



Toni Tuokkola

## **KIERRÄTYSMATERIAALIEN HYÖDYNTÄMINEN**

### **RAKENTAMISESSA**

**KIERRÄTYSMATERIAALIEN HYÖDYNTÄMINEN  
RAKENTAMISESSA**

Toni Tuokkola  
Opinnäytetyö  
Syksy 2012  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikka, talon- ja korjausrakentaminen

---

Tekijä(t): Toni Tuokkola

Opinnäytetyön nimi: Kierrätysmateriaalien hyödyntäminen rakentamisessa

Työn ohjaaja(t): Tulla Kauko

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy/2012 Sivumäärä: 49 + 4 liitettä

---

Kestävän kehityksen periaatteiden mukaista on yhteiskunnan tarpeiden tyydyttäminen siten, että tuleville sukupolville voidaan taata hyvät elämisen mahdollisuudet. Rakentamisessa kestävä kehitys ilmenee ympäristöystävällisten materiaalien valinnalla ja tärkeänä tekijänä on myös kierrätysmateriaalien hyödyntäminen. Tässä opinnäytetyössä pohdittiin jätemääriä ja mahdollisuuksia niiden pienentämiseen erityisesti rakennusalalla. Työssä oli tavoitteena löytää ratkaisut jätemäärien vähentämiseen ja materiaalien uusiokäyttömahdollisuuksiin.

Opinnäytetyössä määriteltiin aluksi kestävä kehitys ja hiilijalanjälki yhteiskunnassa. Työssä tutkittiin eri materiaalivaihtoehtojen kierrätysmahdollisuuksia ja niiden valmistuksessa aiheutuvaa energiankulutusta.

Opinnäytetyössä perehdyttiin erityisesti 1970-luvun kerrostalojen betonisandwich-elementtien hyödyntämiseen pientalorakentamisessa ja laadittiin suunnitelma nykyisten energiamääräysten täyttymiseksi. Lisäksi vertailtiin vanhaa ja uutta betonisandwich-rakennetta lisäeristyksen jälkeen rakennusfysikaalisesta näkökulmasta.

Työssä havaittiin, että betonin kierrätys oli tarpeellista ja yksinkertaista. Betoni vaatii paljon energiaa valmistuksessa, minkä vuoksi sitä tulisi kierrättää mahdollisimman paljon. Vanhan betonisandwich-elementin lisäeristyksellä päästään matalaenergiatason ratkaisuihin. Kokonaislämpöhäviöt alenivat 66 % vanhan betonisandwich-elementin lisäeristyksen jälkeen.

---

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Civil engineering, Building and Renovation

---

Author(s): Toni Tuokkola  
Title of thesis: Use of Recycled Materials in Construction  
Supervisor(s): Kauko Tulla  
Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2012  
Number of Pages: 49 + 4 appendices

---

The Principles of sustainable development is to meet the needs of our society in such a way that future generations can be guaranteed a good life. It is important to reuse materials in sustainable development. In this thesis the amount of waste was discussed. The goal was to find solutions to waste reduction and re-use opportunities.

In this thesis the different material options were researched and the energy in material manufacturing was studied too. General construction materials were compared and their changes of utilization were investigated. In this work there were examples of buildings from the early 1900s to this day.

In this investigation utilization of concrete walls in multi-storey buildings from 1970s were researched and a plan was made to fulfill the energy rules. The old and the new structure were compared from the perspective of construction physics.

In this study it was detected that concrete recycling is necessary and easy. Concrete manufacturing requires a lot of energy, which is why it should be recycled as much as possible. After additional insulation, low energy level was reached and the total heat loss decreased 66 %.

---

# SISÄLLYS

|   |    |
|---|----|
| 1 JOHDANTO  | 6  |
| 2 KESTÄVÄ KEHITYS                                   | 7  |
| 2.1 Jätteen synty ja niiden ehkäiseminen            | 8  |
| 2.2 Jättemäärät                                     | 11 |
| 3 RAKENNUSMATERIAALIT JA NIIDEN HYÖDYNTÄMINEN       | 13 |
| 3.1 Rakennusmateriaalin hyödyntämisen edut          | 14 |
| 3.2 Kierrätysmateriaalien hyödyntämisen ehdot       | 15 |
| 3.3 Rakennusmateriaalien käyttöikä                  | 17 |
| 3.4 Yleisimmät rakennusmateriaalit kierrättämisessä | 19 |
| 3.4.1 Betoni  | 19 |
| 3.4.2 Puu   | 24 |
| 3.4.3 Tiili   | 26 |
| 3.4.4 Teräs   | 27 |
| 3.5 Eristeet  | 30 |
| 3.5.1 Ekovilla                                      | 30 |
| 3.5.2 Olkipaalit                                    | 31 |
| 3.5.3 Mineraalivilla                                | 33 |
| 3.6 Muut rakennusmateriaalit                        | 34 |
| 3.6.1 Muovi   | 34 |
| 3.6.2 Lasi  | 35 |
| 3.6.3 Thermo Poly Rock (TPR)                        | 37 |
| 3.6.4 Kipsilevy                                     | 38 |
| 4 BETONISANDWICH-ELEMENTTIEN HYÖDYNTÄMINEN          | 39 |
| 4.1 Betonisandwich–elementin rakenne                | 39 |
| 4.2 Betonielementin uudelleenkäytön vaiheet         | 41 |
| 4.3 Rakennusfysikaalinen tarkastelu                 | 42 |
| 4.4 Betonielementin lisäeristyksen työvaiheet       | 47 |
| 5 YHTEENVETO  | 49 |
| LÄHTEET   | 50 |
| LIITTEET  |    |

# 1 JOHDANTO

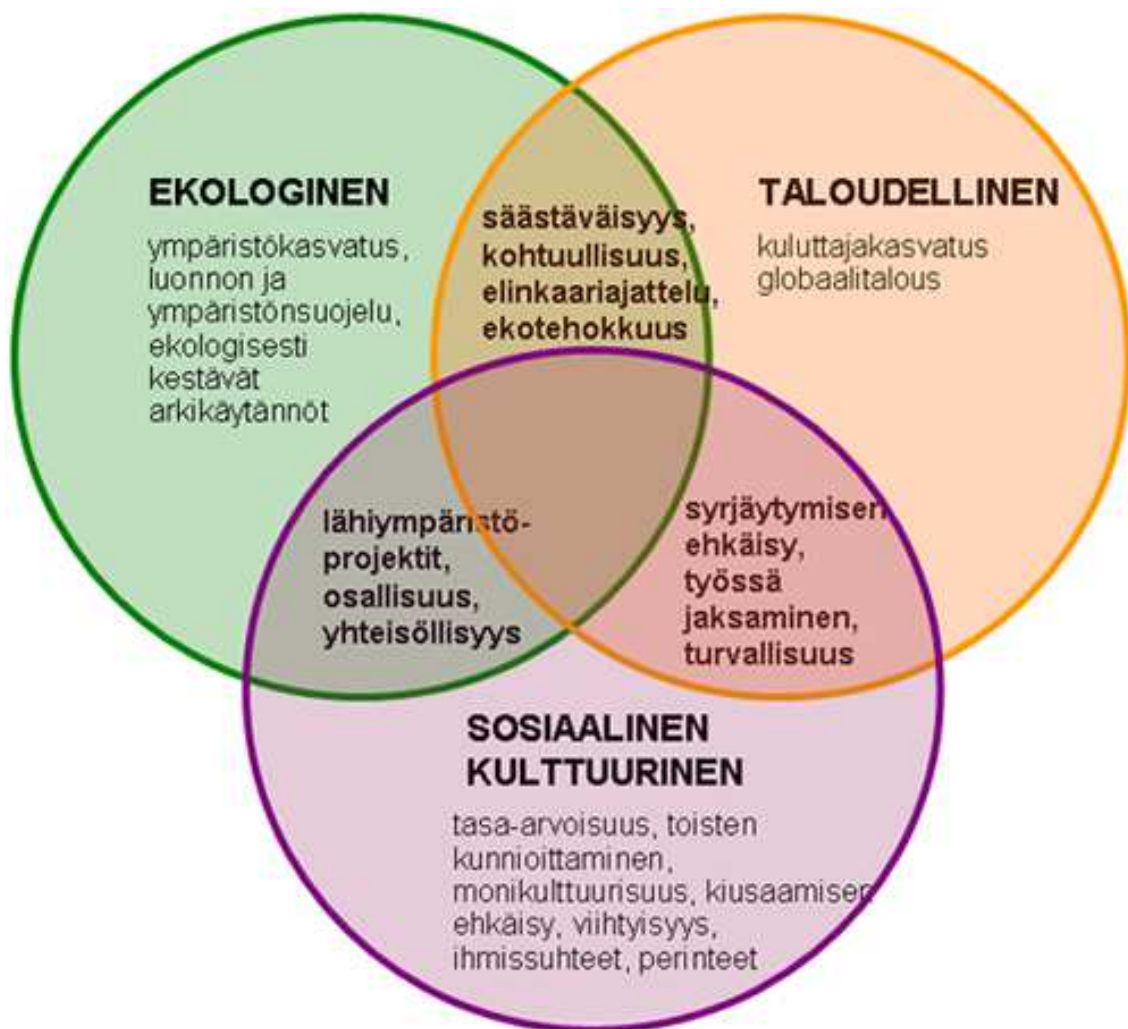
Maapallon luonnonvarojen avulla turvataan elämisen perustarpeet, kuten asuminen ja ravinto. Maapallolla on tarjottavana ihmisille paljon energialähteitä ja luonnonvaroja. Kuitenkin suuri osa rakentamisesta käytetyistä luonnonvaroista koostuu uusiutumattomista luonnonvaroista. Ennusteet yhteiskunnan hyvinvoinnista ja maapallon turvallisuudesta kasvi-, eläin- ja ihmislajeissa saa pohtimaan yhä tarkemmin hiilijalanjälkeä ja yhteiskunnan hyvinvoinnin turvaamista.

Kierrättämisellä voidaan saada aikaan hyviä tuloksia ja säästää yhteiskuntaa. Kierrätyksen avulla saadaan monesti aikaan myös taloudellista hyötyä, sillä vanhan rakennustuotteen uusiokäyttöön ei tarvita enää paljon valmistusresursseja. Rakennusmateriaaleja on paljon ja mahdollisuudet kierrättämiseen ovat suuret. Kierrätyksen tehostaminen vaatii yhteiskunnalta ja rakennusliikkeiltä tietoutta, aikaa ja riittävää panostusta.

Tässä opinnäytetyössä perehdytään kestävään kehitykseen rakentamisessa. Opinnäytetyössä on tavoitteena selvittää eri materiaalien kierrättämismahdollisuuksia. Lisäksi työhön kootaan erilaisia ratkaisuja kierrätysmateriaalien hyödyntämisestä eri kohteissa tapauskohtaisesti. Työssä laaditaan myös suunnitelma vanhojen 1970-luvun kerrostalojen betonisandwich-elementtien kierrättämiseksi pientalorakentamista varten. Opinnäytetyö tehdään Kestävän Kehityksen Keskus Oy:lle.

## 2 KESTÄVÄ KEHITYS

Kestävä kehitys määritellään kehitykseksi, joka tyydyttää yhteiskunnan tarpeet maailmanlaajuisesti, alueellisesti ja paikallisesti siten, että tuleville sukupolville turvataan hyvät elämisen mahdollisuudet. Kestävä kehitys voidaan jakaa kolmeen pääryhmään: ekologinen kestävyys, taloudellinen kestävyys sekä sosiaalinen ja kulttuurinen kestävyys. (Kuva 1.) (Kestävä kehitys. 2012.)



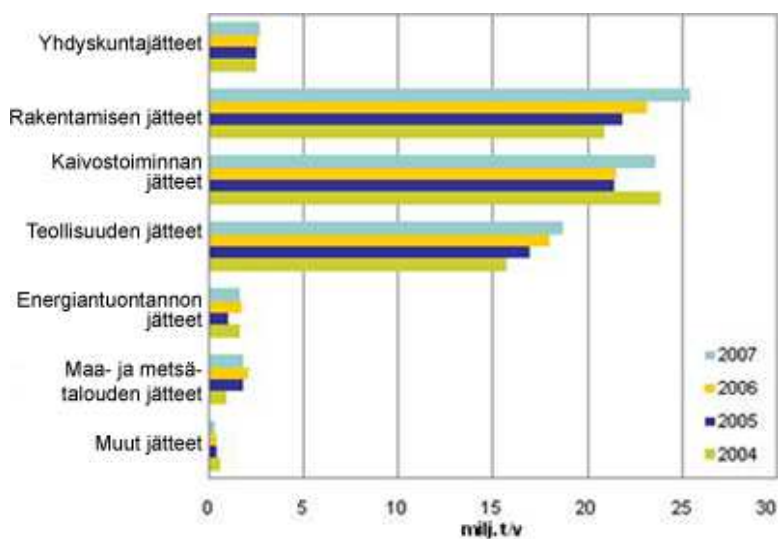
Kestävän kehityksen ulottuvuudet Kuva: Suomen ympäristöopisto SYKLI

KUVA 1. Kestävän kehityksen ulottuvuudet (Kestävä kehitys. 2012)

Kestävä kehitys ilmenee myös usein rakentamisessa esimerkiksi ympäristöystävällisten materiaalien tai energiamuotojen käyttönä. Avainkysymykseksi tulee tällöin eri rakennusmateriaalien hiilijalanjälki. Hiilijalanjälki tarkoittaa tuotteen aiheuttamaa ilmastokuormaa eli sitä, missä määrin kasvihuonekaasuja syntyy tuotteen elinkaaren aikana. Hiilijalanjälkeä käytetään yhteiskunnassa mittarina ja tämän avulla voidaan arvioida tuotteiden ja kulutusvalintojen vaikutusta ilmaston lämpenemiseen. Rakennustuotteiden ja –materiaalien valinnalla voidaan vaikuttaa suurelta osin hiilijalanjälkeen valmistusvaiheessa, rakennusvaiheessa ja käyttövaiheessa. (Hiilijalanjälki. 2012.)

## 2.1 Jätteiden synty ja niiden ehkäiseminen

Jätettä syntyy yhdyskunnassa, rakentamisessa, kaivostoiminnassa, teollisuudessa, energiantuotannossa sekä maa- ja metsätalouden jätteenä. Rakentamisessa syntyvän jätteen määrä on näistä merkittävimmissä asemassa (kuva 2). Juuri tämän vuoksi tulisi pohtia keinoja, jotta jätemäärät saataisiin mahdollisimman pieneksi. Jokainen materiaali muuttuu rakennusjätteeksi käyttönsä loppuessa. Rakentamisen jätteestä valtaosa on mineraalijätettä. (Jätteiden synty toimialoittain. 2012.)



KUVA 2. Jättekertymät vuosina 2004–2007 (Jätteiden synty toimialoittain. 2012)

Jätedirektiivillä (2008/98/EY) pyritään edistämään jätteen synnyn ehkäisyä. Jätepolitiikassa noudatetaan viittä kohtaa: jätteen synnyn ehkäisy, valmistelu uudelleenkäyttöön, kierrätys, muu hyödyntäminen ja loppukäsittely. (Rakentamisen jätteet. 2012.)

Kun minimoidaan jätemäärät, työmäärä vähenee ja resursseja vapautuu muihin töihin, siisteys paranee, ympäristökuormitus ja energian kulutus pienenee. Näiden lisäksi lisäkustannuksilta säästytään, sillä kuormat jätekeskuksiin maksavat paljon vuositasolla. Jätteiden synnyn ehkäisynä olisi hyvä käyttää määrämittäisiä ja esivalmistettuja materiaaleja. Tällöin hukka jää pienemmäksi esimerkiksi puurungon teossa. Puuelementit puolestaan vähentävät työmaalla syntyvää puujätettä. Pakkausten tulisi olla myös hyödynnettävissä ja sen lisäksi tulisi suosia pakkaamattomia tai vähän pakattuja tuotteita. Tavaransaapuesssa työmaalle materiaalien kunto olisi hyvä varmistaa, jotta rikkiäisiä tuotteita ei joutuisi työmaalavalle vailla käyttötarkoitusta. Tavaransa toimittajan kanssa voisi myös sopia, että se veisi pakkaukset mukanaan, jos se on vain mahdollista. Urakointisopimuksessa tulisi olla jo huomioon otuna jätehuolto, jotta jätemäärät eivät pääse kasvamaan liian suureksi työmaalla turvallisuuden ja siisteyden vuoksi. (Rakentamisen jätteet. 2007.)

Jätteen synnyn ehkäisy vaatii yhteiskunnassa panostusta, aikaa ja tietoutta. Kierrätys on varsin suuressa asemassa jätteiden synnyn ehkäisemiseksi. Oulussa toimiva kestävän kehityksen keskus ottaa vastaan rakennusyrityksiltä hyötyjätettä, jossa se lajitellaan ja tarpeen mukaan kuljetetaan eteenpäin. (Raitala 2012.)

Rakentamisen eri vaiheissa jätemäärien synty voi vaihdella ja tämän vuoksi jätemäärien hyvä ennakointi ja jätehuoltosuunnittelu on tarpeen kustannusten ja ympäristön säästämiseksi. Esimerkiksi työmaalla puujäte laitetaan sille tarkoitettulle lavalle (kuva 3). Sekajätelavalle laitetaan muu materiaali, joita ei voida hyödyntää tai käyttää toisin. Jätelavojen hinnat vaihtelevat ja tällöin oikealla materiaalin sijoittamisella voidaan saada säästöä aikaan. Muu jäte työmaalla voidaan varastoida mahdollista myöhempää hyötykäyttöä varten. Näitä voivat olla esimerkiksi runkotavara, tiilijäte, kevytbetonituotteet yms. (Rakentamisen jätteet. 2007.)



*KUVA 3. Lajiteltu puujäte (Kettunen 2012)*

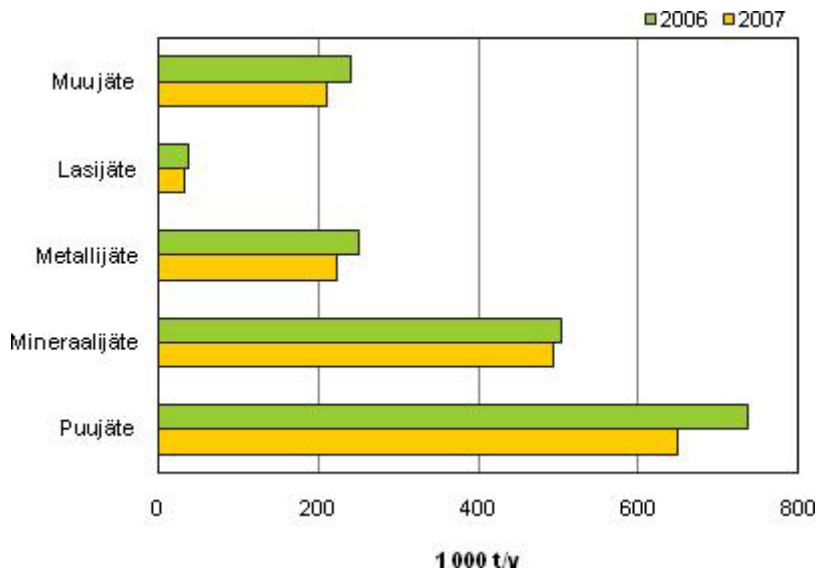
Vaiheittainen rakennusmateriaalien hankinta auttaa ehkäisemään turhien jätemäärien syntymistä, sillä tällöin pystytään paremmin kontrolloimaan tarvittavaa rakennusmateriaalin määrää ja rakennusmateriaalien hukka jää pienemmäksi. Pienempi rakennusmateriaalin määrä vähentää myös tarvittavaa varastointitilaa. Tavaraa voidaan tilata ylimitoitetusti tarjousten perusteella, sillä tällöin tuotteen hinta tulee olemaan suhteessa halvempi, myös työmaakuljetusten vuoksi. Ylimitoitettu määrä johtuu myös pitkälti siitä, että rakennusvaiheiden eri seurausten vuoksi rakennusmateriaalien hukka voi olla suurempi. Tällöin materiaalia kuluu laskettua enemmän ja tämän vuoksi tilausta tehdessä minimoidaan kuljetusten määrä, jopa sillä uhalla, että tavaraa tulee yli tarvittavan määrän. (Rakentamisen jätteet. 2007.)

Tarkka optimointi ja laskeminen juuri oikeanlaiseksi on haasteellista, mutta pitkällä aika välillä sillä saadaan säästöjä ja vähennetään ympäristökuormitusta. Tarvittavien työmenetelmien osaaminen on myös ratkaisevaa, jotta rakennusmateriaalien hukka jää vähäiseksi. Rakennusmateriaalin ei tulisi pilaantua puutteellisen varastoinnin ja suojauksen vuoksi eikä rakennustavaran tulisi rikkoontua kuljetuksen aikana. (Rakentamisen jätteet. 2007.)

## 2.2 Jättemäärät

Jättemäärää syntyy runsaasti työmaalla ylimitoitetusta materiaalista, pakkausmateriaalista tai jopa pilaantuneesta rakennusmateriaalista. Pohdittavaksi tulee aina ympäristöasioiden lisäksi jätteistä aiheutuva kustannuspuoli. Tavarasta joudutaan maksamaan ensiksi työmaalle tullessaan ja vielä sieltä lähtiessäänkin. Työmaalla hyvä suunnittelu auttaa ehkäisemään turhien jättemäärien syntyä ja niistä aiheutuvaa lisäkustannusta ja ympäristökuormitusta. (Rakentamisen jätteet. 2007.)

Vuosina 2006–2007 talonrakentamisen jätteistä oli noin 40–42 % puupohjaisia jätteitä, noin 28–31 % kiviaineksia ja noin 14 % metallijätteitä. Näiden jätteiden lisäksi rakennusjätettä kertyi eristeistä, pakkausmuoveista, maalista, lasista ja yhdyskunnan jätteistä. (Kuva 4.) (Rakentamisen jätteet. 2012.)



*KUVA 4. Jätteiden jakautuminen rakennustyömaalla vuonna 2006–2007 (Jätteiden synty toimialoittain. 2012)*

Esimerkiksi Skanskalla talonrakentamisen keskimääräinen jättemäärä on vuonna 2005 ollut  $4,5 \text{ kg/m}^3$  ja vuonna 2006 jättemäärä oli noin  $3,8 \text{ kg/m}^3$ . Suunta on oikea ja tähän tulisi jokaisen rakennusliikkeen pyrkiä parhaalla mahdollisella tavalla. (Jättemäärät työmailla vähentyneet. 2006.)

Kaikkiaan Suomessa huippu on saavutettu vuonna 1999, jolloin jätettä syntyi 59 miljoonaa tonnia. Syitä jättemäärien vähenemiseen on perusteltu muun muassa

1999 jälkeen kaivostoiminnan sivukivimäärien vähenemisestä. Suomessa toiseksi suurin kaivos on siirtynyt pikku hiljaa avolouhinnasta maanalaiseen louhintaan. Suomen jätemääriin on vaikuttanut talouden rakennemuutos, jossa suositaan vähemmän jätteitä tuottavia toimialoja. (Suomen jätemäärät kääntymässä laskuun. 2006.)

### **3 RAKENNUSMATERIAALIT JA NIIDEN HYÖDYNTÄMINEN**

Ylimääräisille rakennusmateriaaleille on yleensä kolme määränpäättä. Rakennusmateriaali voidaan esimerkiksi rakennusprojektin tai –työvaiheen jälkeen varastoida myöhempää hyötykäyttöä varten. Rakennusmateriaali voidaan tällöin käyttää sellaisenaan uudelleen tarpeen mukaan. Materiaali voidaan myös kuljettaa uuden materiaalin valmistusta varten, jolloin kierrätysmateriaali toimii uuden materiaalin raaka-aineena. Ei-toivotuin vaihtoehto on, että materiaali päätyy kaatopaikalle, sillä silloin sen potentiaalinen hyödyntäminen ei enää onnistu. Kaatopaikalle tuleva jäte kasvattaa jättemääriä yhä suuremmaksi ja jätemaksut aiheuttavat myös rakennusliikkeille ylimääräisiä kustannuksia. (Kierrätyksen uudelleenkäytön edistäminen rakentamisessa. 2012.)

Tilojen rakentaminen helposti osiin purettaviksi on osa rakennusmateriaalien ja –osien uudelleenkäyttöä. Rakenteiden tulisi olla selkeästi erillään toisista ja helposti purettavissa, jolloin ne on helppo kierrättää. Kiinnitysten tulisi olla huolellisesti tehtyjä. Tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että naulaamisen sijaan käytettäisiin ruuvikiinnityksiä mahdollisuuksien mukaan. (Kierrätyksen uudelleenkäytön edistäminen rakentamisessa. 2012.)

#### **Lain rajoitukset kierrättämisen esteenä 2013**

Vielä tähän päivään asti vanhan rakennusmateriaalin hyödyntäminen on ollut mahdollista sellaisenaan tietyt määräykset huomioon ottaen. Tuleva uusi jätelaki ja rakennustuoteasetus määrittelee, että esimerkiksi vanhan tiilen kierrätys on mahdollista vain, jos tiiltä käytetään samaan käyttötarkoitukseen. Kierrätys siis vaikeutuu, ellei vanhan materiaalin käyttötarkoitusta voida todentaa. (Rakennustuotteiden oltava merkittyjä vuonna 2013. 2012.)

Uusi laki astuu voimaan heinäkuussa 2013. Tämä tarkoittaa sitä, että rakennustuoteasetus vaatii tulevilta uusilta rakennustuotteilta CE–merkinnän. Tämän vuoksi vanhojen rakennusosien käytöstä tulee yhtä aiempaa haasteellisempaa. (Rakennustuotteiden oltava merkittyjä vuonna 2013. 2012.)

## **Kuluttajien mielipide kierrätysmateriaalien käytöstä rakentamisessa**

Kuluttajatutkimuskeskuksen tutkimus suunnattiin Vantaan kaupungin vuokra-asuntoyrityksen VAV Asunnot Oy:n asukkaille. Kyselyissä selvisi, että kuluttajat suhtautuivat hyvin myönteisesti uusio- ja kierrätysmateriaalien käyttöön, varsinkin sellaisiin paikkoihin, jotka eivät olet jatkuvasti asukkaiden lähellä. Näitä paikkoja voivat olla esimerkiksi pihalaatat, seinä-, katto- ja lattiarakenteiden eristeiden lisäksi talon runko. (Asukkaat eivät tyrmää kierrätysmateriaalien käyttöä kerrostaloissa. 2012.)

Tutut materiaalit, kuten ristiin laminoitu puu ja lasi saivat yleisesti suosiota ja ne hyväksyttäisiin omaankin asuntoon. Vieraammat materiaalit saivat suosiota ja kannatusta sekä täysin kielteisiä mielipiteitä. Jopa käytetyt teräskontit, lentotuhkalevy tai kierrätysmuovi saivat suosiota. (Asukkaat eivät tyrmää kierrätysmateriaalien käyttöä kerrostaloissa. 2012.)

### **3.1 Rakennusmateriaalin hyödyntämisen edut**

Kestävän kehityksen kaavan mukaista on luonnonvarojen säästäminen ja ympäristökuormitusten minimoiminen. Siitä huolimatta, että kyseessä on jopa uusiutuva luonnonvara, säästäminen on aina askel kohti kestäväää kehitystä. Jättekertymät rakennustyömaalla ovat todella suuret ja tämä asettaa yhteiskunnan ja rakennustyömaalla työskentelevien ihmisten miettimään tarkkaan hyödyntämisen mahdollisuuksia. Helposti voisi luulla, että esimerkiksi uusiutuvan puukasvuston vuoksi puutavaran uudelleenkäyttö ei ole tarpeen rakennusmateriaalina ja se voidaan käyttää ennemmin lämmöntuotantoon. Puu on uusiutuva luonnonvara, mutta sen kasvu on hidasta. Tuotantovaiheessa puusta julkisivutavaraksi, runkotavaraksi tai muuhun tarkoitukseen, energiaa kuluu huomattavia määriä. Energiaa kuluu valmistusvaiheessa, mutta puutavaran uudelleen käyttäminen ei kuluta enää valmistumisessa aiheutuvaa energiaa. Uuden materiaalin jälleenkäyttö pienentää siis kokonaisuudessa tarvittavaa energiamäärää. (Puurakentamisen edistämishjelma 2004–2010. 2004.)

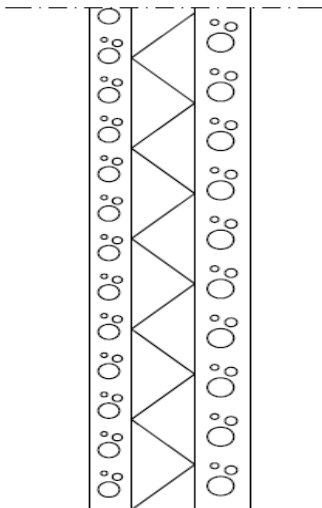
Kustannusten vuoksi potentiaalisten materiaalien jälleenhyödyntäminen kannattaa. Rakennusurakassa voidaan saada mittavia säästöjä vanhan

rakennusmateriaalin uudelleenkäyttämällä. (Kierrätyksen uudelleenkäytön edistäminen rakentamisessa. 2012.)

Rakennusmateriaaleja on lukuisia ja valtaosa niistä soveltuu itse materiaalina uudelleenkäytettäväksi. Aika on rajallista rakennusyrytyksissä ja vanha tapa materiaalien käsittelemiseksi saa jätemäärät tarpeettoman suuriksi. (Kierrätyksen uudelleenkäytön edistäminen rakentamisessa. 2012.)

### 3.2 Kierrätysmateriaalien hyödyntämisen ehdot

Jotta rakennusmateriaaleja voitaisiin purkaa myöhempää käyttöä varten, tulee tarvittavan rakennusmateriaalin olla vielä rakennusteknisiltä ominaisuuksiltaan hyväkuntoinen. Esimerkiksi tyypillisen Sandwich-rakenteen (kuva 5) eriste ei saa sisältää mikrobivaurioita. Runkotavarana käytettäväksi tuleva materiaali tulee olla kantokyvyltään määräysten mukainen.



*KUVA 5. Sandwich-rakenne*

Logistiikan tulee olla myös kunnossa. Purettavalle rakennusosalle tulee olla mahdollinen varastointipaikka jälleenhyödyntämisen vuoksi. Juuri varastoinnin puutteen vuoksi rakennusmateriaalit päätyvät kaatopaikalle vailla hyötykäyttöä. Uusiokäyttöön tulevat materiaalit tarvitsevat sääsuojan, jotta voidaan turvata materiaalin rakennustekninen toimivuus vielä tulevaisuudessakin ja varmistaa rakennusmateriaaleille pitkä käyttöikä. (Kierrätys ja uudelleenkäyttö ovat nykyaikaa. 2012.)

Kierrätettävää materiaalia on ryhdyttävä etsimään hyvissä ajoissa. Tavaraa kannattaa varastoida myöhempää korjaustarvetta tai rakentamista varten. Suunnittelu- ja toteutusaikataulultaan kierrätysmateriaalien hyödyntäminen edellyttää tavanomaista väljempää toteutusta, sillä kierrätysmateriaaleja ei välttämättä ole saatavilla projektin alkaessa ellei siihen olla varauduttu. (Kierrätys ja uudelleenkäyttö ovat nykyaikaa. 2012.)

Rakennustarkastuksessa voi esiintyä ongelmia, kun hyödynnetään vanhoja materiaaleja. Välttämättä vanhojen materiaalien kestävyyttä ja laatua ei voi täysin taata. Jotta voidaan käyttää vanhoja rakennusosia, pitää pystyä osoittamaan että rakennusmateriaalin lujuus, eristävyys ja muut seikat ovat riittävän hyvät. Välttämättä vanhan materiaalin lujuutta ei ole aina niin helppo osoittaa, sillä se vaatii tutkimuksia. Tutkimukset aiheuttavat kunkin materiaalin kohdalla lisäkustannuksia ja alentavat tuottoa kierrätysprosessissa. Haastavaa on uuden ja vanhan materiaalin yhteensovittaminen, sillä tällöin pitää pohtia, tulevatko suunnitelmat toteuttaa uuden vai vanhan rakennuksen määräyksien mukaan. (Kierrätys ja uudelleenkäyttö ovat nykyaikaa. 2012.)

Myös työmenetelmät ja –suunnitelmat ovat erittäin tarpeen varsinkin isoja elementtejä hyödyntäessä riskien minimoimiseksi ja ennen kaikkea rakennusmääräysehdojen täyttymiseksi. Purettavat rakennusosat vaativat hyvän toteutuksen, jotta esimerkiksi seinä- ja välipohjaelementit voidaan purkaa ehjinä myöhempää hyötykäyttöä varten. Rakennusmääräysten muuttuessa pohdittavaksi tulee aina energiamääräykset ja kerroskorkeuksiin liittyvät seikat. Vanhaa seinäelementtiä hyödyntäessä pitää pohtia, mihin rakennustyyppeihin sitä voitaisiin mahdollisesti hyödyntää. Välttämättä vanhaa kerrostalon seinäelementtiä ei voida enää hyödyntää samantapaisiin rakennuksiin, jos kerroskorkeuden suunnitteluarvot ovat muuttuneet ellei siihen olla varauduttu. (Kierrätys ja uudelleenkäyttö ovat nykyaikaa. 2012.)

Rakennusmateriaalin olisi myös hyvä olla esteettisesti tälle aikakaudelle sopiva ja jokainen voi miettiä itse, millainen materiaali tälle aikakaudelle sopii. Rakennusmateriaalin jälleenkäyttö runkotavarana ei aseta pohdintoja sille, onko se esteettisesti kaunis. Hieman ulkonäöltään vanha materiaali kelpaa hyvin

näkymättömänä rungon sisällä, jos se on rakennusteknisiltä ominaisuuksiltaan kelvollinen. (Kierrätys ja uudelleenkäyttö ovat nykyaikaa. 2012.)

Rakennusmateriaalien hyödyntämisessä tulee ottaa huomioon moniosaisesti kaikki alueet, jotta hyödyntäminen kannattaa. Vanhaa tuotetta hyödyntäessä tulee miettiä juuri kyseisen tuotteen elinkaarta ja miettiä, mitä huolto ja hyödyntäminen maksaa vielä hyödyntämisen jälkeen. Esimerkiksi hyvässä kunnossa olevat vanhat ikkunat voivat olla varsin hyviä pienimuotoisen huollon jälkeen. Kuitenkin niiden kohdalla tulee aina kysymykseen lisäksi rakennusfysikaaliset tekijät ja lämmönsiirtyminen. Vanhojen ikkunoiden huonon U–arvon vuoksi lämpöä siirtyy enemmän pois lämpimästä rakennuksesta ja se aiheuttaa aina suuremmat lämmityskustannukset. Määräyksien täyttymiseksi tilanne voidaan korjata esimerkiksi yläpohjan lisäeristämällä. Yläpohjan lisäeristys kuitenkin maksaa ja tällöin välttämättä ikkunoiden hyödyntäminen ei ole enää kannattavaa. (Kierrätys ja uudelleenkäyttö ovat nykyaikaa. 2012.)

### **3.3 Rakennusmateriaalien käyttöikä**

Ympäristörasitusten minimoimiseksi tulee huomioida rakennuksen elinkaari materiaalin valmistuksesta ja rakentamisesta rakennuksen käyttöön ja lopulta myös purkamiseen. Rakennuksen käyttöiän olisi hyvä olla rakennuksen tarkoitukseen nähden riittävän pitkä. Jo suunniteltaessa rakennusta tulee selvittää rakennusmateriaalien ja –tarvikkeiden aiheuttama ympäristörasitus. Rakentamisessa tulee myös käyttää materiaaleja, joista on kokemusta ja tietoa. Rakennusosien suunniteltu käyttöikä otetaan huomioon rakennusta varten laadittavassa käyttö– ja huolto–ohjeessa. (Rakennusten elinkaaritekniikka. 2001.)

Standardin ISO 15686 mukaan rakennuksilla ja rakennusosilla on kaksi ikää. Suunnittelukäyttöikä eli design life on omistajan tai rakennuttajan asettama käyttöikävaatimus tai käyttöikätaavoite. Toinen on ennalta arvioitu käyttöikä eli estimated service life, joka on rakennuksen tai rakennusosan käyttöikäarvio kohteessa. (Rakennusten elinkaaritekniikka. 2001.)

Suunnittelija määrittelee tilaajan kanssa rakennuksen koko suunnittelukäyttöiän. Näistä johdetaan rakennusosien suunnittelukäyttöiät. Rakennuksen käyttöikä

voidaan suunnitella esimerkiksi 100 vuodeksi, mutta kaikkien rakennusosien ei tarvitse kestää tuota ikää. Rakennusosat tarvitsevat myös huoltoa ja varsinkin usein pitkällä aikavälillä huoltaminen tulee halvemmaksi koko rakennuksen käyttöiän aikana kuin rakennusosan kokonaan uusiminen. (Rakennusten elinkaaritekniikka. 2001.)

Kaikista merkittävimmissä asemassa pitkäikäisessä suunnittelussa ovat heti alkuun rakennuksen perustus, runko ja muut kantavat rakennusosat. Näiden rakennusosien vahingoittuminen tulee hyvinkin kalliiksi ja niiden korjaaminen voi olla haastavaa. Juuri tämän vuoksi nämä rakennusosat tulisi suunnitella siten, että ne kestävät mahdollisimman pitkään. (Rakennusten elinkaaritekniikka. 2001.)

Taulukossa 1 määritellään ohjeellisesti rakennusosien käyttöikä perustuen rakennuksen suunniteltuun käyttöikänsä, rakennusosien vaihdettavuuteen ja huoltoon. Taulukon arvot ovat suuntaa antavia ja helpottavat pohtiessa eri rakennusosien suunniteltua käyttöikää. (Rakennusten elinkaaritekniikka. 2001.)

*TAULUKKO 1. Rakennusosien käyttöiät (Rakennusten elinkaaritekniikka. 2001)*

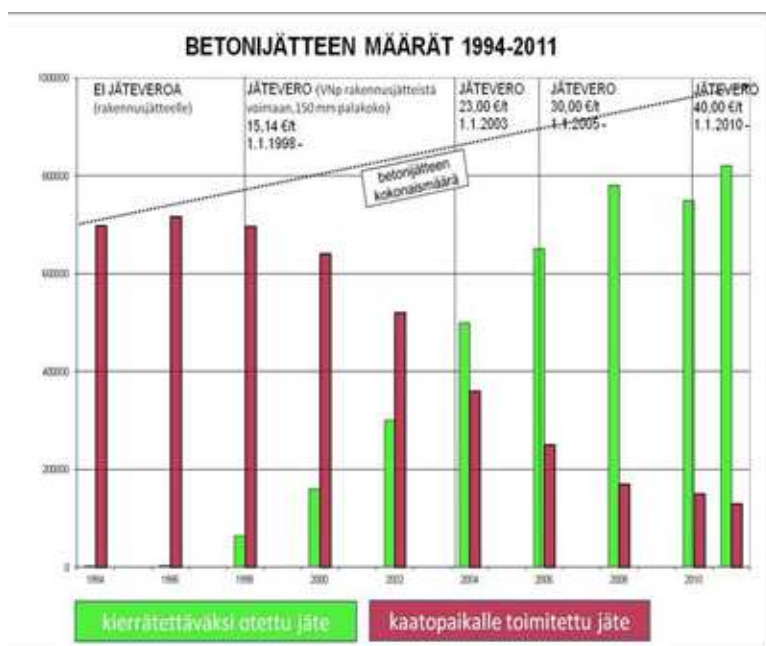
| <b>Rakennuksen suunnittelu- käyttöikä</b>  | <b>Luoksepääsemättömät tai kantavat rakennusosat</b> | <b>Rakennusosat, joiden uusiminen on kallista tai vaikeaa (esim. pohjaveden pinnan alapuolella)</b> | <b>Suurehko vaihdettavat rakennusosat</b> | <b>Laitteet, installaatiot ja ulkopuoliset työt</b> |
|--|--|---|---|---|
| Rajoittamaton  | Rajoittamaton  | 100   | 40  | 25  |
| 150  | 150  | 100   | 40  | 25  |
| 100  | 100  | 100   | 40  | 25  |
| 60   | 60   | 60  | 40  | 25  |
| 25   | 25   | 25  | 25  | 25  |
| 15   | 15   | 15  | 15  | 15  |
| 10   | 10   | 10  | 10  | 10  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Vähemmän tärkeiden rakennusosien suunnittelukäyttöikä voi olla 3–6 vuotta.</li> <li>◆ Rajoittamatonta suunnittelukäyttöikää tulee käyttää harvoin ja harkiten, sillä se rajoittaa merkittävästi suunnitteluvaihtoehtoja.</li> </ul> |  |   |   |   |

### 3.4 Yleisimmät rakennusmateriaalit kierrättämisessä

#### 3.4.1 Betoni

Betoni on eniten käytetty rakennusmateriaali maailmassa. Raaka-aineiden hyvä saatavuus ja yksinkertainen valmistusprosessi mahdollistavat tämän. Betoni on kestävä, luja ja vähän huoltoa vaativa. Betoni mahdollistaa rakennuksiin myös hyvän tiiveyden ja paloturvallisuuden. Jos suhteutetaan betoni koko elinkaaren ajalle, se on yksi ekotehokkaimmista ja taloudellisimmista rakennusmateriaaleista. Betonin valmistustapa mahdollistaa hyvin erilaisten ja erimuotoisten rakennusosien valmistuksen ja näiden lisäksi betonia voidaan muokata mahdollisesti uuden käyttötarkoituksen mukaiseksi. Kaikkien näiden lisäksi betonia on mahdollista kierrättää. (Eniten käytetty rakennusmateriaali maailmassa. 2012.)

Jäteveron muutoksella on pystytty vaikuttamaan huomattavasti kaatopaikalle toimitettavan betonijätteen määrään (kuva 6). Vielä 1990-luvulla betonia ei kierrätetty lainkaan, mutta nykypäivänä suurin osa betonijätteestä kierrätetään. Jätevero on antanut siis hyvän motivaation betonin kierrättämiselle. (Eniten käytetty rakennusmateriaali maailmassa. 2012.)



KUVA 6. Betonijätteen määrät 1994–2011 (Eniten käytetty rakennusmateriaali maailmassa. 2012)

Jo betonin valmistuksessa syntyy ylijäämäkiviainesta, kun betonituote pestään. Kiviaines voidaan käyttää maa-aineksena myöhemmin tai se voidaan ottaa käyttöön valmistusprosessissa uudelleen. Myöhemmin, kun rakennus on tullut siihen pisteeseen, että se suunnitellaan purettavaksi, aletaan pohtia betonin mahdollisia kierrätysmahdollisuuksia. Jos rakennus on koottu pelkästään elementeistä hitsaus- ja pulttiliitoksien, se voidaan purkaa vahingoittumatta. Vielä Suomessa tämälntapainen kierrätys ei ole suuressa roolissa, mutta esimerkiksi Hollannissa on kehitetty rakennejärjestelmä, joka mahdollistaa rakennusosien purkamisen täysin ehjänä ja sen siirtämisen uuteen paikkaan. (Eniten käytetty rakennusmateriaali maailmassa. 2012.)

Vuosina 1968–1970 kehitettiin BES-järjestelmä, joka perustui kantaviin pääty- ja väliseiniin, ei kantaviin sandwich-ulkoseiniin ja välipohjina käytettäviin pitkälaitoihin. Laattaelementteinä käytettiin esijännitetyjä ontelo- ja kotelolaittoja (kuva 7). Liitosdetaljit suunniteltiin siten, että valittu runkojärjestelmä antoi hyvät vaihtelumahdollisuudet pohjaratkaisujen suhteen. Ontelolaitat mahdollistavat pitkät jännevälit ja muunneltavan pohjan. Pitkää jänneväliä voidaan myös hyödyntää hyvin uudelleenkäytössä. (BES-rakentamista 70-luvulta lähtien. 2012.)



*KUVA 7. Ontelolaitan asennus BES-kerrostaloon (BES-rakentamista 70-luvulta lähtien. 2012)*

Betonirakenteet voivat olla elementtien lisäksi koottu paikallaan valaen, kuten esimerkiksi välipohjat ovat. Tällöin betonin hyödyntäminen vaatii enemmän käsityötä, jotta betonista saadaan haluttuja palasia hyödyntämistä silmällä pitäen. Tämä on vähän työläämpää, mutta timanttisauhauksella se on kuitenkin mahdollista. (Huuha. 2010.)

Asuntorakennukset voivat olla suunniteltu purettaviksi. Esimerkiksi Alankomaissa on käytössä CD20-järjestelmä, jossa on pultiliitokset ja vähäiset juotosvalut. Käyttökohteina ovat koulu- ja toimistorakennukset. Tällainen järjestelmä on hyödyllistä, jos rakennukselle tai sen toiminnalle ennustetaan lyhyttä käyttöikää. Näitä rakennuksia voivat olla muun muassa päiväkodit, koulut tai vanhustentalot ja myymälä-, tuotanto- tai varastorakennukset. Suomessakin teollisuushallien liitokset ovat usein helposti irrotettavia ja halleja on siirretty toiseen paikkaan. Halleissa käytetyt TT- ja HTT-laatat ovat liitostensa puolesta helpompia irrottaa kuin ontelolaatat. Tärkeää on myös, että rakenteeseen jätetään nostolenkit paikoilleen mahdollista myöhempää nostoa ja purkamista varten. (Purkubetoni kierrätetään tienpohjiksi – tulevaisuudessa ehkä myös taloiksi. 2010.)

Betonirakennuksia on purettu hajottamalla, mutta myös ehjänä purkamista on kokeiltu. Pääasiassa ehjänä purkaminen voidaan suorittaa joko piikkaamalla tai timanttisauhauksella. Ehjänä purkaminen vaatii enemmän työaikaa, mutta se on välttämätöntä hyödyntämistä ajatellen. Esimerkiksi Raahen Kummatissa purkutyö on suoritettu piikkaamalla ja hinta on ollut tavanomaista purkamista edullisempi. (Kiinteistö Oy Kummatti korjataan ennakkoluulottomasti. 2008.)

Raahen Kummatissa kokeiltiin purkamista osittain. Kerrostaloja oli tarkoitus madaltaa, sillä kysyntää ei ollut ja asunnot olivat tyhjillään. Raahen kaupungin omistama kiinteistö Oy Kummatti järjesti kilpailun, jonka Harri Hagan ja Petri Kontukoski voittivat ehdotuksellaan ”palapeli”. Purkutyössä käytettiin robottia, joka purki väliseinät ja välipohjat. Julkisivuelementit poistettiin kokonaisina. Yleisesti ottaen rakennuksista poistettiin puolet sen massasta. Joissakin rakennuksissa on poistettu yksi kerros ja joissakin kaksi kerrosta. Purkamista on helpottanut se, että alkuperäiset nostolenkit olivat paikoillaan. Purkukustannukset ovat olleet noin 60 euroa neliometriä kohden. Ensimmäisen

vaiheen rakennusjätteen määrä oli vähäinen. Osa elementeistä murskattiin uusiokäyttöön ja loput toimitettiin sikaloiden ja kanaloiden rakennusaineiksi. Teräkset menivät myyntiin massasta erottelun jälkeen. Toisessa vaiheessa käytettiin jokainen umpielementti ja tällöin jätteen määrä jäi vähäiseksi.

(Kiinteistö Oy Kummatti korjataan ennakkoluulottomasti. 2008.)

Asuntojen madaltamisen ja purkamisen jälkeen asuntojen energiatehokkuutta parannettiin matalaenergiatasoon siten, että lämmöneristeen määrä oli lopulta 300 millimetriä. Harri Haganin (2008) sanoin tällöin saavutetaan uudisrakentamisen normien vaatimusta parempi taso. (Kiinteistö Oy Kummatti korjataan ennakkoluulottomasti. 2008.)

Raahen Kummatin asuinalueella oli kolmetoista kerrostaloa, joista 3 (kuva 8) oli kolmikerroksisia ja kymmenen kuusikerroksisia. Kaikkiaan asuntoja oli 364 ja purettavia asuntoja 120. Ideakilpailun tavoitteena oli muuttaa asuntojen määrää ja kokoa kysyntää vastaavaksi. Sen hetkinen käyttöaste asunnoilla oli 70 prosenttia. (Asumisen uudisrakentaminen 2009–2012. 2009.)



*KUVA 8. Lähtökohta, Kummatti Oy (Asumisen uudisrakentaminen 2009–2012. 2009)*

Ensimmäisen vaiheen korjausprojektissa oli toteutuksessa neljä kerrostaloa, joiden huoneistoalasta purettiin puolet ja rakennusmassasta yksi kolmasosa. Talojen betonisandwich-elementtien 120 millimetrin lisäeristystä kasvatettiin 60 millimetrillä. Julkisivut verhoiltiin polymeeribetonilevyillä. Julkisivu tehtiin

eriytetyksi, jolloin vanha rakenne tuulettuu tarvittaessa. (Kuva 9.) (Kiinteistö Oy Kummatti korjataan ennakkoluulottomasti. 2008.)



*KUVA 9. Purkaminen (Asumisen uudisrakentaminen 2009–2012. 2009)*

Asuntojen keskipinta-alatavoite oli muutoksen jälkeen 50 hm<sup>2</sup>, jolloin yhtään asuntoa ei purettu kokonaan. Muutoksen jälkeen korostui alueen identiteetti ja energiatehokkuus. (Kuva 10.) (Asumisen uudisrakentaminen 2009–2012. 2009.)



*KUVA 10. Muutoksen jälkeen (Asumisen uudisrakentaminen 2009–2012. 2009)*

### 3.4.2 Puu

Puu rakennusmateriaalina tukee kestävästä kehityksestä uusiutuvuutensa vuoksi. Verrattaessa betoniin puu on edullisempaa kuljetuskustannusten vuoksi. Puun paikallisuuden vuoksi kuljetusmatkat eivät ole pitkiä. Puu on asennusmielessä helppoa käsitellä ja asennuksesta aiheutuva työmenekki ei ole kovin suuri. Työkaluja puun työstöön ei tarvita paljon, kun sitä verrataan esimerkiksi betonin työstämiseen. Puun purkaminen on helppoa ja hävittäminen ympäristöystävällistä. Kun puu saavuttaa elinkaarensa pään, tulee siitäkin muiden rakennusmateriaalien tavoin jätettä. Tämän vuoksi puusta tulisi ottaa kaikki hyöty irti joko sellaisenaan rakennusmateriaalina tai viime kädessä polttamalla. (Puutuotteiden kierrätys. 2011.)

Rakennustyömaalla puujätteet päätyvät jätehuollon piiriin. Jo rakennustyömaalla puujäte lajitellaan omaksi jätteeksi, josta se voidaan viedä puujätteen vastaanottopisteisiin. Kuitenkin jonkin verran puujätteestä päätyy lajittelemattomana sekajätteeseen. Tällöin puussa olevaa potentiaalina ei päästä hyödyntämään kierrätyksessä. Jätehuoltojärjestelmissä on paikkakuntakohtaisesti eroja. Isoimmilla paikkakunnilla jätteet voidaan lajitella siten, että puutavaraa ei päädy kaatopaikalle käytännössä ollenkaan. Pienemmillä paikkakunnilla puujätteen osuus voi nousta kaatopaikalla 20 %:n osuuteen ja keskimääräisesti lukema on noin 10 %. (Puutuotteiden kierrätys. 2011.)

Kierrätyspuun käyttämistä rajoittavat rakentamisessa hinta ja lainsäädäntö. Laki määrää, että kantavissa rakenteissa voidaan käyttää ainoastaan lujuusluokiteltua puutavaraa. Kierrätyspuilla ei ole lujuusluokiteltua arvoa, mikä vaikeuttaa sen hyödyntämisen rakentamisessa. Lujuusarvon hankkiminen voisi käytännössä olla mahdollista, mutta hintavuuden vuoksi se ei liene kannattavaa. Puuta voi kuitenkin käyttää sellaisiin paikkoihin, joissa ei lujuusluokitusta tarvita. Sisustuksessa vanha puutavara voi olla ihan uutta vastaavaa oikealla tavalla hyödynnettynä. Tällöin tulee kysymykseen aina rakennuttajan tai arkkitehdin näkökulma asiaan, mutta mahdollisuuksia riittää. (Raitala 2012.)

Hirsi on yksi vanhimpia rakennusosista ja sitä voidaan kierrättää. Hirren lisäksi myös höylätty ja sahattu puutavara voidaan käyttää uudelleen hyväkuntoisena. Hirsi- ja rankarakenteiset puurungot voidaan käyttää uudelleen sellaisenaan. Katto- ja välipohjapalkit voidaan käyttää myös uudelleen sellaisenaan. Rankapuutavaraa voidaan hyödyntää myöhemmin muun muassa väliseinien runkotolppina. Kattoristikot vaativat myöhempää hyödyntämistä varten leveydeltään samanlaista kohdetta. (Huuha 2010.)

Puujulkisivuja voidaan hyödyntää ja niistä voidaan saada taloudellisesti hyötyä irti. Puu vaatii kuitenkin säännöllistä huoltoa ja tämän vuoksi julkisivu tulisi olla pääsääntöisesti vielä hyvässä kunnossa, jotta hyödyntäminen kannattaa. Puuikkunat ja -ovet on helppo irrottaa rakennuksesta ehjänä. Vanhat ikkunat ja ovet ovat kuitenkin U-arvoltaan huonoja, minkä vuoksi hyödyntäminen vaikeutuu. Kuitenkin puuikkunoita ja ovia voidaan käyttää uudelleen sisätiloissa tai esimerkiksi kesärakennuksissa. Huomioon tulee ottaa kuitenkin myös muuttuneet oviaukkojen leveydet ja tällöin vanha ovi ei välttämättä enää sovellu turvallisuussyistä uuteen rakennukseen. (Huuha 2010.)

Taulukosta 2 voidaan nähdä puurakentamisen osuus talotyypeittäin vuonna 2002. Puurakentamisen osuus erillispientaloissa oli runkomateriaalina 85 % ja kokonaisuudeltaan runkomateriaalina 55 %. Puulla on hyvät mahdollisuudet kierrätyksen kannalta, sillä pientalorakentaminen mahdollistaa yleensä paremmat joustot ja mahdollisuudet, etenkin jos rakennuskohde ei ole suuren rakennusliikkeen urakkana. Yksittäinen rakentaja voi mahdollisuuksien mukaan rakentaa käytetystä puutavarasta. Yleensä pientalokohteet ovat isoilla rakennusliikkeillä tarkasti määritellyjä materiaalien osalta ja yksi poikkeus muiden joukossa voisi tuoda lisätyötä muutoksien suhteen. Yksittäinen rakentaja voi aikataulun jousaessa keskittyä mahdollisimman paljon käytetyn puutavaran hyödyntämiseen. (Puurakentamisen edistämishjelma 2004–2010. 2004.)

TAULUKKO 2. Puurakentamisen osuus talotyypeittäin (Puurakentamisen edistämishjelma 2004–2010. 2004)

| Talotyyppi                         | as. lkm | Puu<br>runkomateriaalina %<br>as. lkm | Puu ulkoverhouksena %<br>as. lkm |
|------------------------------------|---------|---------------------------------------|----------------------------------|
| erillispientalot                   | 10800   | 85 %                                  | 67 %                             |
| rivitalot ja kytketyt<br>pientalot | 3900    | 62 %                                  | 34 %                             |
| kerrostalot                        | 12600   | 2 % *)                                | 5 %                              |
| talotyypit yhteensä                | 27300   | 55 %                                  |                                  |

\*) Osuus kaksikerroksisissa asuinkerrostaloissa on 4 %:a ja 3-4 kerroksisissa alle 1 %:a.

### 3.4.3 Tiili

Tiili on ympäristöystävällistä materiaalia. Se valmistetaan savesta. Tiilin valmistus on kuitenkin paljon energiaa vaativaa ja se vaatii myös pitkälle suunnattua tekniikkaa ja järjestelmää. Tuotantolaitoksien vähäisyyksien vuoksi kuljetusmatkat rakennuskohteisiin ovat pitkät ja painon vuoksi kuljetuskustannukset voivat olla mittavat. Tiili on kuitenkin pitkäikäinen ja sen mahdollisia jälleenhyödyntämismahdollisuuksia kierrätysmateriaalina tulisi pohtia tarkasti. Tiili mahdollistaa jälleenhyödyntämisen ja sen uudelleenkäyttö tulisi kompensoimaan valmistuksessa aiheutuvan energian. (Rakennusjätteen kierrätys. 2012.)

Tiiltä syntyy rakennusteollisuudessa hyvin suuria määriä ja ne voidaan viedä niille tarkoitettuihin lajittelupisteisiin. Esimerkiksi Rudus ottaa vastaan luokiteltua tiiltä, jossa esimerkiksi luokan VII–tiilijätteessä ei tulisi olla tiilen ja muurauslaastin lisäksi muita materiaaleja. Tiiltä saa olla betonin mukana ja näille on tällöin omat luokituksensa. Jos tiili ei sovellu näihin luokkiin, se joudutaan viemään kaatopaikalle. (Betoni- ja tiilijätteiden luokittelu. 2012.)

Tiilien kierrättäminen vähentää uusien tiilien valmistuksessa kuluvaa energiaa ja vähentää huomattavasti jätemääriä kaatopaikalla. Kierrätys tuo myös kustannussäästöjä yrityksille, sillä kaatopaikka- ja kuljetuskustannuksilta säästytään. (Rakennusjätteen kierrätys. 2012.)

Tiilet voidaan pestä ja käyttää uudelleen uudessa rakennusprojektissa. Tiilet pitää kuitenkin olla ehjiä ja kokonaisia. Puhdistaminen on aikaa vaativaa käsityötä. Työtä helpottaa jos laasti ei ole lujaa, jolloin tiilien irrottaminen toisistaan helpottuu. Vanhoista tiilistä voidaan muurata uudelleen seinä ja rapata se hyvännäköiseksi. Kattotiilet voidaan purkaa ehjinä ja ne voidaan käyttää sellaisenaan uudelleen. Vanhat kattotiilet tosin vaativat kunnostusta, jotta niistä saadaan hyöty irti. (Rakennusjätteen kierrätys. 2012.)

Murskeena olevat tiilet voidaan käyttää uudelleen maankäyttömateriaalina, salaojitusmateriaalina tai uusien tiilien ja harkkojen valmistuksessa. Maakäyttömateriaalina tiilen arvo laskee paljon, sillä tiilen valmistukseen on kulunut paljon energiaa. (Rakennusjätteen kierrätys. 2012.)

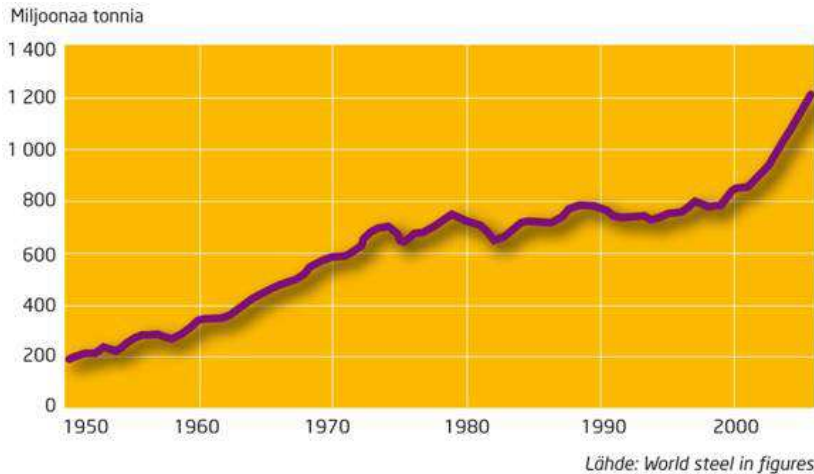
#### **3.4.4 Teräs**

Teräs vaatii valmistuksessa runsaasti energiaa ja pitkälle vietyä tekniikkaa. Teräksen valmistus kuluttaa runsaasti ympäristöä, mutta teräksellä pystytään valmistamaan suhteellisen keveitä rakenteita. Purkuteräksestä suurin osa kierrätetään uudelleen tuotantoon. Maailman tuotannosta lähes kaksi kolmasosaa tuotetaan raakaraudasta. Noin kolmannes teräksestä valmistetaan sähköä käyttävissä valokaariuuneissa ja näissä raaka-aineena on kierrätysteräs. (Kestävä ja kierrätettävä teräs. 2012.)

Teräs on kestävä ja sen sanotaan olevan 100-prosenttisesti kierrätettävä. Kierrätyskertojen lukumäärästä riippumatta teräs säilyttää hyvin ominaisuutensa. Kierrätetty teräs on yhtä vahvaa kuin vasta valmistettu teräs. Terästä tulisi kierrättää, sillä tällöin säästyy energiaa ja materiaalia. (Kestävä ja kierrätettävä teräs. 2012.)

Teräksellä saadaan uusiokäytössä jopa parempaa hyötyä irti kuin itse kierrättämisellä. Joustavalla suunnittelulla rakennus voidaan suunnitella siten, että tarpeen tullen se voidaan purkaa helposti ja siirtää uuteen paikkaan. Jos rakennuksella muuttuu käyttötarkoitus, niin oikeanlaisella suunnittelulla rakennus voidaan koota uudelleen sopivan käyttötarkoituksen mukaiseksi. (Kestävä ja kierrätettävä teräs. 2012.)

Teräksen tuotanto on kasvanut voimakkaasti 2000-luvulla ja vuosituotanto on kasvanut kymmenessä vuodessa yli 50 % (kuva 11) (Hiili terästeollisuudessa. 2012).



KUVA 11. Teräksen tuotanto 1950–2006 (Hiili terästeollisuudessa. 2012)

Terästä voidaan käyttää kantavana rakennusosana uudelleen. Teräksen hyödyntämistä helpottaa, jos rakennusosat ovat rakennettu pulttiliitoksilla. Terästä voidaan muokata uuden käyttötarkoituksen mukaisesti ja kappaletta voidaan pidentää hitsaamalla. Teräspilarit ja –palkit voidaan käyttää sellaisinaan uudelleen tai ne voidaan muokata uuden rungon rakennusosiksi. Lyhentämistä vaikeuttaa pilarin sisällä oleva betoni. (Kestävä ja kierrätettävä teräs. 2012.)

Peltikatteet voidaan käyttää uudelleen ja esimerkiksi ruuvatut peltikatteiden irrottaminen onnistuu helposti. Ikkunoiden helat, lukot ja kiinnikkeet voidaan käyttää uudelleen. Teräskatteet voidaan käyttää uudelleen niihin tarkoitetuissa kohdissa. Väliseinien rangat soveltuvat uudelleenkäyttöön, sillä ne ovat peltiä. Sinkityistä teräsputkista valmistetut ilmanvaihtokanavat soveltuvat uudelleenkäytettäväksi. (Kestävä ja kierrätettävä teräs. 2012.)

### **Konttikaupunki**

Urban Space Management Ltd on suunnitellut innovatiivisen ja erittäin monipuolisen järjestelmän, joka tarjoaa tyylikästä ja edullista majoitusta eri käyttötarkoituksiin. Järjestelmä käyttää apunaan merikontteja, joista saadaan

yhdistelemällä rakennuksia. Rakennusaika ja rakennuskustannukset ovat tämän innovaation myötä voitu pienentää jopa puoleen verrattaessa perinteisiin rakentamisen tekniikkaan. (Introducing: The system. 2012.)

Kontit (kuvat 12 ja 13) ovat hyvä esimerkki rakentamisen joustamisesta. Kontit ovat myös erittäin lujia materiaaliominaisuuksiltaan ja helposti saatavilla. Ne tarjoavat erilaisen ratkaisun perinteisille säännöksille. Ne ovat erinomaisia esimerkiksi toimistotilojen rakentamista varten. (Introducing: The system. 2012.)



*KUVA 12. Konttirakennuksen julkisivua (Introducing: The system. 2012)*



*KUVA 13. Konttirakennuksen julkisivua (Introducing: The system. 2012)*

### **3.5 Eristeet**

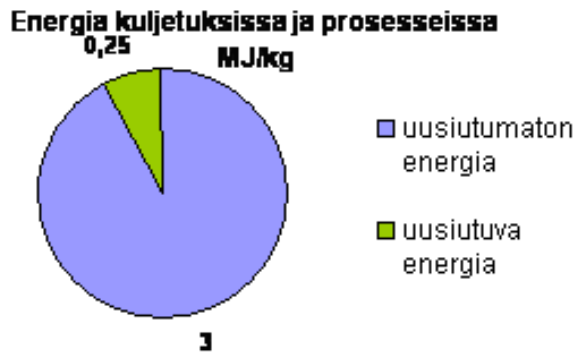
Lämmöneristyksiä tarvitaan seinä-, yläpohja ja alapohjarakenteissa. Huomioon tulee ottaa eristepaksuudet U-arvojen täyttymiseksi ja myös materiaalien hengittävyys. Eristevahvuuksissa olisi pyrittävä kokonaisuudessaan parhaimpaan vaihtoehtoon kestäväen kehityksen ja energiamääräysten kannalta.

#### **3.5.1 Ekovilla**

Ekovilla eli selluvilla on puupohjainen, sanomalehtipaperista valmistettu eriste. Valmistusprosessissa siihen lisätään palonestoainetta määräysten täyttymiseksi. 80 prosenttia ekovillasta valmistetaan sanomalehtipaperista ja 20 prosenttia on side- ja palonestoaineena käytettyä booria. Ekovillaa voidaan käyttää lämmöneristeenä yläpohjissa, seinissä, ala- ja välipohjissa. Ekovilla sitoo itseensä hiiltä ja tämän vuoksi hiilijalanjälki pienenee muiden puutuotteiden kaltoin. Uusiutuvuutensa vuoksi ekovilla tukee kestäväen kehityksen periaatteita ja sitä on käytetty toimivasti monta kymmentä vuotta. (Ekologinen valmistusprosessi ja materiaali. 2012.)

Ympäristöystävällisillä valinnoilla voidaan vaikuttaa ympäristöön ja tämän vuoksi tulisi suosia ekovillaa vähäisen ympäristökuormituksen vuoksi. Ekovillan valmistus kuluttaa vähän uusiutumattomia raaka-aineita. Ekovillan suuren kosteuskapasiteetin vuoksi sitä voidaan myös hyödyntää sisäilmaston kosteuden hallinnassa. (Ekologinen valmistusprosessi ja materiaali. 2012.)

Kuvissa 14 ja 15 on esitetty ekovillan energia- ja raaka-aineiden kulutus. Verrattaessa muihin tuotteisiin ekovillan valmistus kuluttaa vähemmän uusiutumattonta energiaa. Uusiutuvaa energiaa käytetään raaka-aineena ekovillan valmistuksessa noin 9,3 %. (Ympäristöseloste – Ekovilla lämmöneristeet. 2012.)



KUVA 14. Energiankulutus kuljetuksissa ja prosesseissa (Ympäristöseloste – Ekovilla lämmöneristeet. 2012)



KUVA 15. Raaka-aineiden kulutus g/kg (Ympäristöseloste – Ekovilla lämmöneristeet. 2012)

Ekovillaa voidaan käyttää joko puhaltamalla tai esimerkiksi levyinä asennettuina. Uusi ekovillalevy tuo hyviä mahdollisuuksia puurakentamiselle. Levyjä voidaan käyttää seinärakenteisiin ja näiden lisäksi ylä- ja alapohjiin. (Ekologinen valmistusprosessi ja materiaali. 2012.)

### 3.5.2 Olkipaalit

Olkipaalit soveltuvat materiaalina niin eristämiseen kuin kantavana rakenteenakin. Olkipaalia on käytetty pientalorakentamisessa ja myös isoimmissa kohteissa. Suunnitteluratkaisut ja toteutukset ovat miellyttäneet tilaajia ja tämän vuoksi niiden suosio on kasvanut. Osa oljesta käytetään eläintiloilla, mutta kuitenkin suurin osa silputaan jo puintivaiheessa ja kynnetään takaisin peltoon. Olkea on poltettu, mutta nykyään sitä ei suositella

lisääntyneiden savu– sekä hiilidioksidimäärien vuoksi. Näiden seurauksena olkea riittää paljon rakentamiselle. (Kantavan olkipaalirakenteen pioneerityötä Suomessa. 2012.)

Olki koostuu lähes samoista aineista kuin puu. Vehnän olki koostuu selluloosasta (37 %), hemiselluloosasta (23-30 %), ligniinistä (20 %), tuhkasta (7-9 %), silikaatista (n. 2 %). Olki vaatii vain muutaman päivän kuivumisen pellolla, jolloin sen kosteus on noin 25 prosenttia. Tämän jälkeen olki voidaan paalata oikeaan kokoon. (Kantavan olkipaalirakenteen pioneerityötä Suomessa. 2012.)

Olkipaali voisi olla tulevaisuudessa talonrakentamisessa hyvä vaihtoehto muiden eristeiden rinnalla. Olki tukee kestävän kehityksen periaatteita ja sillä saadaan aikaan taloudellisuutta. Huonona puolena olkipaaleissa voidaan pitää sen lämmönjohtavuusarvoa. Lämmönjohtavuus on tyyppillisesti käytetyn mineraalivillan arvoa huonompi ja tämän vuoksi eristepaksuudet lisääntyvät U–arvojen täyttymiseksi, jolloin myös itse rakenteen kokonaispaksuus kasvaa. Etenkin pientalorakentamisessa yleensä tiukkaan linjatut rakennusoikeudet rajoittavat olkipaalien hyödyntämismahdollisuuksia, sillä suurehko kerrospaksuus vähentää rakennusala kohteessa. Hyvin vartenotettava vaihtoehto voisi olla esimerkiksi julkiset rakennukset, kuten hallit. Tällöin olkipaalista aiheutuva suurehko kerrospaksuus ei vaikuta suhteellisesti huomattavasti, sillä rakennusalat ovat näissä kohteissa suuria. (Kantavan olkipaalirakenteen pioneerityötä Suomessa. 2012.)

Olkipaaleja on käytetty rakentamisessa jo 1900–luvun alussa Yhdysvalloissa (kuva 16). Tällöin olkipaalit tehtiin vielä käsin puristamalla. Vasta 1970–luvulla ilmiö levisi laajalle maailmaa. Olkipaalitaloja on rakennettu ympäri maailmaa kymmenen tuhatta kappaletta. Olkipaalirakentamista esiintyy Australiassa, Uudessa-Seelannissa, Venäjällä, Mongoliassa, Suomessa, Hollannissa, Englannissa, Norjassa, Ruotsissa, Saksassa, Itävallassa ja Sveitsissä. 1900–luvun alussa rakennettujen vanhimpien rakennuskohteiden rakenteista ei löydy vaurioita lähes ollenkaan. (Schmidt 2012.)



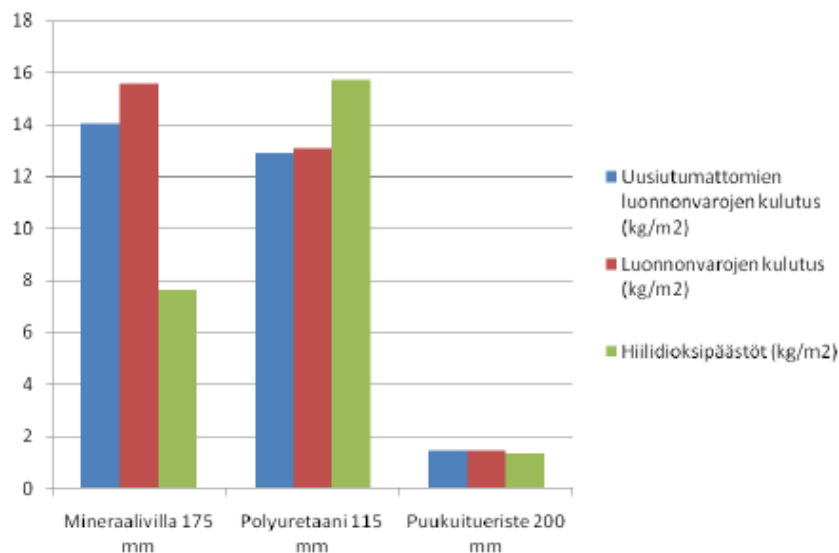
*KUVA 16. Vuonna 1908 rakennettu olkitalo Nebraska ja vuonna 1928 rakennettu Straw kirkko Nebraska, Yhdysvallat (Schmidt 2012)*

### **3.5.3 Mineraalivilla**

Mineraalivillalla voidaan tarkoittaa joko lasivillaa tai kivivillaa. Mineraalivilla valmistetaan puhaltamalla raaka-aine ohuiksi kuiduiksi ja tästä voidaan edelleen muokata villa levyiksi, matoiksi tai muihin muotoihin. Lasivilla valmistetaan yleensä jätelasista ja joskus myös suoraan lasin raaka-aineista (kvartsihiekkä, sooda ja kalkkikivi). Kivivilla valmistetaan puolestaan emäksistä kivilajeista. (Raaka-aineena kierrätyslasi. 2012.)

Lasin kierrätys villan valmistuksessa on askel kohti luonnonvaroja säästäviin menetelmiin. Ylimääräisiä villaeriä voidaan hyödyntää myös mineraalivillan valmistuksessa. Esimerkiksi mineraalipuhallusvilla valmistetaan kuiduttamalla villalevyt tai -matot sopiviksi palasiksi. Tämän jälkeen palaset pakataan tiukkaan pakkaukseen. Muita aineita ei tässä vaiheita lisätä ollenkaan.

Mineraalivilla ei ole materiaalin valmistuksen vuoksi kovinkaan ympäristöystävällinen ja mahdollisia kierrätysmahdollisuuksia tulisi pohtia ympäristön säästämiseksi. Kuvasta 19 voidaan tulkita, että mineraalivillan aiheuttama luonnonvarojen kulutus seinäneliömetriä kohden on polyuretaanin tavoin huomattavan suuri verrattaessa puukuitueristeisiin. (Viljakainen 2009.)



KUVA 17. Eristeiden luonnonvarojen kulutus valmistuksessa (Viljakainen 2009)

### 3.6 Muut rakennusmateriaalit

#### 3.6.1 Muovi

Muovi on rakennusmateriaalina lujaa, säänkestävää, kuumankestävää, joustavaa ja kaiken lisäksi kevyttä. Muovi vaatii elinkaaren aikana vähäistä huoltoa. Rakennusala käyttää noin 20 % kaikesta Euroopasta käytetystä muovista ja se on pakkausteollisuuden jälkeen kaikista suurin muovinkäyttäjä. (Energia on tulevaisuutemme. 2012.)

Eri muovit soveltuvat uudelleen kierrätettäväksi, vaikka sitä pidetään hankalana tuotteena. Muovin pitää olla riittävän puhdasta ja samaa laatua, jotta kierrätys onnistuu. Kerätty muovi viedään laitoksiin, joissa se lajitellaan. Laitoksissa muovin laatu varmistetaan ja pakataan jälleen toimitettavaksi muoviteollisuudelle ja yhä uusien tuotteiden valmistukseen. (Energia on tulevaisuutemme. 2012.)

Lähes kaikkia muoveja voidaan kierrättää ja käyttää uudelleen. Epäpuhtauksien ja kosteuden vuoksi muovia voi kierrättää noin kymmenen kertaa.

Yhteiskunnallisesti tämä vaikuttaa suuresti hiilidioksidipäästöihin uuden raaka-aineen käyttöön verrattuna ja esimerkiksi yhden muovikilon kierrättämisellä

säästetään vähintään kaksi kiloa hiilidioksidipäästöjä. (Energia on tulevaisuutemme. 2012.)

### 3.6.2 Lasi

Lasi on epäorgaaninen sulatustuote, joka ei kiteydy jäähdyttäessä kiinteään tilaan. Lasin tärkein raaka-aine on kvartsihiekkä eli piioksidi ( $\text{SiO}_2$ ). Kvartsihiekan avulla saadaan hyvin korkeita lämpötiloja kestävä lasia. Kalkki eli kalsiumkarbonaatti ( $\text{CaCO}_3$ ) antaa lasille kovuuden. Tämän lisäksi lasiin laitetaan soodaa eli natriumkarbonaattia ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). Näiden kolmen pääraaka-aineen lisäksi voidaan lisätä erilaisia muita aineita oikeanlaisen värin saamiseksi. Lasin raaka-aineet ovat uusiutumattomia. (Lasin historiaa. 2012.)

Uudet EU-direktiivit tukevat suuntausta, jossa pyritään valitsemaan vähemmän energiaa kuluttavia tuotteita. Nykyään on mahdollista rakentaa suuriakin lasipintoja siten, ettei niistä aiheudu lämpöhäviöitä. Uudet energiasäästölasit mahdollistavat aurinkosäteilyn hyödyntämisen siten, että säteilylämpö pääsee sisätilaan, mutta sisätilasta ei säteile lämpöenergiaa ulos. Uudet energiasäästölasit mahdollistavat alhaisen U-arvon ansiosta ratkaisut, joissa ikkunoita voidaan käyttää tavallisen seinän sijasta vaikuttamatta energiakustannuksiin. Ikkuna voi olla tällöin eristeenä yhtä tehokas kuin koko seinä vuoden ajalta laskettuna, kun otetaan huomioon auringosta saatava energia. (Lasi ja ympäristö. 2012.)

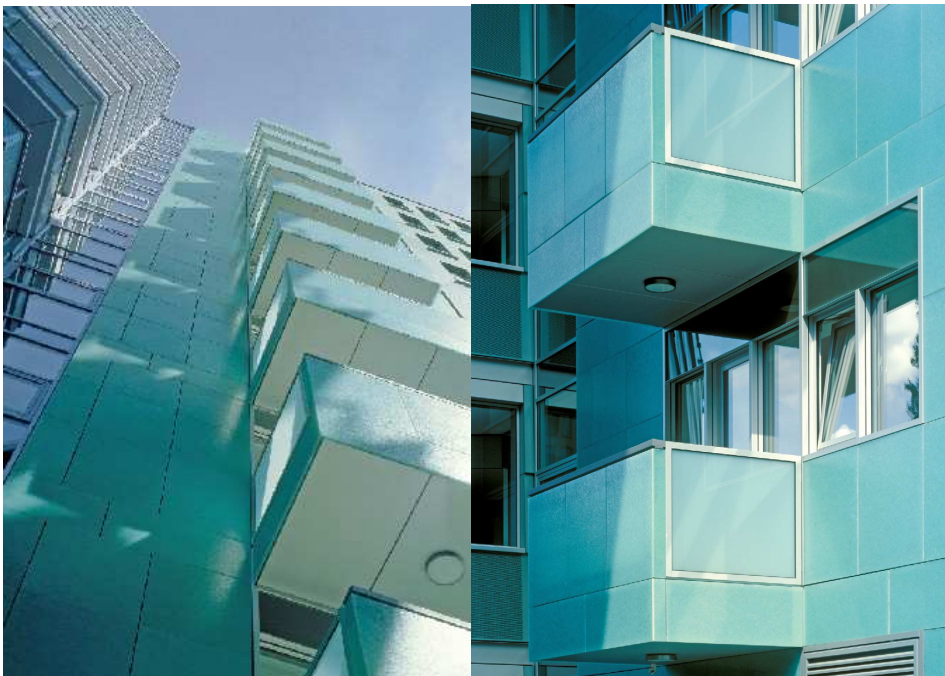
Lasi on monien muiden tuotteiden lisäksi helposti kierrätettävä materiaali. Lasi voidaan kierrättää kokonaan uudelleen sellaisenaan tai uuden materiaalin valmistuksessa sekä myös eristysmateriaalina. (Lasi ja ympäristö. 2012.)

Tampereen Lempäälän on aloitettu vuonna 2010 tekemään hanketta, jossa 900 neliön ontelolaatta-alustalle on tarkoitus rakentaa lasikehikko. Lasipintaa tulee olemaan näin ollen 4 000 neliometriä (kuva 18). Kierrätyslasin osuus on todella suuri ja myös muissa rakenteissa kierrätysmateriaaleja on käytetty. Talon ympärillä toimiva iso lasikuutio toimii lämpövaippana ja lämpötila ei tule laskemaan alle 7 asteen. (Lempäälään on tulossa trooppinen ilmasto. 2010.)



*KUVA 18. Lempäälän ekotalo (Lempäälään on tulossa trooppinen ilmasto. 2010)*

The Greenhouse Effect tarjoaa hyvin näyttäviä ratkaisuja julkisivuihin, joissa on käytetty kierrätyslasia (kuva 19). Esimerkiksi uudessa lasikeramiikassa on käytetty kierrätyslasia ja sivutuotteena luonnonkiveä. Yritys tarjoaa laseja sisä- ja ulkokäyttöön. 20 mm:n paksuus antaa lasille vaaditun lujuuden. Kuvassa 19 on käytetty 2 m x 1,1 m kokoja 100 metrin korkeuteen saakka. (Recycled Glass and Commercial Building Facade. 2012.)



*KUVA 19. Kierrätyslasista valmistettu julkisivu (Recycled Glass and Commercial Building Facade. 2012)*

### 3.6.3 Thermo Poly Rock (TPR)

Brittiläinen Affresol-yhtiö tarjoaa rakenteen, joka on valmistettu rakennusjätteistä ja sen sanotaan olevan lujudeltaan betoniakin lujempaa materiaalia (kuvat 20 ja 21). TPR on kylmätuotettua materiaalia sekoitettuna hartsin ja polymeerien kanssa. Sekoitus voidaan kaataa siten betonin tavoin muotteihin kovettumaan. Kovettumisen jälkeen yhtiön mukaan tuotteesta tulee hyvin lämpöä eristävä ja se ei sisällä vaarallisia kemikaaleja ollenkaan. Tuote on 100 prosenttisesti kierrätettävissä. TPR-paneelit säästävät jokaista rakennettua taloa kohti arviolta noin 18 tonnia rakennusjätettä. (Markham 2012.)

TPR-paneeleita voidaan käyttää talon runkoihin, jolloin säästyy runsaasti puutavaraa. Vesitiiveyden ansiosta talo soveltuu jokaiseen vuodenaikaan. Paneelit ovat valmistettu jo tehtaalla, josta ne kuljetetaan rakennuskohteeseen. Tällöin säästyy rakennusaikaa rakennuskohteessa. TPR-paneelit tarjoavat kustannustehokkaan ratkaisun, sillä ne ovat edullisempia verrattaessa perinteisiin rakennusratkaisuihin. Ympäristöystävällistä rakennetta on käytetty tuhansissa rakennuksissa. (Markham 2012.)



*KUVA 20. TPR-paneelit (Markham 2012)*



*Kuva 21. TPR-paneelit (Markham 2012)*

### **3.6.4 Kipsilevy**

Kipsilevyjen valmistuksessa kuluu huomattavan paljon energiaa. Kipsilevy koostuu kahdesta kartongista ja niiden väliin valetusta kipsiytimestä. Yhdistämällä kipsilevy rankarakenteeseen ja mineraalivillaan voidaan toteuttaa vaadittu ääneneristys. Olemassa oleviin rakennuksiin voidaan vaikuttaa kipsilevyillä ja saada ääneneristystä paremmaksi. Kipsilevyllä on myös hyvät palotekniset ominaisuudet, sillä se sisältää noin 20 % kidevettä, joka höyrystyy tulipalon sattuessa. (Kipsi ja ympäristö. 2012.)

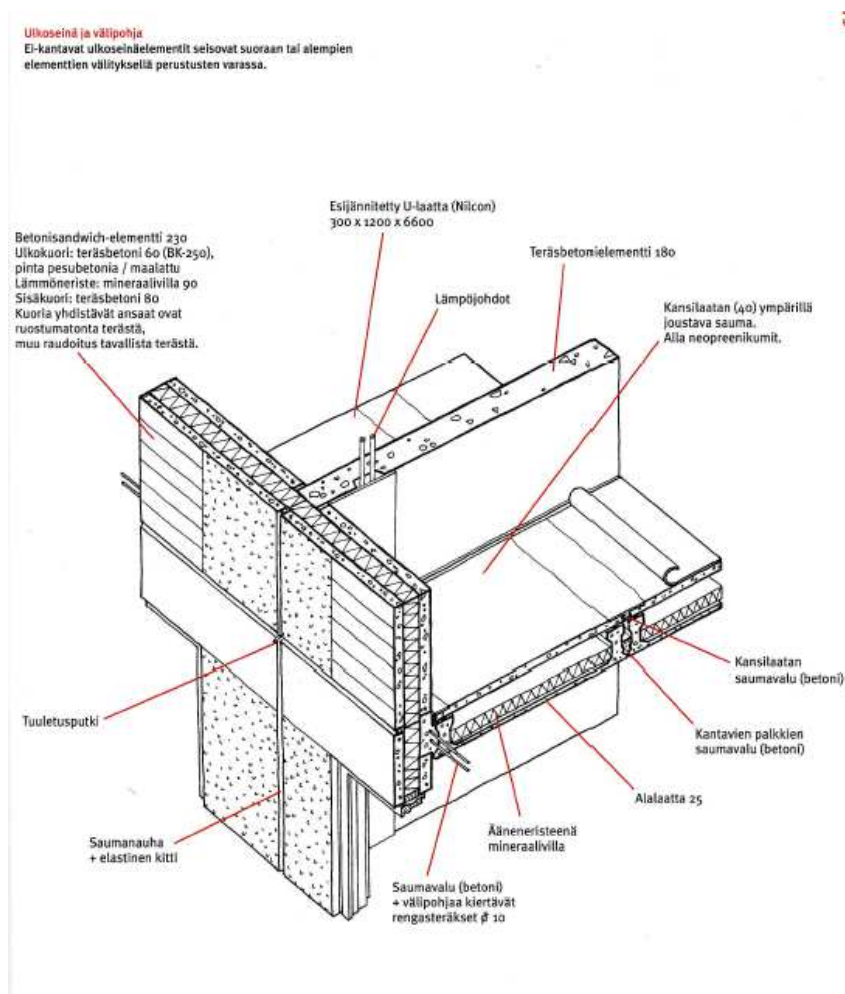
Kipsilevyt voidaan käyttää uudelleen, jos ne puretaan varovasti ja ne säilyvät ehjinä. Kipsilevyvalmistajat ovat sopineet pohjoismaissa kipsijätteen vastaanottosäännöistä ja -paikoista. Kipsijäte tulee toimittaa lähimpään vastaanottopisteeseen kuljetuskustannuksien minimoimiseksi. Kipsilevyt kierrätetään ja käytetään uusien kipsilevyjen valmistuksessa. Kipsilevyjä voidaan käyttää myös maanparannusaineena. Kipsilevyjä voidaan palauttaa sellaisenaan Knauffille. Yritys veloittaa kutakin kipsilevytonnia kohti 10 €. (Kipsi ja ympäristö. 2012.)

## 4 BETONISANDWICH-ELEMENTTIEN HYÖDYNTÄMINEN

Tässä luvussa tarkastellaan 1970-luvun betonisandwich-elementin rakennetta ja laaditaan kierrätys- ja lisäeristysuunnitelma.

### 4.1 Betonisandwich-elementin rakenne

Tyypillistä 1970-luvun kerrostalon seinille on vähäisissä määrin käytetty mineraalivilla. Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan betonisandwich-seinää, jossa eristeen paksuus on 90 millimetriä. Ulkokuorena elementissä on 60 millimetriä paksu teräsbetoni ja sisäkuoren paksuus on näin ollen 80 millimetrinen teräsbetoni. Kokonaispaksuus on siis tässä elementissä 230 millimetriä. Tarkasteltava betonisandwich-seinä on kantamaton. (Kuva 22.) (Neuvonen 2006.)



KUVA 22. 1970-luvun betonisandwich-seinä (Neuvonen 2006)

Lähtökohtaisesti tyypillisen 1970-luvun kerrostalojen betonisandwich-elementeissä on hyödyntämismahdollisuutta uusien rakennuksien rakennusosana. Kuitenkin elementtien hyödyntäminen ei ole enää sellaisenaan mahdollista kerrostalorakentamisessa, sillä sen ajan elementeissä käytetty kerroskorkeus ei riitä nykyajan määrittelemiin minimiarvoihin kerrostalorakentamisessa. Asuntosuunnittelun määräyksissä ja ohjeissa 2005 on määriteltä, että kerrostalon huonekorkeuden tulee olla minimissään 3 000 millimetriä. Kuitenkin 1970-luvun elementtejä voitaisiin hyödyntää pientalorakentamisessa. Elementtien korkeus riittäisi sellaisenaan, mutta ainoa seikka olisi betonielementin lisäeristäminen nykyisten energiamääräysten täyttymiseksi. (Määräykset ja ohjeet 2005. 2004.)

Vanha 1970-luvun betonisandwich-elementti ei ole erityisen suotuisa mikrobien syntymiseksi (Huuhka 2010.) Jotta vanhoja elementtejä voitaisiin hyödyntää pientalorakentamisessa, pitää vanha rakenne kuitenkin tutkia perinpohjaisesti, jotta määräykset täyttyvät ja käyttöikä saadaan toteutettua suunnitelluksi. Huonokuntoista elementtiä ei ole järkevää hyödyntää, sillä elementin tulisi olla käytettävissä vielä monta kymmentä vuotta. Vanha betonielementti tulee tarkastella, jotta suuria vaurioita ei ole. Silmämääräisesti tutkimalla saadaan selville mahdolliset halkeamat ja niiden pohjalta voidaan arvioida, onko betoni enää hyödynnettävissä. Betoni ei saa olla kärsinyt suuresti karbonatisoitumis- ja korroosiovaurioista.

Kustannusten vuoksi vanhojen elementtien hyödyntäminen olisi kannattavaa. Vanhassa elementissä käytetty mineraalivilla vähentää uuden tarvittavan eristeen määrää ja vanha betonirunko korvaa uuden rungon valmistamisen. Valmistajat tarjoavat erilaisia ratkaisuja, joissa betonisandwich-elementin ulkokuorta voidaan hyödyntää ja purkutoimenpiteitä ei tarvita, vaikka ulkoseinään tulisi kokonaan uudenlainen materiaali. Jotta tähän päästään, vanhan ulkokuoren tulee olla riittävän hyvässä kunnossa, jotta siihen voidaan kiinnittää uudet eristeet. Ulkokuoren ei välttämättä tule näyttää hyvältä, sillä rakenne voidaan suunnitella siten, että vanha elementti jää kokonaan uuden rakenteen alle. (Paroc FAS 4. 2012.)

## 4.2 Betonielementin uudelleenkäytön vaiheet

Betonielementin hyödyntäminen lähtee liikkeelle rakennuskohteen valinnalla ja tarkastelulla. Hitsaus- ja pulttiliitokset mahdollistavat elementeissä helpon irrottamisen ja takaavat varmemmin elementin vahingoittumattomuuden. Hyvä suunnittelu ja työvaiheiden perusteellinen toteuttaminen on tarpeellista, jotta työstä saadaan taloudellinen hyöty irti ja työturvallisuus pystytään takaamaan riittävän hyväksi. Alueen rajaaminen on tärkeää, jotta työalue saadaan rauhoitettua ja ihmisliikenne rajattua pois alueelta. (Huuhka 2010.)

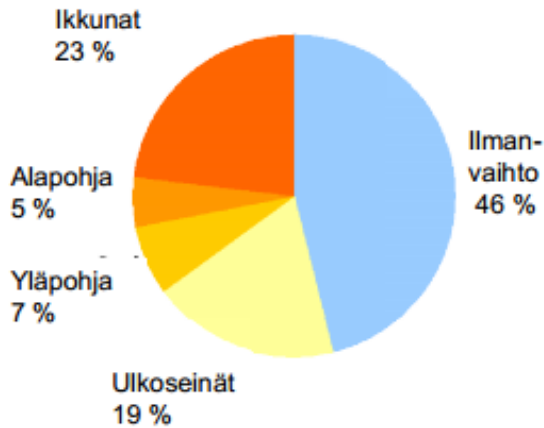
Rakennuksen tulee olla purettu kokonaan LVI-kalusteista. Näiden jälkeen voidaan ryhtyä purkamaan kattorakenne, minkä jälkeen rakennuksessa on jäljellä enää hyödynnettävät elementit. Seuraavaksi elementeistä tulee etsiä nostolenkit, ja niiden kunnon varmistaminen on ehdotonta, jotta turvallinen nosto voidaan taata. Jotta piikkaus-, timanttisahaus- ja irrotustöihin voidaan ryhtyä, tulee seinäelementit tukea vinotuilla ja välipohjaelementit holvituilla. (Huuhka 2010.)

Kantavien seinien pystysaumot avataan piikkaamalla ja julkisivujen saumat esimerkiksi henkilönostinta käyttäen tai telineiltä. Seuraavaksi ontelolaattojen päätysaumot sahataan timanttisaha apuna käyttäen. Kun kaikki saumat ovat irrotettu, porataan ontelolaattoihin reiät nostamista varten. Nostaminen voidaan suorittaa työmaanosturilla tai autonosturilla. Nostaminen suoritetaan vaiheittain ja riittävää työmaaturvallisuutta noudattaen. (Huuhka 2010.)

Ihannetilanne olisi, että purettu sandwich-elementit voitaisiin ottaa käyttöön heti. Jos näin on, puretusta kohteesta elementit kuljetetaan pientalotyömaalle asennusta varten. Nosto suoritetaan jälleen kiinnittämällä nostoraksit elementeissä oleviin nostolenkkeihin. Tämän jälkeen varmistetaan, että ketjut ovat lukkiutuneessa asennossa eivätkä ketjut pääse kiertymään. Siirroissa voidaan käyttää tarpeen mukaan apuna ohjausköyttä. Asennuksessa sandwich-elementti asennetaan paikoilleen asennuskankien avulla, minkä jälkeen elementti lasketaan ja tuetaan paikoilleen. Näiden jälkeen nostolenkit voidaan irrottaa. (Huuhka 2010.)

### 4.3 Rakennusfysikaalinen tarkastelu

Rakennuksien seinien läpi menee laskennallisesti noin 19 % lämpövirtaa (kuva 23) (Nieminen 2012).



KUVA 23. Lämpövirtojen siirtyminen rakennuksesta (Nieminen 2012)

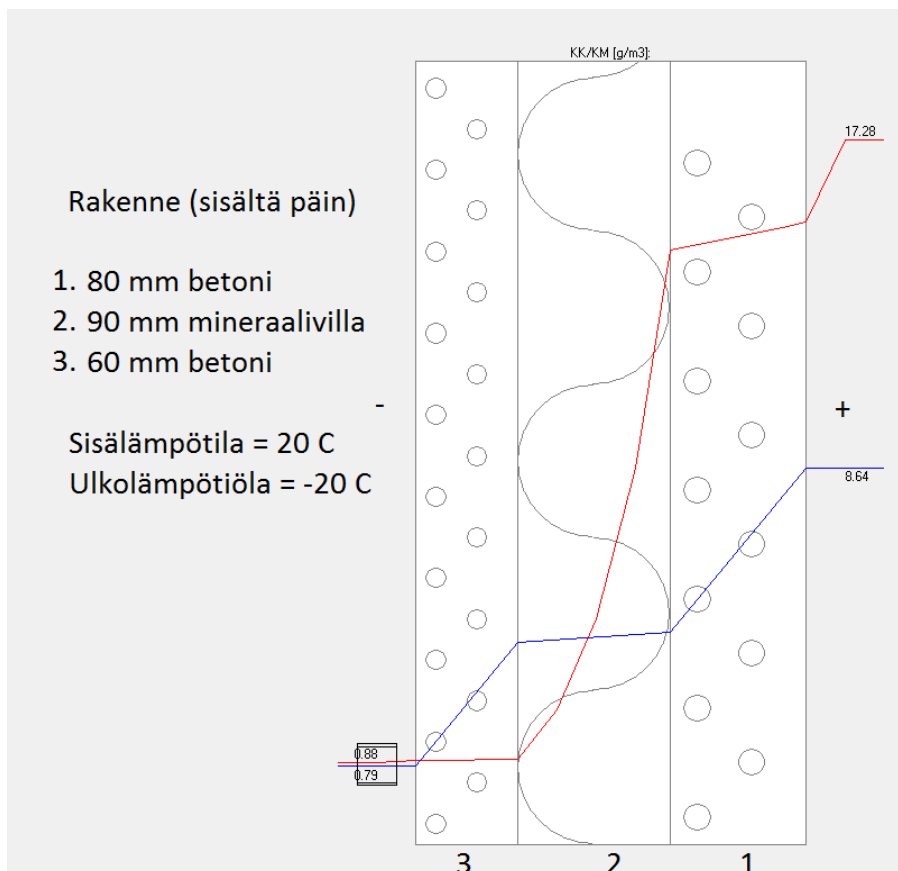
Määrä on suuri ja tämä asettaa vaatimukset nykyisten seinien määräysten täyttymiseksi. Laskennallisesti betonisandwich-elementin U-arvo on 0,444 (liite 1). Määrä ei riitä läheskään nykyarvon määrittelemiin U-arvoihin pientalorakentamisessa. (Taulukko 3.) (Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2010.)

TAULUKKO 3. U-arvot (Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2010)

| U-arvot   | RakMk:n<br>enimmäisarvo<br>2007-2009 | Normitalo,<br>tyypillinen<br>2005 | Matalaenergiatalo,<br>2007 arvio | RakMk:n<br>enimmäisarvo<br>2010 alkaen |
|-----------|--------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|--|
| Ulkoseinä | 0,24                                 | 0,21                              | 0,18                             | 0,17                                   |
| Yläpohja  | 0,15                                 | 0,15                              | 0,12                             | 0,09                                   |
| Alapohja  | 0,24                                 | 0,20                              | 0,15                             | 0,16                                   |
| Ikkunat   | 1,4                                  | 1,5                               | 1,0                              | 1,0                                    |
| Ovet      | 1,4                                  | 1,5                               | 0,8                              | 1,0                                    |

Jo pienellä lisäeristyksellä alkuperäiseen betonielementtiin voitaisiin saada U-arvoltaan parempi rakenne. Tässä työssä on käytetty esimerkkinä Parocin FAS 4 –rakennetta, jossa vanhaan betonielementtikuoreen kiinnitetään lämmöneriste. Valmistaja tarjoaa paksuudeltaan 40 – 160 millimetrin eristelevyjä. Valmistaja on ilmoittanut lämmönjohtavuudeksi 0,038 W/m<sup>2</sup>K. Tämä tarkoittaa sitä, että jo 130 millimetrin paksuisella lisäeristeellä saataisiin nykyarvon määrittelemä U-arvo seinän kohdalta täyttymään. (Liite 1.) (Paroc FAS 4. 2012.)

Vanhaa rakennetta voidaan tarkastella myös kosteusfysikaalisessa mielessä. Kuvasta 24 voidaan tulkita, että vanha rakenne on alttiina vaurioille, sillä kosteutta pääsee tiivistymään rakenteeseen, jonka lisäksi ulkokuori voi kärsiä talvisin pakkasvaurioita. Kesän tullessa rakenne pääsee kuivumaan, mutta pienimuotoinen riski on kuitenkin olemassa rakenteen homevaurioille, varsinkin pitkänä sateisena kesänä. Rakenteelle on laskettu kosteusfysikaaliset tarkastelut DOF-lämpö-ohjelmalla.



KUVA 24. 1970-luvun betonisandwich-seinän kosteuskäyttäytyminen talvella

Taulukossa 4 on laskettu pistemäiset kosteuskertymät rakenteessa alkuperäisessä betonisandwich-rakenteessa. Juuri lämmöneristeen kohdalla kosteutta pääsee kertymään enemmän kuin kuivumaan. Tämä aiheuttaa riskitekijän homevaurion syntymiselle. Taulukosta voidaan tulkita, että ulkokuoren ja eristeen sauman kohdalla tammikuun aikainen kosteus määrä on  $5,12 \text{ g/m}^3$ . Kyllästyskosteus on vain  $1,06 \text{ g/m}^3$ . Tämä tarkoittaa sitä, että rakenne kuivuu vain hieman ja kosteutta jää tammikuussa ulkokuoren ja eristeen sauman väliin noin  $4,06 \text{ g/m}^3$ . Huomioon tulee kuitenkin ottaa, että taulukon mukaisessa  $-17,75 \text{ }^\circ\text{C}$ :n lämpötilassa hometta ei pääse syntymään. Rakenteen lämmön noustessa kosteus pääsee jonkin verran poistumaan, mutta riski on silti olemassa.

*TAULUKKO 4. Betonisandwich-seinän pistemäiset kosteuskertymät tammikuussa*

| Rakennekerros                | Lämpötila [°C] | KK[g/m <sup>3</sup> ] | KM[g/m <sup>3</sup> ] | Rh (%) |
|------------------------------|----------------|-----------------------|-----------------------|--------|
| Ulko                         | -20            | 0,88                  | 0,79                  | 90     |
| Ulkokuoren pinta             | -18,66         | 0,98                  | 0,79                  | 80,3   |
| Ulkokuoren ja eristeen sauma | -17,75         | 1,06                  | 5,12                  | 100    |
| Eristeen ja sisäkuoren sauma | 16,82          | 14,34                 | 5,4                   | 37,6   |
| Sisäkuoren pinta             | 17,5           | 14,93                 | 8,64                  | 57,9   |
| Sisä                         | 20             | 17,28                 | 8,64                  | 50     |

KK =  
Kyllästykoteus

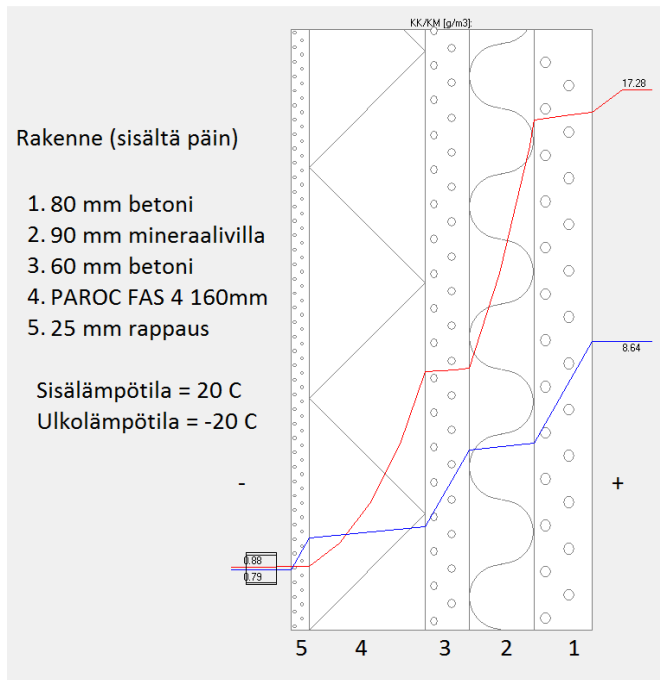
KM =  
Kosteusmäärä

Uusi rakenne tulee olemaan kosteuskäyttäytymiseltään erilainen. Taulukosta 5 ja kuvista 25 ja 26 voidaan tulkita, että tammikuussa lisäeristetyn seinän ulkopuolisen rappauksen ja PAROC FAS 4 –eristeen väliin pääsee kertymään hieman kosteutta. Kosteusmäärä on  $1,88 \text{ g/m}^3$  ja kyllästyskosteus on  $0,91 \text{ g/m}^3$ . Tämä tarkoittaa sitä, että kosteutta jää vielä rakenteeseen noin  $0,97 \text{ g/m}^3$ . Kyseessä on kuitenkin ohuehkon 25 millimetrin rappauksen ja eristeen väliin jäävä kosteus. Kevään tullessa ja lämpötilan noustessa rakenne pääsee todennäköisemmin kuivumaan. Taulukon mukainen  $-19,58 \text{ }^\circ\text{C}$ :n lämpötila ei mahdollista homevaurioiden syntymistä talvella.

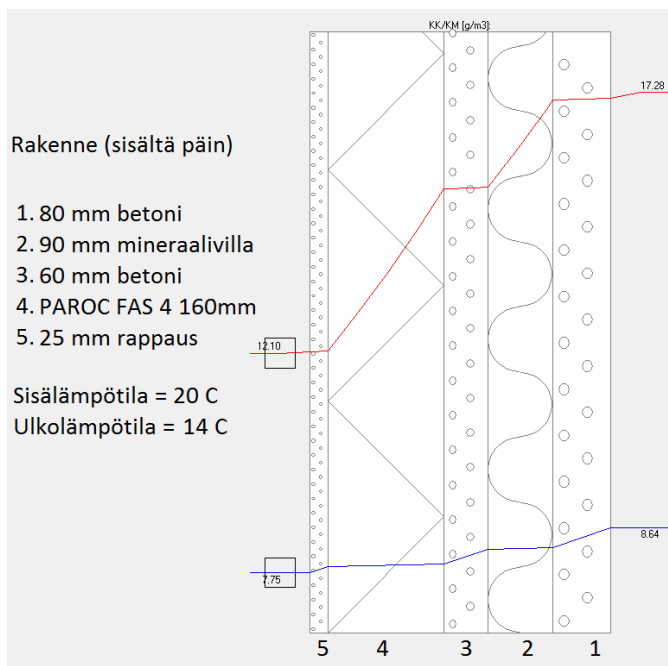
*TAULUKKO 5. Lisäeristetyn seinän pistemäiset kosteuskertymät tammikuussa*

| Rakennekerros                   | Lämpötila [°C] | KK[g/m <sup>3</sup> ] | KM[g/m <sup>3</sup> ] | Rh (%) |
|---------------------------------|----------------|-----------------------|-----------------------|--------|
| Ulko                            | -20            | 0,88                  | 0,79                  | 90     |
| Rappauksen pinta                | -19,58         | 0,91                  | 0,79                  | 86,9   |
| Rappauksen ja eristeen sauma    | -19,49         | 0,91                  | 1,88                  | 100    |
| Eristeen ja betonin sauma       | 6,64           | 7,62                  | 2,28                  | 30     |
| Betonin ja lämmöneristeen sauma | 6,92           | 7,66                  | 5,79                  | 74,6   |
| Lämmöneristeen ja betonin sauma | 19             | 16,31                 | 6,01                  | 36,9   |
| Betonin sisäpinta               | 19,21          | 16,51                 | 8,64                  | 52,3   |
| Sisä                            | 20             | 17,28                 | 8,64                  | 50     |

KK =  
Kyllästyskosteus  
KM =  
Kosteusmäärä



*KUVA 25. Lisäeristetty betonisandwich–seinä tammikuussa*



*KUVA 26. Lisäeristetty betonisandwich–seinä kesäkuussa*

25 mm:n rappaus on ohut ja tämän vuoksi kosteus pääsee poistumaan rakenteesta hyvin ulospäin. Vanhana rakenteena toimiva betosandwich–elementti jää uuden rakenteen sisäpuolelle ja näin ollen se ei ole alttiina enää

talvisin pakkasvaurioille. Lisäeristys takaa siis vanhalle rakenteelle pidemmän käyttöiän.

Vanhan betonisandwich–elementin lisäeristys vaikuttaa huomattavasti energiatehokkuuteen ja energiansäästö tulee olemaan ulkoseinän osalta varsin merkittävä. Liitteessä 2 on laskettu lisäeristyksen vaikutus U–arvoon ja 160 millimetrin ja sitä suuremmalla lisäeristyksellä päästäisiin matalaenergiatalon vaadittuihin arvoihin. 160 millimetrin lisäeristys tuo mittavia energiasäästöjä, jotka ovat seinäneliometriä kohden noin 40kwh/m<sup>2</sup> (liite 3 ja 4).

#### **4.4 Betonielementin lisäeristyksen työvaiheet**

Järkevä toteutus pientalon eristämisessä olisivat esimerkiksi telineet.

Vaihtoehtoisesti työ voidaan toteuttaa joiltakin osin työmaatasoa käyttäen.

Rakennusprojekti lähtee liikkeelle telineiden rakentamisella rakennuksen ympäri ohjeiden mukaan. Jotta rakennusaikaiselta kosteudelta vältyttäisiin, telineet huputetaan kauttaaltaan. Alue tulee merkitä selkeästi rakennuskyltein ja asukkaille varattu kulkutie tulee suojata, jotta vältyttäisiin putoavilta esineiltä. Jotta eristykseen voitaisiin ryhtyä, tulee vesipellit ikkunoilta poistaa ja tämän lisäksi myös muut julkisivussa olevat varusteet. Näiden lisäksi myös muut ulkopuoliset kohteet tulee suojata, jotta vaurioita ei pääse syntymään. Ikkunat ja oviaukot tulee suojata. (Paroc FAS 4. 2012.)

Vanhan ulkokuoren pesubetoni pestään painepesurilla. 1970–luvun taloissa on luultavasti joitain pieniä halkeamia. Halkeamat korjataan pohjalaastilla. (Paroc FAS 4. 2012.)

Eristelevyt (Paroc FAS 4, 160 mm) kiinnitetään vanhan julkisivun pintaan liimالاastilla, joka levitetään hammaslastalla. Vuorokauden kuluttua liimauksesta voidaan porata alustaan kiinnitystulpat, jotka kiristävät eristelevyt alustaan. Tämän jälkeen avataan liikuntasaumot ja kiinnitetään saumanauhat. (Paroc FAS 4. 2012.)

Ovi- ja ikkuna-aukkojen nurkat vahvistetaan rakennuksien nurkkien lisäksi rappausverkolla. Verkot limitetään toisten päälle noin 100 mm, minkä päälle levitetään ohut pohjalaastikerros lastalla tasoittaen. (Paroc FAS 4. 2012.)

Pohjalaastikerros annetaan kuivua muutaman päivän. Tämän jälkeen telataan pinnalle tartuntapohjuste. Tunnin sisällä tästä pitäisi levittää pintalaasti, minkä jälkeen pinta muotoillaan muovihierkimellä. Liikuntasaumat tulee avata ennen laastin kovettumista. (Paroc FAS 4. 2012.)

Työn laadun varmistamiseksi jälkihoito on ehdottoman tärkeää. Sääoloista riippuen pinta kostutetaan 1-3 kertaa. Rappauspinnan laadun tarkistamisen jälkeen pinta voidaan maalata halutunlaiseksi ja tämän jälkeen telineet voidaan purkaa ja työ on valmis. (Paroc FAS 4. 2012.)

## 5 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin kestävään kehitykseen rakentamisessa. Tavoitteena oli löytää eri keinoja rakentamisessa ja kierrättämisessä, jotta voitaisiin päästä kestävästä kehityksestä tukeviin ratkaisuihin.

Aluksi pohdittiin eri vaihtoehtoja, joiden avulla jätemääriä saataisiin rakennusalalla pienemmäksi. Sen jälkeen selvitettiin jätemääriä rakennusalalla ja kehitystä tällä sektorilla kymmenen vuoden aikana. Työssä myös koottiin eri rakennusmateriaaleja ja vaihtoehtoja kierrätyksessä. Näiden avulla saatiin yleiskuva siitä, mitä vaihtoehtoja kierrätys tarjoaa rakennusalalla ja millaisiin suunnitelmaratkaisuihin voidaan päätyä. Tarkasteltaessa vanhojen rakennusmateriaalien hyödyntämistä rakentamisessa perehdyttiin määräyksiin, jotta hyödyntäminen olisi mahdollista käytännön tasollakin.

Opinnäytetyössä keskeisintä oli betonin kierrätys. Työssä laadittiin tapauskohtainen suunnitelma 1970-luvun kerrostalojen betonisandwich-elementtien hyödyntämiselle pientalorakentamista ajatellen. Lisäksi laadittiin suunnitelma elementtien siirrolle ja lisäeristykselle. Työssä vertailtiin myös vanhan betonisandwich-elementin U-arvoja lisäeristyksen jälkeen oleviin arvoihin sekä lämpöhäviöitä vanhan ja uuden rakenteen välillä.

Kierrätys aiheena on laaja ja tässä opinnäytetyössä aiheen rajaaminen oli haastavaa. Tulevaisuudessa kannattaisi tutkia kierrätysmateriaalien kustannusvaikutuksia. Kustannusoptimointi on tärkeää, jotta kierrätysmateriaalien hyödyntäminen kannattaa. Kustannusoptimointi selvittää myös eri rakennusosien tarpeellisuutta kierrätystä ajatellen.

## LÄHTEET

Asumisen uudisrakentaminen 2009–2012. 2009. Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus. Saatavissa:  
<http://www.ara.fi/download.asp?contentid=23129&lan=fi>. Hakupäivä 2.11.2012.

Asukkaat eivät tyrmää kierrätysmateriaalien käyttöä kerrostaloissa. 2012. Suomen Rakennuslehti Oy. Saatavissa:  
<http://www.rakennuslehti.fi/uutiset/rakennustuote/28687.html>. Hakupäivä 5.8.2012.

BES-rakentamista 70-luvulta lähtien. 2012. Betoniteollisuus ry. Saatavissa:  
<http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/valmisosarakentaminen/elementtirakentamisen-historia>. Hakupäivä 1.11.2012.

Betoni- ja tiilijätteen luokittelu. 2012. Rudus Oy. Saatavissa:  
<http://www.rudus.fi/tuotteet/kierratys/betonin-ja-tiilen-kierratys/betoni-ja-tiilijatteen-luokittelu>. Hakupäivä 25.11.2012.

Ekologinen valmistusprosessi ja materiaali. 2012. Ekovilla Oy. Saatavissa:  
<http://www.ekovilla.com/miksi-ekovilla/ymparistoystavallinen/>. Hakupäivä 1.9.2012.

Energia on tulevaisuutemme. 2012. Futurenergia. Saatavissa:  
<http://www.futurenergia.org/ww/fi/pub/futurenergia/chats/plastics.htm>. Hakupäivä 17.9.2012.

Eniten käytetty rakennusmateriaali maailmassa. 2012. Betoniteollisuus ry. Saatavissa: <http://www.betoni.com/tietoa-betonista/betoni-ja-kestava-kehitys/betoni-rakennusmateriaalina>. Hakupäivä 2.7.2012.

Hiilijalanjälki. 2012. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Hiilijalanj%C3%A4lki>. Hakupäivä 25.5.2012.

Hiili terästeollisuudessa. 2012. Hiilitieto ry. Saatavissa: <http://www.hiilitieto.fi/fi-FI/hiiliterasteollisuudessa/>. Hakupäivä 20.8.2012.

Huuhka, Satu 2010. Kierrätys arkkitehtuurissa. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö.

Introducing: The system. 2012. Urban Space Management Ltd. Saatavissa: <http://www.containercity.com/home.html>. Hakupäivä 15.8.2012.

Jättemäärät työmailla vähentyneet. 2006. Skanska Oy. Saatavissa: <http://www.skanska.fi/fi/Media/Uutinen/?nid=GP7ikJZ5>. Hakupäivä 10.6.2012.

Jätteiden synty toimialoittain. 2012. Suomen ympäristökeskus. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=6984&lan=fi>. Hakupäivä 25.5.2012.

Kestävä ja kierrätettävä teräs. 2012. Rautaruukki Oyj. Saatavissa: <http://www.ruukki.fi/Tuotteet-ja-ratkaisut/Kohti-kestavaa-kehitysta/Kestava-ja-kierratettava-teras>. Hakupäivä 20.8.2012.

Kestävä kehitys. 2012. Suomen ympäristöopisto. Saatavissa: <http://www03.edu.fi/aineistot/keke/yleistietoa/kestavakehitys.htm>. Hakupäivä 25.5.2012.

Kettunen, Henrik 2012. Roskalava. Saatavissa: <http://www.cartinafinland.fi/fi/picture/826/roskalava.html>. Hakupäivä 10.6.2012.

Kierrätys ja uudelleenkäyttö ovat nykyaikaa. 2012. Valtion ympäristöhallinto. Saatavissa: <http://www.korjaustieto.fi/pientalot/korjaushankkeet/materiaalitehokkuus/kierratys-ja-uudelleenkaytto-ovat-nykyaikaa.html>. Hakupäivä 20.11.2012.

Kierrätyksen uudelleenkäytön edistäminen rakentamisessa. 2012. Valtion ympäristöhallinto. Saatavissa: <http://www.korjaustieto.fi/pientalot/korjaushankkeet/materiaalitehokkuus/kierratys-ja-uudelleenkaytto-ovat-nykyaikaa.html>. Hakupäivä 20.11.2012.

Kiinteistö Oy Kummatti korjataan ennakkoluulottomasti. 2008. Betoniteollisuus ry. Saatavissa: [http://www.betoni.com/Download/22231/BET0804\\_s\\_39-45.pdf](http://www.betoni.com/Download/22231/BET0804_s_39-45.pdf). Hakupäivä 2.11.2012.

Kipsi ja ympäristö. 2012. Knauf Oy. Saatavissa: <http://www.knauf.fi/knauf-oy/kipsi/kipsi-ja-ymp%C3%A4rist%C3%B6>. Hakupäivä 25.11.2012.

Lasin historiaa. 2012. Lasistudio Sara. Saatavissa: [http://www.studiosara.fi/studiolasi\\_historia.html](http://www.studiosara.fi/studiolasi_historia.html). Hakupäivä 15.9.2012.

Lasi ja ympäristö. 2012. Saint-Gobain Glass Finland Oy. Saatavissa: [http://www.finnglass.sggs.com/Finnglass/Saint\\_Gobain\\_Glass\\_Finland\\_Oy/Lasi\\_ja\\_Ymparisto.asp](http://www.finnglass.sggs.com/Finnglass/Saint_Gobain_Glass_Finland_Oy/Lasi_ja_Ymparisto.asp). Hakupäivä 17.9.2012.

Lempäälään on tulossa trooppinen ilmasto. 2010. Suomen Lasinjalostus Oy. Saatavissa: <http://www.ekotaloprojekti.fi/ekotalo/>. Hakupäivä 17.9.2012.

Markham, Derek 2012. Recycled Building Material Stronger Than Concrete. Saatavissa: <http://greenopolis.com/goblog/derekmarkham/recycled-building-material-stronger-concrete>. Hakupäivä 17.9.2012.

Määräykset ja ohjeet 2005. 2004. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=24297>. Hakupäivä 17.9.2012.

Neuvonen, Petri 2006. Kerrostalot 1880–2000. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Nieminen, Jyri 2012. Kerrostalosta passiivitaloksi. Saatavissa: [http://innova.molentum.fi/sites/innova.molentum.fi/files/Innova\\_tietopaketti.pdf](http://innova.molentum.fi/sites/innova.molentum.fi/files/Innova_tietopaketti.pdf). Hakupäivä 12.9.2012.

Paroc FAS 4. 2012. Paroc Oy Ab. Saatavissa: <http://www.paroc.fi/ratkaisutuotteet/paroc-tuotehaku/pages/rappausaluseristeet/paroc-fas-4>. Hakupäivä 25.11.2012.

Purkubetoni kierrätetään tienpohjiksi – tulevaisuudessa ehkä myös taloiksi. 2010. Betoniteollisuus ry. Saatavissa: <http://www.betoni.com/Download/22493/BET1002%2050-55%20.pdf>. Hakupäivä 2.11.2012.

Puurakentamisen edistämishjelma 2004–2010. 2004. Suomen ympäristökeskus. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=30445>. Hakupäivä 10.11.2012.

Puutuotteiden kierrätys. 2011. Metsäntutkimuslaitos. Saatavissa:  
<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2011/mwp191.pdf>. Hakupäivä  
16.8.2012.

Raaka-aineena kierrätyslasi. 2012. Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy.  
Saatavissa: <http://www.isover.fi/yritys/ymparistoystavallista-eristamista/kierratyslasi>. Hakupäivä 3.9.2012.

Raitala, Tatu 2012. Projektipäällikkö, Kestävän Kehityksen Keskus. Haastattelu  
toukokuu 2012.

Rakennusjätteen kierrätys. 2012. Kierrätyskeskus Oy. Saatavissa:  
<http://www.xn--kierrtyskeskus-9hb.com/rakennusjatteen-kierratys/>. Hakupäivä  
25.11.2012.

Rakennusten elinkaaritekniikka. 2001. VTT. Saatavissa:  
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/julkaisut/2001/J848.pdf>. Hakupäivä 15.6.2012.

Rakennustuotteiden oltava merkittävä vuonna 2013. 2012. Suomen  
ympäristökeskus. Saatavissa:  
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=383199&lan=fi>. Hakupäivä  
5.8.2012.

Rakentamisen jätteet. 2007. Kiertokapula Oy. Saatavissa:  
<http://www.kiertokapula.fi/attachments/rakennusopas.pdf>. Hakupäivä 17.7.2012.

Rakentamisen jätteet. 2012. Suomen ympäristökeskus. Saatavissa:  
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=18178&lan=sv>. Hakupäivä 25.5.2012.

Recycled Glass and Commercial Building Facade. 2012. The Greenhouse Ef-  
fect Ltd. Saatavissa: <http://www.greenhouseeffect.co.uk/building-facade.php>.  
Hakupäivä 17.9.2012.

Schmidt, Werner 2012. Stroh – Bauen. Saatavissa:  
<http://www.atelierwernerschmidt.ch/de/stroh/stroh-bauen>. Hakupäivä 1.9.2012.

Suomen jätemäärät kääntymässä laskuun. 2006. Suomen ympäristökeskus.  
Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=204987>. Hakupäivä  
10.6.2012.

Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2010. Ympäristöministeriö. Saatavissa:  
[http://www.finlex.fi/data/normit/34163-C3-2010\\_suomi\\_221208.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/34163-C3-2010_suomi_221208.pdf). Hakupäivä  
12.9.2012.

Viljakainen, Mikko 2009. Rakennustuotteiden valmistuksen ja rakentamisen  
aiheuttamista ympäristörasitteista – Riittävätkö uudet  
energiatehokkuusvaatimukset. Saatavissa:  
[http://www.metsateollisuus.fi/Infokortit/puunedut/Documents/Rakennustuotteide  
n%20valmistuksen%20ja%20rakentamisen%20aiheuttamista%20ymp%C3%A4  
rist%C3%B6rasitteista%20JULKINEN.pdf](http://www.metsateollisuus.fi/Infokortit/puunedut/Documents/Rakennustuotteiden%20valmistuksen%20ja%20rakentamisen%20aiheuttamista%20ymp%C3%A4rist%C3%B6rasitteista%20JULKINEN.pdf). Hakupäivä 5.9.2012.

Ympäristöseloste – Ekovilla lämmöneristeet. 2012. Rakennustieto Oy.  
Saatavissa: <http://www.rts.fi/ymparistoseloste/ys024.htm>. Hakupäivä 1.9.2012.

## **LIITTEET**

Liite 1. Betonisandwich–seinän ja lisäeristetyn seinän energiavertailu

Liite 2. Lisäeristyksen vaikutus U–arvoihin

Liite 3. Betonisandwich–rakenteen lämpöhäviöt

Liite 4. Lisäeristetyn betonisandwich–rakenteen lämpöhäviöt

**Betonisandwich-elementti**

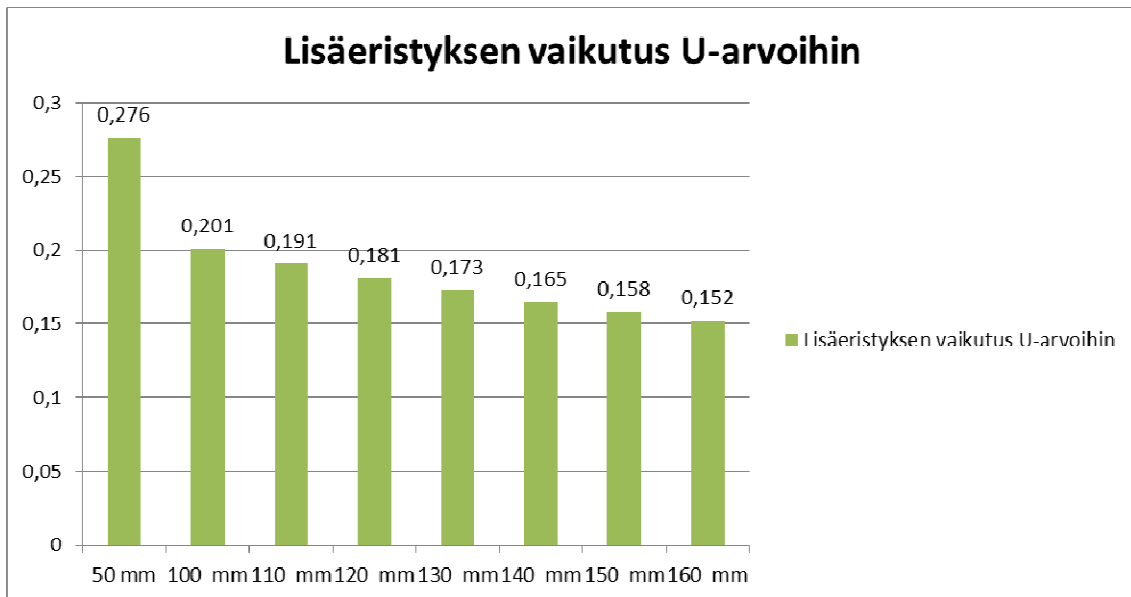
| Ainekerros      | [m]<br>d | [W/m <sup>2</sup> K]<br>λ | [m <sup>2</sup> K/W]<br>R <sub>j</sub> |                      |
|-----------------|----------|---------------------------|--|----------------------|
| R <sub>si</sub> |          |                           | 0,13                                   |                      |
| Betoni          | 0,08     | 1,7                       | 0,047059                               |                      |
| Min.villa       | 0,09     | 0,045                     | 2                                      |                      |
| Betoni          | 0,06     | 1,7                       | 0,035294                               | RakMK C4             |
| R <sub>se</sub> |          |                           | 0,04                                   |                      |
|                 |          | R <sub>T</sub>            | 2,252353                               |                      |
|                 |          | U-arvo                    | <b>0,444</b>                           | [W/m <sup>2</sup> K] |

**Betonisandwich-elementti + PAROC FAS 4**

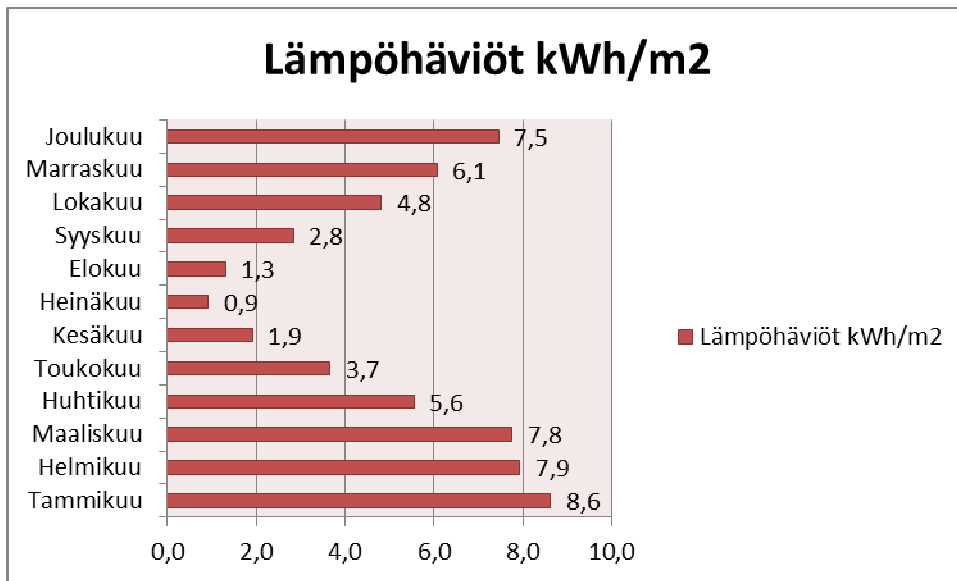
| Ainekerros      | [m]<br>d | [W/m <sup>2</sup> K]<br>λ | [m <sup>2</sup> K/W]<br>R <sub>j</sub> |                      |
|-----------------|----------|---------------------------|--|----------------------|
| R <sub>si</sub> |          |                           | 0,13                                   |                      |
| Betoni          | 0,08     | 1,7                       | 0,047059                               |                      |
| Min.villa       | 0,09     | 0,045                     | 2                                      |                      |
| Betoni          | 0,06     | 1,7                       | 0,035294                               | RakMK C4             |
| PAROC FAS 4     | 0,16     | 0,037                     | 4,324324                               |                      |
| Rappaus         | 0,025    | 1,7                       | 0,014706                               |                      |
| R <sub>se</sub> |          |                           | 0,04                                   |                      |
|                 |          | R <sub>T</sub>            | 6,591383                               |                      |
|                 |          | U-arvo                    | <b>0,152</b>                           | [W/m <sup>2</sup> K] |

d= paksuus metreissä, λ= lämmönjohtavuus, R<sub>j</sub>= lämmönvastus

Yllä on laskettu vanha betonisandwich–elementti ja U–arvoksi on saatu 0,444 W/m<sup>2</sup>K. Alla oleva on lisäeristetty betonisandwich–elementti, jonka U–arvo on 0,152 W/m<sup>2</sup>k.



Kaaviossa on laskettu lisäeristysten vaikutus vanhaan betonisandwich-seinään. Tulokset on laskettu käyttäen Exceliä. Suurimmalla lisäeristysten määrällä (160 millimetriä) saavutetaan U-arvo  $0,152 W/m^2K$ . Jo 50 millimetrin lisäeristys pienentää U-arvoa  $0,444 W/m^2K$ :stä  $0,276 W/m^2K$ :iin.

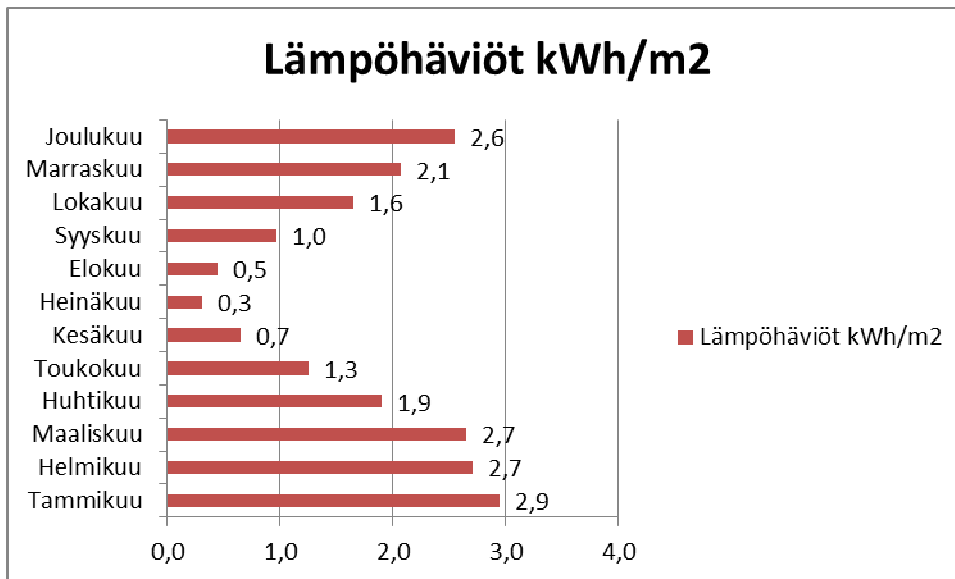


Lämpöhäviöt vuoden aikana = 58,9 kWh/m<sup>2</sup>

U–arvo=0,444 kWh/m<sup>2</sup>

Rakenne (sisältä päin) : 80 mm teräsbetoni  
90 mm mineraalivilla  
60 mm betoni

Lämpöhäviöt on laskettu käyttäen apuna DOF–lämpö–ohjelmaa ja tulokset on koottu Exceliin. Yllä olevassa kaaviossa ilmoitetaan alkuperäisen betonisandwich–rakenteen lämpöhäviöt jokaiselta kuukaudelta. Kylmimmän kuukauden lämpöhäviöt ovat seinän osalta 8,6 kWh/m<sup>2</sup>. Lämpimin kuukausi on heinäkuu, jolloin lämpöhäviöt betonisandwich–rakenteessa ovat 0,9 kWh/m<sup>2</sup>.



Lämpöhäviöt vuoden aikana = 20,1 kWh/m<sup>2</sup>

U–arvo=0,152 kWh/m<sup>2</sup>

Rakenne (sisältä päin) : 80 mm teräsbetoni

90 mm mineraalivilla

60 mm betonikuori

160 mm PAROC FAS 4 –eriste

25 mm rappaus

Lämpöhäviöt on laskettu käyttäen apuna DOF–lämpö–ohjelmaa ja tulokset on koottu Exceliin. Yllä olevassa kaaviossa ilmoitetaan alkuperäisen betonisandwich–rakenteen lämpöhäviöt jokaiselta kuukaudelta. Kylmimmän kuukauden lämpöhäviöt ovat seinän osalta 2,9 kWh/m<sup>2</sup>. Lämpimin kuukausi on heinäkuu, jolloin lämpöhäviöt betonisandwich–rakenteessa ovat 0,3 kWh/m<sup>2</sup>. Kokonaislämpöhäviöt ovat vuoden aikana 20,1 kWh/m<sup>2</sup>, joka on noin 66 % alhaisempi lisäeristyksen jälkeen.