Aalto-yliopisto
Insinööritieteiden korkeakoulu

Sami Häkkinen

# Betonijätteen hyödyntämisen toimintamallit maarakentamisessa

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 26.07.2019
Valvoja: Professori Jaana Sorvari
Ohjaajat: DI Jaakko Kivi, Ins. AMK Tuomo Joutsenoja sekä DI Malin zu Castell-Rüdenhausen

Aalto-yliopisto
Insinööritieteiden korkeakoulu

Aalto-yliopisto, PL 11000, 00076 AALTO
www.aalto.fi

**Diplomityön tiivistelmä**

**Tekijä** Sami Häkkinen

**Työn nimi** Betonimurskeen hyödyntämisen toimintamallit maarakentamisessa

**Koulutusohjelma** Water and Environmental Engineering **Koodi** WAT

**Työn valvojat** Professori Jaana Sorvari

**Työn ohjaaja(t)** DI Jaakko Kivi, Ins. AMK Tuomo Joutsenoja & DI Malin zu Castell-Rüdenhausen

**Päivämäärä** 26.07.2019 **Sivumäärä** 87 **Kieli** Suomi

**Tiivistelmä**

Betonijätteen hyödyntämisellä maarakentamisessa on Suomessa pitkät perinteet, sillä betonimursketta on jo useita vuosikymmeniä käytetty korvaamaan luonnon kiviainesta, ja se on käytetyin uusiomateriaali maarakentamisessa. Tämän diplomityön tarkoituksena oli perehtyä tarkemmin betonimurskeen tuottamisen eri toimintamalleihin ja vertailla näitä toimintamalleja muun muassa päästöjen ja lupamenettelyjen suhteen. Lisäksi esitellään tarkemmin toimintamalli, joka ei ole vielä vakiintunut alalla. Työssä vertailtiin kuljetuksesta ja lastauksesta aiheutuneita kasvihuonekaasupäästöjä kolmella eri laskentaesimerkillä ja tutkittiin hallinnollisia käytäntöjä asiantuntijahaastattelujen avulla. Päästölaskenta tehtiin Excel-ohjelmaan luodulla päästölaskentatyökalulla ja ajoneuvojen päästötiedot saatiin LIPASTO-tietokannasta.

Päästölaskentaesimerkkien tulosten mukaan kuljetuksen ja lastauksen $CO_2$-päästöt voivat vaihdella huomattavasti eri toimintamallien välillä. Optimoimalla ja mahdollistamalla betonijätteen murskaus joko purkukohteessa tai hyödyntämiskohteessa voidaan usein vähentää raskaasta liikenteestä aiheutuvia haittoja. Mikäli hyödyntämiskohde ei kuitenkaan ole aikaisessa vaiheessa tiedossa, laitosmainen betonimurskeen tuotanto on välttämätöntä, sillä laitoksilla on asianmukaiset luvat käsitellä ja varastoida betonijätettä. Haastateltujen asiantuntijoiden mukaan pääkaupunkiseudulla on riittävä määrä kiinteitä betonimurskeen tuotantolaitoksia ja niiden sijainnit ovat kuljettamisen ja hyödyntämisen kannalta keskeisiä.

Asiantuntijahaastatteluissa selvisi, että erityisesti betonijätteen käsittelyyn liittyvät lupa- ja ilmoitusmenettelyt eivät ole täysin yksiselitteisiä. Esimerkiksi meluilmoituksella murskaaminen purkutyömailla on menettely, johon kaivattaisiin tarkempia ohjeistuksia, sillä lähtökohtaisesti menettely on lainsäädännön vastainen. Betonijätteen käsittelyn osalta kaivattiin yleisestikin yhtenäisempää ja sujuvampaa ilmoitus-/rekisteröintimenettelyä, sillä ympäristöluvan käsittelyajat ovat pitkittyneet merkittävästi. Ympäristölupamenettelyä pidettiin myös betonin murskauksen ympäristövaikutuksiin nähden ylimitoitettuna menettelytapana. Lisäksi tuleva End-of-Waste-asetus (EoW) on muuttamassa betonimurskeiden hyödyntämistä merkittävästi. Asetus mahdollistaa sen, että tietyt kriteerit täyttäessään betonimurske lakkaa olemasta jätettä ja sitä voi hyödyntää tavallisen kiviaineksen tapaan.

**Avainsanat** Betonimurske, betonijäte, uusiomateriaali, päästölaskenta, toimintamalli, meluilmoitus, maarakentaminen, End-of-Waste

Aalto University
School of Engineering

Aalto University, P.O. BOX 11000, 00076 AALTO
www.aalto.fi

**Abstract of master's thesis**

**Author** Sami Häkkinen

**Title of thesis** Operating models of producing crushed concrete for earth construction

**Degree programme** Master's programme in Water and Environmental Engineering

**Major/minor** Water and Environmental Engineering **Code** WAT

**Thesis supervisor** Professor Jaana Sorvari

**Thesis advisor(s)** M.Sc. (Tech.) Jaakko Kivi, B. Eng. Tuomo Joutsenoja & M.Sc. (Tech) Malin zu Castell-Rüdenhausen

**Date** 26.07.2019 **Number of pages** 87 **Language** Finnish

**Abstract**

Using waste concrete as an aggregate in earth construction has long traditions in Finland. Crushed concrete has been used for several decades to replace natural rock materials and at the moment, it is the most common secondary material in earth construction. The purpose of this thesis was to study how crushed concrete is produced and what are the different procedures. Therefore, the different procedures were compared by their emissions and their permit processes. Also, this thesis introduces one uncommon procedure. Emissions from transportation and loading between different operating models were compared using three different scenarios, while administrative practices were studied based on expert interviews.

According to the results of emission calculations, the differences in $CO_2$-emissions between different operating models can be relatively high. By optimising and enabling crushing at construction sites or at reclaiming sites, emissions from the transportation can be reduced quite significantly. If the reclaiming site is unknown at early phases of construction or demolition, fixed sites, where crushed concrete can be produced, are necessary, because these fixed sites have the essential permits to treat and store concrete waste. According to the experts, there are enough of fixed crushed concrete production sites in the Helsinki region and their locations are central relative to transportation distances.

According to the expert interviews, permit and notification processes related to treating concrete waste are ambiguous. For example, crushing concrete waste based on noise notification at demolition sites is a procedure needing clearer instructions. Overall, the experts called for more coherent and fluent notification and registration procedure for crushing concrete. Environmental permit was considered an unnecessary heavy process for managing concrete waste, because the environmental effects of crushing concrete are minor. The upcoming national decree related to the End-of-Waste status of crushed concrete, will change its utilization significantly because this decree enables that crushed concrete ceases to be a waste and can therefore be used similarly to virgin rock material.

**Keywords** Concrete waste, Crushed concrete, secondary material, emission calculation, operating model, noise notification, earth construction, End-of-Waste

# Alkusanat

Tämä diplomityö on tehty opinnäytetyöksi Aalto-yliopiston Insinööritieteiden korkeakoulun Rakennetun ympäristön laitokselle. Kiitokset professori Jaana Sorvarille kullanarvoisista kommenteista sekä työn valvomisesta.

Diplomityön tarkoituksena oli tarkastella maarakentamisessa käytetyimmän uusiomateriaalin, betonimurskeen tuotantoa suurempana kokonaisuutena. Työn tilaajana toimi Kreate Oy ja se on tehty yhteistyössä VTT Oy:n kanssa. Diplomityön ohjaajina toimivat Tuomo Joutsenoja sekä Jaakko Kivi Kreate Oy:lta ja Malin zu Castell-Rüdenhausen VTT Oy:lta. Haluankin kiittää Tuomoa, Jaakkoa sekä Malinia työn ohjauksesta, tsemppaamisesta sekä rakentavista ja inspiroivista kommenteista. Kiitos myös diplomityötä rahoittaneelle Jätehuoltoyhdistys ry:lle.

Kiitos asiantuntijahaastatteluihin osallistuneille henkilöille. Haastattelut olivat erittäin opettavaisia ja oli ilo huomata, että kiireisiltä alan johtavilta ammattilaisilta löytyy aikaa tutkimukselle. Lopuksi haluaisin vielä kiittää neitokaistani, perhettäni sekä ystäviäni korvaamattomasta tuesta. Eiköhän tämän tutkinnon jälkeen opinnot ala olla paketissa.

Järvenpää heinäkuu 2019

Sami Häkkinen

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä
Abstract
Alkusanat
Sisällysluettelo ..... 5
Lyhenteet ..... 7
Käsitteet ..... 8
1 Johdanto ..... 10
1.1 Työn tausta ..... 10
1.2 Elinkaariarviointi infrarakentamisessa ..... 12
1.3 Työn rakenne, tavoitteet ja rajaukset ..... 13
2 Betonimurske maanrakennusmateriaalina ..... 15
2.1 Yleistä betonimurskeesta ..... 15
2.2 Vaikutukset ympäristöön ..... 16
2.3 Betonimurskeen valmistusmenetelmät ..... 17
2.3.1 Pulverointi ..... 17
2.3.2 Murskaus ja seulonta ..... 18
2.4 Betonimurskeen valmistuskustannukset ..... 20
2.5 Käyttöön ja käsittelyyn liittyvät säädökset, luvat ja ilmoitukset ..... 22
2.5.1 Jätelaki ..... 22
2.5.2 Ympäristölupa ..... 23
2.5.3 Kunnan ympäristönsuojelumääräykset ..... 24
2.5.4 Rekisteröintimenettely (MARA-asetus, VNa 843/2017) ..... 25
2.5.5 Meluilmoitusmenettely ..... 26
2.5.6 CE-merkintä ..... 27
2.5.7 EoW-kriteeristö ja sen soveltaminen Suomessa ..... 27
2.6 Käytäntöjä muissa Pohjoismaissa ..... 29
3 Tutkimusaineisto ja menetelmät ..... 30
3.1 Tarkastellut toimintamallit ..... 30
3.1.1 Toimintamalli 1: Laitosmainen tuotanto/Kiinteä laitos ..... 30
3.1.2 Toimintamalli 2: Tuotanto purkutyömailla ..... 33
3.1.3 Toimintamalli 3: Tuotanto hyödyntämiskohteessa ..... 36
3.1.4 Toimintamalli 4: Betonilouheen ja suurten kappaleiden hyödyntäminen maarakentamisessa ..... 38
3.2 Elinkaaritarkastelu ..... 39
3.2.1 Päästölaskenta: työkalu ja lähtötiedot ..... 39
3.2.2 Kuljetukset eri laskentaesimerkeissä ..... 43
3.2.3 Tapaustarkastelu 1 ..... 44
3.2.4 Tapaustarkastelu 2 ..... 46
3.2.5 Tapaustarkastelu 3 ..... 48
3.2.6 Tapaustarkastelun 1 raja-arvotarkastelu ..... 49
3.3 Asiantuntijahaastattelut ..... 49
4 Tulokset ..... 50
4.1 Päästölaskenta ..... 50
4.1.1 Tapaustarkastelu 1 ..... 50
4.1.2 Tapaustarkastelu 2 ..... 52
4.1.3 Tapaustarkastelu 3 ..... 54

4.1.4 Tapaustarkastelun 1 raja-arvotarkastelu ..... 56
4.2 Asiantuntijahaastattelujen yhteenveto ..... 58
4.2.1 Toimintamallien haasteet ..... 58
4.2.2 Betonijätteen käsittelyyn liittyvä hallinto ..... 60
4.2.3 Suuren palakoon betonin hyödyntäminen ..... 61
5 Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset ..... 62
5.1 Kuljetuksesta ja lastauksesta aiheutuvat päästöt eri toimintamalleissa ..... 62
5.2 Betonijätteen murskaaminen ja siihen liittyvät viranomaismenettelyt ..... 64
5.3 Betonijätteen hyödyntämisen toimintamallit maarakentamisessa ..... 65
5.4 Kehitystarpeet ja tulevaisuuden näkymät ..... 67
6 Yhteenveto ja jatkotutkimustarpeet ..... 69
Lähdeluettelo ..... 72
Haastattelut ..... 76
Liiteluettelo ..... 78

# Lyhenteet

| | |
|---|---|
| BeM | Betonimurske (voidaan jakaa luokkiin I-IV) |
| CO | Hiilimonoksidi |
| $CO_2$ | Hiilidioksidi |
| Cr | Kromi |
| Ekv. | Ekvivalentti |
| ELY-keskus | Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus |
| EoW | End-of-Waste (Jäteluokituksen päättyminen) |
| EU | Euroopan Unioni |
| InfraRYL | Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset |
| LCA | Elinkaariarviointi (Life Cycle Assessment) |
| LIPASTO | Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen laskentatietokanta |
| MARA | Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa, VNa (843/2017) |
| MURAUS | Valtioneuvoston asetus kivenlouhimojen, muun kivenlouhinnan ja kivenmurskaamojen ympäristönsuojelusta, VNa (800/2010) |
| $m^3$rtr | Teoreettinen rakennetilavuus |
| $NO_x$ | Typen oksidit |
| SFS | Suomen Standardisoimisliitto |
| $SO_2$ | Rikkidioksidi |
| SYKE | Suomen ympäristökeskus |
| SVHC | Substances of very high concern eli erityistä huolta aiheuttavat aineet |
| TUKES | Turvallisuus- ja kemikaalivirasto |
| VNa | Valtioneuvoston asetus |
| VTT Oy | Teknologian Tutkimuskeskus Oy |
| YSL | Ympäristönsuojelulaki (527/2014) |
| YVA | Ympäristövaikutusten arviointi -menettely |

## *Käsitteet*

**Betonijäte**

Tässä diplomityössä tarkoitetaan betonijätteellä rakenteista, kuten rakennuksista tai silloista poistettua tai betoniteollisuudesta syntynyttä ylijäämäbetonia. Betonijätettä voidaan hyödyntää maarakentamisessa esimerkiksi murskeena tai louheena.

**Betonilouhe**

Tässä diplomityössä tarkoitetaan betonilouheella MARA-asetuksessa (VNa 843/2017) määritellyn 90 mm enimmäispalakoon ylittävää betonijätettä. Betonilouheen hyödyntäminen maarakentamisessa on aina ympäristöluvanvaraista toimintaa.

**Betonimurske**

Tässä diplomityössä tarkoitetaan betonimurskeella enintään 90 mm palakokoon käsiteltyä betonijätettä, joka täyttää MARA-asetuksessa (VNa 843/2017) asetetut raja-arvot ja tekniset vaatimukset. Käsittelymenetelmänä betonimursketta tuotettaessa on aina murskaus joko siirrettävällä murskauslaitoksella tai kauhamurskaimella.

**Hyödyntämiskohde**

Tässä diplomityössä tarkoitetaan hyödyntämiskohteella maanrakennustyömaata, jossa voidaan käyttää betonimursketta eri rakennekerroksissa. Hyödyntämiskohteessa voi olla myös tarvittavat tilat järjestää betonijätteen vastaanotto sekä käsittely.

**Kasetti- /Täysperävaunuyhdistelmäajoneuvo**

Ajoneuvoyhdistelmä, joka koostuu vetoajoneuvosta ja yhdestä tai useammasta perävaunusta.

**Kiinteä laitos**

Tässä diplomityössä kiinteällä laitoksella viitataan laitosmaiseen tuotantoon. Kiinteällä laitoksella on ympäristölupa betonijätteen käsittelyä varten ja ympäristölupa on sijoituspaikkakohtainen. Kiinteällä laitoksella ei tarkoiteta itse murskauslaitosta, sillä usein kiinteillä laitoksilla käsittely tapahtuu siirrettävällä murskauslaitoksella.

**Maarakentaminen/maanrakennus**

Esimerkiksi louhiminen, erilaisten rakennekerrosten rakentaminen ja maankaivu ovat yleisiä esimerkkejä maarakentamisesta.

**Puoliperävaunuyhdistelmä**

Ajoneuvoyhdistelmä, joka koostuu vetopöydällä varustetusta kuorma-autosta sekä puoliperävaunusta.

**Purkubetoni**

Purkubetoni on lajittelevan purun seurauksena syntynyttä betonijätettä, jossa epäpuhtaudet, kuten puu, muovi ja eristeet on huolellisesti eroteltu. Purkubetoni on peräisin puretusta rakenteesta, kuten rakennuksesta tai sillasta.

**Päästölaskenta**

Tässä diplomityössä päästölaskennalla viitataan kuljetuksesta ja lastauksesta aiheutuneiden $CO_2$ -päästöjen laskennalliseen arvioimiseen.

**Toimintamalli**

Tässä diplomityössä toimintamallilla tarkoitetaan prosessia, johon kuuluvat betonijätteen kuljetus, varastointi, käsittely sekä hyödyntäminen maarakentamisessa. Erilaisissa toimintamalleissa muun muassa kohteiden väliset kuljetukset tai käsittelyn sijainti vaihtelevat.

**Uuma 3-hanke**

Yhteystyöfoorumi, jonka tarkoituksena on edistää uusiomaarakentamista Suomessa. Foorumi kokoaa yhteen keskeisiä maarakentamisen alan toimijoita.

**Uusiomateriaali**

Tässä diplomityössä uusiomateriaaleilla tarkoitetaan MARA-asetuksen (VNa 843/2017) mukaisia jätteitä sekä asetuksen ulkopuolisia materiaaleja, kuten metsäteollisuuden sivutuotteita, jotka soveltuvat maarakentamiseen joko sellaisenaan tai jalostettuna käytettäviksi eri rakennekerroksissa.

**Ympäristövaikutus**

Tässä diplomityössä ympäristövaikutuksella tarkoitetaan jonkin tekijän (esimerkiksi betonimursketuotanto) aiheuttamia muutoksia ympäristön laadussa. Tällaisia muutoksia ovat muun muassa lisääntynyt hiilidioksidin, pölyn ja melun määrä.

# 1 Johdanto

## 1.1 Työn tausta

Rakentaminen kuluttaa valtavia määriä kiviainesta vuosittain. Suomessa käytetään vuodessa keskimäärin noin 100 miljoonaa tonnia kiviainesta talo- ja infrarakentamiseen (Lonka & Loukola-Ruskeeniemi, 2015). Erityisesti infrarakentaminen vaatii suuria määriä kiviaineksia. Esimerkiksi yhden omakotitalon ja sen pihapiirin rakentamiseen tarvitaan 250-400 tonnia kiviainesta. Väylärakentamisessa määrät ovat vielä huomattavasti suurempia; kilometriin maantietä tarvitaan 17 000-24 000 tonnia kiviainesta (Palolahti ym., 2014).

Suomessa neitseellisiä sora- ja kiviainesvarantoja on vielä runsaasti, mutta nämä varannot sijaitsevat yhä kauempana kasvukeskuksista, joissa valtaosa rakentamisesta tapahtuu. Eräillä jätejakeilla, kuten esimerkiksi betonimurskeella ja energiantuotannon tuhkilla, voidaan korvata luonnon kiviaineksia eri rakennekerroksissa (Inkeröinen & Alasaarela, 2010). Rakentaminen erityisesti kasvukeskuksissa tapahtuu usein vanhoille teollisuusalueille, joissa on jo olemassa olevia rakennuksia ja rakenteita. Uudistuotannon tieltä nämä vanhat rakenteet puretaan, jolloin esimerkiksi betoni- ja tiilijätettä syntyy lähempänä rakentamista kuin esimerkiksi luonnonkiviainesta (Häkämies ym., 2018).

Vuonna 2018 astui voimaan uusi valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa eli niin sanottu MARA-asetus (VNa 843/2017). MARA-asetus mahdollistaa tiettyjen jätteiden, kuten betoni- ja tiilijätteen ja tuhkien hyödyntämisen ilman ympäristösuojelulain mukaista ympäristölupaa, kunhan asetuksen mukaiset vaatimukset täyttyvät. Asetuksen mukaisten vaatimusten täyttyminen osoitetaan rekisteröinti-ilmoituksella, jonka käsittelee paikallinen ELY-keskus. Asetuksen tavoitteena on helpottaa ja lisätä uusiomateriaalien hyödyntämistä kohteissa, joissa jätemateriaali soveltuu luonnon kivi- ja maa-aineksen korvaajaksi. Samalla tarkoitus on vähentää näiden materiaalien päätymistä kaatopaikoille (Ympäristöministeriö, 2018). Uuden MARA-asetuksen myötä kumoutui aikaisempi valtioneuvoston asetus (VNa 591/2006). Uudella asetuksella pyritään lisäämään jätteiden hyödyntämistä ja täten edistämään kiertotaloutta sekä kestävää luonnonvarojen käyttöä. Asetuksessa on esitetty vaatimuksia, joiden täyttyessä jätteen hyödyntämiseen ei tarvita ympäristösuojelulain (527/2014) mukaista ympäristölupaa (YSL 527/2014) vaan jätteiden hyödyntäminen tapahtuu viranomaiselle tehtävällä rekisteröinti-ilmoituksella (Ympäristöministeriö, 2018). Asetuksen piiriin kuuluvia jätteitä ovat muun muassa betoni- ja tiilijäte, energiantuotannon tuhkat, jätteenpolton kuonat sekä käytetyt autonrenkaat.

Betonijätteen hyödyntämisellä maarakentamisessa on Suomessa pitkät perinteet, sillä sitä on jo useita vuosikymmeniä käytetty maassamme korvaamaan luonnon kiviainesta (Paalanen, 2017). Betonijätettä syntyy Suomessa noin 1,5 miljoonaa tonnia, josta arviolta 60-80 % tulee purkutyömailta ja loput betoniteollisuudesta (Forsman & Dettenborn, 2019). Betonijätteestä noin 70-80 % pystytään hyödyntämään pääosin maarakentamisessa, kuten väylien tai pohjarakenteiden eri rakennekerroksissa (Pajukallio ym., 2011). Ontelolaattatuotannossa syntyvä betonijäte ei pääasiassa sisällä epäpuhtauksia, jonka vuoksi sen käsittely on huomattavasti helpompaa. Purkutyömailta muodostuva betonijäte on niin sanotun lajittelevan purun seurausta, jossa epäpuhtaudet, kuten puu, muovi ja eristeet on huolellisesti eroteltu rakenteesta ennen varsinaista purkua (Pajukallio ym., 2011).

Betonimurskeesta puhutaan usein yhtenäisenä materiaalina, vaikka Suomessa on ollut 2000-luvulta saakka luokittelujärjestelmä, jossa betonimurske jaetaan neljään eri laatuluokkaan, BeM I-IV. Jokaiselle laatuluokalle on asetettu tiettyjä laatuvaatimuksia sekä sovelluskohteita (Rudus, 2017).

Betonijätteen osalta suurimpia muutoksia uudessa MARA-asetuksessa (VNa 843/2017) verrattuna kumottuun MARA-asetukseen (VNa 591/2006) on hyödynnettävän betonimurskeen palakoon pieneneminen 150 millimetristä 90 millimetriin. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että vanhan MARA-asetuksen mukainen pulverointi (katso kappale 2.3.1), ei enää riitä käsittelymenetelmäksi betonimurskeen valmistamisessa vaan betonijäte on murskattava esimerkiksi leuka-, kartio- tai iskupalkkimurskaimella (Wahlström ym., 2005). Pulveroinnin katsotaan sisältyvän varsinaiseen purkutoimintaan, sillä usein purkutyömaalla syntyvä betonijäte on pulveroitava purkupaikalla esimerkiksi poiskuljetuksen mahdollistamiseksi. Näin ollen pulverointi ei vaadi ympäristönsuojelulain (527/2014) mukaista ympäristölupaa tai ympäristösuojelulain 118 § mukaista ilmoitusta melua ja tärinää aiheuttavasta toiminnasta (meluilmoitus).

Ympäristövaikutusten arviointi niin talo- kuin infrarakentamisessa on kasvamassa suurempaan rooliin, sillä niin valtio- kuin kuntatasolla on asetettu useita tavoitteita päästöjen vähentämiseksi. Lyhentämällä kuljetusmatkoja ja parantamalla materiaalitehokkuutta voidaan vähentää infrarakentamisesta aiheutuvia päästöjä. Lisäämällä uusiomateriaalien käyttöä voidaan edistää kiertotaloutta, säästää neitseellisiä luonnonvaroja ja edesauttaa päästöjen vähennystavoitteiden saavuttamista, mutta hyödyntämisen tulee olla suunnitelmallista ja optimoitua niin kustannusten kuin päästöjenkin osalta. Erityisesti pääkaupunkiseudun ulkopuolella, missä betonijätettä syntyy arviolta noin puolet kaikesta Suomessa syntyvästä betonijätteestä (Forsman & Dettenborn, 2019), kuljetusmatkat purkutyömaiden ja asianmukaiset luvat omistavien laitosten välillä voivat olla useita kymmeniä kilometrejä. Hyödyntämiskohteet voivat olla myös kaukana kiinteistä laitoksista, jolloin välimatkat kasvavat entisestään.

Suomessa on kehitetty yhdessä ympäristöministeriön ja Green Building Council:n kanssa rakennusten hiilijalanjäljen arviointimenetelmää. Arviointimenetelmä oli lausuntokierroksella vuoden 2018 lopulla, ja sen odotetaan olevan valmis vuoden 2019 aikana. Green Building Council on myös kehittänyt vuonna 2013 talonrakennuksen hiilijalanjäljen laskentaan ohjeistuksen, jossa ohjeistetaan tarkemmin, mitkä vaiheet tulisi ottaa huomioon päästölaskennassa. Kyseisessä ohjeistuksessa on myös tarkasteltu uusiomateriaaleja ja mitkä eri vaiheet huomioidaan päästölaskennassa. Esimerkiksi jätteistä jalostettujen materiaalien kohdalla tarkasteltavia vaiheita ovat jalostaminen, kuljetus ja asennus (Green Building Council, 2018).

Ympäristöministeriö on myös kehittämässä samanlaista työkalua infrarakentamiselle, mutta vielä tällä hetkellä arviointimenetelmä on vasta kehitysasteella, eikä infrarakentamisen päästölaskennalle ole yhdenmukaisia pelisääntöjä. Eri laskentaohjelmilla tehdyt laskelmat antavat erilaisia tuloksia, jotka eivät näin ollen ole vertailukelpoisia keskenään (Ramboll, 2017). Vuonna 2019 julkaistu diplomityö (Teittinen, 2019) tarkastelee päästölaskentaa tie- ja katurakentamisessa sekä uusiomaarakentamisen ympäristövaikutusindikaattoreita.

## 1.2 Elinkaariarviointi infrarakentamisessa

Infrarakentamisesta aiheutuu ympäristövaikutuksia monessa eri muodossa. Infrarakentamisessa merkittäviä päästölähteitä on erilaisten rakennusmateriaalien valmistaminen (esimerkiksi asfaltti ja betoni), logistiikasta aiheutuva liikenne sekä työkoneet. Liikennettä aiheutuu muun muassa materiaalien toimituksista sekä työmaalle että työmaalta poispäin (Pasanen & Miilumäki, 2017). Ympäristövaikutusten arviointi, kuten elinkaariarviointi ei ole kuitenkaan vielä vakiintunut käytäntö Suomen infrarakentamisessa. Muutamia laskentatyökaluja on kehitetty tähän tarkoitukseen, kuten Teknologian tutkimuskeskus VTT:n MELI-laskentatyökalu sekä Rapal Oy:n Rola-työkalu, jota käytettiin esimerkiksi Helsingin Kivikon eritasoliittymän $CO_2$-päästöjen laskennassa (Aulakoski ym., 2014). Vaikutustarkastelussa keskitytään yleensä $CO_2$-päästöihin ja arviointi rajataan usein pelkästään rakennusvaiheeseen. Muissa Pohjoismaissa, kuten Ruotsissa ja Norjassa, infrarakentamisen elinkaariarviointi on vakiintuneempaa. Esimerkiksi Ruotsissa Trafikverket (Ruotsin väylävirasto) velvoittaa ympäristövaikutusten arviointiin kaikissa yli 50 miljoonan kruunun infrahankkeissa. Norjassa puolestaan kaikissa rakennushankkeissa, jotka ovat Norjan Statsbyggin (Norjan valtion rakennuttaja) ohjaamia, vaaditaan hiilijalanjälkilaskenta (Pasanen & Miilumäki, 2017).

Suomessa infrarakentamisen päästölaskentaa ollaan kuitenkin kehittämässä ja esimerkiksi Väyläviraston ohjeluonnoksessa uusiomateriaalien käytön suhteen onkin esitetty, että esimerkiksi eri rakennevaihtoehtojen ilmastopäästöjen vertailu tulee tehdä elinkaariarviointilaskelmilla (Väylä, 2019a). Tällä hetkellä ei kuitenkaan ole vielä yleistä ohjeistusta ilmastovaikutusten laskemiselle, minkä vuoksi Väylävirasto on esittänyt joitain perussääntöjä, joita voidaan käyttää eri rakennevaihtoehtojen vertailussa. Väyläviraston ohjeluonnos on kommenteilla keväällä 2019, jonka vuoksi voi olla, että perussääntöihin ja ilmastopäästöjen laskentaan tulee vielä täsmennyksiä (Väylä, 2019a).

Indikaattoreiden avulla voidaan tarkastella toiminnan ympäristövaikutuksia. Indikaattoreiden on tarkoitus toimia apuvälineinä päätöksentekijöille, jotta tulevat toimet voitaisiin tehdä mahdollisimman kestävästi (Ness ym., 2007). On kuitenkin olemassa indikaattoreita, joita on vaikea määrittää laskennallisesti. Näissä tapauksissa indikaattorina voi olla muun muassa altistuvien ihmisten määrä (Korkiala-Tanttu ym., 2006). Hiilijalanjälki on ehkä kansainvälisesti tunnetuin indikaattori, jonka avulla voidaan kuvata toiminnasta tai tuotteesta syntyvät kasvihuonekaasupäästöt. Hiilijalanjälki ilmoitetaan usein hiilidioksidiekvivalenttipäästöinä, johon on sisällytetty myös muita kasvihuonekaasuja, kuten metaani ($CH_4$) ja dityppioksidi ($N_2O$) (Aulakoski ym., 2014).

Uusiomateriaalien, kuten betonimurskeen, hyödyntämisellä voidaan vähentää infrarakentamisesta aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä. Hyödyntämällä lähialueilla muodostuvaa betonijätettä maarakentamisessa pienennetään usein liikenteen aiheuttamia päästöjä. Lisäksi betonimurskeella korvataan luonnon kivimateriaalia, jonka tuotannosta muodostuu myös päästöjä. Samalla säästetään neitseellisiä luonnonvaroja. Mikäli betonijätettä ei hyödynnetä maarakentamisessa, se sijoitettaisiin todennäköisesti kaatopaikoille. Tällöin betonin valmistukseen käytetyt luonnonvarat menetettäisiin kierrosta.

Uusiomateriaalien hyödyntämisessä elinkaariarvioinnin kohteena olevien prosessien rajaaminen voi olla haastavaa. Esimerkiksi betonimurskeen osalta tuloksiin vaikuttaa paljon, aloitetaanko tarkastelu jo betonin valmistamisesta, jätestatuksen vai vasta itse tuotteen (betonimurskeen) muodostumisesta (Andersson ym., 2014). Vielä tällä hetkellä ei ole yhtenäistä

ohjeistusta siitä, mitkä kaikki vaiheet tulee ottaa huomioon uusiomateriaalien päästölaskennassa (Teittinen, 2019).

Betonimurskeen päästölaskentaan vaikuttaa myös betonimurskeen kyky sitoa hiilidioksidia ilmakehästä (karbonatisoituminen). Karbonatisoitumista tapahtuu jo, kun betoni on sijoitettu esimerkiksi rakennuksiin, mutta karbonatisoituminen kiihtyy, kun betoni murskataan ja pinta-ala kasvaa (Engelsen, 2005). Esimerkiksi Ruduksen teettämien tutkimusten mukaan välivarastossa sijaitsevaan betonimurskeeseen voi sitoutua suuria määriä hiilidioksidia jo muutamassa vuodessa eli 10-20 % valmistuksessa syntyneestä määrästä (Rudus, 2014). Hiilidioksidia sitoutuu betonimurskeeseen vielä esimerkiksi tien rakennekerroksissa, mutta sitoutuminen on hitaampaa päällä olevien rakennekerrosten vuoksi sekä syvemmälle betonin pinnan alle mentäessä. Kun betonimurske on ollut 30 vuotta esimerkiksi tien rakennekerroksissa, se on saavuttanut 66 % sementin karbonatisoitumispotentiaalista (Saarinen, 2015).

Mikäli betonimurskeen kyky sitoa hiiltä otetaan huomioon päästölaskennoissa, betonimurskeella rakennettujen rakennekerrosten päästöt saattavat olla jopa negatiiviset, jolloin päästövähennykset kalliomurskeeseen verrattuna saattavat olla moninkertaiset (>200 %) (Teittinen, 2019). Tässä diplomityössä ei kuitenkaan arvioitu karbonatisoitumisen vaikutuksia eri toimintamallien ympäristövaikutuksiin, sillä oletettiin, että pitkällä aikavälillä betonimurske sitoo yhtä paljon hiilidioksidia toimintamallista riippumatta. Laitosmaisessa tuotannossa suuri osa sidonnasta tapahtuu välivarastoinnin aikana, kun muissa hyödyntämismalleissa suurempi osa sitoutumisesta tapahtuu rakennekerroksissa, joissa sitoutuminen kestää pidempää. Laitosmaisesta toiminnasta betonimurske päätyy myös rakennekerroksiin, joissa tapahtuu sitoutumista.

Nykyisten toimintamallien aiheuttamista päästöistä ei ole juuri tietoa. Laitosmainen tuotanto aiheuttaa usein eniten liikennettä johtuen materiaalin siirtelystä paikasta toiseen. Teittisen diplomityöstä (2019) selviää, että materiaalien kuljetukset vaikuttavat suuresti infrarakentamisesta aiheutuvien päästöjen määrään. Esimerkiksi betonimurskepenkereissä $CO_2$-päästöistä yli 60 % muodostuu kuljetuksesta ja lastauksesta, kun murskauksen osuus jää noin 30 %:iin. Nämä tulokset saatiin, kun materiaalin kuljetusmatka on 20 km. (Teittinen, 2019)

Rakentamisessa tarvittavien materiaalien suuri määrä (jopa kymmeniätuhansia tonneja yksittäisessä kohteessa) johtaa suuriin kuljetusmääriin. Karkean arvioin mukaan esimerkiksi yhteen puoliperävaunuun mahtuu arviolta noin 25 tonnia kiviainesta, jolloin edestakaisia kuljetuksia tulee suurissa kohteissa tuhansia (Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, 2019).

## *1.3 Työn rakenne, tavoitteet ja rajaukset*

Tämän diplomityön tavoitteena oli tutkia ja vertailla erilaisia toimintamalleja liittyen betonijätteen hyödyntämiseen maarakentamisessa. Tutkimuksessa ei otettu huomioon itse betonin tai betonituotteiden valmistusta, eikä niiden käyttöä rakentamisessa vaan tarkastelu aloitettiin betonirakenteen purusta ja lopetettiin, kun betonimurske sijoitetaan maarakentamiskohteessa rakenteeseen. Diplomityön tavoitteena oli tuoda lisätietoa eri toimintamalleista sekä esitellä yksi hieman tuntemattomampi toimintamalli, jolla nähdään myös potentiaalia ajatellen betonimurskeen hyödyntämisen lisäämistä. Diplomityössä haluttiin tuoda osaksi tutkimusta myös päästölaskentaa, jolla voitiin vertailla toimintamallien hiilidioksidipäästöjä. Päästölaskentatyökalu kehitettiin osana diplomityötä yhdessä ohjaajien kanssa.

Aluksi taustoitetaan lyhyesti betonimurskeen aikaisempaa käyttöä maarakentamisessa ja sen ominaisuuksia. Lisäksi kirjallisuuskatsauksessa tarkastellaan betonijätteen hyödyntämiseen liittyvää hallintoa ja käydään läpi erilaisia lupa- ja ilmoitusmenettelyjä, joita betonijätteen käsittelyyn ja hyödyntämiseen liittyy. Kirjallisuusosiossa tarkastellaan myös lyhyesti elinkaariarviointia infrarakentamisessa ja sen kehityskohteita.

Toimintamallit jaettiin kolmeen erilaiseen tyyppiin riippuen käsittelyn sijainnista: kiinteä laitosmainen tuotanto, tuotanto purkutyömailla sekä tuotanto hyödyntämiskohteessa. Näitä eri toimintamalleja tutkittiin ja vertailtiin muun muassa logistiikan ja ympäristövaikutusten suhteen. Ympäristövaikutusten arvioinnissa ei otettu huomioon betonimurskeen käyttöikää infrarakenteessa. Diplomityön kokeellinen osio piti sisällään päästölaskentaesimerkin ja asiantuntijahaastatteluja. Päästölaskentaesimerkeissä keskityttiin ainoastaan hiilidioksidipäästöihin. Betonijätteen käsittelystä ja asennuksesta aiheutuvien päästöjen oletettiin olevan eri toimintamalleissa samansuuruiset, jonka vuoksi ei vertailtu niiden välisiä eroja eri toimintamalleissa.

Tutkimuksessa haastateltiin betonijätteen parissa toimivien yritysten edustajia sekä viranomaisia ja asiantuntijoita. Haastatteluilla selvitettiin eri toimintamallien tämänhetkisiä haasteita ja mahdollisuuksia sekä betonimurskeen laatuun vaikuttavia tekijöitä, ja kuinka betonimurskeen laatu voi vaihdella käsittelyn sijainnin takia. Haastatteluilla haluttiin myös selventää betonijätteen käsittelyyn ja hyödyntämiseen liittyviä lupakäytäntöjä ja tarkastella valmisteilla olevan kansallisen End-of-Waste -asetuksen vaikutuksia betonimurskeen hyödyntämiseen tulevaisuudessa.

Työssä perehdyttiin myös ympäristösuojelulain 118 § mukaiseen betonijätteen käsittelyyn vaadittavan melupäätöksen kriteereihin. Työn tavoitteena oli tutkia melupäätöksen myöntämiseen vaikuttavia tekijöitä ja selvittää, onko melupäätöksen myöntämisessä vaihtelevia käytäntöjä esimerkiksi pääkaupunkiseudulla.

Tutkimuskysymykset, joiden ympärille diplomityö on rakennettu, ovat seuraavat:

- Kuinka paljon kuljetuksen ja lastauksen hiilidioksidipäästöt eroavat toisistaan eri toimintamallien välillä?
- Voisiko hyödyntämiskohteessa käsitellä ja hyödyntää betonimursketta ilman ympäristölupaa?
- Onko meluilmoitus-menettely sopiva menettely betonijätteen murskausta varten rakennus- ja purkutyömailla?
- Tulisiko myös purkutyömailla tuotetut betonimurskeet sisällyttää tulevaan EoW-asetukseen?

Diplomityössä saatujen tulosten perusteella koottiin lyhyt yhteenveto betonimurskeiden toimintamalleihin liittyvistä haasteista ja tulevaisuuden näkymistä. Lisäksi työssä esitetään jatkotutkimus- ja kehitystarpeita. Diplomityössä haluttiin myös tutkia, minkälaisia säästöjä kuljetusten optimoimisella voidaan saavuttaa hiilidioksidiekvivalenttipäästöissä.

# 2 Betonimurske maanrakennusmateriaalina

## 2.1 Yleistä betonimurskeesta

Betonin raaka-aineita ovat kiviainekset, kuten sora ja hiekka, sementti ja vesi. Kiviainesta käytetään betonissa runkoaineena ja sitä on ylivoimaisesti eniten, noin 70 % betonin painosta. Myös kierrätettyä betonia voidaan käyttää tähän tarkoitukseen, mikäli se on SFS-EN 12620 standardin mukaisesti CE-merkittyä (SFS-EN 12620; Nieminen, 2015). Betonin valmistuksessa käytetään noin 8-16 % sementtiä, joka toimii sideaineena (Johansson ym., 2016). Sementin ja runkoaineen lisäksi betonin valmistuksessa käytetään lisäaineita, jotka parantavat muun muassa betonin työstettävyyttä. Käytettyjä lisäaineita on muun muassa teräskuidut, huokostimet, notkistimet sekä hidastimet (Betonitekniikan oppikirja, 2004). Sementtiä voidaan korvata myös osittain eräillä seosaineilla, kuten lentotuhkalla, masuunikuonalla tai silikalla (De Brito & Saikia, 2013).

Betonimurske valmistetaan murskaamalla betonista, joka on peräisin rakennus- ja purkutyömailta tai teollisuudesta. Yleisesti ottaen purkutyömailta peräisin oleva betonijäte ei ole laadultaan yhtä hyvää kuin betoniteollisuudesta peräisin oleva betonijäte. Tämä johtuu pääasiassa siitä, että rakennus- ja purkutyömailta peräisin oleva betonijäte saattaa sisältää myös muuta materiaalia, kuten tiiltä. (Wahlström ym., 2005)

Betonimurske muistuttaa teknisiltä ominaisuuksiltaan luonnon kiviainesta, jonka vuoksi sillä on hyvät lujuusominaisuudet (Varin, 2007). Betonimursketta käyttämällä maarakentamisessa korvataan neitseellisiä kiviainesvarantoja ja vähennetään samalla muun muassa kuljetuksista aiheutuvia negatiivisia taloudellisia ja ympäristöön kohdistuvia vaikutuksia, mikäli betonimurske on saatavilla lähempänä rakennuskohdetta kuin neitseellinen kiviaines (Tiehallinto, 2009).

Vuosittain Suomessa valmistetaan noin 700 000-1 000 000 tonnia betonimursketta, josta suuri osa hyödynnetään erilaisissa väylä- ja pohjarakennushankkeissa (Forsman & Dettenborn, 2019). Hyvälaatuinen betonimurske on uudelleen tiivistettynä rakenteessa lujittuvaa, ja sillä voidaan saavuttaa jopa parempi kantavuus kuin luonnonkiviaineksella (Lehtonen, 2019). Betonimurske jaotellaan materiaaliominaisuuksien sekä raaka-aineen perusteella neljään eri luokkaan: BeM I, BeM II, BeM III sekä BeM IV. Taulukossa 1 on esitetty eri betonimurskeluokat ja niiden ominaisuudet.

*Taulukko 1. Eri betonimurskeluokat (SFS-EN 5884, 2018)*

| **Ominaisuus** | **BeM I** | **BeM II** | **BeM III** | **BeM IV** |
|---|---|---|---|---|
| Raaka-ainelähde | Betoniteollisuus | Betoniteollisuus ja purkutyömaat | Betoniteollisuus ja purkutyömaat | Betoniteollisuus ja purkutyömaat |
| Rakeisuus | 1) | 1) | 1) | Vaihtelee |
| Uudelleenlujit-tuminen | Kyllä | Kyllä | Epävarmaa | Epävarmaa |
| Puristuslujuus (28 d), MPa | > 1,2 | > 0,8 | - | - |
| Tiilen maks. osuus, paino-% | 0 | 10 | 10 | 30 |
| Muiden materi-aalien maks. osuus, paino-% 2) | 0,5 | 1 | 1 | 1 |
| Routivuus | Routimaton | Routimaton | Routimaton | Vaihtelee |

1) Murskeen tulee täyttää InfraRYL:n mukaiset käyttökohteen rakeisuusvaatimukset (InfraRYL, 2017)
2) Puu, muovi yms.

Eri laatuluokissa olevia betonimurskeita voidaan käyttää tie- ja katurakenteissa eri rakennekerroksissa. Kantavaan kerrokseen soveltuvat kohtalaisesti betonimurskeista laatuluokat BeM I sekä BeM II. Päällystetyn tie- tai katurakenteen jakavaan kerrokseen voidaan sijoittaa BeM I ja BeM II lisäksi myös BeM III-luokan mursketta. BeM IV-luokan betonimurske on ominaisuuksiltaan heikointa, sillä se sisältää eniten epäpuhtauksia, ja se soveltuu parhaiten pengertäytteeksi. (Rudus Oy, 2017)

## 2.2 Vaikutukset ympäristöön

Materiaalin ympäristökelpoisuudella tarkoitetaan yleisesti ottaen sitä, että terveydelle tai ympäristölle ei aiheudu haittaa tai vaaraa materiaalin käytöstä. Betonimurskeen, kuten muidenkin uusiomateriaalien, maanrakennuskäytössä ympäristöriskit kohdistuvat pääasiassa pohjaveteen sekä maaperään. (mm. Pajukallio ym., 2011)

Betonimursketta voidaan pitää ympäristöominaisuuksiltaan turvallisena materiaalina, sillä haitta-aineiden liukoisuudet ja pitoisuudet ovat alhaisia. Erityisesti betoniteollisuuden ylijäämätuotannosta valmistettu BeM I-luokan betonimurske on ympäristövaikutusten osalta turvallista käyttää. Kuitenkin kiviainesten luontaisten ominaisuuksien vuoksi esimerkiksi betonimurskeen kromipitoisuudet (Cr) saattavat ylittää MARA-asetuksessa (VNa 843/2017) esitetyt raja-arvot (Lehtonen, 2019). Purkutyömailta peräisin olevasta betoni- ja tiilijätteestä valmistettu betonimurske voi lisäksi sisältää suurempia määriä haitta-aineita riippuen muun muassa rakennuskohteen käytön aikaisesta pilaantumisesta, käytetyistä pinnoitteista sekä muiden erottamatta jääneitten materiaalien takia. Lisäksi korkeita haitta-ainepitoisuuksia voi

päätyä betoniin rakentamisessa käytetyistä apumateriaaleista, kuten saumausmassoista. (mm. Pajukallio ym., 2011)

Betonimurske on sen valmistuksessa käytettävän sementin takia emäksinen ja sisältää sulfaatteja, jonka vuoksi sen käyttöä on rajoitettu joillakin alueilla. Erityisesti luokitelluilla pohjavesialueilla betonimurskeen käyttö on hyvin rajattua ja vaatii ympäristöluvan. Lisäksi nykyisen MARA-asetuksen mukaan pohjaveden yläpinnan ja betonimurskekerroksen alapinnan välisen etäisyyden on oltava vähintään metri. Pohjaveteen liittyvillä rajoituksilla pyritään suojelemaan veden pH:n nousua, sillä betonimurskeen läpi suotautuvan veden pH-taso voi olla korkeimmillaan 11-12,5 (Forsman & Dettenborn, 2019).

## *2.3 Betonimurskeen valmistusmenetelmät*

### 2.3.1 Pulverointi

Pulveroinnilla tarkoitetaan syntypaikalla tapahtuvaa jätteen esikäsittelyä. Esikäsittely luetaan osaksi käsittelyä, mutta sen katsotaan tapahtuvan erillisessä paikassa ja erillään varsinaisesta käsittelypaikasta, jossa esimerkiksi lopullinen käsittely, kuten murskaus, tapahtuu. (Helsinki, Espoo & Vantaa, 2015)

Pulverointi tapahtuu siihen tarkoitetulla pulverointilaitteella, joka on kaivinkoneeseen liitettävä lisälaite. Pulveroiminen katsotaan sisältyvän varsinaiseen purkutoimintaan, sillä purkujäte on usein pulveroitava esimerkiksi kuljetuksen mahdollistamiseksi ja tehostamiseksi. Pulveroinnilla tehostetaan myös lajittelevaa purkua, ja pulveroidun betonin seasta saadaan metallit tehokkaammin talteen. Betonijätteen tapauksessa pulveroinnilla tarkoitetaan suurien betonikappaleiden (esimerkiksi 500-1000 mm) palakoon pienentämistä (kuva 1). Betonijätteen palakoko on pulveroinnin jälkeen pienimmillään 0-150 tai 0-200 mm. Betonijätteen seasta poistetaan betoniteräkset pulveroinnin yhteydessä. (Hotanen, 2005)

*Kuva 1. Betonin pulverointia (Palolahti ym., 2014).*

Pulverointilaitteen käyttö työmaalla ei yleisesti ottaen vaadi ympäristölupaa, vaikka työmaalla käsiteltäisiin jätelaissa tarkoitettua betonijätettä (Ympäristöministeriö, 2014). Mikäli betonijätettä ei murskata pulveroinnin jälkeen, syntyneen betonimurskeen arvo jää alhaiseksi ja sen hyödyntämismahdollisuudet ovat hyvin niukat (Hotanen, 2005). Pulveroinnin kustannukset ovat melko suuret. Pulveroimalla voidaan kuitenkin vähentää betonijätteen vastaanottomaksuja sekä helpottaa sen kuljettamista, mikäli sitä ei jatkokäsitellä, kuten murskata paikan päällä. Useissa asianmukaiset luvat omistavissa betonijätteen vastaanottokeskuksissa betonijätteen hinnoittelu perustuu vastaanotettavan betonijätteen palakokoon, eli suuremmat palakoot ovat kalliimpia yksikköhinnaltaan kuin pienemmät palakoot. Suuremman palakoon betonijätettä joudutaan käsittelemään enemmän, minkä vuoksi sen vastaanotosta peritään suurempi maksu kuin pienemmän palakoon betonijätteestä. (Rudus, 2019)

### 2.3.2 Murskaus ja seulonta

Betonimursketta valmistetaan nimensä mukaisesti murskaamalla. Seulomalla syntyneet murskeet saadaan lajiteltua erikokoisiksi tuotteiksi. Ennen murskaamista betonijäte usein paloitellaan pienemmiksi, noin 0,5-1 metrin paloiksi, jotka voidaan edelleen murskata. Murskaamalla betonijäte saadaan tasalaatuisemmaksi kuin pulveroimalla. Murskaus lisää betonijätteen käsittelykustannuksia merkittävästi, mutta mikäli verrataan syntyneen lopputuotteen myötä saavutettavaa hyötyä verrattuna esimerkiksi pulverointiin, käsittelystä aiheutunut kustannus ei kohoa liian suureksi. (Joutsenoja, 2019)

Betonijäte murskataan usein siirrettävällä murskauslaitoksella (kuva 2), ja murskattava betoni syötetään pyöräkuormaajalla tai kaivinkoneella murskaimen syöttimeen. Siirrettävän murskauslaitoksen lisäksi betonimursketta voidaan murskata kaivinkoneeseen liitettävällä murskakauhalla (kuva 3), joka vaatii huomattavasti vähemmän tilaa. Kauhamurskainta voidaan käyttää meluherkillä alueilla, joissa ei saada murskata siirrettävällä murskauslaitoksella (Häkämies ym., 2018). Kauhamurskaimen käyttö vaatii kuitenkin melupäätöksen siirrettävän murskauslaitoksen tapaan.

*Kuva 2. Siirrettävä murskauslaitos betonin murskaukseen (Paupek Oy, 2019).*

*Kuva 3. Kaivinkoneeseen liitettävä kauhamurskain (Kone Saksman Oy, 2019)*

Kauhamurskaimella murskattaessa kustannukset ovat pienemmät kuin esimerkiksi iskupalkkimurskaimella murskattaessa, mikäli murskattavan betonijätteen määrät ovat alhaiset (Väylä, 2019). Toisaalta betonimurskeen valmistaminen kauhamurskaimella on hitaampaa kuin siirrettävällä murskaimella. Murskauksen tehokkuuteen vaikuttavat muun muassa murskattavan betonijätteen laatu sekä laskentatapa. Kauhamurskaimella saadaan tuotettua keskimäärin 42 tonnia mursketta tunnissa, kun taas siirrettävällä murskaimella voidaan tuottaa 125-170 t/h (Häkämies ym., 2018). Siirrettävällä murskaimella voidaan kuitenkin päästä vieläkin korkeampiin tuotantomääriin riippuen syötettävän betonijätteen laadusta ja itse murskaimesta (Joutsenoja, 2019). Lisäksi kauhamurskaimella murskattaessa metallit on eroteltava vielä erikseen murskeen seasta magneetilla, kun siirrettävä murskain puolestaan erottelee metallit murskausprosessin yhteydessä (Häkämies ym., 2018). Kauhamurskaimella betonijätettä ei välttämättä saada jalostettua yhtä korkealaatuiseksi tuotteeksi, kuten esimerkiksi käytettäväksi kantavassa kerroksessa, kuin siirrettävällä murskaimella, vaan kauhamurskaimella valmistettua betonimursketta hyödynnetään yleensä muun muassa pengertäytöissä (Väylä, 2019).

Luonnon kiviaineksen murskaamiseen verrattuna betonijätteen murskauslaitos koostuu useimmiten yksivaiheisesta murskaimesta sekä seulastosta, kun taas luonnon kiviainesta murskattaessa murskauslaitos koostuu esimurskaimesta, välimurskaimesta sekä yhdestä tai useammasta jälkimurskaimesta ja seulastosta. (Wahlström ym., 2005)

Murskaamiseen voidaan käyttää iskupalkki-, leuka- tai kartiomurskainta, ja seulastossa betonijäte edelleen seulotaan haluttuun palakokoon, kuten 0-90 millimetriin. Iskupalkkimurskain soveltuu parhaiten yksivaiheeseen murskaamiseen, jonka vuoksi se onkin yleisin betonijätteen murskausmenetelmä (Joutsenoja, 2019). Betonijätteen murskaus toteutetaan kahdessa vaiheessa tai useammassa vaiheessa silloin, kun valmistettavan betonimurskeen palakoko on enimmillään 32 mm ja se on tarkoitus käyttää uudelleen betonin valmistuksessa uusiokiviaineksena (Nagataki ym., 2004). Purkukohteissa käsiteltäessä ennen kaikkea tila on hyvin rajallista, jonka vuoksi betonin murskaamiseen käytettävien laitteistojen on oltava helposti siirrettäviä sekä pienikokoisia (Hotanen, 2005). Osaksi tämän takia kauhamurskaus onkin lisääntynyt purkutyömailla.

Murskauksen ja seulonnan yhteydessä betonijätteestä erotellaan betoniteräkset erillisellä magneettierottimella ja tarvittaessa vielä manuaalisesti. Magneettierotin sijoitetaan yleensä

murskaimen jälkeen ja niitä voi olla useampia. Lisäksi purkubetonin seassa on lajittelevan purun huolellisuudesta riippuen usein hieman erilaisia epäpuhtauksia, kuten muovia tai puuta. Muita epäpuhtauksia voidaan mahdollisesti poistaa erilaisin pesu- tai puhallustekniikoin, mutta useimmiten erottelu tapahtuu käsin (Hotanen, 2005). Näitä epäpuhtauksia saa olla enintään 1 paino-% valmistettavan betonimurskeen painosta, mikäli betonimurske halutaan tuotteistaa (Rudus, 2017).

Halutun palakoon saavuttamiseksi, betonimurske seulotaan samalla tavalla kuin luonnonkiviaineskin. Seulonnalla saadaan betonimurskeen laatu tasaisemmaksi ja sitä voidaan valmistaa eri käyttötarkoituksiin. Tällä hetkellä Suomessa valmistetaan pääasiassa kahta eri betonimurskelajiketta, 0-45 mm sekä 0-90 mm. (Joutsenoja, 2019)

## 2.4 Betonimurskeen valmistuskustannukset

Betonimurskeen hyödyntämistä perustellaan usein positiivisten ympäristövaikutusten lisäksi myös sen taloudellisuudella. CE-merkityn betonimurskeen hinta on laatuluokan mukaan noin 1-3 €/tonni, kun taas kalliomurskeen hinta vaihtelee noin 5-8 €/tonni välillä (Pieksemä, 2019). Näin ollen suuremmissa väylä- tai pohjarakennuskohteissa betonimursketta käyttämällä voidaan säästää useita satoja tuhansia euroja, mikäli materiaalia on vain tarjolla tarpeeksi.

Betonimurskeen alhaisen markkinahinnan vuoksi esimerkiksi laitosmaisessa tuotannossa taloudellinen hyöty on saatava toista kautta. Tällä hetkellä suurin tulonlähde laitosmaisessa tuotannossa on betonijätteen vastaanottohinnoissa. Betonijätettä ei voi toimittaa rakennus- ja purkutyömailta mihin tahansa, vaan jätteen haltijan on varmistettava, että vastaanottajalla on olemassa asianmukaiset luvat. Betonijätteen käsittelylaitokset tarjoavat vastaanottopalveluita jätteen tuottajille, jolloin vastuu jätteen asianmukaisesta hyödyntämisestä siirtyy käsittelylaitokselle. Vastaanottohinnan lisäksi jätteen tuottajan vastuulle jää useimmiten myös kuljetuksesta aiheutuneet kustannukset (Pieksemä, 2019).

Betonijätteen vastaanottohinnat olivat vuonna 2018 keskimäärin noin 20 €/tonni (Väylä, 2019). Vastaavasti kivilouheesta maksetaan tällä hetkellä hyvitystä pääkaupunkiseudulla, joka on noin 1-2 €/tonni toimijasta riippuen (Joutsenoja, 2019). Vastaanottohinnat vaihtelevat vastaanotettavan betonijätteen palakoon mukaan: mitä pienempiä kappaleita käsittelylaitokselle tuodaan, sitä alhaisemmat ovat myös vastaanottohinnat (Rudus 2019 & Delete Finland, 2018). Suuria kappaleita on esikäsiteltävä enemmän esimerkiksi leikkaamalla ja pulveroimalla, mistä aiheutuu lisäkustannuksia. Lisäkustannukset näkyvät myös korkeampana vastaanottohintana.

Vastaanottohinnalla mahdollistetaan muun muassa käsittelystä sekä laadunvalvonnasta aiheutuneet kustannukset. Kiinteillä käsittelylaitoksilla on usein ympäristöluvan perusteella mahdollisuus varastoida suuria määriä betonimursketta ja välivarastoinnin enimmäismäärä on usein kolme vuotta. Mikäli varastointi kestää yli kolme vuotta eikä betonimursketta saada ajoissa toimitettua hyötykäyttöön, toiminta voidaan tulkita kaatopaikkasijoittamiseksi, jolloin jäteverolain (1126/2010) mukaan betonimurske muuttuu jäteverolliseksi. Jäteveron myötä ylimääräistä maksettavaa tulee 70 €/tonni. Erityisesti aikaisemmin betonimurskeita on jouduttu toimittaa pitkienkin etäisyyksien päähän hyödynnettäväksi, mikäli sopivia hyödyntämiskohteita ei ole ollut lähettyvillä (Joutsenoja, 2019).

Käsittelylaitosten toiminnan alkuvaiheessa valmistettua betonimursketta saatetaan hyödyntää alueen rakentamisessa joko ympäristöluvalla tai MARA-ilmoituksella. Esimerkiksi varastointikentän rakentamisessa voidaan hyödyntää betonimursketta, jolloin toiminnan alkuvaiheessa valmistettua betonimursketta ei tarvitse toimittaa muualle hyötykäyttöön vaan se voidaan hyödyntää paikan päällä. Tämä pienentää muun muassa varastoinnista ja markkinoinnista aiheutuneita kuluja. Tämäntapaisessa hyödyntämisessä onkin kyse juuri hyödyntämispaikalla tuotetusta betonimurskeesta, jota ei tarvitse kuljettaa käsittelyn jälkeen uudelleen toisaalle hyödynnettäväksi. Tällaisia ympäristöluvallisia kohteita on muun muassa pääkaupunkiseudun ulkopuolella sijaitsevissa kaupungeissa ja kunnissa, joissa vastaanottohinta on pienempi kuin perinteisissä käsittelylaitoksissa, mutta toisaalta jätteen kuljetuksesta aiheutuu suurempi kustannus.

Käsittelylaitosten vastaanottohintojen sekä lainsäädännön vuoksi purkutoimintaan erikoistuneet yritykset ovat alkaneet valmistaa betonimursketta rakennus- ja purkutyömailla. Nykyään onkin mahdollista saada myös CE-merkittyä betonimursketta, joka on tuotettu rakennus- ja purkutyömailla siirrettävillä murskauslaitoksilla. Tuottamalla betonimurske rakennus- ja purkutyömailla vältetään käsittelylaitoksen vastaanotosta ja jätteen kuljetuksesta aiheutuneet kustannukset. Kuljetuskustannukset vaihtelevat laitoksen ja työmaan välisen etäisyyden mukaan, mutta pääkaupunkiseudulla niiden voidaan todeta olevan noin 4-10 €/tonni (Väylä, 2019).

Betonimurskeen valmistamisesta purkutyömaalla muodostuu myös kustannuksia. Käsittelystä aiheutuu arvioilta suurimmat kustannukset, riippuen kuitenkin hyödynnettävän betonijätteen määrästä ja käytettävästä murskausmenetelmästä. Mikäli betonijäte murskataan iskupalkilla, kustannukset ovat Väyläviraston teettämän tutkimuksen mukaan noin 10 €/tonni. Mikäli käytetään kauhamurskainta, kustannukset ovat alhaisemmat, noin 7,5 €/tonni. (Väylä, 2019) Käsittelykustannukset voivat kuitenkin vaihdella paljon riippuen käytetystä kalustosta ja murskattavan betonijätteen määrästä. Mikäli murskataan suuria määriä, esimerkiksi 20 000-30 000 tonnia betonijätettä kerrallaan, käsittelykustannukset tonnia kohden ovat alhaisemmat kuin Väyläviraston laskelmissaan esittämät (Joutsenoja, 2019). Käsittelykustannusten lisäksi on tehtävä laboratoriotutkimuksia esimerkiksi ympäristökelpoisuuteen ja teknisiin ominaisuuksiin liittyen. Laboratoriotutkimusten kustannukset ovat 2500-4500 €/kerta riippuen siitä, tutkitaanko myös teknisiä ominaisuuksia (Väylä, 2019).

Maanrakennustyömaalla, jossa puretaan betonirakenteita, kuten siltoja tai tukimuureja, kustannuksia voidaan pienentää myös korvaamalla luonnon maa- ja kiviaineksia työmaalla valmistetulla betonimurskeella, mikäli maanomistajalta ja tilaajalta on lupa hyödyntämiseen ja alueella on tarvittavat luvat betonijätteen murskaamista ja hyödyntämistä varten (esimerkiksi melupäätös ja MARA-ilmoitus). Mitä korkealuokkaisempaa mursketta työmaalla saadaan tuotettua, sitä suurempia säästöjä voidaan työmaalla saavuttaa. Väyläviraston teettämän tutkimuksen mukaan Luonnon kiviaineksen hinta sijoitettaessa esimerkiksi jakavaan kerrokseen on arviolta noin 11 €/m$^3$rtr ja pengertäytteisiin 4 €/m$^3$rtr (Väylä, 2019). Mikäli purkutyömaalla tuotettu betonimurske joudutaan toimittamaan toiselle työmaalle hyödynnettäväksi, lisäkustannuksia tulee kuljetuksen järjestämisestä.

Betonilouhetta hyödynnettäessä vältetään kokonaan murskauksesta aiheutuvat kustannukset. Kohteissa, joissa ympäristölupa sallii betonilouheen hyödyntämiseen, betonijätteen vastaanottohinnat ovatkin usein alhaisemmat. Tällaiset kohteet sijaitsevat usein kasvukeskusten

ulkopuolilla (lukuun ottamatta esimerkiksi meritäyttöjä), jonne kuljetusmatkat ovat pidemmät. Vastaanottohinnat betonilouheen hyödyntämiskohteissa vaihtelevat noin 5 ja 8 €/tonni välillä. Purkutyömaalla käsittelyksi riittää pelkkä pulverointi, sillä esimerkiksi ympäristöluvitetuissa kohteissa, kuten suojavalleissa voidaan hyödyntää 0-300 mm tai jopa 0-1000 mm betonia (ESAVI, 2018b). Mikäli purku-urakoitsijalla ei ole mahdollisuutta, osaamista tai kiinnostusta valmistaa betonimursketta purkutyömaalla, se voi toimittaa suuren palakoon betonin hyödynnettäväksi maksamalla pienemmän vastaanottohinnan kuin mitä se joutuisi maksamaan betonimursketta valmistaville yrityksille (Haapalainen, 2019). Tietenkin, mikäli betonijätteen kuljetuksen kustannukset nousevat kohtuuttoman suuriksi, voi lähempänä sijaitseva käsittelylaitos olla taloudellisempi vaihtoehto korkeammasta vastaanottohinnasta huolimatta.

## *2.5 Käyttöön ja käsittelyyn liittyvät säädökset, luvat ja ilmoitukset*

### 2.5.1 Jätelaki

Jätelain tarkoituksena on ehkäistä jätteistä sekä jätehuollosta aiheutuvaa vaaraa ja haittaa terveydelle ja ympäristölle sekä vähentää jätteen määrää ja haitallisuutta. Lisäksi jätelaki pyrkii edistämään luonnonvarojen kestävää käyttöä sekä ehkäisemään ympäristön roskaantumista. (Jätelaki 646/2011)

Purkutyömailla sekä teollisuudessa syntyneestä betonista valmistettu betonimurske kuuluu jätelainsäädännön piiriin, sillä betoni on poistettu sen alkuperäisestä käytöstä, kuten esimerkiksi käyttö rakennusmateriaalina. Nykyinen jätelaki (646/2011) tuli voimaan vuonna 2012 ja siinä jätteeksi määritellään ”aine tai esine, jonka sen haltija on poistanut tai aikoo poistaa käytöstä taikka on velvollinen poistamaan käytöstä.” Jätelaissa merkittävässä roolissa on jätehierarkia eli etusijajärjestys, joka pohjautuu EU:n jätedirektiiviin (2008/98/EY). Etusijajärjestys koostuu viidestä eri portaasta, josta ensimmäisenä on jätteen määrän ja sen haitallisuuden vähentäminen ja viimeisenä vaiheena on loppukäsittely, joka usein tarkoittaa kaatopaikkasijoittamista (kuva 4).

*Kuva 4. Jätehierarkia eli etusijajärjestys (Ympäristöministeriö, 2012)*

Kaatopaikkasijoittamista on haluttu vähentää jäteverolailla (1126/2010), jonka mukaan jokaisesta tonnista jätettä, joka toimitetaan kaatopaikalle, on maksettava 70 € veroa (Jäteverolaki 1401/2015). Jätevero ei kuitenkaan koske lajiteltuja jätteitä, joita hyödynnetään kaatopaikalla sen perustamisen, käytön tai käytöstä poistamisen kannalta välttämättömissä rakenteissa tai rakennuksissa. Jäteverolla halutaan ohjata erilaisia jätteitä etusijajärjestyksen mukaisesti korkeampaan hyötykäyttökohteeseen. Kaatopaikkasijoittaminen onkin vähentynyt Suomessa huomattavasti viimeisen 10 vuoden aikana (Ympäristöministeriö, 2017a).

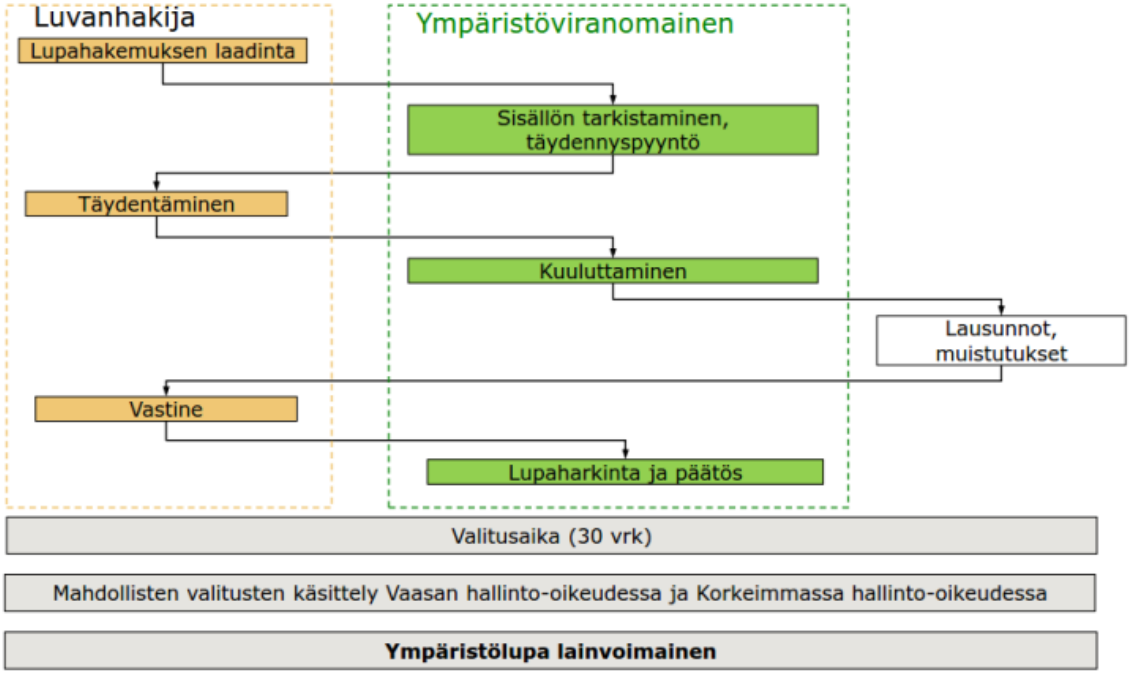
Betonimurskeen hyödyntäminen maarakentamisessa tulkitaan nykyisellään etusijajärjestyksen kolmannen portaan toimintana eli kierrätyksenä (Ympäristöministeriö 2014). Tulkinnassa on kuitenkin ollut myös epäselvyyksiä, sillä betonimurskeen hyödyntämistä maarakentamisessa voidaan tulkita myös muuna hyödyntämisenä, joka kuuluu etusijajärjestyksen neljänteen portaaseen. Muuna hyödyntämisenä on pidetty muun muassa betonimurskeen hyödyntämistä erilaisissa maantäytöissä (esimerkiksi pengertäyte). Tällöin betonimurskeen jalostusaste on ollut alhainen, jolloin sen maarakentamiseen soveltuvat ominaisuudet eivät pääse parhaiten oikeuksiin. Esimerkiksi MARA-asetuksella halutaan ohjata betonimurske vaativampiin käyttökohteisiin, kuten jakaviin ja kantaviin rakennekerroksiin, jolloin täyttöihin voidaan käyttää heikompilaatuisia materiaaleja (Ympäristöministeriö, 2014).

Betonijätteen korkeampiluokkaista uudelleenkäyttöä on uusiokiviaineksen valmistaminen betoniteollisuutta varten, ja tätä onkin tutkittu ja tehty niin Suomessa kuin muualla Euroopassa (Nieminen, 2015). Erityisesti Keski-Euroopassa, jossa luonnon kiviainesvarannot ovat vähäisiä, betonimursketta on käytetty uusiokiviaineksena betoniteollisuudessa korvaamaan luonnon kiviainesta. Suomessa luonnon kiviainesta on kuitenkin vielä melko runsaasti saatavilla, ja vielä tällä hetkellä neitseellisen kiviaineksen käyttäminen betonin valmistuksessa on taloudellisempaa kuin uusiokiviaineksen. Tämän vuoksi suurin osa betonijätteestä hyödynnetään maarakentamisessa. (Joutsenoja, 2019)

### 2.5.2 Ympäristölupa

Ympäristönsuojelulain (27 §) mukaan jätteiden, kuten betonijätteen, ammattimainen ja laitosmainen käsittely on ympäristöluvanvaraista (YSL 527/2014). Ammattimaiselle tai laitosmaiselle jätteenkäsittelytoiminnalle ei ole lainsäädännössä asetettu aikarajaa tai toiminnan kestoaikaa, jolloin lupakynnys ylittyisi. Arviointi tapahtuu lähinnä toiminnan luonteen, laajuuden sekä ympäristövaikutusten perusteella, ja olennaisena osana varsinkin ammattimaista toimintaa on ansaitseminen. Toisaalta laitosmaiseen toimintaan ei tarvitse liittyä ansaintaa ja toiminta voi olla laitosmaista, jos kyseessä on ohjattu useampivaiheinen käsittely. (Ympäristöministeriö, 2014)

Valtioneuvoston asetuksessa ympäristönsuojelusta (713/2014) on määritelty toimivaltainen lupaviranomainen. Mikäli vuosittain käsiteltävän betonijätteen määrä alittaa 50 000 tonnia, lupaa haetaan kunnan ympäristösuojeluviranomaiselta. Mikäli vuosittain käsiteltävän betonijätteen määrä ylittää 50 000 tonnin rajan, lupaviranomaisena toimii aluehallintovirasto. Ympäristölupaprosessi ja sen eteneminen on kuvattu tarkemmin kuvassa 5.




*Kuva 5. Ympäristölupaprosessi (Järvinen, 2018)*

Betonijätteen vastaanotolle ja käsittelylle haetaan vuosittain useita ympäristölupia sekä alueellisilta aluehallintovirastoilta että kunnan ympäristönsuojeluviranomaisilta (Lehtonen, 2019; Joutsenoja, 2019). Ympäristölupien käsittelyajoissa on suuria eroavaisuuksia aluehallintovirastosta (AVI) riippuen. Mediaanikäsittelyaika kaikissa AVI:ssa oli vuonna 2015 noin 14 kuukautta. Etelä- ja Pohjois-Suomessa käsittelyajat olivat pidempiä (noin 16 kk) verrattuna Itäiseen ja Läntiseen aluehallintovirastoon (noin 10 kk) (Ympäristöministeriö 2017). Lisäksi lupahakemusten käsittelyajoissa on eroavaisuuksia riippuen siitä, haetaanko lupaa kunnan ympäristönsuojeluviranomaiselta tai AVI:lta. Yleisesti ottaen kuntien ympäristönsuojeluviranomaisten käsittelyajat ovat lyhyempiä, mutta tällä hetkellä joissakin kunnallisissa ympäristökeskuksissa lupahakemusten käsittely on ruuhkautunut ja lupahakemusten keskimääräiset käsittelyajat saattavat olla yli 12 kuukautta. (Nurminen, 2019)

Betonimurskeen hyödyntäminen maarakentamisessa tapahtuu pääasiassa MARA-asetuksen mukaisella ilmoitusmenettelyllä, eikä se näin ollen vaadi ympäristölupaa. Betonimurskeen hyödyntäminen voi kuitenkin vaatia ympäristölupaa, mikäli jokin MARA-asetuksen kriteereistä ei täyty. Nykyään ympäristölupaa edellyttävä betonimurskeen hyödyntäminen on usein palakooltaan suuremman betonimurskeen (> 90 mm) hyödyntämistä tai esimerkiksi hyödyntämistä pohjavesialueella.

### 2.5.3 Kunnan ympäristönsuojelumääräykset

Mikäli kyse ei ole jätteen ammattimaisesta hyödyntämisestä, hyödyntäminen ei vaadi ympäristölupaa. Pienimuotoinenkaan betonimurskeen hyödyntäminen ei kuitenkaan ole sallittua ilman mitään ilmoitusta, ja esimerkiksi kunnallisissa jätehuolto- ja ympäristönsuojelu-

määräyksissä voi olla tarkempia määräyksiä. Nämä kunnalliset ympäristönsuojelumääräykset perustuvat ympäristönsuojelulakiin ja niiden tarkoituksena on ehkäistä paikallisia ympäristöhaittoja ja vähentää naapuruushaittoja. (YSL 527/2014)

Betonimurskeen osalta pienimuotoisena hyödyntämisenä pidetään maksimissaan 100-1000 tonnin kertaluontoista hyödyntämistä. Varsinaista enimmäismäärää kunnan ympäristönsuojelu- tai jätehuoltomääräyksiin ei kuitenkaan voi asettaa, vaan jokainen tapaus on tarkasteltava tapauskohtaisesti. Mikäli kunnan ympäristönsuojeluviranomainen katsoo, että hän ei ole toimivaltainen viranomainen, asia voidaan siirtää paikalliselle ELY-keskukselle. Vaikka kunta ei olisi kirjannut ympäristönsuojelu- tai jätehuoltomääräyksiin jätteen hyödyntämistä erikseen, kunta voi silti hyväksyä pienimuotoisen jätteen hyödyntämisen. (Mikkola, 2013)

### 2.5.4 Rekisteröintimenettely (MARA-asetus, VNa 843/2017)

Vuonna 2018 tuli voimaan uusi asetus (VNa 843/2017), joka korvasi aiemman MARA-asetuksen (VNa 591/2006). Asetuksen tavoite pysyi samana, mutta uuteen asetukseen sisällytettiin muun muassa uusia hyödynnettäviä materiaaleja sekä hyödyntämiskohteita. Uusina materiaaleina asetuksen piiriin lisättiin jätteenpolton pohjakuonat, valimohiekat ja rakenteesta poistettu jäte, joka on jo kertaalleen hyödynnetty vanhalla tai uudella MARA-ilmoituksella. Uusina hyödyntämiskohteina MARA-asetukseen sisällytettiin vallit, tuhkamurskeetiet sekä teollisuus- ja varastorakennusten pohjarakenteet.

MARA-asetus mahdollistaa laajan betonimurskeen hyödyntämisen maarakentamisessa, mutta asetukseen on kirjattu myös materiaalikohtaisia rajoitteita esimerkiksi käyttökohteiden suhteen. Betonimurskeen käyttö on sallittua väylä- ja kenttärakenteissa sekä teollisuus- ja varastorakennusten pohjarakenteissa. Näin ollen esimerkiksi vallirakenteissa betonimurskeen käyttö ei ole sallittua MARA-ilmoituksella. Sallimalla betonimurskeen käyttö vain tietyissä rakenteissa ohjataan betonimurske parhaiten sopiviin käyttökohteisiin ja samalla tuetaan betonimurskeen jalostamista tasokkaammiksi materiaaleiksi. (Ympäristöministeriö, 2017 a)

Betonimursketta saa käyttää enimmillään 1,5 m paksuisena rakennekerroksena pohja- tai väylärakenteissa, mutta varsinaiselle hyödyntämismäärälle MARA-asetus ei aseta enimmäismäärää. Asennuksen jälkeen betonimurskekerros on peitettävä tai päällystettävä. Betonimursketta, kuten muitakaan uusiomateriaaleja, ei saa hyödyntää 1- ja 2-luokan pohjavesialueilla, asumiseen tai lasten leikkipaikaksi tarkoitetulla alueella, luonnonsuojelutarkoitukseen osoitetulla alueella, ravintokasvien viljelyyn tarkoitetulla alueella, eikä sisämaan tulvavaara-alueella. Uutena lisäyksenä nykyiseen MARA-asetukseen tuli myös vähintään yhden metrin etäisyys jätettä sisältävän rakennekerroksen ja pohjaveden enimmäiskorkeuden välille. (Ympäristöministeriö, 2018)

MARA-asetuksen mukaisille betonimurskeille on asetettu purkukohdekohtaisuus yhdeksi kriteeriksi hyödyntämiselle. Tällä tarkoitetaan sitä, että betonimurskeen ympäristökelpoisuus on aina osoitettava eräkohtaisesti. Esimerkiksi purettaessa yhtä rakennusta voidaan olettaa, että rakennusmateriaalien laatu ei eroa toisistaan, jolloin kyseessä on yksi purkukohde. Samaan purkukohteeseen voidaan lukea myös useita eri rakennuksia samalta kiinteistöltä, jos rakennusten ei oleteta eroavan toisistaan. Mikäli samalla kiinteistöllä on useita

erilaisia rakennuksia, kyseessä on useampi yksittäinen purkukohde ja jokainen purkukohde on näytteistettävä erikseen. (Ympäristöministeriö, 2018)

Nykyisen MARA-asetuksen mukaan betonimursketta voidaan välivarastoida, jos jätteen hyödyntämispaikka on tiedossa jo ennen välivarastoinnin aloittamista. Kaikkialla betonimursketta ei voi kuitenkaan välivarastoida, vaan alueen on oltava sovelias kyseiseen tarkoitukseen esimerkiksi sijaintinsa ja ympäristöolosuhteidensa puolesta ja varastointiin on oltava kiinteistön omistajan tai haltijan suostumus. Viime kädessä valvontaviranomainen tekee päätöksen siitä, tarvitseeko jätteen välivarastointi ympäristölupaa. Esimerkiksi, jos välivarastointialueelle tuodaan useasta eri kohteesta jätettä varastoitavaksi, toiminta tulkitaan ympäristöluvanvaraiseksi. Enimmäisaika MARA-asetuksen mukaiselle välivarastoinnille on yksi vuosi, jos jäte suojataan varastoinnin ajaksi, ja 4 viikkoa, jos jäte jätetään suojaamatta. (Ympäristöministeriö, 2018)

### 2.5.5 Meluilmoitusmenettely

Purkupaikalla tapahtuva betonijätteen murskaus edellyttää ympäristölupaa, jos toimintaa pidetään jätteen laitosmaisena tai ammattimaisena käsittelytoimintana. Ammattimaista tai laitosmaista jätteenkäsittelyä ei ole tarkemmin määritetty lainsäädännössä, eikä esim. käsittelymäärille tai käsittelyn kestolle ole asetettu rajoja. Ympäristöluvan tarvetta voidaan kuitenkin arvioida toiminnan luonteen, laajuuden ja ympäristövaikutusten perusteella. Ammattimaiselle ja laitosmaiselle toiminnalle on esitetty tulkintamuistiossa kriteerejä, joilla toimintaa voidaan arvioida. Kriteerejä on luotu muun muassa ansaintaan sekä sijoituspaikkaan liittyen. Toiminnalta voidaan velvoittaa myös ympäristölupaa esimerkiksi naapuruussuhdehaitan perusteella tai, jos toiminta sijoittuu pohjavesialueelle. (Ympäristöministeriö, 2014)

Mikäli purkutyömaalla tapahtuva betonijätteen käsittely ei täytä laitosmaisuuden tai ammattimaisuuden kriteerejä, siltä edellytetään meluilmoitusta. Tilapäisestä toiminnasta, jolta ei edellytetä ympäristölupaa, mutta josta aiheutuu erityisen häiritsevää melua tai tärinää, edellytetään ympäristönsuojelulain 118 §:n mukaista ilmoitusta kunnan ympäristönsuojeluviranomaiselle. Mikäli toiminta sijoittuu kahden kunnan alueelle, ilmoitus tulee tehdä paikalliselle ELY-keskukselle (YSL 527/2014). Tilapäistä toimintaa voi olla muun muassa melua aiheuttava lyhytkestoinen rakennuksen purkaminen ja siihen liittyvä rakennuspaikalla tapahtuva purkujätteen murskaus (Ympäristöministeriö, 2014).

Aiemmassa MARA-asetuksessa betonimurskeen palakoko ei saanut olla yli 150 mm, kun se nykyisessä MARA-asetuksessa ei saa olla yli 90 mm. Betonimurskeen valmistaminen 150 mm murskeeksi ei vaadi murskausta, vaan tämä palakoko voidaan saavuttaa pulveroimalla (Hotanen, 2005). Pulveroinnin voidaan katsoa sisältyvän varsinaiseen purkutoimintaan, eikä se täten vaadi ympäristölupaa eikä usein edes melupäätöstä. Tämän vuoksi pulveroinnille on helppo saada tarvittavat luvat purku- ja rakennustyömailla.

Murskaaminen esimerkiksi iskupalkkimurskaimella puolestaan vaatii aina vähintään melupäätöksen. Luonnon kiviaineksen sekä betonijätteen murskaaminen purkutyömailla tapahtuu siirrettävillä laitteistoilla. Vaikka murskaus tapahtuisi kiinteällä laitoksella, itse murskauslaitteisto on lähes aina siirrettävä. Samaa murskainta voidaan käyttää myös purkutyömailla (Joutsenoja, 2019). Itse siirrettävälle laitteistolle ei voida myöntää YSL:n mukaista ympäristölupaa, vaan lupa on aina sijoituspaikkakohtainen. Siirrettävien laitteistojen osalta

on suunnitelmissa selvittää mahdollisuuksia lupamenettelyjen keventämiseen (Ympäristöministeriö, 2014).

Pääkaupunkiseudulla on ollut vaihtelevia käytäntöjä melupäätöksen myöntämiselle betonijätteen murskaamista varten. Osa kaupungeista tulkitsee betonijätteen murskaamisen ammattimaiseksi käsittelyksi ja näin ollen aina ympäristöluvanvaraiseksi toiminnaksi (Forsman & Detterborn, 2019). Toisissa kaupungeissa puolestaan on mahdollista saada tilapäiselle toiminnalle YSL (527/2014) 122 §:n mukainen päätös, jossa betonijätettä saa murskata enintään 50 päivää. Luonnon kiviaineksen suhteen kyseistä eroavaisuutta melupäätöksen myöntämisen suhteen ei ole ollut esimerkiksi rakennushankkeissa, joissa on tehty louhintaa ja murskattu luonnon kiviainesta. Melupäätöksen myöntämisen yhteydessä voidaan antaa tarpeellisia määräyksiä toiminnasta aiheutuvan pilaantumisen ehkäisemisestä, toiminnan tarkkailusta ja tiedottamisesta asukkaille sekä toiminnan järjestämiseen liittyvien jätelain mukaisten velvoitteiden täyttämisestä (Ympäristöministeriö, 2014).

### 2.5.6 CE-merkintä

Euroopan unionin rakennustuoteasetuksen mukaan maarakentamisessa käytettävät rakennustuotteet, joille on laadittu harmonisoitu tuotestandardi, on oltava CE-merkittyjä. Suomen standardisoimisliitto on julkaissut harmonisoidun tuotestandardin SFS-EN 13242, jonka mukaan maarakentamisessa käytettävä kiviaines mukaan lukien betonimurske tulee CE-merkitä (SFS-EN 13242). Rakennustuoteasetuksen tavoitteena on saada luotettavaa ja tarkkaa tietoa rakennustuotteiden suoritustasoista ja ominaisuuksista yhdenmukaisella tavalla (Ympäristöministeriö, 2013).

Betonimurskeesta on mahdollista CE-merkitä 0-90 mm sekä pienemmät palakoot. Suuremman palakoon betonimursketta ei tarvitse CE-merkitä, koska kyseiselle tuotteelle ei ole laadittu harmonisoitua tuotestandardia. CE-merkintää ei haeta viranomaisilta, vaan se on tuotteen valmistajan vastuulla. Suomessa CE-merkintöjen valvovana viranomaisena toimii turvallisuus- ja kemikaalivirasto TUKES, jolla on oikeus pyytää tuote ja siihen liittyvä aineisto nähtäville. (Liikennevirasto, 2014)

### 2.5.7 EoW-kriteeristö ja sen soveltaminen Suomessa

Materiaalin jäteluokituksen poistaminen (End of Waste, EoW) on mahdollista tietyin edellytyksin. Siitä voidaan päättää joko EU-tasolla, kansallisesti tai alueellisesti. Mikäli materiaalin jäteluokitus päättyy, se siirtyy jätelainsäädännön piiristä tuotelainsäädännön piiriin, ja sen tulee täyttää muut kyseiselle tuotteelle tai materiaalille asetetut lainsäädännön mukaiset vaatimukset. Näitä ovat muun muassa REACH-asetus sekä rakennustuote- ja lannoitelainsäädäntö (Euroopan Unioni 2008). Materiaali voidaan vapauttaa jäteluokituksesta, mikäli:

- se on läpikäynyt hyödyntämistoimen;
- sillä on käyttötarkoitus, johon sitä käytetään;
- sillä on markkinat ja kysyntää;
- se täyttää käyttötarkoituksensa mukaiset tekniset vaatimukset ja on vastaaviin tuotteisiin sovellettavien säännösten mukainen; sekä

- sen käyttö ei kokonaisuutena arvioiden aiheuta vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle (Jätelaki 646/2011, 5.3 §)

Ensisijaisesti tarkoitus olisi, että sääntely tapahtuisi EU-tasolla, jolloin EoW- vapautus pätee kaikkiin jäsenmaihin. Mikäli asiasta ei ole päätetty EU:n tasolla, voidaan jäteluokitus kuitenkin poistaa myös kansallisella asetuksella. Tällä hetkellä EU-tason EoW-säädökset on luotu rauta-, teräs- ja alumiiniromulle, lasimurskeelle sekä kupariromulle. EU-tasolla EoW-säädös on annettu jätteille, joiden hyödyntäminen on yleistä koko EU:n alueella. Lisäksi paperijätteelle oli suunnitteilla EoW-säädös, mutta se kaatui Euroopan parlamentin veto-oikeudella vuonna 2014. Jätedirektiivissä on myös määritelty mahdollisia materiaaleja, joihin voitaisiin soveltaa EoW-menettelyä, ja kiviaines on yksi näistä. Paperijätteen jälkeen ei EU-tasolla ole kuitenkaan tullut uusia säädösehdotuksia. (Ympäristöministeriö, 2018b)

Eräissä Euroopan maissa on kansallisesti luotu arviointikriteerejä tiettyjen materiaalien jätestatuksen päättymiselle; näiden pohjalta ollaan luomassa kansallisia jätestatuksen päättymisen arviointikriteerejä myös Suomeen. Esimerkiksi Belgian Flanderissa, Iso-Britanniassa, Alankomaissa, Itävallassa sekä Ranskassa on luotu kansallisia sääntöjä ja kriteerejä eräille pysyville jätemateriaaleille, kuten betonille (Turunen, 2019). Ranskassa on muihin edellä esitettyihin maihin verrattuna hieman poikkeava kansallinen asetus kiviainesten jätteeksi luokittelun poistamisesta, sillä siellä asetus koskee vain teiden rakentamiseen käytettäviä materiaaleja. Jätedirektiivissä on asetettu tiettyjä vaatimuksia kansalliselle sääntelylle. Sääntelyssä täytyy määritellä (Euroopan Unioni, 2008; Turunen, 2019):

- jätemateriaalit, jotka on sallittua toimittaa hyödyntämistoimeen;
- sallitut käsittelyprosessit ja -tekniikat;
- sovellettavien tuotestandardien mukaiset laatuvaatimukset materiaaleille, joita ei hyödyntämistoimen seurauksena enää luokitella jätteeksi, mukaan lukien tarvittaessa epäpuhtauksien raja-arvot;
- hallintajärjestelmille asetettavat vaatimukset osoittaa noudattavansa jätteeksi luokittelun päättymistä koskevia perusteita, mukaan lukien laadunvalvontaa ja omavalvontaa sekä akkreditointia koskevat perusteet, josta tämä on asianmukaista; sekä
- vaatimustenmukaisuusilmoitusta koskeva vaatimus

Kansallinen EoW-säädös voidaan luoda jätteelle, jonka hyödyntäminen ei välttämättä ole koko EU:n alueella merkittävää, mutta kyseisessä valtiossa jätteen hyödyntäminen on laajamittaista ja tunnettua. Kansallisen säädöksen on kuitenkin noudatettava EU-säädöksessä kuvattuja edellytyksiä. Kansallisilla EoW-asetuksilla ei ole vaikutuksia EU:n sisämarkkinoihin. Näin ollen esimerkiksi betonimurske, joka on saanut EoW-statuksen tietyssä maassa, esimerkiksi Alankomaissa, on edelleen jätettä naapurimaassa. Jokaisessa maassa EoW-asetus on hieman erilainen ja jätteeksi luokittelun päätymisen kriteerit vaihtelevat maittain. Asetuksissa on asetettu muun muassa reunaehtoja ja laatuvaatimuksia jäteperäiselle syöttöpanokselle, kierrätettyjen materiaalien tuotannolle sekä lopputuotteelle. (Turunen, 2019)

Muissa Euroopan maissa asetetuissa kansallisissa EoW-asetuksissa on usein säädetty myös käyttökohteet ja käyttötavat. Esimerkiksi Belgian Flanderissa EoW-kriteerit on säädetty kuudelle eri käyttötarkoituskategorialle, joita ovat muun muassa käyttö rakennusmateriaalina, käyttö lannoitteena tai maanparannusaineena sekä käyttö kaatopaikan keinotekoisena tiivistysvuorauksena. Kaikille samaan tarkoitukseen käytettäville materiaaleille on yhteiset

EoW-kriteerit. Kriteerejä on kehitetty muun muassa tekniselle ja ympäristökelpoisuudelle sekä valmistukselle ja käytölle. (Turunen, 2019)

Suomessa ei vielä ole annettu yhtään kansallista asetusta jäteluokittelun päättymisestä, joten kehitteillä oleva asetus betonimurskeen jäteluokituksen päättymisestä olisi ensimmäinen (Ympäristöministeriö, 2018b). Vaikka Suomessa ei ole yhdellekään materiaalille kansallista asetusta jäteluokituksen päättymisestä, on toimivaltainen viranomainen voinut ratkaista, onko aine tai esine hyödyntämistoimen seurauksena lakannut olemasta jätettä. Jätteen haltija on voinut esimerkiksi tehdä arvion materiaalin jäteluonteesta ja toimittaa sen toimivaltaiselle viranomaiselle, joka voi antaa lausunnon luokituksesta ja ympäristöluvan muutostarpeesta. Lisäksi jäteluokituksen päättymistä on voitu käsitellä toiminnan ympäristölupahakemuksen käsittelyn yhteydessä. Suomessa ympäristölupahakemuksen käsittelyn yhteydessä on haettu jäteluokituksen päättymistä ainakin kattohuopajätteestä valmistettavalle kattohuoparouheelle (Bitumenmix), masuunikuonalle, ferrokromikuonalle sekä asfalttirouheelle ja -murskeelle. Asfalttirouheelle ja -murskeelle ei myönnetty jäteluokituksen poistamista ympäristöluvan yhteydessä, mutta muille materiaaleille puolestaan annettiin myönteinen päätös eli ne vapautettiin jäteluokituksesta. (Lehtonen, 2019)

Vaikka betonimurskeen voi CE-merkitä, se luokitellaan edelleen jätteeksi. Jäteluokitus vaikuttaa esimerkiksi materiaaliin kohdistuvaan sääntelyyn. Esimerkiksi jätteen hyödyntäminen, käsittely ja varastointi vaativat usein ympäristölupaa, ja lisäksi jätteen kuljettamiseen liittyy velvoitteita, kuten jätehuoltorekisteriin liittyminen (Ympäristöministeriö, 2018b). Betonimurskeelle on myös haettu ympäristölupahakemuksen yhteydessä jäteluokituksen päättymistä vuonna 2018, mutta tuolloin alueellinen aluehallintovirasto hylkäsi hakemuksen. Kielteiseen päätökseen vaikutti suurimmaksi osin betonimurskeen rajoittamattomaan käyttöön liittyvät mahdolliset ympäristövaikutukset erityisesti pohjavesialueilla. Betonimurskeen käytöstä pohjavesialueilla ei ole juuri tietoa, koska sitä ei ole saanut käyttää luokitelluilla pohjavesialueilla MARA-ilmoituksella. (ESAVI, 2018)

Kansallisen asetuksen betonimurskeen jäteluokituksen päättymisestä odotetaan valmistuvan vuoden 2019 aikana. Sen valmistelussa on kuitenkin vielä useita kysymysmerkkejä, kuten rajoittamattomasta käytöstä pitkän ajan kuluessa mahdollisesti aiheutuvat haitat terveydelle ja ympäristölle sekä se, voiko betonimurske lakata olemasta jätettä muualla kuin ympäristöluvan saaneissa laitoksissa. (Ympäristöministeriö, 2018b)

## 2.6 Käytäntöjä muissa Pohjoismaissa

Betonimurskeen kierrätys maarakentamisessa on verrattain yleistä Pohjoismaissa. Tanska ja Suomi ovat edelläkävijöitä betonimurskeen hyödyntämisessä. Esimerkiksi Tanskassa kierrätetään arviolta saman verran betonijätettä vuosittain kuin Suomessa, noin 1,5 miljoonaa tonnia, ja Ruotsissa arvioiden mukaan hieman vähemmän, noin miljoona tonnia. Rakennus- ja purkujätteen kierrättämistä säädellään Tanskassa kansallisella määräyksellä, joka vastaa kansallista asetustamme (Hjelmer ym., 2016). Kuten Suomessakin, Tanskassa rakennus- ja purkujäte tulee lajitella eri jätejakeisiin, kuten luonnon kiviainekseen, metalleihin ja betoniin. Maarakentamisessa hyödynnettävän jätteen tulee olla myös pilaantumatonta eli se ei saa sisältää ympäristölle haitallisia aineita niin, että niistä aiheutuisi ympäristölle tai terveydelle haittaa (Wahlström ym., 2019).

Norjassa kansallisen tason asetukset tai määräykset eivät valvo betonijätteen hyödyntämistä vaan sen hyödyntämistä ohjaavat erilaiset ohjeistukset ja standardit esimerkiksi väylärakentamisessa (Hjelmar ym., 2016). Ruotsissa puolestaan betonijätteen hyödyntäminen maarakentamisessa tulkitaan ympäristöä pilaavaksi toiminnaksi, josta täytyy tehdä ilmoitus joko kunnalliselle tai valtion viranomaiselle riippuen toiminnan aiheuttaman riskin suuruudesta (Wahlström ym., 2019).

Missään Pohjoismaassa ei ole vielä kehitetty kansallisella tasolla kriteerejä betonimurskeen jäteluokituksen päättymiselle (Hjelmar ym., 2016). Tällä hetkellä esimerkiksi Tanskassa kunnat ovat vastuussa jäteluokituksen päättymisen arvioinnista samalla tavalla kuin Suomessa eli EoW-statusta voi hakea toiminnan ympäristöluvan yhteydessä joko kunnalliselta tai valtion viranomaiselta. Norjassa ei vielä ole erityistä strategiaa EoW-asetuksen valmistelemiseksi, sillä jätestatus ei ole este betonimurskeen hyödyntämiselle, mikäli betonimurske täyttää seuraavat ehdot:

- sillä on käyttötarkoitus, johon sitä käytetään;
- sillä on markkinat ja kysyntää;
- se täyttää käyttötarkoituksensa mukaiset tekniset vaatimukset ja on vastaaviin tuotteisiin sovellettavien säännösten mukainen; sekä
- sen käyttö ei kokonaisuutena arvioiden aiheuta vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle

Nämä ehdot lähes samat kuin jätelain 5.3 §:ssä (kappale 2.4.7) mainitut ehdot, jotka ovat peräisin EU:n jätedirektiivistä.

Ruotsissa valtion ympäristöviranomaiset ovat sitä mieltä, ettei EoW-statuksen velvoittaman ympäristökelpoisuuden osoittamista voida osoittaa pelkästään liukoisuusanalyyseillä vaan jätteen koko koostumus tulisi selvittää (Hjelmer ym., 2016). Esimerkiksi joidenkin haitta-aineiden kohdalla (SVHC, erityistä huolta aiheuttavat aineet), korkeat kokonaispitoisuudet voivat aiheuttaa huomattavan riskin, vaikka haitta-aineiden liukoiset pitoisuudet olisivat alhaiset. Liukoisuustestit eivät täysin ota huomioon muun muassa suoraa altistumista pölyn välityksellä.

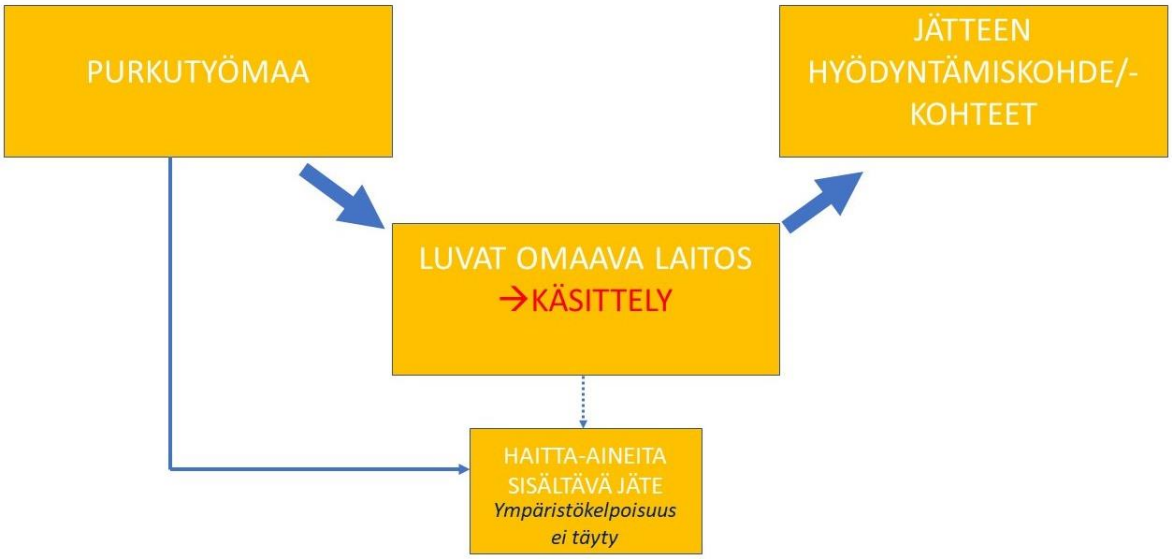
# 3 Tutkimusaineisto ja menetelmät

## *3.1 Tarkastellut toimintamallit*

### 3.1.1 Toimintamalli 1: Laitosmainen tuotanto/Kiinteä laitos

Laitosmaisella tuotannolla (kuva 6) tarkoitetaan betonimurskeen tuotantoa kiinteillä laitoksilla, joilla on asianmukaiset luvat, kuten ympäristölupa, betonijätteen vastaanottoon sekä käsittelyyn. Kiinteällä laitoksella viitataan myös yhteen sijaintiin, sillä ympäristölupa on aina sijoituspaikkakohtainen (Ympäristöministeriö, 2014). Valmistettu betonimurske hyödynnetään MARA-asetuksen mukaisesti lähialueen maarakennustyömailla. Kiinteät laitokset ottavat betonijätettä vastaan esimerkiksi ympäröiviltä rakennus- ja purkutyömailta sekä betoniteollisuudesta. Betonijätteen käsittelylaitokset ovat yleensä ulkona toimivia alueita, sillä betonijätteen vastaanotto ja käsittely ei yleisesti ottaen vaadi katettua tilaa (Joutsenoja, 2019). Vastaanotettavan betonin palakoko voi vaihdella suuresti esimerkiksi 150-5000 mm

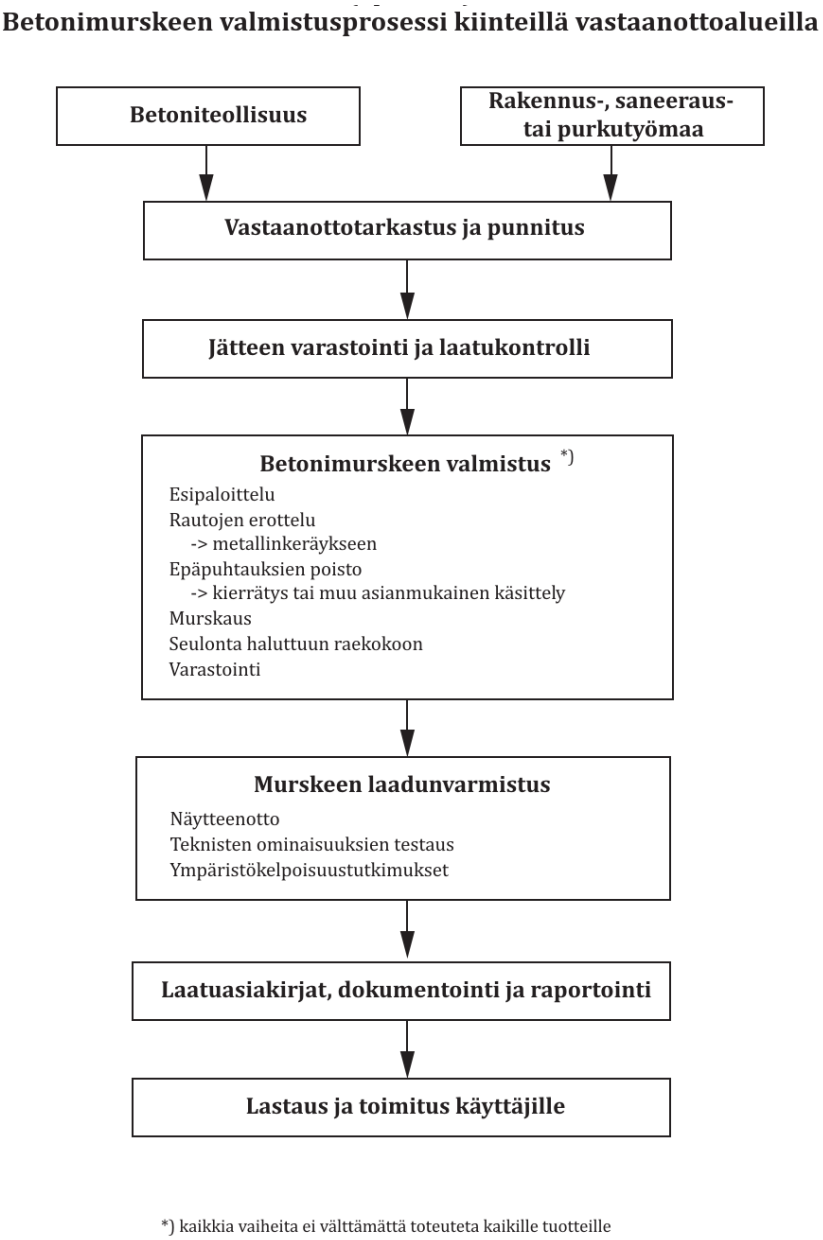
välillä. Betonijäte sijoitetaan varastokasalle odottamaan käsittelyä, mikä tarkoittaa lähes aina murskausta (Pieksemä, 2019).




*Kuva 6. Toimintamalli 1: Betonimurskeen laitosmainen tuotanto. Betonimurskeen tuotanto on jaettu kolmeen eri vaiheeseen: syntypaikka, käsittelylaitos sekä hyödyntämiskohde. Laitosmaisessa tuotannossa betonijäte kuljetetaan esimerkiksi purkutyömaalta käsittelylaitokseen, jossa betonijäte käsitellään eli murskataan ja tarvittaessa seulotaan. Tämän jälkeen valmistettu murske toimitetaan hyödyntämiskohteeseen rakenteeseen sijoitettavaksi.*

MARA-asetuksen mukaista betonimursketta valmistavat kiinteät laitokset eivät ota vastaan haitallisia aineita sisältäviä betoni- ja tiilijätteitä, mikäli jätteen käsittelijällä ei ole tarvittavia lupia haitallisia aineita sisältävän betonijätteen vastaanottamiselle. Jätteen toimittaja on aina vastuussa siitä, että laitoksille toimitettavat kuormat täyttävät vastaanottajan laatimat vastaanottoehdot. Vastaanottajalla onkin mahdollisuus käännyttää epäpuhtauksia sisältävä kuorma tai periä ylimääräisiä käsittelykuluja, mikäli jäte ei täytä laitoksen vastaanottoehtoja. Epäpuhtauksia sisältävät betonijätteet toimitetaan laitoksiin, joilla on asianmukaiset luvat, ja ne hyödynnetään esimerkiksi ympäristöluvan mukaisesti MARA-ilmoituksen sijaan. (Joutsenoja, 2019)

Laitosmaisessa tuotannossa valvotaan säännöllisesti syntyvän betonimurskeen teknistä laatua ja ympäristökelpoisuutta. Valmistusprosessin aikana laatua tarkkaillaan useassa eri vaiheessa: vastaanoton, välivarastoinnin ja käsittelyn yhteydessä. Lopuksi valmistettavasta murskeesta tehdään tarvittavat tutkimukset. Kuvassa 7 on kuvattu tarkemmin betonimurskeen laitosmaista käsittelyä ja sen eri vaiheita betonijätteen syntymisestä aina valmiin murskeen toimitukseen saakka.




*Kuva 7. Toimintamalli 1: Betonimurskeen valmistusprosessi laitosmaisessa tuotannossa (SFS-EN 5884, 2018)*

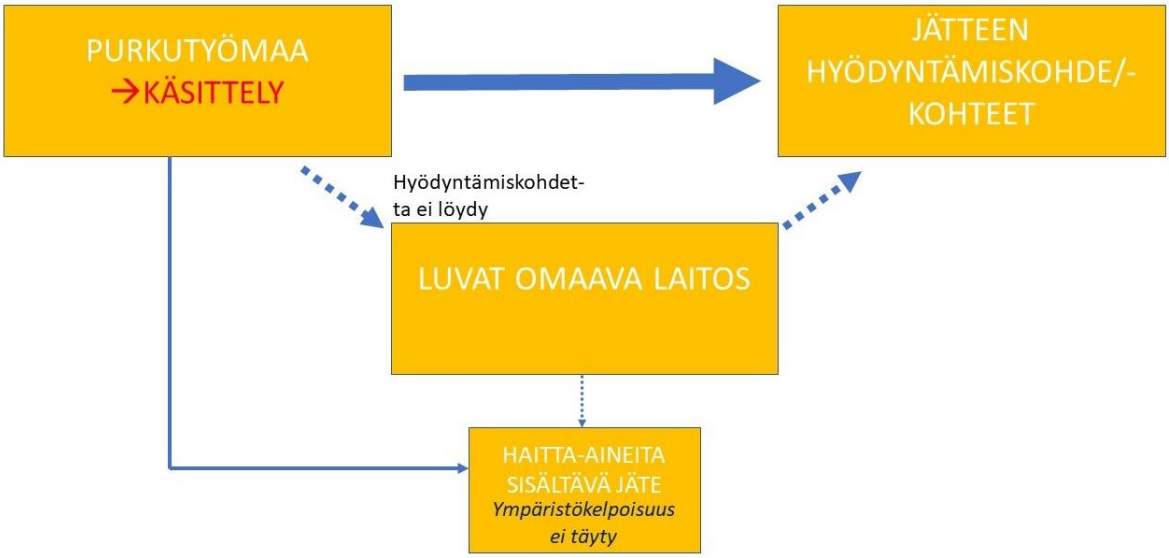
Mikäli ympäristökelpoisuusvaatimus ei täyty, betonimurske toimitetaan muuhun hyödyntämiseen. Valmistettu murske välivarastoidaan laitoksella ennen kuin se toimitetaan hyödynnettäväksi MARA-asetuksen mukaisesti lähialueilla sijaitseville infratyömaille. Ympäristöluvitetuilla laitoksilla välivarastointi saa kestää enintään kolme vuotta (määrätty toiminnan ympäristöluvassa). Mikäli jäte on välivarastossa yli kolme vuotta, välivarasto voidaan tulkita jätteen kaatopaikaksi ja jäte tulee jäteverolliseksi, mikä tarkoittaa, että siitä pitää maksaa veroa 70 €/t (Jäteverolaki 1126/2010). Pääkaupunkiseudun käsittelylaitoksissa betonimurske kiertää kuitenkin huomattavasti nopeammin kuin kolmessa vuodessa, jolloin jäteveron uhkaa toiminnalle ei ole (Pieksemä, 2019).

Kiinteiksi laitoksiksi voidaan tulkita sekä yksityisten yritysten perustamat ympäristöluvitetut laitokset, että kunnalliset jätekeskukset. Pääkaupunkiseudulla sijaitsevia kiinteitä betonijätteen käsittelylaitoksia ovat muun muassa Circulation Oy:n, Purkupiha Oy:n ja Helsingin Talosiirto Oy:n toimipiste Vantaalla sekä Rudus Oy:n betonijätteen kierrätysasemat Konalassa Helsingissä, Ämmässuolla Espoossa sekä Länsisalmessa Vantaalla. (Joutsenoja, 2019)

Laitosmaisen tuotannon yhtenä vahvuutena on pidetty tasalaatuista lopputuotetta (murske). Kiinteissä laitoksissa eri laatuluokkien valmistamisen on ajateltu olevan vaivattomampaa, koska vastaanotettavalle betonijätteelle on asetettu vastaanottoehdot, jotka sen tulee täyttää. Näin ollen murskausprosessiin syötettävä betonijäte on tasalaatuisempaa ja valmistuvaa betonimursketta tarkkaillaan säännöllisin väliajoin laboratorioanalyysein (Pieksemä, 2019). Lisäksi ympäristövaikutuksia on helpompi seurata ja hallita, kun toiminta on samassa paikassa ja laitoksella on ympäristölupa. Ympäristölupa velvoittaa ympäristövaikutusten tarkkailuun ja raportointiin. Usein myös päästöille, kuten jätevesipäästöille, asetetaan raja-arvoja, joita ei saa ylittää. Kiinteiden laitosten kohdalla etuna voidaan myös pitää sitä, että alueelle, jolle on saatu tarvittavat luvat betonijätteen käsittelyä ja varastointia varten, voidaan varastoida valmistettua betonimursketta ja odottaa sopivien hyödyntämiskohteiden löytymistä, mikäli niitä ei ole tarjolla jätteen syntyhetkellä. (Joutsenoja, 2019)

### 3.1.2 Toimintamalli 2: Tuotanto purkutyömailla

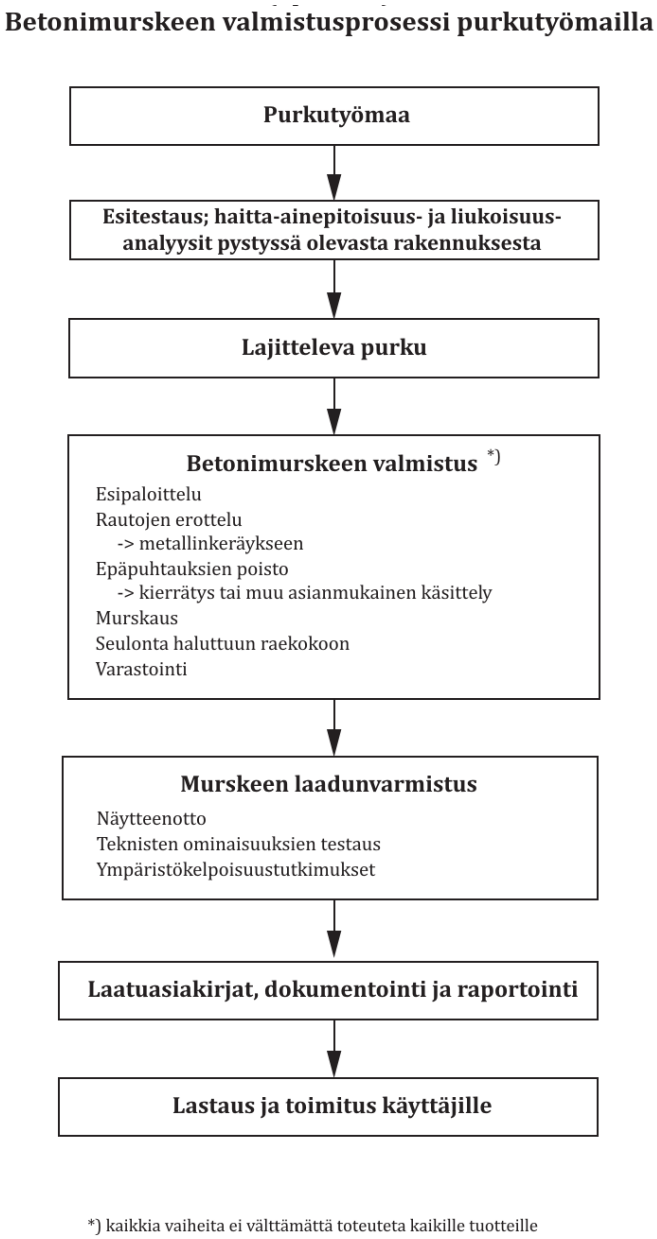
Toinen, MARA-asetuksessakin mainittu tuotantotapa, on betonimurskeen tuotanto purkutyömailla (kuva 8). Esimerkiksi purkutyömaalla lajitellaan hyödynnettäväksi kelpaava ja kelpaamaton betonijäte, minkä jälkeen hyödynnettäväksi kelpaava betonijäte käsitellään paikan päällä ja hyödynnetään MARA-ilmoituksella joko paikan päällä tai toimitetaan toiselle työmaalle hyödynnettäväksi.




*Kuva 8. Toimintamalli 2: Betonimurskeen tuotanto purkutyömailla. Betonimurskeen tuotanto on jaettu samoihin eri vaiheisiin kuin laitosmaisessa tuotannossa, mutta tuotettaessa betonimursketta purkutyömailla käsittely eli murskaus tapahtuu jo betonijätteen syntypaikalla. Näin ollen betonia ei tarvitse kuljettaa toisaalle käsiteltäväksi, vaan se voidaan kuljettaa suoraan hyödyntämiskohteeseen.*

Purkutyömailla tapahtuva betonimurskeen tuotanto on tällä hetkellä harvinaisempaa kuin laitosmainen tuotanto, mutta jotkin purkuyritykset, kuten Delete Finland Oy, Purkupiha Oy, Umacon Oy ja Gles Oy, tuottavat betonimursketta purkutyömailla (Joutsenoja, 2019). Purkutyömailla betonimursketta tuottavilla yrityksillä on kuitenkin usein myös omia ympäristöluvallisia vastaanotto- ja käsittelyalueita, jonne betonijätettä voi kuljettaa, mikäli purkukohde on sijainniltaan sopivassa paikassa. Purkutyömailla tuotettu betonimurske tulee myös CE-merkitä yhtä lailla kuin laitosmaisessa tuotannossa valmistetun betonimurske, mutta valmistettava betonimurske kuuluu luokkiin BeM II-IV. Purkutyömailla tuotetun betonimurskeen seassa saattaa olla myös tiiltä riippuen esimerkiksi purettavasta kohteesta ja lajittelevan purun tarkkuudesta, mikä heikentää betonimurskeen teknistä laatua ja tämän takia se ei välttämättä sovi korkea-arvoisempaan käyttötarkoitukseen, kuten väylien kantavaan kerrokseen (Liikennevirasto, 2014). Tiiltä sisältävä betonijäte voidaan yhtä lailla kuitenkin viedä kiinteälle laitokselle, jossa sitä ei myöskään pystytä kustannustehokkaasti erottelemaan. Laitosmaisessa tuotannossa tuotettu betonimurske voi siten sisältää myös tiiltä (Joutsenoja, 2019).

Betonimurskeen valmistusprosessi (kuva 9) purkurakennustyömailla muistuttaa hyvin pitkälti laitosmaista tuotantoa. Tärkeänä osana valmistusprosessia on purkubetonin esitestaus, jolla selvitetään, soveltuuko betoni maanrakennuskäyttöön. Mikäli analyyseistä selviää, että betonin haitta-ainepitoisuudet ylittävät MARA-asetuksessa annetut raja-arvot (yleisintä on kromin raja-arvon ylittyminen), betoni toimitetaan muualle hyödynnettäväksi. Mikäli puolestaan hyödyntämiskohdetta ei ole tiedossa esimerkiksi purkua tehdessä, betonijäte on toimitettava asianmukaiset luvat omistavaan laitokseen, sillä MARA-asetuksen mukaisessa hyödyntämisessä hyödyntämiskohde on oltava tiedossa, jotta betonimursketta voi välivarastoida (enintään 1 vuosi). (Ympäristöministeriö, 2018)




*Kuva 9. Toimintamalli 2: Betonimurskeen valmistusprosessi purkutyömaalla (SFS- EN 5884, 2018)*

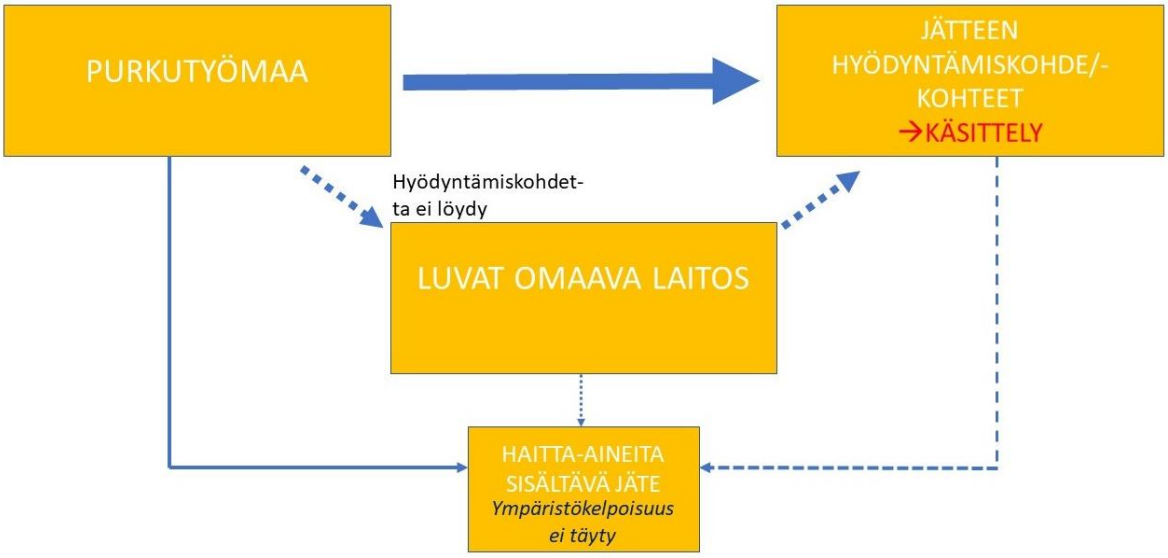
Jätteen käsittely, tässä tapauksessa murskaus, vaatii yleisesti ottaen ympäristöluvan, mutta mikäli toiminnan katsotaan olevan tilapäistä, voidaan sille myöntää melupäätös. Aikaisemman MARA-asetuksen (VNa 591/2006) velvoittama 0-150 mm palakoko voitiin saavuttaa pelkällä pulveroinnilla, jonka ei usein katsottu tarvitsevan erillistä melupäätöstä, sillä se katsottiin osaksi tavanomaista purkutoimintaa. (Ympäristöministeriö, 2014)

Betonijätteen murskauksesta aiheutuu lähiympäristöön tilapäisiä melu- ja mahdollisia pölypäästöjä, jonka vuoksi melupäätöksen saaminen jätteen murskaamiselle esimerkiksi kaupungin keskustoissa voi olla hankalaa, sillä lähellä on paljon häiriintyviä kohteita. Toisaalta, tuottamalla betonimurske purkutyömaalla voidaan säästää kuljetus- sekä jätemaksuissa ja vähentää päästöjä, kun betonijäte voidaan hyödyntää joko paikan päällä tai kuljettaa suoraan

hyödyntämiskohteeseen, mikäli betonimurske on MARA-asetuksen mukaista ja hyödyntämiskohde on jo selvillä. Toiminta on myös usein hyvin lyhytaikaista, ja nykyisillä tekniikoilla voidaan ehkäistä erityisesti pölypäästöjä tehokkaasti (Haapalainen, 2019). Mikäli edellä mainitut ehdot täyttyvät, betonijätettä ei tarvitse erikseen kuljettaa asianmukaiset luvat omaavaan laitokseen, missä betonimurske tuotettaisiin ja mistä se kuljetettaisiin hyödyntämiskohteeseen.

### 3.1.3 Toimintamalli 3: Tuotanto hyödyntämiskohteessa

Kolmantena toimintamallina esitellään nykyisin vielä harvinaisempi toimintamalli, jossa betonimurske esikäsitellään purkutyömaalla ja kuljetetaan hyödyntämiskohteeseen käsiteltäväksi ja hyödynnettäväksi (kuva 10). Esimerkki kyseisestä hyödyntämiskohteesta on iso väylähanke, jossa on tarpeeksi kapasiteetti betonijätteen vastaanotolle ja käsittelylle.




*Kuva 10. Toimintamalli 3: Betonimurskeen tuotanto hyödyntämiskohteessa. Betonimurskeen tuotanto on jaettu samoihin eri vaiheisiin kuin muissa toimintamalleissa, mutta tässä toimintamallissa betonijäte kuljetetaan esikäsiteltynä suoraan hyödyntämiskohteeseen, jossa on tarvittavat luvat betonijätteen käsittelylle ja hyödyntämiselle. Mikäli valmistettu betonimurske ei täytä ympäristökelpoisuudelle asetettuja vaatimuksia, se kuljetetaan eteenpäin kohteeseen, jolla on asianmukaiset luvat vastaanottaa haitallisia aineita sisältävää jätettä.*

Kuvan 10 toimintamallin kaltainen hyödyntäminen tulkittaisiin MARA-asetuksen mukaan todennäköisesti laitosmaiseksi tuotannoksi, sillä MARA-asetuksessa tuotanto on rajattu rakennus- ja purkutyömaille sekä kiinteille laitoksille. Laitosmaisella tuotannolla on kuitenkin oltava ympäristölupa betonijätteen käsittelyä varten ja toimintamallin 3 mukaisessa toiminnassa, betonijätteen murskaus oletetaan tapahtuvan melupäätöksellä. Tuotetun betonimurskeen tuotannon purkukohtaisuuteen on viitattu MARA-asetuksen liitteessä 3 (VNa 843/2017). Muualla asetuksessa ei ole otettu kantaa siihen, missä hyödynnettävä betonimurske tulisi tuottaa.

Joissakin hyödyntämiskohteissa, kuten suuren kokoluokan pohja- ja väylähankkeissa, olisi mahdollista järjestää esikäsitellyn betonijätteen vastaanotto ja käsittely paremmin kuin esimerkiksi ahtaassa purkukohteessa. Siirrettävät betonin murskaukseen tarkoitetut laitokset

ovat kooltaan pienempiä kuin esimerkiksi luonnonkiviainekseen tarkoitetut murskaimet ja näin ollen melko helposti siirreltävissä (Hotanen, 2005). Esimerkiksi väylähankkeissa, joissa louhitaan ja murskataan luonnonkiviainesta, voisi käsitellä myös betonijätettä.

Hyödyntämiskohteessa tapahtuva betonimurskeen tuotanto vaatii nykyisen lainsäädännön mukaan ympäristöluvan. MARA-ilmoituksella voi vastaanottaa ja välivarastoida betonimursketta enimmillään vuoden ajan hyödyntämiskohteessa, mutta betonijätteen tulee olla muuten MARA-asetuksen mukaista (Ympäristöministeriö, 2018). Näin ollen pulveroitua betonimursketta ei voi kuljettaa hyödyntämiskohteeseen, ellei alueella ole asianmukaisia lupia jätteen vastaanottoon. Jätelaissa on määritetty kriteerit, jonne jätettä voidaan toimittaa, minkä vuoksi melupäätöksen omaavalle työmaalle ei voida toimittaa jätettä, ellei sillä ole asianmukaisia lupia, kuten ympäristölupaa (Jätelaki 646/2011). Lisäksi ympäristölupa tulisi olla myös betonijätteen käsittelyyn, sillä jätteen ammattimainen käsittely on ympäristöluvanvaraista toimintaa. Betonin murskaus voisi olla mahdollista melupäätöksellä hyödyntämiskohteessa, mutta nykyisten käytäntöjen mukaan melupäätöksen saaminen kohteeseen, jossa käsitellään mahdollisesti useasta eri kohteesta tuotuja betoneja, ei ole mahdollista. Toiminta todennäköisesti tulkitaan jätteen ammattimaiseksi ja laitosmaiseksi tuotannoksi (Ympäristöministeriö, 2017a). Toiminnalle, jossa betonia tuodaan vain yhdestä suuresta purkukohteesta suoraan hyödyntämiskohteeseen käsiteltäväksi ja hyödynnettäväksi, ei ole vakiintuneita käytäntöjä siitä, mikä olisi oikea lupa- tai ilmoitusprosessi, sillä tällaista toimintaa ei ole aikaisemmin harjoitettu (Joutsenoja, 2019).

Purkutyömaalla betonimursketta tuotettaessa ongelmaksi voivat muodostua lähimmät häiriintyvät kohteet ja käsittelyyn vaadittavan melupäätöksen myöntäminen (Haapalainen, 2019). Tällaisissa kohteissa, joissa melupäätöstä ei voida myöntää, kuten esimerkiksi kaupunkien keskustoissa, betonijätteen voisi kuljettaa pulveroituna hyödyntämiskohteeseen, jossa se käsitellään. Näin ollen vältyttäisiin ylimääräisiltä kuljetuskustannuksilta ja kuljetusten ympäristöhaitoilta, mikäli jäte pitäisi kuljettaa asianmukaiset luvat omaavaan laitokseen ja sieltä uudestaan hyödyntämiskohteeseen, varsinkin, jos lähettyvillä ei ole kiinteitä laitoksia.

Infrarakentamisesta vastaavalla urakoitsijalla on harvoin omaa kalustoa betonin murskaamiseksi, joten käsittelyn hyödyntämiskohteessakin tekisi aliurakoitsija, kuten purkuyritys. Hyödyntämiskohteessa urakoitsija kuitenkin pääsisi enemmän vaikuttamaan ja valvomaan muun muassa tuotettavan betonimurskeen laatua, jolloin valmistettava betonimurske voisi mahdollisesti olla teknisesti soveltuvampaa eri käyttökohteisiin (Joutsenoja, 2019). Purkukohteessa syntyneen purkubetonin laatu on tietenkin ensisijaisen tärkeää, myös hyödyntämiskohteessa murskattaessa, jotta betonimurskeesta saadaan tarpeeseen sopivaa ja kelpoisuudet täyttävää rakennusmateriaalia. Tämän takia laadunvalvontaa tulisi suorittaa myös purkubetonin vastaanoton yhteydessä.

Mikäli hyödyntämiskohteeseen saisi melupäätöksen betonijätteen murskaamiselle ja se tulkittaisiin asianmukaiseksi luvaksi myös vastaanottaa betonia, MARA-asetuksen (VNa 843/2017) velvoittama purkukohdekohtaisuus voitaisiin säilyttää, vaikka hyödyntämiskohteeseen tuotaisiin esikäsiteltyä betoni- ja tiilijätettä useammasta eri kohteesta. Nämä kohteet säilytettäisiin omilla varastokasoillaan ja murskattaisiin omiin murskekasoihin, jotka näytteistettäisiin omina erinään. Tämän jälkeen haitta-aineanalyysien tulokset liitettäisiin osaksi ELY-keskukselle tehtävää MARA-ilmoitusta. Tarvittaisiin vain yksi MARA-ilmoitus, sillä hyödyntämiskohde pysyy samana, jolloin säästettäisiin myös viranomaisen resursseja ja

mahdollisesti nopeutettaisiin käsittelyaikoja. Betonimurskeen ympäristökelpoisuus tutkittaisiin MARA-asetuksen vaatimalla tavalla valmistetusta murskeesta, ja mikäli ympäristökelpoisuus ei täyttyisi, betoni- ja tiilimurske toimitettaisiin asianmukaiset luvat omaavaan laitokseen. Purkutekniikoiden kehittyessä on kuitenkin yhä harvinaisempaa, että valmistetut betonimurskeet eivät täyttäisi MARA-asetuksen vaatimuksia. Toiminnan mahdollistaminen vaatisi kuitenkin nykyisen lainsäädännön muutosta. (Joutsenoja, 2019)

### 3.1.4 Toimintamalli 4: Betonilouheen ja suurten kappaleiden hyödyntäminen maarakentamisessa

Yhtenä mahdollisena toimintamallina tarkasteltiin suurten betonikappaleiden ja betonilouheen hyödyntämistä maarakentamisessa. Nykyisen lainsäädännön mukaan murskaamatonta betonilouhetta voidaan hyödyntää ympäristöluvalla. Betonilouhetta voidaan käyttää esimerkiksi korvaamaan kivilouhetta meri- ja pengertäytöissä tai tukipenkereissä (ESAVI, 2018b). Korvaamalla luonnon maa- ja kiviainesta uusiomateriaaleilla esimerkiksi suurissa valleissa, voidaan näissä yleensä käytettävät neitseelliset luonnonmateriaalit jalostaa korkeampiluokkaisiksi tuotteiksi, joihin esimerkiksi uusiomateriaalit eivät sovellu. Betonilouheen suurta palakokoa on perusteltu esimerkiksi ympäristölupahakemuksissa sen korkealla vetolujuudella. Vetolujuus on korkea myös sen vuoksi, että betonilouheesta ei poistettaisi betonirautoja vaan ne jätettäisiin louheen sisään. (ESAVI, 2018b)

Suurin ero aikaisempiin toimintamalleihin katsoen on se, että tässä toimintamallissa betonia ei käsitellä eli murskata yhtä ympäristöä kuormittavalla tavalla kuin muissa toimintamalleissa. Esimerkiksi purkutyömaalla syntyvä betonijäte esikäsitellään pulveroimalla haluttuun kokoon (esimerkiksi 0-300 tai 0-600 mm), jonka jälkeen jäte voidaan kuljettaa hyödyntämiskohteeseen. Joissain kohteissa betonilouheen hyödyntämistä on myös perusteltu juuri kuljetusmatkojen lyhyydellä. Esimerkiksi meritäyttöihin sijoitettavat betonilouheet voivat usein olla peräisin viereisiltä työmailta, jolloin louheen kuljetukselle ei ole käytännössä tarvetta (Suominen, 2019). Betonijätettä ei erikseen murskata, jonka vuoksi jätteen käsittelylle ei ole varsinaista lupavelvollisuutta toisin kuin jätteen hyödyntämiselle.

Betonilouheen hyödyntäminen on Suomessa vielä melko harvinaista, koska kyseinen toiminta vaatii ympäristöluvan ja sopivia käyttökohteita on vähän. Tällä hetkellä betonilouhetta hyödynnetään pääasiassa vallirakenteissa (esimerkiksi ampumaradoilla) ja tavoitteena on lisätä hyödyntämistä myös meritäytöissä. Ympäristöluvan saaminen kyseisille kohteille voi olla verrattain hidasta, jopa vuosia, jonka vuoksi rakentamisaikataulun ollessa nopea ympäristölupaa ei usein ehditä hakea, vaan rakentamisessa hyödynnetään luonnon kiviainesta. Toisaalta kunnallisilta ympäristökeskuksilta ympäristöluvan betonilouheen hyödyntämiselle voi saada nopeammin, jolloin rakentamisen aikataulu ei viivästy liikaa varsinkaan suuremmissa hankkeissa. Esimerkiksi Helsingin kaupungilta ympäristöluvan voi saada puolessa vuodessa, kun hyödynnettävä betonilouheen määrä on alle 50 000 tn/a (Suominen, 2019).

Suuren palakoon betonilouheen hyödyntäminen täytöissä on kyseenalaistettu, sillä betonia pidetään materiaalina, joka tulisi jalostaa korkeamman asteen tuotteiksi, kuten murskeiksi. Näin betonin hyvät tekniset ominaisuudet saataisiin hyödynnettyä paremmassa käyttötarkoituksessa. Kyse on usein siitä, korvaako betoni aidosti luonnonkiviainesta esimerkiksi juuri täytöissä vai onko kyseessä toissijaisia rakenteita, joita ei välttämättä edes aloitettaisi rakentamaan, mikäli rakenne tehtäisiin luonnon maa-aineksista (Laurila, 2019). Betonilouheen

hyödyntäminen voi olla ympäristön kannalta kyseenalaista, koska hyödyntämisessä säännöllistä laadunvalvontaa ei tarvitse tehdä samalla tavalla kuin esimerkiksi MARA-asetuksessa velvoitetaan, sillä ympäristöluvassa ei välttämättä velvoiteta tarkkailemaan betonilouheen haitta-ainepitoisuuksia. Lisäksi edustavan näytteen ottaminen suurista betonipaloista on haastavaa, ja näin ollen ympäristökelpoisuuden todentaminen ei ole yhtä helposti toteutettavissa kuin MARA-asetuksen mukaisessa hyödyntämisessä (Lehtonen, 2019).

Betonilouheen ympäristövaikutuksia ei ole tutkittu niin tarkkaan kuin betonimurskeen, sillä betonilouheen hyödyntäminen maarakentamisessa on vielä tähän asti ollut pienimuotoista. Yleisesti ottaen voidaan kuitenkin todeta, että suuremman palakoon betonista liukenee ympäristöön vähemmän haitta-aineita, sillä pinta-alan ja tilavuuden suhde on tuolloin pienempi (Joutsenoja, 2019). Usein betonilouherakenteissa sekä muutenkin ympäristöluvallisissa kohteissa kerrospaksuudet ovat suuremmat kuin MARA-asetuksen mukaisessa hyödyntämisessä (pohja- ja väylärakenteissa 1,5 m), mikä voi toisaalta aiheuttaa paikallisesti suurempaa ympäristöön kohdistuvaa kuormitusta.

## *3.2 Elinkaaritarkastelu*

### 3.2.1 Päästölaskenta: työkalu ja lähtötiedot

Tarvittavien kuljetusten suuren määrän vuoksi päästölaskenta keskitettiin kuljetusten ja lastauksen aiheuttamiin päästöihin. Työssä arvioitiin, että merkittävimmät erot eri toimintamallien välillä aiheutuvat eri pituisista kuljetusmatkoista. Näin ollen eri toimintamallien erot käsittelyssä ja asennuksessa eivät aiheuta merkittäviä eroja ympäristövaikutusten suuruuteen. Lisäksi työssä ei arvioitu työmaiden ja kiinteiden laitosten sisäisen liikenteen aiheuttamia päästöjä, vaan päästöerojen oletettiin olevan merkityksettömän pieniä eri toimintamallien välillä.

Päästölaskentaa varten kehitettiin maanrakennustarpeisiin yksinkertainen Excel-pohjainen laskentatyökalu, jolla voitiin selvittää kuljetuksista ja lastauksista aiheutuvat päästöt. Laskentatyökalu hyödyntää VTT:n LIPASTO -tietokantaa, jonne on koottu tavaraliikenteen yksikköpäästökertoimia eri ajoneuvoille. Päästölaskennassa tarkasteltiin ainoastaan LIPASTOsta saatavia kasvihuonekaasupäästöjä ($CO_2$ ja $NO_x$), jotka ilmoitetaan $CO_2$-ekvivalentteina. Yksikköpäästökertoimina on tässä työssä käytetty päästömäärää ajoneuvokilometriä kohden (g/km). Tällä tarkoitetaan ajoneuvon kilometrin matkalla tuottamaa päästöä, johon vaikuttaa auton oman painon lisäksi myös kyydissä olevan tavaran paino (Teknologian Tutkimuskeskus VTT Oy, 2019).

Ajoneuvoiksi valittiin kaksi yleistyvää ajoneuvoa maarakennustyömailla: puoliperävaunuyhdistelmä (kuva 11) sekä 9-akselinen täysperävaunuyhdistelmä (kuva 12).

*Kuva 11. Havainnekuva puoliperävaunuyhdistelmäajoneuvosta.*

*Kuva 12. Havainnekuva täysperävaunuyhdistelmäajoneuvosta.*

Laskentaesimerkeissä ei käytetty 5-akselisia ajoneuvoja vaan kuljetukset oletettiin tehtävän joko puoliperävaunuyhdistelmillä tai täysperävaunuyhdistelmillä. Käyttämällä suurempia ajoneuvoja saadaan vähennettyä tarvittavien kuljetusten määrää ja näin ollen myös toimintamallien aiheuttamia kokonaispäästöjä alhaisemmiksi. Lisäksi, kun kaluston oletetaan olevan kaikissa toimintamalleissa sama, tuloksiin ei synny kaluston kapasiteetista aiheutuvia eroja. Suurin osa maansiirtoajoneuvoista on vielä 5-akselisia, mutta yhä enemmän kuljetusmarkkinoille on tulossa ajoneuvoja, joiden kuljetuskapasiteetti on suurempi (Joutsenoja, 2019) Ajoneuvojen yksikköpäästökertoimia on koottu taulukkoon 2.

*Taulukko 2. Tavaraliikenteen käytönaikaiset ajoneuvokohtaiset yksikköpäästökertoimet LIPASTO-tietokannasta ($CO_2$ ekv. g/km) (Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, 2019).*

| Keskimääräiset kulutukset v. 2016 | Tyhjä | Täysi kuorma | Kokonaiskantavuus (t) |
|---|---|---|---|
| Maantie Puoliperävaunu | 630 | 962 | 25 |
| Taajama Puoliperävaunu | 965 | 1652 | 25 |
| Maantie 9-akselinen | 872 | 1432 | 51 |
| Taajama 9-akselinen | 1361 | 2552 | 51 |

Taulukossa 2 täydellä kuormalla tarkoitetaan auton kuormauskapasiteetin mukaista lastin painoa tonneissa, sillä päästömäärä riippuu kuorman painosta, ei tilavuudesta (Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, 2019). Tässä työssä hyödynnettiin keskimääräisiä kulutuksia vuodelta 2016, sillä tarkkoja ajoneuvotietoja ei ollut käytettävissä.

VTT:n LIPASTO -tietokannassa on eroteltu erikseen maantieajo sekä katuajo (taajama). Maantieajolla tarkoitetaan keskimääräistä ajamista maantieverkolla. Maantieverkkoon lukeutuvat muun muassa valta-, kanta- ja seututiet. Maantieajossa otetaan huomioon ajoneuvojen keskimääräiset nopeudet ja ajo on yhtämittaista eli pysähdyksiä ei tule. Katuajolla puolestaan tarkoitetaan kaupunkien ja kuntien omistamalla katuverkostolla ajamista, jolloin keskinopeus on 30 km/h ja kilometrin matkaan lukeutuu noin kolme pysähdystä. (Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, 2019)

Myös lastauksesta aiheutuu päästöjä, sillä kuorma-autojen lastaus suoritetaan yleensä joko pyöräkuormaajalla tai kaivinkoneella (kuva 13). Tässä diplomityössä lastauksen ympäristövaikutukset laskettiin käyttäen dieselkäyttöistä pyöräkuormaajaa.

*Kuva 13. Lastaus ja materiaalien siirto tapahtuu usein pyöräkoneella (Delete Finland Oy, 2019).*

LIPASTO -tietokannasta myös pyöräkuormaajalle löytyy yksikköpäästökertoimet. Dieselkäyttöisen pyöräkuormaajan $CO_2$- (ekvivalentti) päästöt litraa kohden ovat 2673 grammaa. Lastausta tehdään usein myös kaivinkoneilla, mutta kaivinkoneen yksikköpäästökertoimet

ovat lähes samat kuin pyöräkoneella, jolloin lastauksen päästöjen voidaan olettavan olevan samansuuruisia, mikäli lastaus suoritettaisiinkin kaivinkoneella. Taulukossa 3 on esitetty lastauksesta aiheutuvien päästöjen laskemiseen käytettyjä arvoja.

*Taulukko 3. Lastauksen päästölaskennassa käytettyjä yksikkökertoimia ja työaikoja.*

| | **Pyöräkuormaaja (Diesel)** |
|---|---|
| Päästöt, $CO_2$ ekvivalentti (g/l) | 2673 |
| Pyöräkoneen polttoaineen kulutus (l/h) | 15 |
| Yhden lastauksen kesto (min) | 8 |
| Yhden lastauksen päästöt ($CO_2$ ekv, g) | 5346 |

Lastauksessa pyöräkoneella tehdään raskasta työtä, kun materiaalia nostetaan kuorma-auton kyytiin. Polttoaineen kulutus voi vaihdella paljon kuljettajasta ja työkoneesta riippuen (Kuivasniemi, 2019). Pyöräkoneen keskimääräinen kulutus on noin 10 l/h, mutta pyöräkone on myös osan ajasta tyhjäkäynnillä, jolloin polttoaineen kulutus on vähäisempää (Murto, 2015). Tässä työssä oletettiin lastauksen tapahtuvan ilman tyhjäkäyntejä, jolloin kulutus on suurempi kuin keskivertokulutus. Pyöräkoneen kulutukseksi arvioitiin lastausta tehdessä 15 l/h. Yhden lastauksen kestoksi arvioitiin 8 minuuttia tässä työssä (Joutsenoja, 2019). Tänä aikana suoritetaan myös ennen lastausta mahdollisesti tehtäviä toimenpiteitä, kuten lastattavan materiaalin erottelua. Betonijätteen ja betonimurskeen lastauksessa ei oletettu olevan merkityksellisiä eroja lastauksen kestoa ajatellen vaan lastauksiin kului yhtä kauan aikaa. Yleisesti ottaen täysperävaunuajoneuvon lastaus kestää hieman pidempää kuin puoliperävaunuyhdistelmän, mutta tässä työssä on lastauksen oletettu kestävän yhtä kauan ajoneuvosta riippumatta. Lastauksesta muodostuvien päästöjen arvioitiin muodostavan vain pienen osan toimintamallivaihtoehdoissa muodostuvista päästöistä. Tästä syystä mahdollisia muutamien minuuttien eroja eri ajoneuvotyyppejä lastatessa ei pidetty merkityksellisinä.

Päästölaskentatyökalussa otetaan etäisyyksien lisäksi huomioon myös tarvittavien kuljetusten määrä. Betonimurskeen (0-90 mm) ja pulveroidun betonijätteen (esimerkiksi 0-500 mm) kuljettamiseen tarvitaan eri määrä kuljetuksia, sillä betonimursketta voi lastata enemmän ja tiheämmin kuorma-autoon kuin palakooltaan isompaa betonijätettä. Lisäksi betonijätettä murskattaessa siitä poistetaan raudoitusraudat ja pieni osa materiaalista menetetään niin sanottuina ”kasatappioina”, joilla viitataan siihen, että varastokasoista ei saada täysin kaikkea materiaalia talteen, vaan pieni osa materiaalista jää varastokasojen pohjille. Näin ollen tässä työssä arvioitiin, että kuljetettaessa betonijätettä täyttöaste kuorma-auton kyydissä on 95 %, kun taas betonimursketta kuljetettaessa täyttöaste on 100 %. Ero betonijätteen ja -murskeen välisissä täyttöasteissa kattaa paitsi edellä mainitut kasatappiot, myös murskauksesta aiheutuneet hävikit. Murskaushävikin, kuten poistettujen rautojen ja muiden epäpuhtauksien, määrä on yleisesti ottaen noin yksi prosentti betonin koko painosta (Pieksemä, 2019). Taulukkoon 4 on listattu tekijät, jotka otettiin huomioon eri toimintamallien kuljetusten ja lastausten päästöjen laskemisessa.

*Taulukko 4. Päästölaskentatyökalussa huomioidut tekijät/muuttujat.*

| **Huomioitu tekijä/muuttuja** | **Yksikkö** |
|---|---|
| Tarvittava betonimurskeen määrä hyödyntämiskohteessa | tn |
| Kuorma-auton täyttöaste (louhe vai murske) | % |
| Kuorma-autojen kantavuus | tn |
| Tarvittavien kuljetusten määrä | kpl |
| Kuljetut kilometrit | km |
| Ajoneuvojen yksikköpäästöt ($CO_2$-ekv.) | g/km tai g/l |
| Lastausajoneuvon keskimääräinen kulutus | l/h |
| Lastauksen kesto | h |
| Maantie- ja taajama-ajon suhde | % |

Päästölaskennoissa keskityttiin päästöihin, jotka ylittävät niin sanotun hanketason. Kun normaalisti LCA-laskennoissa materiaalien elinkaaret lasketaan materiaalin synnystä jätteen käsittelyyn asti, niin tässä työssä huomioitiin osa vanhan materiaalin elinkaaresta ja osa uuden materiaalin elinkaaresta. Kuljetukset purkutyömaasta jätteenkäsittelylaitokseen sekä käsittely ja murskausprosessi kuuluvan materiaalin vanhaan elinkaareen, eli puretun rakennelman elinkaareen, kuljetukset hyödyntämiskohteeseen taas kuuluvat kierrätysmateriaalin elinkaareen. Tämän työn tavoitteena oli verrata eri toimintamallien välisiä päästöjä, jolloin päästölaskennan rajaukset tehtiin hieman poikkeavalla tavalla. Esimerkiksi betonimurskeen hyödyntämistä ajatellen betonimurskeen kuljetuspäästöiksi laskettaisiin hankekohtaisessa päästölaskennassa ainoastaan kuljetus betonimurskeen tuotantolaitokselta hyödyntämiskohteeseen. Tässä diplomityössä haluttiin kuitenkin verrata päästöjen syntymistä isommassa mittakaavassa, sillä kiinteillä käsittelylaitoksilla ei synny käsiteltävää betonijätettä vaan se tuodaan aina jostain laitoksen ulkopuolelta. Näin ollen työssä huomioitiin myös kuljetukset oletetulta purkutyömaalta ympäristöluvalliseen laitokseen.

### 3.2.2 Kuljetukset eri laskentaesimerkeissä

Yleisesti ottaen maarakentamisessa kuljetuksen aiheuttamia päästöjä vähennetään niin sanotulla ”meno-paluu -kuormauksella”. Meno-paluu -kuormauksella pyritään minimoimaan kuorma-autojen ajaminen tyhjinä. Maanrakennustyömaalla saattaa syntyä esimerkiksi ylimääräistä kiviainesta tai betonijätettä, jota ei voida hyödyntää työmaalla. Työmaalla kuitenkin tarvitaan rakennekerroksissa murskeita, jotka pitää ostaa ulkopuolelta. Näin ollen toimitettaessa louhetta tai betonijätettä niitä käsitteleville laitoksille voidaan paluukuormana tuoda murskeita työmaalle (Joutsenoja, 2019). Meno-paluu -kuormien hyödyntäminen maarakentamisessa ei ole kuitenkaan kovin yleistä, sillä esimerkiksi ylijäämämaa-aineksen synty ja rakennusmateriaalin tarve harvoin ajoittuvat samalle hetkelle.

Betonijätteen osalta voidaan samalla tavalla hyödyntää meno-paluu -kuormausta. Esimerkiksi maanrakennustyömaalla, jossa joudutaan purkamaan silta- tai muita betonirakenteita, betonijäte toimitetaan käsiteltäväksi muualle, mikäli työmaalla ei ole lupaa murskata betonia. Jos urakoitsijalla on kuitenkin maanomistajan/tilaajan puolesta lupa käyttää betonimursketta eri rakennekerroksissa ja alueella on ympäristölupa tai MARA-ilmoitus on rekisteröity, voidaan paluukuormana työmaalle tuoda betonimursketta, joka hyödynnetään maarakentamisessa.

Meno-paluu -kuormien järjestäminen edellyttää usein sen, että sekä purkutyömaalla, että hyödyntämiskohteessa on sama toimija/yritys tai sitten kuormauksista on sovittu erikseen eri toimijoiden kesken. Kuorma-autot voivat olla joko maanrakennusyritysten omia autoja tai kuljetusliikkeiden kalustoa. Mikäli hyödyntämiskohdetta ja purkutyömaata ei yhdistä sama toimija, kuljetusten kustannukset on vaikea kohdistaa oikealle asiakkaalle. (Joutsenoja, 2019)

Koska tämän diplomityön päästölaskentaesimerkeissä purkutyömaalla ei voi hyödyntää betonimursketta vaan se on toimitettava muualle käsiteltäväksi, kuljetuksia ei voida järjestää niin sanotulla meno-paluu -periaatteella. Päästölaskentaesimerkeissä oletetaan, että purkutyömailla ja hyödyntämiskohteissa urakoivat eri toimijat, jolloin kuljetukset hoidetaan urakkakohtaisesti. Näin ollen liikennöinti tapahtuu laitosmaisessa tuotannossa aina eri ajoneuvolla laitokselta hyödyntämiskohteeseen kuin purkutyömaalta laitokselle.

### 3.2.3 Tapaustarkastelu 1

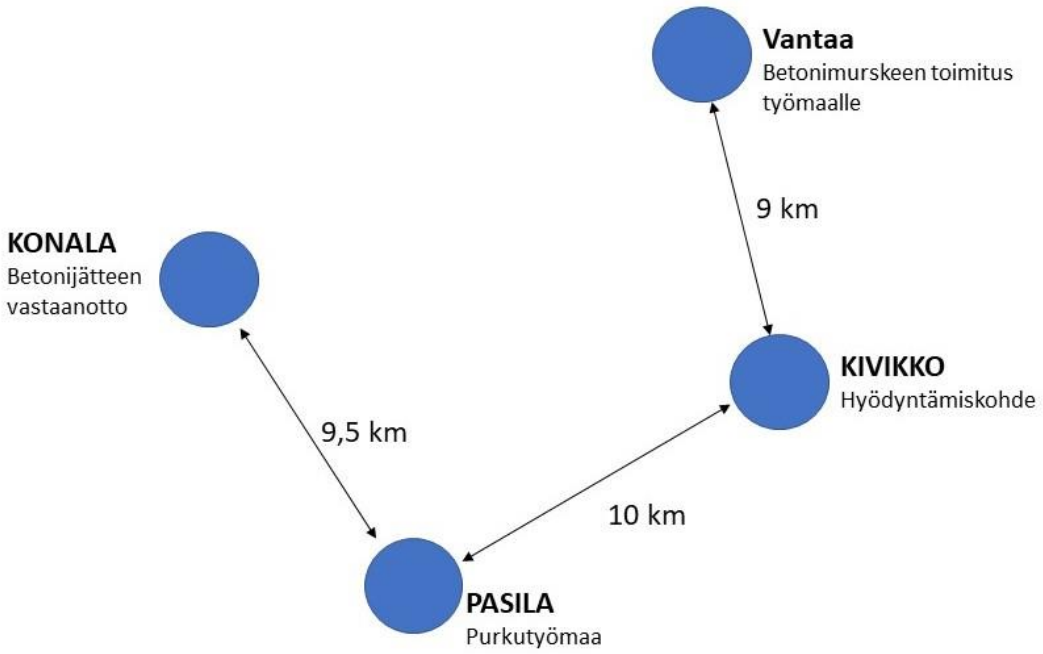
Aikaisemmin esiteltyjä toimintamalleja vertailtiin ympäristövaikutustensa suhteen erilaisilla päästölaskentaesimerkeillä. Laskentaesimerkeillä saatiin arvoja eri toimintamallien vertailemiseksi. Esitellyistä neljästä toimintamallista vertailtiin kolmea; betonilouheen hyödyntämistä ei otettu mukaan laskentaesimerkkiin, sillä tässä työssä haluttiin vertailla MARA-asetuksen mukaisen betonimurskeen valmistamisesta syntyviä ympäristövaikutuksia.

Ensimmäiseen päästölaskentaesimerkkiin valittiin todellisia työmaita ja ympäristöluvallinen betonijätteen käsittelylaitos. Hyödyntämiskohteena laskentaesimerkissä käytettiin Kivikon eritasoliittymän aluetta. Kivikon eritasoliittymä on jo rakennettu, mutta työmaa toimii erinomaisena esimerkkinä betonimurskeen hyödyntämiseen, sillä siinä hyödynnettiin suuria määriä betonimursketta rakennekerroksissa ja suunnittelun tukena käytettiin erilaisia hiilidioksidipäästöjen laskentamenetelmiä (Ramboll, 2017). Lisäksi työmaa-alue oli sen verran laaja, että mahdolliselle betonijätteen vastaanotolle, välivarastoinnille sekä käsittelylle olisi löytynyt tarvittava tila. Kivikon työmaalla hyödynnettiin arvioilta noin 100 000 tonnia betonimursketta eri rakennekerroksissa (Joutsenoja, 2019), mutta tässä työssä hyödynnettävä määrä määritettiin purkutyömaalta syntyvän betonijätemäärän mukaan, joka on noin 30 000 tonnia.

Purkutyömaana, josta hyödynnettävä betonijäte oli peräisin, tarkasteltiin Pasilan rautatieasemaa, joka oli suuri purkutyömaa. Hyödyntämiskohteessa hyödynnettävän betonimurskeen määräksi arviotiin 30 000 tonnia, joka voi syntyä isosta yksittäisestä purkukohteesta (Joutsenoja, 2019). Pasila on sijainniltaan hyvien etäisyyksien päässä ja suuren muutoksen kohteena, koska vanha rautatieasema on purettu ja alueelle rakennetaan Triplan kaupunkikeskusta.

Betonijätteen käsittelylaitoksiksi valittiin Pasilan rautatieasemaa lähinnä oleva ympäristöluvallinen betonijätteen käsittelylaitos sekä Kivikon työmaata lähinnä sijaitseva ympäristöluvallinen käsittelylaitos, koska kyseessä ei ole sama laitos. Pasilan rautatieasemaa lähinnä oleva asianmukaiset luvat omistava betonijätteen käsittelylaitos sijaitsee Helsingin Konalassa. Kivikon eritasoliittymää lähinnä oleva betonijätteen käsittelylaitos sijaitsee puolestaan Vantaan Länsisalmessa. Näin ollen laitosmaisessa tuotannossa purkutyömaalla syntyvä betonijäte toimitetaan Konalaan käsiteltäväksi, mutta Kivikkoon betonimurske toimitetaan

Vantaan Länsisalmen käsittelylaitokselta. Kuvassa 14 on havainnollistettu liikennettä eri kohteiden välillä ja kohteiden väliset etäisyydet.




*Kuva 14. Tapaustarkastelu 1: Laskentaesimerkin väliset etäisyydet (yhteen suuntaan) ja liikenne.*

Hyödyntämispaikan, purkutyömaan ja betonijätteen käsittelylaitosten tarkemmat tiedot sekä kohteiden väliset etäisyydet on esitetty taulukossa 5. Kohteiden väliset etäisyydet laskettiin hyödyntäen Google Maps:ia. Kuljettujen kilometrien lisäksi päästöihin vaikuttaa se, ajetaanko maantiellä vai taajamassa. Laskentaesimerkkiä varten tehtiin karkea jaottelu taajama- ja katuajon määrästä eri reittien välillä. Maantieajoksi katsottiin moottoriteillä sekä kehäteillä ajaminen ja katuajoksi muilla pienemmillä teillä ajaminen. Jaottelu on esitetty taulukossa 6.

*Taulukko 5. Tapaustarkastelu 1: Päästölaskentaesimerkissä käytetyt esimerkkikohteet.*

| Kohde | Osoite (likimääräinen) | Selite |
|---|---|---|
| Pasilan rautatieasema | Pasilansilta 00101, Helsinki | Purkutyömaa |
| Vantaa Länsisalmi | Pitkäsuontie, 01230 Vantaa | Betonimurskeen valmistus |
| Helsinki Konala | Betonitie, 00390 Vantaa | Betonijätteen vastaanotto |
| Kivikon eritasoliittymä | Kivikontie, 00940 Helsinki | Betonimurskeen hyödyntämisalue |

*Taulukko 6. Tapaustarkastelu 1: Maantie- sekä taajama-ajon osuus eri reiteillä.*

| | Pasila-Kivikko | Länsisalmi-Kivikko | Pasila-Konala |
|---|---|---|---|
| Maantieajoa (%) | 60 % | 80 % | 50 % |
| Taajama-ajoa (%) | 40 % | 20 % | 50 % |

Tässä laskentaesimerkissä betonijätteen kuljettaminen purkutyömaalta pois tapahtuu puoliperävaunuilla joko suoraan hyödyntämiskohteeseen tai käsittelylaitokseen. Länsisalmesta

puolestaan käytettiin kuljetusten minimoimiseksi täysperävaunuyhdistelmää, joka toimittaa valmista betonimursketta hyödyntämiskohteeseen. Lisäksi päästölaskennassa tarkasteltiin tilannetta, jossa kaikki liikennöinti myös laitosmaisessa tuotannossa tapahtuu puoliperävaunuilla. Tällä tarkastelulla selvitettiin myös kuljetuskaluston merkitystä ja sen tuomia mahdollisia säästöjä päästöjen muodossa.

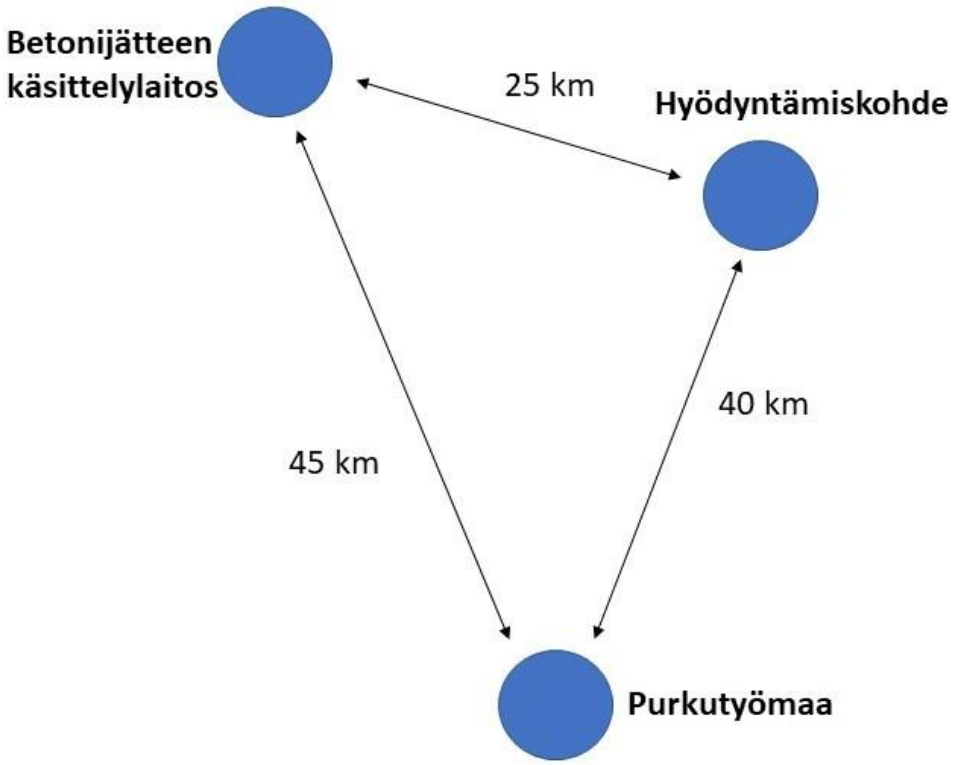
Päästölaskennassa otettiin myös huomioon kuorma-autojen tyhjänä ajo takaisin työmaalle tai tuotantolaitokselle, jolloin kuorma-auto ajaa toiseen suuntaan täyden kuorman kanssa ja toiseen suuntaan puolestaan tyhjänä. VTT:n LIPASTO-tietokannan mukaan puoliperävaunuyhdistelmän kantavuus on 25 tonnia ja täysperävaunuyhdistelmän kantavuudeksi on arvioitu 51 tonnia. Näin ollen betonijätettä kuljetettaessa kantavuudet ovat 23,75 tonnia puoliperävaunuyhdistelmällä ja 48,5 tonnia täysperävaunuyhdistelmällä (9-akselinen), sillä kuorman täyttöasteen arvioitiin olevan 95 %, kun kuljetetaan betonijätettä.

Laitosmaisessa tuotannossa arvioitiin, että lastauksia joudutaan tekemään kahdesti toimitusta kohden, kerran purkutyömaalla betonijätettä siirrettäessä käsittelylaitokselle sekä kerran käsittelylaitoksella siirrettäessä betonimursketta hyödyntämiskohteeseen. Muissa toimintamalleissa lastauksen ympäristövaikutukset laskettiin kertaalleen yhtä toimitusta kohden, purkutyömaalla siirrettäessä joko betonijäte tai betonimurske suoraan hyödyntämiskohteeseen.

### 3.2.4 Tapaustarkastelu 2

Toisessa päästölaskentaesimerkissä haluttiin selvittää tilannetta alueilla, joissa etäisyydet ympäristöluvallisten käsittelylaitosten ja purkutyömaiden ovat pidempiä. Tällainen tilanne voi olla esimerkiksi kasvukeskusten ulkopuolella, joissa etäisyydet eri kohteiden välillä voivat olla yli 30 km. Toiseen päästölaskentaesimerkkiin ei otettu konkreettisia kohteita vaan asetelma on simuloitu. Toisin kuin ensimmäisessä päästölaskentaesimerkissä, betonijäte toimitetaan laitosmaisessa tuotannossa samaan käsittelylaitokseen, josta se toimitetaan eteenpäin hyötykäyttöön. Käsittelylaitoksella ei voida hyödyntää betonimursketta vaan se toimitetaan erilliseen hyödyntämiskohteeseen.

Toisessa päästölaskentaesimerkissä hyödyntämiskohteessa tarvittavan betonimurskeen määrä on pienempi kuin ensimmäisessä esimerkissä eli 3000 tonnia, joka vastaa määrältään suuremman sillan purkua (Väylä, 2019). Kasvukeskusten ulkopuolella suuremmat purkukohteet ovat harvinaisempia ja yksittäisissä rakennus- ja purkutyömailla syntyvän betonijätteen määrä on pienempi. Toisen päästölaskentaesimerkin asetelma sekä eri kohteiden väliset etäisyydet (yhteen suuntaan) on havainnollistettu kuvassa 15.




*Kuva 15. Tapaustarkastelu 2: Toisen laskentaesimerkin väliset etäisyydet (yhteen suuntaan) ja liikenne.*

Toisessa esimerkissä liikenteen ajateltiin sijoittuvan maaseutuvaltaiselle alueelle, jossa suurempi osa ajosta on maantieajoa. Kaikkien reittien maantie- ja taajama-ajon suhteeksi valittiin 80/20 eli 80 % ajosta oli maantieajoa ja 20 % oli taajama-ajoa. Etäisyyksiksi valittiin pidemmät välimatkat, jolloin kuljettujen kilometrien määrä on korkeampi kaikissa toimintamalleissa. Purkutyömaan, kiinteän tuotantolaitoksen sekä hyödyntämiskohteiden etäisyydet ovat 25-45 km. Koska kiinteällä laitoksella ei voida hyödyntää tuotettua betonimursketta, se ajetaan tässä skenaariossa 25 km päässä sijaitsevaan hyödyntämiskohteeseen. Toinen päästölaskentaesimerkki kuvaa etäisyyksiltään niin sanottua huonointa tilannetta, jossa betonijätettä ja -mursketta joudutaan kuljettamaan pitkiä matkoja.

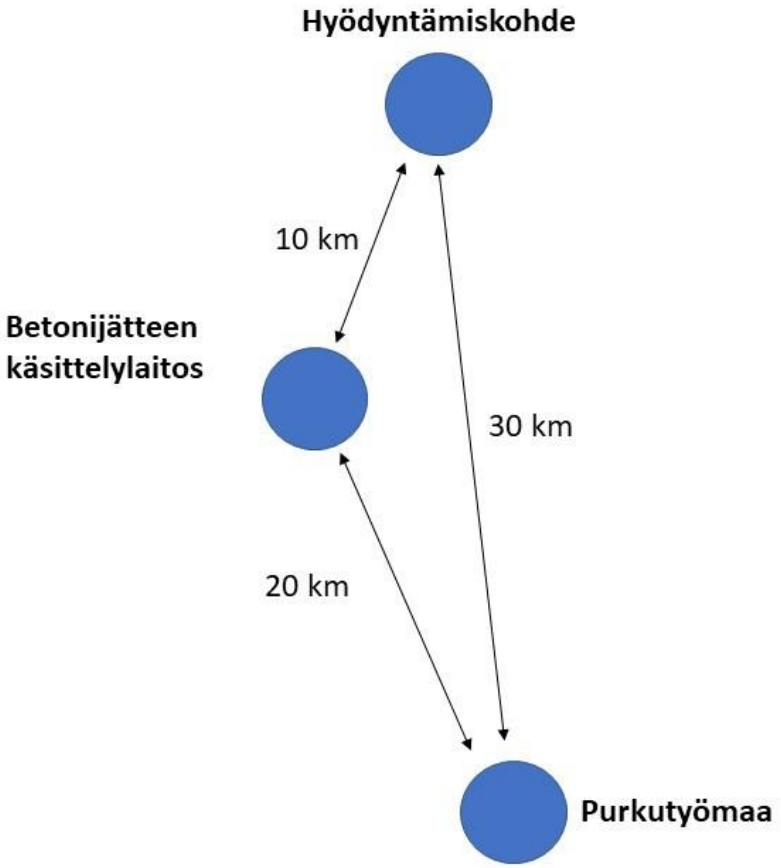
Toisessa laskentaesimerkissä arvioitiin myös, että täyttöaste betonijätettä kuljetettaessa on hieman pienempi kuin mursketta kuljetettaessa. Kuten ensimmäisessä laskentaesimerkissä, täyttöasteeksi valittiin betonijätettä kuljetettaessa 95 %, kun se betonimursketta kuljetettaessa on 100 %. Näin ollen esimerkiksi toimintamalleissa 2 ja 3 tarvitaan eri määrä kuljetuksia tarvittavan murskemäärän toimittamiseksi, mistä syntyy eroja myös kuljetuksen päästöissä. Ensimmäisestä päästölaskentaesimerkistä poiketen kaikki kuljetukset toisessa laskentaesimerkissä ajateltiin tapahtuvan täysperävaunuyhdistelmäajoneuvoilla (9-akselinen, 51 t kantavuus), sillä kohteiden väliset etäisyydet ovat pitkiä. Yleisesti ottaen pitkillä matkoilla suositaan niin sanottuja kasettiajoneuvoja, joilla voidaan pienentää kuljetuksesta aiheutuneita kustannuksia (Joutsenoja, 2019). Lastausten määrä on myös sama kuin ensimmäisessä päästölaskentaesimerkissä: laitosmaisessa tuotannossa lastataan kaksi kertaa, muissa toimintamalleissa yhden kerran.

### 3.2.5 Tapaustarkastelu 3

Kolmannessa päästölaskentaesimerkissä tarkasteltiin kuvitteellista tilannetta, jossa betonijätteen käsittelylaitos on hyödyntämiskohteeseen nähden matkan varrella. Tällainen tilanne voi olla esimerkiksi kehyskunnissa, joista betonijäte- ja murske kuljetetaan kasvukeskuksiin hyödyntämistä ja käsittelyä varten. Esimerkiksi Järvenpäässä tai Keravalla syntynyttä betonimursketta ei voitaisi hyödyntää lähialueilla vaan se toimitettaisiin Helsinkiin hyödynnettäväksi. Betonijäte voitaisiin joko toimittaa suoraan hyödyntämiskohteeseen joko isompi kokoisena jätteenä tai murskeena tai matkalla olevan laitoksen kautta (esimerkiksi Vantaalle).

Kolmannessa päästölaskentaesimerkissä hyödynnettävän betonin määräksi valittiin 7000 tonnia, koska tämän määrän ajateltiin edustavan keskimääräisesti suurehkon purkukohteen betonijätemäärää (Joutsenoja, 2019). Katu- ja maantieajon suhteeksi valittiin toisen päästölaskentaesimerkin tavoin 80/20 eli 80 % kuorma-autojen kulkemasta matkasta oli maantieajoa ja loput 20 % taajama-ajoa.

Kolmannessa päästöesimerkissä haluttiin vertailla kuljetuksesta ja lastauksesta aiheutuneita päästöjä, kun reitin kokonaismatka on kaikissa toimintamalleissa sama. Tässä päästölaskentaesimerkissä suurin ero muodostuukin ylimääräisestä lastauksesta, joka tehdään sekä purkutyömaalla sekä kiinteällä laitoksella. Kiinteän laitoksen sijainnin myötä esimerkissä oletettiin, että laitosmaisessa tuotannossa ei tule ylimääräistä ajoa. Kuvassa 16 on esitetty kuorma-autojen kulkemat reitit ja kohteiden väliset etäisyydet toisiinsa nähden.




*Kuva 16. Tapaustarkastelu 3: Kolmannen laskentaesimerkin väliset etäisyydet (yhteen suuntaan) ja liikenne.*

Kolmannessakin päästölaskentaesimerkissä oletettiin toisen laskentaesimerkin tapaan, että kaikki liikennöinti tapahtuu täysperävaunuyhdistelmillä, jolloin kuljetusten määrää saadaan alhaisemmaksi. Betonijätettä kuljetettaessa täyttöaste on muiden esimerkkien tapaan 95 % ja betonimursketta kuljetettaessa 100 %.

### 3.2.6 Tapaustarkastelun 1 raja-arvotarkastelu

Diplomityössä tehtiin ensimmäisen tapaustarkastelun yhteydessä niin sanottu raja-arvotarkastelu, jossa selvitettiin, missä vaiheessa laitosmaisen tuotannon päästöt ylittäisivät purkutyömaalla tuotetun betonimurskeen päästöt kuljetuksen ja lastauksen osalta. Hypoteesina oli, että laitosten välisiä etäisyyksiä joudutaan pienentämään merkittävästi ennen kuin laitosmaisen tuotannon päästöt alittavat purkutyömaalla tapahtuvan tuotannon. Raja-arvotarkastelulla haluttiin selvittää, millä etäisyydellä betonijätteen kierrätyslaitosten tulisi sijaita niin purkutyömaahan kuin hyödyntämiskohteeseen nähden, jotta päästöt olisivat alhaisemmat kuin tuotettaessa betonimurske purkutyömaalla. Purkutyömaan ja hyödyntämiskohteen välinen etäisyys säilytettiin samana kuin ensimmäisessä tapaustarkastelussa (10 km), eikä tätä etäisyyttä muutettu laskennan aikana. Raja-arvotarkasteluun ei otettu mukaan tuotantoa hyödyntämiskohteessa, sillä toimintamalli on vielä verrattain uusi ja tuotetut betonimurskemäärät pieniä muihin toimintamalleihin nähden.

Raja-arvotarkastelu suoritettiin muuttamalla purkutyömaan ja betonin käsittelylaitoksen sekä betonimurskeen tuotantolaitoksen ja hyödyntämiskohteen välisiä etäisyyksiä, kunnes laitosmaisen tuotannon päästöt alittivat purkutyömaalla tapahtuvan tuotannon kuljetuksen ja lastauksen päästöt. Raja-arvotarkastelussa ei muutettu muita tarkastelun muuttujia, kuten tarvittavan betonimurskeen määrää tai ajoneuvojen kantavuuksia (taulukko 4).

Kohteiden välisiä etäisyyksiä laitosmaisessa tuotannossa vähennettiin tasaisesti molempien reittien osalta. Toinen vaihtoehto olisi ollut, että esimerkiksi pelkästään betonimurskeen tuotantolaitosta tuotaisiin lähemmäksi hyödyntämiskohdetta ja toisen reitin etäisyyttä ei muutettaisi. Tuomalla molempia käsittelylaitoksia niin purkutyömaata kuin hyödyntämiskohdetta lähemmäksi tuloksen oletetaan olevan realistisempi. Mikäli pelkästään toista reittiä lyhennettäisiin, ei välttämättä saada laitosmaisen tuotannon päästöjä purkutyömaalla tapahtuvan tuotannon päästöjä alhaisemmiksi.

Raja-arvotarkastelussa käännettiin koeasetelma myös toisinpäin eli tutkittiin, kuinka pitkälle purkutyömaalla valmistetun betonimurskeen voisi kuljettaa hyödynnettäväksi, jotta päästöt ylittäisivät laitosmaisen tuotannon kuljetusten ja lastausten päästöt. Muita tarkastelun muuttujia ei muutettu tässäkään raja-arvotarkastelussa, ainoastaan purkutyömaan ja hyödyntämiskohteen välistä etäisyyttä.

## *3.3 Asiantuntijahaastattelut*

Asiantuntijahaastatteluilla haluttiin koota yhteen betonimurskeen parissa toimivien henkilöiden ajatuksia betonimurskeen tuotannon erilaisista toimintamalleista ja niiden välisistä eroista. Lisäksi haluttiin selvittää eri toimintamallien heikkouksia ja vahvuuksia. Haastateltavia henkilöitä pyrittiin valitsemaan erilaisista rooleista. Diplomityötä varten haastateltiin muun muassa viranomaisia, konsultteja, betonimurskeen tuottajia, hyödyntäjiä sekä tilaajia

(taulukko 7). Haastateltavat henkilöt (13 kpl) valittiin yhdessä diplomityön ohjaajien kanssa ja haastattelut pidettiin 10.4.2019 ja 22.5.2019 välisenä aikana. Haastatteluista osa toteutettiin kasvotusten ja osa puhelimitse.

*Taulukko 7. Haastateltavien henkilöiden roolit ja organisaatiot*

| **Rooli** | **Organisaatio** |
|---|---|
| Urakoitsija | Kreate Oy |
| Edunvalvoja | Infra Ry |
| Tuottaja | Rudus Oy |
| Tuottaja | Umacon Oy |
| Tilaaja | Helsingin Kaupunki |
| Tilaaja | Väylävirasto |
| Lainsäätäjä | Ympäristöministeriö |
| Viranomainen | ELY-keskus |
| Viranomainen | Vantaan Ympäristökeskus |
| Viranomainen | Keski-Uudenmaan Ympäristökeskus |
| Asiantuntija | Suomen Ympäristökeskus (SYKE) |
| Konsultti | Ytekki Oy |
| Konsultti | Ramboll Oy |

Haastattelut toteutettiin valmiiksi laadituilla kysymyksillä (liite 1), jotka olivat samat kaikille. Jokainen haastateltava ei kuitenkaan vastannut kaikkiin kysymyksiin, sillä osa kysymyksistä oli suunnattu enemmän toiminnanharjoittajille ja osa viranomaisille. Lisäksi haastatteluissa saatettiin kysyä myös ennalta kirjaamattomia kysymyksiä, mikäli ne koettiin hyödyllisiksi. Haastattelukysymykset lähetettiin jokaiselle haastateltavalle aina etukäteen. Kysymyslistan yhteydessä haastateltavalle toimitettiin diplomityön tutkimussuunnitelma. Kaikki haastattelut nauhoitettiin ja tallennettiin diplomityön teon ajaksi.

Nauhoitteista poimittiin diplomityön kannalta oleellisimmat tiedot ja ne dokumentoitiin yhteen muistioon. Muistiosta puolestaan koostettiin yhteenveto, jonka perusteella koottiin diplomityöhön tärkeimmät esiin tulleet asiat. Haastattelun tulokset käsiteltiin anonyymisti.

# 4 Tulokset

## *4.1 Päästölaskenta*

### 4.1.1 Tapaustarkastelu 1

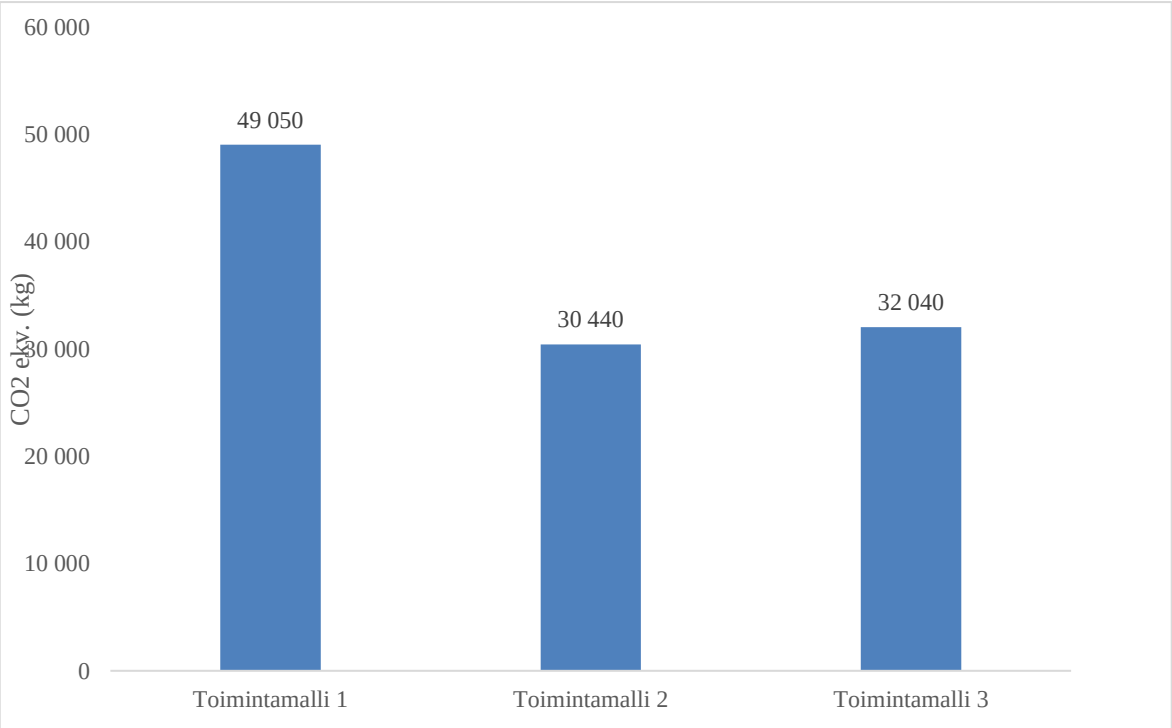
Ensimmäisessä päästölaskentaesimerkissä tarkasteltiin konkreettisia työmaita ja kuinka kuljetuksesta sekä lastauksesta aiheutuneet päästöt vaihtelivat eri toimintamallien välillä. Oletuksena kuljetusten päästötarkastelussa oli, että laitosmaisessa tuotannossa kuljetusten aiheuttamat päästöt ovat suurimmat, koska kuljetuksia on tässä tapauksessa eniten. Rakennus- ja purkutyömaalla sekä hyödyntämiskohteessa tapahtuvassa tuotannossa päästöerot johtuisivat kuormien täyttöasteista, sillä oletettiin, että betonijätettä kuljetettaessa kuorman täyttöaste ei ole yhtä suuri kuin betonimursketta kuljetettaessa.

Riippuen ajoneuvotyypistä tarvittavan betonimurskemäärän kuljettamiseksi tarvittiin eri määrä kuljetuksia. Kaikki purkutyömaalta ulospäin tapahtuva liikenne puoliperävaunuyhdistelmillä, joiden kantavuus täytenä on 25 tn. Ympäristöluvitetulta laitokselta betonimurske kuljetettiin hyödyntämiskohteeseen täysperävaunuyhdistelmillä, jonka kantavuus puolestaan on 51 tn. Betonijätettä kuljetettaessa oletettiin, että auton täyttöaste on hieman pienempi (95 %) kuin betonimursketta kuljetettaessa, jonka vuoksi eri toimintamalleissa kuljetuksia oli eri määrä. Ensimmäisessä päästölaskentaesimerkissä tarvittavien kuljetuksien ja samalla myös lastausten määrä eri toimintamalleissa on esitetty taulukossa 8.

*Taulukko 8. Kuljetusten ja tarvittavien lastausten määrä (kpl) eri toimintamalleissa, kun materiaalin tarve hyödyntämiskohteessa on 30 000 tn.*

| **Toimintamalli** | Pasila-Konala | Pasila-Kivikko | Länsisalmi-Kivikko | **Yhteensä** |
|---|---|---|---|---|
| Toimintamalli 1 | 1263 | | 588 | 1851 |
| Toimintamalli 2 | | 1200 | | 1200 |
| Toimintamalli 3 | | 1263 | | 1263 |

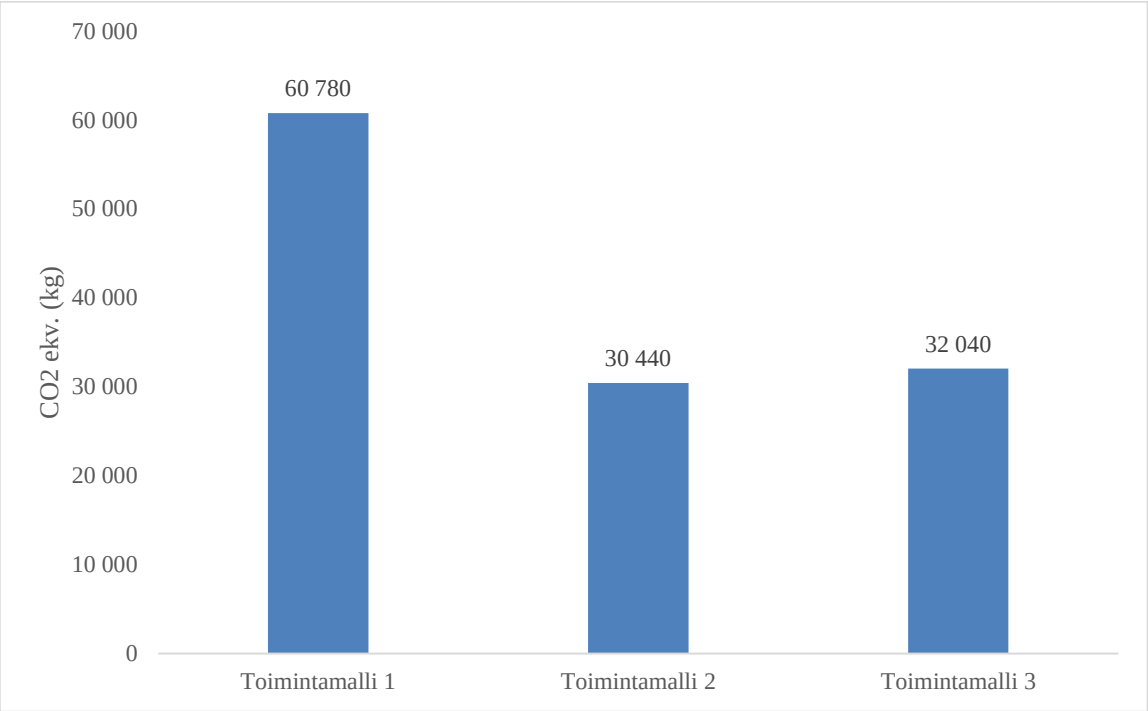
Kuljetusten määrän myötä voitiin laskea kuljetuksista aiheutuneet kokonaispäästöt eri toimintamalleissa hyödyntäen taulukon 2 päästötietoja sekä kuvan 14 etäisyyksiä. Lisäksi päästöihin vaikutti maantie- ja taajama-ajon pituus (taulukko 6). Kuvassa 17 sekä liitteessä 2 on esitetty ensimmäisen päästölaskentaesimerkin tulokset.




*Kuva 17. Tapaustarkastelu 1: Eri toimintamallien kuljetusten ja lastausten yhteenlasketut päästöt, kun betonimurske kuljetetaan tuotantolaitokselta hyödyntämiskohteeseen täysperävaunuyhdistelmäajoneuvoilla.*

Tuotettaessa betonimurske purkutyömaalla kuljetuksesta ja lastauksesta aiheutuneet päästöt ovat 62 % laitosmaisen tuotannon päästöistä, ja kuljetettaessa betonijäte suoraan hyödyntä-

miskohteeseen käsiteltäväksi päästöt ovat arviolta noin 66 % laitosmaisen tuotannon päästöistä. Laitosmaisessa tuotannossa betonimurske toimitetaan täysperävaunuyhdistelmillä työmaalle, jolla saadaan vähennettyä hieman kuljetuksesta aiheutuneita päästöjä. Mikäli betonimurske kuljetettaisiin Vantaan käsittelylaitokselta puoliperävaunuyhdistelmillä hyödyntämiskohteeseen eli tässä tapauksessa Kivikon työmaalle, kuljetuksista ja lastauksista aiheutuneet päästöt kasvaisivat laitosmaisessa tuotannossa noin 24 % (~ 49 000 kg → ~ 61 000 kg, kuva 18).




*Kuva 18. Eri toimintamallien kuljetusten ja lastausten yhteenlasketut päästöt ensimmäisessä tapaustarkastelussa, kun laitosmaisessa tuotannossa ei ole optimoitu kuljetuksia, vaan kuljetukset betonimursketta tuottavalta laitokselta suoritettiin puoliperävaunuyhdistelmällä täysperävaunuyhdistelmän sijasta.*

Toimintamallien välisiä päästöeroja lisää myös ylimääräinen lastaus. Erityisesti kohteissa, joissa betonijätettä syntyy paljon ja materiaalin kuljetustarve on suuri, lastauksen rooli kasvaa, koska lastauskoneiden tekemä työ lisääntyy. Laitosmaisessa tuotannossa arvioitiin, että tapahtuu kaksi lastausta: purkutyömaalla (jätteen lastaus) ja ympäristöluvallisella laitoksella (murskeen lastaus). Näin ollen lastauksia tapahtuu yhtä monta kuin tapahtuu kuljetuksiakin. Tässä päästölaskentaesimerkissä laitosmaisessa tuotantomallissa lastauksesta aiheutuu noin 4 700 kg enemmän $CO_2$-päästöjä kuin muissa toimintamalleissa. Tämä vastaa noin 9 %:a laitosmaisen tuotannon kokonaispäästöistä. Mikäli kaikki kuljetukset suoritetaan myös laitosmaisessa tuotannossa puoliperävaunuyhdistelmillä, ylimääräisen lastauksen $CO_2$-päästöt myös kasvavat noin 3 100 kg:sta noin 6400 kg:an hiilidioksidia.

### 4.1.2 Tapaustarkastelu 2

Toisessa päästölaskentaesimerkissä kasvatettiin kohteiden välisiä etäisyyksiä, mutta tällä kertaa kohteet eivät olleet todellisia kohteita vaan asetelma oli kuvitteellinen. Laitosmaisessa

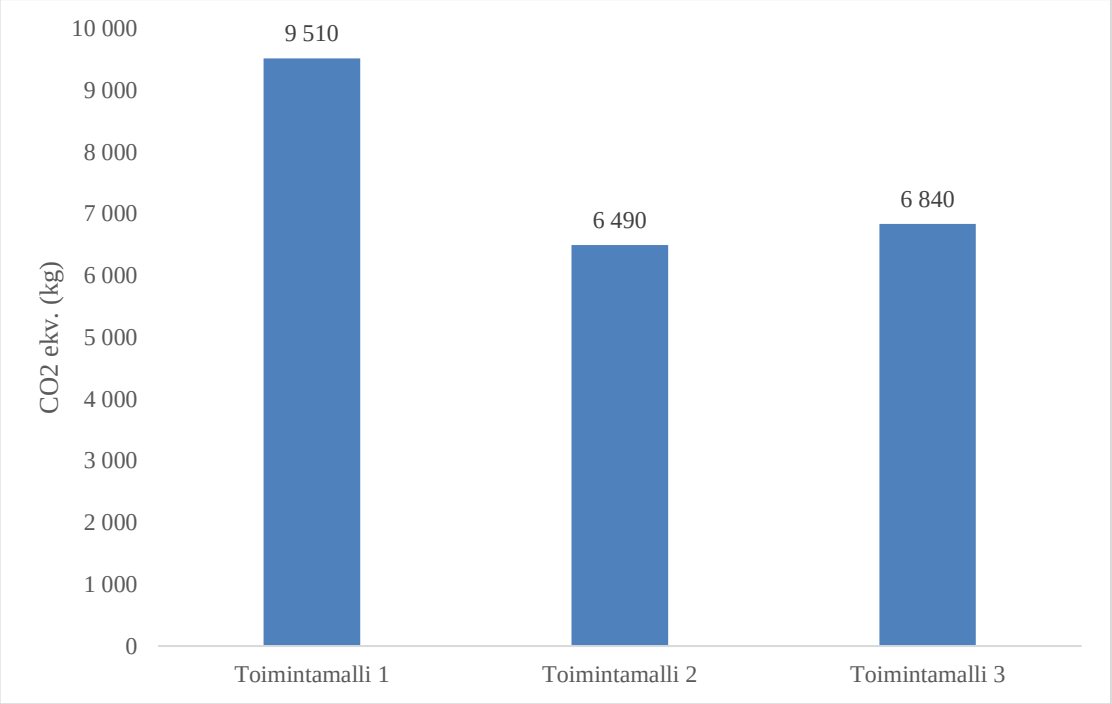
tuotannossa ei myöskään ollut kahta eri laitosta, vaan jäte toimitettiin samaan laitokseen, josta myös betonimurske toimitetaan hyödyntämiseen (kuva 15).

Betonijätteen ja -murskeen kuljettamiseksi tarvittavien kuljetusten määrä toisessa laskentaesimerkissä on esitetty taulukossa 9. Toisessa esimerkissä kaikki suoritetut kuljetukset on oletettu tehtävän täysperävaunuyhdistelmillä, koska välimatkat olivat kohteiden välillä pitkiä. Näin saatiin tarvittavien kuljetusten määriä vähäisemmäksi ja täten myös kuljetuksista aiheutuneita ilmastovaikutuksia pienemmiksi.

*Taulukko 9. Kuljetusten ja tarvittavien lastausten määrä (kpl) eri toimintamalleissa, kun materiaalin tarve hyödyntämiskohteessa on 3 000 tn. Kaikki skenaariossa tarvittavat kuljetukset suoritetaan täysperävaunuajoneuvoilla.*

| **Toimintamalli** | Purkutyömaa-Kiinteä laitos | Purkutyömaa-Hyödyntämiskohde | Kiinteä laitos-Hyödyntämiskohde | **Yhteensä** |
|---|---|---|---|---|
| Toimintamalli 1 | 62 | | 59 | 121 |
| Toimintamalli 2 | | 59 | | 59 |
| Toimintamalli 3 | | 62 | | 62 |

Kuten ensimmäisessäkin päästölaskentaesimerkissä, eniten kuljetuksia syntyy ensimmäisessä toimintamallissa. Kuljetuksia syntyi noin kaksinkertainen määrä muihin toimintamalleihin verrattuna, koska kuorma-autoilla ajetaan kahta erillistä reittiä, kun taas muissa toimintamalleissa kuorma-autot ajavat vain yhtä reittiä (kuva 15). Tässä toimintamallissa arvioitiin, että kaikissa toimintamalleissa 80 %:a ajosta on maantieajoa ja 20 %:a puolestaan on taajama-ajoa. Tämä oletus tehtiin sen vuoksi, koska tällaisen skenaarion oletetaan tapahtuvan kaupunkikeskusten ulkopuolella, missä valtaosa ajosta on maanteillä ajoa. Kuvassa 19 on esitetty toisen päästölaskentaesimerkin tulokset.




*Kuva 19. Tapaustarkastelu 2: Eri toimintamallien kuljetusten ja lastausten yhteenlasketut päästöt.*

Toisessa päästölaskentaesimerkissä toimintamallien väliset päästöt muistuttavat pitkälti ensimmäisen esimerkin tuloksia. Laitosmaisessa tuotannossa muodostuu eniten kuljetus- ja lastauspäästöjä, kun taas purkutyömaalla ja hyödyntämiskohteessa betonimursketta tuotettaessa päästöt ovat hyvin lähellä toisiaan. Tässäkin esimerkissä hiilidioksidipäästöjä muodostuu vähiten, jos betonimurske tuotetaan purkutyömaalla ja kuljetetaan valmiina murskeena hyödyntämiskohteeseen. Laitosmaisen tuotannon päästöt eivät tässä esimerkissä kuitenkaan ole suhteessa yhtä korkeat kuin ensimmäisessä esimerkissä. Laitosmaiseen tuotantoon verrattuna, rakennus- ja purkutyömailla tapahtuvan tuotannon päästöt ovat noin 68 % ja hyödyntämiskohteessa tapahtuvan tuotannon päästöt noin 72 %.

Kuten edellisessä esimerkissä, päästöerot toimintamallien välillä muodostuvat eroista kuljetusmatkojen pituuksissa. Lisäksi tässä päästölaskentaesimerkissä ylimääräinen lastauskerta aiheuttaa kokonaisuudessaan noin 300 kg lisää hiilidioksidipäästöjä, joka on kuljetuksen ja lastauksen osalta noin 3 % laitosmaisen tuotannon kokonaispäästöistä. Mikäli ylimääräistä lastausta ei otettaisi huomioon, suhteet laitosmaisen tuotannon päästöihin olisivat purkutyömailla tuotettaessa 71 % ja hyödyntämiskohteessa tuotettaessa 74 %. Näin ollen voidaan todeta, että lastauksen aiheuttamat päästöt kuljetukseen verrattuna on verrattain pienet, sillä 3000 tonnin kuljettamiseksi hyödyntämiskohteeseen täysperävaunuyhdistelmillä vaatii huomattavasti vähemmän kuljetuksia kuin esimerkiksi ensimmäisen esimerkin 30 000 tonnin kuljettaminen, ja pienempi kuljetustarve vähentää myös lastaustarvetta.

### 4.1.3 Tapaustarkastelu 3

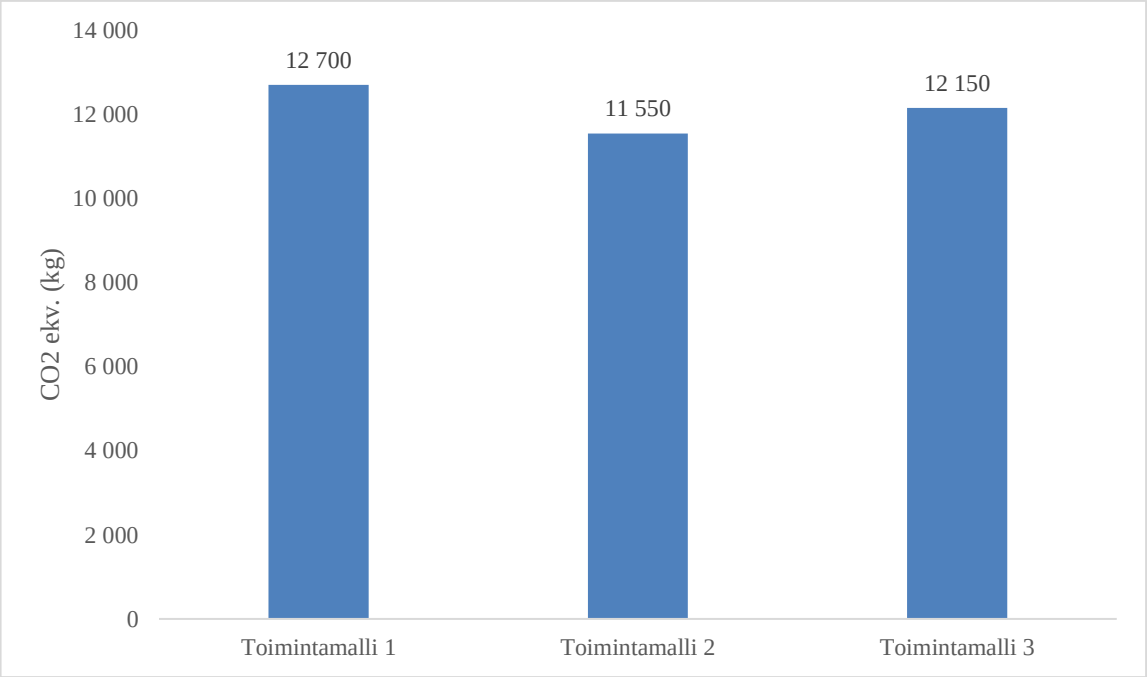
Kolmannessa päästölaskentaesimerkissä selvitettiin kuljetuksen ja lastauksen aiheuttamien $CO_2$-päästöjen määrä, kun kaikissa toimintamalleissa kuorma-autojen kulkema matka on

yhtä pitkä (kuva 16). Tämän laskentaesimerkin tavoitteena oli selvittää, kuinka paljon ylimääräinen lastaus aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä. Kolmannessa laskentaesimerkissä betonimurskeen hyödyntämismääräksi valittiin 7000 tn. Taulukossa 10 on esitetty tarvittavien kuljetusten sekä lastausten määrä, kun hyödyntämiskohteessa tarvitaan 7000 tn betonimursketta. Kuljetukset on laskettu toisen laskentaesimerkin mukaan täysperävaunuyhdistelmille.

*Taulukko 10. Kuljetusten ja tarvittavien lastausten määrä (kpl) eri toimintamalleissa, kun materiaalin tarve hyödyntämiskohteessa on 7 000 tn. Kaikki skenaariossa tarvittavat kuljetukset suoritetaan täysperävaunuajoneuvoilla.*

| **Toimintamalli** | Purkutyömaa-Kiinteä laitos | Purkutyömaa-Hyödyntämiskohde | Kiinteä laitos-Hyödyntämiskohde | **Yhteensä** |
|---|---|---|---|---|
| Toimintamalli 1 | 144 | | 137 | 281 |
| Toimintamalli 2 | | 137 | | 137 |
| Toimintamalli 3 | | 144 | | 144 |

Kuten toisessa päästölaskentaesimerkissä, tässäkin esimerkissä maantie- ja taajama-ajon suhteeksi arvioitiin 80/20 eli valtaosa ajosta on maanteillä tapahtuvaa ajoa. Tämä jako koski kaikkia esimerkissä ajettuja reittejä.



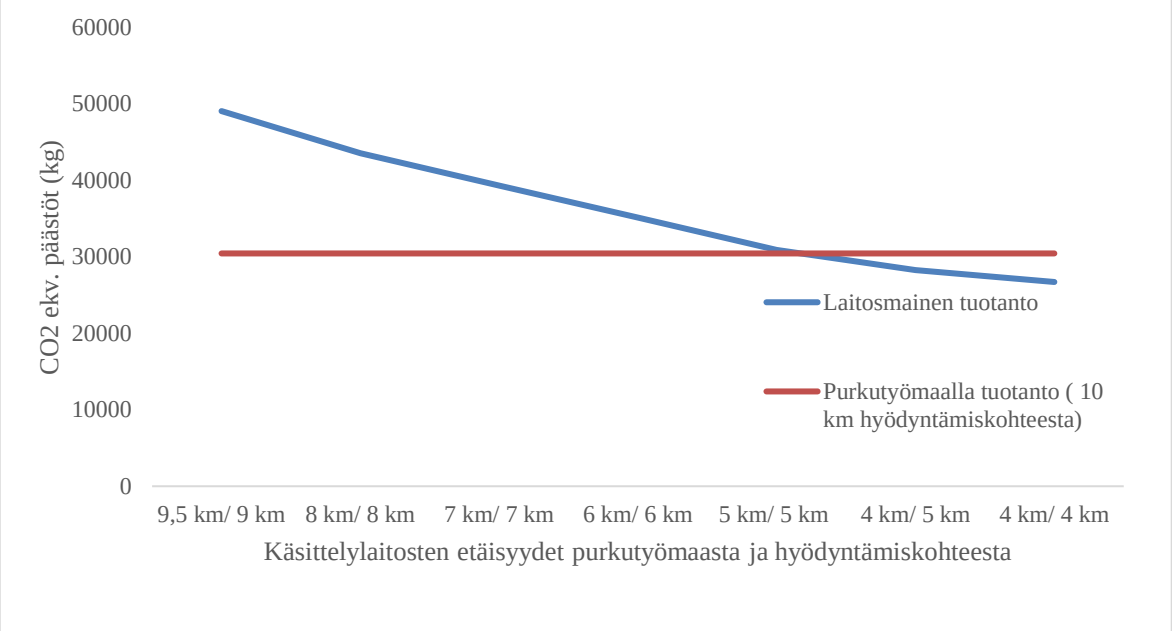

*Kuva 20. Tapaustarkastelu 3: Eri toimintamallien kuljetusten ja lastausten yhteenlasketut päästöt.*

Kolmannessakin esimerkissä laitosmaisessa tuotannossa muodostuu eniten hiilidioksidipäästöjä, mutta erot muihin toimintamalleihin ovat verrattain pienet. Mikäli betonimurske tuotettaisiin purkutyömailla ja kuljetettaisiin hyödyntämiskohteeseen, päästöt olisivat noin 91 % laitosmaisen tuotannon päästöistä. Mikäli puolestaan betonijäte kuljetettaisiin suoraan käsiteltäväksi hyödyntämiskohteeseen, päästöt olisivat noin 96 % laitosmaisen tuotannon päästöistä.

Tässä esimerkissä laitosmaisen tuotannon korkeammat päästöt aiheutuvat pääasiassa ylimääräisestä lastauksesta. Mikäli lastauksia esimerkiksi käsittelylaitoksella ei otettaisi huomioon, päästöt olisivat noin 6 % alhaisemmat, jolloin toisesta lastauksesta aiheutuu yhteensä hiilidioksidipäästöjä noin 700 kg. Mikäli toista lastausta ei laskettaisi päästöihin mukaan, laitosmaisen tuotannon päästöt olisivat ainoastaan noin 4 % suuremmat kuin purkutyömailla tuotannon ja muutaman prosentin pienemmät kuin hyödyntämiskohteessa tapahtuvan tuotannon. Nämä pienet erot selittyvät täyttöasteiden vaihteluista kuljetettaessa betonijätettä tai -mursketta.

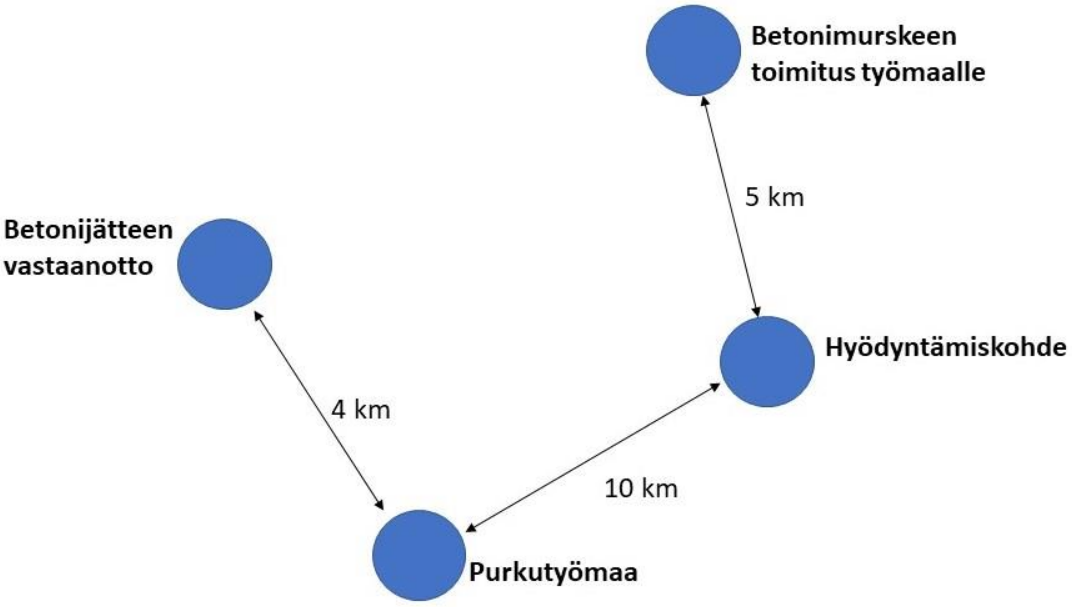
### 4.1.4 Tapaustarkastelun 1 raja-arvotarkastelu

Kuvassa 21 on esitetty raja-arvotarkastelu, missä on tarkasteltu laitosmaisen tuotannon päästöjä, kun kohteiden välisiä etäisyyksiä pienennetään ja purkutyömaalla tapahtuvan tuotannon päästöt pysyvät samoina (etäisyys hyödyntämiskohteeseen 10 km).



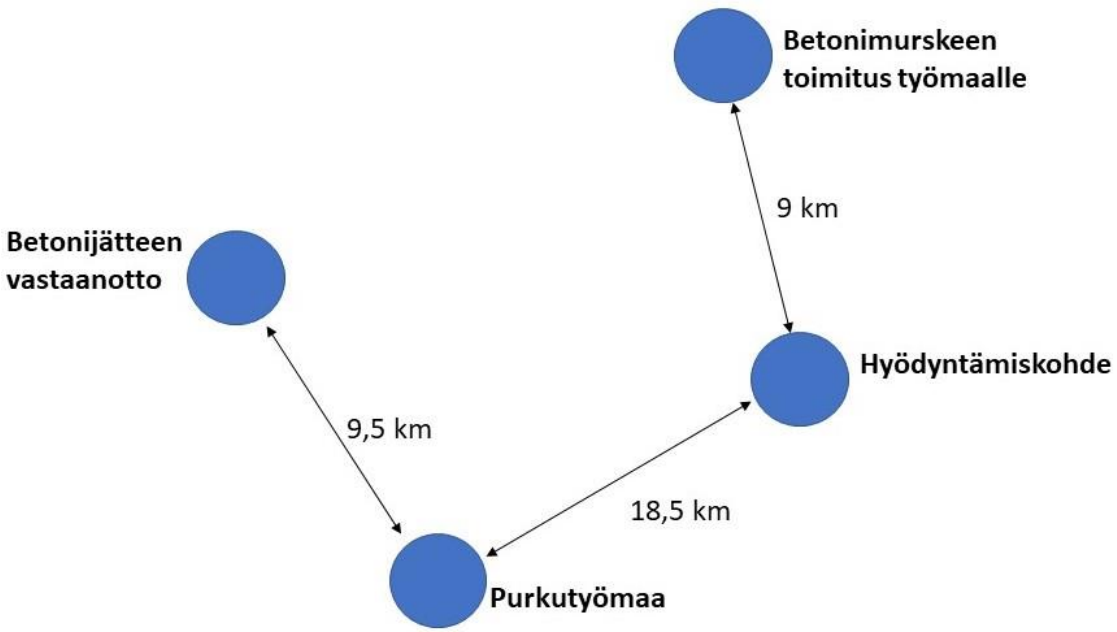

*Kuva 21. Raja-arvotarkastelu laitosmaisen tuotannon (toimintamalli 1) ja purkutyömaalla tapahtuvan tuotannon (toimintamalli 2) välillä tapaustarkastelu 1 mukaisesti. Vaaka-akselissa esitetyt kilometrit kertovat molempien reittien pituudet (purkutyömaa-käsittelylaitos/ betonimurskeen tuotantolaitos-hyödyntämiskohde). Purkutyömaalla tapahtuvan tuotannon päästöt eivät muutu ja etäisyydeksi (purkupaikka-hyödyntämiskohde) valittiin tapaustarkastelun 1 mukainen 10 km.*

Betonijätteen käsittelylaitoksen tulisi siis olla noin 4 km päässä nykyisen 9,5 km sijasta purkukohteesta ja hyödyntämiskohteen noin 5 km päässä nykyisen 9 km sijasta mursketta tuottavasta laitoksesta, jotta laitosmaisen tuotannon päästöt alittaisivat toisen toimintamallin (tuotanto purkutyömaalla) kuljetuksesta ja lastauksesta aiheutuneet $CO_2$-päästöt, kun hyödyntämiskohde on 10 km päässä purkutyömaasta (kuva 22).




*Kuva 22. Skenaario, jossa laitosmaisen toimintamallin (toimintamalli 1) kuljetuksista ja lastauksista aiheutuneet $CO_2$-päästöt alittavat purkutyömaalla tapahtuvan tuotannon (toimintamalli 2) kuljetuksista ja lastauksista aiheutuneet $CO_2$-päästöt.*

Lisäksi selvitettiin, kuinka pitkällä hyödyntämiskohteen tulisi sijaita purkutyömaahan nähden, jotta purkutyömaalla tuotetun betonimurskeen kuljetuksen ja lastauksen päästöt ylittäisivät tapaustarkastelun 1 laitosmaisen tuotannon päästöt (~ 49 000 kg $CO_2$ -ekv.). Päästölaskentatyökalun mukaan purkutyömailta tulisi kuljettaa betonimurske noin 18,5 km päähän hyödynnettäväksi nykyisen 10 km sijaan, jotta kyseisen toimintamallin päästöt ylittäisivät ensimmäisessä tapaustarkastelussa muodostuneet hiilidioksidipäästöt laitosmaisen tuotannon osalta. Etäisyydet laitosmaisessa tuotannossa ovat tässä tarkastelussa samat kuin tapaustarkastelussa 1 eli 9,5 km ja 9 km (kuva 23). Muita päästölaskennan muuttujia (taulukko 4) ei muutettu päästölaskennassa vaan ainoastaan hyödyntämiskohteen ja purkutyömaan välistä etäisyyttä kasvatettiin, kunnes kuljetuksen ja lastauksen päästöt ylittivät laitosmaisen tuotannon.




*Kuva 23. Skenaario, jossa purkutyömaalla tapahtuvan tuotannon kuljetuksista ja lastauksista aiheutuneet $CO_2$-päästöt ylittävät laitosmaisen tuotannon kuljetuksista ja lastauksista aiheutuneet $CO_2$-päästöt, kun tilanne on muuten tapaustarkastelun 1 mukainen.*

## 4.2 Asiantuntijahaastattelujen yhteenveto

### 4.2.1 Toimintamallien haasteet

Asiantuntijoilta tiedusteltiin kolmen eri toimintamallin haasteita ja mahdollisia kehityskohteita (liite 1). Koska haasteltavia oli usealta eri alalta, kaikki haastateltavat eivät välttämättä pystyneet ottamaan sen tarkemmin kantaa eri toimintamallien haasteisiin. Haastatellut asiantuntijat olivat melko lailla yhtä mieltä eri toimintamallien kehitystarpeista. Uuden kiinteän laitoksen perustamiseksi raskas ympäristölupaprosessi sekä laitosten mahdollinen sijainti nostettiin kuitenkin suurimmiksi haasteiksi. Ympäristölupaprosessia pidettiin laitosmaiselle toiminnalle hyvin raskaana prosessina, sillä käsittelyajat ovat kasvaneet joillain alueilla haastateltavien mielestä jopa kohtuuttoman pitkiksi, ja näin ollen toiminnan käynnistäminen voi viivästyä jopa usealla vuodella. Asiantuntijat nostivat kuitenkin positiivisena muutoksena esiin sen, että suurempien betonijätteen käsittelylaitosten kohdalla ei tarvitse enää tehdä ympäristövaikutusten arviointia eli YVA:a, joka on yleisesti ottaen vielä ympäristölupaakin ajallisesti pidempi ja hallinnollisesti raskaampi prosessi.

Laitosmaiselle toiminnalle soveltuvia alueita on hyvin harvassa ja esimerkiksi kaavoituksella jätehuollolle määrätyt alueet ovat jo kaikki toiminnassa. Näin ollen mahdolliset uudet laitokset sijoittuvat paljon esimerkiksi teollisuusalueille tai maa- ja metsätalousvaltaisille alueille, joissa ei ole aikaisemmin ollut samankaltaista toimintaa. Esimerkiksi alueen lähettyvillä asuvat ihmiset saattavat huolestua uudesta ympäristövaikutuksia aiheuttavasta toiminnasta. Osa haastateltavista nostikin esiin myös kaavoituksen roolin yhteiskunnan tukitoimintoja, kuten jätteen käsittelyä, ajatellen. Esimerkiksi uusia yleiskaavoja suunniteltaessa

tulisi tarkemmin selvittää, minne mahdollisia tukitoimintoja voisi sijoittaa antaa tähän liittyviä tarkempia kaavamääräyksiä. Nämä tukitoiminnoille varatut alueet voivat olla joko pysyviä tai tilapäisiä.

Olemassa olevien laitosten osalta haasteet liittyivät enemmän valmiin betonimurskeen kierrättämiseen ja pidempiaikaisiin ympäristövaikutuksiin. Suuremmilla betonijätteen käsittelylaitoksilla voi olla haasteita esimerkiksi suurten välivarastojen kanssa, jolloin ympäristöluvassa määrätyt enimmäismäärät ja -ajat esimerkiksi välivarastoinnille saattavat ylittyä. Lähes aina välivarastoinnille on asetettu kolmen vuoden enimmäisaika, jonka jälkeen varastossa oleva betonijäte- tai murske muuttuu jäteverolliseksi ja toimintaan liittyen kohdistuu huomattavia maksuja. Osa asiantuntijoista mainitsi, että kyseisen jäteveron pelossa saatetaan valmista betonimursketta toimittaa toissijaisiin käyttökohteisiin.

Purkutyömaalla tapahtuvalle tuotannolle haasteet olivat hieman erilaisia verrattuna laitosmaiseen tuotantoon. Esimerkiksi betonin murskaamiseen liittyvän luvituksen ja käytäntöjen yhtenäistäminen nähtiin yhtenä suurimmista haasteista. Myös ympäristövaikutukset, kuten pöly ja melu nostettiin esiin samoin kuin niiden asianmukainen hallinta työmailla, missä on lähellä mahdollisia häiriintyviä kohteita (kaupunkien keskustoissa). Lisäksi joissain purkukohteissa voi olla haastavaa löytää murskaukseen ja tuotteiden varastointiin tarvittavat tilat, sillä kiinteistöt voivat olla hyvin pieniä. Lähes kaikki haasteltavat kuitenkin totesivat tähän liittyen, että ympäristövaikutukset ovat hyvin hallittavissa ja nykyinen teknologia mahdollistaa muun muassa alhaisemman melutason lähiympäristössä ja tehokkaamman pölynsidonnan. Lisäksi esille nostettiin toiminnan tilapäisyys ja se, että esimerkiksi itse purkutoiminnassa saattaa aiheutua itsessään suurempia pöly- ja melupäästöjä, kuin betonin murskauksesta.

Laitosmaisessa tuotannossa on useiden asiantuntijoiden mukaan mahdollista myös vaikuttaa paremmin lähtömateriaalin eli betonijätteen laatuun, jolloin valmistettavan murskeen laatu on myös tasaisempaa. Purkutyömailla puolestaan rakennuksista tai käyttötarkoituksesta riippuen betonijätteen laadussa voi olla suurempaa vaihtelua. Purkutyömaiden betonimurskeen osalta moni asiantuntija mainitsikin, että laadussa voi olla suurempaa vaihtelua ja enemmän mahdollisia epäpuhtauksia. Samalla kaikki asiantuntijat kuitenkin mainitsivat, että kehitys on viime vuosina ollut positiivista ja ala on mennyt suuresti eteenpäin. Purkualalle on tullut toimijoita, jotka ovat CE-merkinneet betonimurskeita ja panostaneet suuresti esimerkiksi lajittelevaan purkuun ja tuotettavan betonimurskeen laatuun.

Tuotettaessa betonimursketta hyödyntämiskohteessa haasteet olivat hyvin pitkälti samat kuin rakennus- ja purkutyömailla tuotettaessa. Toimintamalli on vielä uusi eikä sitä oikein tunneta yleisesti. Erityisesti tarvittavien tilojen järjestäminen hyödyntämiskohteessa voi olla asiantuntijoiden mielestä haastavaa. Lisäksi useat asiantuntijat näkivät haasteena sen, että kyseinen toiminta vaatisi nykylainsäädännön piirissä ympäristöluvan, vaikka on verrattavissa monin paikoin tuotantoon rakennus- ja purkutyömailla, jota voidaan tehdä usein meluilmoituksella. Lainsäädännön silmissä toimintamallia olisi kuitenkin asiantuntijoiden mielestä vaikea erottaa esimerkiksi laitosmaisesta toiminnasta, jos hyödyntämiskohteeseen otettaisiin betonijätettä vastaan esimerkiksi useista purkukohteista ja se käsiteltäisiin ja hyödynnettäisiin samassa kohteessa. Lisäksi osa asiantuntijoista huomautti, että jätelakiin on kirjattu, että jätettä voi luovuttaa ainoastaan kohteisiin, joilla on asianmukaiset luvat, kuten ympäristölupa, kyseisen jätejakeen vastaanottamiselle.

Erityisesti hyödyntämiskohteessa tuotettaessa haasteeksi esitettiin tarvittava laadunvalvonta. Mikäli hyödyntämiskohteessa tuotettu betonimurske ei esimerkiksi alittaisi MARA-asetuksen haitta-aineille asetettuja raja-arvoja, murske jouduttaisiin toimittamaan muualle hyödynnettäväksi, jolloin hyödyntämiskohteessa tarvittaisiin yhä materiaalia ja materiaalin jätemaksut ja kuljettaminen aiheuttaisivat ylimääräisiä kustannuksia.

### 4.2.2 Betonijätteen käsittelyyn liittyvä hallinto

Haastateltavilta asiantuntijoilta tiedusteltiin betonijätteen käsittelyyn liittyvää lupa- ja ilmoituskäytäntöjä. Kuten aikaisemmin todettiin, jätteen ammattimainen käsittely vaatii aina ympäristöluvan (kappale 2.5.2), mutta betonijätteen osalta on tilapäistä toimintaa mahdollista tehdä pelkällä meluilmoituksella (Ympäristöministeriö, 2014). Haastatteluissa kävi ilmi, että asiantuntijat olivat pitkälti samaa mieltä siitä, että lupa- ja ilmoitusmenettelyjä betonijätteen käsittelyn, eli tässä tapauksessa murskauksen, suhteen tulisi selkeyttää ja yhtenäistää.

Moni asiantuntija nosti esille, että mikäli ympäristönsuojelu- ja jätelakia tulkittaisiin kirjaimellisesti, ainoa oikea menettely betonijätteen käsittelylle olisi ympäristölupa riippumatta siitä, tapahtuuko käsittely esimerkiksi purkutyön yhteydessä. Asiantuntijat nostivat myös esille sen, että mikäli melupäätöksestä, joka on myönnetty betonijätteen murskaamista varten, tehtäisiin valitus, ei ole varmuutta kumoaisiko esimerkiksi hallinto-oikeus kyseisen päätöksen. Jätelain tulkintamuistio (Ympäristöministeriö, 2014) ei kuitenkaan ole virallista lakitekstiä, ja tämä aiheuttaa hieman ristiriitaa toiminnanharjoittajien kesken. Muutama haastateltavista nosti kuitenkin esille sen, että tulkintamuistiossa mainittu tapauskohtainen harkinta meluilmoitusmenettelyn suhteen on paikkansa pitävä ja meluilmoitus on myös heidän mielestään laillisesti oikea menettely, mikäli viranomaiset niin päättävät. Esimerkiksi ympäristövaikutuksiltaan betonijätteen murskaus ei ole asiantuntijoiden mukaan sen kuormittavampaa kuin esimerkiksi luonnon kiviaineksen murskaus tai itse purkutoiminta. Asiantuntijat nostivat myös esille, että melupäätöksessäkin voidaan antaa tarpeellisia määräyksiä toiminnasta aiheutuvan pilaantumisen ehkäisemisestä sekä toiminnan tarkkailusta. Näin ollen esimerkiksi kohteissa, joissa saattaa olla lähellä herkästi häiriintyviä kohteita, toiminnalle voidaan antaa tarkempia määräyksiä esimerkiksi toiminta-aikoihin ja pölyntorjuntaan liittyen.

Lähes kaikki suuremmat kaupungit Suomessa ovat asiantuntijoiden mukaan alkaneet myöntää melupäätöksiä betonijätteen murskausta varten ja tällä hetkellä Vantaan kaupunki on tiettävästi ainoa suurempi kaupunki Suomessa, joka ei myönnä betonijätteen murskaamiselle siirrettävällä murskaimella purkutyön yhteydessä melupäätöstä, vaan Vantaan ympäristökeskus tulkitsee toiminnan ammattimaiseksi jätteen käsittelyksi, joka vaatii ympäristölupaa (Forsman & Dettenborn, 2019).

Asiantuntijoilta tiedusteltiin myös heidän näkemystään tulevasta EoW-asetuksesta. Asiantuntijat muistuttivat, että asetus on vasta varhaisessa luonnosvaiheessa, eikä lopullista asetusta ole vielä muotoiltu. Kuitenkin tällä hetkellä hyvin vahva viittaus on siihen suuntaan, että asetus tulisi koskemaan vain laitosmaisessa tuotannossa tuotettuja betonimurskeita. Asiantuntijoilta tiedusteltiinkin, tulisiko asetuksen soveltamisalaa laajentaa myös purkutyömailla tuotettuihin betonimurskeisiin.

Yleisesti ottaen asiantuntijat olivat sitä mieltä, että nykyisellään asetuksen soveltamisala on hyvä, koska he näkevät toiminnan ammattimaisena jätteenkäsittelynä viimeistään siinä vaiheessa, kun tuotetaan EoW-murskeita ja tällöin toiminta vaatisi ympäristölupaa. Asiantuntijat olivat myös huolissaan siitä, että mikäli EoW-asetus koskisi myös yleisesti rakennus- ja purkutyömailla tuotettuja betonimurskeita, markkinoille saattaisi tulla laadultaan hyvin vaihtelevaa materiaalia, jolloin itse asetuksen tarkoitus ei enää toteudu. Osa asiantuntijoista kuitenkin mainitsi, että asetuksen piiristä jää suuri osa betonimurskeita pois, mikäli se rajataan koskemaan vain laitosmaista tuotantoa.

Asiantuntijoilta tiedusteltiin haastattelussa myös sitä, mikä saattaisi olla tulevaisuudessa oikea lupa- tai ilmoitusmenettely betonijätteen käsittelyä ajatellen. Moni asiantuntija huomautti, että ympäristölupa ei itsessään ole huono menettely, vaan tällä hetkellä ongelmana ovat pidentyneet käsittelyajat. Tällöin suunniteltu toiminnan aloitus saattaa viivästyä pitkiksi ajoiksi. Lisäksi muutama asiantuntija toi esille, että ympäristölupa on käytännössä ”lupa pilata” ympäristöä, mutta esittivät heti perään kysymyksen siitä, onko betonijätteen käsittely ympäristöä pilaavaa toimintaa. Melupäätöstäkään ei pidetty yleisesti ottaen sopivana menettelynä betonijätteen käsittelyä ajatellen osittain siksi, että sen laillisuudesta ei ole vielä ennakkotapauksia. Lisäksi melupäätöksessä otetaan hyvin vähän kantaa itse murskausprosessiin ja ympäristönsuojeluun. Muutama asiantuntija nostikin esille, että esimerkiksi MURAUS-asetuksen (VNa 800/2010) kaltainen asetus voisi olla hyvä myös betonijätteen murskaamiselle. Tällaisella asetuksella luotaisiin niin sanottu minimitaso betonijätteen käsittelylle ja annettaisiin ohjeistuksia esimerkiksi toiminta-aikoihin ja -rajoihin sekä etäisyyksiin liittyen. Näin ollen erityisesti purkukohteissa tarkasteltaisiin nykyistä enemmän ympäristöasioita.

Useat asiantuntijat olivat sitä mieltä, että mikäli betonijätteen käsittelyn taustalle saataisiin asetusluontoinen ilmoitus- tai rekisteröintimenettely, se mahdollistaisi myös purkutyömailla tuotettujen betonimurskeiden lisäämisen EoW-asetuksen pariin. Muutama asiantuntija mainitsi sen, että siirrettävän betonijätteen käsittelylaitoksen osalta voisi tarkastella myös sitä vaihtoehtoa, että toiminta lisättäisiin ympäristönsuojelulain (YSL 527/2014) liitteen 2 mukaisiin rekisteröitäviin toimintoihin. Näin ollen betonijätteen käsittelylaitoksen ympäristönsuojeluvaatimukset tulisi määritellä asetuksella. Tähän liittyen osa asiantuntijoista epäili, että mikäli siirrettävät käsittelylaitokset siirtyisivät rekisteröinnin pariin, tulisi samalla siirtää myös laitosmainen tuotanto rekisteröintimenettelyn alle, sillä myös kiinteillä laitoksilla murskaaminen tapahtuu lähes aina siirrettävillä murskauslaitoksilla.

Muutama asiantuntija pelkäsi mahdollisten uusien menettelytapojen entisestään sekoittavan jo valmiiksi hieman sekavaa kenttää. Mahdolliset uudet menettelytavat vaatisivat panostusta viranomaisten ja toiminnanharjoittajien kouluttamiseen, ja toiminnanharjoittajat voisivat ihmetellä, mikä monista mahdollisista lupa- tai ilmoitusmenettelyistä olisi sopiva heidän toimintaansa ajatellen.

### 4.2.3 Suuren palakoon betonin hyödyntäminen

Kysyttäessä suuren palakoon betonin eli betonilouheen hyödyntämisestä (palakoko yli 90 mm), mielipiteet vaihtelivat asiantuntijoiden kesken huomattavasti. Osa haastateltavista näki betonilouheen hyödyntämisen esimerkiksi erilaisissa penger- ja meritäytöissä erittäin mahdollisena, kunhan toiminta on suunniteltua ja hyödyntäminen niin sanotusti aitoa. Aidolla

hyödyntämisellä asiantuntijat viittasivat esimerkiksi rakenteisiin, jotka rakennettaisiin joka tapauksessa, vaikka betonilouheen hyödyntämiselle ei saataisi ympäristölupaa. Tärkeämpänä osa asiantuntijoista piti juuri sitä, että materiaali soveltuu esimerkiksi teknisiltä ominaisuuksiltaan käyttötarkoitukseen ja täyttää sille asetetun ympäristökelpoisuuden.

Betonilouheen hyödyntämistä esimerkiksi täytöissä perusteltiin pitkälti kuljetusmatkojen optimoimisella, vähäisemmällä käsittelyllä sekä luonnon kiviaineksen korvaamisella. Myös kustannuskysymykset nousivat joissain haastatteluissa esiin, eli betonilouheen vastaanottohinnat voivat olla huomattavasti alhaisemmat kohteissa, joissa betonia ei murskata murskeeksi vaan se hyödynnetään suuremmassa palakoossa. Näin ollen esimerkiksi urakoitsijalle voi muodostua huomattaviakin säästöjä, kun betonijäte toimitetaan sellaiseen vastaanottopaikkaan, jossa se hyödynnetään louheena.

Osa asiantuntijoista oli puolestaan vahvasti sitä mieltä, että esimerkiksi pääkaupunkiseudulla, missä lähellä on useita käsittelylaitoksia, betoni tulisi aina hyödyntää murskeena ja mahdollisimman korkean luokan käyttötarkoituksessa. Tällaisia käyttökohteita voisivat olla muun muassa väylä- ja pohjarakenteiden jakavat ja kantavat kerrokset. Osa asiantuntijoista perusteli korkeatasoista hyödyntämistä sillä, että betonimurskeen tekniset ominaisuudet saattavat olla jopa luonnon kiviainekseen verrattuna paremmat, jonka vuoksi näitä ominaisuuksia ei tulisi hukata massiivisiin täyttöihin. He myös perustelivat betonin korkealuokkaista hyödyntämistä sillä, että MARA-asetuksen mukaisissa käyttökohteissa betonimursketta ei saa hyödyntää vallirakenteissa. Ympäristöministeriön mukaan esimerkiksi meluvalleihin sijoittaminen ei vastaa jätelain mukaista korkea-arvoista jätteen hyödyntämistä (Ympäristöministeriö, 2017a). Tällä rajoituksella halutaan siis myös ohjata betonimursketta korkealaatuisempaan hyödyntämiseen.

Yhtenä huolena betonijätteen korkealuokkaiselle hyödyntämiselle pääkaupunkiseudulla pidettiin ympäristöluvallisia kohteita, joissa hyödynnetään betonilouhetta. Kyseisiä kohteita on asiantuntijoiden mielestä runsaasti esimerkiksi 50 km säteellä, ja hinnoittelullaan kyseiset kohteet saavat ohjattua osan pääkaupunkiseudun materiaalivirroista itselleen, jolloin yhä vähemmän betonista ohjautuisi korkealuokkaiseen hyödyntämiseen. Betonilouhetta ei saa hyödyntää maankaatopaikkojen tukirakenteissa, vaan nämä on rakennettava luonnon kiviaineksesta. Asiantuntijoiden mielestä tämä on ollut hyvä linjaus, mikäli halutaan edistää betonimurskeen korkealuokkaista hyödyntämistä. Asiasta ei kuitenkaan ole tehty mitään virallista päätöstä. Mikäli betonilouhetta voisi hyödyntää myös maankaatopaikan tukirakenteissa, asiantuntijoiden huolena oli se, että jalostukseen ohjautuvat betonin määrä vähenisi huomattavasti.

# 5 Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

## *5.1 Kuljetuksesta ja lastauksesta aiheutuvat päästöt eri toimintamalleissa*

Infrarakentamisen päästöistä on julkaistu vuoden 2019 alussa diplomityö (Teittinen, 2019), jossa tarkasteltiin tarkemmin esimerkiksi ympäristökestävyysindikaattoreita ja eri materiaalivaihtoehtoja väylärakenteessa. Lisäksi työssä tutkittiin erilaisia rajausvaihtoehtoja muun muassa uusiomateriaalien suhteen eli esimerkiksi, huomioidaanko betonin murskaus infra-

rakenteen päästöissä. Tässä diplomityössä päästölaskentaosuus rajattiin kuljetuksista aiheutuneisiin kustannuksiin, sillä Teittisen (Teittinen, 2019) diplomityössä arvioitiin, että yli 60 % betonimurskepenkereen rakentamisen päästöistä aiheutuu kuljetuksista ja lastauksesta. Käsittelyn eli murskauksen osuuden arvioitiin Teittisen työssä olevan noin 30 %, mutta koska tässä työssä kaikissa toimintamalleissa käsiteltävä materiaali oli sama ja jokaisessa toimintamallissa betonimurske käsitellään murskaamalla, ei toimintamallien välille oletettu muodostuvan merkittäviä eroja riippumatta siitä, missä murskaus tapahtuu. Todellisuudessa murskausmenetelmät voivat kuitenkin myös hieman erota päästöiltään, sillä esimerkiksi purkutyömailla voidaan tuottaa MARA-asetuksen vaatimukset täyttävää betonimursketta kauhamurskaimella, joka on todennäköisesti päästöiltään alhaisempi kuin siirrettävä murskauslaitos. Näiden kahden murskausmenetelmän välisistä päästöeroista ei kuitenkaan ole tutkimustietoa saatavilla, jonka vuoksi tässä diplomityössä ei ole myöskään otettu kantaa käsittelyn päästövaikutuksiin.

Yleisenä hypoteesina tässä työssä oli, että laitosmaisesta betonimurskeen tuotannosta syntyisi eniten päästöjä, sillä kuljettuja kilometrejä ja lastauksia muodostuu enemmän kuin muissa toimintamalleissa. Tehtyjen laskelmien mukaan tuottamalla betonimurske purkutyömaalla tai hyödyntämiskohteessa, kuljetuksesta ja lastauksesta aiheutuneet päästöt ovat alhaisemmat kuin laitosmaisessa tuotannossa. Ero päästöissä purkutyömaalla ja hyödyntämiskohteessa tuotetun betonimurskeen välillä muodostuu kuorma-autojen eri täyttöasteista, jonka vuoksi kuljetusten määrä kahden toimintamallin välillä on erilainen. Kokonaispäästöt ovat kuitenkin näiden kahden toimintamallin välillä hyvin lähellä toisiaan ja ero on pieni.

Työssä suoritetuista päästölaskennoista huomattiin, että toimintamallien välille syntyi huomattaviakin eroja kasvihuonekaasupäästöissä, varsinkin laitosmaisen tuotannon ja muiden toimintamallien välille. Esimerkiksi ensimmäisessä tapaustarkastelussa, jossa laskennassa käytetyt kohteet olivat todellisia työmaita ja laitoksia, kuljetuksen ja lastauksen päästöt ovat noin 62 % laitosmaisen tuotannon päästöistä tuotettaessa betonimurske purkutyömaalla. Laitosmaisessa tuotannossa kohteiden välisen kuljetusmatkan pituus on lähes kaksinkertainen, jotta betonimurske saadaan toimitettua hyödyntämiskohteeseen. Mikäli laitosmaisessa tuotannossa hyödynnettäisiin meno-paluu -kuljetuksia, olisi sen päästöt lähempänä toimintamalleja 2 ja 3.

Yksittäisessä infrarakentamiskohteessa kuljetuksen päästöt rajoittuvat laitokseen tai työmaahan, josta betonimurske toimitetaan, mutta tässä diplomityössä tarkasteltiin aiheutuneita kuljetuksia ja lastauksia yli niin sanotun hanketason. Hanketasolla viitataan yleensä yhteen projektiin/kohteeseen eli esimerkiksi hyödyntämiskohteeseen, kuten Kivikkoon. Näin ollen betonimurskeen kuljettamisesta aiheutuneista päästöistä tarkasteltaisiin laitosmaisessa tuotannossa ainoastaan lähimmästä laitoksesta hyödyntämiskohteeseen aiheutuvia päästöjä.

Kaikissa kolmessa päästölaskentaesimerkissä laitosmainen tuotanto aiheutti eniten päästöjä. Kolmannessa esimerkissä (kpl 4.1.3) erot jäivät kuitenkin muihin esimerkkeihin verrattuna pieniksi, sillä reittien pituudet olivat kaikissa kolmessa toimintamallissa yhtä pitkät. Eroja toimintamallien välille aiheutui myös kuormien täyttöasteista, jonka vuoksi tietyn määrän kuljettamiseksi tarvittiin eri määrä kuormia, riippuen siitä, oliko kyseessä jäte vai murske. Asiantuntijahaastatteluiden perusteella ero täyttöasteissa arvioitiin kuitenkin pieneksi (5 %), sillä usein myös isompikokoisesta betonista saadaan tehtyä täysiä kuormia. Mikäli päästölaskennat suoritettaisiin samoilla täyttöasteilla, tuotanto hyödyntämiskohteessa aiheuttaisi

saman verran päästöjä kuin tuottaessa purkutyömaalla, kun tässä työssä hyödyntämiskohteessa betonimursketta tuotettaessa kuljetuksen aiheuttamat päästöt olivat hieman suuremmat kuin purkutyömaalla tuotettaessa. Lisäksi laitosmaisen tuotannon kokonaispäästöt laskisivat hieman, mikäli täyttöaste olisi sama, sillä noin puolet ajoista tapahtuu purkutyömaan ja kiinteän laitoksen välillä, jossa kuljetetaan isokokoista betonijätettä.

Haastatteluissa kävi myös ilmi, että usein betonimursketta tai -jätettä kuljetettaessa kuormat saattavat olla niin sanottuja ylikuormia, jolloin kuljetettavan materiaalin määrä ylittää ajoneuvon kapasiteetin. Tässä työssä ei kuitenkaan otettu kuljetusten painoja arvioitaessa huomioon ylikuormien mahdollisuutta, sillä tätä diplomityötä tehdessä ei ollut käytettävissä tarkkaa tietoa ylikuormien määrästä. Mikäli kuitenkin ylikuormaus olisi yleinen käytäntö materiaalikuljetuksissa, se tarkoittaisi, että tässä työssä tarvittavia kuljetuksia olisi tarvittu vähemmän ja näin ollen $CO_2$-päästöt olisivat olleet alhaisemmat. Kuitenkin ylikuormaus on laitonta ja aina turvallisuusriski, jota ei tulisi materiaalikuljetuksissa sallia.

Työssä ei otettu huomioon laitoksilla tai työmailla tapahtuvaa sisäistä työmaaliikennettä. Esimerkkejä sisäisestä työmaa-ajosta on muun muassa materiaalien siirtäminen välivarastoihin tai murskauslaitteen syöttö. Diplomityössä arvioitiin, että toimintamallista riippumatta sisäistä työmaa-ajoa tapahtuu eikä toimintamallien välille synny merkittäviä eroja. Tietenkin sisäisen työmaa-ajon määrä on verrannollinen alueen kokoon. Esimerkiksi hyödyntämiskohteessa tuotettaessa siirrettävä murskain voi olla jopa kilometrien päässä varsinaisesta rakenteesta, jonne valmistettava murske on tarkoitus sijoittaa. Tällöin sisäisenkin työmaa-ajon päästöt voivat muodostua merkittäviksi suhteessa muihin kuljetuksiin. Esimerkkinä tämänkaltaisesta kohteesta voivat olla suuremmat väylähankkeet, joissa kiviaineksen tai uusiomateriaalin tuotanto on keskitetty yhdelle alueelle ja kuljetetaan sieltä rakenteeseen.

Diplomityön laskentaesimerkeissä huomattiin, että kuljetusten päästölaskeminen on esimerkiksi infrarakentamisen päästölaskemiseen verrattuna yksinkertaista ja suoraviivaista. Pitkiä materiaalin kuljetusmatkoja pyritäänkin koko ajan vähentämään taloudellisista ja ympäristösyistä. Betonimurskeen kohdalla kuljetusmatkojen pituudet saattoivat vielä joitakin vuosia sitten olla erittäin pitkiä, koska valmista betonimursketta ei välttämättä nähty laadukkaana rakennustuotteena vaan materiaalina, josta tulisi päästä eroon.

## 5.2 Betonijätteen murskaaminen ja siihen liittyvät viranomaismenettelyt

Asiantuntijahaastatteluissa selvitettiin pääkaupunkiseudun ympäristöluvallisten laitosten määrää ja niiden vastaanottokapasiteettia. Asiantuntijat eivät kokeneet ongelmaksi ympäristöluvallisten laitosten määrää pääkaupunkiseudulla vaan kokivat, että ongelmat olisivat jossain muualla. Helsinki-Vantaa-Espoo -akselilla todettiin olevan useita betonimurskeen käsittelylaitoksia, jotka sijaitsevat sopivien välimatkojen päässä. Mikäli betonijätettä ei pystytä käsittelemään tai käsittelyä ei sallita purkutyömailla, kuljetuksesta aiheutuneet kustannukset ja samalla myös päästöt eivät haastateltavien mukaan kasvaisi liian suuriksi. Kiinteiden laitosten vastaanottohinnat määräävät tällä hetkellä sen, mihin betonijäte päätyy, ellei sitä voida käsitellä purkutyömailla. Tämän vuoksi osa betonijätteestä päätyy kauemmaksi hyödynnettäväksi ympäristöluvallisiin kohteisiin, joissa on asianmukaiset luvat suuremman palakoon

betonin hyödyntämiselle. Tämä koettiin suuremmaksi betonin korkea-asteisen hyödyntämisen esteeksi kuin nykyisten ympäristöluvallisten laitosten sijainti ja vastaanottokapasiteetti. Näin ollen uusille kiinteille laitoksille ei nähty tarvetta.

Lähes kaikki haastatellut asiantuntijat mainitsivat, että betonijätteen murskaamiseen liittyvät lupa- ja ilmoituskäytännöt kaipaisivat selvennystä ja käytäntöjen yhtenäistämistä. Suurin epävarmuus vaikutti tällä hetkellä liittyvän meluilmoituksen soveltamiseen betonijätettä murskatessa. Haastatteluissa kävi ilmi, että pääkaupunkiseudulla on eroavaisuuksia melupäätöksen myöntämiseen liittyen eri kaupunkien välillä. Mahdollisena esimerkkitapauksena voisi toimia betonin murskaamisesta annettu melupäätös ja siitä tehty valitus. Näin ollen eri oikeusasteet käsittelisivät asian ja tekisivät asiasta niin sanotun ennakkotapauksen. Asiantuntijahaastatteluissa selvisi, että tällaista on harkittu, mutta uhkana on se, että mikäli hallinto-oikeus kumoaisi murskaukselle myönnetyn melupäätöksen, se vaikuttaisi kaikkialla Suomessa melupäätöksen myöntämiseen betonin käsittelyyn. Näin ollen toiminta tulkittaisiin kaikkialla ympäristöluvalliseksi ja pitkien käsittelyaikojen vuoksi murskaaminen työmaalla vaikeutuisi huomattavasti.

Asiantuntijahaastatteluissa nostettiin esille mahdollinen rekisteröinti- tai ilmoitusluontoinen menettely esimerkiksi purkutyömailla murskaamiseen, joka olisi hallinnollisesti kevyempi kuin ympäristölupaprosessi, mutta asettaisi niin sanotun minimitason ympäristönsuojelulle. Melupäätöksissäkin voidaan ottaa kantaa ympäristönsuojelullisiin asioihin, mutta erityisesti purkutyömailla tapahtuvaan murskaukseen toivotaan tarkempaa ympäristöasioiden valvontaa. Useat asiantuntijat nostivat myös esille sen, että betonin murskauksen ympäristövaikutukset eivät välttämättä ole purkutoimintaa suuremmat ja purkaminenkaan ei itsessään vaadi ympäristölupaa.

Asiantuntijat pohtivatkin, että uusiomateriaalien, kuten betonimurskeen jäteluokituksen tuomat velvoitteet ja mahdolliset rajoitukset asettavat jätteistä valmistetut uusiomateriaalit heikompaan asemaan kuin neitseelliset materiaalit. Lisäksi materiaalin jäteluokitus luo negatiivisia mielikuvia ja esimerkiksi lähiasukkaissa vastustusta materiaalin hyödyntämistä kohtaan, vaikka sen tekniset ominaisuudet ja ympäristökelpoisuus ei eroaisikaan vastaavista neitseellisistä materiaaleista ja tuotteista (Ympäristöministeriö, 2018b).

Tällä hetkellä vaikuttaa siltä, että yhä useammat ovat hyväksymässä meluilmoitusmenettelyn purkutyömailla, mutta kukaan ei pysty varmaksi sanomaan, kestääkö meluilmoitusmenettely oikeusasteet, kun kyse on jätteen käsittelystä. Lainsäädännön suurimpana ongelmana on ehkä tällä hetkellä se, että perustelut joko melupäätöksen myöntämiselle tai hylkäämiselle betonijätteen käsittelyä varten ovat perusteltuja ja tämä mahdollistaa viranomaisten välillä erilaisia tulkintoja.

## 5.3 Betonijätteen hyödyntämisen toimintamallit maarakentamisessa

Diplomityössä tehtyjen vertailujen mukaan betonimurskeen tuottaminen rakennus- ja purkutyömailla osoittautui taloudellisesti ja ympäristövaikutuksiltaan kannattavimmaksi toimintamalliksi, mikäli vain hyödyntämiskohde on tiedossa ja purkutyömaalla voidaan murskata betonijätettä. Useissa asiantuntijahaastatteluissa kävi kuitenkin ilmi, että valmistetun

murskeen laatu saattaa tällöin vaihdella enemmän esimerkiksi laitosmaiseen tuotantoon verrattuna. Tällainen mielikuva oli myös haastateltavilla, jotka eivät välttämättä ole tutustuneet toimintaan kovin hyvin. Haastatteluissa selvisi myös, että viimeisten vuosikymmenten ja erityisesti viimeisten vuosien aikana purkutyömaalla tuotettujen murskeiden laatu on parantunut huomattavasti ja toimintatavoilla sekä laadunvalvonnalla on tässä erittäin suuri rooli. Purkualalla toimivat yritykset ovat CE-merkinneet omia uusiokiviaineksiaan ja haluavatkin lisätä tietoisuutta purkutyömailla tuotettuja uusiokiviaineksia kohtaan.

Laitosmaisen tuotannon laskentaesimerkeissä päästöjä aiheutui eniten kuljetuksista ja lastauksista. Laskentaesimerkeissä kohteiden asettelu oli laitosmaista tuotantoa ajatellen epäsuotuisaa ja toimintamallien väliset etäisyydet ovat aina tapauskohtaisia. Tilanteissa, joissa betonimurskeen hyödyntämiskohteita ei ole lähettyvillä tai betonijätettä ei saa murskata työmaalla, kiinteät ympäristöluvalliset laitokset ovat ainoa vaihtoehto asianmukaiselle betonijätteen käsittelylle. Diplomityössä haastattelujen ja päästölaskentaesimerkkien myötä on kuitenkin osoitettu, että usein liikennettä on eniten laitosmaisessa tuotannossa. Kiinteitä laitoksia perustettaessa betonimursketta hyödynnetään usein alueen rakentamisessa joko ympäristöluvalla tai MARA-ilmoituksella. Tuolloin kiinteän laitoksen toiminta onkin enemmän hyödyntämiskohteessa tapahtuvaa tuotantoa. Näin laitokselta poispäin tapahtuvaa liikennettä ei vielä synny. Tällöin myös toiminnasta aiheutuvat päästöt olisivat pienemmät kuin päästölaskentaesimerkissä.

Asiantuntijahaastatteluiden perusteella betonimurskeen tuottaminen hyödyntämiskohteessa ei eroa merkittävästi purkutyömaalla tapahtuvasta tuotannosta. Laadunvalvonnan rooli on erityisen tärkeää, sillä mikäli hyödyntämiskohteessa tuotettu betonimurske ei täytäkään MARA-asetuksen raja-arvoja, jouduttaisiin se kuljettamaan eteenpäin laitokselle, jolla on tarvittavat luvat käsitellä betonijätettä. Näin ollen toiminnasta aiheutuisi ylimääräisiä kustannuksia ja työmaalle tulisi lisäksi materiaalivajetta, mikä jouduttaisiin hankkimaan muualta. Tapaukset, joissa valmistetun betonimurskeen haitta-ainepitoisuudet ylittäisivät MARA-asetuksen raja-arvot ovat kuitenkin asiantuntijoiden mukaan verrattain harvinaisia, ja pitoisuudet riippuvat paljon esimerkiksi siitä, kuinka hyvin lajitteleva purku on tehty. Haastatteluissa nousi myös huoli mahdollisesti tilanteesta, jossa alueelle on otettu vastaan paljon betonijätettä, mutta syystä tai toisesta toiminta on keskeytynyt ja yrityksellä ei ole enää resursseja kuljettaa jätettä toisaalle. Tällaisissa tapauksissa betonijätteestä aiheutuvat kustannukset lankeisivat yhteiskunnan vastuulle, koska tällaiselle toiminnalle ei ole asetettu tarvittavaa vakuutta, jolla muuten varmistettaisiin jätteen asianmukainen käsittely.

Vaikka hyödyntämiskohteessa tapahtuvaa tuotantoa epäiltiin, niin moni asiantuntijoista oli sitä mieltä, että ympäristövaikutuksiltaan toiminta ei eroa purkutyömaalla tapahtuvasta tuotannosta ja joissakin tapauksissa olisi parempi, että betonijäte käsiteltäisiin hyödyntämiskohteessa purkukohteen sijaan. Erityisesti yksittäisen purkukohteen kohdalla tällainen malli voisi toimia, jos arvioidaan ympäristöluvan tarvetta. Tätä tulkintaa mahdollisesti puoltaa myös Väyläviraston uusiomateriaaliohjeen luonnokseen (Väylä, 2019a) ympäristöministeriön esittämä kommentti, jonka mukaan betonijätteen murskaamisen ympäristöluvan tarve arvioidaan samoin kriteerein kuin purkupaikalla murskattaessa, mikäli betonijätteen murskausta ei tehdä purkukohteessa (Ympäristöministeriö, 2019). Kuitenkin siihen, olisiko tällöin esimerkiksi meluilmoitus oikea menettely ympäristöluvan sijasta, ei ole kommentissa otettu kantaa. Mikäli hyödyntämiskohteeseen otettaisiin useammasta purkukohteesta purkubetonia, toiminta voitaisiin rinnastaa laitosmaiseen tuotantoon ja tuolloin lupavelvoite tulisi viimeistään ajankohtaiseksi.

Päästölaskentaesimerkeissä ei otettu huomioon suuren palakoon betonin eli betonilouheen hyödyntämistä (toimintamalli 4), sillä laakentaesimerkeissä ei otettu huomioon käsittelyn vaikutusta. Toiminnan kuljetuksen ja lastauksen päästöt olisivat siis olleet verrattavissa tuotantoon hyödyntämiskohteessa, vaikka tässä työssä hyödyntämiskohteessa ei oletettu olevan hyödyntämistä koskevaa ympäristölupaa. Jo pelkkä betonilouheen hyödyntäminen vaatii ympäristöluvan. Tehdyistä haastatteluista selvisi, että betonilouheen hyödyntäminen on tällä hetkellä hyvin ristiriitainen asia. Sekä sen vähentämiselle, että lisäämiselle on pitäviä argumentteja. Lisäämällä betonilouheen hyödyntämistä esimerkiksi pääkaupunkiseudulla meritäytöissä voidaan vähentää kuljetuksista aiheutuneita päästöjä ja korvata luonnon kiviainesta, mutta toisaalta iso osa jalostamiskelpoisesta materiaalista voisi mennä toissijaisiin käyttökohteisiin (esimerkiksi meluvalleihin tai kuivan maan täyttöihin), jotka voitaisiin rakentaa joillain muilla materiaaleilla, kuten tuhkilla tai tiilimurskeella.

Ympäristöministeriö ei pidä betonilouheen hyödyntämistä korkealuokkaisena hyödyntämisenä (Ympäristöministeriö, 2017a), mutta toiminnalle voi saada ympäristöluvan, mikäli ympäristöluvan edellytykset täyttyvät. Näin ollen toimintaa ei voida myöskään kokonaan kieltää. Haastatteluista selvisi, että maankaatopaikan tukirakenteissa ei saa hyödyntää betonilouhetta, mutta tästäkään ei ole tehty virallista linjausta. Kuitenkin betonijätteen jalostusmahdollisuudet ovat hyvin erilaiset riippuen siitä, missä päin Suomea jäte syntyy. Tämän vuoksi on lähes mahdotonta tehdä linjauksia, jotka koskevat vain osaa Suomea, kuten pääkaupunkiseutua.

Louheen, niin betoni- kuin kivilouheen, hyödyntämisessä tulisikin myös tarkastella materiaaleja, joilla esimerkiksi täyttö- ja tukipengermateriaaleja tulisi korvata. Muun muassa tiilimurske sekä metsäteollisuuden jätteet, kuten erilaiset sakat, ovat mahdollisia materiaaleja, mutta niiden vuosittaiset määrät ovat verrattain pieniä ja vaikutukset maarakentamisen ympäristövaikutuksiin paikallisia (Kiviniemi ym., 2012). Markkinoille on tullut joitain mahdollisia korvaajia, kuten rakennusjätteen mekaanisesta seulonnasta syntyneet ylitteet ja alitteet. Näistä materiaaleista, esimerkiksi rakennusjätteen mekaanisessa seulonnassa muodostuville jätteille, ei ole vielä kehittynyt vakiintuneita hyödyntämisväyliä, eikä käytöstä maarakentamisessa, kuten vallirakenteissa, ole pitkän ajan seurantatietoa. Tämän vuoksi niiden käyttäytymisestä ja ympäristövaikutuksista ei ole tarkkaa tietoa, joten ympäristöluvan saaminen näiden materiaalien hyödyntämiselle voi olla haastavaa. Tarvittaisiin yhä enemmän niin sanottuja pilottikohteita, joilla selvitettäisiin kyseisten materiaalien käyttäytymistä maarakentamisessa ja ympäristövaikutuksia. Kun materiaalien ominaisuudet ja ympäristövaikutukset ovat selvillä, niitä voitaisiin hyödyntää ei-vaativissa kohteissa, kuten melu-/suojavalleissa, jolloin luonnon kiviaineksia ja betonijätettä voidaan jalostaa yhä enemmän korkealuokkaisiksi tuotteiksi, joilla on positiivinen arvo rakennusmateriaalina.

## 5.4 Kehitystarpeet ja tulevaisuuden näkymät

Nykyään esimerkiksi pääkaupunkiseudulla ja kasvukeskuksissa betonimurske on yleistymässä rakennusmateriaalina ja sitä on saatavilla yhä lähempänä hyödyntämiskohteita. Tilaajat ja urakoitsijat ovat myös hiljalleen kasvattamassa kiinnostustaan betonimurskeen hyödyntämistä kohtaan sen käytön mahdollistavissa urakoissa. Haastatellut asiantuntijat toivoivatkin, että betonimurskeen käyttöä edistettäisiin myös maanrakennusurakoiden tilaajien

toimesta, jolloin betonimurskeen hyödyntäminen lisääntyisi ja betonimurskeen arvoa saataisiin korkeammaksi, jolloin muun muassa betonijätteen vastaanottohinnat alenisivat.

Raskasta liikennettä tarvitaan tulevaisuudessakin, sillä suuria materiaalitarpeita tulee aina olemaan. Mahdollinen liikenteen sähköistyminen tai kaasuautojen lisääntyminen tapahtuu kuitenkin hitaasti, jonka vuoksi kuljetusmatkojen optimointi on tärkeää erityisesti kustannusten ja myös päästöjen vähentämiseksi. Tällä hetkellä suuri osa ajoista suoritetaan 5-akselisilla maansiirtoajoneuvoilla, mutta suuremmat ajoneuvotyypit ovat hiljalleen tulossa yleisimmiksi. Pidemmillä välimatkoilla ajot pyritään suorittamaan yhä enenevässä määrin suuremmilla ajoneuvoilla, kuten täysperävaunuyhdistelmillä, koska yhtä tonnia materiaalia kohden kuljetuskustannukset tulevat tällöin halvemmiksi.

Useat haastatellut asiantuntijat olivat sitä mieltä, että päästölaskenta on tärkeä työkalu tulevaisuudessa. He kuitenkin nostivat myös esiin monia päästölaskentaa koskevia kysymyksiä, sillä vertailukelpoisten päästölaskelmien tekeminen esimerkiksi Helsingissä tai Turussa on hyvin haastavaa erityisesti infrarakentamisessa, koska jo maaperäolosuhteet itsessään ovat hyvin erilaiset. Yhteisten arviointikriteerien määrittely onkin välttämätöntä, ennen kuin päästölaskentoja voidaan käyttää esimerkiksi urakoiden kilpailutuksissa yhtenä valintakriteerinä.

Päästölaskennan osalta tarvittaisiin myös selkeää ohjeistusta esimerkiksi viranomaisten suuntaan. Haastattelujen perusteella päästölaskennan tuloksilla ei vielä ole vaikutusta päätöksenteossa. Toiminnanharjoittajat voivat esittää esimerkiksi ympäristölupahakemuksissa yleisiä periaatteita päästöjen vähentämiselle tai materiaalitehokkuuden lisäämiselle, mutta kyseisiä asioita ei oteta tarkemmin huomioon itse lupaa myöntäessä, vaan tarkastelu kohdistuu ympäristönsuojelulaissa (YSL, 527/2014) sekä ympäristönsuojeluasetuksessa (VNa 713/2014) mainittuihin asioihin. Asiantuntijahaastatteluissa nostettiinkin esille, että jonkinlaista päästölaskentaa voisi ottaa tulevaisuudessa huomioon esimerkiksi YVA- tai ympäristölupamenettelyssä, kunhan laskennalle on määritelty tarkemmat ohjeistukset. Näin voitaisiin isommassa mittakaavassa saada tietoa toiminnan aiheuttamista hiilidioksidipäästöistä sekä mahdollisista muista päästöistä. Tämänkaltaisella tiedolla olisi varmasti lisäarvoa esimerkiksi kaupungeille, jotka ovat asettaneet itsellensä tavoitteita olla hiilineutraaleja tiettyyn vuoteen mennessä. Helsingin kaupunki on yksi esimerkki kaupungeista, joka on ollut aktiivisesti mukana kehittämässä päästölaskentaa muun muassa infra-alalle. Helsingillä onkin tavoitteena olla hiilineutraali kaupunki vuoteen 2035 mennessä.

Betonimurskeen tuotanto on viimeisten vuosien aikana ollut merkittävästi esillä maarakentamisessa. Uuden MARA-asetuksen (VNa 843/2017) sekä tulevan valmisteilla olevan EoW-asetuksen myötä betonimurskeen hyödyntäminen on tulossa yhä enemmän näkyväksi. Mikäli betonimurske täyttää tulevassa EoW-asetuksessa vaaditut velvoitteet, sitä voidaan hyödyntää pohjavesialueilla eikä sitä tarvitsisi enää peittää. Näin ollen betonimurskeesta ei enää puhuttaisi jätteenä vaan rakennustuotteena, jonka jokainen voi nähdä kalliomurskeen tavoin eri rakennekerroksissa. Mikäli toiminnanharjoittajat tuovat markkinoille EoW-kriteerit täyttävää betonimursketta, odotettavissa on, että kyseisen materiaalin arvo nousee markkinoilla lähemmäksi kalliomurskeita. Näin ollen on myös odotettavissa, että betonijätteestä käydään nykyistä suurempaa kilpailua ja vastaanottohinnat laskevat kiinteillä laitoksilla.

EoW-asetuksen myötä on mielenkiintoista nähdä, tullaanko tuotteistetun betonimurskeen hyödyntämistä rajoittamaan esimerkiksi tilaajan puolelta. Tällä hetkellä tilaaja on voinut tarjouspyynnöissään kieltää betonimurskeen käytön esimerkiksi tie- ja katurakenteissa perustellen sitä muun muassa alueen aukikaivamisella tai käyttötarkoituksen mahdollisella muuttumisella (teollisuusalueesta asuinalueeksi), jolloin betonimurske jouduttaisiin kaivamaan pois ja korvaamaan luonnon kiviaineksella. EoW-hyväksyttyä betonimursketta eivät kyseiset käyttörajoitukset kuitenkaan koske, jolloin samat argumentit betonimurskeen käyttämättä jättämiselle eivät enää päde. Tilaajalla on kuitenkin jatkossakin mahdollisuus päättää, mistä materiaaleista eri rakennekerrokset muun muassa pohja- tai väylähankkeessa rakennetaan.

Purkutyömailla tuotettua betonimursketta voitaisiin jatkossakin hyödyntää MARA-ilmoituksella, mutta EoW-hyväksyttyä betonimursketta purkutyömailla ei ole mahdollista valmistaa, ellei toiminnalle ole ympäristölupaa. Jatkossa tulisikin monien asiantuntijoiden mielestä selvittää, olisiko mahdollista sisällyttää purkutyömailla tuotetut murskeet myös osaksi tulevaa EoW-asetusta. Esimerkiksi asetusluontoinen rekisteröinti- tai ilmoitusmenettely voisi olla vastaus siihen, että saadaan luotua niin sanottu minimitaso ympäristönsuojelulle myös purkutyömailla tuotettaessa, jolloin toimintaa olisi helpompi valvoa.

Diplomityössä saatujen tulosten perusteella hallintoa betonijätteen murskauksen suhteen tulisi selkeyttää. Mikäli melupäätös ja ympäristölupa ovat ne menettelyt, joilla betonijätettä saisi käsitellä paikasta ja toiminnan laajuudesta riippuen, tulisi tämä tuoda vielä selkeämmin esiin esimerkiksi lainsäädännössä. Jätelain tulkintamuistiossa mainitut ammattimaisuuden ja laitosmaisen toiminnan kriteerit eivät ole yksiselitteisiä ja tulkintoja voidaan tehdä suuntaan tai toiseen. Esimerkiksi ansaitsemiseen liittyvät asiat, kuten se, että ammattimaiseen toimintaan liittyy tulkintamuistion mukaan yleisesti ottaen ansaitseminen, mutta seuraavassa kappaleessa on mainittu, että laitosmaiseen toimintaan ei tarvitse liittyä ansaintaa. Tämä antaa muistion tulkitsijalle mahdollisuuden tulkita siirrettävällä murskaimella murskaamisen ansainnankin perusteella aina laitosmaiseksi tai ammattimaiseksi toiminnaksi.

Uuden lainsäädännön laatiminen tai nykyisen lainsäädännön muokkaaminen on aikataululliseesti hidasta, jonka vuoksi uuden rekisteröintimenettelyn ja asetuksen luominen betonijätteen murskaamiselle olisi aloitettava nopealla aikataululla, mikäli sellainen halutaan kehittää. Lupamenettelyjen keventäminen on kuitenkin ollut jo jonkun aikaa selvityksessä, sillä tulkintamuistiossa (Ympäristöministeriö, 2014) on mainittu, että siirrettävien laitteistojen osalta on tarkoitus selvittää lupamenettelyjen keventämistä. Lainsäätäjien silmissä voi kuitenkin olla niin, että lupamenettelyjen keventäminen ei ole tärkeydessä ensimmäisiä asioita.

# 6 Yhteenveto ja jatkotutkimustarpeet

Tässä diplomityössä vertailtiin kolmea eri betonijätteen hyödyntämiseen maarakentamisessa liittyvää toimintamallia: laitosmainen tuotanto, tuotanto purkutyömaalla sekä tuotanto hyödyntämiskohteessa. Työ keskittyi kuljetusten ja lastausten päästöjen tarkasteluun. Betonimursketuotanto on viimeisten vuosien aikana ollut suurten muutosten kohteena muuttuneen lainsäädännön vuoksi. Uusi MARA-asetus (VNa 843/2017) sekä tuleva kansallinen EoW-asetus ovat muuttaneet ja tulevat muuttamaan alalla vallitsevia käytäntöjä, kuten valmistettavan betonimurskeen laadunhallintaa. Laitosmaisen betonimursketuotannon rinnalle on yhä kasvavassa määrin yleistynyt tuottaminen rakennus- ja purkutyömailla. Tällä työllä haluttiin

selvittää eri toimintamallien välisiä eroja muun muassa ympäristövaikutuksien sekä hallinnon suhteen. Ympäristövaikutuksia laskettiin VTT:n LIPASTO-tietokannan päästötietoja hyödyntävällä Excel-ohjelmaan luodulla laskentatyökalulla. Hallinnollisiin kysymyksiin haettiin vastauksia asiantuntijahaastatteluilla.

Diplomityössä suoritetuissa päästölaskennoissa selvisi, että päästöt olivat eri toimintamalleissa eri suuruisia johtuen eroavaisuuksista kuljetuksissa ja lastauksessa. Päästölaskentaesimerkeissä laitosmainen tuotanto tuotti eniten hiilidioksidiekvivalenttipäästöjä. Erot $CO_2$ -päästöissä muihin toimintamalleihin verrattuna olivat skenaariosta riippuen noin 9-40 %. Laitosmaisessa tuotannossa voidaan kuljetusten aiheuttamia päästöjä vähentää kuljetuksia optimoimalla, esimerkiksi käyttämällä suurempia ajoneuvoja, kuten täysperävaunuyhdistelmiä. Kuitenkin ajoneuvojen ajamat reitit ovat yleensä pidempiä laitosmaisessa betonimurskeen tuotannossa kuin muissa toimintamalleissa, minkä vuoksi kuljetuksesta ja lastauksesta aiheutuu eniten hiilidioksidipäästöjä. Päästölaskentaesimerkeissä otettiin huomioon vain hiilidioksidiekvivalenttipäästöt (CO2 + NOx). Muut vaikutukset, kuten melu tai pöly voivat erityisesti paikallisesti olla hyvinkin merkittäviä. Vaikka jokaisessa päästölaskentaesimerkissä purkutyömaalla tapahtuva tuotanto aiheutti vähiten päästöjä, eri toimintamalleja ei voida laittaa paremmuusjärjestykseen. Jokaisella toimintamallilla on vahvuutensa ja heikkoutensa ja näitä toimintamalleja tulisi tarkastella aina tapauskohtaisesti. Toimintamalleja vertailtaessa on otettava huomioon myös taloudelliset ja sosiaaliset näkökulmat, kuten toiminnan kannattavuus ja hyväksyttävyys.

Työssä selvitettiin myös betonimurskeen tuotantoa hyödyntämiskohteessa ilman ympäristölupaa. Tuotantoa hyödyntämiskohteessa verrattiin vaikutuksiltaan pitkälti esimerkiksi purkutyömaalla tapahtuvaan betonimurskeen tuotantoon ja joissakin tapauksissa se voisi olla jopa kokonaisuutta ajatellen järkevämpää. Asiantuntijahaastatteluiden ja kirjallisuuskatsauksen perusteella toiminta kuitenkin tulkitaan ympäristöluvalliseksi toiminnaksi.

Yksi diplomityön tutkimuskysymyksistä käsitteli ympäristönsuojelulain 118 §:n mukaista meluilmoitusmenettelyä ja sen soveltuvuutta betonijätteen murskaamiseen purkutyömailla. Tulosten mukaan on vielä hieman epäselvää, milloin toiminta voidaan tulkita tilapäiseksi toiminnaksi, joka ei jätelain tulkintamuistion mukaan vaadi ympäristölupaa (Ympäristöministeriö, 2014). Monet asiantuntijat pitivät meluilmoitusta soveltuvana menettelynä betonijätteen murskausta ajatellen juuri rakennus- ja purkutyömailla, sillä se on tarpeeksi joustava ja ketterä prosessi. Toiset asiantuntijat olivat puolestaan sitä mieltä, että nykylainsäädäntö ei vielä ole tarpeeksi selvä ja yksiselitteinen meluilmoituksen suhteen, jotta betonijätettä voitaisiin murskata meluilmoituksella rakennus- ja purkutyömaalla.

Neljäs tutkimuskysymys liittyi tulevaan kansalliseen End-of-Waste -asetukseen ja käsitteli sitä, voitaisiinko tätä asetusta soveltaa purkutyömailla tuotettuihin betonimurskeisiin. Nykyisen asetusluonnoksen mukaan EoW-statusta voitaisiin hakea vain ympäristöluvallisissa kohteissa tuotetuille betonimurskeille. Haastatellut asiantuntijat olivat pääasiassa sitä mieltä, että asetusluonnos on nykyisellään hyvä, eikä nykyiseen luonnokseen vielä kannata lisätä purkutyömailla tuotettuja betonimurskeita. Vaikka laadullisesti niin purkutyömailla kuin kiinteillä laitoksilla voidaan tuottaa täysin samanlaista materiaalia, esimerkiksi juuri lupa- ja ilmoitusprosessien epäselvyys ja toiminnan valvonta nousivat sellaisiksi esteiksi, joiden vuoksi lisäystä ei nähty tarpeelliseksi. Mikäli lainsäädäntö kehittyy ja betonijätteen murskaamiselle luodaan uusi menettely, kuten rekisteröinti, jonka taustalla on valtioneuvoston asetus, voitaisiin EoW-asetusta muokata tulevaisuuden tarpeita vastaaviksi.

Tulevaisuudessa tulisi selvittää, onko betonimursketta mahdollista tuottaa hyödyntämiskohteessa ilman ympäristölupaa vai vaatiiko tällainen toiminta aina ympäristöluvan. Nykyinen lainsäädäntö vaatii hyödyntämiskohteessa tapahtuvalle tuotannolle asianmukaisen luvan, kuten ympäristöluvan, koska jätelaki (646/2011) velvoittaa, että jäte tulee toimittaa asianmukaiset luvat omaavaan kohteeseen. Näin ollen purkutyömaalta ei saisi toimittaa betonijätettä hyödyntämiskohteeseen, mikäli hyödyntämiskohteella ei ole ympäristölupaa vastaanottaa ja käsitellä betonijätettä. Lisäksi tulisi selvittää, mikä vaihtoehtoinen menettely voisi olla hyödyntämiskohteessa sopiva, mikäli ympäristöluvan tarvetta arvioitaessa todetaan, että toiminta ei vaadi ympäristölupaa.

Kiertotalous on kansallisesti ja kansainvälisesti suuntaus, mihin yhteiskunnat ovat menossa yhä nopeammin. Se nähdään yhtenä keinona ilmastonmuutoksen torjuntaan ja yleisen materiaalitehokkuuden lisäämiseen. Kiertotalouden edistäminen on ollut EU:ssa ja Suomessa jo pitkään työn alla, ja tähän liittyen esimerkiksi kansallisen EoW-asetuksen luominen betonimurskeille on toivottua kehitystä. Mahdollistamalla uusiomateriaalien käyttö esimerkiksi maarakentamisessa voidaan vähentää infrahankkeista aiheutuvia päästöjä ja ohjata materiaalivirtoja tehokkaaseen hyödyntämiseen. On kuitenkin muistettava, että esimerkiksi uusiomateriaalien ympäristövaikutuksista on oltava tarpeeksi hyvin selvillä, ettei yleisiä päästöjä vähentämällä aiheuteta negatiivisia paikallisia ympäristövaikutuksia. Tämän vuoksi esimerkiksi laadunhallinnan ja käsittelyprosessien jatkuva kehittäminen ja laadun parantaminen tulee olla niin toiminnanharjoittajien kuin viranomaisten ensisijaisia intressejä ja muun muassa lainsäädännön tehtävä on ohjata toimintaa tähän suuntaan.

Betonimurskeen ympäristövaikutukset tunnetaan laajalti, mutta pitkäaikaisvaikutuksia pohjavesiin ei ole kattavasti selvitetty Suomessa. Tällä hetkellä kohteita, joissa on hyödynnetty betonimursketta pohjavesialueilla on erittäin vähän, koska betonimurskeen käyttöä pohjavesialueilla on haluttu rajoittaa materiaalin emäksisyyden vuoksi. Mikäli betonimurskeen käyttö lisääntyy erityisesti pohjavesialueilla EoW-asetuksen myötä, tulisi pohjaveteen aiheutuneita vaikutuksia tarkastella pitkällä aikavälillä. Tämä tarve tuli esiin myös asiantuntijahaastatteluissa. Näin saataisiin poissuljettua epävarmuuksia, joita betonimurskeen laajamittaiseen hyödyntämiseen maarakentamisessa edelleen liittyy.

# Lähdeluettelo

Andersson, R., Fridh, K., Stripple, H., Häglund, M. 2013. Calculating CO2 uptake for excisting concrete structures during and after service life. Environ. Sci. Technol. 47(20), 11625–11633.

Aulakoski, A., Montin, P. and Lydman, P. 2014. Panospohjaisen CO2-laskennan pilotointi väylähankkeessa. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 8/2014.

Betonitekniikan oppikirja. 2004. Helsinki. Suomen betonitieto. 570 s. ISBN: 978-952-67169-3-0

De Brito, J. & Saikia, N. 2013. Recycled aggregate in concrete: use of industrial, construction and demolition waste. London, United Kingdom: Springer Verlag.

Delete Finland Oy. 2018. Jätehinnastot Uusimaa, Pirkanmaa ja Pori.

Delete Finland Oy. 2019. Pyöräkone, valokuva. Tampere.

Engelsen, C.J., Sæther, D.H., Mehus, J. Pade, C. 2005. Carbon dioxide uptake in demolished and crushed concrete: CO2 uptake during the concrete life cycle. Nordic Innovation Centre Project 03018. ISBN 82-536-0900-0.

Etelä-Suomen Aluehallintovirasto (ESAVI). 2018. Rudus Oy:n ympäristölupapäätös betonimurskeen jätteeksi luokittelun päättämisestä. Vantaa.

Etelä-Suomen Aluehallintovirasto (ESAVI). 2018b. Suomen Metsästysyhdistyksen ympäristölupapäätös Sipoon ampumaradan toiminnan muuttamisesta ja aloittamisesta. Sipoo.

Euroopan Unioni. 2008. Jätedirektiivi N:o 98/2008.

Finlex, 2006. 28.6.2006/591, Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa. Helsinki: Finlex.

Forsman, J. & Dettenborn, T. 2019. Betonimurske kaupunkien julkisessa maarakentamisessa. Ohje. Helsinki, Espoo, Tampere, Turku & Vantaa.

Green Building Council Finland. (2018). Elinkaaren hiilijalanjälki. Verkkojulkaisu.

Hjelmar, O., Hansen, J.T., Wahlström, W. & Wik, O. 2016. End-of-Waste Criteria for Construction & Demolition Waste.

Hotanen, S. 2005. Betonin, betonilietteen ja veden kierrätys betoniteollisuudessa. Helsinki: Nykypaino Oy.

HSY, 2014. Betonimurske- Käyttöohje suunnitteluun rakentamiseen ja ylläpitoon. HSY:n vesihuolto.

Häkämies S., Vehkalahti K., Lutfi E., Uotila T., Kivistö P., Rautalin K., Raimovaara M., Raimovaara E., Viluksela P., Tohka A., Koivumaa V., Yli-Pentti A. & Järvenpää T. 2018. Rakennusten purku-urakoiden ja maamassojen hallinnan kiertotalous - nykytila, mahdollisuudet ja haasteet kunnissa: Rakentamisen kiertotalous kunnissa (RANTA) -hanke. Green Net Finland.

InfraRYL 2017. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. 21100.2 Katurakenteen toimivuusvaatimukset.

Inkeröinen, J., & Alasaarela, E. 2010. Uusiomateriaalien käyttö maarakentamisessa. Ympäristöministeriön Raportteja 13/2010.

Johansson, K., Merikallio, T., Haara, T., Mantila, A., & Tikanoja, T. 2016. Betoninormit 2016. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry.

Järvinen, K. 2018. Ympäristönormit ja kierrätysmateriaalit infrarakentamisessa. Esitys. 6.3.2018. Rakennuttajan pätevöitymiskoulutus RAP 28.

Jätelaki 646/2011. 2011. Saatavilla: https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20110646.

Jäteverolaki 1126/2010. 2010. Saatavilla: https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2010/20101126

Jäteverolaki 1401/2015. 2015. Saatavilla: https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2010/20101126#a4.12.2015-1401

Kiviniemi, O., Sikiö, J., Jyrävä, H., Ollila, S., Autiola, M., Ronkainen, M., … Forsman, J. 2012. Tuhkarakentamisen käsikirja. Energiantuotannon tuhkat väylä-, kenttä- ja maarakenteissa.

Kone Saksman Oy. 2019. MB Crusher murskakauhat. Verkkodokumentti http://www.saksman.com/media/kuva11.jpg. Luettu 17.5.2019

Korkiala-Tanttu, L., Eskola, P., Häkkinen, T., Hiltunen, M. R., Tuominen, A. 2006. Väylärakentamisen ympäristövaikutukset ja ekoindikaattorit; ehdotus arviointijärjestelmäksi. Tiehallinnon selvityksiä 22/2006.

Liikennevirasto. 2014. Uusiomateriaalien käytön kehittäminen UUMA2-ohjelman väylähankkeilla.

Linden, T. 2017. Betonimurskeen käyttö raitiotierakentamisessa. Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikka.

Lonka, H. & Loukola-Ruskeeniemi, K. 2015. Kiviaines- ja luonnonkiviteollisuuden kehitysnäkymät. Helsinki: Työ- ja elinkeinoministeriö.

Mikkola, A. 2013. Valtioneuvoston asetus (591/2006) eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa – ilmoitusmenettelyn toimivuus ja sen parantaminen. Diplomityö. Aalto-yliopisto.

Murto, S. 2015. Maanrakennusliikkeen kalusto- ja kustannuslaskentaa. Insinöörityö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Nagataki, S., Gokce, A., Saeki, T., Hisada, M. 2004. Assessment of recycling process induced damage sensitivity of recycled concrete aggregates. Cement and Concrete Research. Vol. 34:6. S. 965–971.

Ness, B., Urbel Piirsalu, E., Anderberg, S., Olsson, L. 2007. Categorising tools for sustainability assessment. Ecological Economics 60, 498–508.

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

Paalanen, T. 2017. Betonimurskeen puhtauden tunnistaminen ja mekaaniset ominaisuudet. Diplomityö. Aalto-yliopisto.

Pajukallio, A-M., Wahlström, M., Alasaarela, E. 2011. Maarakentamisen uusiomateriaalit; Ympäristökelpoisuuden osoittaminen ja tuotteistaminen. Ympäristöministeriön raportteja 11/2011. Helsinki: Ympäristöministeriö. ISBN: 978-952-11-3862-1

Palolahti, T., Koskenvesa, A., Lindberg, R. & Sahlstedt, S. 2014. Purkutyöt- Ohjeita teettäjälle ja tekijälle 2014. 2. painos. INFRA ry.

Pasanen, P., Miilumäki, N. (2017a). Infrahankkeiden EN-standardeja noudattava hiilijalanjälki- ja elinkaariarviointi. Hankkeiden hiilijalanjäljen ohjaus- ja optimointimahdollisuudet suunnittelu- ja rakennuttamistoiminnassa. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 20/2017.

Paupek Oy. 2019. Siirrettävä murskauslaitos. Verkkodokumentti https://paupek.fi/palvelut/betonin-tiilen-ja-kiven-murskaus. Luettu 20.5.2019.

Ramboll. 2017. Kivikon eritasoliittymän katuhanke - hiilidioksidipäästöjen laskenta ja laskentamenetelmien arviointi. Tiivistelmä.

Rudus Oy. 2014. Betoroc-murskeen hiilijalanjälki, EN-15804:2012+A1. Bionova Consulting.

Rudus Oy. 2017. Betoroc-murskeohje – Käyttöohje rakentamiseen ja suunnitteluun. Helsinki.

Rudus Oy. 2019. Betonijätteen vastaanottohinnastot. https://www.rudus.fi/hinnasto-ja-esitteet/hinnastot/kierratys-hinnasto

Saarinen, S. 2015. Kiertotalous toimii betonirakentamisessa. Betoni-lehti 3/2015. Helsinki. s.42-47.

SFS-EN 12620. 2009. Betonikiviainekset. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 13242. 2018. Maa- ja vesirakentamisessa ja tienrakenteissa käytettävät sitomattomat ja hydraulisesti sidotut kiviainekset. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 5884. 2018. Betonimurskeen maarakennuskäytön laadunhallintajärjestelmä. Helsinki. Suomen standardisoimisliitto.

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

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. 2019. LIPASTO yksikköpäästöt -tietokanta. [Viitattu 12.4.2019]. Saatavilla: lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/

Tiehallinto. 2009. Ympäristövaikutusten arviointi tiehankkeiden suunnittelussa. Helsinki.

Turunen, T. 2019. Betonimurskeen jätteeksi luokittelusta poistumisen sääntely Euroopassa. Esitys EoW-asetuksen sidosryhmätilaisuudessa 8.5.2019. Suomen Ympäristökeskus.

Vakkuri, R. 2011. Betoni 2/2011. Purkubetoni hyödynnetään, mutta vielä yksipuolisesti. s. 46-51.

Varin, P. 2007. Betoni- ja tiilimurskeet maarakenteiden materiaaleina. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan osasto, Maa- ja pohjarakenteiden laitos. Tampere.

VNa 591/2006. 2006. Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa. Kumottu 1.1.2018.

VNa 800/2010. 2010. Valtioneuvoston asetus kivenlouhimojen, muun kivenlouhinnan ja kivenmurskaamojen ympäristönsuojelusta. Saatavilla: https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2010/20100800

VNa 713/2014. (2014). Valtioneuvoston asetus ympäristönsuojelusta. Saatavilla: https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140713

VNa 843/2017. (2017). Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa. Saatavilla: https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170843.

Väylä 2019. Siltojen ja muiden taitorakenteiden purkubetonijätteen hyödyntäminen. Väyläviraston tutkimuksia 8/2019. Helsinki

Väylä. 2019a. Uusiomateriaalien käyttö väylärakentamisessa. Väyläviraston ohjeita xx/2019. Helsinki. Luonnos. 18.3.2019.

Wahlström, M., Laine-Ylijoki, J. & Mroueh, U. 2005. Betoni- ja purkujätteiden käyttö maarakentamisessa - ympäristökriteerit. Helsinki: ympäristöministeriö.

Wahlström, M., zu Castell-Rüdenhausen, M., Hradil, P., Smith, K.H., Oberender, A., Ahlm, M., Götbring, J. & Hansen, J.B. 2019. Improving quality of construction & demolition waste- Requirements for pre-demolition audit. TemaNord 2019:508.

Ympäristöministeriö. 2012. Ajankohtaista jätelain uudistuksesta. Toukokuu 2012. Ympäristöministeriön esite.

Ympäristöministeriö. 2013. Maankäyttö ja rakentaminen. Rakentamisen ohjaus. Rakennustuotteiden tuotehyväksyntä. CE-merkintä.

Ympäristöministeriö. 2014. Jätelain eräiden säännösten tulkintalinjauksia. Muistio. Ympäristönsuojeluosasto.

Ympäristöministeriö. 2017. Ympäristölupamenettelyn pullonkaulat ja kesto. Ympäristöministeriön raportteja 5/2017.

Ympäristöministeriö. 2017a. Ehdotus valtioneuvoston asetukseksi eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa. Muistio. 2017.

Ympäristöministeriö. 2018. Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa – soveltamisohje.

Ympäristöministeriö. 2018b. Jätteeksi luokittelun päättymisen hyödyt ja haitat. Ympäristöministeriön raportteja 9/2018. Helsinki

Ympäristöministeriö. 2019. Ympäristöministeriön lausunto Väyläviraston Uusiomateriaalien käyttö väylärakentamisessa – ohjeluonnokseen. VN/1953/2019.

YSL 527/2014. Ympäristönsuojelulaki. Annettu Helsingissä 27.6.2014

## Haastattelut

Forsman, J. 2019. Toimialapäällikkö, Ramboll Oy. Haastattelu 7.5.2019.

Haapalainen, J. 2019. Toimitusjohtaja, Umacon Oy. Puhelinhaastattelu 15.5.2019.

Huotarinen, P. 2019. Ylitarkastaja, Uudenmaan ELY-keskus. Helsinki. Haastattelu 23.4.2019.

Joutsenoja, T. 2019. Kiertotalous- ja ympäristöyksikön johtaja, Kreate Oy, Tuusula. Haastattelu 10.4.2019

Kuivasniemi, A. 2019. Kalustopäällikkö. Kreate Oy, Tuusula. Haastattelu 15.4.2019.

Laurila, J. 2019. Ympäristöpäällikkö, Rakennusteollisuus Infra Ry, Tuusula. Haastattelu 10.4.2019.

Lehtonen K. 2019. Toimitusjohtaja, Ytekki Oy, Tuusula. Haastattelu 23.4.2019.

Nurminen, S. 2019. Ympäristötarkastaja, Keski-Uudenmaan Ympäristökeskus, Tuusula. Haastattelu 6.5.2019.

Peuranen, E. 2019. Neuvotteleva virkamies, ympäristöministeriö. Puhelinhaastattelu 16.5.2019.

Pieksemä, J. 2019. Kierrätysliiketoiminnan johtaja, Rudus Oy, Vantaa, Länsimäki. Haastattelu 23.4.2019.

Rantataro, M. 2019. Ympäristötarkastaja, Vantaan Ympäristökeskus, Pakkala. Haastattelu 9.5.2019.

Salminen, J. 2019. Ryhmäpäällikkö, Suomen Ympäristökeskus. Puhelinhaastattelu 9.5.2019.

Suominen, M. 2019. Massakoordinaattori, Helsingin kaupunki. Puhelinhaastattelu. 11.4.2019.

Tuomikoski, M. 2019. Ylitarkastaja, Uudenmaan ELY-keskus. Helsinki. Haastattelu 23.4.2019.

Valokoski, L. 2019. Asiantuntija, Tietekniikka, Väylävirasto. Tuusula. Haastattelu. 22.5.2019.

# Liiteluettelo

Liite 1. Haastattelukysymykset.  2 sivua.
Liite 2. Päästölaskenta. 3 sivua.

# Liite 1. Haastattelukysymykset

1. Voisitteko lyhyesti kertoa omasta taustastanne?

2. Minkälainen teidän roolinne on betonimurskeiden parissa? Oletteko esimerkiksi tuottaja, tilaaja, urakoitsija, konsultti tai viranomainen? Jos roolinne ei mielestänne ole mikään seuraavista, millä termillä kuvailisitte sitä parhaiten?

3. Mitä haasteita näette betonimurskeen laitosmaisessa tuotannossa?

4. Mitä haasteita näette betonimurskeen tuotannossa purku- ja rakennustyömaalla?

5. Mitä haasteita näette betonimurskeen tuotannossa hyödyntämiskohteessa?

6. Onko betonimurskeen laadussa mielestänne merkittäviä eroja tuotantotavasta riippuen? Jos kyllä, niin mitkä ovat mielestäsi syyt siihen?

7. Kuinka haastavana näette asianmukaisen ympäristönsuojelun betonimurskeen tuotannossa purku- ja rakennustyömaalla tai hyödyntämiskohteessa?

8. Mitä esteitä näette sille, että hyödyntämiskohteessa voitaisiin tuottaa betonimursketta MARA- sekä meluilmoituksella? Tuleeko tällaiselle toiminnalle aina olla ympäristölupa?

9. Tulisiko valmisteilla olevan betonijätteen jätteeksi luokittelun päättymistä koskevan asetuksen (EoW-asetus) koskea myös muita tuotantotapoja kuin laitosmaista betonimurskeen tuotantoa? Miksi?

10. Kuinka tärkeänä näette elinkaariarvioinnin/päästölaskennan osana tulevia rakennushankkeita? Mitä mahdollisia haasteita näette päästölaskennalle?

11. Mikä on mielestänne oikea lupamenettely (purku-, melu- tai ympäristölupa vai joku muu (mm. rekisteröintimenettely, YSL liite 2)) koskien betonijätteen murskaamista työmaalla? Miksi?

12. Onko meluluvan myöntämiselle betonijätteen murskaamista varten vaihtelevia kantoja kaupungista tai kunnasta riippuen?

13. Onko pääkaupunkiseudulla mielestänne liian vähän ympäristöluvallisia betonijätteen käsittelylaitoksia?

14. Kuinka potentiaalisena näette suuren palakoon betonin (betonilouhe, palakoko > 0-150 mm) hyödyntämisen maarakentamisessa? Onko tämänkaltaiselle hyödyntämiselle mielestänne tarvetta?

15. Mitä haasteita näette betonilouheen hyödyntämiselle?

# Liite 2. Päästölaskentatulokset

Taulukot A-D esittävät vielä tarkemmin päästölaskentaesimerkkien tulokset. Päästöt on esitetty hiilidioksidiekvivalenttipäästöinä ja taulukoissa tulokset on jaettu tyhjän ja täyden ajon päästöihin. Täydellä ajolla taulukoissa viitataan ajoihin, joissa materiaali on kyydissä ja tyhjällä ajolla viitataan paluumatkaan eli, kun kuorma on purettu ja auto ajaa tyhjänä.

Täyden ajon päästöjen sisällä on myös lastauksesta aiheutuneet päästöt. Taulukossa ei ole erikseen esitetty maantie- ja taajama-ajoista aiheutuneita päästöjä vaan ne on summattu täyden ja tyhjän ajon päästöihin. Laitosmaisessa toiminnassa (toimintamalli 1) ei ole myöskään eroteltu omille sarakkeilleen eri reittien aiheuttamia päästöjä vaan nekin ovat sisällytettynä täyden ja tyhjän ajon päästöihin.

$CO_2$-ekvivalenttipäästöt on esitetty täyden ja tyhjän ajon osalta grammoina (g) ja toimintamallin kuljetuksista ja lastauksista aiheutuneet kokonaispäästöt on esitetty kilogrammoina (kg). Lisäksi taulukoissa on esitetty *suhdeluku (%)*, joka esittää toimintamallin päästöt suhteessa laitosmaiseen tuotantoon.

*Taulukko A. Tapaustarkastelu 1 tulokset. Taulukoihin on jaoteltu kuorma-autojen ajo täytenä (Päästöt/Täysi ajo), johon sisältyy myös lastaus sekä työmaalle tai laitokselle tapahtuva kuorma-autojen tyhjänä ajo.*

| **Toimintamalli** | Päästöt/Täysi ajo $CO_2$ ekv. (g) | Päästöt tyhjänä $CO_2$ ekv. (g) | Päästöt yhteensä $CO_2$ ekv. (kg) | Suhde (%) |
|---|---|---|---|---|
| Toimintamalli 1 | 34 348 607 | 14 704 235 | 49 053 | 100 % |
| Toimintamalli 2 | 21 271 200 | 9 168 000 | 30 439 | 62 % |
| Toimintamalli 3 | 22 390 737 | 9 650 526 | 32 041 | 65 % |

*Taulukko B. Tapaustarkastelu 1 tulokset, kun kuljetuksia ei ole optimoitu. Taulukoihin on jaoteltu kuorma-autojen ajo täytenä (Päästöt/Täysi ajo), johon sisältyy myös lastaus sekä työmaalle tai laitokselle tapahtuva kuorma-autojen tyhjänä ajo.*

| **Toimintamalli** | Päästöt/Täysi ajo $CO_2$ ekv. (g) | Päästöt tyhjänä $CO_2$ ekv. (g) | Päästöt yhteensä $CO_2$ ekv. (kg) | Suhde (%) |
|---|---|---|---|---|
| Toimintamalli 1 | 40 732 042 | 20 043 840 | 60 776 | 100 % |
| Toimintamalli 2 | 21 271 200 | 9 168 000 | 30 439 | 50 % |
| Toimintamalli 3 | 22 390 737 | 9 650 526 | 32 041 | 53 % |

*Taulukko C. Tapaustarkastelu 2 tulokset. Taulukoihin on jaoteltu kuorma-autojen ajo täytenä (Päästöt/Täysi ajo), johon sisältyy myös lastaus sekä työmaalle tai laitokselle tapahtuva kuorma-autojen tyhjänä ajo.*

| **Toimintamalli** | Päästöt/Täysi ajo $CO_2$ ekv. (g) | Päästöt tyhjänä $CO_2$ ekv. (g) | Päästöt yhteensä $CO_2$ ekv. (kg) | Suhde (%) |
|---|---|---|---|---|
| Toimintamalli 1 | 6 145 802 | 3 368 282 | 9 514 | 100 % |
| Toimintamalli 2 | 4 210 941 | 2 281 882 | 6 493 | 68 % |
| Toimintamalli 3 | 4 432 570 | 2 401 981 | 6 835 | 72 % |

*Taulukko D. Tapaustarkastelu 3 tulokset. Taulukoihin on jaoteltu kuorma-autojen ajo täytenä (Päästöt/Täysi ajo), johon sisältyy myös lastaus sekä työmaalle tai laitokselle tapahtuva kuorma-autojen tyhjänä ajo.*

| **Toimintamalli** | Päästöt/Täysi ajo $CO_2$ ekv. (g) | Päästöt tyhjänä $CO_2$ ekv. (g) | Päästöt yhteensä $CO_2$ ekv. (kg) | Suhde (%) |
|---|---|---|---|---|
| Toimintamalli 1 | 8 564 229 | 4 133 410 | 12 698 | 100 % |
| Toimintamalli 2 | 7 552 588 | 3 993 294 | 11 546 | 91 % |
| Toimintamalli 3 | 7 950 093 | 4 203 467 | 12 154 | 96 % |