

Laura Lukkarinen

RAKENNUSJÄTTEEN KIERRÄTYS JA LAJITTELUONGELMAT

TIIVISTELMÄ

Laura Lukkarinen: Rakennusjätteen kierrätys ja lajitteluongelmat. Construction waste recycling and sorting problems
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
1/2023

Rakennusjätteen kierrätys uudeksi raaka-aineeksi on entistä tärkeämpää luonnonvarojen hupe-
nemisen, ilmastonmuutoksen etenemisen ja rakennusmateriaalien hinnannousun vuoksi. Uudis-
tunut jäteasetus edellyttää entistä tarkempaa syntypaikkalajittelua jättejakeittain. Tässä kandidaa-
tintyössä käsitellään asetuksen määrittämien jättejakeiden hyödyntämistä Suomessa, ja mahdol-
lisia uusia kierrätysmenetelmiä. Työssä käsitellään myös jätteiden erilliskeräyksen aiheuttamia
ongelmia rakennustyömaaolosuhteissa. Päättökysymys on, kuinka työmaalla syntyviä jät-
teitä voidaan kierrättää. Työssä selvitetään myös seuraavat alatutkimuskysymykset: Millaiset ra-
kentamisen jätteet tulee kierrättää uudistuneen jäteasetuksen mukaan? Millaisia ongelmia jättei-
den kierrätykseen työmaalla liittyy? Millainen jätteiden hyödyntäminen nostaa työmaan kierräty-
sastetta? Tutkimus suoritetaan kirjallisuustutkimuksena.

Jäteasetus nimeää erilliskerättäviksi jätteiksi betonin, tiilen, kivennäislaatat ja keramiikan, asfaltin,
bitumin, kipsin, kyllästämättömän puun, metallin, lasin, muovin, paperin, kartongin, mineraalivil-
laeristeet, ja maa- ja kiviaineksen. Tavoitteen mukaan 70 % rakennus- ja purkujätteestä kierräte-
tään. Luku ei kuitenkaan sisällä louhintajätteitä ja vaarallisia jätteitä. Jäte on hyödynnettävä mah-
dollisimman korkealaatuisesti jatkokäyttöön. Jätteen polttaminen energiaksi ei nosta kierrätysas-
tetta.

Luvussa 3 on esitelty mahdollisia rakennusjätteen jatkokäyttökohteita. Osa menetelmistä on käy-
tössä Suomessa tai muualla maailmassa, mutta kaikkien menetelmien käytännön soveltamisesta
ei löydy tietoa. Useiden jättemateriaalien käyttöä on tutkittu sementin ja betonin valmistuksessa
korvaamaan muita raaka-aineita. Pitkäaikaisvaikutukset ja soveltuvuus Suomen olosuhteisiin tu-
lee kuitenkin ottaa huomioon, sillä betonirakenteiden käyttöiät ovat pitkiä. Toinen huomionarvoi-
nen asia on kokonaisympäristövaikutus, esimerkiksi jätteen kuljetusmatkojen vaikutus kierrätys-
materiaalin ympäristöhyötyihin.

Luku 4 käsittelee työmaatason ongelmia jätteiden erilliskeräyksessä. Rakennusprojektin tiukka
aikataulu, työmaiden tilanpuute, logistiikkaongelmat, tiedonkulku ja asenteet lajittelua kohtaan
vaikeuttavat tehokasta kierrätystä. Pehdytys lajittelun osalta on koettu puutteelliseksi, ja joskus
jätelajien, esimerkiksi erilaisten muovilaatujen erottaminen toisistaan on vaikeaa.

Avainsanat: Rakennusjäte, kierrätys, lajitteluongelmat

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	5
2. UUDISTUNEEN JÄTEASETUKSEN MÄÄRÄYKSET	7
3. ERILLISKERÄTTÄVÄT JÄTTEET JA NIID HYÖDYNTÄMINEN	9
3.1 Betoni, tiili, kivennäislaatat ja keramiikka	9
3.1.1 Betoni	9
3.1.2 Tiili	10
3.1.3 Kivennäislaatat ja keramiikka	11
3.2 Asfaltti	11
3.3 Bitumi ja kattuhuopa	12
3.4 Kipsi	12
3.5 Kyllästämätön puu	13
3.6 Metallit	14
3.7 Lasi	14
3.8 Muovi	15
3.9 Paperi ja kartonki	16
3.10 Mineraalivillaeristeet (lasivilla ja kivivilla)	17
3.11 Maa- ja kiviaines	18
4. KIERRÄTYKSEN ONGELMAT RAKENNUSTYÖMAALLA	19
4.1 Jätteen säilytysongelmat	19
4.2 Logistiikkaongelmat	20
4.3 Aikataulu	21
4.4 Tiedonkulku ja asenteet	22
5. YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT	23
LÄHTEET	24

TERMIT JA MÄÄRITELMÄT

Kiertotalous

Talouksmalli, jonka tarkoituksena on hyödyntää syntyvää jätettä mahdollisimman paljon uusien tuotteiden raaka-aineena. Kiertotaloudessa luonnonvaroja säästyy, koska kierrätysmateriaalilla korvataan osa neitseellisestä raaka-aineesta.

Uusiokäyttö

Uusiokäyttö tarkoittaa, että käytöstä poistettu materiaali hyödynnetään uuteen käyttöön. Esimerkiksi työmaalta ylijääneet kuormalavat voidaan sellaisenaan hyödyntää esimerkiksi työkaluhyllyjen materiaaliksi työmaan sisällä.

Lajitteluaste

Lajitteluaste kertoo, kuinka suuri osuus materiaaleista on lajiteltu omiin jäteastioihin. Sen sijaan lajitteluaste ei kerro, miten materiaali todellisuudessa hyödynnetään jäteastian tyhjennyksen jälkeen.

Kierrätysaste

Kierrätetyksi materiaaliksi lasketaan sellaisen lajiteltu materiaali, joka hyödynnetään uuden materiaalin valmistukseen. Kierrätystä ei ole muunlainen hyödyntäminen, kuten jätteen polttaminen energiantuottoon. Kierrätysaste kertoo, kuin suuri osa materiaalista on hyödynnetty jatkokäyttöön.

Hyötykäyttöaste

Jätteen hyötykäyttöaste kertoo, kuinka suuri osa jätteestä on hyödynnetty jollain tavalla. Hyötykäyttöksi lasketaan kierrätys uudeksi materiaaliksi, mutta myös jätteen polttaminen energiaksi on hyötykäyttöä.

(Lassila & Tikanoja, 2020)

1. JOHDANTO

Kiertotalous muodostuu koko ajan tärkeämmäksi ilmastonmuutoksen edetessä ja luonnonvarojen huetessa. Valtaosa rakentamisen päästöistä syntyy pitkän elinkaaren aikana rakennuksen käytössä (Rakennusteollisuus). Rakentamisvaiheen ja materiaalien osuus on noin 20 % elinkaaren aikaisista päästöistä (Rakennusteollisuus.) Osuus ei kuitenkaan ole merkityksetön, ja hyvällä materiaalien kierrätyksellä voidaan vähentää hiilipäästöjä ja luonnonvarojen tarpeetonta kulutusta. Kierrätysteknologioiden kehittyminen ja rakennusalan käytäntöjen muuttuminen mahdollistaa työmailla syntyneiden rakennusjätteiden jalostuksen uusioraaka-aineeksi.

Rakentamisen kokonaiskustannukset olivat elokuussa 2022 6,8 % korkeammat kuin vuotta aikaisemmin ja rakennusmateriaalien osuus hinnannoususta vieläkin korkeampi (Tilastokeskus, 2022). Koronapandemia on edesauttanut materiaalien saatavuusongelmia ja hinnannousua. Voimakas hintojen nousu vaikuttaa urakoiden kannattavuuteen ja työllisyyteen, sillä tarjoukset on laskettu tavanomaisten hintojen ja toimitusaikataulujen pohjalta (Anttonen, 2021). Aihe on ajankohtainen, koska arvokkaiden materiaalien mahdollisimman korkealaatuinen kierrätys uuteen käyttöön on tärkeää sekä ympäristön kannalta, että saatavuusongelmien ja hintojen nousun vuoksi. Lisäksi jätelakia täydentävä jäteasetus on asettanut uusia vaatimuksia jätteiden erilliskeräykselle.

Tämä kandidaatintyö käsittelee erilaisten työmaalla syntyvien rakennusjätteiden kierrätystä. Tavoitteena on selvittää, millä tavalla työmaalta lähtevä rakennusjäte kierrätetään Suomessa ja millaisia muita kierrätysmahdollisuuksia jätteelle on. Tutkimus käsittelee myös kierrätyksen käytännön ongelmia ja jäteasetuksen asettamia vaatimuksia. Aihe on rajattu koskemaan kerrostalojen uudisrakentamista pääasiassa Suomen olosuhteissa. Tutkimuksessa on kuitenkin hyödynnetty myös muualla tuotettua aineistoa, sillä kattavaa tutkimusta ei ole saatavilla Suomen olosuhteista.

Päätutkimuskysymys on, kuinka työmaalla syntyviä jätteitä voidaan kierrättää.

Päätutkimuskysymykseen liittyen selvitetään seuraavat alatutkimuskysymykset:

- Millaiset rakentamisen jätteet tulee kierrättää uudistuneen jäteasetuksen mukaan?
- Millaisia ongelmia jätteiden kierrätykseen työmaalla liittyy?

- Millainen jätteiden hyödyntäminen nostaa työmaan kierrätysastetta?

Tutkimus toteutetaan kirjallisuustutkimuksena. Tutkimuksessa käydään läpi jäteasetuksen nimeämät jätejakeet ja niiden mahdollinen jatkokäyttö. Kierrätyksen ongelmat on rajattu rakennustyömaalla esiintyviin, jätteiden keräyksen käytännön ongelmiin. Niitä on käyty läpi luvussa 4. Tutkimuksen lopussa on yhteenveto, jossa esitetään myös mahdollisia jatkotutkimuskohteita.

2. UUDISTUNEEN JÄTEASETUKSEN MÄÄRÄYKSET

Olemassa olevaa jätelakia täydentävä jäteasetus velvoittaa rakennushankkeeseen ryhtyvän suunnittelemaan ja toteuttamaan hankkeen siten, että rakentamisesta syntyy mahdollisimman vähän jätettä, ja että käyttökelpoiset rakennusmateriaalit voidaan kierrättää hyötykäyttöön. Asetukseen on kirjattu tavoitteeksi, että valtakunnallisesti rakennus- ja purkujätteestä päätyy uusiokäyttöön 70 painoprosenttia. Tähän 70 prosenttiin ei lasketa vaarallisia jätteitä tai louhintajätettä, vaan ne on kierrätettävä erikseen. Jatkokäyttöä energiana tai polttoaineena ei myöskään lasketa tavoiteltuun kierrätysasteeseen. (Valtioneuvoston asetus jätteistä, 2021)

Asetus sallii rakennus- ja purkujätteen hyödyntämisen maatäytöissä, mutta vain niiltä osin, joka on tarpeellista maan tasaukseen tai tarvittavan kantavuuden ja kestävyuden saavuttamiseen. Jätteiden on sovellettava teknisiltä ominaisuuksiltaan ja ympäristövaikutuksiltaan käyttötarkoitukseen. Orgaanisen aineksen määrän on esimerkiksi oltava riittävän pieni. (Valtioneuvoston asetus jätteistä, 2021)

Jäte hyödynnetään jatkokäyttöön etusijajärjestystä noudattaen. Etusijajärjestys tarkoittaa sitä, että ensisijaisesti jätteen syntymistä pyritään vähentämään, esimerkiksi hukkamateriaalia vähentämällä. Syntynyt jäte käytetään mahdollisuuksien mukaan uudelleen. Jos jäte ei sovellu uudelleen käytettäväksi, se kierrätetään uuden materiaalin valmistukseen. Kierrätyskelvottoman materiaalin voi polttaa energiaksi. Jos mikään muu toimenpide ei ole mahdollinen, jätteen saa vasta sitten hävittää kaatopaikalle. Järjestyksestä saa kuitenkin poiketa, jos jokin muu menetelmä on ympäristön kannalta parempi vaihtoehto. (Ympäristöministeriö)

Asetus määrittää tarkemmin jätejakeet, joille jätteen haltijan on järjestettävä erilliskeräys:

- ”1) betoni, tiili, kivennäislaatat ja keramiikka mahdollisuuksien mukaan lajiteltuina jätelajeittain;
- 2) asfaltti;
- 3) bitumi ja kattohuopa;
- 4) kipsi;
- 5) kyllästämätön puu;
- 6) metalli;

- 7) lasi;
- 8) muovi;
- 9) paperi ja kartonki;
- 10) mineraalivillaeriste;
- 11) maa- ja kiviaines.”

(Valtioneuvoston asetus jätteistä, 2021, 26 §)

Tämän kandidaatintyön luku 3 pohjautuu jäteasetuksen määrittelemiin jätejakeisiin. Työmaalla syntyy myös muunlaisia kierrätyskelpoisiajätteitä, mutta niiden käsittely on rajattu pois tästä työstä.

Asetuksen mukaan lisäksi kohtien 6–9 jätelajeille on järjestettävä erillinen keräys, jos tiettyä tarkemmin eriteltyä jätelajia muodostuu niin suuria määriä, että siitä on kierrätyksen kannalta olennaista hyötyä (Valtioneuvoston asetus jätteistä, 2021). Esimerkiksi, jos rakennustyömaalla syntyy huomattavia määriä kirkasta kalvomuovia, sille pitää tilata jätekuljetus kirkkaana kalvomuovina sen sijaan, että kaikki muovi kerättäisiin yhteen. Asetus ei määrittele tarkemmin, kuinka suuri tasalaatuinen jäte-erä on kierrätettävä erikseen.

Vaarallisen jätteen keräystä säädellään erikseen jätelaissa ja POP-jätteen (persistent organic pollutants) keräystä Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksessa (EU) 2019/1021 (Valtioneuvoston asetus jätteistä, 2021). POP-jätteet tarkoittavat myrkyllisiä, kauas kulkeutuvia yhdisteitä, jotka säilyvät pitkään ympäristössä (Tukes). Tämä tutkimus käsittelee jätteiden kierrätystä, joten vaaralliset jätteet ja POP-yhdisteet eivät sisälly käsiteltäviin asioihin.

3. ERILLISKERÄTTÄVÄT JÄTTEET JA NIID HYÖDYNTÄMINEN

3.1 Betoni, tiili, kivennäislaatat ja keramiikka

3.1.1 Betoni

Uudisrakennustyömaalla betonijätettä syntyy betonivalujen ylijäämäbetonista ja pienistä määristä jo kovettuneen betonin piikkaus- ja leikkausjätettä. Valusta ylijäänyt tuore betoni palautetaan toimittajalle, joka kierrättää betonin uudelleen käytettäväksi.

Tuore betoni on mahdollista hyödyntää uuden betonin valmistuksessa. Se erotellaan pesemällä kiviainekseksi ja lietteeksi, josta edelleen erotellaan kiintoaines. Prosessissa syntyy vettä, joka kierrätetään uuden betonin valmistukseen sellaisenaan tai puhtaaseen veteen sekoitettuna. Myös esimerkiksi kuljetussäiliöiden pesuvesi käy samaan tarkoitukseen. (Suomen betoniyhdistys ry, 2018, s. 150–153)

Prosessissa syntynyt betoniliete on mahdollista käyttää maanparannusaineena, jos lietteen kyky neutraloida maata on riittävä (10 % Ca). Erityisesti sahauksesta ja hionnasta syntynyt liete soveltuu maaperän happamuuden vähentämiseen. (Suomen betoniyhdistys ry, 2018, s. 150–153)

Betonimassasta erilleen pesty kiviaines voidaan käyttää luonnonkiviaineksen tapaan maanrakennukseen, kuten teiden rakentamiseen. Se soveltuu myös kierrätettäväksi uuden betonin kiviainekseksi. (Suomen betoniyhdistys, 2018, s. 150–153)

Myös jo kovettunut betoni on kierrätyskelpoista. Betoniaines murskataan ja siitä erotellaan tarvittaessa raudoitusteräket, jotka sulatetaan jatkokäyttöön. Jäljelle jäänyt betonimurske voidaan käyttää maanrakennuksessa, jossa sitä voidaan hyödyntää esimerkiksi teiden sitomattomissa kerroksissa, putkikaivannoissa, talonrakentamisen perustus- ja muissa täytöissä, sekä ympäristörakentamisessa. Betonimurskeen kantavuus on suurempi kuin neitseellisen kiviaineksen, jolloin sen käyttö on tehokkaampaa luonnonkiviainekseen verrattuna. (Suomen betoniyhdistys ry, 2018, s. 150–153)

Betonimurske voidaan myös käyttää uusiokiviaineksenä uuden betonin valmistukseen. Uuden betonin mekaaniset ominaisuudet eivät muutu merkittävästi, jos murskatulla betonilla korvataan korkeintaan 30 % kiviaineksesta. (Betonikeskus ry, 2005, s. 66) Jatko-

tutkimusta kuitenkin tulisi tehdä uusiobetonin pitkäaikaisominaisuuksista ja säilyvyysominaisuuksista Suomen olosuhteissa (Nieminen, 2015, s. 72), sillä betonirakenteiden käyttöajat ovat pitkiä. Suomen betoniyhdistys ry:n (2018, s. 150–153) mukaan puolestaan noin 20 % kiviaineksesta voidaan korvata murskatulla betonilla, jotta uuden betonin ominaisuudet säilyisivät lähes muuttumattomina.

Vuonna 2018 betonin kierrätysaste ylitti 80 % ja määrä on jatkuvasti kasvussa (Suomen betoniyhdistys ry, 2018, s. 150–153). Betoni on maailman käytetyin rakennusmateriaali, ja vuosittainen valmistus on noin 13 miljardia kuutiota (Suomen betoniyhdistys ry, 2018, s. 13). Sen kierrätyksellä on sen vuoksi suuri vaikutus, jotta neitseellisen kiviaineksen louhintaa voidaan vähentää.

3.1.2 Tiili

Suomen tiiliteollisuusliitto ry:n (2022) mukaan kierrätykseen menevät tiilet voidaan murskaamisen jälkeen hyödyntää uusien tiilien valmistuksessa, jossa tiilimurskeella voidaan korvata osa uuden tiilen hiekasta ja savesta. Tiiliä voidaan myös hyödyntää esimerkiksi maantäytössä ja tenniskenttien päällysmateriaaleissa. (Suomen tiiliteollisuusliitto ry, 2022). Murskattua tiiltä käytetään paljon Euroopassa teiden rakentamiseen, koska kierrätysmenetelmä on yksinkertainen ja materiaalin laadulle ei ole asetettu tiukkoja vaatimuksia (Fort ja Cerny, 2020). Menetelmän etu on siinä, ettei kierrätysmurskeen tuotto vaadi suurta prosessointia, mutta sen käyttö ei kuitenkaan merkittävästi vähennä hiilipäästöjä (Fort ja Cerny, 2020).

Fort ja Cerny (2020) vertasivat tiilen kierrätystä murskeeksi, sementin osittaista korvaamista tiilijauheella, ja sementin täydellistä korvaamista tiilijauheella emäsaktivaation jälkeen. Emäsaktivaatiossa jauhettu tiili käsitellään emäksellä, esimerkiksi natriumhydroksidilla. Menetelmä on hyödyllinen ympäristön kannalta, mutta sen haittana ovat negatiiviset vaikutukset ihmisten terveyteen. Kokonaisuudessaan hyödyllisin vaihtoehto on Fortin ja Cernyn (2020) mukaan sementin osittainen korvaaminen tiilijauheella, sillä ympäristöhyödyt ovat merkittävät ja haitat vähäisemmät kuin emäsaktivaatiossa. Menetelmistä sovelletaan käytännössä ainoastaan tiilen käyttöä kierrätysmurskeena. (Fort ja Cerny 2020)

3.1.3 Kivennäislaatat ja keramiikka

Keraamisia laattoja, esimerkiksi kaakelia, klinkkeriä ja porcellanatoa käytetään kylpyhuoneiden ja märkätilojen laatoitukseen. Ylijäämälaatat voidaan kierrättää sellaisenaan toiselle työmaalle. Jos kuitenkin ylijääneelle laattamallille ei ole välitöntä tarvetta toisella työmaalla, keraamista jätettä voidaan käyttää esimerkiksi tietöiden pohjana. (Laattapiste, 2021)

Mangi et al. (2022) käsittelevät artikkelissaan sementin ja betonin kiviaineen osittaista korvaamista keramiikkajätteellä. Tutkimusten mukaan sementistä voidaan korvata 20 % ja kiviaineksestä 30 % - 100 % keramiikkajätteellä (Mangi et al., 2022). Keramiikkamurskeen kulmikas muoto ja vedenimukyky kuitenkin heikentävät betonimassan työstettävyyttä, kun sillä korvataan betonin kiviainesta (Daniyal ja Ahmad, 2015, Mangi et al. (2022) mukaan). Myös sementin korvaaminen vaikutti negatiivisesti betonin juoksevuu-teen, kun materiaalia korvattiin lasitetuista laatoista saatavalla jätteellä (Kumar et al., 2019). Lisätutkimuksia tarvitaan esimerkiksi palonkestävyydestä, haponkestävyydestä ja taivutuskestävyydestä (Mangi et al., 2022).

3.2 Asfaltti

Asfalttia käytetään kerrostalotyömailla pihan ja parkkipaikkojen asfaltointiin. Uudisrakennustyömaan kierrätettäväksi jäävä jätemäärä on tyypillisesti pieni, jos asfalttiurakoitsija vie mahdollisen ylijäämäasfaltin mukanaan. Suurempia määriä asfalttijätettä voi syntyä työmaalla, jos päällystettä joudutaan purkamaan laajalta alueelta.

Pohjoismaiden tie- ja liikennefoorumin (2012) mukaan asfaltti on täysin kierrätettävä materiaali, ja sen kierrätys on lisääntynyt 70-luvulta lähtien. Menetelmien ja laitteiden kehittyminen on mahdollistanut suurien asfalttimäärien uudelleenkäytön. Suurin osa kierrätettävästi asfaltista käytetään suoraan uuden asfaltin valmistamiseen, mutta osa kierrätysasfaltista hyödynnetään rouheena tie- ja pohjarakentamiseen. Suositeltavaa kuitenkin on, että kierrätetty asfaltti hyödynnetään uuden asfaltin valmistukseen, jolloin materiaalin sisältämä bitumi saadaan hyödynnettyä paremmin. (Pohjoismaiden tie- ja liikennefoorumi 2012)

Miliutenko et al. (2013) totesivat, ettei asfaltin käyttö rouheena ole yleensä hyödyllistä ympäristön kannalta, sillä valitusta mittaustavasta riippuen hyöty oli joko pieni tai sillä oli kokonaisuudessaan negatiivinen ympäristövaikutus. Poikkeuksellisesti menetelmästä

voi olla hyötyä silloin, kun asfalttimurskeella korvataan rouheita, joilla on korkeat laatuvaatimukset, esimerkiksi routaherkillä teillä (Karlsson, 2002, Miliutenko 2013 et al. mukaan).

Asfaltin kierrätys uudeksi asfaltiksi sen sijaan on ympäristölle hyödyllistä (Miliutenko et al. 2013). Miliutenko et al. (2013) vertasivat keskenään paikallisesti ja ei-paikallisesti tapahtuvaa asfaltin kuumakierrätystä. Tutkimus käsitteli asfaltoituja teitä. Tutkimuksen mukaan paikan päällä tapahtuva kierrätys on ympäristön kannalta hyödyllisempää, ja kuljetusmatkojen kasvaessa menetelmän ero muihin menetelmiin kasvaa. Molempia kierrätysmenetelmiä kuitenkin tarvitaan, sillä menetelmän valintaan vaikuttavat esimerkiksi tien kunto ja matka (Miliutenko et al., 2013)

3.3 Bitumi ja kattohuopa

Työmailla bitumijätettä syntyy sokkelien ja läpivientien vedeneristyksen bitumikermijätteestä, ja kattohuopien hukkapaloista. Jonkin verran bitumijätettä voi lisäksi syntyä bitumipohjaisista, siveltävistä läpivientien tiivistysaineista. Kumibitumirouhetta on saanut tammikuusta 2021 käyttää uuden asfaltin raaka-aineena, ja suuri osa Suomen asfaltiasemista pystyy hyödyntämään bitumirouhetta valmistusprosesseissaan. (Katepal, 2021)

Filippelli et al. (2012) tutkivat kierrätetyn bitumin ominaisuuksia. Tutkimuksessa bitumi oli eristetty vanhasta asfaltista ja ominaisuuksia tutkittiin sellaisenaan, ja kahden lisäaineen lisäämisen jälkeen. Kierrätetty bitumi oli kovempaa kuin neitseellinen bitumi, ja vaati korkeamman lämpötilan pehmetäkseen. (Filippelli et al., 2012). Tutkimuksessa ei käsitelty kattohuovan kierrätystä uudeksi kattohuovaksi, mutta rajallisen näytön perusteella prosessi ei ehkä ole mahdollinen. Elastisuus on tärkeä ominaisuus vedeneristykseen, joten kierrätysbitumin ominaisuuksien muuttuminen saattaa altistaa rakenteen kosteusvaurioille.

3.4 Kipsi

Kipsijätteet on säilytettävä työmaalla erillään, puhtaana ja kuivana. Sadekosteus ja lumi ei haittaa (Saint-Gobain oy, 2022), mutta käytännössä varastointiajat työmaalla ovat usein niin pitkiä, että kannellinen jätelava kipsijätteelle on paras säilytysratkaisu pitkittyneen kastumisen välttämiseksi ja homehtumisen estämiseksi.

Gyproc-levyjen kipsistä noin viidennes on kierrätettyä (Saint-Gobain oy, 2020). Kierrätyskipsin osuus on mahdollista nostaa noin 30 % prosenttiin uusien levyjen valmistuksessa, mutta materiaalin saatavuus rajoittaa kierrätystä. (Eksman, 2020).

Erbs et al. (2018) tutkivat kierrätetyn kipsin ominaisuuksia viiden kierrätysyöskin jälkeen. Tutkittavina materiaaleina olivat teollinen kipsi, kipsilevyistä saatu kierrätyskipsi, ja seokset, joissa oli 75 %, 50 % ja 20 % kipsilevyistä saatavaa kierrätyskipsiä ja loput teollista kipsiä. Tuloksia verrattiin brasilialaisiin standardeihin, ja tutkimuksen mukaan kolmannen kierrätysyöskin saakka kipsin ominaisuudet säilyivät hyväksyttävänä. (Erbs et al., 2018)

Chandara et al. (2009) korvasivat sementin valmistuksessa käytetyn kipsin kierrätyskipsillä ja tutkivat kierrätyskipsin vaikutuksia sementin laatuun. Prosesseissa vaaditun veden määrä ei eronnut merkittävästi, mutta kierrätyskipsiä sisältävä sementti kovettui nopeammin. Erot puristus- ja taivutuslujuuksissa olivat pieniä. Tutkimuksessa käytetty kipsi oli kerätty keramiikkateollisuuden valumuoteista. Muita jätekipsin lähteitä, kuten kipsilevyjä käytettäessä täytyy ottaa huomioon materiaalin hemihydraattipitoisuus, koska sillä on suuri merkitys valmiin kipsin kovettumisajalle. (Chandara et al., 2009)

3.5 Kyllästämätön puu

Osa rakennustyömaalla syntyneestä puujätteestä voidaan suoraan hyödyntää työmaan sisällä. Esimerkiksi betonianturoiden valua varten tehdyt puiset muotit voidaan varovasti irrottamalla käyttää uuteen valuun, jos työmaalla on muita valettavia kohteita. Muotteja voidaan myös hyödyntää erilaisiksi tukepuiksi ja aukkosuojiksi, pieniksi työmaanaikeiksi varastohyllyiksi ja muuhun vastaavaan käyttöön.

Puiset kuormalavat on mahdollista hyödyntää etusijajärjestyksen mukaisessa, alkupe-raisessä käyttötarkoituksessa joko sellaisenaan, tai tarvittaessa korjauksen jälkeen (Lassila & Tikanoja 2022b). Hyvin moni rakennustyömaalle toimitettava materiaali toimitetaan pakattuna kuormalavojen päälle, joten kuormalavoja kertyy rakentamisen edetessä runsaasti työmaille. Lavojen varastointi on kuitenkin helppoa siisteihin pinoihin kasattuna, jolloin tilankäyttö saadaan minimoitua. Osa jäteyhtiöistä hakee työmailta käytettynä kuormalavoja, lajittelee ne käyttötarkoituksen mukaan, korjaa standardin mukaisesti ja toimittaa uusiokäyttöön (Lassila & Tikanoja 2022b).

Kierrätyspuujätteeseen käy puhdas, kyllästämätön puu, esimerkiksi laudanpätkät. Puun joukossa saa olla korkeintaan 10 % maalattua tai pinnoitettua puuta, vaneria tai lastulevyä. Nauloja ei tarvitse poistaa. Laatukriteerit täyttävä kierrätysmateriaali voidaan hyödyntää esimerkiksi lastulevyn valmistuksessa. (Lassila & Tikanoja, 2022a)

Kierrätykseen kelpaamaton puu voidaan hyödyntää energiantuotantoon. Kuitenkaan materiaalin polttaminen energiaksi ei nosta työmaan kierrätysastetta (Valtioneuvoston asetus jätteistä, 2021). Kiertotalouden kannalta puujätteen tarkka lajittelu on arvokasta, jotta mahdollisimman iso osa materiaalista pystytään hyödyntämään jatkokäytössä polttamisen sijaan.

Risse et al. (2019) vertasivat CaReWood-projektin ympäristövaikutuksia puujätteen polttamiseen. CaReWood-projektissa jätteeksi päätyneestä massiivipuusta valmistetaan liimapuuta. Tutkimuksen mukaan massiivipuun kierrätys liimapuutuotteiksi oli ympäristölle hyödyllistä, jos menetelmä ei perustu fossiilisiin polttoaineisiin. Kierrätysteknologian jatkokehitys on siksi suositeltavaa. (Risse et al. 2019)

3.6 Metallit

Rakentamisessa syntyy erilaisia metallijätteitä, esimerkiksi raudoitusteräksiä, alumiinia ja kuparia. Tämä osio on rajattu käsittelemään terästä.

Teräsrakenneyhdistyksen mukaan teräs on maailman kierrätetyin materiaali. Erityisen kannattavaksi teräksen kierrätyksen tekee se, että teräs voidaan sulattaa ja uudelleen käyttää useita kertoja laadun heikkenemättä. Kierrätysteräksellä voidaan korvata 20–40 % rautamalmista. Valokaariuuniprosessilla on myös mahdollista valmistaa 100 % kierrätettyä terästä. (Teräsrakenneyhdistys)

Kierrätysteräksen osuus EU:n terästuotannossa oli vuonna 2021 yli 56 % (BIR 2022). Kierrätysterästä ei kuitenkaan ole riittävästi saatavilla, jotta kaikki rakentamiseen käytetty teräs voitaisiin valmistaa kierrätysmateriaalista (Teräsrakenneyhdistys, Broadbent 2016). Teräksen sulatus uuden teräksen valmistukseen on etusijajärjestyksen mukainen käyttökohde, jolloin materiaali saadaan mahdollisemman tehokkaasti kiertoon. Tutkimuksessa ei selvinnyt vaihtoehtoisia käyttökohteita kierrätetylle teräkselle.

3.7 Lasi

Rakennustyömailla syntyy tasolasijätettä, eli esimerkiksi asennusvaiheessa tai kuljetuksessa rikki menneitä ikkunoita tai parvekelaseja. Sen lisäksi työmaan sosiaalituloissa voi syntyä pakkauslasijätettä elintarvikepakkauksista.

Suomen tasolasiyhdistyksen mukaan tasolasi on kierrätettävää, mutta vaatii erilliske-
räyksen lasilaaduittain. Kierrätettäviä laseja ovat esimerkiksi float-lasi, lämpökarkaistu turvalasi ja laminoitu lasi. Lähinnä tulenkestävä lasi ja lankalasi eivät sovellu kierrätyk-

seen. Suomessa kierrätetystä tasolasista valmistetaan vaahtolasia ja lasivillaa. Euroopassa kierrätystasolasista valmistetaan uutta tasolasia ja myös pakkauslasia. (Suomen tasolasiyhdistys ry)

Bristogiannin ja Oikonomopouloun (2022) mukaan lasinkierrätyksessä on merkittäviä ratkaisemattomia ongelmia. Pakkauslasi onnistutaan kierrättämään Euroopassa suljetulla kierrolla uudeksi pakkauslasiksi, mutta suuri osa muusta lasista päätyy joko kaatopaikalle, tai sitä ei kierrätetä laadukkaasti mahdollisimman alkuperäiseen käyttökohteeseen. Syitä vähäisen kierrätyksen taustalla ovat esimerkiksi kierrätyslasin keräämisen ja erottelun ja puhdistuksen vaatimat laitteistot, sillä eri lasimateriaalit eroavat toisistaan. Ohuet, kierrätyslasia sisältävät lasituotteet lisäksi ovat huonompilaatuisia. (Bristogianni ja Oikonomopoulou 2022)

Chen et al (2002) tutkivat kierrätyslasin vaikutusta sementin ominaisuuksiin. Tutkimukseen kerätty pakkauslasi murskattiin ja sillä korvattiin osa sementin muista raaka-aineista. Kierrätyslasia sisältävän sementin fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet eivät tutkimuksen muuttuneet merkittävästi, kun tuloksia verrattiin sementtiin ilman kierrätyslasia. (Chen et al. ,2002)

3.8 Muovi

Muovi tarkoittaa yleisnimitystä materiaaleille, joiden keskeisenä osana on suurikokoinen polymeeri, joka on muodostunut useiden pienempien molekyylien liittyessä yhteen verkkomaiseksi tai ketjumaiseksi rakenteeksi. Muovissa voi olla yhtä tai useampaa polymeerirakennetta, ja ne voivat olla synteettisiä tai luonnosta peräisin olevia. Polymeerin lisäksi muovi sisältää lisäaineita, kuten värejä, lujitteita ja pehmitteitä. (Muoviteollisuus ry.)

Muovi on paljon käytetty materiaali rakentamisessa. Erilaisia muoveja käytetään esimerkiksi viemäri- ja suojaputkissa, sähköjohdoissa, ikkunan ja ovien puitteissa, geotekstiileissä, lattiamateriaaleissa, eristeissä ja höyrysulkumateriaalina. Lisäksi monet rakennustyömaalle toimitetut materiaalit on pakattu kalvomuoviin.

Muovi voidaan kierrättää granuloimalla se pelleteiksi (Suomen uusiomuovi oy), joista se jalostetaan uusiksi muovituotteiksi. Yksi muovin kierrätyksen ongelmakohdista on rajalliset markkinat uusiomuoville (Suomen uusiomuovi oy). Uusiomuovista valmistetaan esimerkiksi erilaisia kulutustavaroita.

Suomen uusiomuovi oy:n mukaan granuloinnin sijaan muovi on mahdollista purkaa kemiallisesti takaisin monomeereiksi. Menetelmän etu on se, että monomeereista valmistetun muovin ominaisuudet ovat samat kuin neitseellisen muovin. Prosessi on kuitenkin

hyvin kallis, ja vaatii suuren määrän muovijätettä raaka-aineeksi. (Suomen uusiomuovi oy)

Hope-Well et al. (2009) nimeävät merkittäväksi muovin kierrätyksen ongelmaksi sen, että muovilaadut eivät välttämättä sovellu yhteen. Esimerkiksi PVC:n sulatuslämpötila on eri kuin PET-muovin. PVC:n sekaan joutunut pieni määrä PET-muovia jää kiinteiksi kokkareiksi muoviseokseen. Vaihtoehtoisesti PET-muovin sekaan joutunut PVC aiheuttaa vetyklooripäästöjä PET:in prosessointilämpötiloissa. (Hope-Well et al., 2009)

PVC-muovi ei sovellu poltettavaksi tai muun kierrätysmuovin sekaan. Näin ollen PVC-muovia ei tule myöskään rakennustyömaalla laittaa muun muovijätteen sekaan. Muovi-laadun tunnistaminen voi kuitenkin olla vaikeaa.

Lewandowski (2022) toteaa, että PVC on kierrätettävä materiaali, ja sen kierrätys kasvaa vuosi vuodelta. Euroopan komission (2000) raportin mukaan PVC:n kierrätys on Suomessa huomattavasti vähäisempää kuin muissa EU-maissa, sillä PVC:tä käytetään usein pitkäikäisiin rakenteisiin ja syntyvän PVC-jätteen määrä on pieni verrattuna muihin jätteisiin. (European Commission, 2000) PVC:n kierrätyksestä Suomessa ei ole juuri saatavilla kattavaa ja ajantasaista tietoa vuonna 2022. Kierrätys on mahdollista, mutta jäteyritykset tyypillisesti ohjeistavat laittamaan PVC:n sekajätteeseen.

Eskelinen et al. (2016, s. 32–33) esittävät kierrätysmuovin käyttöä geosynteettien valmistukseen maa- ja vesirakentamisessa. Geosynteettejä käytetään paljon rakentamisessa, ja koska tulevaisuudessa joudutaan rakentamaan yhä haastavammalle maaperälle, käyttömäärät luultavasti tulevat kasvamaan (Eskelinen et al., 2016, s.32–33). Kierrätysmuovi ei kuitenkaan sovellu vaativiin käyttökohteisiin (Eskelinen et al., 2016, s. 32–33) Esimerkiksi tiivistysrakenteissa käytettävät geomembraanit eivät standardien mukaan saa sisältää kierrätettyä muovia (Leppänen, 2015 Eskelinen et al., 2016, mukaan, s. 33)

3.9 Paperi ja kartonki

Työmaalla voi syntyä suuria määriä pahvijätettä, sillä monet rakennusmateriaalit toimitetaan työmaalle pahvipakkauksissa. Jonkin verran pahvia kertyy myös työmaatoimistolla ja sosiaalituloissa esimerkiksi elintarvikepakkauksista.

Kierrätysprosessissa kartonkikuidut irrotetaan pesemällä toisistaan ja mahdollisesta pinnoitteesta. Irrotettu pinnoite joko hyödynnetään energiana, tai kierrätetään edelleen. Kierrätysprosessissa syntynyt uuskartonkikuitu voidaan käyttää esimerkiksi pahvihylsyjen, aaltopahvin, kirjekuorien tai uusien kartonkipakkausten materiaaliksi. (HSY)

Arkkitehti Shigeru Ban on suunnitellut rakennuksia, joissa käytetään materiaalina hylsykartonkia, joka on käsitelty sään- ja palonkestäväksi (Open Architecture Network, Veijola, 2011, s. 125, mukaan). Hylsykartonkia ei synny rakennustyömaille suuria määriä, ja niiden jatkojalostaminen rakennuskäyttöön vaatisi materiaalin säilyttämistä puhtaana ja ehjänä. Menetelmä on tuskin sovellettavissa suomalaisten työmaiden hylsykartonki-jätteeseen, mutta on kiinnostava esimerkki materiaalin tehokkaasta kierrätyksestä jatkokäyttöön.

Erilaisista ei-salassa pidettävistä dokumenteista ja muistiinpanoista syntyy paperijätettä varsinkin työmaatoimistolla. Paperinkierrätyksessä keräyspaperista valmistetaan uutta paperia, esimerkiksi sanomalehtipaperia ja pehmopapereita (Pirkanmaan jätehuolto oy). Suomessa valmistetaan keräyspaperista myös kierrätyseristettä (Ekovilla, 2020).

3.10 Mineraalivillaeristeet (lasivilla ja kivivilla)

Lasivilla on jo itsessään kierrätystuote, sillä tyypillisesti se tehdään kierrätyslasista. Lasi murskataan, kuumennetaan tarvittavien lisäaineiden (esim. hiekan) kanssa, ja kuidutetaan lasivillaksi. Lasivillan valmistuksessa syntyvä leikkuujäte voidaan uudelleen käyttää uuden lasivillan valmistukseen. (Saint-Gobain oy, 2021)

Kierrätys alkuperäiseen käyttöön uudeksi mineraalivillaksi on onnistunut tyypillisestä lähinnä materiaaliteollisuuden ylijäämävillasta, sillä se vaatii jättevillan koostumuksen tuntemista (Müller et al., 2010, Väntsi ja Kärki, 2014 mukaan). Tarkka koostumus ei ole yleensä tiedossa rakennustyömailta saapuneista jäte-eristä (Väntsi ja Kärki, 2014). RE-WOOL- konseptin myötä kuitenkin myös työmaille syntyneet kivivillajäte on mahdollista hyödyntää puhallusvillaksi, asfaltin, tiilien tai sementin valmistuksessa (Paroc group oy, 2021).

Yksi mahdollisuus on korvata mineraalikuitua kierrätysmateriaalilla alakattolaattojen valmistuksessa (Dunster AM, 2007, Väntsi ja Kärki, 2014, mukaan). Valmiin tuotteen materiaaliominaisuudet kuitenkin vaihtelevat käytetyn kuidun mukaan, mikä täytyy ottaa huomioon, jos valmiille tuotteelle vaaditaan esimerkiksi tietty palonkesto tai akustiikkaominaisuudet (Dunster AM, 2007, Väntsi ja Kärki, 2014, mukaan). Bussell ja Mckennie (2004) mukaan kivivillaa käytetään myös keinotekoisena kasvien kasvualustana. Kuitenkaan, tutkimustietoa rakennusjätteenä syntyneen kivivillan käytöstä keinotekoisena kasvualustana ei ole löytynyt.

Kierrätetyssä mineraalivillassa voi esiintyä mikrobivaurioita, jos olosuhteet ovat mikrobin kasvulle suotuisat (Zhu et al., 2022). Selvityksessä käsiteltiin purkukohteen pelti-

villa-pelti-rakennetta, mutta mineraalivilla on huokoista materiaalia, joten mikrobivaurio-riski täytyy ottaa huomioon myös muussa kierrätysvillassa. Toinen mineraalivillan kierrätysongelma on materiaalin matala tiheys, mikä nostaa kuljetuskustannuksia (Kinnunen et al., 2016).

Mineraalivilla tarkoittaa sekä lasivillaa, että kivivillaa, ja niiden materiaaliominaisuudet ovat erilaisia. Tehokkaan ja onnistuneen kierrätyksen kannalta on tärkeää tietää, voidaanko molemmat hyödyntää sekalaisena mineraalivillana jatkokäytössä, jolloin kierrätys työmaalla on helpompaa. Jos kivivilla ja lasivilla kerätään työmailla erikseen, virheellisen lajittelun riski kasvaa.

3.11 Maa- ja kiviaines

Maa- ja kiviainesta syntyy rakennustyömaalla kallion louhinnasta ja perustusten kaivamisesta. Kierrätettäväksi soveltuu ainoastaan puhdas maa-aines, joka ei saa sisältää muita rakennusjätteitä. Kierrätettyä maata käytetään pääasiassa maisemointiin. (Rudus). Valtaosa rakennusteollisuuden tuottamasta jätteestä on ylijäämämaata (Suomen betoniyhdistys ry, 2018, s. 151).

Maa- ja kiviainesta ei lasketa mukaan 70 % kierrätystavoitteeseen. Se on silti kierrätettävä työmailla erillään muusta rakennusjätteestä. (Valtioneuvoston asetus jätteistä 2021)

4. KIERRÄTYKSEN ONGELMAT RAKENNUSTYÖ- MAALLA

4.1 Jätteen säilytysongelmat

Kerrostalo työmaat ovat usein ahtaita paikkoja työskennellä. Tontille täytyy mahtua rakennusaikana useita työntekijöiden ja työnjohtajien sosiaalitiloja, varastokontteja työkaluille ja muille tarvittaville välineille, kuten suojapeitteille, valokaapeille ja erilaisille kiinnikkeille. Lisäksi työmaan pihalla säilytetään pitkä- tai lyhytaikaisesti erilaisia paljon tilaa vieviä rakennustarvikkeita, kuten raudoitusteräksiä, sementtisäkkejä tai kipsilevynippuja. Oman tilansa vievät esimerkiksi vielä kesken olevat sokkelin viereiset maatäytöt, jolloin talon vierustaa ei päästä koko aikaa hyödyntämään. Lisäksi työmaalla liikkuu paljon raskaita ajoneuvoja, joille varataan työmaan aluesuunnitelmassa oma tilansa.

Jätehuollolle varattu tila voi olla hyvin pieni. Erilliskerättävien jätteiden määrä on suuri ja vaihtolavat kookkaita, jolloin niitä on vaikeaa mahduttaa tontille riittävän montaa. Suursäkit ovat vähän tilaa vieviä ja helposti siirrettäviä, mutta niiden käyttöön liittyy muita ongelmia. Säkkeihin on vaikeampaa merkitä selkeästi ja näkyvästi kerättävä jätelaji, ja avonaisina ne eivät sovellu kosteusherkille materiaaleille. Jos esimerkiksi kipsilevyä ja pahvia säilyttää avonaisissa astioissa työmaalla, ne vettyvät pilalle ja niistä tulee kierrätysmateriaalin sijaan pelkkiä kustannuksia (Tupala 2022).

Galitskova ja Mikhasek (2017) totesivat, että usein työmaiden jätelajittelu on puutteellista ja erilliskeräykselle ei ole osoitettu kunnollisia tiloja, jolloin jätteet usein varastoidaan yhteen sekajättekasaan. Tutkimus on tehty Samaran kaupungissa Venäjällä, jossa jätelainsäädäntö on eri, eikä tuloksia voida suoraan rinnastaa Suomeen. Tutkimusaineistoon oli kuitenkin valittu ainoastaan työmaita tiheästi asutetuilta alueilta, joissa tilat jätehuollon järjestämiselle ovat rajalliset. Vaikka tuloksia ei voida rinnastaa suoraan Suomen työmaille, puutteellisia tiloja kierrätykselle löytyy myös suomalaisilta työmailta. Se väistämättä vaikeuttaa materiaalien hyödyntämistä jatkokäytössä.

Viitanen (2022) on haastatellut suomalaisen rakennustyömaan työntekijöitä, työnjohtoa, ympäristöasiantuntijaa ja jäteurakoitsijaa työmaakierrätyksen ongelmista. Haastattelujen perusteella Viitanen toteaa, että tonttien ahtaus on yksi työmaiden kierrätyksestä vaikeuttava tekijä, sillä rakennusmateriaalit ja työkalut vievät tilaa tontilla. Suurta määrää jäte-

asioita ja -lavoja on vaikeaa saada mahtumaan tontille. (Viitanen 2022, s. 31) Myös ympäristöministeriön raportissa mainitaan tonttien ahtauden aiheuttamat ongelmat jätteiden lajittelussa (Kojo & Lilja 2011, s. 55).

4.2 Logistiikkaongelmat

Rakennustyömaan logistiset ongelmat voidaan jakaa jätteiden kuljetukseen työmaan sisällä oikeaan jäteastiaan ja jätteiden kuljetukseen työmaalta ulos jatkokäyttöön. Tämä työ on rajattu käsittelemään ensisijaisesti työmaan kierrätysongelmia. Tässä alaluvussa käsitellään silti jätelogistiikkaa työmaalta ulos, lähinnä kustannusten ja ajanhallinnan näkökulmasta, koska sillä on suora vaikutus työmaan kierrätykseen.

Kuljetusautojen reitit huolella suunnitteleamalla saavutetaan mahdollisimman alhainen kuljetuksen hinta, lyhimmät reitit tai lyhin aika (Chen ja Liao 2022). Rakennustyömaalla kuljetusten optimointi näkyy siten, että jätteenkuljetuspalvelua on mahdollista saada halvemmalla, sillä tehoton reititys näkyy suoraan korkeampina polttoaine- ja palkkakustannuksina. Myös kuljetuskalustoa tarvitaan enemmän, jos olemassa olevat ajoneuvot eivät ole tehokkaassa käytössä ja kysyntä on suurta.

Chen & Liao (2022) esittelivät artikkelissaan optimointimallin rakennus- ja purkujätteen kuljetukselle sitten, että kuljetuksen aikaikkuna oli yksi huomioon otettava asia. Tämän kandidaatintyön kannalta olennaisimmat artikkelin johtopäätökset ovat, että mitä tiukempi aikaikkuna kuljetuksille, sitä suuremmiksi kuljetuskustannukset kohoavat. Kustannukset kohoavat myös, jos jäteauton kapasiteetti ei ole optimaalinen ja reitti ajetaan liian suurella kalustolla, tai jos kaikki jätteet eivät mahdu kyytiin liian pienen kaluston vuoksi. (Chen ja Liao 2022)

Aikaikkunan lisääminen jäteautojen reititykseen tarkoittaa työmailla sitä, että kuljetuksen on saavuttava työmaan ollessa auki, ellei työmaalle ole vapaata kulkua ympäri vuorokauden ja jäteauton kuljettaja ota kuormaa kyytiin ilman työnjohdon kuittausta. Toivotusta aikaikkunasta myöhästyminen voi tarkoittaa myös sitä, että jäteauto ei saavu paikalle, kun kuljetusreitti on vapaana. Sen sijaan auto voi saapua silloin, kun reitti on tukossa elementtirekan tai betonipumppauksen vuoksi ja joko joutuu palaamaan toisena päivänä, odottamaan tai käynnissä oleva työvaihe on keskeytettävä ja tehtävä tilaa jätekuljetukselle. Kaikki vaihtoehdot aiheuttavat joko kustannuksia, kiirettä tai vaikeuttavat työmaan jätehuoltoa.

Vaikka Chenin ja Liaon (2022) artikkeli ei käsittele Suomen työmaita ja jätehuoltoa, tuloksia aikaikkunoiden vaikutuksista kustannuksiin voidaan soveltaa myös Suomessa.

Yksi keino vähentää aikaikkunoiden merkitystä on suunnitella työmaa siten, että jätepiisteet ovat helposti saavutettavissa, jolloin jäteautoilla on niihin pääsy koko työmaan aukiolon ajan. Se vähentää turhia jäteautojen käyntejä työmaalla ja säästää työnjohdon aikaa, kun kulkureittien vapaana oloa ei tarvitse varmistaa erikseen. Usein kuitenkin kerrostalotyömaat ovat ahtaita, eikä helposti tyhjennettävän jätepisteen suunnittelu ole aina mahdollista. Tontin ahtaus vaikeuttaa jätepiisteiden tyhjennystä (Viitanen 2022, s. 31).

Vaikka olisi mahdollista suunnitella helposti tyhjennettävä jätepiste, se voi vaikeuttaa työmaan sisäistä logistiikkaa, mikäli jätepiste on kaukana rakennettavasta talosta. Useat rakennusjätteet ovat painavia, ja ne täytyy saada kuljetettua syntypaikaltaan oikeaan keräysastiaan. Vaikeasti kuljetettavia jätelajeita ovat esimerkiksi painava teräsbetoni ja isokokoiset muottimateriaalit, jolloin jätepiisteiden sijoittelu liian kauas voi kohtuuttomasti lisätä jätahuoltoon kuluva aikaa, jos kuljetus on tehtävä käsin. Työmaan jätahuolto olisi suunniteltava niin, että etenkin vaikeasti kuljetettavien jätteiden keräysastiat sijaitsevat mahdollisimman lähellä talon seinustaa ja työmaahissilinjaa.

4.3 Aikataulu

Kierrätyksen suunnittelu ja toteutus työmaalla vie aikaa. Usein aikataulut ovat tiukkoja, ja kierrätyksen täytyy onnistua kaiken muun ohella (Viitanen 2022 s. 31). Vanhala (2010) mainitsee kiireen yhdeksi pääasialliseksi lajittelua vaikeuttavaksi ongelmaksi haastattelututkimusten perusteella. Jätteiden lajittelun koetaan vievän liikaa aikaa, sillä rakennusprojektin aikataulut ovat tiukkoja. (Vanhala 2010, s. 21) Kokkosen (2004) mukaan kiireellinen aikataulu vaikeuttaa materiaalien uudelleen käyttöä työmaalla, jolloin materiaali päättyy jätteeksi. Mikkela (2019, s. 5) toteaa, että kiire ei ole laadukkaan jätelajittelun este, mutta suunnitelmallisuus ja työvaiheissa syntyvien jätteiden ennakointi on kiireisillä työmailla tärkeää.

Osa materiaaleista ei lisäksi kelpaa kierrätettäväksi sellaisenaan: esimerkiksi betonianturoiden muoteissa voi olla sekä vaneria, että puhdasta puuta naulattuna yhteen. Iso määrä vaneria estää puhtaan puun kierrätyksen (Lassila & Tikanoja 2022a), mutta toisaalta muottimateriaalien irrottaminen ja tarkempi lajittelu on tehotonta ja kallista, eikä siten realistinen ratkaisu puun kierrätysasteen nostoon.

Reijonen et al. (2021) ovat tutkineet suomalaisten muovipakkausten kierrätykseen vaikuttavia tekijöitä. Tutkimuksessa todettiin, että mitä vaivattomampaa kierrättäminen on, sitä todennäköisemmin ihmiset kierrättivät, ja etäisyyksien kasvamisella on negatiivinen

vaikutus kierrätykseen. Vaikka tutkimus on kuluttajatutkimus, eikä siten kaikilta tuloksiltaan sovellettavissa rakennustyömailla, samankaltaisia tuloksia todennäköisesti saataisiin kiireisillä työmailla.

4.4 Tiedonkulku ja asenteet

Rakennustyömaalla on monenlaisia jätteitä ja niiden alajakeita: esimerkiksi kierrätettävä ja poltettava puu lajitellaan erikseen. Kokonaisuus ei ole helposti ja nopeasti omaksuttavissa, ja yksityiskohtaisia ja helppokäyttöisiä kierrätysohjeita on vaikea löytää. Jätteiden tunnistaminen, esimerkiksi PVC:n erottaminen muusta muovista, ei ole aina helppoa ilman erillistä perehtymistä (Suonpää ja Niemi, 2019, s 38).

Pelkkä jäteastioiden olemassaolo työmaalla ei takaa sitä, että astioita käytettäisiin. Kerrostalotyömaalla työskentelee tyypillisesti iso määrä ihmisiä kerralla, ja työntekijät joskus vaihtuvat kesken työmaan. Reaaliaikainen tiedottaminen esimerkiksi uusista erilliskeräysasioista kaikille työntekijöille on vaikeaa, jolloin astian tai suursäkin olemassaolo voi jäädä huomiotta, ja jäte päätyä sekalaiseen rakennusjätteeseen. Työmailla toimii tyypillisesti aliurakoitsijoita ja ulkomaalaisia työntekijöitä, mikä vaikeuttaa lajittelua (Vanhala, 2010, s. 21). Yhteistä kieltä työnjohdon ja työntekijöiden välillä ei välttämättä ole.

Myös työntekijän oma asenne ja kiinnostus kierrätykseen vaikuttaa toteutuneeseen kierrätysasteeseen. Toisinaan ohjeistus ei riitä, vaan jätteet heitetään lähimpänä olevaan sekajäteastiaan tai väärän jätelajikkeen astiaan. Suopään ja Niemen (2019, s. 40) haastattelututkimuksen mukaan lajittelua työmaalla pidettiin tärkeänä, mutta tarkan lajittelun kannattavuutta kyseenalaistettiin. Uusien ohjeistuksien omaksuminen vie aikaa. (Suonpää ja Niemi, 2019, s. 39).

Viitanen (2022, s. 35) nimeää asenteet merkittäväksi kierrätyksen ongelmaksi haastattelujen perusteella. Työntekijöillä ei aina esimerkiksi ole tiedossa, että laki vaatii lajittelua. Perehdytys on lajittelun osalta puutteellista, ja toimihenkilöt eivät riittävästi valvo lajittelun toteutumista, jolloin lajittelu on helppo jättää tekemättä. (Viitanen, 2022, s. 30–31)

Liu et al. (2019) ovat tutkineet kiinalaisten ja yhdysvaltalaisen rakennustyöntekijöiden suhtautumista kierrätykseen rakennustyömailla. Vaikka tutkimusdataa ei voida suoraan soveltaa Suomeen, kummassakin maassa työntekijöiden asenne kierrätykseen oli hyvä: kyselytutkimuksessa yhdysvaltalaiset työntekijät saivat pisteiksi keskimäärin 4.07 ja kiinalaiset 3.90, maksimipisteiden ollessa 5. Kuitenkin, kummassakin tutkimusjoukossa kategoria ”actual behavior”, työntekijän käytännön toimet saivat alemmat pisteet kuin asenteet. USA:ssa 3.88 ja Kiinassa 2.87. (Liu et al., 2019)

5. YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT

Jäteasetus määrittelee jätejakeet, jotka rakennustyömailla tulee erilliskerätä. Jätejakeiden kierrätyksestä Suomessa on saatavilla jonkin verran käytännön tietoa, pääosin alan yritysten ja yhdistysten tarjoamana. Kokonaiskuva esimerkiksi todellisista kierrätysmääristä jää kuitenkin suppeaksi. Lisää ajantasaista tutkimustietoa tarvitaan rakennusmateriaalien hyödyntämismahdollisuuksista ja todellisesta toteutuneesta kierrätyksestä.

Tutkimuksessa löydettiin osittainen vastaus päätutkimuskysymykseen. Luvussa 3 on esitelty mahdollisia tapoja kierrättää jäteasetuksen määrittämiä jätejakeita. Osa käyttötaivoista on käytössä Suomessa tai muualla, mutta kaikkia menetelmiä ei sovelleta tai soveltamisesta ei ole tietoa. Lisää tutkimustietoa tarvitaan siitä, millainen kierrättäminen on mahdollista ja tarkoituksenmukaista Suomen olosuhteissa, sillä suuri osa tässä työssä käytetyistä lähteistä ei käsittele kierrätystä Suomessa. Esimerkiksi erilaiset sääolosuhteet ja lainsäädäntö voivat vaikuttaa mahdollisten kierrätysratkaisujen soveltamiseen. Päätutkimuskysymyksen laajuus on yksi tutkimuksen rajoite, joten luvussa 3 on esitelty ainoastaan yleiskuvaus kierrätettävistä jätejakeista.

Tutkimusaineiston mukaan monenlaiset rakennusjätteet käyvät betonin tai sementin raaka-aineiksi, tai niitä on tutkittu siihen käyttöön. Kaikkien kierrätysmateriaalien pitkäaikaisvaikutukset betonin laatuun on kuitenkin tärkeää tutkia, sillä betonirakenteilla on tyypillisesti pitkät käyttöiät. Uusien kierrätysteknologioiden kehitys on tärkeää, jotta jätemateriaalit voidaan hyödyntää tehokkaasti mahdollisimman alkuperäisen kaltaiseen käyttöön ja siten säästää neitseellisiä raaka-aineita.

Kierrätyksen ongelmista suomalaisilla rakennustyömailla on toistaiseksi tehty vähän tutkimusta. Lukuun 4 on sovellettu opinnäytteinä tehtyjä haastattelututkimuksia ja lisäksi aiheeseen liittyviä, mutta ei suoraan sovellettavissa olevia lähteitä. Tutkimustietoa tarvitaan lisää kierrätyksen ongelmista suomalaisilla rakennustyömailla. Rakennustyömaiden kierrätysongelmien ratkaisu on myös hyvä jatkotutkimuskohde.

LÄHTEET

Anttonen, K. (2021). Rakennusmateriaalien hinta- ja saatavuusongelmat toimialan uhkana. Rakennusteollisuus. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 13.1.2023): <https://www.rt.fi/Ajankohtaista/Tiedotteet1/2021/rakennusmateriaalien-hinta-ja-saatavuusongelmat-hyvan-suhdanteen-uhkana/>

Betonikeskus ry. (2005). Betonin, betonilietteen ja veden kierrätys betonteollisuudessa. Helsinki: Suomen betonitieto.

Bristogianni, T. & Oikonomopoulou, F. (2022). Glass up-casting: a review on the current challenges in glass recycling and a novel approach for recycling ‘as-is’ glass waste into volumetric glass components. *Glass structures & engineering*. [Online]

Broadbent, C. (2016). Steel’s recyclability: demonstrating the benefits of recycling steel to achieve a circular economy. *The international journal of life cycle assessment*. [Online] 21 (11), 1658–1665.

Bussell, W. T. & Mckennie, S. (2004). Rockwool in horticulture, and its importance and sustainable use in New Zealand, *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 32:1, 29–37, DOI: 10.1080/01140671.2004.9514277. Saatavissa: <https://doi.org/10.1080/01140671.2004.9514277>

Bureau of international recycling (BIR) (2022). World steel recycling in figures 2017–2021 – BIR. 13 th edition. Saatavissa: <https://www.bir.org/publications/facts-figures>

Chandara, C. Azizli, K. A. M. Ahmad, Z.A. Sakai, E. (2009). Use of waste gypsum to replace natural gypsum as set retarders in portland cement. *Waste management (Elmsford)*. [Online] 29 (5), 1675–1679.

Chen, Q. & Liao, W. (2022). Collaborative routing optimization model for reverse logistics of construction and demolition waste from sustainable perspective. *International journal of environmental research and public health*. [Online] 19 (12), 7366–.

Chen, G. Lee, H. Young, K.L. Yue, P.L. Wong, A. Tao, T. Choi, K.K. (2002). Glass recycling in cement production—an innovative approach. *Waste management (Elmsford)*. [Online] 22 (7), 747–753.

Ekovilla. (2020). Ekovilla on ekolofinen ja turvallinen eriste. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 15.1.2023): <https://ekovilla.com/miksi-ekovilla/ekologinen/>

Eksman L.E. (2020). Kipsi kiertämään! Saint-Gobain Oy. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 19.10.2022): <https://www.saint-gobain.fi/tarinat/artikkelit/kipsi-kiertamaan>

Erbs, A., Nagalli, A., Querne de Carvalho, K., Mymrin, V., Passig, F.H., Mazer, W. (2018). Properties of recycled gypsum from gypsum plasterboards and commercial gypsum throughout recycling cycles. *Journal of cleaner production*. [Online] 1831314–1322.

- Eskelinen, H., Haavisto, T., Salmenperä, H., Dahlbo, H. (2016). Muovien kierrätyksen tilanne ja haasteet. Raportti. Suomen ympäristökeskus. Saatavissa (viitattu 3.11.2022): <https://www.syke.fi/hankkeet/arvi>
- European Commission. (2000) Mechanical Recycling of PVC Wastes. January, (2000). 142 p. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 15.1.2023): http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pvc/mech_recycle.pdf
- Filippelli, L., Gentile, L., Rossi, C.O., Ranieri, G.A., Antunes, F.E. (2012). Structural Change of Bitumen in the Recycling Process by Using Rheology and NMR. *Industrial & engineering chemistry research*. [Online] 51 (50), 16346–16353.
- Fort, J. & Cerny, R. (2020). Transition to circular economy in the construction industry: Environmental aspects of waste brick recycling scenarios. *Waste management (Elmsford)*. [Online] 118510–520.
- Galitskova, Y. & Mikhasek, A. (2017). 'Efficiency of construction waste recycling', in *MATEC Web of Conferences*. [Online]. 2017 Les Ulis: EDP Sciences. p. 55–.
- Hopewell, J., Dvorak, R. & Kosior, E. (2009). Plastics recycling: challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of Royal Society*. 364:2115–2126.
- HSY. Kartonki ja pahvi. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 19.19.2022): <https://www.hsy.fi/jatteet-ja-kierratys/lajittelu/kartonki-ja-pahvi/>
- Katepal (2021). Bitumikatteiden kierrätys asfaltiksi vauhtiin Suomessa – Katepalin kateet muuttuvat vihreiksi. Verkkosivu. Päivitetty 4.6.2021. Saatavissa (viitattu 5.11.2022): <https://katepal.fi/bitumikatteiden-kierratys-asfaltiksi-vauhtiin-suomessa-katepalin-kateet-muuttuvat-vihreiksi/>
- Kinnunen, P. Yliniemi, J. Talling, B. Illikainen, M. (2016). Rockwool waste in fly ash geopolymer composites. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. 19. 10.1007/s10163-016-0514-z. Saatavissa: <http://rdcu.be/ncgH>
- Kokkonen, E. (2004). Pk-yritysten mahdollisuudet rakennusjätteiden kierrätysliiketoiminnassa. Kauppa- ja teollisuusministeriö. Edita Publishing Oy. Helsinki.
- Kojo, R. & Lilja, R. (2011). Ympäristöministeriön raportteja 21/2011. Talonrakentamisen materiaalitehokkuuden edistäminen. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <http://hdl.handle.net/10138/41495>
- Kumar K.S, Priyanka Y, Bhargavi V (2019). Effect of vitrified polishwaste in concrete as partial replacement to cement. *Journal for Scientific Research & Development* 7(10):486–488
- Laattapiste (2021). Keraaminen laatta on monipuolinen pintamateriaali. Verkkosivu. Päivitetty 10.08.2021. Saatavissa (viitattu 3.11.2022): <https://www.laattapiste.fi/artikkelit/keraaminen-laatta-on-monipuolinen-pintamateriaali/>
- Lassila & Tikanoja (2020). Kiertotalouden termit tutuksi – miten kierrätysaste eroaa hyötykäyttöasteesta? Verkkosivu. Päivitetty 27.10.2020. Saatavissa (viitattu 3.11.2022): <https://lassikko.lt.fi/kiertotalouden-termit-tutuksi>

Lassila & Tikanoja (2022a). Kierrätyspuu. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 9.10.2022): <https://www.lt.fi/fi/yritysassiakkaat/palvelut/kierratyspalvelut-ja-jatehuolto/kierratysmateriaalit-ja-lajitteluohjeet/kierratyspuu>

Lassila & Tikanoja (2022b). Kuormalavapalvelut. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 9.10.2022): <https://www.lt.fi/fi/yritysassiakkaat/palvelut/kierratyspalvelut-ja-jatehuolto/kuormalavapalvelut>

Lewandowski, K. & Skorczewska, K. (2022). A Brief Review of Poly(Vinyl Chloride) (PVC) Recycling. *Polymers*. [Online] 14 (15), 3035–.

Liu, J., Gong, E., Wang, D., Lai, X., Zhu, J. (2019). Attitudes and behaviour towards construction waste minimisation: a comparative analysis between China and the USA. *Environmental science and pollution research international*. [Online] 26 (14), 13681–13690.

Mangi, S. A., Raza, M.S., Khahro, S.H., Qureshi, A.S., Kumar, R. (2022). Recycling of ceramic tiles waste and marble waste in sustainable production of concrete: a review. *Environmental science and pollution research international*. [Online] 29 (13), 18311–18332.

Mikkilä, M. (2019). Rakennusjätteiden syntypaikkalajittelun kehittäminen. Julkaisu. Circwaste. Suomen ympäristökeskus. Saatavissa: <https://www.materiaalikiertoon.fi/fi-FI/haku?n=32799&d=1&s=syntypaikkalajittelun>

Miliutenko, S., Björklund, A., Carlsson, A. (2013). Opportunities for environmentally improved asphalt recycling: the example of Sweden. *Journal of cleaner production*. [Online] 43156–165.

Muoviteollisuus ry. Muovin määrittely. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 3.11.2022): https://www.plastics.fi/fin/muovitieto/muovit/muovin_maarittely/

Nieminen, A. (2015). Murskatun betonin hyödyntäminen uusiokiviaineksena betonissa. Diplomityö. Aalto-yliopisto.

Paroc group oy. (2021). Ympyrä sulkeutuu – nyt myös purkuvillan voi kierrättää. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 15.1.2023): <https://www.paroc.fi/paroc-yrityksena/uutiset-ja-media/uutisarkisto/2021/ympyra-sulkeutuu>

Pirkanmaan jätehuolto oy. Paperi. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 13.1.2022): <https://pjhoy.fi/jatelaji/paperi/>

Pohjoismaiden tie- ja liikennefoorumi (2012). Uusioasfaltti. Esite. Infra ry.

Rakennusteollisuus. Rakennettu ympäristö ja ilmastonmuutos. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 9.10.2022): <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Materiaalitehokkuus/>

Reijonen, H., Bellman, S., Murphy, J., Kokkonen, H. (2021). Factors related to recycling plastic packaging in Finland's new waste management scheme. *Waste management (Elmsford)*. [Online] 13188–97.

Risse, M., Weber-Blaschke, G., Richter, K. (2019). Eco-efficiency analysis of recycling recovered solid wood from construction into laminated timber products. *The Science of the total environment*. [Online] 661107–119.

Rudus. Tuo ylijäämämaat, vie paluukuormassa kiviainekset työmaallesi. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 5.11.2022): <https://www.rudus.fi/tuotteet/kierratys/puhtaiden-maa-ainesten-vastaanotto>

Saint-Gobain (2022). Gyproc-levyjen kierrätys. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 30.11.2022) <https://www.gyproc.fi/gyproc-levyjen-kierratys>

Saint-Gobain Oy (2021.) Kierrätyslasista eristeeksi. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 9.10.2022): <https://www.isover.fi/artikkeli/ekologisuus-ja-kierratys#123>

Saint-Gobain Oy (2020). Kipsi kiertämään! Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 19.10.2022): <https://www.saint-gobain.fi/tarinat/artikkelit/kipsi-kiertamaan>

Suomen betoniyhdistys ry. (2018). *Betoniteknikan oppikirja*. BY-koulutus oy. Helsinki.

Suomen tasolasiyhdistys ry. Kierrätys. Verkkosivu. Saatavilla (viitattu 8.12.2022): <https://www.tasolasiyhdistys.fi/lasitietoa/kierratys/>

Suomen tiiliteollisuusliitto ry. (2022.) Ympäristöystävällinen tiili. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 5.11.2022): <https://www.tiili-info.fi/tiili-materiaalina/ymparistoystavallinen-tiili/>

Suomen uusiomuovi oy. Muovipakkaus kiertää. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 20.11.2022): <https://uusiomuovi.fi/pakkaus-kiertaa/muovien-kierratys/>

Suonpää, P. & Niemi, T. (2019). *Rakennustyömaan jätteiden lajittelun toteutuminen ja työntekijöiden suhtautuminen lajitteluun*. Opinnäytetyö. Karelia-ammattikorkeakoulu. Energia- ja ympäristötekniikan koulutus

Teräsrakenneyhdistys. Teräksen kierrätys. Verkkosivu. Saatavilla (viitattu 5.11.2022): <https://www.terasrakenneyhdistys.fi/fin/teras/co2-ja-kiertotalous/teraksen-kierratys/>

Tilastokeskus (2022). *Rakennuskustannusindeksi*. Verkkosivu. Saatavissa: <https://www.stat.fi/julkaisu/ckg29qrl40gmq01630mkfxvxx>

Tukes. Pysyvät orgaaniset yhdisteet. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 9.10.2022): <https://tukes.fi/kemikaalit/pysyvat-orgaaniset-yhdisteet-pop>

Tupala, T. (2022). *Rakennustyömaa on raaka-aineiden aarreaitta – lajittelu on rahanarvoista työtä*. YIT. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 1.11.2022): <https://www.yit.fi/yti-messa/lajittelu-on-rahamarvoista-tyota>

Vanhala, S. (2010). *Kaatopaikka- ja rakennusjätteen lavakuormien laatututkimus Kuujan jätekeskuksessa*. Opinnäytetyö. Lahden ammattikorkeakoulu. Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Veijola, P. (2011). *Kierrätysmateriaalinen käyttö rakentamisessa*. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennetun ympäristön tiedekunta.

Viitanen, J. (2022). Työmaan kierrätysasteen parantaminen ja ongelmakohtien kartoitus. Insinööriyö. Metropolia ammattikorkeakoulu.

VNa 978/2021. Valtioneuvoston asetus jätteistä 978/2021. Saatavissa (viitattu 1.12.2022): <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2021/20210978>

Väntsi, O. & Kärki, T. (2014). Mineral wool waste in Europe: a review of mineral wool waste quantity, quality, and current recycling methods. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. [Online] 16 (1), 62–72.

Ympäristöministeriö. Etusijajärjestys ohjaa jätehuoltoa. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 13.1.2023): <https://ym.fi/jatteet>

Zhu, Y. Lonka, H. Tähtinen, K. Anttonen, M. Isokääntä, P. Knuutila, A. Lahdensivu, J. Mahiout, S. Mäntylä, A-M. Raimovaara, M. Rantio, T. Santonen, T. Teittinen, T. (2022). Purkumateriaalien kelpoisuus eri käyttökohteisiin turvallisuuden ja terveellisyysnäkökulmasta. Valtioneuvosto. Selvitys- ja tutkimustoimikunta. Saatavissa: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/163832>