

Jussi Lahti

Purkumateriaalien jatkokäsittelyvaihtoehdot



Julkaisutiedot ja tiivistelmä

Purkumateriaalien jatkokäsittelyvaihtoehdot

Tekijä: Lahti, Jussi

Julkaisija: Ekokumppanit Oy

Julkaisupaikka: Tampere

Julkaisu-aika: 2019

Tässä työssä selvitetään rakentamisen purkumateriaalien jatkokäsittelyvaihtoehtoja. Purkumateriaaleja tutkitaan uudelleen- ja uusiokäytön näkökulmista, sekä puuta myös energiana hyödyntämisen näkökulmasta. Pääpaino työssä on löytää käytössä olevat menetelmät yleisimpien purkumateriaalien jatkokäsittelylle, mutta myös selvittää mahdollisia kehitteillä olevia tekniikoita jätteiden hyödyntämiselle. Selvitys tehtiin betonille, puulle, teräkselle, eristeille, tiilelle, lasille ja kipsille. Useimpien materiaalien kohdalla uudelleen- ja uusiokäytön tehokkuus ovat kehittämisen tarpeessa. Tämä koskee etenkin betonia ja puuta, joista suurimmat jätemäärät muodostuvat. Puu hyödynnetään pääasiassa energiana, mutta energiahyödyntämistä ei hyväksytä Euroopan Unionin jätepuitedirektiivissä kierrättämiseksi. Betonin kohdalla sementin valmistus on runsaasti energiaa vaativaa ja olisi mielekästä hyödyntää valmistukseen käytetty energia mahdollisimman tehokkaasti myös, kun rakennuksen elinkaari tulee päätökseensä. Nykyisin betoni pääasiassa murskataan ja käytetään maarakentamisessa kantavissa ja jakavissa kerroksissa. Uudelleenkäyttöä betonirakenteille ei toteuteta kuin korkeintaan hallirakenteissa. Selvityksessä tarkastelluista materiaaleista kierrätys toimii tehokkaimmin lasin, kipsin ja teräksen kohdalla, mutta kehitystarpeitakin esiintyy vielä.

Työssä selvitettiin myös markkinoilla olevia rakentamisen uusiomateriaaleja, sekä luotiin pintapuolinen katsaus ulkomaiden rakennus- ja purkujätteen käsittelyyn. Euroopassa on parhaillaan meneillään useita kehityshankkeita, joissa pyritään parantamaan rakentamisen kiertotalousmallia ja materiaalitehokkuutta sekä innovoimaan uusia menetelmiä jätteiden käsittelylle ja uusien tuotteiden kehittämiseksi. Markkinoilla on ainoastaan muutamia rakentamisen uusiomateriaaleja. Euroopan komission Horisontti2020 -ohjelma on rahoittanut useita tärkeitä kehityshankkeita, joiden avulla on syntynyt uusia innovaatioita. Hankkeet päättyivät vuoden 2020 aikana, jonka jälkeen saataville tulee kattavampia raportteja kuin tätä työtä tehdessä.

Työn menetelmänä käytettiin kirjallisuuskatsausta ja aineistona pääsääntöisesti erilaisia tutkimusjulkaisuja. Viimeisimmän tiedon löytämiseksi informaatiota etsittiin myös yritysten verkkosivuilta. Työ tehtiin Tulevaisuuden kiertotalouskeskukset CircHubs -hankkeessa, joka on saanut rahoitusta Euroopan aluekehitysrahastolta 6-aika -ohjelman kautta.

Avainsanat: rakennus- ja purkujäte, uudelleenkäyttö, uusiokäyttö, uusiomateriaali, kierrätys, hyötykäyttö, hyödyntäminen

Sisällys

1. Johdanto	1
2. Purkumateriaalien hyödyntäminen Suomessa	2
2.1 Betoni	2
2.1.1 Uudelleenkäyttö	3
2.1.2 Uusiokäyttö	4
2.2 Puu	5
2.2.1 Uudelleenkäyttö	6
2.2.2 Uusiokäyttö	7
2.2.3 Muu hyödyntäminen	8
2.3 Tiili	9
2.3.1 Uudelleenkäyttö	9
2.3.2 Uusiokäyttö	10
2.4 Teräs	10
2.4.1 Uudelleenkäyttö	11
2.4.2 Uusiokäyttö	11
2.5 Eristeet	12
2.5.1 Mineraalieristeet	12
2.5.2 Muovieristeet	13
2.5.3 Puukuitueristeet	14
2.6 Lasi	14
2.6.1 Uudelleenkäyttö	15
2.6.2 Uusiokäyttö	15
2.7 Kipsilevyt	16
2.7.1 Uudelleenkäyttö	16
2.7.2 Uusiokäyttö	17
3. Rakentamisen uusiotuotteet	18
3.1 Haasteet	18
3.2 Markkinoilla olevia uusiomateriaalituotteita	18
3.2.1 Betoniset uusiokiviainekset	19
3.2.2 Lasivilla ja muut eristeet	19
3.2.3 Teräs	19
3.2.4 Betonivalmisteet	20
4. Purkumateriaalien hyödyntäminen ulkomailla	21
4.1 Kehityshankkeet Euroopassa	21
4.1.1 BAMB	22
4.1.2 HISER	23
4.1.3 RE4	23
4.1.4 COLLECTORS	24
4.1.5 VEEP	24
4.2 Purkumateriaalien hyödyntämisen tila Euroopan ulkopuolella	25
4.2.1 Yhdysvallat	25
4.2.2 Kiina	26
5. Yhteenveto ja johtopäätökset	27
Lähteet	29

1. Johdanto

Suomen nykyisen rakennuskannan uusiutuminen on hidasta, sillä uusiutuminen tapahtuu vain noin prosentin vuosivauhdilla (Vuorinen 2018). Nykyinen uusiutumisenopeus tarkoittaa korjausrakentamisen määrän lisääntymistä. Erityisesti 1970- ja 80-luvuilla rakennettuja omakotitaloja, rivitaloja ja kerrostaloja on remontoitava nyt ja tulevaisuudessa kasvavissa määrin (Nippala & Vainio 2016). Kaikkia rakennuksia ei kuitenkaan syystä tai toisesta korjata ja nämä rakennukset päätyvät purettavaksi.

Työn tavoitteena on tehdä selvitys nykyisistä rakennusten purkumateriaalien jatkokäsittelyvaihtoehdoista Suomessa. Mitä menetelmiä nykyisin käytetään ja onko kehitteillä uusia teknologioita? Lisäksi työssä pyritään selvittämään, mitä menetelmiä ulkomailla käytetään tai kehitetään purkumateriaalien hyödyntämiseksi. Työ on päätetty rajata vuoteen 2010, jolloin edellinen vastaava selvitys (Huuhka 2010) on ilmestynyt.

Toisessa luvussa perehdytään eri rakennusmateriaalien uudelleen- ja uusiokäyttöön sekä muuhun hyödyntämiseen Suomessa. Kolmannessa luvussa selvitetään olemassa olevien uusiomateriaalien käyttöä rakentamisessa sekä tähän liittyviä haasteita. Neljäs luku käsittelee eurooppalaisia kehityshankkeita, joiden aiheena on rakennussektorin kiertotalous, materiaalitehokkuus tai jätteiden hyödyntäminen. Luvussa luodaan myös suppea katsaus Kiinan ja Yhdysvaltojen talousalueiden rakennus- ja purkujätteiden määriin ja näiden jätteiden hyödyntämismenetelmiin. Johtopäätökset sekä yhteenveto löytyvät viimeisestä luvusta.

2. Purkumateriaalien hyödyntäminen Suomessa

EU:n vuonna 2008 julkaiseman jätepuitedirektiivin (2008/98/EY) tavoitteena on, että rakennus- ja purkujätteestä kierrätetään 70 % vuoteen 2020 mennessä. Vuonna 2014 Suomessa kierrätettiin noin 58 % rakennus- ja purkujätteestä. Kaatopaikalle päätyi 10 % rakennusjätteestä ja energiana hyödynnettiin 32 %. Korjaus- ja purkutoiminnan osalta luotettavaa tietoa jätemääristä ei ole, sillä alan toimijoilla ei ole digitaalista raportointivertoutta. (Salmenperä et al. 2016)

Vuonna 2011 voimaan tulleen jätelain (646/2011) mukaan kaikessa toiminnassa on noudatettava etusijaisjärjestystä, jossa ensisijaisesti on vähennettävä syntyvän jätteen määrää ja haitallisuutta. Jos jätettä kuitenkin syntyy, tulee se valmistella uudelleenkäyttöä varten. Jos uudelleenkäyttöä ei pystytä toteuttamaan, on harkittava uusiokäyttövaihtoehtoja. Uusiokäytön jälkeen tutkittavaksi tulevat muut hyödyntämistavat, esimerkiksi jätteen hyödyntäminen energiaksi, ja jos jäte ei kelpaa hyödynnettäväksi, päätyy se loppukäsittelyyn. Euroopan tasolla noin kolmasosa kaikesta syntyvistä jätteistä on rakennus- ja purkujätettä (Peuranen & Hakaste 2014). Seuraavissa alaluvuissa perehdytään erityisesti uudelleen- ja uusiokäyttöön mutta tutkitaan myös muita hyödyntämistapoja jätteelle.

2.1 Betoni

Betoni on Suomessa ja maailmanlaajuisesti eniten käytetty rakennusmateriaali. Nykyisen betonin kaltaisilla materiaaleilla on pitkä historia, sillä sementin kaltaisia sideaineita on käytetty muun muassa pyramidien rakentamisessa. Tällöin sideaineena toimi poltettu kipsi. Antiikin roomalaisilla oli myös taito valmistaa betonin kaltaista seosta, mikä kuitenkin hukkui Rooman tuhon myötä. Nykyinen betoniosaaminen alkoi kehittyä vasta 1800-luvun Englannissa, kun englantilainen muurari Jospeh Aspdin kehitti portlandsementin. Suomessa betonirakentaminen yleistyi 1900-luvun alkupuolella. (Haara & Betoniyhdistys 2018)

Betoni koostuu kolmesta pääraaka-aineesta, jotka ovat sementti, kiviaines ja vesi. Lisäksi betoniin lisätään erilaisia lisä- ja seosaineita työstettävyyden ja muiden haluttujen ominaisuuksien takaamiseksi. Sementti ja vesi muodostavat reagoidessaan sementtikiveä, joka sitoo yhteen betonin kiviaineksen ja muut ainesosat. Sementin valmistus vaatii paljon energiaa. Prosessin suurin energiankulutus syntyy sementtiklinkkerin valmistuksesta, kun kalkkikiveä ja muita mineraaleja poltetaan kiertouunissa noin 1 450 °C:n lämpötilassa. Prosessissa syntyy myös suuri määrä hiilidioksidia. On arvioitu, että tuhannen kilon Portlandsementin valmistus tuottaa myös tuhat kiloa hiilidioksidipäästöjä (Fernández-Jiménez et al.

2006, Hirvijoen 2018 mukaan). Betoniteollisuus on pyrkinyt vähentämään aiheuttamia ympäristörasituksia. Esimerkiksi kiertouuni voidaan lämmittää kierrätyspolttoaineilla ja osa sementistä pystytään korvaamaan muun teollisuuden sivutuotteilla, kuten hiilen poltosta syntyvällä lentotuhkalla. Myös raudanvalmistuksesta syntyvää sivutuotetta, masuunikuonaa, voidaan hyödyntää sementin valmistuksessa. (Haara & Betoniyhdistys 2018) Vaikka betoniteollisuus pyrkii pienentämään ympäristörasituksiaan betonin valmistusvaiheessa, tulee silti pohtia koko ketjun elinkaarta ja valmistusvaiheessa sidotun energian tehokkainta mahdollista hyödyntämistä.

2.1.1 Uudelleenkäyttö

Kun vanhoja rakenneosia pystytään uudelleenkäyttämään uudessa kohteessa, säästetään aina kyseisten elementtien uudelleentalmistuksesta syntyvät ympäristörasitukset. Uudelleenkäyttö on usein haastavaa, sillä vanhoja rakennuksia ei ole suunniteltu purettavaksi eikä elementtejä uudelleenkäytettäväksi. Betonirunkoiset hallirakennukset on useimmiten valmistettu siten, että niiden purkaminen onnistuu ja siirtäminen toiseen paikkaan on mahdollista. Tämä kuitenkin edellyttää, että liitokset on suunniteltu siten, että ne on mahdollista purkaa ehjinä. Esimerkiksi kerrostalojen tapauksessa elementtejä voi usein olla vaikea saada irrotetuksi ehjinä. (Lahdensivu et al. 2015)

Elementtien uudelleenkäytettävyys riippuu lisäksi kyseisen rakennuksen iästä, rakenteiden altistumisesta säärasituksille ja tulevan rakennuskohteen käyttötarkoituksesta. Esimerkiksi julkisivuelementit ovat poikkeuksetta altistuneet säärasituksille ja saattavat sisältää mikrobikasvustoa, mikä voi rajoittaa elementtien uudelleenkäyttömahdollisuuksia. Tällaisten elementtien uudelleenkäyttöä tulee aina tutkia tapauskohtaisesti. Pääsääntönä voidaan pitää, että irrotettu elementti tulee aina sijoittaa uudessa kohteessa rasitukseltaan edullisempaan paikkaan. Tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että palkkien ja pilarien rasitusten tulee olla pienempiä tulevassa kohteessa. Lisäksi aiemmin sisätiloihin suunniteltua rakennetta ei saa altistaa uudessa kohteessa säärasituksille. Parhaiten uudelleenkäyttöön soveltuvat elementit, jotka voidaan irrottaa ja uudelleenasentaa helposti. Näitä ovat muun muassa teollisuus- ja hallirakennusten pilari- ja palkkirungot ja niihin liittyvät rakenteet, kuten TT- ja ontelolaatat. (Lahdensivu et al. 2015)

2.1.2 Uusiokäyttö

Betonille on pääsääntöisesti kaksi uusiokäyttömahdollisuutta, joista ensimmäinen on uuden betonin luonnonkiviainesta korvaavana runkomateriaalina. Toinen käyttökohte on maarakentamisessa uusiokiviaineksena kantavissa ja jakavissa maakerroksissa.

Purkubetonista valmistettavan uusiokiviaineksen valmistusprosessi on periaatteeltaan yksinkertainen. Aluksi betoni esikäsitellään, jolloin poistetaan isoimmat epäpuhtaudet ja pienennetään kappalekokoja murskaamisen helpottamiseksi. Esikäsitelyn jälkeen betoni murskataan. Murskatusta betonista erotellaan raudoitusteräokset ja mahdolliset muut metallit, ja ne toimitetaan kierrätettäväksi. Tämän jälkeen betonimurskeesta poistetaan loput epäpuhtaudet, joita ei saatu poistettua esikäsitelyssä. Epäpuhtaudet käsitellään asianmukaisesti ja kierrätyskelpoiset materiaalit hyödynnetään mahdollisuuksien mukaan. Lopuksi murske seulotaan ja homogenisoidaan, ja valmis betonimurske varastoidaan. (Rudus 2017)

Uusiokiviaineksen ominaisuudet poikkeavat neitseellisestä kiviaineksesta, sillä uusiokiviaines sisältää kivrakeen lisäksi myös sementtipastaa. Uusiokiviaines ei siten ole yhtä kestävä mekaanisesti kuin neitseellinen kivi. Uusiokiviaines on myös huokoista, joten se imee vettä sisäänsä. Neitseellisestä kiviaineksesta poikkeavat ominaisuudet on otettava huomioon suunnittelussa. Korkealujuusbetoneista valmistetuissa uusiokiviaineksissa vedenimukyky on huonompi kuin tavallisimmista betoneista valmistetuissa uusiokiviaineksissa. Vedenimukyvyllä on vaikutusta betonin vesi-sementtisuhteeseen ja myös betonin työstettävyyteen. Uusiobetonin valmistuksessa käytetään neitseellistä kiviainesta, sementtiä, vettä ja vaihteleva prosenttiosuus uusiokiviainesta. Uusiokiviaines tulee kosteuttaa ennen betonin valmistusta, jotta voidaan välttää veden imeytyminen siihen. Tällöin sementille laskettu vesimäärä kuluu sementin hydratoitumiseen täysin. Uusiokiviaineksen kyllästämistä vedellä tulee kuitenkin välttää, ettei vettä vapautuisi sementtipastaan. Uusiokiviaineksen käyttö ei merkittävästi muuta haluttuja betonin ominaisuuksia, kun uusiokiviainesta käytetään 10–30 % koko kiviaineksesta. (Nieminen 2015)

Betonin uusiokäyttö maarakentamisessa on hyödyllistä ympäristölle. Puretusta betonirakennuksesta saadun betonimurskan varastointi ulkoilmassa sitoo ilman hiilidioksidia karbonatisoitumisen seurauksena. Karbonatisoitumisen nopeus kasvaa, kun betonirakeiden pinta-alaa kasvatetaan murskaamalla. Kun betonimurska hyödynnetään

teiden tai pihojen kantaviin tai jakaviin rakennekerrokseen, sitoutuu betoniin pitkällä aikavälillä noin puolet sen valmistuksessa syntyneistä hiilidioksidipäästöistä. (Betoniteollisuus 2019)

Purkubetonia hyödyntävät yritykset ovat kehittäneet betonimurskeelle omia tuotenimiään, kuten Deleten DeleKivi ja Ruduksen Betoroc. Nämä betonimursketuotteet soveltuvat maarakentamisessa katu-, tie- ja kenttärakenteiden kantaviin ja jakaviin kerrokseen. Betonimurskeen hyödyntäminen on Ruduksen mukaan edullista sekä taloudellisessa että teknisessä mielessä, sen perinteistä kalliomurskaa paremman kantavuuden ansiosta. Dettenborn (2013) on tutkimuksissaan osoittanut betonimurskasta tehdyille päällysrakenteille 15–25 % suurempia kantavuuksia verrattuna tavallisiin kivirakenteisiin päällysrakenteisiin pitkällä aikavälillä. Suuremmat kantavuudet perustuvat murskeen lujittumiseen, kun murskauksessa syntyneet sementin sitoutumattomat reaktiopinnat sitoutuvat. Tällöin myös betonimurskeen pitkäaikaiskestävyys ja materiaalitehokkuus paranevat. Kustannussäästöihin päästään, kun kantavista kerroksista voidaan tehdä ohuempia. Ruduksen (2017) mukaan jakavan ja kantavan kerroksen materiaalin korvaaminen betonimurskalla säästää kustannuksia noin 40 %. Betonimurskeen käyttö vähentää myös sora- ja kalliomurskeen tuotantoa ja kuljettamista. (Rudus 2017)

2.2 Puu

Puu on Suomen oloissa erinomainen materiaali, sillä sitä on runsaasti saatavilla. Puulajeista erityisesti mäntyä ja kuusta kasvaa Suomessa paljon ja niitä käytetään myös eniten rakentamisessa. Puulla on hyvät lujuusominaisuudet sen keveyteen nähden ja sitä on myös helppo työstää. Puun hyvät ominaisuudet ovatkin johtaneet erilaisten puutuotteiden kehittämiseen ja valmistukseen. Puusta pystytään perinteisen hirs- ja sahatavaran lisäksi tekemään erilaisia liimapuuvalmisteita (mm. CLT), kertopuupalkkeja ja -levyjä (LVL) sekä OSB-levyjä ja lastulevyjä. Lisäksi puusta voidaan valmistaa myös komposiitteja, joissa toisena materiaalina toimii esimerkiksi muovi. Valmistuksen ympäristövaikutukset huomioiden puu onkin hyvä rakennusmateriaali, sillä puun kasvuvaiheessa siihen sitoutuu ilmasta hiilidioksidia ja puu toimii siten hiilidioksidinieluna. Puu on myös pitkäikäinen materiaali, jos sen käsittelyyn ja rakenteiden suunnitteluun kiinnitetään riittävästi huomiota. Puun pitkäikäisyydestä muistuttavat vanhat puukirkot, joista vanhin Suomeen rakennettu ja käytössä oleva on peräisin 1600-luvulta.

Nykyisin talonrakentamisen purkujätteistä jopa 41 % on puupohjaisia jätteitä (Peuranen & Hakaste 2014, s. 11). Näistä suuri osa koostuu erilaisista apumateriaaleista, kuten muottilaudoituksista ja hävikeistä. Puujätteen laatu vaihtelee ja jäte sisältää usein

epäpuhtauksia, kuten betonijäämiä tai hometta. Sillanrakentamisessa puiset sahatavarasta valmistetut tukirakenteet ovat mittavia ja purettaessa sisältävät jonkin verran epäpuhtauksia, kuten nauloja, hiekkaa ja betonia. Näistä kierrätetään mahdollisuuksien mukaan noin 30 %. Isommat parrut kuitenkin on mahdollista käyttää uudelleen uusissa kohteissa jopa neljä kertaa. (Myller 2015, s. 30)

Purkupuuta hyödynnetään Suomessa pääsääntöisesti energiana, sillä metsäteollisuuden sivutuotteena syntyy suuri määrä puhdasta ja hyvälaatuista puumateriaalia, jota voidaan hyödyntää esimerkiksi lastulevyjen ja komposiittien valmistamiseen. Tämän vuoksi purkupuulle ei ole syntynyt Suomessa laajaa jatkohyödyntämistoimintaa, toisin kuin muualla Euroopassa (Manninen et al. 2015, s. 9, 27). Syy voidaan ilmaista myös kysynnän puutteena, jolloin tarjontaakaan ei ole. Tämä on ristiriidassa siihen nähden, että Suomen tulisi kuitenkin lisätä purkupuun kierrätystä EU-direktiivin mukaisen 70 % kierrätystavoitteen täyttämiseksi.

2.2.1 Uudelleenkäyttö

Puiset runkoelementit ovat uudelleenkäytettävissä, samoin kuin betoni- ja teräsrakenteet, kun liitokset ovat tehty yksinkertaisella menetelmällä. Yksinkertaisia liitoksia ovat pultti- ja ruuviliitokset tai teräsosakiinnitykset. Naula- ja liimaliitosten purkaminen ehjänä on vaikeaa, ja liitoksista jää puuhun naula- tai liimajätettä. Höylätty ja sahattu puutavara on uudelleenkäytettävissä, kunhan puu on riittävän hyväkuntoista. (RIL 216-2013)

Vanhoista puurakennuksista hirsirakennukset ovat helpoiten siirrettävissä uuteen paikkaan, ja niiden siirtämiseen onkin kehitetty tekniikoita. Purku tapahtuu siten, että ensin hirret numeroidaan, jonka jälkeen purku voidaan suorittaa. Uudessa kohteessa hirret ladotaan samaan järjestykseen, jossa ne aiemmin olivat.

Kattoristikoita voidaan myös käyttää uudelleen. Tämä edellyttää uuden kohteen olevan jänneväliiltään samanlainen kuin kohde, josta ristikko alun perin on. Ristikko ei myöskään saa olla vaurioitunut. Aiemmassa kirjallisuudessa ehdotettiin (Huuhka 2010), että ristikoita voisi lyhentää solmukohdista, mutta rakennusteknisesti hankalaa ja siksi käytännössä taloudellisesti kannattamatonta. Lyhentäminen vaatii paljon käsityötä, mikä nostaa kustannuksia. Ristikon lyhentäminen nostaisi ristikon korkeutta seinien kohdalta. Voi myös olla vaikea löytää ristikoita, joiden solmukohdat osuisivat uuden rakennuksen kannalta edullisesti.

Kantavissa rakenteissa käytettävän puun on aina oltava lujuusluokiteltua, mikä on ongelmallista uudelleenkäytön kannalta. Rakennuksesta irrotettaessa puun lujuusluokitus

mitätöityy, ja se tulee hankkia uudelleen, jos puuta aiotaan sijoittaa uuteen käyttökohteeseen. Luokituksen hankkiminen on paitsi aikaa vievää, mutta myös kallista, sillä yleensä laadukkaan kantavan purkupuun määrät ovat pieniä. (Pirhonen et al. 2011, s. 30) Tällaisessa tapauksessa yksikkökustannukset nousevat usein niin kalliiksi, että on taloudellisempaa tehdä kantavat rakenteet uudesta puusta. Lujuusluokittematonta puuta voidaan käyttää rakenteissa, jotka eivät vaadi puulta lujuusluokituksia. Tällaisia kohteita ovat muun muassa yksilöllisten kohteiden sisustukset. (Pirhonen et al. 2011, s. 30)

Käytöstä poistettu kyllästetty puu on ongelmallista, sillä se on luokiteltu ongelmajätteeksi siihen sitoutuneiden kyllästeaineiden takia, ja on lisäksi usein varsin lyhyttä. Kyllästetyn puun osalta uudelleenkäyttö on mahdollista suuremmille palkeille, tolpile ja pilareille. Esimerkiksi sähkötolppia voidaan käyttää uudelleen sellaisenaan. (Pirhonen et al. 2011, s. 36)

2.2.2 Uusiokäyttö

Kierrätyspuun uusiokäyttö on toistaiseksi rajallista pienen kysynnän vuoksi. Kysyntää rajoittaa purkupuun epätasalaatuisuus, sillä puussa on usein nauvoja, hiekkaa tai betonia. Likaista puuta ei voida sellaisenaan hyödyntää uusiotuotteiden valmistuksessa, sillä lopputuotteen tasalaatuisuus kärsii epäpuhtauksista.

Tällä hetkellä Suomessa puukuituiset rakennuslevyt valmistetaan puuteollisuuden sivutuotteina syntyvästä sahanpurusta tai puumurskasta. Purkupuulla on kuitenkin potentiaalia puumuovikomposiiteissa tai rakennuslevyissä. Esimerkiksi Etelä-Euroopassa rakennuslevyt valmistetaan pääsääntöisesti kierrätyspuusta (Kojo & Lilja 2011, s. 73). Kierrätyspuuta voitaisiin hyödyntää esimerkiksi lastulevyn valmistuksessa, vaikka valmistuksessa käytetäänkin nykyisin lähinnä sahateollisuuden sivutuotevirtaa.

VTT (Rautkoski et al. 2015) on tutkinut puukuitulankojen ja -levyjen valmistamista purkupuusta. Tutkimuksessa tarkasteltiin eri jätepuulajikkeiden soveltuvuutta hiertämiseen ja kemialliseen kuiduttamiseen. Tutkimuksen lopputulemana oli, että jätetuusta on mahdollista valmistaa kuitulankaa ja vaahtoarkkeja, eivätkä kemialliset epäpuhtaudet vaikuta negatiivisesti kuitujen sitoutumiseen toisiinsa. Huomionarvoista tässä tutkimuksessa oli myös, että mekaaniset epäpuhtaudet irtoavat materiaalista paremmin, mikäli jätetuu murskataan pienempiin partikkeleihin. Havainto avaa mahdollisuuksia murskatun puun hyödyntämiseen myös muussa uusiokäytössä. Myös kestopuun kierrätys todettiin mahdolliseksi tutkituilla tekniikoilla, vaikkakin se vaatii turvallisuustoimenpiteitä ja luvitusta.

Puumuovikomposiitti on nimensä mukaisesti puun ja muovin yhdiste, jossa puun ja muovin suhteelliset osuudet vaihtelevat 10–80 % välillä. Puumuovikomposiitteja käytetään pääsääntöisesti terassilautoina, mutta niitä voidaan käyttää myös autoteollisuudessa ja erilaisissa paneeleissa. Puumuovikomposiittien valmistukseen voidaan hyödyntää kierrätysmateriaaleja ja elinkaaren päätteeksi jäte voidaan polttaa puujätteen tavoin. Komposiitti ei sisällä myrkkyjä, eikä sitä tarvitse pintakäsitellä kuten painekyllästettyä terassilautaa. Hyviä ominaisuuksia ovat myös pitkä käyttöikä, hyvä sään- ja värinkesto-ominaisuudet ja rakenne, joka ei pölise sahatessa. (Myller 2015, s. 27) Komposiitit voivat kuitenkin olla materiaaleina myös ongelmallisia, sillä niiden komponentteja ei yleensä saa enää eroteltua toisistaan. Tämä voi rajoittaa materiaalien uusiokäytettävyyttä.

Purkujätteestä valmistettuja puumuovikomposiitteja on markkinoilla hyvin vähän eikä niistä ole tehty merkittävästi tutkimusta. Komposiittipihakivet ovat kuitenkin yksi purkujätettä hyödyntävä kotimainen innovaatio. Valmistuksen raaka-aineita ovat rakennuspuumateriaalit, luonnonkiviaines, sementti ja vesi. Komposiittipihakiville luvataan lukuisia väri vaihtoehtoja, betonia kevyempi rakenne ja helppo työstettävyys. (Myller 2015, s. 27–28)

Tällä hetkellä puulle ei ole olemassa kierrätyskonseptia, jossa puun alkuperäiset ominaisuudet ja käyttökohteet parantuisivat tai pysyisivät yhtä hyvinä kuin alkuperäinen puu. Tätä ilmiötä, jossa kierrätyksen tuotteena syntyy alkuperäistä tuotetta vähempiarvoinen materiaali, kutsutaan termillä ”downcycling”. (Manninen et al. 2015, s. 10)

2.2.3 Muu hyödyntäminen

Koska lämmityskaudet ovat Suomessa pitkiä, on täällä päädytty purkupuun hyödyntämiseen lämmitysenergiana. Polttamalla on arvioitu saatavan teknistaloudellisesti suurin yhteiskunnallinen hyöty (Pirhonen et al. 2011, s. 60). Puun poltolla voidaan korvata fossiilisia polttoaineita sekä vähentää puujätteen päätymistä kaatopaikoille.

Lähes kaikki puujäte on polttokelpoista. Rakennustyömailta peräisin oleva likainen puu, joka sisältää hiekkaa, nautoja ja betonia, voidaan hakettaa, eikä pieni määrä epäpuhtauksia haittaa polttoprosessia. Vanerit ja lastulevyt voidaan myös hakettaa, mutta näiden sisältämät liimat aiheuttavat suurina pitoisuuksina ongelmia, jotka ilmenevät polttolaitteiston kuonaantumisenä. Purkupuussa esiintyy usein myös maalia. Puulevyjen tapaan myös maalattu puu murskataan ja murske poltetaan puhtaampaan puuhakkeeseen sekoitettuna. Ongelmajätteeksi luokiteltava kestopuu voidaan sekin polttaa, jos polttolaitos on varustettu savukaasunpuhdistimilla. Myös kestopuu murskataan ja sekoitetaan puhtaamman puun sekaan. (RIL 216-2013, s. 213–214)

Puusta on mahdollista valmistaa bioetanolia. Biopolttoaineilla pystytään korvaamaan fossiilisten polttoaineiden käyttöä liikenteessä ja siten vähentämään liikenteen ympäristövaikutuksia sekä öljyriippuvuutta. Bioetanolilla voidaan vähentää perinteisen bensiinikäyttöisen auton fossiilisia päästöjä jopa 80 %. Yksinkertaistetusti bioetanolin valmistus perustuu selluloosan ja hemiselluloosan sokereiden vapauttamiseen lämmön, paineen ja entsyymien avulla. Käyminen aikaansaadaan hiivalla, ja lopuksi käymisliemestä tislataan etanoli talteen. Tislatus etanoliliuoksen pitoisuus on 90 % ja loppuväkevöinnillä aikaansaadaan 100 % etanolia. Bioetanolia valmistaa Suomessa St1 Biofuels Oy, jonka etanolitehdas sijaitsee Kajaanissa ja käyttää raaka-aineenaan viereiseltä sahalta peräisin olevia sahanpuruja. (Biotalous 2014, Niskanen & Karjalainen 2014)

2.3 Tiili

Tiili on varsin pitkään käytössä ollut luonnonmukainen rakennusmateriaali. Tavallisen poltetun tiilen pääraaka-aineena toimii savi. Savi on uusiutumaton, mutta sitä on runsaasti saatavilla. Savitiilen polttoprosessi kuluttaa runsaasti energiaa polttolämpötilan ollessa noin 1 000 °C. Poltetun savitiilen lisäksi tiilituotteisiin lukeutuvat kalkkihiekkatiilet (Kahi), joiden pääraaka-aineet ovat poltettu kalkki, kvartsipitoinen hiekka ja vesi. Kalkkiahiekkatiiliä ei polteta, vaan ne puristetaan muotoonsa ja karkaistetaan paineistetulla vesihöyryllä 160–200 °C lämpötilassa (RT 38406 2013). Kalkkiahiekkakiven valmistus onkin energiankulutuksen kannalta savitiilien polttamista edullisempaa.

Tiilien hyviin ominaisuuksiin kuuluvat mekaaninen kestävyys, lämpöominaisuudet, palamattomuus, huoltovapaus, luonnonmukaisuus ja suhteellisen korkea puristuslujuudenkesto, jopa 50 MPa (RT 38096 2011). Aikaisemmin tiilirakenteet olivat kantavia tiilimuureja, mutta nykyisin tiilistä rakennetaan pääasiassa vain ulkoverhouksia (kuorimuureja). Kantavat rakenteet tiiliverhotuissa rakennuksissa voi olla puuta, betonia tai muilla harkkoratkaisuilla, kuten kevytsoraharkoilla toteutettuja runkoja, jotka käyttäytyvät uudelleenkäytettävyyden kannalta samoin kuin tiili. (Huuhka 2010)

2.3.1 Uudelleenkäyttö

Tiiliä voidaan käyttää uudelleen sellaisenaan. Purkaminen voidaan tehdä koneellisesti. Tiilet puhdistetaan laastijäämistä ennen uudelleenmuurausta. Jos muuraus on tehty kalkkilaastilla, niin puhdistus onnistuu helposti upottamalla tiilet veteen, jolloin laasti liukenee pehmeäksi massaksi. Sementtilaastin puhdistus on vaikeampaa, eikä Suomessa ole

tekniikkaa, jolla tiilet saataisiin puhdistettua tehokkaasti ja automatisoidusti. Tiilien uudelleenkäyttö rakennuskohteissa onkin verrattain vähäistä puhdistuksen vaatiman käsityön vuoksi. Vanhojen tiilirakennusten purusta saatava tiili on kuitenkin usein arvokasta etenkin korjausrakennuskäytössä, sillä vanhoja tiiliä on vähän saatavilla.

Tiilien uudelleenkäyttöön erikoistunut tanskalainen yritys Gamle Mursten on kehittänyt laitteen, joka puhdistaa puretuista tiilistä laastijäämät ja muut epäpuhtaudet tärymenetelmällä. Yhden tiilen uudelleenkäyttö säästää hiilidioksidipäästöjä 500 grammaa. Yhden tiilirakenteisen omakotitalon valmistus vaatii noin 16 000 tiiltä, joten käyttämällä tiiliä uudelleen voidaan välttää 8 tonnia hiilidioksidipäästöjä verrattuna uusien tiilien valmistukseen. Yrityksen mukaan Tanskassa pystyttäisiin käyttämään vuosittain uudelleen 30 miljoonaa tiiltä. Yritys on yksi EU-rahoitteisen REBRICK-hankkeen kumppaneista ja pyrkii laajentamaan toimintaansa koko Euroopan talousalueelle. (Gamle Mursten 2019)

2.3.2 Uusiokäyttö

Uusiokäyttöä valmisteltaessa puretut tiilet voidaan kerätä joko erikseen tai betonijätteen sekaan. Jos tiilet kerätään erikseen ja murskataan, saadaan värivakioitua tiilimurskaa, jota voidaan hyödyntää esimerkiksi tenniskenttien pintamateriaalina. Jos tiilet kerätään betonijätteen sekaan, voi murskaa hyödyntää maarakentamisessa. Mikäli betonimurskan seassa on maksimissaan 10–30 painoprosenttia tiilimurskaa, voidaan yhdistemurskaa hyödyntää jakavissa rakennekerroksissa (Rudus 2017).

2.4 Teräs

Teräkseksi luokitellaan rautametallit, joiden hiilipitoisuus alittaa 1,7 % ja jotka ovat näin ollen valssattavia ja taottavia. Teräs sisältää myös seosaineita, joilla pyritään parantamaan teräksen ominaisuuksia, esimerkiksi korroosionkestävyyttä ja mekaanisia ominaisuuksia. Seosaineista yleisimmät ovat pii, mangaani ja alumiini. Teräksen raaka-aineet ovat uusiutumattomia ja malmin kaivaminen rasittaa ympäristöä päästöjen ja maisemahaittojen muodossa. Lisäksi teräksen valmistaminen rautamalmin valmistuksesta kuluttaa paljon energiaa masuuniprosessin vuoksi. Rautamalmin valmistusprosessi tuottaa myös merkittäviä määriä hiilidioksidipäästöjä, sillä raudan pelkistys toteutetaan nykyisillä tekniikoilla hiilenpoltolla.

Teräkset ovat helposti kierrätettäviä ja romumetallien kierrätys onkin varsin yleistä. Suomessa vain 20–30 % teräksen raaka-aineesta on romumetallia, mutta esimerkiksi Yhdysvalloissa teräs valmistetaan pääasiassa kierrätysmetalleista. Kierrätysmetallin käyttö

on energiatehokkain teräksen valmistustapa, mutta kuluttaa siitä huolimatta paljon sähköä valokaariuuniprosessissa. Sähköntuottotavalla pystytään vaikuttamaan prosessista aiheutuviin päästöihin. (SSAB 2019) Terästä käytetään runkorakenteena pääasiassa teollisuus- ja toimistorakentamisessa. Teräksestä valmistetut rungot ovat esivalmistettuja pilari-palkkisysteemejä.

2.4.1 Uudelleenkäyttö

Teräsrakenteet soveltuvat hyvin uudelleenkäytettäväksi, sillä rakenteet ovat usein yhdistetty pulttiliitoksin. Uudelleenkäyttöä helpottaa myös, jos korroosiokäsittely on toteutettu siten, että sen uusiminen tai parantaminen on mahdollista (RIL 216-2013). Etenkin teräsrakenteisia halleja voidaan purkaa ja pystyttää uudelleen uuteen paikkaan. Rakenteista palkit ja pilarit voidaan hyödyntää sellaisinaan tai niihin voidaan tehdä muutoksia esimerkiksi muuttamalla pituutta tai hitsaamalla uusia kiinnikelaippoja. Aiempia pulttiliitoksia voidaan muokata, ja liitoksen voi tarvittaessa myös korvata täysin hitsaamalla. Kattoristikot ovat pääsääntöisesti uudelleenkäytettäviä, jos niihin ei ole tullut taipumia tai ruostumia, jotka heikentäisivät niiden kantavuutta. Teräsrakenteita uudelleenkäyttöön valmisteltaessa tulee purkuvaiheessa huomioida sopiva varovaisuus, ettei teräsprofiiliin tule muutoksia. (RIL 216-2013) Esimerkiksi IPE- tai HEA- palkin lommahdus tai kiertymä pienentävät profiilin taivutusjähyhyttä ja alentavat näin ollen palkin kantokykyä. Huomioida tulee myös aiempaan rakenteeseen vaikuttanut säärasitus tai kosteus, joka on voinut aiheuttaa rakenteeseen korroosiota. On myös tarkistettava, onko aiempi rakenne mahdollisesti altistunut tulipalon lämpörasituksille.

2.4.2 Uusiokäyttö

Teräs on erinomainen materiaali kierrätettävyyden kannalta, sillä sen ominaisuudet eivät heikkene kierrätysprosessin aikana, vaikka kierrätysyyskylejä olisi useampia. Tämän ansiosta teräksen loputon kierrätys on teoriassa mahdollista, mutta käytännössä pieni osa teräksistä joutuu aina hävikkiin.

Teräkset kerätään talteen niille tarkoitetuille lavoille kuten muukin jäte. Romumetallit viedään teräksen valmistustehtaille, jossa teräkset ja romumetallit sulatetaan ja käsitellään lopputuotteilta vaadittavin tavoin. Kaikki rakentamisessa käytettävät metallit voidaan uusiokäyttää uusien terästen valmistuksessa. Kierrätysteräksen valmistusprosessissa romumetalli sulatetaan valokaariuunissa. Prosessi vaatii paljon sähköä, mutta

hiilidioksidipäästöt ovat kuitenkin huomattavasti pienemmät kuin masuuniprosessissa neitseellisiä raaka-aineita käytettäessä (SSAB 2019).

2.5 Eristeet

Nykyaikaisten rakennusten eristeinä toimivat mineraalieristeet, puukuituvillat, muovieristeet, kevytsora ja joissain tapauksissa vaahtolasi. Aiemmin eristeinä käytettiin luonnosta löytyviä materiaaleja, kuten sammalta, sahanpurua ja turvetta (Huuhka 2010, s. 86).

Eristeillä on tärkeä rooli rakennuksen energiatehokkuuden, ääneneristävyyden ja rakenteiden rakennusfysikaalisen toimivuuden kannalta. Eristeen toiminta perustuu sen kykyyn sitoa ilmaa omaan huokosrakenteeseensa, sillä staattisella ilmalla on huono lämmönjohtokyky. Kaikkien eristeiden toimintaperiaate on sama, vaikka niiden käyttökohteet vaihtelevatkin laajasti. Eristeiden lämmönjohtavuutta kuvataan lambda-arvoilla.

2.5.1 Mineraalieristeet

Suomessa syntyy vuosittain 20 000 tonnia mineraalivillajätettä. Määrä on jätteen kierrätettävyyden kannalta merkittävä yhteiskunnallinen ongelma. (Hirvijoki 2018) Mineraalivillojen valmistus kuluttaa runsaasti energiaa ja prosessissa syntyy liimajätettä. Mineraalivillojen sideaineena käytetään kertamuovivalmistetta. Kotimaisen lasivillan valmistuksessa käytetään 80 % kierrätyslasia, joka on pääsääntöisesti peräisin kierrätetyistä tasolaseista ja kuluttajien palauttamista lasipakkauksista. Kierrätysprosessissa lasi sulatetaan ja kuidutetaan, jolloin sitä voidaan hyödyntää lasivillan raaka-aineena. Kivivillan valmistus tapahtuu vulkaanisen kiven sulattamisesta ja sulan kiven kuiduttamisesta. Prosesseissa sulatusuunien lämpötilat ovat lasivillan kohdalla 1 400 °C ja kivivillan kohdalla 1 500 °C. (Isover 2019 & Paroc)

Lasivillaa käytetään pääsääntöisesti kevyissä väliseinissä, ulkoseinissä, välipohjissa ja yläpohjaeristeinä. Lasivillan etuna on keveys lambda-arvoon nähden, ja sen voi tyhjiopakata kivivillaa tiiviimpään tilaan. Kivivilla kestää puolestaan hieman paremmin lämpöä, koska sen valmistuslämpötila on hieman korkeampi kuin lasivillalla. Kivivillaa suositellaankin käytettäväksi tulisijojen ja savuhormien yhteydessä. Molemmat villatyypit on kuitenkin luokiteltu A1-paloluokkaan, joten niiden palonkestävyys on 60 minuuttia, kun ne ovat asennettuina tavallisen seinän sisään suoralta paloaltistukselta suojattuna. (Knauf Insulation 2015.)

Sandwich-elementtien uudelleenkäyttö edistää myös mineraalivillojen uudelleenkäyttöä, sillä tällöin elementtien välissä olevat eristeet toimivat myös uudessa kohteessa ja purkujätettä ei synny (Huuha 2010). Myös mineraalivillojen uusiokäyttö on mahdollista. Tällöin puretusta rakenteesta kerätyt villat otetaan talteen, puhdistetaan, revitään ja puhalletaan esimerkiksi yläpohjaan eristeeksi. Tekniikan on kehittänyt Suomessa Eko-Expert Oy. (Eko-Expert)

Tuore mineraalivillojen uusiokäyttömenetelmä on kuivabetonin valmistus. Valmistuksen raaka-aineena toimii mineraalivilillajäte ja jokin alkaliaktivaattori, esimerkiksi natriumhydroksidi ja natriumsilikaatti. Mineraalivilillajäte jauhetaan kuulamylyllä hyvin pieneksi jauheeksi (raekoko 8–20 µm), ja jauhe laitetaan reagoimaan aktivaattoriliuoksen kanssa. Lopputuotteena syntyy kovettunut geopolymeeri. Alkaliaktivoituja materiaaleja kutsutaan epäorgaanisiksi polymeereiksi ja geopolymeereiksi. (Hirvijoki 2018)

Geopolymeerien lähtöaineilla on mahdollista korvata sementtiä, millä voidaan vaikuttaa merkittävästi betonin valmistuksen hiilidioksidipäästöihin. Pienempien hiilidioksidipäästöjen lisäksi geopolymeereillä on yhtä hyviä tai jopa parempia mekaanisia ominaisuuksia kuin tavallisesta Portland-sementistä valmistetuilla betoneilla. Geopolymeereillä voidaan saavuttaa 60–70Mpa:n puristuslujuuksia. (Hirvijoki 2018) Mineraalivilillajätettä ei ole saatavilla niin paljon, että geopolymeerit voisivat kokonaan korvata perinteisen sementin betonin valmistuksessa. Mineraalivillojen vaikean kierrätettävyyden vuoksi kierrätysbetonin valmistusta geopolymeerejä hyödyntämällä tulee kuitenkin tutkia lisää.

Mineraalivilillajätteestä valmistettuja kuituja pystytään hyödyntämään myös puumuovikomposiiteissa, joissa ne parantavat komposiittien kosteudenkestoa. Myös komposiittien iskunkestävyyttä saadaan parannettua. (Väntsi 2015, s. 51,76)

2.5.2 Muovieristeet

Muovieristeitä ovat polystyreenistä eli solumuovista valmistetut XPS- ja EPS-levyt. EPS (styroksi) on pienistä vaahtohelmistä puristettu levy ja XPS on suulakepuristettua polystyreeniä.

XPS on EPS:ää tiheämpää ja kestävämpää. Sen käyttökohteet ovat laajemmat, sillä sen solurakenne on ilmatiivis, minkä ansiosta XPS-eristetyt rakenteet eivät tarvitse erillistä höyrynsulkua. XPS-levyt valmistetaan polystyreenijauheesta ja hiilidioksidista. Valmistusprosessissa sulaan polystyreeniin liuotetaan hiilidioksidia korkeassa paineessa. Hiilidioksidi kaasuuntuu luoden samalla eristeeseen soluja, jotka täyttyvät ilmalla

hiilidioksidin vapautuessa. (Finnfoam Oy) EPS-levyn valmistus tapahtuu laajentamalla polystyreenihelmiä, jonka jälkeen huokoiset, laajentuneet helmet suulakepuristetaan haluttuun lopputuotteen muotoon.

Polystyreenieristeet voidaan käyttää uudelleen sellaisenaan, jos ne säilyvät ehjinä. XPS-levyt voivat olla helpompia saada purettua ehjinä paremman lujuutensa ansiosta. Polystyreeni on kestomuovi, jonka voi myös täysin kierrättää uusien eristeiden tai pakkausten raaka-aineena (Finnfoam Oy).

2.5.3 Puukuitueristeet

Puukuitueristeet valmistetaan kierrätyskuidusta, jota saadaan keräyspaperista. Puun kasvuvaiheessa siihen sitoutunut hiili varastoituu eristeeseen ja valmistusprosessin ollessa vähän energiaa kuluttava, on myös lopputuote vähähiilinen. Käyttöikänsä päässä eriste voidaan käyttää uudelleen, hyödyntää energiantuotannossa muun polttoaineen joukossa tai käyttää maanparannusaineena. (Ekovilla Oy)

Puukuitueristeitä (selluvillaa) on saatavilla puhallusvillana tai levyinä, joiden yksi tuotenimi on Ekovilla. Puhallusvillan asennuksen helppouden ja nopeuden ansiosta selluvillaa käytetään usein yläpohjissa. Puhallusvilla voidaan myös imeä talteen ja käyttää uudelleen toisessa kohteessa. Selluvillaan lisätty boori estää homeitiöiden kasvamista materiaalissa vähentää sen paloherkkyyttä. Boorin takia selluvillaa ei tule polttaa kotioiloissa eikä kompostoida sellaisenaan. Jos maaperän booripitoisuus on liian suuri, kasvit eivät juurru maahan kunnolla. Kun selluvilla laimennetaan muuhun maanparannusaineeseen, ongelmia ei pitäisi ilmetä. (Huuhka 2010, s. 88–89)

2.6 Lasi

Lasin valmistuksen pääraaka-aineet ovat hiekka, kalkki ja sooda. Lasin valmistuksessa lasimassaan voidaan lisätä myös sulaa kierrätyslasiä. Nykyisin tasolasit valmistetaan float-menetelmällä. Prosessissa sulan lasimassan lämpötila on noin 1 000 °C, minkä lämpötilan saavuttaminen vaatii paljon energiaa. Mikäli kierrätyslasin määrää lisätään, kuluttaa prosessi vähemmän energiaa. Kierrätyslasiesta voidaan valmistaa uudelleen pakkauslaseja ja tasolaseja ilman, että lasin laatu kärsii. (Pilkington 2019)

Teknologian kehittyminen on mahdollistanut uudenlaisten lasituotteiden, kuten auringonsuojalasien, älylasien, palonsuojalasien, ääneneristyslasiin, ym. kehittämisen ja käyttöönoton rakentamisessa. Uudet lasituotteet ovat haastavampia lasin kierrätyksen

kannalta. Esimerkiksi palonsuojalasin kierrätys muun lasimurskan seassa voi olla vaikeaa. Uusien lasituotteiden valmistuksessa pystytään nykyisillä kierrätysmenetelmillä hyödyntämään eristelaselementit ja karkaistut lasit. (Uusioaines Oy a)

2.6.1 Uudelleenkäyttö

Ikkunat voidaan purkaa karmeineen ja puitteineen, jolloin lasit pysyvät ehjinä. Ikkunoiden ja/tai lasien uudelleenkäyttö rakentamisessa sellaisenaan voisi olla mahdollista, mutta ongelmaksi muodostuvat tiukentuneet ja edelleen tiukentuvat energiamääräykset. Vanhojen ikkunoiden lämmöneristävyys, tiiveys ja rakenne eivät vastaa nykyisiä vaatimuksia, joten niitä ei useinkaan ole mahdollista asentaa uusiin kohteisiin. Uudelleenkäyttö on mahdollista pienessä mittakaavassa rakenteissa, joissa ei vaadita lämmöneristysominaisuuksia, kuten vain kesäkäytössä olevissa loma-asunnoissa.

Lasista on valmistettu myös lasitiiliä, jotka voi käyttää uudelleen, jos ne saa purettua ehjänä. Lasitiilien purkaminen ja puhdistaminen vaativat varovaista käsittelyä. Puhdistamista helpottaa, jos laasti on ollut lujuudeltaan alhaista ja helposti irtoavaa.

2.6.2 Uusiokäyttö

Lasin uusiokäyttöön on useita vaihtoehtoja. Jätelasia voidaan käyttää uusiolasin, lasivillan tai vaahtolasin valmistukseen. Lasit irrotetaan puitteista rikkomalla usein jo työmaalla. Puitteet kierrätetään niiden materiaalille ominaiseen tapaan. Puupuitteet päätyvät jätetuksi ja yleensä poltettavaksi, kun taas alumiiniset metallipuitteet kierrätetään metallinkeräyksen kautta uuden alumiinin raaka-aineeksi. Itse ikkunalasit kerätään lasinkierrätyskeskuksiin, joissa lasit murskataan ja sulatetaan. Lasimurskeelle on useita uusiokäyttökohteita. Näistä lasivillan valmistusta käsiteltiin jo aiemmin kappaleessa 2.4.1.

Vaahtolasi on puhdistetusta kierrätyslasimurskasta valmistettua kevennys- tai eristysmateriaalia. Valmistuksessa kierrätyslasi murskataan ja puhdistetaan, jonka jälkeen puhdistettu lasirae jauhetaan hienoksi. Kierrätyslasi jauheeseen lisätään vaahtodusagentteja. Tämän jälkeen seos ajetaan 900 °C uunin läpi, jossa se turpoo vaahtolasiksi. Jäähdyessään vaahtolasi alkaa halkeilla ja saavuttaa murskemaisen muotonsa. Vaahtolasi on keveytensä ansiosta logistisesti houkutteleva vaihtoehto, sillä vaahtolasimurske painaa vain viidesosan kivimurskeeseen verrattuna. Keveyden ansiosta vaahtolasia voidaan toimittaa työmaalle yhdellä rekallisella jopa seitsemänkertainen määrä soraan verrattuna. Siten kuljetusten määrä ja niiden polttoaineenkulutus vähentyvät merkittävästi. Vaahtolasi on palamaton,

kestävä ja uudelleen käytettävissä oleva materiaali, eikä siitä liukene maaperään mitään haitallisia aineita. Vaahtolasi soveltuu talo- ja infrarakentamiseen lähes kaikkiin käyttökohteisiin alapohjista yläpohjiin ja piharakentamisesta tie- ja katurakenteisiin. Vaahtolasimurskeella on myös CE-merkintä. (Uusioaines Oy b)

2.7 Kipsilevyt

Kipsilevyt ovat kipsistä ja kartongista valmistettuja rakennuslevyjä. Kipsilevy on yleisrakennuslevy, jota käytetään lattioissa, seinissä ja sisäkatoissa. Kipsilevyn hyviä ominaisuuksia ovat helppo työstettävyys, ääneneristyskyky ja palonsuojaus. Kipsilevyseinistä saadaan oikein asennettuina helposti saumattomia. Levyn paloneristyskyky perustuu kipsiin sitoutuneen kideveden höyrystymiseen, mikä sitoo energiaa (Knauf 2017). Kipsilevyjä voidaan asentaa päällekkäin, jolloin seinän äänen- ja paloneristysominaisuudet paranevat.

Kipsilevyjen valmistusprosessissa käytetään pääraaka-aineena tuontikipsiä, joka toimitetaan usein Etelä-Euroopasta. Neitseellisen kipsin seassa raaka-aineena käytetään lisäksi työmailta palautuvaa puhdasta kipsilevyä, kuten leikkuuhävikkiä, sekä teollisuuskipsiä, jota syntyy voimalaitosten savukaasujen puhdistuksen sivutuotteena. Valmistuksessa kipsimassa pursotetaan kahden kartongin väliin ja puristetaan haluttuun paksuuteen. Kartonki valmistetaan jätekartongista ja puukuidusta. (Gyproc 2008)

2.7.1 Uudelleenkäyttö

Kipsilevyjä voidaan käyttää uudelleen, mikäli ne saadaan purettua ehjänä. Ehjänä purkaminen ei kuitenkaan lähes koskaan onnistu, sillä kipsilevy on hauras materiaali. Asennuksessa levyt ruuvataan runkoon 10–15 cm välein, ruuvien kannat kitataan ja pinta maalataan. Purkamisen yhteydessä tulisi siis ensin poistaa maali ja kitit ruuvien kannoista ja tämän jälkeen ruuvata kiinnikkeet yksitellen pois. Tähän ei kuitenkaan ole työmailloja resursseja ja purkaminen tapahtuukin usein ennemmin perinteisin menetelmin nopeasti purkuraudoilla sekä vasaroilla.

Kipsilevyjen kierrätyksen kannalta uusiokäyttö on usein ainoa käytännöllinen vaihtoehto, sillä uudelleenkäyttö on edellä mainittujen syiden vuoksi vaikeasti toteutettavaa, ellei mahdotonta.

2.7.2 Uusiokäyttö

Kipsilevyt on nykyisin teknisesti mahdollista kierrättää uusien kipsilevyjen valmistusmateriaaliksi lähes kokonaan. Kipsilevyjätteen keräysjärjestelmä ei kuitenkaan ole vielä riittävän tehokas ja kattava. Etenkin purkutyömailta voi olla taloudellisempaa sijoittaa kipsilevyjäte sekajätelavalle, jos kipsilevyä on vähän suhteessa muuhun jätteeseen. Puutteellisen keräysjärjestelmän vuoksi suuri osa kipsilevyjätteestä päätyykin kaatopaikoille tai polttoon. Kaatopaikoilla kipsilevyt aiheuttavat hajuhaittoja, jos kipsi pääsee reagoimaan biojätteen kanssa. Reaktiosta syntyy rikkivetyä, jotka aiheuttavat voimakkaita hajuja jo pieninäkin pitoisuuksina. Kipsijätettä poltettaessa syntyy pääasiassa tuhkaa, joten kipsi ei sovellu poltettavaksi energiajätteenä. (Mäki-Petäjä & Ekholm 2015)

Keräämällä kipsilevyjäte työmailta kootusti, jäte voidaan jauhaa uuden kipsilevyn raaka-aineeksi siirrettävällä jauhinkoneella, jonka Gypsum Recycling International on kehittänyt. Kipsilevyjätteen ei tarvitse olla täysin puhdasta, vaan pieniä epäpuhtauksia, kuten seinäpinnoitteita, maalia, tapetteja ja ruuveja, saa esiintyä. (Gypsum Recycling) Kipsilevyistä irtoava kartonki hyödynnetään energiajätteenä.

3. Rakentamisen uusiotuotteet

Vuonna 2013 voimaan tullen lain mukaan kaikilla rakennustuotteilla tulee olla CE-merkintä, jos tuotteelle on olemassa harmonisoitu tuotestandardi. Rakennustuotteita ovat kaikki kiinteäksi tarkoitettut tuotteet, kuten betonielementit tai rakennesahatavara. Lain tavoitteena oli saada rakennustuotteista vertailukelpoista ja luotettavaa tietoa sekä edistää rakennustuotteiden myyntiä kotimaisilla ja eurooppalaisilla markkinoilla.

CE-merkintä perustuu harmonisoituun tuotestandardiin (hEN) tai eurooppalaiseen tekniseen arviointiin (ETA). CE-merkintä on todistus siitä, että kyseisellä rakennustuotteella on laadunhallintajärjestelmä ja tuotteen ominaisuuksia on testattu. (Koivisto et al. 2016) Uusio- ja uudelleenkäytön kannalta CE-merkinnän saamisessa haasteeksi voi jossain tapauksissa muodostua tuotteen tasalaatuisuus, ja ilman CE-merkintää näitä tuotteita voi olla vaikea saada markkinoille.

3.1 Haasteet

Kuten jo aiemmin on todettu, purkumateriaaleja on vaikea saada tehokkaaseen hyötykäyttöön. Lisäksi uusiotuotteita kohtaan esiintyy yleisesti ennakkoluuloja. Uusiotuotteiden laatuun ei luoteta ja niiden valmistuksesta ajatellaan aiheutuvan terveysriskejä uusioainesta käsitteleville työntekijöille. Epäluulot rajoittavat uusiotuotteiden kysyntää, mikä puolestaan hidastaa uusien tuotteiden kehittämistä ja tarjontaa. (Euroopan komissio 2016) Ongelmaa kasvattaa neitseellisistä raaka-aineista valmistettujen tuotteiden hyvä saatavuus ja neitseellisten tuotteiden laadun tasaisuus.

Uusiomateriaalien käyttöä rajoittavat myös määräykset, sillä kuten muillakin rakennustuotteilla, myös uusiomateriaaleista valmistetuilla rakennustuotteilla tulee useimmiten olla CE-merkintä. CE-merkintä vaatii tuotteistamista, josta aiheutuu kustannuksia. Tuotteistaminen on kysynnän puutteen vuoksi usein kannattamatonta. Ongelmaan on osittain löydetty ratkaisuja etenkin maarakennustoiminnassa. Toisaalta CE-merkintää ei tarvitse tuotteilta, jotka eivät ole sarjavalmistaisia ja jotka tuotteen valmistaja asentaa itse tuotteet rakennuskohteeseen (Ympäristöministeriö 2011).

3.2 Markkinoilla olevia uusiomateriaalituotteita

Rakentamisen uusiomateriaalituotteita on toistaiseksi markkinoilla vain vähän, ja uusien tuotteiden kehittäminen olisi toivottavaa. Kaikilla alla esitetyillä tuotteilla ei ole CE-hyväksyntää tai niitä ei ole valmistettu täysin uusiomateriaalista, mutta niiden

valmistuksessa on pyritty vähähiilisyteen ja ympäristörasitusten minimoimiseen. Tätä selvitystä viimeisteltäessä on ilmestynyt tuore markkinakartoitus rakentamisen uusiomateriaaleista (Sederholm 2019), jonka luonnosversiota on hyödynnetty myös tässä työssä.

3.2.1 Betoniset uusiokiviainekset

Betonimurske kuuluu uusiokiviaineksena harmonisoidun tuotestandardin soveltamisalaan, jolloin sillä kuuluu olla CE-merkintä. Suomessa ainakin Deleten Delekivellä ja Ruduksen Betorocilla on CE-merkintä.

Betoroc-murske on Ruduksen valmistamaa betonimursketta, jota käytetään luonnon maa- ja kiviaineksen tapaan. Murskeesta saadaan erotettua seulomalla oikearakeista materiaalia haluttuun käyttötarkoitukseen. Käyttökohteiksi sopii useimmat kohteet, joihin luonnon kiviainestakin voi käyttää lukuun ottamatta I-II -luokan pohjavesialueita ja vedenalaisia rakenteita sekä maarakenteita, joissa vesi voi liuottaa hienoainesta betonimurskeesta. Lisäksi uusiokiviaineksen käyttöä koskee ilmoitusvelvollisuus ja kerrospaksuus tulee rajata 1,5 metriin. Betonimurskeen käyttö säästää luonnonkiviainesta ja joissain tapauksissa Betoroc-murskeen käytöllä saadaan aikaan kestävämpiä rakennekerroksia kuin luonnonkivimurskalla. (Rudus 2017)

3.2.2 Lasivilla ja muut eristeet

Lasivillan valmistuksessa käytetään keskimäärin 80 % kierrätyslasiä (Isover 2019). Isoverin (2019) lasivillatuotteilla ja Knaufin (2019) puhalluslasivillalla on harmonisoidun tuotestandardin mukainen CE-merkintä. Uusioraaka-aineesta huolimatta lasivillan valmistusprosessi on paljon energiaa kuluttava.

Suomen Selluvilla-Eriste Oy:n Ekovillalta löytyy CE-merkintä (Selluvilla 2019). Eristeiden uusio- ja uudelleenkäyttöön erikoistunut yritys Eko-Expert valmistaa eristeitä myös talo- ja elementtitehtaiden villojen leikkuutähteistä (Eko-Expert).

3.2.3 Teräs

Nykyisin teräksen valmistuksessa kierrätysteräs kattaa noin 30 % uuden teräksen tarpeesta. Loput 70 % valmistetaan rautamalmista. SSAB:n tehtaissa Suomessa ja Ruotsissa terästä valmistetaan pääasiassa rautamalmipohjaisesti. Käytössä olevalla valmistusmenetelmällä ei ole mahdollista valmistaa terästä siten, ettei valmistuksesta syntyisi hiilidioksidipäästöjä.

Teräksen valmistuksesta syntyvistä kaasuista ja hukkalämmöstä saadaan kuitenkin tuotettua sähköä ja kaukolämpöä. Lisäksi teräksen valmistuksessa syntyviä sivutuotevirtoja hyödynnetään tehokkaasti muualla teollisuudessa, esimerkiksi betonin valmistuksessa. (SSAB 2019)

SSAB:n Yhdysvaltain tehtaissa terästä valmistetaan yksinomaan kierrätysteräksestä. Prosessissa käytetään jonkin verran myös hiiltä ja maakaasua. Kierrätysteräs sulatetaan pääasiassa sähköllä, joka on pääsääntöisesti tuotettu tuulivoimalla. Kierrätysteräksen valmistuksessa hiilidioksidipäästöt jäävät alle kymmenesosaan verrattuna rautamalmipohjaiseen valmistustapaan. Ne ovat myös 66 % pienemmät verrattuna USA:n teräksentuotannon keskiarvoon vuonna 2014. (SSAB 2019)

SSAB, Vattenfall ja LKAB ovat kehittämässä täysin uutta teräksen valmistustapaa, jossa raudan pelkistämiseen käytetty hiili korvattaisiin vedyllä. Prosessin päästöinä syntyisi hiilidioksidin sijaan vesihöyryä. Menetelmää on tutkittu laboratorio-olosuhteissa, mutta teollisessa mittakaavassa siinä on vielä haasteita. Koelaitoksen on määrä aloittaa toimintansa vuonna 2025, ja uuden tuotantoprosessin pitäisi olla valmis vuoteen 2035 mennessä. Vedyn tuotanto vaatii kuitenkin paljon sähköä, joten tehtaat tulee sijoittaa maantieteellisesti siten, että puhdasta energiaa on saatavilla. Uusi tekniikka nostaa myös teräksen hintaa, mutta toisaalta päästöverotuksenkin on arveltu nousevan tulevaisuudessa. (Koistinen 2017)

3.2.4 Betonivalmisteet

Perinteisen betonin lisäksi on olemassa erilaisia betoniyhdisteitä, joissa joko sementtiä tai kiviainesta korvataan muilla tuotteilla. Betonin hiilijalanjälkeen voidaan vaikuttaa vähentämällä sementtiä tai korvaamalla sitä esimerkiksi lentotuhkalla. Myös osa kiviaineksesta voidaan korvata erilaisilla murskilla, kuten tiili-, lasi- tai betonimurskalla. Betonitehtaat eivät koskaan käytä luonnonkiviainesta korvaavia uusiokiviaineita ilman erillistä tilausta. Sementtiä sen sijaan saatetaan korvata ilman tilaustakin. Lisäksi voidaan valmistaa niin sanottua kevytbetonia, jossa kiviainesta on korvattu paisutetulla savirakeella. Näiden lisäksi on olemassa kuituhampun kuituja hyödyntävää hamppubetonia sekä betonia, joka on valmistettu geopolymeerejä hyödyntäen. Valmisbetonilta ei edellytetä CE-merkintää, mutta betonivalmisisilta, kuten elementeiltä, sitä vaaditaan.

4. Purkumateriaalien hyödyntäminen ulkomailla

4.1 Kehityshankkeet Euroopassa

Rakennussektori on yksi Euroopan suurimmista teollisuusaloista. Rakennukset vaativat käyttösähköä ja lämmitystä, mutta myös rakennusmateriaalit ovat energiaintensiivisiä. Rakennuksista aiheutuvat päästöt ovat yksi merkittävämpiä kasvihuonekaasujen aiheuttajia, ja Euroopan jätevirroista noin 30 % muodostuu rakennus- ja purkujätteistä. Näiden seikkojen vuoksi Euroopassa panostetaan kiertotalouteen. Kehittämällä tehokkaampia keinoja rakennussektorin materiaalitehokkuuteen, kiertotalouteen ja kierrätykseen voidaan vaikuttaa ympäristön kestävyteen ja hyvinvointiin. Euroopan Unioni (EU) on tärkeä elin, jonka päätöksenteossa määritellään reunaehdot kaikkien jäsenmaiden toiminnalle. EU:n direktiiveillä vaikutetaan maakohtaiseen lainsäädäntöön, jotta yhdessä asetetut tavoitteet saavutettaisiin.

EU:n rahoittamana on käynnissä useita samanaikaisia kehityshankkeita, joilla purkujätteen kierrätystä pyritään tehostamaan. Hankkeisiin osallistuu tutkimuslaitoksia useista jäsenmaista, jolloin huippuosaamista voidaan jakaa kärkimaiden kesken ja vähemmän edistyneet maat voivat omaksua niiltä toimivia toimintatapoja. Eräs kehityshankkeista on EU:n rakennus- ja purkujätteen käsittely- ja kierrätysmalli (Euroopan komissio 2016), jonka tavoitteena parantaa luottamusta rakennus- ja purkujätteen kierrätysprosessiin sekä uusiotuotteiden laatuun. Malli käyttää viisiportaista lähestymistapaa parantamaan jätteen syntypaikalla tapahtuvaa lajittelua, jätteiden logistiikkaa, uudelleenkäyttö-, kierrätys- ja talteenottoa, laadunhallintaa sekä poliittisia ja oikeudellisia puitteita. Viimeksi mainituilla pyritään ohjaamaan toimintaa kestäväan suuntaan erilaisten säädösten avulla sekä lähentämään kierrätystuotteita ja käyttäjiä. Malli kattaa maantieteellisesti 28 jäsenvaltiota sekä kaikki rakennus- ja purkujätteen käsittelyn osa-alueet jätteen syntymisen ehkäisyä lukuun ottamatta. (Euroopan komissio 2016)

Ympäristöstä huolehtiminen on vientituote, jolla pystytään vaikuttamaan ympäristön hyvinvointiin paikallisesti ja maailmanlaajuisesti. Euroopassa kehitettyjä toimintamalleja voidaan hyödyntää Euroopan ulkopuolella alhaisemman osaamistason maissa, joissa kiertotalous ei ole yhtä edistynyt kuin EU:ssa. Suurilla talousalueilla, kuten Kiinassa ja Yhdysvalloissa, syntyy suuria määriä rakennusjätteitä, joita pitäisi pystyä hyödyntämään mahdollisimman tehokkaasti.

Horisontti 2020 -ohjelma on EU:n kehittämisohjelma vuosille 2014–2020. Ohjelma tarjoaa rahoitusta kansainvälisille tutkimus- ja innovaatiohankkeille yhteensä noin 80 miljardia euroa. Tavoitteena on etsiä ratkaisuja suuriin yhteiskunnallisiin haasteisiin, tukea uusien innovaatioiden ja tekniikoiden kehittymistä sekä luoda Eurooppaan kasvua ja uusia työpaikkoja. (European commission)

Seuraavissa alaluvuissa esitellään merkittäviä Horisontti 2020 -ohjelman rahoittamia kehityshankkeita, jotka liittyvät rakennus- ja purkujätteen tehokkaampaan hyödyntämiseen. Hankkeiden teemat keskittyvät kiertotalouteen ja vähähiilisyteen sekä innovointiin ja nykyisten käytäntöjen tehostamiseen.

4.1.1 BAMB

Buildings As Material Banks (BAMB) -hankkeen tavoite on edistää kiertotalouden mukaista toimintaa rakennussektorilla. Lähtökohtana on, että taloudellisesti arvokkaat materiaalit päätyvät helpommin kierrätettäväksi ja vähäarvoisemmat taas jätteiksi. Hankkeen tavoitteena on kasvattaa nykyisellään vähäarvoisten materiaalien arvoa, jotta materiaalien kierrätyksestä tulisi tehokkaampaa. Tällöin rakennuksiin käytetyt materiaalit säilyttäisivät arvonsa paremmin ja rakennukset voisivat toimia uusiomateriaalien materiaalipankkeina. (BAMB 2019a)

Eräs hankkeessa kehitetyistä keinoista on materiaalipassi. Se on digitaalinen raportti, joka sisältää tiedon materiaalin kaikista ominaisuuksista elinkaaren aikana, esimerkiksi sen fyysisistä, kemiallisista ja biologisista ominaisuuksista materiaalin terveellisyyden, logistiikan, purkamisen sekä uudelleen- ja uusiokäytön näkökulmista. Eri materiaalien materiaalipassit voidaan keskittää verkkopohjaiselle alustalle, jolloin materiaalitieto on kenen tahansa saavutettavissa. Kattavan ja laadukkaan tiedon pohjalta ympäristö ja taloudellisuus on helpompi huomioida päätöksenteossa. (BAMB 2019b)

Hankkeessa kehitetään myös malleja reversiibelien (purettavissa olevien) rakennusten suunnitteluun. Suunnittelumallit käsittelevät esimerkiksi rakenteiden liitoksia, mutta myös kokonaisuuksien parempaa suunnittelua, jolloin rakennuksen muuntojoustavuus-, purettavuus- ja uudelleenkoottavuusominaisuudet paranevat. Esimerkiksi talotekniikka tulisi sijoittaa siten, että sen vaihtamiseksi rakenteita ja tilojen sisäpintoja jouduttaisiin purkamaan mahdollisimman vähän. Suunnittelulla pyritään siis mahdollisimman resurssitehokkaaseen rakennuksen huoltoon ja uudelleenkäyttöön. (BAMB 2019c)

4.1.2 HISER

Siinä missä BAMB-hanke käsittelee pääasiassa uusien rakennusten valmistuksen kehittämistä ja nykyisten rakennusten kunnostuksen innovatiivisempia ratkaisuja, Holistic Innovative Solutions for an Efficient Recycling and Recovery of Valuable Raw Materials from Complex Construction and Demolition Waste (HISER) -projekti keskittyy erityisesti rakennuksia, jotka ovat jo elinkaarensa päässä. HISERin tavoite on luoda uudenlaisia kokonaisvaltaisia ratkaisuja purkujätteen monimuotoisemmalle, kiertotalouden mukaiselle hyödyntämiselle. Tätä haastetta pyritään ratkaisemaan kehittämällä uusia teknologioita, joita on kirjoitushetkellä saatu luotua viisi erilaista. Näistä ensimmäinen on tietomallipohjainen älykäs purkaminen, joka mahdollistaa luotettavimmat laskelmat, materiaalmäärien paremman ennakkoinnin ja jäljitettävyyden sekä parhaan purkumenetelmän nopeamman arvioimisen. Lisäksi on luotu erilaisia sensoriperusteisia materiaalin tunnistusmenetelmiä, jotka helpottavat lajittelua. Kehitetty on myös kuivalajittelujärjestelmää (Advanced Dry Recovery, ADR), jonka avulla betonijätteestä voidaan erotella 4–12 mm partikkelikoot. (HISER 2017)

Kehitettyjen tekniikoiden avulla kiertotalousprosessia voidaan tehostaa. Tietomallipohjainen älykäs purkaminen helpottaa ja havainnollistaa purkamisen suunnittelua, jätemäärien ja laatuojen tarkempaa arviointia sekä jätelogistiikan parempaa suunnittelua. Lisäksi automatisoidut lajittelumenetelmät ja laadunarviointimenetelmä parantavat jätejakeiden puhtautta ja siten helpottavat uusiotuotteiden valmistusta.

4.1.3 RE4

Reuse and Recycling of CDW Materials and Structures in Energy Efficient Prefabricated Elements for Building Refurbishment and Construction (RE4) -hankkeen päätavoite on kehittää energiatehokas elementtivalmisteinen rakennuskonsepti, joka mahdollistaa helposti pystyttävät ja purettavat rakennukset. Tavoite on, että elementit tulisivat sisältämään 50–65 paino-% rakennus- ja purkujätteestä valmistettuja uusiomateriaaleja. Valmistustavan ennakkoidaan voivan säästää hiilidioksidipäästöjä yli 30 % ja vähentää energiankulutusta 20 % neitseellisistä materiaalista valmistamiseen verrattuna. Hankkeessa valmistetaan koerakennuksia erilaisiin sääolosuhteisiin. Rakennukset sijoitetaan Espanjaan ja Iso-Britanniaan. (RE4 2016)

Hankkeessa kehitetään myös uutta jätteenkäsittelyteknologiaa. Tähän lukeutuu mm. täysin automatisoitu järjestelmä rakennus- ja purkujätteen lajitteluun, jossa robotti lajittelee

kivet ja runkoaineet, tiilet, keraamiset jätteet, lasin, muovin ja puun, jonka jälkeen lajiteltu jäte seulotaan. Lajittelumekanismi perustuu infrapuna- ja lasersensoreihin, tunnistusalgoritmeihin ja robotiikkaan. Jätepartikkelin tunnistus perustuu kyseisen partikkelin spektrivasteeseen, partikkelien sijaintiin ja kokoon. Sensoreiden välittämä informaatio kootaan tunnistusalgoritmin avulla robottikäden käyttöön. Prototyypivaiheessa robottikäsi on pystynyt käsittelemään enimmillään 6 kg painavia partikkeleita. (Zerbi et al. 2017)

Tarkka ja tehokas jätteiden lajittelu on olennainen osa rakennus- ja purkujätteen hallintaa ja uusiokäyttömahdollisuuksien parantamista. Puhtaammin lajiteltu homogeeninen materiaalimassa on paremmin uusiokäytettävissä, kun epäpuhtaudet eivät pääse häiritsemään valmistusprosessia ja laadunvarmistusta.

4.1.4 COLLECTORS

Waste Collection Systems Assessed and Good Practices Identified (COLLECTORS) -hanke selvittää kolmen eri jätevirran tämänhetkisiä käsittelykäytäntöjä Euroopassa. Tavoitteena on kerätä yhteen olemassa olevaa tietoa paremman kokonaiskuvan luomiseksi kierrätysjärjestelmien tehokkuudesta. Tarkasteltavat jätevirrat ovat paperi- ja pakkausjäte, sähkö- ja elektroniikkaromu sekä rakennus- ja purkujäte. (COLLECTORS)

Hanke on vaiheistettu kolmeen vaiheeseen. Ensin kartoitetaan Euroopassa käytössä olevia käsittelymenetelmiä, joista valitaan 12 järjestelmää tarkempaan tarkasteluun. Toisessa vaiheessa arvioidaan menetelmien toimivuutta eri näkökulmista. Kolmannessa vaiheessa menetelmiä kehitetään ja luodaan ohjeistus hyviksi todettujen menetelmien laajempaan käyttöönnottoon. (COLLECTORS)

Olemassa olevan tiedon kerääminen on tärkeää. Tiedon kartoitus nostaa hyvät käytännöt tehokkaammin esiin päätöksentekoa varten. Menetelmien systemaattinen arviointi mahdollistaa niiden etujen ja heikkouksien tunnistamisen sekä näin ollen menetelmien jatkokehittämisen.

4.1.5 VECP

Cost-Effective Recycling of CDW in High Value Added Energy Efficient Prefabricated Concrete Components for Massive Retrofitting of our Built Environment (VECP) on pilotointihanke, joka kehittää monikerroksisia uusiobetonielementtejä ja kierrätyskeräystä. Tavoite on sisällyttää

elementteihin 75 paino-% rakennus- ja purkujätettä. Hankkeessa kehitetään sekä uutta teknologiaa että materiaaleja. (VEEP 2016)

Hankkeessa on saavutettu merkittävää edistystä uusiobetonin valmistustekniikassa. Kehittyneellä kuivalajittelulaitteella (Advanced Dry Recovery, ADR) pystytään murskaamaan betoni ja seulomaan se, kun jätteestä on ensin irrotettu muut materiaalit, kuten asbesti, lasi, metalli ja tiili. ADR tuottaa 60 % karkearakeista (4–12 mm) ja 40 % hienorakeista (0–4 mm) jaetta. Karkearakeista materiaalia pystytään hyödyntämään betonin valmistuksessa, mutta hienojaetta ei yleensä ole pystytty hyödyntämään maarakentamisen täyttöjä vaativammissa käyttökohteissa. Hienojae sisältää pääasiassa hiekkaa ja sementtiä. Uuden prosessin myötä hiekka ja sementti pystytään erottamaan hienojakeesta erilleen. Prosessi on englanninkieliseltä nimeltään Heating Air Classification System (HAS). Hienoaineksen erottelu mahdollistaa sementin ja hiekan hyödyntämisen erillisinä tuotteina, mikä nostaa uusioainesten arvoa. (Wassink 2017) HAS-järjestelmälle on valmistettu VEEP-hankkeessa koelaitos, joka kykenee käsittelemään 3000 kg hienoainesta tunnissa (VEEP 2016).

4.2 Purkumateriaalien hyödyntämisen tila Euroopan ulkopuolella

Tässä luvussa luodaan suppea katsaus kahden suuren teollisuusmaan, Yhdysvaltain ja Kiinan, rakennus- ja purkujätteenkäsittelyn nykytilaan ja arvioidaan sitä Suomen ja muun EU:n tilanteeseen verrattuna.

4.2.1 Yhdysvallat

Yhdysvaltojen ympäristönsuojeluvirasto EPA valvoo ja kehittää Yhdysvaltojen ympäristönsuojelulainsäädäntöä liittovaltion tasolla. Näihin säädöksiin kuuluu mm. Resource Conservation and Recovery Act (RCRA) -laki, jonka tarkoitus on luoda reunaehdot jätteiden käsittelylle. EPA on tilastoinut Yhdysvalloissa syntyviä jätteitä yli 30 vuoden ajan. Vuonna 2015 rakennus- ja purkujätettä syntyi 548 miljoonaa tonnia, josta 70 % oli betonia ja 15 % asfalttibetonia. Puujätettä oli noin 7 %. EPA:n tilastot kattavat ainoastaan rakennus- ja purkujätteiden määrät mutta eivät niiden jatkokäsittelyä. (EPA 2018)

Liittovaltion säädöksillä ja ohjelmilla on asetettu purkumateriaalien kierrätykselle EU:n jätepuitedirektiiviin rinnastuva ohjeistus, jonka mukaan 50-75% rakennus- ja purkujätteestä tulisi kierrättää. Osavaltiotasolla esiintyy lisäksi paikallisia säädöksiä. Esimerkiksi Illinoisissa Cook Countyn piirikunnassa otettiin käyttöön vuonna 2012 asetus, jonka mukaan 70 %

rakennus- ja purkujätteestä tulee kierrättää ja jätteestä vähintään 5 % asuinrakennusten purkumateriaaleista tulee käyttää uudelleen. (Zelechowski 2012)

Yhdysvaltojen Green Building Council on kehittänyt rakennusten LEED-ympäristösertifiointijärjestelmän. Saadakseen LEED-sertifikaatin rakennuksen tulee olla suunniteltu ja toteutettu riittävän ympäristöystävällisesti. Sertifikaatin pisteytyksessä on mahdollista saada pisteitä uudelleen- ja uusiokäytöstä. LEED-sertifiointi on käytössä ainakin Yhdysvalloissa ja Euroopassa. (USGBC 2019)

4.2.2 Kiina

Kiinassa 30–40 % kaikista jätteistä muodostuu rakennus- ja purkujätteistä. Jäte sijoitetaan yleensä kaatopaikoille, ja kierrätysaste on vain noin viisi prosenttia. Pääsyyksi jätteiden määrän vähentämisen epäonnistumiseen on arvioitu mm. rakennusmääräyksiä ja kaupunkisuunnittelua, jotka ovat ympäristönäkökulmasta puutteellisia eivätkä pyri vähentämään jätteiden syntyä, sekä alhaisia kaatopaikkamaksuja. Purkumateriaalien vähäinen uusiokäyttö johtunee myös puutteellisesta keräys- ja lajitteluosaamisesta, tehottomasta käsittelyjärjestelmästä ja kehittymättömistä kierrätystekniikoista, puutteista standardeissa sekä rakennus- ja purkujätettä koskevassa informaatiossa sekä uusiotuotteiden kehittymättömistä markkinoista. Ongelmaa ei Kiinassa täysin tiedosteta ja kiertotalous on käsitteenä täysin vieras osalle rakennussektorilla toimivista työntekijöistä sekä yrityksistä. (Huang et al. 2018)

Kiinan kehittyessä voimakkaasti myös rakennusjätteistä syntyvät ongelmat ovat kasvaneet. Kaupunkirakentamisesta syntyviä jätteitä kuljetetaan laittomasti maaseudulle. Kaatopaikoilla jätteet myös reagoivat keskenään ja niistä muodostuu haitallisia kaasuja. Pekingissä syntyi vuonna 2014 arviolta 40 miljoonaa tonnia rakennus- ja purkujätettä, joista 74 % päätyi suoraan kaatopaikoille ja ainoastaan 3 % käsiteltiin ja kierrätettiin. Pekingissä toimi samana vuonna vain kaksi yritystä, jotka käsittelevät jätteitä. Kierrätykseen kerätään lähinnä arvokkaimmat metallit. Shanghaissa kierrätysaste oli noin 20 % ja rakennus- ja purkujätettä syntyi vuonna 2014 noin 144 miljoonaa tonnia. Myös Shanghaissa toimi tuolloin vain kaksi jätteenkäsittelyyn erikoistunutta yritystä. (Huang et al. 2018)

5. Yhteenveto ja johtopäätökset

Rakennussektorilla vuosittain syntyvien jätteen määrä on Suomessa noin 2,5 miljoonaa tonnia. Tästä noin 50 % on betonijätettä, sekalaista jätettä noin 20 % ja puujätettä noin 15 %. Jättemäärät ovat suuria. Rakennus- ja purkujätteen uudelleen- ja uusiokäyttö eivät vielä ole tarpeeksi tehokkaita, jotta 70 % kierrätystavoite olisi näiden osalta mahdollista saavuttaa. Kehittämistä tarvittaisiin etenkin puujätteen hyötykäytön tehostamiseksi, vaikka puun energiahyötykäyttökin voi Suomessa olla perusteltua pitkien lämmityskausien vuoksi.

Betonijätteestä on kehitetty ja tuoteistettu uusiokiviaineksia maarakentamiseen, mutta rakenteiden uudelleenkäytön tehostamiselle olisi tarvetta. Elementtejä ei toistaiseksi juuri käytetä uudelleen. Myöskään uudisrakennusten suunnittelussa ei vielä huomioida riittävästi elinkaaren päättymistä ja kehitetä ratkaisuja, joiden avulla rakenteiden uudelleenkäyttö olisi helpompaa ja kustannustehokkaampaa.

Tiilien valmistus kuluttaa paljon energiaa, joten tiilimurskan käytön järkevyyttä maarakentamisessa on syytä tarkastella kriittisesti. Tiiliä tulisi pystyä hyödyntämään tavalla, jossa niiden valmistukseen sitoutunut energia olisi parhaassa mahdollisessa hyötykäytössä. Maarakentamiseen on olemassa tiilimurskaa resurssitehokkaampiakin materiaaleja. Tanskassa on kehitetty tiilien uudelleenkäyttöön ja kierrätykseen toimiva järjestelmä, jota kannattaisi hyödyntää myös Suomessa. Teräksen ja lasin kierrätys on Suomessa hyvällä tasolla, vaikka terästä voisi valmistaa täälläkin enemmän uusi-oraaka-aineista.

Tämän tutkimuksen tarkasteluajanjakso määriteltiin alkamaan vuodesta 2010, jolloin edellinen vastaava selvitys on tehty. Rakennus- ja purkumateriaalien kierrätyksen ja uudelleenkäytön voidaan todeta pääasiassa olevan edelleen vuoden 2010 tasolla. Useimpien materiaalien uudelleen- tai uusiokäyttö ei ole tehostunut. Muutamia uusia tekniikoita on kuitenkin syntynyt. Näistä lupaavimpana mainittakoon mineraalivilloista valmistettu geopolymeeri, joka voi korvata sementtiä betonin valmistuksessa. Myös kierrätyspuun hyödyntämistä erilaisten puumuovikomposiittien valmistuksessa ja puun käyttöä bioetanolin raaka-aineena on tarkasteltu.

Purkupuulla on sama potentiaali olla hyödyksi liikenteen päästöjen vähentämisessä kuin neitseellisellä puulla. Monista muista uusiutuvista energiantuotantomuodoista, kuten tuulesta, auringosta tai vedestä, on vaikeampi valjastaa energiaa liikenteeseen. Menetelmät vaativat sähkömoottoreita ja akkuja, ja erityisesti akkuteollisuus on ympäristöä kuormittavaa. Sähköautot eivät ole lähitulevaisuudessa yleistymässä riittävästi autojen korkean hinnan vuoksi, mutta nykyiset bensiiniautot voitaisiin valjastaa toimimaan bioetanolilla. Tämä

voisikin olla realistisempi kehityspolku liikenteen päästöjen vähentämiseen. Purkupuun mahdollisuudet biopolttoaineen valmistuksessa tulisi selvittää, mukaan lukien valmistuslaitokselle sopiva sijainti, laitoksen kustannukset, paljonko purkupuuta laitos vaatisi ja olisiko purkupuusta saatavissa riittävän suuria raaka-ainevirtoja kustannuksiin nähden.

Harmonisoidun tuotestandardin alaisuuteen kuuluvia CE-merkittyjä uusiomateriaalituotteita ei ole markkinoilla kuin muutamia. Esimerkkejä tällaisista tuotteista ovat lasivilla, betonipohjaiset uusiokiviainekset ja kipsilevy. Euroopan tasolla haasteena on, ettei kierrätysmateriaalien laatuun yleisesti luoteta riittävästi ja osittain pelätään materiaaleihin liittyvän myös terveyshaittoja. Uusiotuotteiden käytön lisääminen olisi kuitenkin yksi tapa edistää rakentamisen vähähiilisyyttä. Tutkitut ja hyväksi todetut uusiotuotteiden valmistusmenetelmät ovat myös potentiaalisia vientituotteita. Parhaimmillaan suomalaisilla innovaatioilla pystyttäisiin vaikuttamaan merkittävästi rakentamisen ympäristörasitukseen koko Euroopan talousalueella. Teknologioiden kehittymisen voidaan odottaa kasvattavan uusiotuotteiden tarjontaa. Samalla tulisi harkita rakentamisen tapaa laajemminkin. Muussa teollisuudessa mietitään jo esimerkiksi tehokkaita muoveja korvaavia ratkaisuja, minkä myötä mm. muovipakkauksista ollaan siirtymässä ympäristövaikutuksiltaan edullisempiin kartonkipakkauksiin. Tällainen kehitys on tarpeellista myös rakennussektorilla.

Eurooppalaisissa tutkimushankkeissa on kehitetty uusia teknologioita ja laitteita purkumateriaalien hyödyntämiseen. Niiden avulla aineet pystytään erottamaan toisistaan entistä tehokkaammin, jolloin saadaan aikaan aikaisempaa homogeenisempia ja puhtaampia materiaali-jakeita. Näin saadaan laadukkaampia uusioraaka-aineita, mikä edesauttaisi uusiomateriaalituotteiden tasalaatuisuutta.

Eurooppalaisten kehityshankkeiden tuottaman tiedon ja teknologioiden monipuolinen käyttöönotto edistäisi rakentamisen kiertotaloutta myös Suomessa. Älykkäiden purkusuunnitelmien luominen tietomallimenetelmällä, jätteiden tarkempi ja tehokkaampi lajittelu automatisoiduilla ja kehittyneillä järjestelmillä sekä informaation monipuolinen kerääminen ja tuottaminen luovat pohjan nykyaikaiselle kiertotaloudelle. Puhtaampien materiaali-jakeiden jatkojalostaminen uusiotuotteiksi Suomessa vaatii vielä kehittämistä, mutta lisääntyvä kiinnostus vähähiiliseen rakentamiseen luo markkinoita näille tuotteille ja siten edellytyksiä myös tuotekehitykselle.

Lähteet

- BAMB – Buildings as material banks, 2019 a, About BAMB, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 25.4.2019): <https://www.bamb2020.eu/about-bamb/>
- BAMB – Buildings as material banks, 2019 b, Material Passports, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 25.4.2019): <https://www.bamb2020.eu/topics/materials-passports/>
- BAMB – Buildings as material banks, 2019 c, Reversible building design, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 25.4.2019): <https://www.bamb2020.eu/topics/reversible-building-design/>
- Betoniteollisuus, 2019. Betonirakenteiden ekotehokkuus, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 8.2.2019): <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/ekologisuus/betonirakenteen-ekotehokkuus/>
- Biotalous, St1 tekee sahanpurusta liikenteen biopolttoainetta, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 22.2.2019): <https://www.biotalous.fi/st1-tekee-sahanpurusta-liikenteen-biopolttoainetta/>
- COLLECTORS, About Collectors, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 24.4.2019): <https://www.collectors2020.eu/the-project/about-collectors/>
- Dettenborn, T. 2013. Betonimurskerakenteiden pitkäaikaistoimivuus. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu. Rakennustekniikka, pohjarakennus ja maamekaniikka. Espoo. Saatavissa (viitattu 15.2.2019): <http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201802231594>
- EPA, Environmental Protection Agency, 2018. Advancing sustainable materials management: 2015 fact sheet. Saatavissa (viitattu 25.4.2019): https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-07/documents/2015_smm_msw_factsheet_07242018_fnl_508_002.pdf
- Euroopan komissio, 2016. EU:n rakennus- ja purkujätteen käsittely ja kierrätysmalli, PDF. Saatavissa (viitattu 18.4.2019): <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/31521/attachments/1/translations/fin/renditions/native>
- European commission, What is Horizon 2020?, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 24.4.2019): <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/what-horizon-2020>
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/98/EY rakennusten energiatehokkuudesta (2008). Euroopan unionin virallinen lehti, L153/13. Saatavissa (viitattu 22.3.2019): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/fin/TXT/?uri=celex%3A32008L0098>
- Eko-Expert Oy, Puhallusvillan valmistus, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 7.3.2019): <https://www.eko-expert.com/puhallusvillan-valmistus>
- Ekovilla Oy, Ekologinen, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 8.3.2019): <https://www.ekovilla.com/miksi-ekovilla/ekologinen/>
- FINLEX ® - Ajantasainen lainsäädäntö: Jätelaki 646/2011. Homepage of Oikeusministeriö, Edita Publishing Oy, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 21.2.2019): <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110646?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=j%C3%A4telaki#L2P8>
- Finnfoam Oy, Koostumus ja rakenne, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 8.3.2019): <https://www.finnfoam.fi/tuotteet/finnfoam-eristelevyt/koostumus-ja-rakenne/>
- Gamle Mursten, About Gamle Mursten, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 5.3.2019): <http://en.gamlemursten.dk/about-gamle-mursten/>
- Gyproc (2008). Pienrakentajan käsikirja, Verkkosivu. Saatavissa (viitattu: 15.3.2019): http://www.gyproc.fi/Download/21864/Gyproc_Pienrakentajan_K%C3%A4sikirja.pdf

- Gypsum Recycling, Kierrätettävä kipsijäte, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 15.3.2019): http://gypsumrecycling.fi/15966-1_Kierrattvjte/
- Haara, T. & Betoniyhdistys. 2018. Betonitekniiikan oppikirja 2018. Kuudes päivitetty painos. Helsinki.
- Hirvijoki, T. 2018, Mineraalivillajätteen geopolymerisointi, University of Oulu. Saatavissa (viitattu 15.2.2019): <http://urn.fi/URN:NBN:fi:oulu-201805091624>
- Huang, B., Wang, X., Kua, H., Geng, Y., Bleischwitz, R. & Ren, J. 2018, Construction and demolition waste management in China through the 3R principle, ScienceDirect. Saatavissa (viitattu 25.4.2019): <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.029>
- Huuhka, S. 2010, Kierrätys arkkitehtuurissa. Betonielementtien ja muiden rakennusosien uudelleenkäyttö uudisrakentamisessa & lähiöiden energiatehokkaassa korjaus- ja täydennysrakentamisessa, Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavissa (viitattu 8.2.2019): <http://urn.fi/URN:NBN:fi:tty-201004161101>
- Isover (2019). Kierrätyslasista eristeeksi, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 7.3.2019): <https://www.isover.fi/valitse-isover/hyva-ymparistolle/kierratyslasista-eristeeksi>
- Koistinen, T. (2017). Rautaruukin ostanut SSAB aikoo mullistaa vuosituhantisen tavan tuottaa terästä – Jättimäiset hiilipäästöt jopa nollaan. Yle uutiset. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 28.3.2019): <https://yle.fi/uutiset/3-9908906>
- Koivisto, K., Forsman, J. & Vaajasaari, K. 2016. UUMA 2, Uusiomateriaalien tuotteistamisohje maarakentamiseen. Saatavissa (viitattu 29.3.2019): http://www.uusiomaarakentaminen.fi/sites/default/files/Tuotteistamisohje%202016_05_20_0.pdf
- Kojo, R. & Lilja, R. 2011. Talonrakentamisen materiaalitehokkuuden edistäminen. Ympäristöministeriön raportteja. Saatavissa (viitattu 22.2.2019): <http://hdl.handle.net/10138/41495>
- Knauf Insulation (2015). Valitse oikea eriste palosuojaukseen, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 4.4.2019): <https://www.knaufinsulation.fi/news/valitse-oikea-eriste-palosuojaukseen>
- Knauf (2017). Materiaali ja palo – kipsi luonnollisena sprinklerinä, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 21.3.2019): <https://knauf.fi/suunnittelijoille/paloasiat/materiaali-ja-palo>
- Lahdensivu, J., Huuhka, S., Annila, P., Pikkuvirta, J., Köliö, A. & Pakkala, T. 2015, Betonielementtien uudelleenkäyttömahdollisuudet, Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Saatavissa (viitattu 14.2.2019): <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-15-3461-4>
- Manninen, K., Judl, J. & Myllymaa, T. 2015, Rakentamisen puujätteiden ja puupakkausjätteiden käsittelyvaihtoehtojen elinkaarenaikaiset ympäristövaikutukset, Ympäristöministeriö. Saatavissa (viitattu 23.2.2019): <http://hdl.handle.net/10138/159224>
- Myller, E. 2015. Sekalaisen puujätteen testaus erilaisten lopputuotteiden valmistuksessa, Ympäristöministeriö. Saatavissa (viitattu 22.2.2019): <http://hdl.handle.net/10138/158956>
- Mäki-Petäjä P. & Ekholm E. (2015). Kipsilevyille uusi kierrätysmenetelmä – keräysjärjestelmä puuttuu. MTV uutiset. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 15.3.2019): <https://www.mtvuutiset.fi/artikkeli/kipsilevyille-uusi-kierratysmenetelma-keraysjarjestelma-puuttuu/4819450#gs.4egdp2>
- Nieminen, A. 2015, Murskatun betonin hyödyntäminen uusiokiviaineksena betonissa; Use of crushed concrete as a recycled concrete aggregate. Saatavissa (viitattu 14.2.2019): <http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201512165726>

- Nippala, E. & Vainio, T. 2016. Asuinrakennusten korjaustarve 2006-2035, VTT, Espoo. Saatavissa (viitattu 22.2.2019): <https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2016/T274.pdf>
- Niskanen, T. & Karjalainen, T. 2014. Biopolttoaineiden tuotantomahdollisuudet Kainuussa, Oulun yliopisto. Saatavissa (viitattu 22.2.2019): https://www oulu.fi/sites/default/files/content/files/Biopolttoaineiden%20tuotantomahdollisuudet%20Kainuussa_Final_0.pdf
- Paroc, Paroc-kivivilla – luonnollisen kestävä eriste, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 7.3.2019): <https://www.paroc.fi/miksi-kivivilla>
- Peuranen, E. & Hakaste, H. 2014, Rakentamisen materiaalitehokkuuden edistämishjelma, Ympäristöministeriö. Saatavissa (viitattu 13.2.2019): <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/135172>
- Pilkington (2019). Mitä lasi on?, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 14.3.2019): <https://www.pilkington.com/fi-fi/fi/tietoa-yhtiosta/mita-lasi-on>
- Pirhonen, I., Heräjärvi, H., Saukkola, P., Rätty, T. & Verkasalo, E. 2011. Puutuotteiden kierrätys – Finnish Wood Research Oy:n osarahoittaman esiselvityshankkeen loppuraportti. Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 191. 66 s. ISBN 978-951-40-2284-5 (PDF). Saatavissa (viitattu 22.2.2019): <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2011/mwp191.htm>.
- Rautkoski, H., Vähä-Nissi, M., Kataja, K., Gestranus, M., Liukkonen, S., Määttänen, M., Liukkonen, J., Kouko, J. & Asikainen, S. 2015, Jätepuusta kuitumateriaalia uusille tuotteille (Puukuitu), VTT. Saatavissa (viitattu 22.2.2019): <https://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2014/VTT-R-06095-14.pdf>
- RE4, 2016, Project background and purpose, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 24.4.2019): <http://www.re4.eu/project-description>
- RIL 216-2013 (2013). Rakenteiden ja rakennusten elinkaaren hallinta. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.238s.
- RT 38096 (2011). Tiileri. RT CAD-kirjastot.
- RT 38406 (2013). Kahi-kalkkihiekkatiilet ja -harkot. RT CAD-kirjastot.
- Rudus, 2017. Betoroc -murskeohje: Käyttöohje rakentamiseen ja suunnitteluun. Saatavissa (viitattu 15.2.2019): <https://www.rudus.fi/tuotteet/kierratys/betonimurske>
- Salmenperä, H., Sahimaa, O., Kautto, P., Vahvelainen, S., Wahlström, M., Bachér, J., Dahlbo, H., Espo, J., Haavisto, T. & Laine-Ylijoki, J. 2016, "Kohdennetut keinot kierrätyksen kasvuun". Saatavissa (viitattu 15.2.2019): <https://tietokayttoon.fi/julkaisu?pubid=15201>
- Sederholm, C. 2019. Kiertotalouden rakennusmateriaalien markkinakatsaus 2019: Esimerkkejä rakentamisen uusiutuotteista ja -materiaaleista, Suomen ympäristökeskus. Saatavissa (viitattu 26.7.2019): https://www.hankintakeino.fi/sites/default/files/media/file/Kiertotalouden-rakennusmateriaalien-markkinakatsaus-2019_SYKE-Sederholm_0.pdf
- Selluvilla, Luonnollinen lämmöneriste. Saatavissa (viitattu 28.3.2019): <http://www.selluvilla.net/>
- SSAB, Teräksen tuotanto, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 14.3.2019): <https://www.ssab.fi/ssab-konserni/kestava-kehitys/kestavat-toiminnot/teraksen-tuotanto>
- USGBC, 2019. U.S. Green Building Council, LEED, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 25.4.2019): <https://new.usgbc.org/leed>
- Uusioaines Oy a, Tasolasin kierrätys, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 18.4.2019): <https://www.uusioaines.com/lasinkierratyspalvelut/tasolasin-kierratys/>

- Uusioaines Oy b, Foamit, Vaahtolasimurske – täyttää kevyesti, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 15.3.2019): <https://www.foamit.fi/yritys/video/>
- VEEP, 2016. Scope, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 24.4.2019): <http://www.veep-project.eu/Page.aspx?CAT=STANDARD&IdPage=6aca0a41-ca8b-49fd-b678-08ae93c96a13>
- Vuorinen, P., Energiatehokkuuden parantaminen vähentää päästöjä, Rakennusteollisuus, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 7.2.2019): <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Ilmasto-ja-energiapolitiikka/>
- Väntsi, O. 2015. Utilization of recycled mineral wool as a filler in wood plastic composites. Saatavissa (viitattu 22.3.2019): <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-265-856-2>
- Wassink, J. 2017. The last step in concrete recycling, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 24.4.2019): <https://www.delta.tudelft.nl/article/last-step-concrete-recycling>
- Ympäristöministeriö, 2011. Usein kysytyt kysymykset: CE-merkintä. PDF. Saatavissa (viitattu 18.4.2019): <http://www.ym.fi/download/noname/%7B67EEE500-ACBF-44E0-B286-053530B220C7%7D/32633>
- Zelechowski, E., 2012. Deconstruction and reuse. Saatavissa (viitattu 25.4.2019): https://delta-institute.org/delta/wp-content/uploads/DeconstructionAndReuseGoGuide2ndEd_Web.pdf
- Zerbi, T., Roberto, L., Raffaele, V., Konstantinos, G. & Soutsos, M., 2017, Indexing and sorting robot base on hyperspectral and reflectance information for CDW recycling. Hollanti, Delft University of Technology. Saatavissa (viitattu 25.4.2019): <http://www.re4.eu/documents/publications/scientific-publications>