

**Uusiomateriaalit ja sivuvirtatuotteet pohjan-
vahvistushankkeissa – Toimitusketjun hallin-
nan näkökulmasta**

**Recycled materials and by-products
in Ground engineering projects – A
Supply Chain Perspective**

Kandidaatintyö

31.8.2021

Antti Maidell

TIIVISTELMÄ

Tekijä: Antti Maidell

Työn nimi: Uusiomateriaalit ja sivuvirtatuotteet pohjanvahvistushankkeissa – Toimitusketjun hallinnan näkökulmasta

Vuosi: 2021

Paikka: Helsinki

Kandidaatintyö. LUT-yliopisto, Tuotantotalous.

38 sivua, 2 kuvaa ja 2 liitettä

Tarkastaja: Annastiina Rintala

Hakusanat: Kiertotalous, Infrarakentaminen, Toimitusketjun hallinta

Keywords: Circular economy, Infrastructure construction, Supply chain management

Kiertotalouden merkitys rakennusalla kasvaa jatkuvasti. Toteutettavissa oleva kehitys-suunta kiertotalouden laajemmalle käyttöönololle on jätteiden ja sivuvirtatuotteiden uusiokäyttö. Suomessa jätteiden hyödyntäminen maarakentamisessa edellyttää kuitenkin ympäristölainsäädännön mukaisen ympäristöluvan, tai MARA-asetuksen mukaisen MARA-ilmoituksen. Lupamenettely on koettu epäselväksi ja resursseja vaativaksi prosessiksi.

Työ on tehty YIT Suomi Oy:lle tavoitteenaan helpottaa ja perustella uusiomateriaalien käyttöä tulevilla pohjarakennushankkeissa taloudellisesta näkökulmasta, sekä selkeyttää hyödyntämiseen vaaditun MARA-ilmoituksen tekoa. Työssä uusiomateriaalien käyttöä lähestytään kiertotalouden ja toimitusketjun hallinnan kannalta, johon on sidottu olennaisena yksityiskohtana MARA-ilmoituksen teon välivaiheet ja ilmoitukseen vaadittavat rakennushankekohtaiset tiedot.

Tutkimuksen perusteella näyttäisi, että kiertotaloudella on vahva potentiaali rakennusteollisuudessa ja toimitusketjun hallintamenetelmiin panostamalla uusiomateriaalien hyödyntämisellä voidaan saavuttaa selkeitä hyötyjä esimerkiksi alentuneiden materiaalikus-tannusten muodossa. Pilari- ja massastabiloinnin hiilidioksidipäästöjen laskemisen kan-nalta uusiomateriaalit ovat välttämättömyys.

SISÄLLYSLUETTELO

1	Johdanto.....	3
1.1	Tutkimuksen tavoite ja tutkimuskysymykset	3
1.2	Lyhyt kuvaus työhön liittyvistä maarakennusmenetelmistä.....	3
1.3	Työn tausta ja motivaatio.....	5
1.4	Tutkimusaineisto ja työn rakenne	6
2	Uusiomateriaalien ja sivuvirtatuotteiden rooli maarakennushankkeissa.....	7
2.1	Kiertotalous rakennusteollisuudessa.....	7
2.2	Maarakennushankkeisiin soveltuvat uusiomateriaalit ja sivuvirtatuotteet	10
2.3	Uusiomateriaalien käyttöön liittyvät päästö- ja kustannussäästöt	12
2.4	Uusiomateriaalien käyttöön liittyvän päätöstilanteen kuvaus	13
3	Toimitusketjun hallinta rakennusalalla.....	15
3.1	Rakennusalan toimitusketjun ominaispiirteet.....	15
3.2	Tehokkaan toimitusketjun luomisen haasteet.....	16
3.3	Ratkaisuja ja hyötyjä tehokkaan toimitusketjun kehitykselle.....	18
4	Uusiomateriaaleja ja sivuvirtatuotteita koskeva lainsäädäntö ja asetukset.....	20
4.1	Ympäristönsuojelu- ja jätelaki Suomessa	20
4.2	MARA-asetuksen tausta ja soveltamisala	20
4.3	Jätteen luokittelun päätyminen	21
4.4	MARA-ilmoituksen laatiminen	22
5	Johtopäätökset	24
	Lähteet.....	26
	Liitteet	1

1 JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tavoite ja tutkimuskysymykset

Työssä tarkastellaan uusiomateriaalien ja sivuvirtatuotteiden hyötykäyttöä rakennusteollisuudessa. Työn tavoitteena on selvittää uusiomateriaalien hyödyntämiseen vaaditun MARA-ilmoituksen tekoon liittyviä vaiheita sekä mahdollisia eroja uusiomateriaaleihin liittyvän vihreän toimitusketjun ja perinteisen rakentamisen toimitusketjun välisiä eroja. Työ on rajattu käsittelemään vaadittujen lupien osalta vain MARA-ilmoitusta. Työssä keskitytään erityisesti maarakennusmenetelminä käytettävään pilari- ja massastabilointiin, sekä näiden materiaaleina toimiviin uusiomateriaaleihin ja sivuvirtatuotteisiin.

Tutkimuksessa pyritään vastaamaan seuraavaan tutkimuskysymykseen:

Miten uusiomateriaalien hyödyntäminen eroaa neitseellisten materiaalien hyödyntämisestä rakentamisen toimitusketjussa?

1.2 Lyhyt kuvaus työhön liittyvistä maanrakennusmenetelmistä

Pilarisyvästabilointi on pohjanvahvistusmenetelmä, jonka tavoitteena on kasvattaa heikosti kantavan savisen tai liejuisen maaperän leikkauslujuutta ja/tai vähentää kokoonpuristuvuutta (Väylävirasto, 2018, 17). Kuvassa 1 on esitelty pilaristabilointiin käytettävää työkonetta, joka tuottaa maahan syntyä mahdollisimman homogeenisiä sylinterimäisiä pilareita vispilämäistä sekoitusterää käyttäen. Sekoitustyöhön käytetään yleensä 600–700 mm halkaisijaltaan olevaa sekoitusterää (Väylävirasto, 2018, 20).

Pääperiaatteena on sekoittaa maaperään kemiallisia seosaineita, jotka reagoivat maa-aineksen kanssa. Vahvistettavan savikerroksen lujittuminen perustuu ioninvaihtoon savimineraalin pinnalla, jonka seurauksena syntyy sidoksia sideaineen partikkeleiden ja savimineraalien välillä. Sideaineena pilaristabiloinnissa on yleisemmin käytetty kalkin ja sementin seosta, johtuen hyvistä teknisistä ominaisuuksista ja toimivuudesta myös humuspitoisissa savikerroksissa. (Väylävirasto, 2018, 17)



Kuva 1: Pilaristabilointikone

Massastabiloinnissa kantavana ajatuksena on käsitellä koko maa-aines tietyllä alueella tavoitetyvyyteen saakka siten, että kyseisen blokin maa-aines lujittuu mahdollisimman homogeenisesti. Sideaineena voidaan käyttää pilaristabiloinnin tapaan esimerkiksi kalkin ja sementin sekoitusta. Massastabiloidun kerroksen päälle pyritään mahdollisimman nopeasti rakentamaan tiivistyspengeri, jonka tavoitteena on tiivistää massastabiloinnin jäljiltä kuohkea maakerros ja täten varmistaa stabiloidun kerroksen lujittuminen. (Väylävirasto, 2018, 22) Massastabilointiin käytettävää laitteistoa on esitelty kuvassa 2, jossa etualalla on kaivinkoneeseen liitetty sekoituspää ja taka-alalla punaiset sideainesäiliöt.



Kuva 2: Massastabilointikone (YIT, 2021)

1.3 Työn tausta ja motivaatio

Suomessa rakentamiseen käytetään ylivoimaisesti eniten raaka-aineita (Koskela et al., 2013). Infrarakentamisessa luonnonvarojen käytön kannalta merkittävin vaikutus on maa- ja kiviainesten käytöllä, joita käytettiin vuonna 2016 Suomessa vuositasona noin 100 miljoonaa tonnia (Koivisto et al., 2016). Kokonaisuudessaan sementintuotannon päästöt ovat vuositasona noin 1 % Suomen kokonaishiilidioksidipäästöistä (Nguyen, 2021). Työssä käsiteltävän pilaristabiloinnin osuus neitseellisillä raaka-aineilla toteutettuna on lähes 90 % maarakennushankkeen kokonaishiilidioksidipäästöistä (Nguyen, 2021; Teittinen, 2019), tämän takia stabiloinnissa sideaineena käytettävän sementin korvaaminen esimerkiksi lentotuhkalla ja toteuttamalla sitomaton kerros betonimurskeella, saa aikaan merkittäviä päästövähennyksiä pohjarakentamisessa (Nguyen, 2021; Teittinen, 2019).

Euroopan unioni asetti 70 % kierrätystavoitteen rakennusjätteille vuoteen 2020 mennessä (European Commission, 2018) pitäen sisällään ei-vaarallisten rakennusjätteiden kaatopaikkasijoittamisen (Gorecki et al., 2019). Materiaalien sijoittaminen kaatopaikalle ei kuitenkaan ole pitkällä aikavälillä kannattavaa, koska materiaalien sisältämä arvo poistuu kansantaloudesta synnyttäen hukkaa (Gorecki et al., 2019). Materiaalihukan minimoimisen saavuttamiseksi

rakennusjätteiden, ylijäämämateriaalien ja sivuvirtatuotteiden osalta tulisikin siirtyä kohti kiertotalouden mukaisia liiketoimintamalleja, joiden avulla jo kertaalleen tuotettujen materiaalien arvo säilyy kansantaloudessa (Gorecki et al., 2019).

Uusiomateriaalien hyödyntäminen on kuitenkin Suomessa tarkkaan ympäristönsuojelulain (527/2014) ja jätelain (646/2011) säätelemää toimintaa ja tarvittavien toimintalupien hakeminen on koettu haasteelliseksi (Häkkinen, 2019). Voidaan katsoa, että uusiomateriaalit on tässä suhteessa asetettu neitseellisiä materiaaleja lainsäädännöllisesti heikompaan asemaan, jolloin niiden hyödyntäminen on vaikeampaa ja tulee perustella tarkemmin (Häkkinen, 2019). Tämän lisäksi lupahakemusprosessi on aikaa vievä ja vaatii rakennushankkeeseen osallistuvilta resursseja, mikä voi johtaa uusiomateriaalien sivuttamiseen materiaalivaihtoehtona (Simons et al., 2019). Työn pääasiallisena tarkoituksena on perehtyä MARA-asetuksen mukaiseen MARA-ilmoitukseen ja selvittää onko perusteltua käyttää resursseja hakemusprosessiin ja uusien toimintatapojen kehitykseen.

1.4 Tutkimusaineisto ja työn rakenne

Tämä tutkimus toteutetaan kirjallisuuskatsauksena, jossa pyritään perehtymään, koostamaan ja esittelemään aiempaa tutkimusta (Salminen, 2011), joka koskee kiertotaloutta rakennusteollisuudessa, uusiomateriaalien ja sivuvirtatuotteiden hyödyntämistä tai uusiomateriaaleihin liittyvää toimitusketjua rakennusteollisuudessa. Työssä käytetyt tietolähteet on haettu suomalaisten yliopistojen julkaisutietokannoista ja esimerkiksi Elsevier:n tiedejulkaisuarkistosta.

Työn aiheen käsittely alkaa kiertotaloudesta ja sen erityispiirteistä rakennusteollisuudessa. Kiertotalouden käsittelyn tavoitteena johdatella tutkimusaiheen laajempaan teoreettiseen viitekehykseen. Siirtymä maarakennushankkeissa hyödynnettäviin uusiomateriaaleihin tapahtuu suoraan kiertotalouden esittelyn jälkeen, koska tällöin uusiomateriaalien käytön kytkös kiertotalouteen on selkeämpi. 2. luvun lopuksi käsitellään vielä uusiomateriaalien käyttöön liittyvää päätöksentekotilannetta, eli on pyritty havainnollistamaan valintaa lineaaristen tuotantomallien ja kiertotalouden mukaisten mallien kehityksen välillä. Uusiomateriaalien, kiertotalouden ja valintatilanteen esittelyn jälkeen luodaan katsaus perinteisestä rakentamisen toimitusketjun hallinnan mallista, jonka jälkeen esitellään uusiomateriaalien hyödyntämiseen vaaditun MARA-ilmoituksen ominaisuuksia.

2 UUSIOMATERIAALIEN JA SIVUVIRTATUOTTEIDEN ROOLI MAARAKENNUSHANKKEISSA

2.1 Kiertotalous rakennusteollisuudessa

Kiertotalouden tavoitteena on perustaa taloudellinen kasvu uusiutuvien energialähteiden, energian käytön ja resurssien minimoinnin, vaarallisten kemikaalien käytön poistamisen ja jätteiden, sekä sivuvirtatuotteiden maksimaalisen hyödyntämisen varaan hidastamalla, sulkeamalla ja kaventamalla materiaalien ja energian kiertoa, mikä voidaan saavuttaa suunnittelemalla pitkäikäisiä, ylläpidettäviä ja uusiokäytettäviä tuotteita (Gorecki et al., 2019; Manninen et al., 2018). Rakennusteollisuudessa on erityisen suuri potentiaali kiertotalouden periaatteiden käyttöönotolle, jotka pitävät sisällään myös ympäristöystävälliset tuotanto- ja materiaali-tekniikat (Leppänen, 2020). Suuri potentiaali johtuu kiertotalouden ominaisuudesta ottaa huomioon sekä toimitusketjun ylä-, että alapään tuotanto- ja kulutusmallit, mikä osaltaan kasvattaa resurssien käytön joustavuutta ja kestävyyttä (Awan et al., 2020).

Käytännönläheisemmin ilmaistuna hukan minimoiminen sekä jätteiden ja sivuvirtatuotteiden hyödyntäminen muista rakennus- ja purkuhankkeista tai toisista tuotantoprosesseista tehostaa energian käyttöä, alentaa yleisiä rakentamiskustannuksia ja varmistaa, että materiaaleihin varastoitunut arvo säilyy prosessissa (Luis et al., 2020; Lukman et al., 2019). Kuitenkin esimerkiksi betonimurskeen kohdalla säästyneet kustannukset ja pienentyneet päästöt pitävät paikkansa jos ja vain jos betonimurskeen tuotanto on tarpeeksi lähellä hyödyntämiskohdetta (Häkkinen, 2019). Toisaalta esimerkiksi Kuninkaantammen pilaristabiloinnissa havaittiin, että pilaristabiloinnissa käytettävän sideaineen kuljetus ja itse pilaristabilointityön päästöt ovat vähäiset verrattuna neitseellisistä raaka-aineista valmistettuun sideaineeseen, eli hyödyntämällä uusiomateriaaleja sisältäviä sideaineseoksia, saadaan aikaan merkittäviä etuja alentamalla päästöjä CO₂-ekvivalenttitonneissa mitattuna (Nguyen, 2021).

Uusiomateriaalien täysivaltaiselle hyödyntämiselle näyttäisi kuitenkin olevan esteenä sekä Suomessa, että maailmalla kysynnän puute, joka voi osittain johtua loppukäyttäjien epäluuloisuudesta uusiomateriaalin teknistä toimivuutta kohtaan ja neitseellisten materiaalien korkeammasta suosiosta (Heikura, 2019; Ranta et al., 2018). Epäluuloisuuden merkittävimmäksi tekijäksi voidaan tunnistaa puutteet uusiomateriaalien laadunvarmistavissa standardeissa (Luis et al., 2020). Erityisesti kehityksen esteenä vaikuttaisi tällä hetkellä olevan instituutionaaliset

toimijat, joita ohjaa korkean tason EU-direktiivit, jotka eivät kuitenkaan tarjoa yksityiskohtaisia keinoja kiertotalouden laajemmalle implementaatiolle, kuten materiaalien uusiokäytölle (Ranta et al., 2018). Toisaalta myös tehoton purkutoiminta, jätteiden lajittelu ja kuljetus vaikeuttavat uusiomateriaalien hyödyntämistä (Mahpour, 2018). Lisäksi rakennus- ja purkujätteidensä kohdalla nousee esiin ongelma materiaalien omistusoikeudesta, eli kenelle materiaalien kierrätyksestä syntyneet tuotot ja toisaalta erityyppiset riskit kohdistetaan (Mahpour, 2018). Yleinen konsensus näyttäisikin siis olevan, että rakennusjätteitä kierrätetään, mutta todellinen materiaalien käytön optimointi tai uusiokäyttö on vähäisempää (Heikura, 2019; Ranta et al., 2018).

Eräänä keinona kiertotalouden mukaisien periaatteiden käyttöönotolle rakennusalalla on julkisen sektorin sekä rahoituslaitosten suora- ja epäsuora taloudellinen tuki kiertotalouden periaatteiden mukaisille hankkeille (Ranta et al., 2018), sillä kiertotalouteen liittyvien ratkaisujen kehitystyö vaatii onnistuakseen sekä pääomaa (Kivilä, 2015), että toimijoiden kannalta (lain-säädännöllisesti) vakaan toimintaympäristön (Gorecki and Bizon - Gorecka, 2017). Tämän lisäksi tulisi uudistaa nykyisiä rahoituspäätösten analysointiin käytettyjä malleja siten, että ne huomioisivat kiertotalouteen liittyvät riskit paremmin lineaaristen tuotantomallien riskien lisäksi (Aboulamer et al., 2020; Saarinen, 2021). Eli esimerkiksi hankkeiden tuottoa ja kassavirtoja arvioidessa, niiden tällä hetkellä pääasiassa tilaajan toiminnasta johtuvaa markkinariskiä tulisi pystyä hallitsemaan paremmin (Saarinen, 2021). Uusiomateriaalien kohdalla onkin selkeästi havaittavissa, että loppukäyttäjät eivät ole valmiita maksamaan preemiota jo kertaalleen käytetystä ”jätteestä” (Heikura, 2019; Luis et al., 2020) ja täten pitkän aikavälin taloudellisten hyötyjen jäädessä epävarmoiksi tai epäselviksi, loppukäyttäjät vaativat alennusta näennäisesti huonommista materiaaleista (Govindan & Hasanagic, 2018; Saarinen, 2021).

Kestävyysajattelu tulisi ottaa hankesuunnittelussa mahdollisimman aikaisessa vaiheessa huomioon, jotta mahdollisuudet luonnonvarojen kestäväälle käytölle ja kustannustehokkaalle toiminnalle olisivat paremmat (Benachio et al., 2020). Tähän on esitetty aiemman tutkimuksen perusteella oikeaan suuntaan olevana ratkaisuna rakennuksen tietomalli-järjestelmän (BIM, ”*Building Information Model*”) ja paikkatietojärjestelmän (GIS, ”*Geographical Information System*”) yhdistelmää, jossa malliin on sidottu tiedot rakennuksen ja sen materiaalien elinkaarivaiheiden analyysistä (LCA, ”*Lifecycle Cost Assessment*”), eri elementtien purkumahdolli-

suuksien kuvauksesta, purkuvaiheen jätteiden hyödyntämismahdollisuuksista ja toimitusketjun karttapohjainen kuvaus (Lukman et al., 2019, Irizarry et al., 2013).

Tämän lisäksi tietomallin avulla voidaan luoda useita eri materiaali- ja rakennusvaihtoehtoja, joita vertailemalla voidaan toteuttaa optimaalisella tavalla arvonsa kansantaloudessa säilyttävä rakennus tai rakenneosia (Lukman et al., 2019). Lisäksi kun BIM+GIS-malliin liitetään jätteiden syntyä ennustava ja optimoiva algoritmi, voidaan maksimoida muuten jätteeksi jäävien materiaalien hyötykäyttöä (Olugbenga & Lukumon, 2019). Tämän kaltaisille ennustaville algoritmeille on tarvetta, koska urakoitsijoiden tulee pystyä arvioimaan rakennushankkeen kokonaiskustannuksia (TCO, ”*Total Cost of Ownership*”) optimaalisen tuotannon ja hankkeiden käyttö- ja ylläpitokustannusten arvioimiseksi (Cole and Snider, 2020). BIM-pohjaisilla tietomalleilla voidaan tehokkaasti integroida kiertotalouden mukaisia toimintamalleja osaksi toimitusketjua (Olugbenga & Lukumon, 2019), jonka lisäksi laajempien materiaalitietokantojen luominen edesauttaa uusiokäytettävien materiaalien määrän kasvattamisessa, vaikka todellinen potentiaali onkin vielä epävarma (Benachio et al., 2020).

Käytännössä käyttöönotettavia periaatteita ja malleja tulisi standardisoida (Anastasiades et al., 2019), sekä julkisen puolen toimijoiden tulisi esittää vahvemmin tukensa uusiomateriaalien käytölle (Govindan & Hasanagic, 2018; Ranta et al., 2018), koska uusiomateriaalien käytöllä on selkeästi päästöjä ja kustannuksia minimoiva vaikutus (Manelius et al., 2019; Nußholz et al., 2019). Uusiomateriaalien käytön kehitystä tulisi ohjata enemmän makrotasolta esimerkiksi lainsäädännön, ohjeistuksien sekä tuotteiden teknisten ja kaupallisten vaatimusten kohdalla, jolloin rakennusliikkeet ja sijoittajat havaitsevat, että uusi toimintamalli on investointien arvoinen (Gorecki et al., 2019). Lisäksi rakennuksia ja infrastruktuuria voidaan tarjota palveluna loppuasiakkaalle, mikä osaltaan kannustaa rakennusliikkeitä käyttämään korkealaatuisia materiaaleja ja parempaa suunnittelua (Anastasiades et al., 2019). Myös sidosryhmien tietoisuutta eri uusiomateriaalien mahdollisuuksista tulisi kasvattaa, sekä kerätä lisää tietoa materiaalien toimivuudesta eri olosuhteissa lieventäen tilaajan kokemaa materiaaleihin liittyvää riskiä ja epäluuloisuutta (Ranta et al., 2018).

2.2 Maarakennushankkeisiin soveltuvat uusiomateriaalit ja sivuvirtatuotteet

Maarakentamisessa on perinteisesti käytetty materiaaleina neitseellisiä maa- ja kiviaineksia, kuten sora, hiekka, louhe ja murske (Teittinen, 2019). Edellä mainittuja luonnonkiviaineksia voidaan kuitenkin korvata uusiomateriaaleilla päästöjen pienentämiseksi ja luonnonvarojen säästämiseksi (Koivisto et al., 2016; Nguyen, 2021; Teittinen, 2019). Mahdollisia korvaavia uusiomateriaaleja ovat käyttökohteesta riippuen esimerkiksi ylijäämämaat, betonimurske, pohja- ja lentotuhka, metallinjalostusteollisuuden kuonat kuten masuuni- ja ferrokromikuona, tiilimurske sekä metsäteollisuuden sivutuotteet ja jätteet (Kiviniemi et al., 2010; Reang & Kumar Pal, 2018). Metsäteollisuudessa syntyvien erinäisten sivuvirtatuotteiden volyyymi on kuitenkin suhteessa menekkiin pieni, joten nämä materiaalit eivät ole paikallisia vaikutuksiaan lukuun ottamatta suuressa mittakaavassa hyödyllisiä (Kiviniemi et al., 2010). Lisäksi rakennusjätteen seulonnasta syntyneitä ylitteitä ja alitteita voitaisiin hyödyntää, mutta niiden käytölle ei ole syntynyt vakiintuneita hyödyntämistapoja, jonka seurauksena myöskään tietoa käyttäytymisestä maaperässä ei ole, mikä puolestaan tekee ympäristöluvan saamisen haasteelliseksi (Häkkinen, 2019; Teittinen, 2019).

Suomalainen lainsäädäntö ei tunne käsitettä uusiomateriaali, vaan maarakentamisessa hyödynnettävät materiaalit ovat lainsäädännöllisesti joko ympäristönlainsäädännön alaisia jätteitä tai tuotelainsäädännön alaisia tuotteita (Koivisto et al., 2016; Teittinen, 2019). Uusiomateriaaleista huomattava osa on jätteitä (Torniainen & Sikiö, 2018), jonka seurauksena niiden hyödyntäminen edellyttää ympäristönsuojelulain (527/2014) mukaista ympäristölupaa. Uusiomateriaalien hyödyntämiseen liittyviä lupia ja lainsäädäntöä käsitellään tarkemmin kappaleessa 4, jossa esitellään olennainen lainsäädäntö ja hyödyntämiseen tyypillisesti tarvittava MARA-ilmoitus.

Verrattuna neitseellisiin luonnon materiaaleihin, uusiomateriaalien kilpailukykyyn vaikuttavat uusiomateriaalin tekniset ominaisuudet, ympäristövaikutukset ja kuljetusmatkan pituus (Teittinen, 2019). Esimerkiksi laadukkaiden betonimurskeiden ja masuunikuonatuotteiden kohdalla materiaalit täyttävät teknisiltä ominaisuuksiltaan niille asetetut vaatimukset ja täten niitä voidaan hyödyntää sellaisenaan tierakenteen kantavassa ja jakavassa kerroksessa (Hakari, 2007; Teittinen, 2019), joskin betonimurske on kalliomurskeesta poiketen uudelleen lujittuva materiaali, eli betonimurskeella voidaan saavuttaa jopa kalliomursketta paremmin

kantava rakenne (Lehtonen, 2019). Käytettävyyden kannalta yleisimmät maarakennuksessa käytetyt uusiomateriaalit eivät siis eroa merkittävästi sellaisista neitseellisistä materiaaleista, joiden raekoko vastaa uusiomateriaalia, eli uusiomateriaalien hyödyntäminen sitomattomina materiaaleina rakennekerroksissa tai sideaineina pilaristabiloinnissa ei muuta rakenteen teknistä toimivuutta, vaikka materiaalien sitoutumiskyvyissä voi olla eroja (Teittinen, 2019).

Pilari- ja massastabiloinnissa voidaan hyödyntää sideaineena voimalaitoksen polttoprosessista syntyvästä savukaasusta erotettua lentotuhkaa, jolloin lentotuhkan lujittumisominaisuudesta voidaan hyötyä ja täten korvata osa sementistä lentotuhkalla (MacCarthy et al., 2014; Teittinen, 2019). Tässä yhteydessä lujittumisominaisuudella tarkoitetaan materiaalin kykyä lujittua, kun sitä kostutetaan tai tiivistetään (Kiviniemi et al., 2010). Polttoprosessista syntyvät tuhkat katsotaan jätelainsäädännön (646/2011) mukaan jätteeksi ja niiden hyödyntäminen edellyttää ympäristölupaa tai MARA-ilmoituksen (Teittinen, 2019). Hyödyntämislupaa varten tulee todentaa, että osa sideaineessa käytettävästä sementistä voidaan korvata lentotuhkalla (Teittinen, 2019), jonka lisäksi tulee selvittää käytettävän tuhkan haittavaikutukset ympäristölle, sekä haitta-ainepitoisuudet, jotka riippuvat merkittävästi poltetusta raaka-aineesta, polttolaitoksen tyypistä, polttolämpötilasta ja tuhkanerotusprosessista (Kiviniemi et al., 2010; Teittinen, 2019).

Toinen polttoprosessissa syntyvä tuhkatyyppi on polttokattilan pohjalle kerääntyvä pohjatuhka (Hakari, 2007), joka vastaa rakeisuudeltaan siltistä- tai soraista hiekkaa (Hakari, 2007). Lentotuhkasta poiketen pohjatuhkalla ei ole lujittumisominaisuuksia, ja täten hyödyntämiskohteet poikkeavat lentotuhkasta (Kiviniemi et al., 2010). Pohjatuhkan merkittävimpiä hyödyntämiskohteita on hiekan korvikkeena suodatinkerroksessa, täytöissä ja pengerrakenteissa (Kiviniemi et al., 2010). Pohja- ja lentotuhkan lisäksi maarakentamisessa voidaan hyödyntää prosessoitua jätteenpolton pohjakuonaa, joka vastaa ominaisuuksiltaan soraa (Kaartinen et al., 2010). Edellä mainittujen polttoprosesseista syntyvien tuhkien ja kuonan lisäksi vastaavalla tavalla hiekkaa korvaavina tuotteina voidaan hyödyntää metallinjalostamoissa syntyviä kuonia kuten masuuni-, ferrokromi- ja teräskuonaa (Matinlauri, 2016). Maarakennuskäytössä kuonien etuna on hyvä kantavuus, sitoutumis- ja lämmöneristyskyky (Matinlauri, 2016).

Maarakennuksessa oleellisena uusiomateriaalina esiintyy betonimurske, jota valmistetaan murskaamalla purkukohteista, betonitehtaalta tai muualta teollisuudesta syntyvää betonijätettä vuosittain 700 000 – 1 000 000 tonnia, joka hyödynnetään pääasiassa väylä- ja pohjarakennushankkeissa (Forsman et al., 2019). Betonimurskeen laatu ja geotekniset ominaisuudet riippuvat pitkälti murskeen lähteestä, eli siitä, onko betonimurske peräisin betoniteollisuudesta vai purkukohteesta (Hakari, 2007). Betonimursketta voidaan hyödyntää tavallisen kalliomurskeen tapaan kaikissa tien sitomattomissa rakennekerroksissa (Matinlauri, 2016). ja kun huomioidaan betonimurskeen lujittumisominaisuus, on tarvittava kerrospaksuus usein ohuempi kuin luonnon kiviaineksesta tehdyllä kerroksella (Mäkelä & Höynälä, 2000). Ympäristöominaisuuksiltaan betonimursketta pidetään turvallisen vaihtoehtona, koska haitta-aineiden liukoisuudet ja pitoisuudet ovat alhaisia (Pajukallio et al., 2011). Pohjavesialueilla betonimurskeen hyödyntäminen on erittäin rajattua, koska emäksisyytensä ja sulfaattipitoisuuksien takia betonimurske voi vaikuttaa merkittävästi pohjaveden pH arvoon (Forsman et al., 2019).

2.3 Uusiomateriaalien käyttöön liittyvät päästö- ja kustannussäästöt

Pilaristabiloinnissa voidaan saavuttaa merkittäviä päästövähennyksiä, kun kalkkisementti-sideaineseos korvataan uusiomateriaalipohjaisella sideaineseoksella, koska pilaristabiloinnin päästöt syntyvät pääasiassa sideaineen tuotannosta (Nguyen, 2021; Teittinen, 2019). Esimerkiksi kun liitteessä 1 esitetyn rakenteen ja lähtötietojen perusteella pilaristabiloinnin toteutuksessa sideaineena käytettävästä sementistä 15 % korvataan lentotuhkalla, voidaan saada aikaan 12 % päästövähennys pilaristabiloinnissa ja 10 % kokonaispäästövähennys esimerkkirakenteessa verrattuna neitseellisistä materiaaleista toteutettuun rakenteeseen (Teittinen, 2019).

Täten pilaristabilointiin liittyvien päästöjen pienentämiseksi tulisi urakoiden kilpailutuksessa painottaa uusiomateriaaleihin pohjautuvien sideaineiden käyttöön perustuvia ratkaisuita (Nguyen, 2021). Nykyisessä hankintamallissa, jossa tilaaja laatii tarvittavat stabilointisuunnitelmat ja määrittelee materiaalivalinnat, jonka jälkeen urakoitsija tarjoaa ja toteuttaa kyseisten vaatimusten mukaisen rakennuspalvelun (Väylävirasto, 2018), vastuu sideaineen valinnasta on tilaajalla (Nguyen, 2021). Suunnittelussa olisikin mahdollista hyödyntää perinteisen päästöt/sideainetonni-tunnusluvun lisäksi sideaineen hiilidioksidipäästöjä vähentäviä, eli uusiomateriaalien käyttöön kannustavia kriteerejä (Forsman et al., 2018).

Vastaavasti kun rakennekerroksissa käytettävä kalliomurske korvataan betonimurskeella molempien materiaalien kuljetusmatkan pysyessä samana, voidaan saada aikaan 16 % päästövähennys rakennekerroksessa, kun laskennassa huomioidaan betonin murskaus, kuljetus ja asennus hyödyntämiskohteeseen (Teittinen, 2019). Edellä mainittu betonimurskeeseen liittyvä päästövähennys kuitenkin pienenee kuljetusmatkojen pidentyessä ja on suhteessa vähäisempi, koska pilaristabilointi muodostaa suurimman osan rakenteen valmistamiseen liittyvistä päästöistä (Nguyen, 2021; Teittinen, 2019). Päästölaskelmaesimerkissä on määritetty, että uusiomateriaalien valmistuksen päästöt kuuluvat tuotannon päämateriaalille, josta poikkeuksena on mahdollisen uusiomateriaalin käsittelyn aiheuttamat päästöt, jotka kuuluvat uusiomateriaalille (Teittinen, 2019). Sideaineena käytettävän lentotuhkan arvonlisäys pilaristabiloinnin sideaineena on huomattavasti massiivirakenteessa hyödyntämistä suurempi sekä kustannusten että päästöjen kannalta (Nguyen, 2021).

2.4 Uusiomateriaalien käyttöön liittyvän päätöstilanteen kuvaus

Päätöksenteko on erittäin keskeinen osa rakennusalaalla toimivien yritysten liiketoimintaprosesseja, sillä yritysten tekemät päätökset ja toimenpiteet vaikuttavat ratkaisevalla tavalla muun yhteiskunnan elinympäristöön (Nunez - Cacho et al., 2018). Täten rakennushankkeet edellyttävät järjestelmällisen ja kehitettävissä olevan johtamistavan, jotta hankkeissa tehdyt päätökset ja valinnat tuottavat perustellusti käytettyä tuotannontekijää kohden lisäarvoa sekä yrityksen sisäisille, että ulkoisille sidosryhmille (Gorecki et al., 2019). Toisaalta päätöksenteon laadukkuus riippuu yrityksen sisäisistä kyvykkyyksistä hyödyntää ja luoda kehittyneitä dataan pohjautuvia ratkaisuja osana liiketoimintaa (Awan et al., 2021). Riskienhallinnan kannalta päätöksentekotilanteen tekee haasteelliseksi rakennusalan projektiluonteinen liiketoiminta, jossa suoritteet luovutetaan projektin omistajalle loppukäyttäjän sijaan (Gorecki et al., 2019).

Uusiomateriaalien käyttöönotolle yksittäisissä hankkeissa tulee huomioida ympäristöhyötyjen lisäksi myös taloudelliset tekijät (Gorecki et al., 2019) ja johdon tulisivatkin valintoja tehdessään keskittyä maksimoimaan sijoitetun pääoman tuottoa (ROIC, ”*Return On Invested Capital*”) osakkeenomistajille pitkällä aikavälillä (Koller et al., 2015). Erityisesti päätöksenteossa tulee huomioida, että ROIC tulisi olla suurempaa kuin yleinen pääoman kustannus (WACC, ”*Weighted Average Cost of Capital*”), jotta tehdyt valinnat oikeasti tuottavat lisäarvoa osakkeenomistajille (Koller et al., 2015). Täten hankkeiden johdon tehtäväksi jää löytää tehokkaat

keinot taloudellisen menestyksen takaamiseksi (Gorecki et al., 2019) ja tunnistaa sisäisiä kyvykkyyksiä uusien kiertotalouden mukaisten käytäntöjen, kuten uusiomateriaalien, käyttöönotolle (Bocken & Ritala, 2021), koska kestävä kehityksen mukaiset ratkaisut ovat varteenotettava tapa luoda lisäarvoa rakennushankkeissa (Andelin et al., 2015) erityisesti mahdollisten säästettyjen kustannusten muodossa (Nguyen, 2021).

Uusiomateriaalien ja uusien tuoteinnovaatioiden käyttöönotto edellyttää usein myös liiketoimintaprosessi-innovaatioita ja vaatii täten muutoksia vanhoihin ajatusmalleihin (Gorecki et al., 2019). Tämä järjestelmätason muutostenteko on kuitenkin aiemmassa kappaleessa kuvattun epäyhtälön ($ROIC > WACC$) rajoittamaa, koska hankkeiden johto ei voi muutoksia tehdessään heikentää projektien taloudellista kannattavuutta (Kirchherr et al., 2018). Kiertotalouteen liittyvissä hankkeissa innovaatioprojektin hylkäämisen todennäköisyys kasvaa merkittävästi (Nunez - Cacho et al., 2018), mikäli johto ei näe selkeitä ja mitattavissa olevia hyötyjä lyhyellä aikavälillä (Fridson, 2011), vaikka päätöksenteossa tulisikin keskittyä pitkänaikavälin arvonluontiin (Koller et al., 2015). Täten omanlaisenaan haasteena uusiomateriaalien käyttöönotossa on mahdollisten etujen ja haittojen johdonmukainen arviointi toimintaympäristössä, joka ei ole lainkaan staattinen (Bocken & Ritala, 2021).

Yritysten tulisikin tehdä kahdenlaisia strategisia päätöksiä liittyen kiertotalouden liittämiseen osaksi liiketoimintamallia (Bocken & Ritala, 2021). Ensinnäkin strategian tulisi perustella sisäisille ja ulkoisille sidosryhmille, millaista kiertotaloudenmukaisuutta yritys ajaa, ja toisaalta tulee osoittaa selkeä strategia resurssien käytölle, jotta materiaalien hankintaketjussa syntyvää hukkaa minimoidaan ja materiaalien kiertoa hidastetaan tai suljetaan siten, että käytetyt resurssit jäävät kokonaan kiertoon (Bocken & Ritala, 2021). Toisaalta pelkkä arvoketjunhallinta päätöksenteossa toimii rakennushankkeissa tehokkaana ohjaajana valinnoille, varsinkin kun se huomioi kiertotalouden asettamat erityispiirteet luodulle lisäarvolle (Gorecki et al., 2019). Täten luotettavat analyysit kiertotalouteen liittyvän päätöksenteon pohjana ovat kriittisiä kilpailukyvyyn kasvattamiselle (Gorecki et al., 2019).

3 TOIMITUSKETJUN HALLINTA RAKENNUSALALLA

3.1 Rakennusalan toimitusketjun ominaispiirteet

Toimitusketjiksi voidaan kutsua vähintään kolmen itsenäisen toimijan muodostamaa kokonaisuutta, jossa toimijat ovat joko suoraan tai välillisesti osallisena materiaali-, palvelu-, raha- ja informaatiovirroissa (Peltonen, 2018). Toimitusketjuun kuuluvat siis kaikki yritykset, organisaatiot ja sidosryhmät, jotka osallistuvat tuotteen tai palvelun valmistusprosessiin ja antavat panoksensa lopullisen tuotteen toimittamiseksi projektin omistajalle siten, että liiketaloudellisen tuotteen tai palvelun tuotantovaiheet tapahtuvat ensimmäisestä tuottajasta loppukäyttäjälle (Van Weele, 2010).

Rakennusallalla toimitusketjun hallinnan tekee erityiseksi se, että toimitusketju on väliaikainen osaprosessit yhteen kokoava verkosto, joka ohjaa resurssit työmaalle. jossa rakentamisen lopputuote kootaan (Nikinosheri & Staxäng, 2016). Valmistavan teollisuuden tehtaasta poiketen, missä sidosryhmien välisten toimintojen välillä on riippuvuuksia vain valmistuksen alku- ja loppupäässä (Bankvall et al., 2010), on rakennushankkeille ominaista niiden epälineaarisuus, sekä toimittajavaihtoehtojen suuri lukumäärä ja monipuolisuus sekä projektien toiminta ”make-to order”-periaatteella (Aneesa et al., 2015). Toimitusketjun väliaikaisuuden ja lyhyen elinajan takia toimitusketju on usein epävakaa ja sirpaleinen johtaen eroihin suunnitelmien ja toteutuneen rakennuksen välillä (Vrijhoef & Koskela, 2000), jotka johtuvat osittain myös suunnittelun ja toteutuksen irrallisuudesta (Nikinosheri & Staxäng, 2016). Merkittävän lisähaasteen toimitus- ja arvoketjun hallintaan luovat tiukasti ja tarkasti määritellyt asiakastarpeet, sekä irralliset, mutta vahvasti toisistaan riippuvat tuotantovaiheet (Nikinosheri & Staxäng, 2016).

Rakennusallalla ensisijaiseen toimitusketjuun kuuluu materiaalit, jotka liittyvät lopulliseen rakennustuotteeseen (Butkovic et al., 2016). Tukevia toimitusketjuja on kaluston, palveluiden ja tukitoimintojen toimitusketjut, sekä henkilöresurssien toimitusketju (Butkovic et al., 2016). Toisaalta toimitusketjut voidaan jaotella myös väliaikaiseen toimitusketjuun, puitesopimukseen perustuvaan toimitusketjuun ja yritystasolla strategiseen eli pysyvään toimitusketjuun (Doughty et al., 2014). Yleisesti rakennushankkeen toimitusketjun hallinnan kokonaisuus sisältää toimitusketjun ja työmaan rajapinnan, logistiikan, läpimenoaikoihin ja varastoihin liittyvien kustannusten madaltamisen, toimintojen siirron työmaalta toimitusketjun aiempiin

vaiheisiin ja toimitusketjun integroitua johtamista tavoitteenaan parantaa sekä toimitusketjun, että työmaan yhteistä tuottavuutta (Peltonen, 2018).

Pääurakoitsijan rooli toimitusketjussa on toimia kysyntäketjun ja toimitusketjun risteyskohdassa ”järjestelmäintegraattorina”. Pääurakoitsija siis muuntaa tilaajalta saamansa vaatimukset omaan toimitusketjuunsa syötettäväksi tiedoksi, jonka pohjalta toimittajat muodostavat materiaali- ja aliurakkasuoritusvirtoja, jotka pääurakoitsija muuntaa edelleen tilaajalle tarjottavaksi rakennuspalveluksi. Toisaalta tämän mallin mukaan työmaa ja pääurakoitsija saattavat toimia pullonkaulana kysynnän ja toimitusketjun välillä, mikä johtaa siihen, että osapuolet jäävät toisistaan irrallisiksi ja integroitumista ei tapahdu johtaen toimitusketjun tehottomuuteen. (Olofsson & Segerstedt, 2010)

3.2 Tehokkaan toimitusketjun luomisen haasteet

Rakennusalalla toimitusketjun hallintaa hankaloittaa muun muassa tarve laajamittaisille hyväksyntämenettelyille, toimijoiden väliset ristiriidat tai vihamielisyydet (Alhava et al., 2017), eriävyydet rakennushankkeen sidosryhmien intresseissä, sekä erillinen suunnittelu- ja toteutusvaihe ja resurssien saatavuuden epävarmuus (Amade, 2016; Salami et al., 2016). Tämän lisäksi projektien ainutlaatuisuus, väliaikaiset työmaaorganisaatiot ja prosessin epäjatkuvuuskohtat eri toteutusvaiheiden välillä (Amade, 2016; Kim & Nguyen, 2018; Salami et al., 2016), tarkat materiaali- ja laatuvaatimukset, sekä paikalla valmistaminen hankaloittavat tuotannon virtauksen ja tehokkaan toimitusketjun luontia poiketen valmistavasta teollisuudesta ja perinteisistä toimitusketjun hallinnan periaatteista (Kim & Nguyen, 2018; Olofsson & Segerstedt, 2010; Peltonen, 2018).

Toimitusketjussa ilmenevien haasteiden juurisyiksi voidaan tunnistaa merkittävimpinä tekijöinä puutteet projektinjohdon toimitusketjun hallinnan osaamisessa ja koordinoinnissa, informaation jakamisen ja kommunikaation puutteessa eri sidosryhmien välillä (Amade, 2016; Kim & Nguyen, 2020; Salami et al., 2016). Tämän lisäksi keskittyminen ankarassa ja monimutkaisessa kilpailutuksessa alhaisimpaan tarjoushintaan tarkoilla laatuvaatimuksilla maksimoiden lyhyen aikavälin voittoja (Salami et al., 2016) johtaa laatutason laskuun ja rajoittaa urakoitsijoiden tuottomahdollisuuksia, mikä osaltaan ajaa toimijoita osapuolet toimintaa siten, että oma hyöty on varmistettu riippumatta laatutasosta (Amade, 2016; Kim &

Nguyen, 2020; Salami et al., 2016). Osoptimointiin ajaa yleisellä tasolla sopimusmallit, jotka eivät palkitse urakoitsijaa laadukkaasta suorituksesta, vaan ovat keskittyneet suojaamaan rakennushankkeeseen ryhtyjää (rakennuttaja/tilaaja) urakoitsijan aiheuttamilta taloudellisilta tai muilta tappioilta (Kim & Nguyen, 2020). Edellä mainittu rakennuttajan sopimustekninen suojausmekanismi viestii alalla vallitsevasta luottamuspulasta, joka on osaltaan myös merkittävä este tehokkaiden toimitusketjujen luomiselle, jotka vaativat toimiakseen luottamuksellisia kumppanuussuhteita ja osapuolten välistä yhteispeliä (Kim & Nguyen, 2020; Salami et al., 2016).

Toimitusketjussa toimivien osapuolten osaamattomuus kasvattaa liiketoiminnassa käsiteltävää riskiä, toimijoiden ottaessa osaa kompleksisiin ja tiukkoihin kilpailutilanteisiin ja mikäli yksittäinen toimija ei ymmärrä tai osaa toimia odotetulla tavalla, on toimitusketjun tehokkuus epätodennäköisesti saavutettavissa (Kim & Nguyen, 2020). Osapuolten osaamattomuuden taustalla on usein toimimaton johtamisjärjestelmä tai johdon ymmärtämättömyys toimitusketjun hallintaan liittyvissä periaatteissa (Kim & Nguyen, 2020). Onkin osoitettavissa, että tehokas johtamisjärjestelmä ja osaava johto ovat kriittisiä tehokkaan toimitusketjun luomisessa ja strategisen vision toimeenpanossa (Ou et al., 2010). Täten toimiakseen tehokkaasti toimitusketjussa, johtoporras tarvitsee ymmärrystä, osaamista ja harjoitusta toimitusketjun hallinnasta (Kim & Nguyen, 2020).

Alan sirpaloituneisuus, mikä ilmenee esimerkiksi rakennusurakoiden jakamisena pienehköihin osasuorituksiin kustannusten osoptimoimiseksi, johtaa häiriöön rakennuspalvelun toimituksessa ja heikentää osapuolten välistä integraatiota siten, että omien toimintojen ja resursien kehittäminen ei ole mahdollista (Alhava et al., 2017; Peltonen, 2018). Myöhäinen osapuolten osallistaminen prosessiin heikentää sitoutumista toimitusketjuun ja täten esimerkiksi aliurakoitsijoiden ja materiaalitoimittajien passiivisuus, sekä yhteisten tavoitteiden puuttuminen ja heikko kommunikaatio omistajan ja toimijoiden välillä, ovat mahdollisia syitä rakennuspalveluiden heikolle laadulle ja alhaiselle tuottavuudelle (Kim & Nguyen, 2020). Yleisesti toimitusketjun ongelmat voidaankin tiivistää neljään eri pääkategoriaan: materiaalivirrat, sisäinen kommunikaatio, ulkoinen kommunikaatio ja kompleksisuus (Karrbom Gustavsson et al., 2017).

3.3 Ratkaisuja rakennusalan toimitusketjun haasteisiin

Organisaation pitkän aikavälin menestymisen kannalta toimitusketjun hallinta on strategisesti erittäin tärkeä elementti (Aloini et al., 2015). Kun toimitusketjujen hallintaan ja integraatioon panostetaan projekteissa mahdollisimman aikaisessa vaiheessa (Olugbenga & Lukumon, 2019), ketjun osapuolet säilyttävät kannattavuutensa luomalla asiakasarvoa toiminnallisen ja laadukkaan rakennusprojektin suhteen hyväksyttävällä hinnalla yhteistyössä toimittajien, alirakkoitsijoiden, kierrätysyritysten ja materiaalien uusiokäyttäjien kanssa (Olugbenga & Lukumon, 2019; Peltonen, 2018). Täten merkittävimmät saavutettavissa olevat hyödyt ovat mahdollisuus materiaalihukan hallintaan ja minimointiin, lopullisten kustannusten alentuminen, kokonaiskustannusten ennustettavuus, asiakasarvon toimitus ja läpi projektien turvattu projektikate (Peltonen, 2018).

Rakennushankkeen aikana tapahtuva tehokas tiedonjako ja erityisesti hyväksi havaittujen toimintatapojen jakaminen verkostossa eteenpäin pääurakoitsijan ohjaamana tehostaa rakentamisprosessia ja on välttämätöntä tehokkaan toimitusketjun luomisen kannalta, mutta nykyisessä kovasti kilpaillussa toimintaympäristössä osapuolet eivät mielellään jaa kokemuksiaan hallinnan tai kilpailuedun menettämisen pelon takia (Deshmukh et al., 2014). Täten luottamuksellisten yrityssuhteiden luominen olisi tarpeellista tiedonjaon, dynaamisuuden, kilpailusynergioiden ja ylivertaisen operaatiotehokkuuden kannalta koko toimitusketjussa (Olugbenga & Lukumon, 2019).

Kiertotalouden liittäminen olennaiseksi osaksi toimitusketjun hallintaa niin sanotuksi vihreäksi toimitusketjuksi, tarjoaa selkeitä ympäristönäkökulman paremmin huomioivia ratkaisuita siten, että ympäristöllisten ja taloudellisten tavoitteiden välille syntyy toimiva suhde muuntamalla toimintamalleja kestävämmiksi (Abdul Nasir et al., 2017). Kiertotalouden tarjoama kilpailuetu mahdollisten kustannussäästöjen muodossa houkuttelee rakennusliikkeitä kehittämään vihreämpiä toimitusketjuja (Ojo et al., 2021). Tunnistetuista ajureista tärkeimpinä näytettyvätkin kirjallisuudessa ulkoiset kannustimet, tietoisuus mahdollisuuksista ja lainsäädännölliset kannustimet ja pakotteet (Taghavi et al., 2021). Vihreän toimitusketjunhallinnan avulla voidaan parantaa tuotannon tehokkuutta, pienentää hankintaan liittyviä kustannuksia ja yhdenmukaistaa ydinliiketoiminnot kestäväen kehityksen periaatteiden kanssa (Govindan et al., 2020).

Uusiomateriaalien hankinnan liittäminen osaksi toimitusketjua on kuitenkin vaikeaa, koska uusiomateriaalimarkkina on vielä kehittymätön ja historiatietojen vähäisyys tekee päätöksenteosta riskipitoista (Lu & Yuan, 2010). Lisäksi markkinoiden kehittymättömyydestä johtuen uusiomateriaalien saatavuus voi olla erittäin alueellista (Leppänen, 2020) ja hyödyntämiseen vaaditut luvat laskevat prosessin tehokkuutta (Fang et al., 2020). Uusiomateriaalien hyödyntämistä osana rakennusalan toimitusketjua pyritään selkeyttämään työn seuraavassa osassa, jotta lupaprosessin läpivientiin liittyvää kitkaa voidaan vähentää.

4 UUSIOMATERIAALEJA JA SIVUVIRTATUOTTEITA KOSKEVA LAINSÄÄDÄNTÖ JA ASETUKSET

4.1 Ympäristönsuojelu- ja jätelaki Suomessa

EU-tasolla uusiomateriaalien käyttöä ajaa ja ohjaa EU:n jätedirektiivi (EU 98/2008), EU:n rakennustuoteasetus (EU 305/2011), CLP-asetus (EU 1272/2008) ja REACH-asetus (EU 1907/2006). Näiden ylitason direktiivien ja asetusten pohjalta on laadittu Suomessa jätteiksi tai sivuvirtatuotteiksi luokiteltujen materiaalien käyttöä ja jatkosijoitusta ohjaavat ja rajoittavat (Välikangas, 2017) jätelaki (646/2011) ja ympäristönsuojelulaki (527/2014), joiden tavoitteena on muun muassa edistää kiertotaloutta, edistää luonnonvarojen kestäväää käyttöä sekä ehkäistä jätteistä ja jätehuollosta aiheutuvaa vaaraa ja haittaa terveydelle ja ympäristölle.

Jätelain (5 §) mukaan ”*jätteellä tarkoitetaan ainetta tai esinettä, jonka sen haltija on poistanut tai aikoo poistaa käytöstä taikka on velvollinen poistamaan käytöstä*”. Vastaavasti jätelain (5 §) mukaan ”*aine tai esine määritellään sivutuotteeksi, jos se syntyy sellaisessa tuotantoprosessissa, jonka ensisijaisena tarkoituksena ei ole tämän aineen tai esineen valmistus*”. Mikäli tuote voidaan määritellä sivutuotteeksi, se ei ole jätelain mukaista jätettä ja täten siihen ei sovelleta jätelakia tai sen mukaisia säädöksiä. Edellä mainituin perustein jätelain (646/2011) mukaan esimerkiksi betonimurska, pohja- ja lentotuhka sekä leijupetihiekat luokitellaan jätteiksi ja täten ympäristönsuojelulain (27§) mukaan edellä mainittujen materiaalien ammattimainen ja laitostmainen käsittely edellyttää ympäristölupaa, riippumatta jätteenkäsittelyn kestosta.

4.2 MARA-asetuksen tausta ja soveltamisala

Ympäristölupavaatimuksesta voidaan kuitenkin poiketa ympäristönsuojelulain (527/2014) 10§:n ja 32 § 2 momentin sekä jätelain (646/2011) 14§:n pohjalta laaditun Valtioneuvoston asetuksen eräiden jätteiden hyödyntämisestä maanrakentamisessa (VNa 843/2017). Tätä asetusta kutsutaan MARA-asetukseksi, jonka soveltamisalaan kuuluvien materiaalien (liite 2) käyttö ei vaadi erillistä ympäristölupaa, vaan tiettyjen reunaehtojen täytyessä kyseisiä materiaaleja voidaan hyödyntää rekisteröintimenettelyllä, eli niin sanotulla ilmoitusmenettelyllä, mikäli materiaali täyttää teknisen kelpoisuuden vaatimukset. Toisin sanoen materiaalien hyödyntämiskohdetta varten hyödyntämispaikan haltijan tulee täyttää ilmoitus alueelliselle Elinkeino-, Liikenne ja Ympäristökeskukselle (ELY-keskus), jonka jälkeen jätteen hyödyntämi-

seen ei vaadita ympäristölupaa. Täten MARA-asetus mahdollistaa esimerkiksi betonimurskeen ja tuhkien laajamittaisen hyödyntämisen, kunhan vaaditut ehdot täyttyvät. (Ympäristöministeriö, 2018)

Kokonaan asetuksen ulkopuolelle on rajattu pohjavesialueet, tulvavaara-alueet ja ravintokasvien viljelyalueet, sekä asuinrakentamiseen tai leikkipaikoiksi tarkoitettut alueet ja luonnon-suojelualueet. Edellä mainittujen materiaali- ja aluerajoitusten lisäksi käytössä tulee huomioida metrin (1 m) vähimmäisetäisyys pohjaveden yläpinnan tasoon, joka on osoitettava esimerkiksi pohjavesiputkien tai talousvesikaivojen pinnankorkeuden perusteella sekä maarakentamiskohteen vähintään kolmenkymmenen metrin (30 m) etäisyys lähimpään vesistöön. Myös jätekerroksen paksuudelle on määritelty raja, joka riippuu rakentamiskohteen tyypistä. Kun MARA-asetuksen mukaista materiaalia hyödynnetään kenttä- ja väylärakenteessa, on enimmäispaksuus 1.5 metriä, valleissa maksimissaan viisi metriä (5 m) ja tuhkamursketiellä 0.2 metriä. Jätteen enimmäismäärää ei kuitenkaan ole määritelty, eli hyödyntämisalueen pinta-alaa ei ole rajoitettu. (Ympäristöministeriö, 2018)

4.3 Jätteen luokittelun päätyminen

Jätteen jäteluokitus voidaan poistaa (EoW, ”*End of Waste*”), jolloin jäte lakkaa olemasta jätettä, jos jätelaissa (646/2011) 5 § mukaiset edellytykset täyttyvät. Jäteluokittelu voidaan poistaa joko EU-, kansallisella- tai alueellisella tasolla, jolloin jäte siirtyy jätelainsäädännön piiristä tuotelainsäädännön mukaiseksi tuotteeksi. Lähtökohtaisesti tavoitteena on luokitella materiaaleja EU-tasolla, jolloin jäteluokituksen poisto pätee kaikissa jäsenmaissa (Ympäristöministeriö, 2018). Tuotteen tai materiaalin tulee täyttää muun muassa REACH-asetus tai rakennustuote- ja lannoitelainsäädäntö (EU, 2008). Materiaalin jäteluokitus voidaan poistaa, jos se täyttää seuraavat ehdot:

- Materiaali on käynyt läpi hyödyntämistoimen,
- Materiaalilla on käyttötarkoitus, johon sitä käytetään,
- Materiaalille on markkinat ja sille on kysyntää,
- Materiaali täyttää käyttötarkoituksensa mukaiset tekniset vaatimukset,
- Materiaalin käyttö ei kokonaisuudessaan aiheuta vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle.

(Jätelaki 646/2011, 5.3 §).

4.4 MARA-ilmoituksen laatiminen

MARA-asetuksen mukaisten materiaalien käyttöönottamiseksi hyödyntämipaikan haltijan tulee laatia MARA-ilmoitus. Ilmoitukseen tarvitaan tieto sekä hyödyntämipaikan että väliaikaiseen varastointiin käytetyn alueen haltijasta, eli käytännössä haltijan yhteystiedot ja laskutusosoite. Hyödyntämipaikka tulee merkitä asemapiirroksen tai karttaan koordinaatteineen, minkä lisäksi hyödyntämipaikan läheisten pohjavesialueiden, vedenottoaikojen ja vesistöjen sijainnit suhteessa hyödyntämipaikkaan tulee selvittää piirrokselta. Ilmoitukseen tarvittavat tiedot pohjavesialueista, vedenottoaikoista ja vesistöistä ovat saatavissa Suomen ympäristökeskuksen karttapalvelusta (Ympäristöhallinto, 2021). Tämän lisäksi tulee tarkastaa, että hyödyntämiskohde ei sijaitse tulvavaara-alueella. Ilmoitukseen tulee täsmentää hyödyntämipaikan käyttötarkoitus ja tarvittavat tiedot maanrakentamista käsittelevistä suunnitelmat, luvista, ilmoituksesta tai kunnan rakennusjärjestelyistä. (Ympäristöministeriö, 2018)

Käytettävän jätteen osalta tulee ilmoituksessa selvittää jätteen luovuttajan nimi ja yhteystiedot. Tämän lisäksi on kerrottava mitä liitteen 1 mukaista jätelajia aiotaan hyödyntää ja mikä on arvioitu jätteen kokonaismäärä, sekä tiedot kyseisen jätteen sisältämistä haitta-aineista ja haitta-ainepitoisuuksista sekä liukoisuuksista. Edellä mainittujen lisäksi ilmoitukseen on liitettävä jätteen luovuttajan laadunhallintaraportti, sekä tieto jätteen luovuttajan laadunvarmistusjärjestelmästä, jossa on määritelty jätteen käsittelyä, tutkimista, varastointia ja kuljetusta ohjaavat menettelytavat, vastuut ja kirjanpitovelvoitteet. Myös jätteen kerrospaksuudesta rakenteessa on annettava selvitys, eli on esitettävä rakenteen poikkileikkauspiirustuksissa jätettä hyödyntävä kerros ja sen paksuus, sekä koko rakennekerroksen paksuus. Edellä esitettyjen lisäksi tulee perustella jätteen tekninen soveltuvuus sekä ilmoitettava jätteen päälle tulevan kerroksen materiaali ja peittävän kerroksen paksuus, selvitettävä jätteen varastointi hyödyntämipaikalla ja jätteen käyttöön liittyvät ympäristönsuojelu toimenpiteet. Mikäli jätettä säilytetään muualla kuin hyödyntämiskohteessa, tulee antaa selvitys välivarastoinnista. Myös hyödyntämisalueella aiemmin säilytetyt jätteet tulee kirjata ilmoitukseen. (Ympäristöministeriö 2018)

Rakennushankkeen osalta ilmoitukseen täytetään tiedot maarakentamisen ajankohdasta, eli milloin jätteen hyödyntäminen alkaa ja milloin sen odotetaan päättyvän. Lisäksi tulee osoittaa hankkeen suunnitelmallisuus, eli tulee osoittaa, että jätteen hyödyntäminen perustuu maan-

käyttö- ja rakennuslakiin (132/1999), maantie- (503/2005) tai ratalakiin (110/2007), yksityisistä teistä annettuun valtioneuvoston asetukseen (1267/200), kestävän metsätalouden rahoituslakiin (34/2015), liikenneviranomaisten laatimiin teiden ja ratojen perusparannus- ja kunnostushankkeisiin tai kunnan rakennusjärjestykseen ja kaavamääräyksiin jätteiden hyödyntämistä ohjaavien rajoitteiden ja määräysten osalta. Huomioitavana teollisuusrakennusten pohjarakenteet, joissa jätteiden käyttö perustuu kunnan rakennusviranomaisen myöntämään rakennuslupaan ja MARA-ilmoitukseen, johon on merkattu rakennusluvan tiedot. Lisäksi ilmoitukseen on merkittävä, milloin jätteen hyödyntäminen kohteessa alkaa ja milloin jätteen hyödyntäminen voidaan tulkita loppuneeksi hyödyntämiskohteessa. (Ympäristöministeriö, 2018)

Ilmoitus täytetään aluehallinnon sähköisessä asiointipalvelussa, jossa ympäristöasioiden rekisteröinti- ja ilmoituspalveluun täytetään sekä ilmoitus jätteiden hyödyntämisestä maanrakentamisessa, että loppuraportti hyödyntämisestä (VNa 843/2017). Ilmoitus tehdään ja se käsitellään siinä ELY-keskuksessa, jonka alueella hyödyntämispaikka sijaitsee. Kun ilmoitus on jätetty, ELY-keskus tarkastaa ilmoituksen ja varmistaa, että hyödyntämiskohde on MARA-asetuksen mukainen. Jos ilmoitus on puutteellinen, sitä tulee korjata ja mikäli korjauksista huolimatta kohde ei täytä MARA-asetuksen vaatimuksia, käsittely raukeaa. MARA-ilmoituksen teko maksaa tekijälle 200 euroa. Itse rakennushankkeen toteutus voi alkaa, kun ELY-keskus ilmoittaa, että hyödyntämiskohde on merkattu tietojärjestelmään. Kun hanke on toteutunut, tulee lopulliset toteumatiedot ilmoittaa ELY-keskukselle loppuraportin muodossa. (Ympäristöministeriö, 2018)

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuskysymykseen eroista uusiomateriaalien ja neitseellisten materiaalien välillä rakentamisen toimitusketjussa voidaan suoritetun kirjallisuuskatsauksen perusteella vastata, että merkittävin ero on toimitusketjun tehokkuutta rajoittava vaatimus lupahakemus- tai ilmoitusmenettelylle. Toisin sanoen uusiomateriaalien käyttö vaatii Suomessa joko ympäristönsuojelulain (527/2014) mukaisen ympäristöluvan tai MARA-asetuksen mukaisen ilmoituksen uusiomateriaalin käytöstä, jonka täyttämiseen ja käsittelyyn kuluu resursseja.

Toinen tutkimuksessa havaittu merkittävä ero on uusiomateriaalien käyttöön kohdistuva todistustaakka ja epäluottamus teknisestä toimivuudesta, eli rakennushankkeen sidosryhmille tulee perustella sekä teknisesti, että taloudellisesti poikkeaminen perinteisestä toimintamallista. Kolmas tutkimuksessa paljastunut ero on uusiomateriaalien ja laajemmin kiertotalouden mukaisen toimitusketjun rahoittamisen vaikeus. Sekä toimitusketjun kehittäminen, että uusien toimintamallien implementointi uusiomateriaalien tehokkaan hankinnan aikaansaamiseksi vaatisi paljon pääomaa ja investointeja. Sijoittajat eivät kuitenkaan ole valmiita rahoittamaan riskipitoista liiketoimintaa, jonka hyödyt jäävät usein puutteellisten arvostus- ja arviointimenetelmien sekä haasteellisen riskien allokoinnin seurauksena epäselviksi ja toteutuvat parhaimmillaankin pitkällä aikajänteellä.

Toisaalta negatiivisten uusiomateriaalien käyttöä hidastavien tekijöiden lisäksi paljastui, että uusiomateriaalien käytöllä ja yleisesti kiertotalouden huomioimisella toimitusketjussa on positiivisia vaikutuksia laajennettuun rakentamisen arvoketjuun poiketen perinteisestä toimitusketjun hallinnasta. Uusiomateriaaleista tapahtuva arvolisäys on seurausta alhaisemmista materiaalikustannuksista, jotka laskevat rakennuspalvelun kokonaiskustannuksia. Lisäksi uusiomateriaalien käytöllä voidaan edesauttaa materiaalikierron sulkemista ja materiaalien sisältämän arvon säilyttämistä kansantaloudessa. Uusiomateriaaleilla voidaan saavuttaa projekteilla onnistumisia ja merkittäviä kustannussäästöjä, mutta rajallisten materiaalitoimittajavaihtoehtojen ja kehittymättömän markkinan seurauksena vaadittaisiin uusia innovaatioita ja toimitusketjun hallinnan kehitystoimenpiteitä, jotta uusiomateriaalien hyödyntäminen olisi yhtä helppoa ja tehokasta kuin neitseellisten materiaalien.

Tehdyssä tutkimuksessa korostuu kiertotalouden rooli ja potentiaali rakennusteollisuudessa sekä taloudellisen kasvun perustaminen uusiutuvien ja uusiokäytettyjen materiaalien varaan. Muiden tuotantoprosessien sivutuotteilla ja jätteillä on teknisesti mahdollista korvata neitseellisiä materiaaleja ja täten tehostaa energiankäyttöä ja säästää uusiutumattomia luonnonvaroja kohteisiin, joissa jätteiden käyttö ei ole mahdollista. Toistaiseksi jätteiden hankintahinnat ovat huomattavasti luonnonmateriaaleja alhaisemmat, mikäli hyödyntämipaikka sijaitsee lähellä jätteen synty pistettä. Täten jätteitä ja sivutuotteita hyödyntämällä voidaan saada aikaan teknisesti luonnonmateriaaleja vastaava rakenne alhaisemmilla kustannuksilla samanaikaisesti leikatun stabiloinnin merkittäviä hiilidioksidipäästöjä

Tutkimuksessa suurimmiksi esteiksi ilmeni makrotason tuen puute uusiomateriaalien käytölle ja yleisesti olematon kysyntä, joka estää esimerkiksi pilaristabiloinnissa uusiomateriaalien hyödyntämisen nykyisen hankintamallin takia lähes täysin. Lisäksi on havaittavissa, että uusiomateriaalien kuten betonimurskeen tai tuhkien hyödyntämisen on tapahduttava lähellä jätteen synty pistettä, koska jätteiden kauemmaksi kuljettaminen laskee jätteiden kilpailukykyä suhteessa neitseellisiin materiaaleihin. Uusiomateriaaleihin liittyvien käyttökokemusten vähäisyyden ja lyhyen hyödyntämishistorian takia hyödyntämispäätökseen sisältyy toistaiseksi paljon riskejä ja epävarmasti saavutettavissa olevia hyötyjä. Laajempi uusiomateriaalien käyttöönotto edellyttäisikin uusia julkisen sektorin tukemia standardisoituja toimintamalleja riskien ja voittojen jakamiseksi, jotta toimitusketjussa toimivat yritykset haluaisivat kasvattaa projektien riskitasoaan ja maksaa kehityskustannuksista.

Jatkotutkimustarpeita työn aiheeseen liittyen ilmeni muutamia. Ensimmäisenä tulisi selvittää konkreettisia keinoja jakaa kehitysohjelmaan ja liiketoimintaan liittyviä riskejä tasapuolisemmin osapuolten välille, jotta uusiomateriaaleja voitaisiin hyödyntää suomalaisessa pohjarakentamisessa enemmän. Toiseksi tulisi selvittää laajemmassa mittakaavassa useamman projektin läpi uusiomateriaalien käyttöä pilaristabiloinnissa taloudellisesta näkökulmasta ja todentaa uusiomateriaalien hyödyntämisestä esitetty arvolupaus. Lisäksi lentotuhkan osalta tulisi selvittää, miten lentotuhkaa voidaan hankkia ja hyödyntää kustannustehokkaasti, sekä selvittää onko havaittavissa läpi projektien saavutettavissa olevia taloudellisia hyötyjä, joiden avulla kasvanutta riskitasoa voitaisiin perustella ja sietää.

LÄHTEET

Abdul Nasir, M.H., Genovese, A., Acquaye, A.A., Koh, S.C.L., Yamoah, F., 2017. Comparing linear and circular supply chains: a case study from the construction industry. *Journal of Production Economics* Vol. 183, 443 – 447.

Aboulamer, A., Soufani, K., Esposito, M., 2020. Financing the circular economic model. *Thunderbird International Business Review*, 1 – 6.

Alhava, O., Kiviniemi, A., Laine, E., 2017. Construction industry needs an Airbnb of its own. Presented at the 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 566 – 577.

Aloini, D., Dulmin, R., Mininno, V., Ponticelli, S., 2015. Key antecedents and practices for Supply Chain Management adoption in project contexts. *International Journal of Project Management* Vol. 33, 1301 – 1316.

Amade, B., 2016. Barriers to the implementation of supply chain management (SCM) in the delivery of construction projects. *Serbian Project Management Journal*, 37 – 50.

Anastasiades, K., Blom, J., Buyle, M., Audenaert, A., 2019. Translating the circular economy to bridge construction: Lessons learnt from a critical literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Vol. 117.

Andelin, M., Karhu, J., Junnila, S., 2015. Creating shared value in a construction project - a case study. *Procedia Economics and Finance* 2015, 446 – 453.

Aneesa, M., Desai, D.B., Gupta, A.K., 2015. Supply Chain Management: Effective Tool in Construction Industry. *International Journal of Novel Research in Engineering and Science* 2, 35–40.

Awan, U., Kanwal, N., Bhutta, M.K., 2020. A Literature Analysis of Definitions for a Circular Economy. *Logistics Operations and Management for Recycling and Reuse*, 19 – 34.

Awan, U., Shamim, S., Khan, Z., Najam UI, S., Syed Muhammad, K., Muhammad, N., 2021. Big

data analytics capability and decision-making: The role of data-driven insight on circular economy performance. *Technological Forecasting and Social Change* Vol. 168. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120766>

Bankvall, L., Bygballe, L., Dubois, A., Jahre, M., 2010. Interdependence in supply chains and projects in construction. *Supply Chain Management: An International Journal* Vol. 15, 385–393.

Benachio, G.L.F., Freitas, M. do C.D., Tavares, S.F., 2020. Circular economy in the construction industry: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production* 2020.

Bjornsson, H., Cheng, J., Jones, A., Law, K., Sriram, R., 2010. A service orientated framework for construction supply chain integration. *Automation in Construction*, 245–260.

Bocken, N., Ritala, P., 2021. Six ways to build circular business models. *Journal of Business Strategy*.

Fridson, M.S., 2011. Don't count on it!: Reflections on investment illusions, capitalism, "mutual" funds, indexing, entrepreneurship, idealism, and heroes. *Financial Analyst Journal* Vol. 67, 77-78.

Butkovic, L., Kauric, A., Miculic, J., 2016. Supply Chain Management in the Construction Industry - A Literature Review. Presented at the International OFEL Conference on Governance, Management and Entrepreneurship, Zagreb, 798 – 811.

Cole, R., Snider, B., 2020. Rolling the dice on global supply chain sustainability: a total cost of ownership simulation. *Inf. Trans. Educ.* 165 – 176.

Dainty, A.R.J., Briscoe, G., Millett, S., 2001. New perspectives on construction supply chain integration. *Supply Chain Management: An International Journal*, 163 – 173.

Deshmukh, P., More, A., Chavan, S., 2014. Supply chain management in residential construction sector. *Int. J. Eng. Adv. Tech.*, 87 – 90.

Doughty, N., Edum-Fotwe, F., Pala, M., Peters, C., Ruikar, K., 2014. Contractor practices for

managing extended supply chain tiers. *Supply Chain Management: An International Journal* Vol. 19, 31–45.

Eberhardt, L.C.M., Birgisdottir, H., Birkved, M., 2019. Comparing life cycle assessment modelling of linear vs. circular building components. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*

European Commission, 2018. Rakennusten purku- ja kunnostustöitä edeltäviä jätehuoltotarkastuksia koskevat ohjeet.

Fang, H., Wang, B., Song, W., 2020. Analyzing the interrelationships among barriers to green procurement in photovoltaic industry: an integrated method. *Journal of Cleaner Production*.

Forsman, J., Dettenborn, T., Harju, I., Jyrävä, H., Lahtinen, P., 2019. Kokemuksia uusiomateriaaleista tierakenteissa (221), Väyläviraston julkaisut. Väylävirasto.

Forsman, J., Korkiala-Tanttu, L., Piispanen, P., 2018. Mass Stabilization as a Ground Improvement Method for Soft Peaty. in *Tech Open, London, Peat*.

Getuli, V., Ventura, S.M., Capone, P., Ciribini, A.L.C., 2016. A BIM-based Construction Supply Chain Framework for Monitoring Progress and Coordination of Site Activities. *Procedia Engineering*, 542–549. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.656>

Gorecki, J., Bizon - Gorecka, J., 2017. Risk management in construction project: Taking fairness into account, in: *World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture -Urban Planning Symposium - Wmcaus*. Presented at the IOP Conference Series-Materials Science and Engineering, Prague, Czech Republic.

Gorecki, J., Nunez - Cacho, P., Corpas-Iglesias, F.A., Molina - Moreno, V., 2019. How to convince players in construction market? Strategies for effective implementation of circular economy in construction sector. *Cogent Engineering* Vol. 6.

Govindan, K., Hasanagic, M., 2018. A systematic review on drivers, barriers, and practices towards circular economy: a supply chain perspective. *International Journal of Production Re-*

sources.

Govindan, K., Rajeev, A., Padhi, S.S., Pati, R.K., 2020. Supply chain sustainability and performance of firms: A meta-analysis of the literature. *Transportation Research Part E Logistics and Transportation Review*.

Hakari, M., 2007. Sivutuotteiden maarakennuskäytön ohjeistus – betonimurske ja pääkaupunkiseudun kivihiilituhkat (Diplomityö). Teknillinen korkeakoulu, Helsinki.

Häkkinen, S., 2019. Betonijätteen hyödyntämisen toimintamallit maarakentamisessa (Diplomityö). Aalto-yliopisto, Espoo.

Heikura, V., 2019. BARRIERS OF CIRCULAR ECONOMY IN THE CONSTRUCTION SECTOR (Pro gradu). LUT - University, Lappeenranta.

Honic, M., Kovacic, I., Rechberger, H., 2019. Improving the recycling potential of buildings through Material Passports (MP): an Austrian case study. *Journal of Cleaner Production*, 787–797.

Hossain, U., Ng, T., 2018. Critical consideration of buildings' environmental impact assessment towards adoption of circular economy: An analytical review. *Journal of Cleaner Production*.

Irizarry, J., Karan, E.P., Jalaei, F., 2013. Integrating BIM and GIS to improve the visual monitoring of construction supply chain management. *Automation in Construction*, 241–254. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.12.005>

Kaartinen, T., Laine-Ylijoki, J., Koivuhuhta, A., Korhonen, T., Luukkanen, S., Mörsky, P., Neitola, R., Punkkinen, H., Wahlström, M., 2010. Pohjakuonan jalostus uusiomateriaaliksi (No. 2567), VTT Tiedotteita. VTT.

Karrbom Gustavsson, T., Rudberg, M., Thunberg, M., 2017. Categorizing on-site problems: A supply chain management perspective on construction projects. *Construction Innovation*, London, 9–111.

Kim, S., Nguyen, V., 2020. Supply chain management in construction: critical study of barriers to implementation. *International Journal of Construction Management*.
<https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1843768>

Kim, S., Nguyen, V., 2018. A Structural model for the impact of supply chain relationship traits on project performance in construction. *Production Planning and Control*, 170–183.

Kirchherr, J., Piscicelli, L., Bour, R., Kostense - Smit, E., Muller, J., Huibrechtse - Truijens, A., Hekkert, M., 2018. Barriers to the circular economy: Evidence from the European Union (EU). *Ecological Economics* Vol. 150, 264–272.

Kivilä, J., 2015. Formation of sustainable value in industrial processes (Diplomityö). Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere.

Kiviniemi, O., Sikiö, J., Ollila, S., Autio, M., Ronkainen, M., Lindroos, N., Lahtinen, P., Forsman, J., 2010. Tuhkarakentamisen käsikirja.

Koivisto, K., Forsman, J., Ronkainen, M., Lahtinen, P., Kolisoja, P., Kuula, P., 2016. Commercialising reclaimed materials in earthworks – guidelines for productization and the process of appending these materials in the Finnish national code of practice, in: *Proceedings of the 17th Nordic Geotechnical Meeting Reykjavik Iceland*. Presented at the Challenges in Nordic Geotechnic 25th - 28th of May, Icelandic Geotechnical Society, 1117–1126.

Koller, T., Goedhart, M., Wessels, D., 2015. *Valuation - Measuring and Managing the Value of Companies*, 6 th. edition. ed. McKinsey & Company.

Koskela, S., Mäenpää, I., Mattila, T., Seppälä, J., Saikku, L., Korhonen, M.-R., Suorsa, M., Österlund, H., Hippinen, I., 2013. Suomen talouden materiaalivirrat vuonna 2008 ja resurssitehokkuuden tehostamisen vaikutukset vuoteen 2030 (No. 26/2013), Ympäristöministeriön raportteja. Ympäristöministeriö.

Krause, K., Hafner, A., 2019. Relevance of the information content in module D on circular econ-

omy of building materials. Presented at the Proceedings of the 6th International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering, 1627–1633.

Kytöharju, M., 2017. Sisäisen toimitusketjun kehittäminen toimintojenvälisen yhteistyön avulla. Case: The Switch Oy (Pro gradu). LUT - University.

Lehtonen, K., 2019. Purkutyöt - opas tekijöille ja teettäjille (No. 29/2019), Ympäristöministeriön julkaisuja. Ympäristöministeriö.

Leppänen, A., 2020. Kiertotalous rakennuttamisessa (Diplomityö). Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere.

Liang, X., Pal, R., Wang, P., 2017. The critical factors in managing relationships in international engineering, procurement, and construction (IEPC) projects of Chinese organizations. *International Journal of Project Management* Vol. 35, 1225–1237.

Lu, W.S., Yuan, H.P., 2010. Exploring Critical success factors for construction and demolition waste management in China Vol. 55, 201–208.

Luis, A.L.R., Xavier, R.R., Santiago, G.D., 2020. The circular economy in the construction and demolition waste sector: A review and an integrative model approach. *Journal of Cleaner Production* Vol. 248.

Lukman, A.A., Lukumon, O.O., Omoteso, K., Muhammad, B., Olugbenga, O.A., Anuoluwapo, O.A., Delgado, J.M.D., Hakeem, A.O., 2019. Disassembly and deconstruction analytics system (D-DAS) for construction in a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, Elsevier Vol. 223, 386–396.

MacCarthy, M.J., Csetenyi, L.J., Sachdeva, A., Dhir, R.K., 2014. Engineering and durability properties of fly ash treated lime-stabilised sulphate-bearing soils. *Engineering Geology* 2014, 139–148. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2014.03.001>.

Mahpour, A., 2018. Prioritizing barriers to adopt circular economy in construction and demolition

waste management. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 134, 216–227.

Mäkelä, H., Höynälä, H., 2000. Sivutuotteet ja uusiomateriaalit maarakenteissa: materiaalit ja käyttökohteet. *Teknologiakatsaus* 91.

Manelius, A., Nielsen, S., Kauschen, J.S., 2019. City as material bank e constructing with reuse in Musicon, Roskilde. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* Vol. 225.

Manninen, K., Koskela, S., Antikainen, R., Bocken, N., Dahlbo, H., Aminoff, A., 2018. Do circular economy business models capture intended environmental value propositions? *Journal of Cleaner Production* Vol. 171, 413–422.

Matinlauri, S., 2016. Vaihtoehtoisia maarakennusmateriaaleja sisältävien tie- ja katurakenteiden vaurioituminen (Diplomityö). Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere.

Munaro, M.R., Fischer, A.C., Azevedo, N.C., Tavares, S.F., 2019. Proposal of a building material passport and its application feasibility to the wood frame constructive system in Brazil. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* Vol. 225.

Nguyen, T., 2021. Uusiosideaineet pilaristabiloinnissa: Kuninkaantammen koestabilointi (Diplomityö). Aalto-yliopisto, Espoo.

Nikinosheri, R., Staxäng, F., 2016. Contractor-supplier relationship in the construction industry (Diplomityö). Chalmers University of Technology.

Nunez - Cacho, P., Molina - Moreno, V., Corpas-Iglesias, F.A., Cortes-Garcia, F.J., 2018. Family businesses transitioning to a circular economy model: The case of ‘Mercadona.’ *Sustainability* Vol. 10, 538.

Nußholz, J.L.K., Nygaard, F., Milios, L., 2019. Circular building materials: carbon saving potential and the role of business model innovation and public policy. *Resources, Conservation and Recycling* 141, 308–316.

- Ojo, L.D., Oladinrin, O.T., Obi, L., 2021. Critical Barriers to Environmental Management System Implementation in the Nigerian Construction Industry. *Environmental Management*, 1–13.
- Olofsson, T., Segerstedt, A., 2010. Supply chains in the construction industry. *Supply Chain Management: An International Journal* Vol. 15, 347–353.
- Olugbenga, O.A., Lukumon, O.O., 2019. Integrating construction supply chains within a circular economy: An ANFIS-based waste analytics system (A-WAS). *Journal of Cleaner Production*, Elsevier Vol. 229, 863–873.
- Ou, C., Liu, F., Hung, Y., Yen, D., 2010. A structural model of supply chain management on firm performance. *International Journal of Operations & Production Management*, 526–545.
- Pajakallio, A.-M., Wahlström, M., Alasaarela, E., 2011. Maarakentamisen uusiomateriaalit (No. 11/2011), Ympäristöministeriön raportteja. Ympäristöministeriö.
- Peltonen, A., 2018. Rakennusalan toimitusketjujen kehittäminen ekosysteemiajattelun avulla (Diplomityö). Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere.
- Ranta, V., Aarikka-Stenroos, L., Ritala, P., Mäkinen, S., 2018. Exploring institutional drivers and barriers of the circular economy: A crossregional comparison of China, the US and Europe. *Resources, Conservation and Recycling*, Elsevier Vol. 135, 70–82. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.017>
- Rasmussen, F.N., Birkved, M., Birgisdottir, H., 2019. Upcycling and Design for Disassembly e LCA of buildings employing circular design strategies. Presented at the IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.
- Reang, R., Kumar Pal, S., 2018. Strength Behaviours of the Clayey-Silt Soil Mixed with Fly Ash and Sand, in: *Ground Improvement Techniques and Geosynthetics, Lecture Notes in Civil Engineering*. Springer, India, pp. 105.
- Roberti, J., Tookey, J., Ying, J., 2013. SCM competencies in construction: issues and challenges

in *New Zealand Journal of Engineering, Design and Technology*, 522–538.

Saarinen, A., 2021. Financial drivers and inhibitors of circular economy business (Diplomityö). Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere.

Salami, E., Aydinli, S., Oral, E., 2016. Barriers to the Implementation of Supply Chain Management-Case of Small to Medium Sized Contractors in Turkey. *Int. J. Sci. Res.*, 516–520.

Salminen, A., 2011, Mikä on kirjallisuuskatsaus? Opetusjulkaisu, Vaasan Yliopiston julkaisuja.

Sanchez, B., Haas, C., 2018. Capital project planning for circular economy. *Construction Management Economics* Vol. 36, 303–312.

Simons, A., Bertron, A., Roux, C., Laborel-Preneron, A., Aubert, J.-E., Roques, C., 2019. Susceptibility of Earth-Based Construction Materials to Fungal Proliferation: Laboratory and in Situ Assessment. *RILEM Tech Lett*, 140–149.

Swift, J., Ness, D., Kim, K.P., Gelder, J., 2017. Towards adaptable and reusable building elements: harnessing the versatility of the construction database through RFID and BIM towards adaptable and reusable building elements: harnessing the versatility of the construction database through RFID and BIM. *Proceedings for the UAI 2017 Seoul World Architects Congress*, 1–7.

Taghavi, E., Alireza, F., Kuan, Y.W., Seyed, A.H., 2021. Identifying and prioritizing the effective factors in the implementation of green supply chain management in the construction industry. *Sustainable Operations and Computers*, 97–106.

Teittinen, T., 2019. Uusiomaarakentamisen ympäristövaikutusindikaattorit ja päästölaskenta tie- ja katurakentamisessa (Diplomityö). Aalto-yliopisto, Espoo.

Torniainen, S., Sikiö, M.-T., 2018. Uusiomateriaalien käytön ohjeistus ja hankekäytännöt: Kehitystarpeet ja mahdollisuudet tierakentamisessa (No. 1241), Liikenneviraston julkaisut. Liikennevirasto.

van Weele, A., 2010. Purchasing and Supply Chain Management. Cengage Learning EMEA.

Vrijhoef, R., Koskela, L., 2000. The Four Roles of Supply Chain Management in Construction. European Journal of Purchasing & Supply Management Vol. 6, 169–178.

Välikangas, H., 2017. Liiketoimintamahdollisuuksien tunnistaminen teollisuuden jätteistä ja sivutuotteista (Diplomityö). LUT-University, Lappeenranta.

Väylävirasto, 2018. Syvästabiloinnin suunnittelu. [Verkkodokumentti], [Luettu 31.8.2021], Saatavilla: https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2018-17_syvastabiloinnin_suunnittelu_web.pdf

Xinyu, W., Prybutok, V., Sauser, B., 2021. Review of supply chain management within project management. Project Leadership and Society Vol. 2. <https://doi.org/10.1016/j.plas.2021.100013>

Ympäristöhallinto, 2021. Jätteiden hyödyntäminen maarakentamisessa, [Verkkosivu]. [Viitattu 31.8.2021]. Saatavilla: https://www.ymparisto.fi/fi-fi/asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/luvat_ilmoitukset_ja_rekisterointi/ysln_kertaluonteisen_toiminnan_ilmoitusmenettely/Jatteiden_hyodyntaminen_marakentamisessa

Ympäristöministeriö, 2018. Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa – Soveltamisohje.

LIITTEET

Liite 1/2: Päästölaskentaesimerkin mukaisen esimerkkirakenteen lähtötiedot

	Yksikkö	Määrät
Pintamaan poisto		
Pintamaan poiston ala	m ²	17300
Määrä	m ³ rtr	3460
Pilaristabilointi		
k/k-väli	m	1.05
Pilarin ala	m ²	0.385
Pilareita	kpl	15692
Pilaritiheys	kpl/m ²	0.91
Pilaripituus	m	10
Stab. Juoksumetrit	m	156920
Pinta-ala	m ²	6038
Pilarin halkaisija	m	0.70
Sideainetta tarvitaan	kg/m ³	100
Sideainemäärä	tn	6039
Penger		
Ala	m ²	29.52
Tilavuus	m ³	29520
Suodatinkangas		
Piiri	m	20
Ala	m ²	20000
Päällyste (AB)		
Pinta-ala	m ²	10000
Paksuus	mm	190
Nimellispaksuus	kg/m ²	475
Kantava kerros		
Määrä	m ³	1659
Ala	m ²	10000
Jakava Kerros		
Määrä	m ³	4349
Ala	m ²	10000

(Teittinen, 2019)

Liite 2/2: MARA-asetuksen mukaisesti hyödynnettävät jätteet (VNa 843/2017)

Jäte	Jätenimikkeet	Hyödyntämiskohde
Betonimurske, kevytbetoni- ja kevytsorajätteet	(10 13 14), (17 01 01), (17 01 07) ja (19 12 12)	Väylä- ja kenttärakenteet, teollisuus- ja varastorakennusten pohjarakenteet
Kivihiilen, turpeen tai puupe- räisen aineksen polton lentotuhkat, pohjatuhkat ja leijupetihiekka	(10 01 02), (10 01 03), (10 01 17) ja (19 01 14), (10 01 01), (10 01 15) ja (19 01 12), sekä (10 01 24) ja (19 01 19)	Väylä- ja kenttärakenteet, tuhkamursketiet, teollisuus- ja varastorakennusten pohjarakenteet, stabi- loinnin sideaineena
Tiilimurske	(10 12 08) (vain tiilijäte) ja (17 01 02)	Väylä- ja kenttärakenteet, vallirakenteet, teollisuus- ja varastorakennusten pohjarakenteissa
Asfalttimurske- ja rouhe	(17 03 02)	Väylä- ja kenttärakenteet
Käsitelty jätteenpolton kuona	(19 01 12), (19 12 09) tai (19 12 12)	Väylä- ja kenttärakenteet, teollisuus- ja varastorakennusten pohjarakenteet
Valimohiekat	(10 09 08), (10 09 12), (10 10 08), (10 10 12)	Väylä- ja kenttärakenteet, teollisuus- ja varastorakennusten pohjarakenteet
Kalkit	(10 13 04), (10 13 01), (10 13 13), (03 03 09)	Väylä- ja kenttärakenteet, teollisuus- ja varastorakennusten pohjarakenteet
Kokonaiset renkaat ja rengasrouhe	(16 01 03)	Väylä- ja kenttärakenteet, teollisuus- ja varastorakennusten pohjarakenteet, vallirakenteet