RT-Ympäristöseloste Puuinfo Oy Sahatavara. Rakennustietosäätiö.*

Laskenta kattaa useiden suomalaisten sahojen tuotannon.

**KUVAT** (Bruno Klomfar): Arkkitehtitoimisto Hermann Kaufmannin puuarkkitehtuuria Itävallasta.





## RISTIINLAMINOITU LIIMAPUU

RUNKO

Ristiinlaminoitu liimapuu (CLT) on levymäinen tuote, joka valmistetaan kolmesta tai useammasta liimapuukerroksesta päällekkäin liimaamalla.

Ristiinlaminoitua liimapuuta käytetään kantavissa seinä-, katto- ja välipohjaelementeissä. Ulkoseinässä CLT-levy tulee lämpöeristää ulkopuolelta, mutta sen sisäpinta voidaan jättää näkyviin. CLT-elementti lisää puurakennuksen lämpöä varavaa massaa ja parantaa ääneneristävyyttä.<sup>221</sup>

Ristiinlaminoitua liimapuuta ei vielä valmisteta Suomessa, mutta esimerkiksi Stora Ensolla on Itävallassa tehdas, joka valmistaa CLT-levyä paikallisesta kuusipuusta. Suomessa esim. Mikkelin keskustaan ollaan suunnittelemassa kuusikerroksista puukerrostaloa, jossa on CLT-runko<sup>222</sup>.

TUOTE: STORA ENSO CLT  
AINESOSAT: PUU (KUUSI), LIIMA  
UUSIUTUVUUS: PÄÄOSIN

### VALMISTUS (CRADLE TO GATE)

ENERGIANKULUTUS:	8,0 MJ/KG*
RAAKA-AINEEN KULUTUS:	1715 G/KG*
CO <sub>2</sub> -PÄÄSTÖT:	250 G/KG*
CO <sub>2</sub> , VARASTOITUNUT:	1620 G/KG*
CO <sub>2</sub> , YHTEENSÄ:	-1370 G/KG*
SO <sub>2</sub> -PÄÄSTÖT:	0,064 G/KG*

### OMINAISUUDET

TIHEYS:	430 KG/M <sup>3</sup> *
LÄMMÖNJOHTAVUUS:	0,13 W/MK

KIERRÄTYS: ENERGIÄKÄYTTÖ, UDELLEENKÄYTTÖ  
VALMISTUSMAA: ITÄVALTA

221 Puuinfo

222 Jordan, T. *Arkkitehtisuunnittelun vaikutukset teollisen puurakentamisen kehittämisessä*. 2010

Stora Enso

\*RT-Ympäristöseloste Puuinfo Oy Liimapuu. Rakennustietosäätiö.

Laskenta kattaa suomalaisen liimapuun, liimahirren ja liimatut puutuotteet.

**KUVA, YLEMPI** (Bruno Klomfar): Duplex House Sistrans on Maaars Arkkitehtien suunnittelema passiivitalo ristiinlaminoitusta liimapuusta.



## KARTONKI

Kartongin valmistuksessa käytetään kierrätysraaka-aineita, kuten aaltopahvia, kartonkihylsyjä sekä keräyspaperia ja -kartonkia. Rakennusmateriaalina kartonki on edullinen, kevyt ja helppo rakentaa ja työstää<sup>223</sup>.

Japanilainen arkkitehti Shigeru Ban on kehittänyt hylsykartongin rakennustekniikkaa (paper tube structures, PTS) ja rakentanut kokonaisia rakennuksia kantavalla hylsykartonkirungolla. Hylsykartonki on kierrätysmateriaali, jota käytetään paperi- ja tekstiilikuiturullissa. Rakentamisessa käytetyt ontot kartonkihylsyt käsitellään sään- ja palonkestäviksi. Hylsykartonkirakenteet ovat kierrätettäviä ja helposti siirrettäviä.<sup>224</sup> Rakentamisessa hylsykartonkia on käytetty pääasiassa luonnonkatastrofien jälkeen rakennetuissa tilapäisissä rakennuksissa, mutta se soveltuu myös muuhun rakentamiseen.



223, 224 Open Architecture Network

## RUNKO

**VIEREINEN SIVU** (Shigeru Ban Architects): Paper House 1995, Hualin Temporary Elementary School 2008 sekä Paper Log Houses 1994-2001.





## OLKIRAKENTEET

RUNKO / ERISTE

Olki on maatalouden sivutuote, josta suurin osa päättyy nykyisin jätteeksi.

Olki on uusiutuva materiaali, joka varastoi itseensä hiiltä. Oljen käytöllä rakentamisessa on pitkät perinteet, sitä voidaan hyödyntää mm. kevytsavi- ja olkipaalirakenteissa. Kevytsavi on rakennusmateriaali, joka sekoitetaan savesta ja täyteaineesta, esim. oljesta. Kevytsavimassa voidaan valaa harkoiksi tai kantavan puurungon väliin. Olkipaalisena koostuu päällekkäin pinotuista olkipaaleista, jotka kiinnitetään yhteen rauta- tai puusauvoilla tai muuraamalla. Nykyisin olkea käytetään eristeenä myös esivalmistetuissa, puurunkoisissa elementeissä. Olkipaalin tai elementin pinta täytyy suojata, jolloin yleensä käytetään kalkki-, sementti- tai savilaastia tai puuverhousta. Olkirakenteet voivat olla myös kantavia, mutta tavallisesti olkea käytetään kantavan puurungon välissä.<sup>225</sup>

TUOTE: MODCELL STRAW (PAKSIUS 480 MM)

KIERRÄTYSAINES: OLKI

ALKUPERÄ: MAATALOUS

MUUT AINESOSAT: PUU, KALKKIRAPPAUS, TERÄSKIINNIKKEET

UUSIUTUVUUS: PÄÄOSIN

VALMISTUS

CO<sub>2</sub>, VARASTOITUNUT: 842 G/KG

OMINAISUUDET

U-ARVO: 0,13–0,19 WM<sup>2</sup>/K

KIERRÄTYS: UDELLEENKÄYTTÖ, UUSIOKÄYTTÖ, MAADUTTAMINEN

VALMISTUSMAA: ISO-BRITANNIA

225 Saviyhdistys savirakentamisen edistämiseksi ry.

ModCell

**KUVAT** (Felix Jerusalem ja ModCell): Ylhäällä arkkitehti Felix Jerusalem suunnittelema pientalo, joka on rakennettu puristetusta oljesta. Alhaalla ModCell-paneeli ja BaleHouse koerakennus.

## PUUKUITUERISTE

Puukuitueriste (selluvilla) valmistetaan keräyspaperista tai selluloosasta sekä booripohjaisista palonestokemikaaleista. Keräyspaperin käyttö raaka-aineena vähentää luonnonvarojen kulu- tusta ja valmistusmenetelmä, mekaaninen kuidutus, kuluttaa vähän energiaa.<sup>226</sup>

Puukuitueriste on hydroskooppinen materiaali, jota voi- daan käyttää hengittävässä rakenteissa. Se soveltuu hyvin puu- rakenteisiin samanlaisen kosteuskäyttäytymisen vuoksi<sup>227</sup>. Perinteiset asennustavat ovat puhallus ja ruiskutus, mutta ny- kyisin keräyspaperista valmistettua puukuitueristettä on saa- tavilla myös levyinä.

TUOTE: EKOVIILLA

KIERRÄTYSAINES: SANOMALEHTIKERÄYSPAPERI 80%

ALKUPERÄ: PAPERITEOLLISUUS, YHDYSKUNTAJÄTE

MUUT AINESOSAT: BOORIYHDISTEET

UUSIUTUVUUS: PÄÄOSIN

VALMISTUS (CRADLE TO GATE)

ENERGIANKULUTUS: 3,25 MJ/KG

CO<sub>2</sub>-PÄÄSTÖT: 180 G/KG

OMINAISUUDET

LÄMMÖNJOHTAVUUS: 0,039–0,04 W/MK

TIHEYS: 30–65 KG/M<sup>3</sup>

KIERRÄTYS: UUELLEENKÄYTTÖ, MAANPARANNUS

VALMISTUSMAA: SUOMI



226 Ekovilla Oy

227 Heino, E., Sundholm, P. *Ekota- lon rakennusaineet*. 1995

*RT-Ympäristöseloste Ekovilla Oy Eko- villaeriste*. Rakennustietosäätiö.

## PUUVILLAKUITUERISTE

Tekstiilijätteestä ja tekstiiliteollisuuden leikkuutähteenä syn- tyvästä puuvillakuidusta voidaan valmistaa eristettä. Puuvilla- kuitueriste on pehmeää eristevillaa, joka hengittää eikä ärsytä ihoa. Sen valmistus kuluttaa vain vähän energiaa. Puuvilla on uusiutuva luonnonmateriaali ja käytön jälkeen puuvillakuitu- eriste voidaan kierrättää takaisin eristeen raaka-aineeksi.<sup>228</sup>

TUOTE: ULTRA TOUCH DENIM INSULATION

KIERRÄTYSAINES: PUUVILLAKUITU (DENIM) 80%

ALKUPERÄ: TEKSTIILIJÄTE

MUUT AINESOSAT: BOORI, AMMONIUMSULFAATTI, SIDOSKUITU

UUSIUTUVUUS: PÄÄOSIN

KIERRÄTYS: UUSIOKÄYTTÖ

VALMISTUSMAA: YHDYSVALLAT



228 Bonded Logic

Bonded Logic



## MINERAALIVILLA, UUELLEENKÄYTETTY

Käytettyä mineraalivillaa on mahdollista uudelleenkäyttää samassa tai eri rakennuskohteessa. Puhallusvilla poistetaan ime-mällä ja siirretään puhallustekniikalla toiseen rakennuskoh-teeseen. Käytetyistä mineraalivillalevyistä voidaan valmistaa puhallusvillaa mekaanisesti kuiduttamalla, mikä kuluttaa vain vähän energiaa. Käytetystä mineraalivillasta valmistetun puhalluseristeen alkuperän tulee olla tiedossa. Rakennusteollisuus kierrättää myös mineraalivillan valmistuksessa syntyneet jäte-palat puhallusvillan raaka-aineeksi.<sup>229</sup>

229 Eko-Expert KH Oy

Eko-Expert KH Oy

TUOTE: EKO-EXPERT

KIERRÄTYSAINES: KIVIVILLA TAI LASIVILLA

ALKUPERÄ: RAKENTAMINEN

UUSIUTUVUUS: EI

OMINAISUUDET

LÄMMÖNJOHTAVUUS: 0,037–0,041 W/MK

TIHEYS: 30–40 KG/M<sup>3</sup>

KIERRÄTYS: UUELLEENKÄYTTÖ

VALMISTUSMAA: SUOMI

## LASIVILLA

Lasivillan raaka-aineet ovat kvartsihiekkä, sooda ja kalkkikivi. Valmistuksessa hyödynnetään myös keräyslasiä ja teollisuudessa syntyvää tasolasisirua. Tavallisesti uusioraaka-aineen osuus on noin 60–80 %<sup>230</sup>.

Lasivillan valmistusprosessissa raaka-aineet sulatetaan ja kuidutetaan korkeassa lämpötilassa. Tämän jälkeen kuituihin lisätään sideaine ja villamatto kypsytetään uunissa lopulliseen muotoonsa. Lasivillan valmistus kuluttaa paljon energiaa ja aiheuttaa päästöjä. Kierrätysraaka-aineen käyttö säästää kuitenkin neitseellisiä raaka-aineita ja pienentää valmistusprosessin energiankulutusta ja hiilidioksidipäästöjä.<sup>231</sup>

TUOTE: ISOVER ERISTEVILLALEVY

KIERRÄTYSAINES: LASISIRU &gt;60%

ALKUPERÄ: YHDYSKUNTAJÄTE, LASITEOLLISUUS

MUUT AINESOSAT: KVARTSIHIEKKA, SOODA, KALKKIKIVI, DOLOMIITTI, MAASÄLPÄ JA BOORIMINERAALI\*

UUSIUTUVUUS: EI

VALMISTUS (CRADLE TO GATE)

ENERGIANKULUTUS: 20,4 MJ/KG\*

CO<sub>2</sub>-PÄÄSTÖT: 760 G/KG\*

OMINAISUUDET

LÄMMÖNJOHTAVUUS: 0,032–0,037 W/MK

TIHEYS: 15–30 KG/M<sup>3</sup>

KIERRÄTYS: UUSIOKÄYTTÖ

VALMISTUSMAA: SUOMI

230 Saint-Gobain Rakennustuot-teet Oy

231 Vares, S., Lehtinen, J. *Lasipak-kausten keräysjärjestelmän tehostami-nen ja lasin hyötykäytön ympäristövaikutukset*. 2007

Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy

\* Vares, S., Lehtinen, J. *Lasipakkaus-ten keräysjärjestelmän tehostaminen ja lasin hyötykäytön ympäristövaikutuk-set*. 2007

## ERISTE

232, 233 Ritola, J., Vares, S. *Keräyslasin hyötykäyttö vaahtolasituotteina.* 2008

Uusioaines Oy

\* Ritola, J., Vares, S. *Keräyslasin hyötykäyttö vaahtolasituotteina.* 2008



## VAAHTOLASI

Vaahtolasi on lasimurskasta paisuttamalla valmistettu eristemateriaali, jonka raaka-aineena käytetään kierrätyslasia. Vaahtolasin valmistus tapahtuu korkeassa lämpötilassa ja kuluttaa paljon energiaa. Etuna on se, että vaahtolasin raaka-aineena voidaan käyttää myös sellaista lasijätettä, joka tavallisesti jää hyödyntämättä, kuten tasolasia, kuva- ja loisteputkia ja tuulilasia.<sup>232</sup>

Suomessa valmistetaan vaahtolasimursketta, jota käytetään tierakenteissa sekä rakennusten lämpö- ja routaeristeenä. Vaahtolasista voidaan valmistaa myös eristelevyä ja Norjassa on tutkittu ruiskutettavan vaahtolasin valmistusta. Lisäksi vaahtolasia voidaan käyttää eristävän kevytbetonin kiviaineena.<sup>233</sup>

TUOTE: FOAMIT VAAHTOLASI  
KIERRÄTYSAINES: KIERRÄTYSLASI  
ALKUPERÄ: YHDYSKUNTAJÄTE  
MUUT AINESOSAT: KIPSI TAI KALKKIKIVI\*  
UUSIUTUVUUS: EI

VALMISTUS (CRADLE TO GATE)  
ENERGIANKULUTUS: 3,8-8,3 MJ/KG\*

OMINAISUUDET  
LÄMMÖNJOHTAVUUS: 0,1 W/MK  
TIHEYS: <200 KG/M<sup>3</sup>

KIERRÄTYS: UDELLEENKÄYTTÖ, TIERAKENTAMINEN  
VALMISTUSMAA: SUOMI

## POLYESTERIKUITU

Kierrätetystä muovista voidaan valmistaa villaeristettä. Eristemateriaalina käytetään polyesterikuitua, joka raaka-ainetta ovat mm. kierrätetyt muovipullot. Polyesterikuidut sekoitetaan puhallustekniikalla ja sidotaan toisiinsa lämmöllä, joten tuotantoprosessissa ei tarvita kemiallisia sideaineita. Eristemateriaalina polyesterikuitu on puhdas ja pölyämätön eikä siitä käytön aikana irtoa sisäilmaan haitallisia hiukkasia.<sup>234</sup>

TUOTE: EWONAWOOL  
KIERRÄTYSAINES: MUOVIPULLO  
ALKUPERÄ: YHDYSKUNTAJÄTE  
UUSIUTUVUUS: EI

OMINAISUUDET  
LÄMMÖNJOHTAVUUS: 0,04 W/MK

KIERRÄTYS: ENERGIÄKÄYTTÖ  
VALMISTUSMAA: SUOMI



234 Ewona Finland Oy

Ewona Finland Oy

## ERISTE



## ERISTE

235 Ecovative Design LLC

Ecovative Design LLC

## ORGAANINEN ERISTE

Orgaaninen eristemateriaali koostuu uusiutuvista raaka-aineista, orgaanisesta maatalousjätteestä ja sienirihmastosta. Sen ”valmistus” tapahtuu itse asiassa kasvattamalla. Orgaaninen jättemateriaali käsitellään sienellä, joka kasvaessaan sitoo materiaalin jäykkään muotoon. Valmistuksen energiankulutusta voidaan pitää pienenä, sillä eristeen kasvatusta vaatii ainoastaan pimeyttä ja lämpöä. Valmiin eristelevyn biologinen aktiivisuus pysäytetään, joten se ei enää jatka kasvua rakennuksen rakenteissa. Käytöstä poistettu tuote voidaan hävittää kompostoinnalla. Tällä hetkellä orgaaninen eriste on kuitenkin vielä kehitteillä eikä sitä ole saatavilla markkinoilla.<sup>235</sup>

TUOTE: GREENSULATE

KIERRÄTYSAINES: SIEMENTEN KUORET (MM. RIISI), ORGAANINEN JÄTE

ALKUPERÄ: MAATALOUS

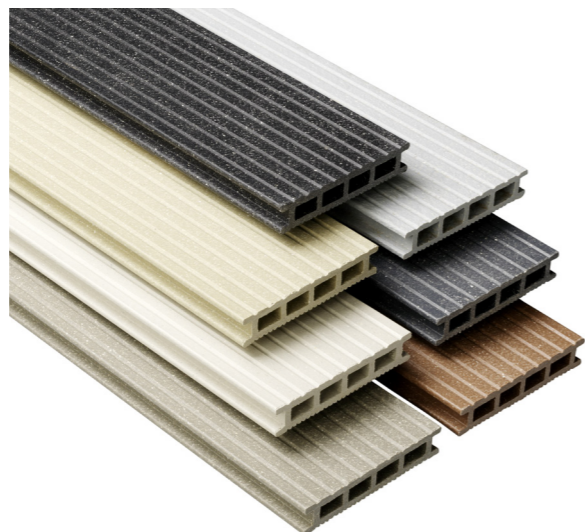
MUUT AINESOSAT: SIENIRIHMASTO

UUSIUTUVUUS: KYLLÄ

KIERRÄTYS: MAADUTTAMINEN

VALMISTUSMAA: YHDYSVALLAT





## PUUMUOVIKOMPOSIITTI

### VERHOUS & KATE

Puumuovikomposiitti (wood plastic compound, WPC) on puukuidun ja muovin yhdistelmä. Sen raaka-aineena voidaan käyttää mm. jätetuuta, kierrätyspaperia ja metsäteollisuuden sivutuotteita sekä kierrätysmuovia. Puukuitujen osuus raaka-aineesta vaihtelee 20–90 %:n välillä.<sup>236</sup> Puun ja muovin suhde vaikuttaa komposiitin ominaisuuksiin, muovi tuo kestävyyttä ja helppohoitoisuutta ja puu jäykkyyttä ja lämmön tuntua.<sup>237</sup>

Puumuovikomposiitista voidaan valmistaa mm. terassilautoja, lattialaattoja ja julkisivupaneeleita. Ominaisuuksiltaan se korvaa mm. kyllästettyä puuta ja lasikuitua. Puumuovikomposiitin valmistusprosessi on mekaaninen. Arvion mukaan se aiheuttaa kuitenkin enemmän kasvihuonekaasupäästöjä kuin painekyllästetyn puun valmistus. Puumuovikomposiitin käytöllä vältetään kuitenkin kyllästysaineen haitalliset vaikutukset.<sup>238</sup>

TUOTE: UPM PROFI FACADE

KIERRÄTYSAINES: MUOVIPOLYMEERIT JA PUUPERÄISET KUIDUT

ALKUPERÄ: PAPERITEOLLISUUS

MUUT AINESOSAT: POLYPROPEENIMUOVI, PUUPERÄINEN KUITU

UUSIUTUVUUS: OSITTAIN

VALMISTUS

CO<sub>2</sub>-EKV. -PÄÄSTÖT: >129 G/KG\*

KIERRÄTYS: ENERGIÄKÄYTTÖ, UUSIOKÄYTTÖ

VALMISTUSMAA: SUOMI

236, 238 Myllymaa, T., Tohka, A., Dahlbo, H., Tenhunen, J. *Ympäristönäkökulmat jätteen hyödyntämisessä energiana ja materiaalina. Valtakunnallinen jättesuunnitelma vuoteen 2016. Taustaselvitys osa III.* 2006

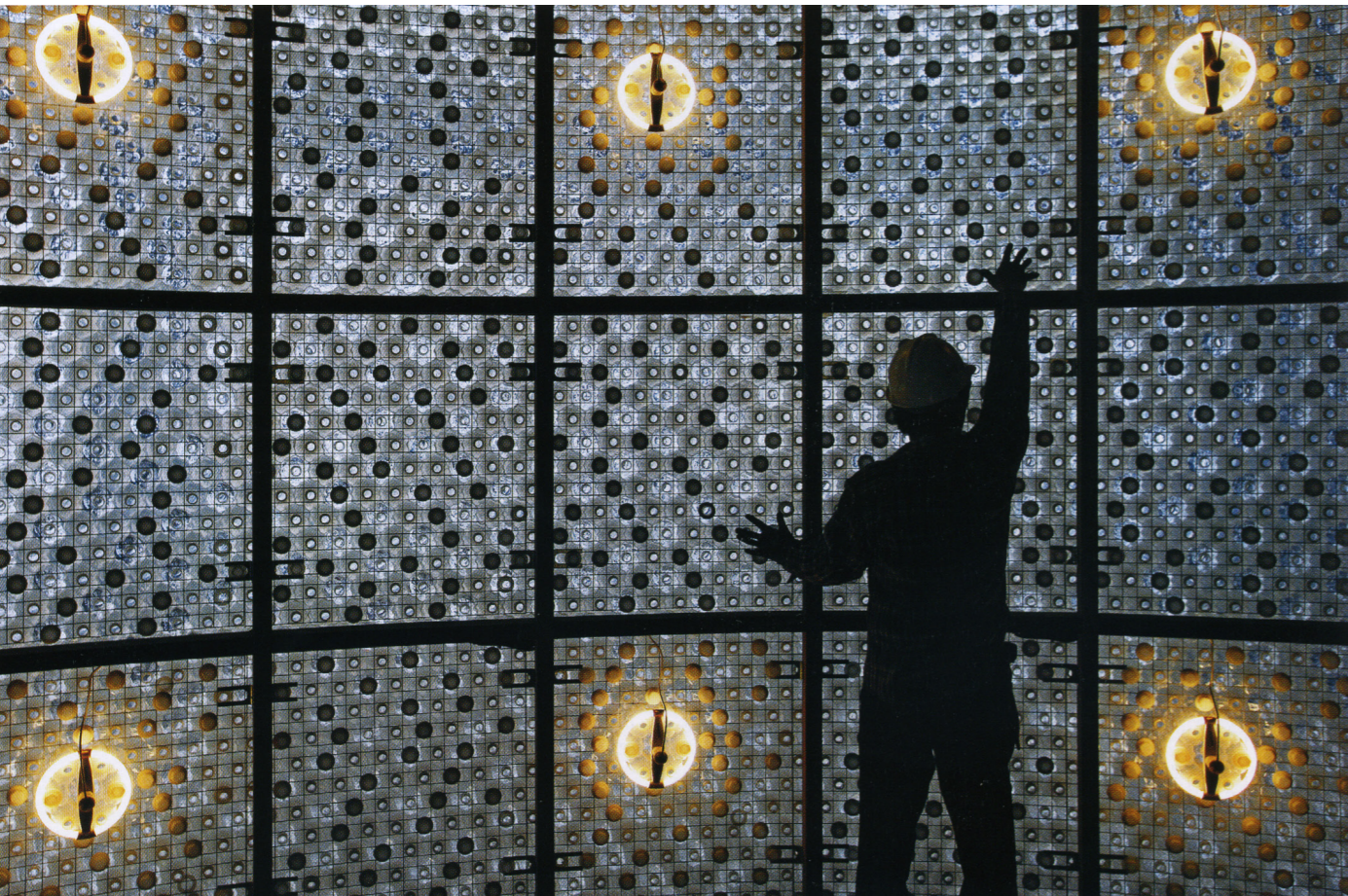
237 UPM

UPM

\* Myllymaa, T., Tohka, A., Dahlbo, H., Tenhunen, J. *Ympäristönäkökulmat jätteen hyödyntämisessä energiana ja materiaalina. Valtakunnallinen jättesuunnitelma vuoteen 2016. Taustaselvitys osa III.* 2006

**KUVAT** (UPM ja Lucas Schifres): Puumuovikomposiitista valmistettu Artek paviljonki, Kirnu paviljongin julkisivu sekä terassilautoja.





## UUSIOMUOVI

Muovijätettä voidaan kierrättää muovin raaka-aineeksi joko mekaanisesti sulattamalla tai kemiallisesti erottamalla. Kierrätysraaka-aine korvaa raakaöljyn käyttöä ja vähentää huomattavasti muovin valmistuksesta aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä.<sup>239</sup>

Kierrätysmuovista voidaan valmistaa monenlaisia rakennusosia, esimerkiksi muoviprofiilia (Muovix Oy) ja putkia (Uusiomateriaalit Recycling Oy). Ulkomailla kierrätysmuovia, kuten käytettyjä muovipulloja ja CD-levyjä, on käytetty näyttävästi julkisivuverhouksessa ja seinärakenteissa. Esimerkiksi Taipeihin vuonna 2010 rakennetun EcoARK paviljongin julkisivuverhouksessa on käytetty 1,5 miljoonaa kierrätyspulloa. Julkisivupaneeli koostuu kennomaisista rakennuspalikoista, jotka on tehty kierrätysmuovipulloista sulattamalla. Muovikennojen sisällä oleva ilma toimii eristeenä, ja läpinäkyvän julkisivurakenteen ilmettä voidaan muokata LED-valoilla.<sup>240</sup>

TUOTE: POLLI-BRICK

KIERRÄTYSAINES: PET-PULLO 100 %

ALKUPERÄ: YHDYSKUNTAJÄTE

UUSIUTUVUUS: EI

VALMISTUS

CO<sub>2</sub>-PÄÄSTÖT:

167 G/KG\*

KIERRÄTYS: UUSIOKÄYTTÖ

VALMISTUSMAA: TAIWAN

## VERHOUS & KATE

239 Myllymaa, T., Tohka, A., Dahlbo, H., Tenhunen, J. *Ympäristönäkökulmat jätteen hyödyntämisessä energiana ja materiaalina. Valtakunnallinen jättesuunnitelma vuoteen 2016. Taustaselvitys osa III.* 2006

240 Miniwiz Sustainable Energy Development Co., Ltd.

Miniwiz Sustainable Energy Development Co., Ltd

\* Mroueh, U.-M., Ajanko-Laurikko, S., Arnold, M., Laiho, A., Wihersaari, M., Savolainen, I., Dahlbo, H., Korhonen, M.-R. *Uusien jätteenkäsitteilykonseptien mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä.* 2007

Annettu tieto koskee muoviprofiilin valmistusta.

KUVAT: EcoARK paviljonki ja POLLI-Brick.





## UUSIOLASI

Raaka-aineena lasia voidaan kierrättää teoriassa rajattomasti. Lasin valmistuksessa jokainen tonni kierrätyslasia vähentää luonnon raaka-aineiden kulutusta yli 1,2 tonnia. Lasin valmistus kuluttaa paljon energiaa, mutta kun raaka-aineeseen lisätään 10 % kierrätyslasia, vähenee valmistuksen energiankulutus noin 5 %. Kierrätyslasi ei myöskään sisällä karbonaatteja, jotka hajotessaan aiheuttavat lasin valmistusprosessissa hiilidioksidipäästöjä.<sup>241</sup> Rakentamisessa uusiolasia käytetään mm. julkisivu- ja lattialaatoissa, keittiötasoissa ja pihakivissä.

TUOTE: RECYCLED GLASS SHEET

KIERRÄTYSAINES: LASI 100 %

ALKUPERÄ: YHDYSKUNTAJÄTE, LASITEOLLISUUS

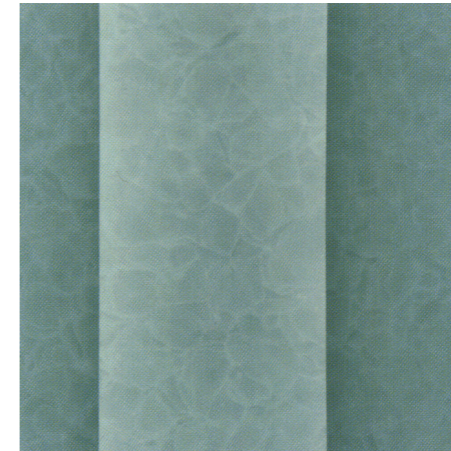
UUSIUTUVUUS: EI

VALMISTUS

CO<sub>2</sub>-PÄÄSTÖT: 349 G/KG\*

KIERRÄTYS: UUSIOKÄYTTÖ

VALMISTUSMAA: ISO-BRITANNIA



## VERHOUS & KATE

241 Uusioaines Oy

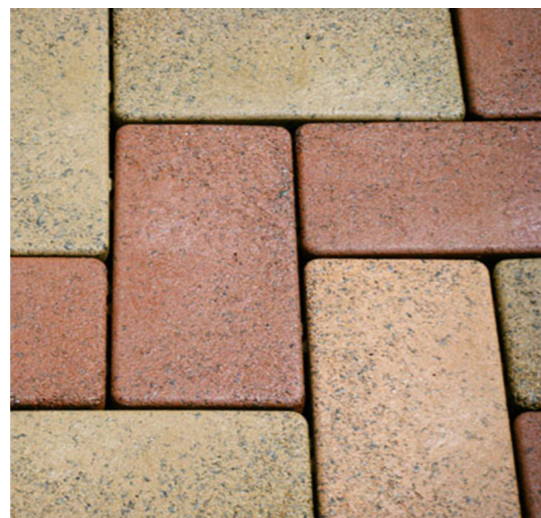
The Greenhouse Effect Ltd

\* Mroueh, U.-M., Ajanko-Laurikko, S., Arnold, M., Laiho, A., Wihersaari, M., Savolainen, I., Dahlbo, H., Korhonen, M.-R. *Uusien jätteenkäsittelykonseptien mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä.* 2007

Annettu tieto koskee uusiolasia, jossa 59 % kierrätyslasia.

KUVAT: Folkwang Museum Essenin julkisivuverhouk on uusiolasia.





## KUMI

Kumi on elastinen materiaali, jota saadaan sekä luonnosta kumipuusta että synteettisesti valmistamalla. Rakentamisessa kumia on perinteisesti käytetty mm. saumanauhoissa ja kumimatoissa. Kierrätyksen ja ympäristötietoisuuden lisääntyessä kumia, erityisesti romurenkaita, on kuitenkin alettu uudelleenkäyttää rakentamisessa, esimerkiksi kierrätysmateriaalista rakennetuista ja omavaraisissa Earthship-taloissa<sup>242</sup>. Lisäksi kierrätettyjä renkaita voidaan uusiokäyttää raaka-aineena erilaisissa rakennustuotteissa, kuten kateissa, komposiittimateriaaleissa ja lattiapäällysteissä.

## VERHOUS & KATE

242 Earthship Biorecture, LLC



**KUVA** (Minarc): RUBBiSH-allas on valmistettu kumista, joka on peräisin vanhoista autonrenkaista.

**VIEREINEN SIVU** (Apokalyps Lapotek, Global Environmental Manufacturing ja VAST Enterprises): Käytetyistä renkaista valmistettu lattiapäällyste, vesikate ja pihakivi.

## METALLIKATTEET

Metalliohutlevystä muovattuja katteita käytetään rakennusten vesikatteena ja metallikasetteja julkisivuverhouksessa. Metallikatteet ja -kasetit valmistetaan tavallisesti teräksestä ja suojataan sinkillä, mutta katemateriaalina voidaan käyttää myös esimerkiksi alumiinia, kuparia tai ruostumatonta terästä. Metallien, erityisesti alumiinin, valmistus on energiantensiivistä ja aiheuttaa päästöjä ympäristöön<sup>243</sup>. Toisaalta metallikatteissa ja -kaseteissa käytetään vain vähän materiaalia ja niitä voidaan valmistaa kierrätysraaka-aineista. Markkinoilla on jopa tuotteita, joiden raaka-aineista 95 % on kierrätysmetallia<sup>244</sup>.

243 Lappalainen, M. *Energia- ja ekologiakäsikirja. Suunnittelu ja rakentaminen*. 2010

244 Millennium Tiles™ LLC.



## VIHERKATTO

Viherkatto on elävällä kasvillisuudella peitetty rakenne, jonka hyödyt ympäristölle ovat moninaiset. Viherkatot mm. imevät itseensä sadevettä, parantavat rakennuksen lämmöneristävyyttä ja niiden kasvillisuus varastoi hiiltä, puhdistaa ilmaa ja lisää viihtyisyyttä. Suomessa viherkattoja on toistaiseksi rakennettu vielä vähän ja ne mielletään erityisesti ”ekoarkkitehtuurille” tunnusomaisina.

Viherkaton rakenne muodostuu periaatteessa kolmesta kerroksesta: kasvialustasta, salaojakerroksesta ja vedeneristyksestä<sup>245</sup>. Rakenteissa voidaan käyttää myös uusiomateriaaleja, kuten muoviva ja terästä. Esimerkiksi GreenGrid® viherkattojärjestelmän kasvimoduulit on valmistettu 60-prosenttisesta kierrätysmuovista.

245 Lavento, D. *Viherkatto on kestävä ja ekologinen*. 2010





## RAKENNUSLEVY

246 Knauf Oy

247 Siikanen, U. *Rakennusaineoppi*. 1996

248 Lappalainen, M. *Energia- ja ekologiakäsikirja. Suunnittelu ja rakentaminen*. 2010

249 Knauf Oy

RT-Ympäristöseloste Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy Kipsilevyt. Rakennustietosäätiö.



## KIPSILEVY

Kipsilevyn raaka-aineena voidaan käyttää luonnonkipsikiveä, voimalaitoksissa sivutuotteena syntyvää teollisuuskipsiä sekä rakennustyömailta ja talotehtailta ylijäänyttä puhdasta kipsilevyjätettä. Luonnonkipsikiveä ei esiinny Suomessa, vaan se joudutaan tuomaan Etelä-Euroopasta.<sup>246</sup> Tehtaalla raaka kipsikivi jauhetaan, kalsinoidaan kuumentamalla ja sen joukkoon sekoitetaan kuiva-aineita, vettä sekä muita tuotekohtaisia raaka-aineita.<sup>247</sup> Massa valetaan kahden kartonkilevyn väliin, kovetetaan levyksi ja kuivataan lopuksi uunissa. Kipsilevyn valmistus kuluttaa puupohjaisia levyjä vähemmän energiaa<sup>248</sup>.

Rakentamisessa kipsilevyä käytetään sisäverhouksessa ääntä ja paloa eristämään. Kipsilevyssä käytetty kartonki valmistetaan kierrätyspahvista tai -paperista. Ainoastaan puhdas kipsilevyjäte voidaan kierrättää, muuten käytetyt kipsilevyt päätyvät kaatopaikalle.<sup>249</sup>

TUOTE: GYPROC

KIERRÄTYSAINES: KIPSI, KARTONKI

ALKUPERÄ: TEOLLISUUS, RAKENTAMINEN

MUUT AINESOSAT: KIPSI, VESI, LISÄAINEET

UUSIUTUVUUS: EI

VALMISTUS (CRADLE TO GATE)

ENERGIANKULUTUS: 6,4 MJ/KG

RAAKA-AINEEN KULUTUS: 1181 G/KG

CO<sub>2</sub>-PÄÄSTÖT: 360 G/KG

SO<sub>2</sub>-PÄÄSTÖT: 1,5 G/KG

OMINAISUUDET

TIHEYS: 1000 KG/M<sup>3</sup>

KIERRÄTYS: UUSIOKÄYTTÖ

VALMISTUSMAA: SUOMI

## LENTOTUHKALEVY

Lentotuhkalevy valmistetaan pääosin teollisuusjätteestä (mm. lentotuhka, masuunikuona), sen muut raaka-aineet ovat täyteaineet ja vesi. Valmistusprosessi ei vaadi kipsin kalsinointia, ja valmistajan mukaan lentotuhkalevyn valmistus kuluttaa 80 % vähemmän energiaa ja aiheuttaa 80 % vähemmän hiilidioksidipäästöjä kuin tavallisen kipsilevyn valmistus. Lentotuhkalevy ei sisällä kipsiä, mutta on käyttöominaisuuksiltaan sen kaltainen.<sup>250</sup> Tällä hetkellä näyttää kuitenkin siltä, että lentotuhkalevyn valmistuksesta on jostain syystä luovuttu.

250 Serious Energy Inc.



## PUUPOHJAISET RAKENNUSLEVYT

Puupohjaisten rakennuslevyjen, mm. lastulevyn ja puukuitulevyn, raaka-aineena käytetään yleensä puunjalostuksen sivutuotteita. Lastulevy valmistetaan puulastusta ja liimasta, puukuitulevy puristamalla puuhakkeesta ja sahanpurusta sekä pienestä määrästä liimaa. Puupohjaisten levyjen haittoja ovat niiden sisältämät liimat, jotka voivat aiheuttaa päästöjä sisäilmaan.<sup>251</sup>

Toisin kuin monissa muissa Euroopan maissa Suomessa lastulevyn ja kuitulevyn valmistuksessa ei hyödynnetä kierrätettyä jättepuuta. Valmistusteknisesti tämä olisi mahdollista, mutta esteenä kierrätykselle nähdään keräämisen kalleus ja vaatimukset raaka-aineen puhtaudesta. Käytetyt kuitulevyt hyödynnetään yleensä energiana.<sup>252</sup> Myös liimoja sisältäviä lastulevyjä voidaan polttaa pieninä määrinä muun puujätteen joukossa.



251 Lappalainen, M. *Energia- ja ekologiakäsikirja. Suunnittelu ja rakentaminen*. 2010

252 Pirhonen, I., Heräjärvi, H., Saukkola, P., Rätty, T., Verkasalo, E. *Puutuotteiden kierrätys. Finnish Wood Research Oy:n osarahoittama esiselvityshankkeen loppuraportti*. 2011

## MUOVIKOMPOSIITTILEVY

Muovikomposiittilevyjen raaka-aineena käytetään käytöstä poistettuja mattoja, jotka tavallisesti päätyvät kaatopaikoille. Muovikomposiitti valmistetaan mattojen muovikuiduista ja sideaineena toimivasta hartsista. Rakennuslevyjen lisäksi samasta materiaalista valmistetaan myös mm. lattiapäällystettä, laiturin kansia ja autotallin ovia.<sup>253</sup>

253 Nyloboard LLC.





## KERAAMISET LAATAT

Keraamiset laatat ovat savipohjaisia tuotteita, jotka valmistetaan keraamisella polttoprosessilla. Niiden raaka-aineet, kuten savi ja hiekka, ovat uusiutumattomia, mutta hyvin yleisiä luonnonvaroja. Keraamiset laatat valmistetaan korkeassa lämpötilassa, ja yleensä uunien polttoaineena käytetään neste- tai maakaasua. Valmistusprosessista aiheutuu hiukkas- ja kasvihuonekaasupäästöjä. Tavallisesti keraamisten laattojen raaka-aineesta noin 10 % on valmistuksessa syntynyttä prosessijätettä, mutta myös keramiikkajätettä on mahdollista hyödyntää raaka-aineena.<sup>254</sup> Käytännössä markkinoilla olevista seinä- ja lattia-laatoissa eniten kierrätysraaka-ainetta käytetään lasimosaiikkilaatoissa.

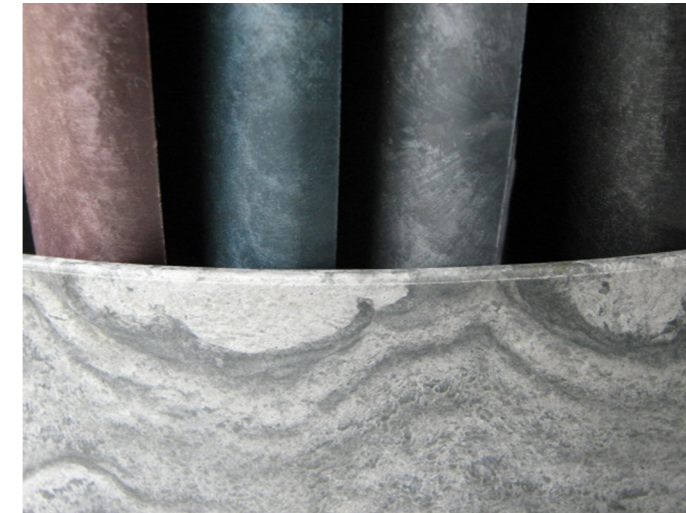
254 Kemppainen, P. (toim.). *Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) Suomen keraamisessa teollisuudessa*. 2004



## VUOLUKIVIKOMPOSIITTI

Vuolukivikomposiitti on Suomessa vuosina 2008–2009 kehitelty materiaali, joka valmistetaan pääosin kierrätysraaka-aineista. Sen valmistuksessa käytetään vuolukiviunien tuotannossa sivutuotteena syntyvää vuolukivijauhoa ja kierrätettyjä muovipulloja. Rakentamisessa vuolukivikomposiittia voidaan käyttää pintamateriaalina seinissä ja lattioissa. Sen etuja ovat hyvä palonkestävyys ja akustiset ominaisuudet.<sup>255</sup>

255 *Palamaton vuolukivikomposiitti syntyy uusiomateriaaleista*. Muovix Oy, 2008



## MASSIIVIMUOVI

Massiivimuovi on komposiittimateriaali, josta voidaan valmistaa valamalla erilaisia tasoja ja altaita. Massiivimuovituotteissa voidaan käyttää myös erilaisia kierrätysraaka-aineita, esimerkiksi Durat sisältää murskattua kierrätysmuovia noin 30 % ja Alkemi-acrylic yhteensä 91 % kierrätettyä akryyliä, massiivimuovijätettä ja alumiinia. Alumiinin käyttö ympäristöystävällisenä sisustusmateriaalina kuulostaa epäilyttävältä, mutta valmistajan mukaan tuotteessa käytetty alumiinilastu on niin hienojakoista, ettei se enää kestä sulatusta alumiinin raaka-aineeksi.





## 6 ESIMERKKEJÄ RAKENTAMISESTA

Suurin osa rakennuksessa käytetyistä materiaaleista on sen pinnan alla piilossa, mutta juuri nämä piilotetut rakenteet ovat määrällisesti merkittävimpiä. Edellisessä osiossa esiteltyjen uusiomateriaalien kohdalla on kuvin havainnollistettu niiden käyttöä erilaisissa rakennuskohteissa, yleensä erilaisissa pintarakenteissa. Rakennuksen runkorakenteisiin soveltuvia uusiomateriaaleja on kuitenkin vaikeampi löytää, vaikka eristeiden kohdalla uusiomateriaalien valikoima onkin hyvä. Seuraavat esimerkkikohteet on valittu erityisesti kiinnostavien runkomateriaalien perusteella, eivätkä ne valitettavasti ole uusiomateriaaleja. Tarkoituksena on kuitenkin esitellä erilaisia, ekologisempia vaihtoehtoja tavanomaiselle betonielementtirakentamiselle. Valitut esimerkit edustavat rakennusosien uudelleenkäyttöä (Big Dig House), betonirakentamisen luonnonmukaisempaa sovellusta (Clay Fields) ja puurakentamista (Stadhaus Murray Grove). Kohteissa käytettyjä ratkaisuja voidaan soveltaa sekä uudis- että korjausrakentamisessa.

Luonnonmukaisen rakentamisen koeprojekteissa suositetaan usein orgaanisia muotoja, harkittua viimeistelemättömyyttä ja rakentaminen on hyvin materiaalilähtöistä. Teollinen asuntotuotanto kuitenkin välttää tällaista estetiikka, sillä sen ei uskota miellyttävän tavallista kuluttajaa. Valitut esimerkkikohteet havainnollistavat sitä, että uudet rakennusmateriaalit soveltuvat myös teolliseen rakentamiseen ja voivat rikastuttaa rakennusten estetiikkaa hienovaraisesti.





## Clay Fields

Riches Hawley Mikhail Architects  
Suffolk, Iso-Britannia, 2008  
26 asuntoa, 1 830 m<sup>2</sup>.

Clay Fields koostuu 26 vuokra-asunnosta, jotka sijaitsevat Englannin maaseudulla. Rakennusten suunnittelussa on kiinnitetty erityistä huomiota niiden ekologisuuteen ja arkkitehtuuriin.

## Ekologisuus

Kohteen ekologisuuteen ja energiatehokkuuteen vaikuttavat ratkaisut ovat ennen kaikkea rakenteellisia, mahdollisimman huomaamattomia ja toiminnallisesti yksinkertaisia. Rakennukset on suunnattu etelään ja sijoitettu siten, etteivät ne varjosta toisiaan. Passiivista aurinkoenergiaa saadaan hyödynnettyä suurten ikkunoiden avulla. Rakennuksissa on koneellinen ilmanvaihto ja lämmön talteenotto. Sadevettä hyödynnetään kastelussa ja WC:n huuhteluvetenä. Rakennuksilla on myös yhteinen lämmitysjärjestelmä, joka tuottaa lämpöä paikallisesta puuhakkeesta. Rakennusten runko on rakennettu puusta ja eristeenä on käytetty ruiskutettua Hemcrete hamppubetonia. Hamppubetonilla vaipasta on saatu tavallista paremmin eristetty ja ilmatiivis. Rakennusmateriaaleissa on pyritty luonnonmukaisuuteen ja rakennukset varastoivatkin laskelmien mukaan yhteensä 65 tonnia hiilidioksidia. Kohteen hiilijalanjäljen on arvioitu olevan 60 % tavallista pienempi.<sup>256</sup>

## Estetiikka

Clay Fieldsissä uudisrakennusten arkkitehtuuri on haluttu sovittaa ympäristöön, maaseudun latoihin ja paikallisiin asuinrakennuksiin<sup>257</sup>. Rakennusten yksinkertainen muoto sopii myös ekologisen rakentamisen periaatteisiin, mutta epäsymmetriset katot ja ikkunoiden sijoittelu tuovat rakennusten ilmeeseen monimuotoisuutta. Vähäeleinen arkkitehtuuri ilmentää hyvin rakennusten toiminnallista yksinkertaisuutta ja edustaa ”eko-

256, 257 Bennett, D. *Sustainable Concrete Architecture*. 2010

**KUVA** (Riches Hawley Mikhail Architects): Sisäkuva asunnon porraskäytävästä.



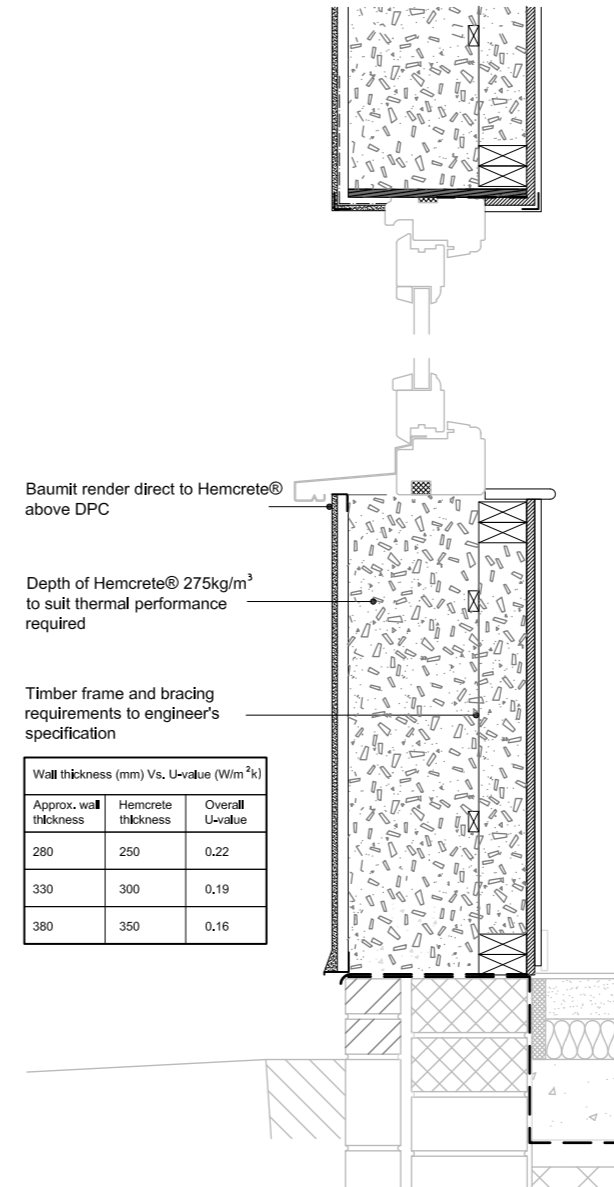
minimalismia<sup>258</sup>. Rakennusten pintamateriaalit, kuten setripuupaneeli ja kalkkilaasti, ovat luonnonmukaisia ja väritykseltään maanläheisiä. Sisätiloissa kalkkirapattu seinäpinta ei ulkonäöltään juurikaan eroa tavanomaisesta, mutta toisaalta rappauksella seinään on mahdollista luoda elävämpi pinta kuin synteettisellä maalilla.

### Soveltaminen

Hamppubetonirakentamista ei tietävästi vielä ole kokeiltu Suomessa. Ilmastomme soveltuu kuitenkin hyvin kuituhampun viljelyyn ja koeluontoisesti viljelyä onkin jo tehty. Hampulla olisi siis edellytyksiä myös paikalliseksi rakennusmateriaaliksi. Hampun imago kärsii yhä siitä, että se helposti liitetään huumausaineisiin, mutta kenties ympäristötietoisuuden lisääntyminen parantaa myös hampun hyväksyttävyyttä. Suurempi hidaste hamppubetonin käytölle taitaa kuitenkin olla rakennusteollisuus, joka haluaa pitäytyä tehokkaiksi todetuissa ratkaisuissa ja vierastaa epäluotettaviksi koettuja ”ekomateriaaleja”. Hamppubetonin käyttö rakentamisessa voisi kuitenkin herättää mielenkiintoa myös Suomessa, tarvitaan vain koerakentamista ja ennakkoluulotonta asennetta.

Suomessa rakennusmääräysten edellyttämät rakenteiden u-arvot on mahdollista saavuttaa myös hamppubetonirakenteilla. Esimerkiksi ulkoseinän U-arvo 0,16 edellyttää noin 350 mm paksua hamppubetonirakennetta.<sup>259</sup> Energiatehokkuusvaatimusten kasvaessa nykypäivänä yleensä keskitytään saamaan aikaiseksi mahdollisimman ohut mutta eristävä rakenne. Rakenteiden paksuuden vertailussa hamppubetoni jää helposti häviölle, mutta toisaalta asukkaat voivat kokea massiiviset seinät ja leveät ikkunalaudat lisäarvona.

KUVAT (Nick Kane ja Lime Technology Ltd): Clay Fields ja tyypillinen ulkoseinärakenne hamppubetonista.







## Big Dig House

Single Speed Design (SsD)  
Lexington, Massachusetts, Yhdysvallat, 2006  
pientalo, 400 m<sup>2</sup>.

Big Dig House on Yhdysvalloissa rakennettu pientalo, jonka rakennusosina on käytetty kierrätettyjä betonielementtejä ja teräsosia.

## Kierrätys

Nimi Big Dig tulee samannimisestä tunnelihankkeesta, joka toteutettiin Bostonissa vuosina 1991–2006. Tunnelihankkeen yhteydessä tarvittiin väliaikaisia ajoramppeja ja -väyliä, jotka rakennettiin teräksestä ja betonielementeistä. Hankkeen edessä näille rakenteille ei löytynyt uutta käyttötarkoitusta, vaan ne oli tarkoitus purkaa ja viedä kaatopaikalle. Samalla syntyi kuitenkin ajatus hyväkuntoisten rakennusosien hyödyntämisestä talonrakentamisessa. Arkkitehtitoimisto Single Speed Design suunnitteli uudelleenkäytetyistä betoni- ja teräsosista myös asuinkerrostaloja, mutta lopulta ainoastaan pientalohanke toteutui.<sup>260</sup>

Big Dig Housen rakentamisessa on käytetty 272 tonnia tunnelihankkeesta ylijäänyttä betonia ja terästä. Nämä rakennusmateriaalit saatiin ilmaiseksi, mutta niiden kuljetus oli kallista ja vaikeaa. Käytetyt rakennusosat ovat raskaita ja kantavuudeltaan pientaloon ylimitoitettuja, joten niiden kuljetukseen tarvittiin erityiskalustoa. Toisaalta itse rakentaminen oli kuitenkin nopeaa, sillä rakennuksen kantava runko saatiin pystytetyksi vain kolmessa päivässä.<sup>261</sup>

## Estetiikka

Ulkoasultaan rakennus poikkeaa selvästi ympäristöstään ja asuinalueen muista rakennuksista<sup>262</sup>. Uudelleenkäytettyjen betoni- ja teräsosien lisäksi kohteessa on käytetty betonia, terästä, lasia ja puuta. Kierrätysosat on päätetty jättää näkyviin

260, 261, 262 Shulman, K. *From Highway to Home*. 2006

KUVA (Single Speed Design):  
Big Dig House ulkoa.



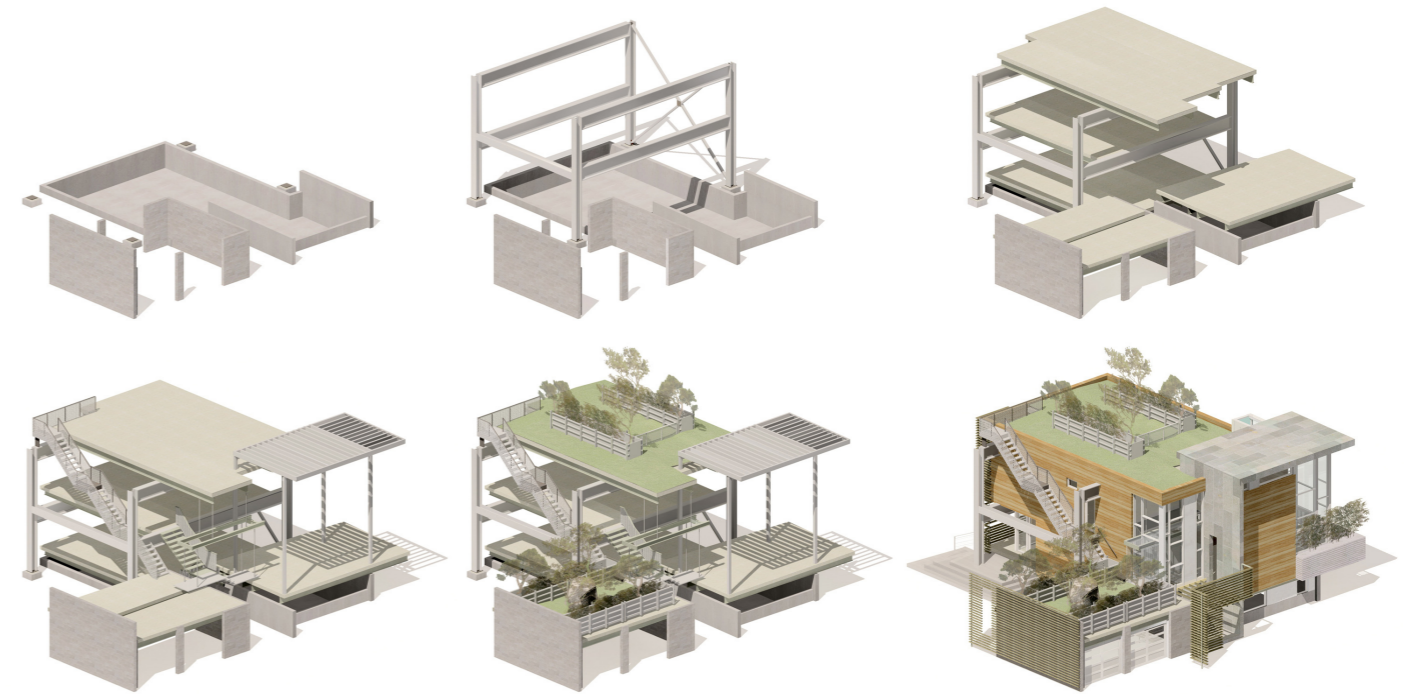
ja korostaa niiden massiivisuutta ja alkuperää. Teräksen käyttö asuntorakentamisessa tekee rakennuksesta konemaisen ja sen arkkitehtuurissa on vaikutteita myös teollisesta rakentamisesta ja loft-asunnoista. Toisaalta rakennuksen oleskelutiloissa on kuitenkin käytetty myös pienempää mittakaavaa, viimeistelyjä pintoja ja puuta luomassa kodikkuutta. Kierrätysmateriaalien käyttö luo erottuvan ulkonäön lisäksi rakennukselle myös henkilökohtaisen tarinan, joka kertoo talon omistajan intohimosta kehittää rakennusmateriaalien kierrätystä.



KUVA (Single Speed Design):  
Big Dig House sisältä.



VIEREINEN SIVU (Single Speed Design):  
Pientalon runko on rakennettu uudelleenkäytetyistä teräspalkeista ja betonielementeistä.

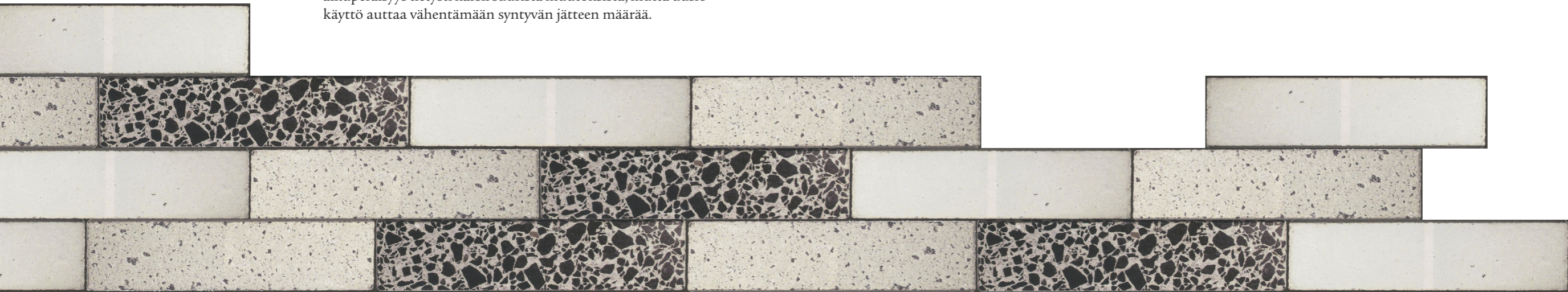




## Soveltaminen

60- ja 70-luvulla rakennettujen betonielementtilähiöiden peruskorjaamisen ja purkamisen myötä myös betonielementtien uudelleenkäyttö on noussut ajankohtaiseksi Suomessa. Samalla on hyvä huomata, että rakentamiseen sopivia kierrätysmateriaaleja löytyy myös muualta kuin talonrakentamisesta. Myös teräs soveltuu materiaalina asuntorakentamiseen.

Yleensä julkisivukorjauksen yhteydessä ulkoseinästä poistetaan betoninen kuorilaatta ja eristettä joko lisätään tai se vaihdetaan kokonaan. Tämän jälkeen julkisivu rapataan tai verhoillaan uudelleen. Periaatteessa uusi julkisivumateriaali voi olla mitä vaan, kuten puuta, betonia tai komposiittimateriaalia. Mutta onko vanha julkisivubetoni automaattisesti jätettä? Ehkäpä alkuperäistä betonia voitaisiin muokata ja uusiokäyttää rakennuksen julkisivussa. Betonilaatat rikkoutuvat purkamisessa ja osa niistä voi olla liian huonokuntoisia, mutta periaatteessa betonia voitaisiin kierrättää uusien julkisivulaattojen raaka-aineeksi. Kuluneen betonipinnan ulkonäköä voidaan muokata esimerkiksi hiomalla tai karhentamalla ja julkisivulaatta voi koostua erilaisista ja erikokoisista osista. Materiaalin alkuperäisyys tietysti kärsii suurista muutoksista, mutta uusiokäyttö auttaa vähentämään syntyvän jätteen määrää.







## Murray Grove

Waugh Thistleton Architects,  
Lontoo, Iso-Britannia, 2009  
29 asuntoa.

Lontoossa sijaitseva, yhdeksänkerroksinen Stadhaus Murray Grove oli valmistuessaan maailman korkein puurakenteinen asuinrakennus. Rakennushankkeen tavoitteena oli pienentää rakennuksen hiilijalanjälkeä ja edistää puurakentamista Englannissa.

## Ekologisuus

Kerrostalon runko on rakennettu ristiinlaminoidusta liimapuulevystä (CLT-levy), joka valmistetaan kolmesta tai useammasta liimapuukerroksesta päällekkäin liimaamalla. CLT-levyä voidaan käyttää rakennuksen kantavina seinä-, katto- ja välipohjaelementteinä. CLT-levyt ovat esivalmistettuja ja tehtaalla valmiiksi aukotettuja rakennustuotteita, joten työmaalla niistä rakentaminen on helppoa ja nopeaa. Murray Groven kantava runko saatiinkin pystytetyksi vain yhdeksässä viikossa. Rakennuksen maantasokerros, jossa on toimistotilaa, on betonielementtirakenteinen. Ylemmissä puurakenteisissa kerroksissa on sekä vuokra- että omistusasuntoja.<sup>263</sup>

Puu on uusiutuva luonnonvara, joka varastoi itseensä hiiltä. Puurakenteiden avulla rakennuskohteen hiilijalanjälki on pyritty minimoimaan. Murray Grovessa on käytetty yhteensä 900 m<sup>3</sup> puuta, johon on varastoitunut 188 tonnin hiiltä. Lisäksi rakennus on tavanomaista paremmin eristetty ja ilmatiiviimpi. Massiivinen CLT-levy myös parantaa puurakennuksen ääneneristävyyttä tavanomaisiin puurakenteisiin verrattuna. Rakennuksen elinkaaren lopussa puurakenteet on helppo purkaa ja kierrättää.<sup>264</sup>

263, 264 Stadhaus, 24 Murray Grove,  
London. TRADA Technology Ltd,  
2009

**KUVA** (Waugh Thistleton Architects): Stadhaus Murray Grove sijaitsee Lontoossa.

265 Stadhaus, 24 Murray Grove, London. TRADA Technology Ltd, 2009

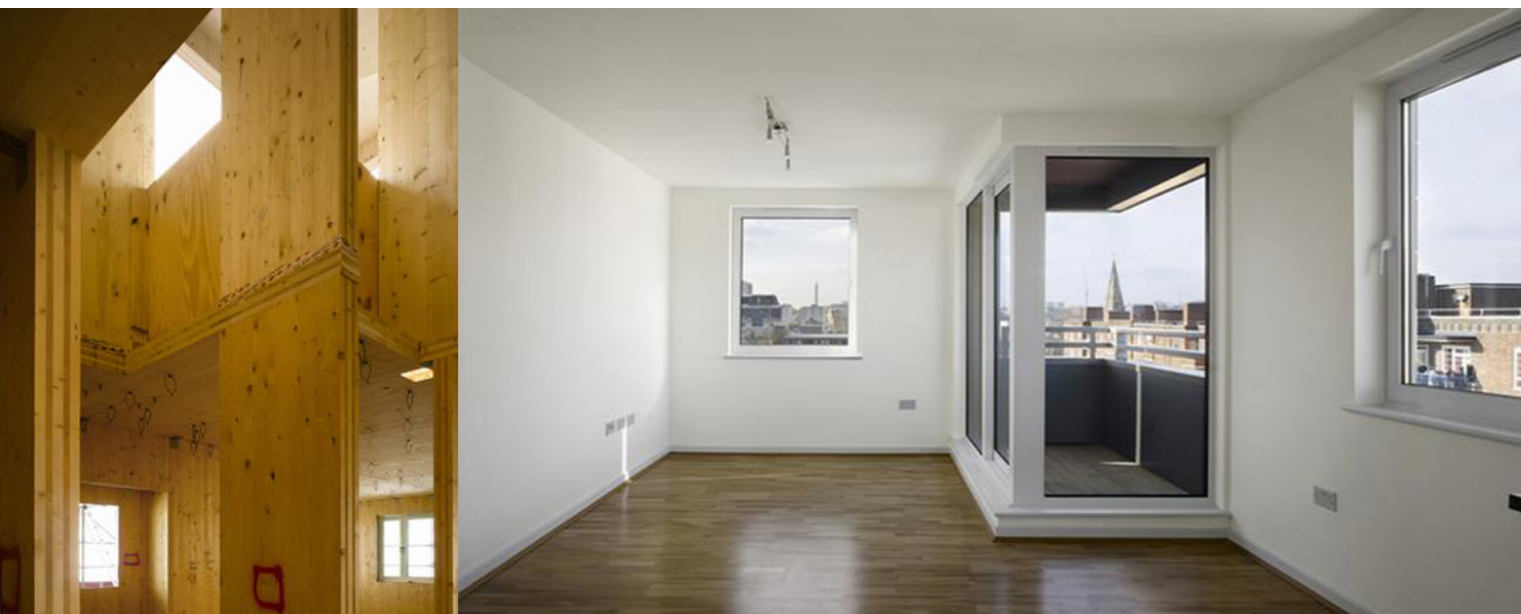
## Estetiikka

Rakennuksen julkisivuverhouksena on käytetty kuitusementtilaattaa, jonka raaka-aineesta 70 % on puupohjaista jätemateriaalia<sup>265</sup>. Ulkoseinässä CLT-levy tulee lämpöeristää ulkopuolelta, mutta sen sisäpinta voidaan jättää näkyviin. Murray Grovessa CLT-levyn päälle on kuitenkin asennettu kipsilevy, oletettavasti paloteknisistä syistä. Ulkoa tai sisältä katsottuna maailman korkein puurakennus ei siis näytä puusta rakennetulta. Luultavasti tämä johtuu siitä, ettei asukkaiden uskota haluavan tavanomaisesta poikkeavia asuntoja eikä puun imagoon luoteta tarpeeksi. Arkkitehtuuriltaan rakennus jää kuitenkin epäkiinnostavaksi.

KUVAT (Cartwright and Pickard): Sisäkuva rakennusvaiheesta ja valmiista asunnosta.

## Soveltaminen

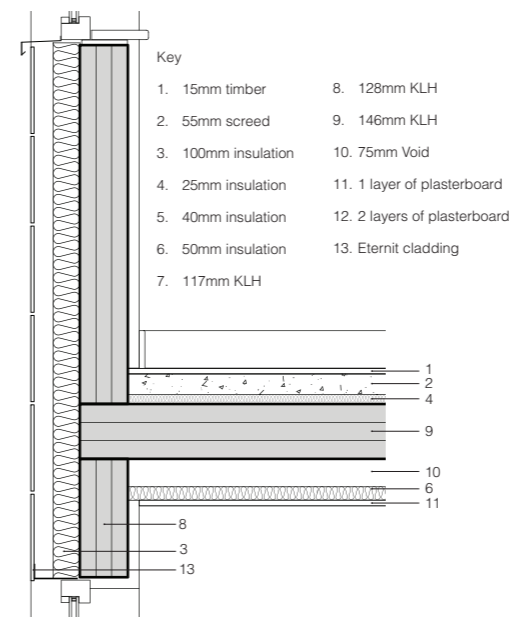
Myös Suomessa puurakentaminen on noussut ajankohtaiseksi, kun rakentamisen aiheuttamia ympäristöhaittoja koetetaan



pienentää. Ristiinlaminoidun liimapuun käyttö rakentamisessa on vielä harvinaista, mutta esimerkiksi Mikkelin keskustaan on suunnitteilla kuusikerroksinen puukerrostalo CLT-rungolla. Betonielementtirakentamiseen verrattuna CLT-runko on kalliimpi vaihtoehto, mutta säästöjä syntyy rakennusvaiheessa<sup>266</sup>.

Murray Grovessa käytetty ulkoseinärakenne koostuu 128 mm paksusta CLT-levystä, jonka ulkopinnassa on 100 mm:n eristekerros ja ulkoverhouslaatta. Annettujen tietojen mukaan ulkoseinän U-arvoksi saadaan 0,13 W/m<sup>2</sup>K, mikä kuitenkin vaikuttaa epäuskottavalta. Suomen oloissa eristekerroksen tulisi olla huomattavasti paksumpi. Puurakentamisessa, jossa halutaan käyttää mahdollisimman luonnonmukaisia rakennusmateriaaleja ja korostaa puun luonnetta, seinärakenne voisi olla esimerkiksi seuraavanlainen: runkona CLT-levy, sen ulkopuolella puukuitueriste ja julkisivuverhouksena puupaneeli.

266 Stadhaus, 24 Murray Grove, London. TRADA Technology Ltd, 2009



KUVA (Wagh Thistleton Architects): Stadhaus Murray Groven ulkoseinärakenne.



# YHTEENVETO

Rakennusmateriaalien ekologisuus on monimutkainen kokonaisuus, eikä materiaalien käytölle löydy yksiselitteisiä vastauksia. Materiaalien ympäristövaikutusten vertailussa puu näyttäisi kuitenkin olevan vahvoilla. Materiaalien vaikutuksesta rakennuksen koko elinkaaren aikaisiin ympäristövaikutuksiin kaivataan kuitenkin lisää tutkimusta. Uusiomateriaalien ympäristövaikutuksia on tutkittu vieläkin vähemmän ja olemassa oleva tieto on yleensä peräisin tuotteen valmistajalta. Tutkimustiedon puutteen ei kuitenkaan pidä estää uusiomateriaalien käyttöä. Kierrätys ei tee rakennusmateriaalista automaattisesti ekologisempaa, mutta se säästää luonnon raaka-aineita ja vähentää jätteen määrää. Myös useita potentiaalisia uusioraaka-aineita on löydettävissä, kuten puuta, olkea, paperia, lasia, muovia ja tuhkaa. Kierrätysmateriaalien käytöstä rakentamisessa löytyy kuitenkin vielä harmillisen vähän esimerkkejä. Rakennusmateriaalien ei tarvitse olla ekologisesta näkökulmasta parhaita, toistaiseksi riittää, että ne olisivat nykyistä parempia.

Estetiikka on oleellinen osa materiaalien käyttöä. Tässä työssä ei tarkastella yksittäisten rakennusmateriaalien estetiikkaa, vaan pohditaan laajemmin estetiikan merkitystä ja ekologisen estetiikan mahdollisuuksia. Kierrätys voi tuoda materiaaleihin uudenlaista, merkityksellistä syvyyttä.

# LÄHTEET

## PAINETUT LÄHTEET

3.12.1993/1072. *Jätelaki.*

295/1997. *Valtioneuvoston päätös rakennusjätteistä.*

452/2004. *Laki jätelain muuttamisesta.*

**AULANKO, H.** *Konttivauriot; Case: Loadmasters Oy.* Opinnäytetyö. 2010, Kymenlaakson ammattikorkeakoulu, Logistiikan koulutusohjelma, Merikuljetukset ja satamaoperaatiot. 52 s.

**BENNETT, D.** *Sustainable Concrete Architecture.* London, 2010, RIBA Publishing. 265 p.

*Betonirakenteiden ympäristöominaisuudet.* 2007, Betonikeskus ry. 64 s.

**BEVAN, R., WOOLLEY, T.** *Hemp lime construction. A guide to building with hemp lime composites.* 2008, IHS BRE Press. 111 p.

**CARLSON, A.** *Ympäristöestetiikka ja esteettisen kasvatuksen dilemma.* In: Sepänmaa, Y. (toim.). Alligaattorin hymy. Ympäristöestetiikan uusi aalto. 1994, Helsingin yliopisto, Lahden tutkimus- ja koulutuskeskus. s. 105–117.

**FORSS, A-M.** *Paikan estetiikka. Eletyn ja koetun ympäristön fenomenologiaa.* Helsinki 2007, Yliopistopaino.

211 s.

**FOSTER, C.** *Esteettinen desilluusio: ympäristö, etiikka, taide.* In: Sepänmaa, Y. (toim.). Alligaattorin hymy. Ympäristöestetiikan uusi aalto. 1994, Helsingin yliopisto, Lahden tutkimus- ja koulutuskeskus. s. 118–130.  
**HAGAN, H.** *Lähiökorjaamisen arkkitehtoniset vaikutukset.* Helsinki 1996, Ympäristöministeriö. 112 s.

**HAUTAJÄRVI, H.** *Oletko valmis muutokseen?* Arkkitehti 105(2008)1, s. 16–17.

**HEINO, E., SUNDHOLM, P.** *Ekotalon rakennusaineet.* Helsinki 1995, Rakennusalan Kustantajat. 79 s.

**HUHTINEN, K., LILJA, R., SOKKA, L., SALMENPERÄ, H., RUNSTEN, S.** *Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2016. Taustaraportti.* Helsinki 2007, Suomen ympäristökeskus, Suomen ympäristö 16/2007. 123 s.

**HUUHKA, S.** *Kierrätys arkkitehtuurissa. Betonielementtien ja muiden rakennusosien uudelleenkäyttö uudisrakentamisessa ja lähiöiden energiatehokkaassa korjaus- ja täydennysrakentamisessa.* Diplomityö. 2010. Tampereen teknillinen yliopisto, Arkkitehtuurin koulutusohjelma. 142 s.

**HUUHKA, S.** *Purkubetoni kierrätetään tienpohjiksi, tulevaisuudessa ehkä myös taloiksi.* Betoni 80(2010)2, s. 50–55.

**HÄMÄLÄINEN, O.** *Lähiöiden korjaaminen on ratkaistava.* Rakennuslehti 45(2011)23, s. 2.

**HÄNNINEN, P.** *Kohti kestävämpää rakentamista.* Arkkitehti 105(2008)1, s. 38–44.

**HÄNNINEN, P.** *Mitä maapallolla tapahtuu?* Arkkitehti

105(2008)1, s. 18–23.

**HÄKKINEN, T., VARES, S., VESIKARI, E., KARHU, V.** *Rakennusten elinkaartekniikka.* Tuoteinformaatio käyttöikäsuunnittelun tueksi. Espoo 2001, VTT, VTT Julkaisuja 848. 79 s.

**JOKINIEMI, J.** *Kaupunki kaikille aisteille. Moniaistisuus ja saavutettavuus rakennetussa ympäristössä.* Väitöskirja. Espoo 2007, Teknillinen korkeakoulu, Arkkitehtiosasto, Kaupunkisuunnittelu. Teknillisen korkeakoulun arkkitehtiosaston tutkimuksia 2007/29. 164 s.

**JUNTUNEN, J.** *Tulevaisuuden ekotalo.* TM Rakennusmaailma (2010)5E, s. 62–69.

**KEMPPAINEN, P.** (toim.). *Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) Suomen keraamisessa teollisuudessa.* Helsinki 2004, Suomen ympäristökeskus, Suomen ympäristö 740. 69 s.

**KESKITALO, J.** *Maapallon muuttuva ilmasto.* Helsinki 2005, Kustannusosakeyhtiö Tammi. 255 s.

**KOKKO, E.** *Hengittävä puukuiturakenne. Fysikaalinen toimintaperiaate ja vaikutukset sisäilmaan.* 2002, Wood Focus Oy. 36 s.

**KOSKELA, S., KORHONEN, M.-R., SEPPÄLÄ, J., HÄKKINEN, T., VARES, S.** *Materiaalinäkökulma rakennusten ympäristöarvioinnissa.* Helsinki 2011, Suomen ympäristökeskus, Suomen ympäristökeskuksen raportteja 16/2011. 44 s.

**KURNITSKI, J.** *Energiamääräykset 2012.* TM Rakennusmaailma (2011)6, s. 108–111.

**LAPPALAINEN, M.** *Energia- ja ekologiakäsikirja. Suunnittelu ja rakentaminen.* Helsinki 2010, Rakennustieto Oy. 200 s.

*Lentotuhkan käyttö betonissa 2008 by 52.* 2008, Suomen betoniyhdistys r.y. 42 s.

**MARTINKAUPPI, K.** (toim.) *ERA17 – Energiaviisaan rakennetun ympäristön aika 2017.* Helsinki 2010, Ympäristöministeriö, Sitra ja Tekes. 91 s.

**MELANEN, M., PALPERI, M., VIITANEN, M., DAHLBO, H., UUSITALO, S., JUUTINEN, A., LOHI, T.-K., KOSKELA, S., SEPPÄLÄ, J.** *Metallivirrat ja romun kierrätys Suomessa.* Helsinki 2000, Suomen ympäristökeskus, Suomen ympäristö 401. 138 s.

**MROUEH, U.-M., AJANKO-LAURIKKO, S., ARNOLD, M., LAIHO, A., WIHERSAARI, M., SAVOLAINEN, I., DAHLBO, H., KORHONEN, M.-R.** *Uusien jätteenkäsittelykonseptien mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä.* Espoo 2007, VTT, VTT Tiedotteita 2402. 170 s. + liit. 5 s.

**MYLLYMAA, T., TOHKA, A., DAHLBO, H., TENHUNEN, J.** *Ympäristönäkökulmat jätteen hyödyntämisessä energiana ja materiaalina. Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2016. Taustaselvitys osa III.* Helsinki 2006, Suomen ympäristökeskus, Suomen ympäristökeskuksen raportteja 12/2006. 72 s.

**MÖLSÄ, S.** *Kaavailtu energiansäästöpakko lisää korjaushankkeiden riskejä.* Rakennuslehti 45(2011)19, s. 16.

**NEVALAINEN, H., KLEMOLA, S.** *Erikoispeltokasvit – viljelytekniikka. Tarkastelussa camelina, hamppu, rypsi, kumina, speltti ja tattari.* Opinnäytetyö. 2007. Savonia-ammattikorkeakoulu, Maaseutuelinkeinojen koulu-



tusohjelma. 135 s.

**NEVALAINEN, O.** *Hiilijalanjälki ekotehokkuuden mittarina*. Kandidaatintyö. 2009. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Teknillinen tiedekunta, Ympäristötekniikan koulutusohjelma. 56 s.

**PERKKIÖ, M.** *Valumuuritekniikka*. In: Kaila, P. (toim.). *Antiikin rakennustekniikka*: Rooma. 2002, Oulun yliopisto, Arkkitehtuurin osasto, Arkkitehtuurin historian laboratorio. Arkkitehtuurin osaston julkaisu C 74. s. 45–61.

**PUNKKI, J., LOUNAMAA, A., JUNNILA, S.** *Betonirakenteiden merkitys rakennuksen elinkaaren aikaisista hiilidioksidipäästöistä*. *Betoni* 80(2010)1, s. 46–49. Rakenteiden elinkaaritekniikka. Helsinki, 2001, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y., RIL 216–2001. 301 s.

**RITOLA, J., VARES, S.** *Keräyslasin hyötykäyttö vaahtolasituotteina*. Espoo 2008, VTT, VTT Tiedotteita 2458. 51 s. + liit. 2 s.

**RÄSÄNEN, J.** *Tekstiilijätteen katoamistemppu. Kuluttajapoistojen hyötykäytön ennaltasuunnittelumahdollisuudet suomalaisessa tekstiili- ja vaatetustuotannossa*. Pro gradu -tutkielma. 2010. Lapin yliopisto, Taiteiden tiedekunta, Tekstiiliala. 127 s. + liit. 3 s.

**SAARI, A.** *Rakennusten ja rakennusosien ympäristöselosteet*. Helsinki 2001, Rakennustietosäätiö RTS. 92 s.

**SATHRE, R., O'CONNOR, J.** *A synthesis of Research on Wood products & Greenhouse Impacts*. 2nd Edition. 2010, FPInnovations, Technical Report No. TR-19R. 119 p.

**SEPPÄLÄ, J., KOSKELA, S., PALPERI, M., MELA-**

**NEN, M.** *Metallien jalostus ja ympäristö*. Helsinki 2000, Suomen ympäristökeskus, Suomen ympäristö 438. 120 s.

**SIIKANEN, U.** *Rakennusaineoppi*. Viides, muuttamaton painos. Helsinki 1996, Rakennustieto Oy. 319 s.

**SIIKANEN, U.** *Rakennusfysiikka*. Perusteet ja sovellukset. Helsinki 1996, Rakennustieto Oy. 219 s.

**SUOMINEN, K.** *Kuljetusten ympäristöjohtaminen*. Opin- näytetyö. 2007. Satakunnan ammattikorkeakoulu, Tekniikka Rauma, Tuotantotalouden koulutusohjelma. 56 s.

*Teräskirja*. 8. painos. 2009, Metallinjalostajat ry. 104 s.

**VAKKURI, R.** *Purkubetoni hyödynnetään, mutta vielä yksipuolisesti*. *Betoni* 81(2011)2, s. 46–51.

**VARES, S., LEHTINEN, J.** *Lasipakkausten keräysjärjestelmän tehostaminen ja lasin hyötykäytön ympäristövaikutukset*. Espoo 2007, VTT, VTT Tiedotteita 2404. 122 s.

**VIRTANEN, J.** *Betoni on hiilidioksidinielu*. *Betoni* 80(2010)4, s. 42–45.

**VORNANEN, C., PENTTALA, V.** *Puuperäisestä lentotubkasta uusi betonin seosaine*. *Betoni* 78(2008)4, s. 72–77.

## INTERNETLÄHTEET

**ACHTÉ, I.** *Tuoksumarkkinointi yleistyy Suomessa*. 2009, TV1 Kuningaskuluttaja. [Viitattu 25.5.2011.] Saatavissa: <http://kuningaskuluttaja.yle.fi/node/2425>.

**BONDED LOGIC**. [Viitattu 9.4.2011]. Saatavissa: <http://www.bondedlogic.com/>.

**CALERA**. [Viitattu 9.4.2011]. Saatavissa: <http://calera.com/index.php>.

**CELSA STEEL SERVICE OY**. [viitattu 20.9.2011]. Saatavissa: <http://www.celsa-steelservice.com/finland/fi/zonapublica/index.aspx>.

**CRADLE TO CRADLE PRODUCTS INNOVATION INSTITUTE**. [viitattu 20.9.2011]. Saatavissa: <http://c2ccertified.org/>.

**EARTHSHIP BIOTECHTURE, LLC**. [viitattu 20.9.2011]. Saatavissa: <http://www.earthship.net/>.

**ECOVATIVE DESIGN LLC**. [viitattu 20.9.2011]. Saatavissa: <http://www.ecovativedesign.com/greensulate/>.

**EKO-EXPERT KH OY**. [viitattu 20.9.2011]. Saatavissa: <http://www.eko-expert.com/>.

*Ekotehokkuus ja elinkaariajattelu rakentamisessa*. 2010, Ympäristöministeriö. [viitattu 20.9.2011]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=5548&lan=fi>.

**ENVIRONMENTAL PROTECTION AND ENCOURAGEMENT AGENCY (EPEA)**. [Viitattu 9.4.2011]. Saa-

tavissa: <http://epea-hamburg.org/index.php>.

**EWONA FINLAND OY**. [viitattu 20.9.2011]. Saatavissa: <http://www.espe.fi/ewona/>.

*Hanil Visitors Center & Guest House*. BCHO Architects. [viitattu 20.9.2011]. Saatavissa: <http://www.bchoarchitects.com/main/hanil.htm>.

*Happamoituminen*. 2010, Ympäristöministeriö. [viitattu 20.9.2011]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=101&lan=fi>.

*Hiilineutraalin sementin metsästy*. 2009. CO2-raportti. [viitattu 20.5.2011]. Saatavissa: [http://www.co2raportti.fi/index.php?page=ilmastouutisia&news\\_id=1615](http://www.co2raportti.fi/index.php?page=ilmastouutisia&news_id=1615)

**HÄKKINEN, T., VARES, S., SILTANEN, P.** *Tuotteiden käyttöikäinformaatio ja sen käyttö rakennushankkeessa. Loppuraportin tiivistelmä*. VTT. 52 s. [viitattu 20.9.2011]. Saatavissa: [http://www.rts.fi/ymparistoselostel/lifeplan\\_loppuraportti.pdf](http://www.rts.fi/ymparistoselostel/lifeplan_loppuraportti.pdf).

**ILMASTO.ORG**. [Viitattu 20.5.2011]. Saatavissa: <http://www.ilmasto.org/>.

**JORDAN, T.** *Arkkitehtisuunnittelun vaikutukset teollisen puurakentamisen kehittämisessä*. 2010, Rytmin muutos puukerrostalojen rakentamiseen! Seminaari asiantuntijoille. [viitattu 20.5.2011]. Saatavissa: <http://oske-net-bin.directo.fi/@Bin/d1016728fa15fc-c0c039c15e2ae738a8/1317283294/application/pdf/241678/Jordan%2026.4.2010.pdf>.

*Jätetilasto 2007*. Helsinki 2009, Tilastokeskus, Ympäristö ja luonnonvarat 2009. [viitattu 20.5.2011]. Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/jate/2007/jate\\_2007\\_2009-](http://www.stat.fi/til/jate/2007/jate_2007_2009-)

06-04\_fi.pdf.

*Jätetilasto 2009.* Helsinki 2010, Tilastokeskus, Ympäristö ja luonnonvarat 2010. [viitattu 20.5.2011]. Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/jate/2009/jate\\_2009\\_2010-11-23\\_fi.pdf](http://www.stat.fi/til/jate/2009/jate_2009_2010-11-23_fi.pdf).

*Jätteenpoltto.* 2009, Suomen luonnonsuojeluliitto. [viitattu 20.5.2011]. Saatavissa: <http://www.sll.fi/luonto-jaymparisto/kestava/jatepolitiikka/jatteenpoltto>.

*Jätteen poltto.* 2011, Ympäristöministeriö. [viitattu 20.9.2011]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=3319&lan=fi>.

*Jätteiden hyödyntäminen ja jätteen määritelmä.* 2010, Elinkeinoelämän keskusliitto. [viitattu 20.9.2011]. Saatavissa: <http://www.hpl.fi/www/fi/ymparisto/jate.php>.

*Keräyspaperin ja -kartongin talteenotto Suomessa vuosina 1980–2009.* Suomen Metsäyhdistys ry. [viitattu 28.6.2011]. Saatavissa: [http://www.forest.fi/smyforest/forest.nsf/0/80207AD1C5C9FD98C225781C00437334/\\$FILE/G023\\_suo\\_11.pdf](http://www.forest.fi/smyforest/forest.nsf/0/80207AD1C5C9FD98C225781C00437334/$FILE/G023_suo_11.pdf).

*Kestävä kehitys. Raportti määritelmää pohtineen työryhmän keskusteluista.* Helsinki 1994. [viitattu 28.6.2011]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=85409&lan=fi>.

*Kierrätyskuitu on arvokas raaka-aine.* 2011, Metsäteollisuuden tietopalvelu. [viitattu 28.6.2011]. Saatavissa: <http://www.metsateollisuus.fi/infokortit/kierratyskuitu/Sivut/default.asp>.

*Kiinteät jätteet.* Energiateollisuus ry. [viitattu 28.6.2011]. Saatavissa: <http://www.energia.fi/ener>

*gia-ja-ymparisto/ymparisto-ja-kestava-kehitys/ymparistovaikutukset/kiinteat-jatteet.*

**KIVELÄ, J.** *Ravinteiden kierto ekologian kannalta.* [viitattu 28.6.2011]. Saatavissa: <http://kotisivukone.fi/files/biolaitosyhdistys.palvelee.fi/tiedostot/kivela.pdf>.

**KNAUF OY.** [viitattu 28.6.2011]. Saatavissa: <http://rakennusjarjestelmat.knauf.fi/index.shtml>.

**KOIJÄRVI, T.** *Tuontipuun alkuperäisyymykset.* 2006, Päättäjien 21. metsäakatemia. [viitattu 20.5.2011]. Saatavissa: [http://www.smy.fi/smy/Materiaalitdev.nsf/allbyid/DCA3D31546A75D9DC22571CA0035DC88/\\$file/PMA21-TerhiKoipjarvi.pdf](http://www.smy.fi/smy/Materiaalitdev.nsf/allbyid/DCA3D31546A75D9DC22571CA0035DC88/$file/PMA21-TerhiKoipjarvi.pdf).

**KOSKI, E.** *Jätteen synnyn ehkäisyn tietopohja.* 2003, Suomen luonnonsuojeluliitto. [viitattu 20.5.2011]. Saatavissa: <http://www.sll.fi/luontojaymparisto/kestava/jatepolitiikka/ennaltaehkaisy/tilasto>.

**KORJAUSTIETO.FI.** Ympäristöministeriö. [viitattu 20.5.2011]. Saatavissa: <http://www.korjaustieto.fi/>.

**KÄMÄRÄINEN, T.** *Eräiden jätteiden hyödyntäminen maarakentamisessa.* 2009, Ympäristönsuojelun neuvottelupäivät. [viitattu 20.5.2011]. Saatavissa: <http://www.environment.fi/download.asp?contentid=113522&lan=fi>.

**LACY, P., ROSENBERG, D.** *Rocking the Cradle to Cradle Revolution in Davos.* 2011, Fast Company. [viitattu 20.5.2011]. Saatavissa: <http://www.fastcompany.com/article/rocking-the-cradle-to-cradle-revolution-in-davos>.

**LAVENTO, D.** *Viherkatto on kestävä ja ekologinen.* 2010,

Rakennustaito. [Viitattu 8.6.2011]. Saatavissa: <http://www.rakennustieto.fi/lehdet/rakennustaito/index/lehti/SyiZS5TpU.html>.

**LEHMUS, E.** *Ympäristötietoa teräsrakentamisesta.* 2000, Rakennustaito. [Viitattu 8.6.2011]. Saatavissa: [http://www.rakennustieto.fi/lehdet/rakennustaito/index/lehti/P\\_397.html](http://www.rakennustieto.fi/lehdet/rakennustaito/index/lehti/P_397.html).

*Lightweight concrete – variety and elegance.* Liapor news. [Viitattu 8.6.2011]. Saatavissa: [http://www.liapor.mk/Files/Liapor%20News%202009-Extra\\_LB%20eng.pdf](http://www.liapor.mk/Files/Liapor%20News%202009-Extra_LB%20eng.pdf).

**LIME TECHNOLOGY LTD.** [viitattu 20.5.2011]. Saatavissa: <http://www.limetechnology.co.uk/>.

*Miksi ilmasto muuttuu?* 2010, Ilmatieteen laitos. [viitattu 20.5.2011]. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/miksi-ilmasto-muuttuu>.

**MILLENNIUM TILES™ LLC.** [viitattu 20.5.2011]. Saatavissa: <http://www.millenniumtiles.com/>.

**MINIWIZ SUSTAINABLE ENERGY DEVELOPMENT CO., LTD.** [viitattu 20.5.2011]. Saatavissa: <http://www.miniwiz.com/products/materials/polli-bricks>.

*Mitä on materiaalihokkuus?* 2008, Elinkeinoelämän keskusliitto. [viitattu 20.5.2011]. Saatavissa: [http://www.erityispalvelut.fi/multimagazine/EK\\_2008/materiaalihokkuus/web/2008/fi/sisaltosivut/mita\\_on\\_materiaalihokkuus.php](http://www.erityispalvelut.fi/multimagazine/EK_2008/materiaalihokkuus/web/2008/fi/sisaltosivut/mita_on_materiaalihokkuus.php).

**MODCELL.** [viitattu 20.9.2011]. Saatavissa: <http://www.modcell.com/>.

**MOLIIS, K., TEERIOJA, N., OLLIKAINEN, M.** *Ennuste*

*yhdyskuntajätteen kehityksestä vuoteen 2030.* 2009, Helsingin yliopisto, SUSWASTE-hankkeen esiselvitys. [Viitattu 9.4.2011]. Saatavissa: <http://www.helsinki.fi/taloustiede/Abs/DP41.pdf>.

**NOVACEM.** [Viitattu 9.4.2011]. Saatavissa: <http://novacem.com/>.

**NYLOBOARD LLC.** [viitattu 20.9.2011]. Saatavissa: <http://www.nyloboard.com/>.

**OPEN ARCHITECTURE NETWORK.** [viitattu 20.9.2011]. Saatavissa: <http://openarchitecturenetwork.org/>.

*Osittainen purkamisen keinoksi lähiöiden muodonmuutokseen.* 2011, Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA. [viitattu 20.9.2011]. Saatavissa: <http://www.ara.fi/default.asp?contentid=15656&lan=fi>.

*Polli-Brick Interview, Part 2.* Green3DHome. [viitattu 20.9.2011]. Saatavissa: <http://www.green3dhome.com/Community/Articles/PolliBrickInterviewPart2.aspx>.

**PIRHONEN, I., HERÄJÄRVI, H., SAUKKOLA, P., RÄTY, T., VERKASALO, E.** *Puutuotteiden kierrätys. Finnish Wood Research Oy:n osarahoittama esiselvityshankkeen loppuraportti.* Vantaa 2011, Metsäntutkimuslaitos, Metlan työraportteja 191. 66 s. [viitattu 20.8.2011]. Saatavissa: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2011/mwp191.pdf>.

*Palamaton vuolukivikomposiitti syntyy uusiomateriaaleista.* 2008, Muovix Oy, Tiedote. [viitattu 17.4.2011]. Saatavissa: <http://www.muovix.fi/files/vuolukivikomposiittitiedote.pdf>.



**PUUINFO.** [viitattu 17.4.2011]. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/>.

**PUUTUOTETEOLLISUUS.** 2004. [viitattu 17.4.2011]. Saatavissa: <http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/puutuoteteollisuus/index.html>.

*Puutuotteiden hiilen kierto.* Eurooppalaiset puualan tietosivut. [viitattu 17.4.2011]. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/info/eurooppalainen-puu-ydinasiaa-euroopan-ymparistoystavallisimmasta-materiaalista/puutuotteiden-hiilen-kier-to-a4.pdf>.

*Rakennuksen hiilijalanjäljen ratkaisee energiapihiys.* 2011. Rakennusteollisuus RT ry. [viitattu 17.8.2011]. Saatavissa: <http://www.rakennusteollisuus.fi/RT/Ajankohtaista/Rakennuksen+hiilijalanj%C3%A4ljen+ratkaisee+energiapihiys/>.

*Rakentamisen jätteet.* 2009, Ympäristöministeriö. [viitattu 20.9.2011]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=171851>.

**RAUTARUUKKI OYJ.** [viitattu 20.9.2011]. Saatavissa: <http://www.ruukki.fi/>.

*Recycling accounted for a quarter of total municipal waste treated in 2009.* 2011, Eurostat newsrelease. [viitattu 20.9.2011]. Saatavissa: [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY\\_PUBLIC/8-08032011-AP/EN/8-08032011-AP-EN.PDF](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_PUBLIC/8-08032011-AP/EN/8-08032011-AP-EN.PDF).

**RUDUS OY.** [viitattu 17.4.2011]. Saatavissa: <http://www.rudus.fi/>.

**SAINT-GOBAIN RAKENNUSTUOTTEET OY.** [viitat-

tu 20.9.2011]. Saatavissa: <http://www.isover.fi/>.

**SAVIYHDISTYS SAVIRAKENTAMISEN EDISTÄMI-SEKSI RY.** [viitattu 20.9.2011]. Saatavissa: <http://www.saviry.fi/>.

**SERIOUS ENERGY INC.** [viitattu 17.4.2011]. Saatavissa: <http://www.seriousenergy.com/>.

**SHULMAN, K.** *From Highway to Home.* 2006, Metropolis Magazine. [viitattu 17.4.2011]. Saatavissa: <http://www.metropolismag.com/story/20060515/from-highway-to-home>.

*Stadhaus, 24 Murray Grove, London.* 2009, TRADA Technology Ltd, Case Study. [viitattu 17.4.2011]. Saatavissa: <http://www.trada.co.uk/casestudies/overview/StadhausMurrayGrove/>.

**STORA ENSO OYJ.** [viitattu 16.6.2011]. Saatavissa: <http://www.storaenso.com/>.

*Suomalainen sementti.* Finnsementti Oy. 51 s. [viitattu 17.4.2011]. Saatavissa: <http://www.finnsementti.fi/Sementti-opas.pdf>.

**SUOMEN RENGASKIERRÄTYS OY.** [viitattu 16.6.2011]. Saatavissa: <http://www.rengaskierratys.com/fi/index.php/etusivu/>.

**SUOMEN UUSIOMUOVI OY.** [viitattu 16.6.2011]. Saatavissa: <http://www.suomenuusiomuovi.fi/fin/>.

**THE GREENHOUSE EFFECT LTD.** [viitattu 16.6.2011]. Saatavissa: <http://www.greenhouseeffect.co.uk/index.php>.

**TUOMISTO, H.** *Biokaasun ja peltoenergian tuotannon ja käytön ympäristövaikutukset.* 2005. [viitattu 20.9.2011]. Saatavissa: [http://www.mmm.fi/attachments/ymparisto/5AvnEch9m/Biokaasun\\_ja\\_peltoenergian\\_tuotannon\\_ja\\_kayton\\_ymparistovaikutukset.pdf](http://www.mmm.fi/attachments/ymparisto/5AvnEch9m/Biokaasun_ja_peltoenergian_tuotannon_ja_kayton_ymparistovaikutukset.pdf).

**TURVALLISUUS- JA KEMIKAALIVIRASTO (TUKES).** [viitattu 20.9.2011]. Saatavissa: <http://www.tukes.fi/>.

**UPM.** [viitattu 20.9.2011]. Saatavissa: <http://www.upm.com/fi/Pages/default.aspx>.

*Uudet rakentamisen energiamääräykset annettu.* 2011, Ympäristöministeriö, Tiedotteet. [viitattu 20.9.2011]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=380376&lan=fi&clan=fi>.

*Uudistuvat palomääräykset lisäävät puun käyttömahdollisuuksia.* Puuinfo. [viitattu 20.9.2011]. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/ajankohtaista/uudistuvat-palomaaraykset-lisaavat-puun-kayttomahdollisuuksia>.

**UUSIOAINES OY.** [viitattu 20.9.2011]. Saatavissa: <http://www.uusioaines.fi/DowebEasyCMS/?Page=Uusioaines>.

*Viljakasvit ja olki.* Thermopolis. [viitattu 20.9.2011]. Saatavissa: [http://www.thermopolis.fi/UserData/doc/Uusiutuva\\_energia/Viljakasvit\\_ja\\_olki.pdf](http://www.thermopolis.fi/UserData/doc/Uusiutuva_energia/Viljakasvit_ja_olki.pdf).

**VINHA, J.** *Seinärakenteiden kosteus- ja lämpötekniinen toiminta.* Talotohtori. [viitattu 20.9.2011]. Saatavissa: <http://www.talotori.net/vinha.php>.

**YLÖNEN, M.** *Moniongelmainen energiaturve.* Suomen luonnonsuojeluliitto. [viitattu 20.5.2011]. Saatavissa:

<http://www.sll.fi/luontojaymparisto/vanhat-suosivut/turve>.

## KUVALÄHTEET

S. 1 Erkki Oksanen, Metla.

S. 41 <http://www.panoramio.com/photo/25961102>.

S. 48 Detail 50(Serie 2010)12,  
[http://www.kiertokapula.fi/attachments/kkrakentamisenjatteet28012010\\_netti.pdf](http://www.kiertokapula.fi/attachments/kkrakentamisenjatteet28012010_netti.pdf),  
<http://www.therecyclingpeople.co.uk/index.php?page=waste-management-service>.

S. 51 L&T [http://lt.edita.fi/fi/browse/?index\\_id=9&\\_offset=80](http://lt.edita.fi/fi/browse/?index_id=9&_offset=80),  
Mikko Makkonen, Karjalainen,  
<http://www.globaltextiles.com/tradeleads/detail/017/550009/Buy-Waste-of-Fabric.html>,  
<http://lostandtaken.com/blog/tag/straw>,  
[http://www.innogyp.com/synthetic\\_gypsum\\_report3.php](http://www.innogyp.com/synthetic_gypsum_report3.php),  
<http://www.projectsmonitor.com/OPED/cement-industry-needs-policy-on-fly-ash>.

S. 62 <http://www.flickr.com/photos/dod-projects/872322246/in/set-72157600953809585>.

S. 67 <http://foodrehab.com.au/2011/02/16/green-house-sydney-a-recyclable-pop-up-bar-restaurant-by-joost-bakker/>.

S. 68 <http://lykytpuikoilla.blogspot.com/2011/06/pinta.html>.

S. 69 <http://www.flickr.com/photos/dotpolka/3514873/>.

S. 78 Detail 46(Serie 2006)1/2.

S. 87 <http://novacem.com/technology/overview/>.

## UUSIOTUOTTEET

Kuvat kyseisen tuotteen valmistajan, paitsi:

S. 112 <http://aaahhh.org/?p=3598>,  
<http://www.sustainablebuildingmaterials.co.uk/pages/structural-building-materials/hemcrete-walling-system>.

S.122 [ecobuild.co.uk](http://ecobuild.co.uk).

S.125 <http://www.dezeen.com/2009/09/20/paper-tower-by-shigeru-ban/>.

S. 128 <http://rajainmaki.wordpress.com/2007/08/16/villakoiran-ydin/>.

S. 139 Detail 50(Serie 2010)12.

S. 140, 141 Detail 50(Serie 2010)12.

S. 145 <http://www.residentialarchitect.com/green-design/green-piece.aspx>.

S. 146 <http://www.byggmax.com/fi-fi/prod/pid-07527.aspx>.

S. 148 <http://www.byggmax.com/fi-fi/prod/pid-1009.aspx>.

S. 150 <http://www.fireclaytile.com/>.





Tässä diplomityössä kestäväää rakentamista tarkastellaan rakennusmateriaalien kautta. Valittuja näkökulmia on kolme: materiaalien ekologisuus, kierrätys ja estetiikka. Tavoitteena on selvittää, millaisia uusiomateriaaleja ja -tuotteita on olemassa ja miten ne soveltuvat rakentamiseen. Vastaavasti työssä tutkitaan myös sitä, mitä jätteitä Suomessa syntyy ja miten niitä voitaisiin hyödyntää rakentamisessa. Työssä selvitetään myös eri rakennusmateriaalien ympäristövaikutuksia ja pyritään löytämään rakentamiseen ekologisempia vaihtoehtoja. Lisäksi pohditaan, millaista estetiikkaa ja arkkitehtuuria uusiomateriaaleilla voidaan luoda ja mitä on ekologinen estetiikka.

Diplomityötä on tukenut NCC Rakennus Oy.

Tämä diplomityö on tehty osana Tampereen teknillisen yliopiston ENTELKOR-hanketta. ENTELKOR (Energiatehokas lähiökorjaaminen) kuuluu Lähiöohjelmaan 2008-2011, jota rahoittaa Ympäristöministeriö ja koordinoi ARA.

Työ on tehty monialaisessa Aarre-tutkimusryhmässä, joka toimii pääasiassa Arkkitehtuuri- ja kaupunkitutkimuslaboratorio EDGE:n kautta.

