

Betonimurskeen valmistuksen ja hyödyntämi- sen tehostaminen Päijät-Hämeen alueella

Caseyritys: Maansiirto Dahl Oy

LAB-ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

2025

Olli Dahl

Tiivistelmä

Tekijä(t) Dahl, Olli	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 42 sivua	Valmistumisaika 2025
Työn nimi Betonimurskeen valmistuksen ja hyödyntämisen tehostaminen Päijät-Hämeen alueella Caseyritys: Maansiirto Dahl Oy		
Tutkinto Insinööri (AMK)		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio Maansiirto Dahl Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa, miten betonimurskeen valmistusprosessia ja hyödyntämistä voitaisiin tehostaa. Opinnäytetyö toteutettiin yhteistyössä Päijät-Hämeen alueella toimivan maansiirtoalan yrityksen kanssa. Opinnäytetyön tarkoituksena oli kartoittaa miten toimeksiantaja voisi kehittää betonimurskeen hyödyntämistä ja valmistusprosessia sekä varastointia ympäristöystävällisemmäksi ja kiertotalousajattelun mukaiseksi.</p> <p>Opinnäytetyön teoreettisessa viitekehyksessä käsiteltiin kiertotaloutta, betonimurskeen ominaisuuksia, käyttökohteita ja valmistusprosesseja. Teoriaosuudessa käsiteltiin myös betonimurskeeseen ja sen hyödyntämiseen liittyviä lakeja ja säädöksiä. Opinnäytetyön käsittelyosuudessa kartoitettiin toimeksiantajan betonimurskeeseen liittyvien prosessien nykytilanteet sekä käytiin läpi ylimääräisen sidosaineen ominaisuudet ja vaikutukset. Käsittelyosuudessa pohdittiin miten toimeksiantaja voisi tehostaa betonimurskeeseen liittyviä prosesseja ja miten hyödyntää sidosainetta entistä ympäristöystävällisemmin.</p> <p>Toimeksiantaja voi tulevaisuudessa kehittää ja tehostaa betonimurskeen valmistusprosesseja, hyödyntämistä ja varastointia ympäristöystävällisempään ja kiertotaloutta tukevaan suuntaan. Toimeksiantaja voi tehostaa toimintaa kalustohankinnoilla ja ylläpitämällä nykyistä kalustoa. Toimeksiantaja voi pyrkiä tulevaisuudessa hyödyntämään elementtitehtaassa syntyvää ylimääräistä sidosainetta maanparannuksessa.</p>		
Asiasanat betonimurske, kiertotalous, ympäristöystävällisyys, rakentamislaki		

Abstract

Author(s) Dahl, Olli	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2025
	Number of Pages 42 pages	
Title of Publication Enhancing the production and utilization of crushed concrete in the Päijät-Häme region Case company: Maansiirto Dahl Oy		
Name of Degree Engineer (UAS)		
Name, title and organization of the client Maansiirto Dahl Oy		
Abstract <p>The goal of the thesis was to figure out how an earthmoving company could enhance the production and usage of crushed concrete in the Päijät-Häme region. The thesis was made in collaboration with Maansiirto Dahl Oy. The purpose of the thesis was to examine how the company could develop the utilization and production process of crushed concrete, as well as its storage, to be more environmentally friendly and in line with circular economy principles.</p> <p>The theoretical framework of the thesis covered circular economy, the properties, uses, and production processes of crushed concrete. The theory section also discussed the laws and regulations related to crushed concrete and its utilization. In the analysis section the current state of the company's processes related to crushed concrete was assessed, and the properties and effects of the excess fine material were reviewed. The analysis also considered how the company could optimize the processes related to crushed concrete and how to use the excess fine material in a more environmentally friendly manner.</p> <p>In the future, the company can develop and optimize the production processes, utilization, and storage of crushed concrete in a more environmentally friendly direction, supporting the circular economy. The company can enhance operations through equipment purchases and by maintaining the existing equipment. In addition, the company could aim to utilize the excess fine material for soil improvement.</p>		
Keywords crushed concrete, circular economy, environmentally friendly, building act		

Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Kiertotalous.....	2
2.1	Kiertotalouden hyödyt.....	2
2.2	Kiertotalous rakennusalalla.....	3
2.3	Betonimurskeen vaikutus hiilidioksidipäästöihin.....	4
3	Betonimurske.....	5
3.1	Ominaisuudet	5
3.2	Käyttökohteet	7
3.3	Betonimurskeen valmistusprosessi.....	9
3.4	Lait ja säädökset	11
3.4.1	CE-merkintä ja EEJ-asetus.....	12
3.4.2	Valtioneuvoston asetukset.....	13
3.4.3	Uusi rakentamislaki	16
4	Betonimurskeen valmistus ja hyödyntäminen maansiirtoalan yrityksessä	18
4.1	Betonimurskeen valmistusprosessi.....	18
4.2	Tuotteen määrä ja varastointi	23
4.3	Betonimurskeen käyttökohteet	24
5	Ylimääräinen sidosaine.....	29
6	Valmistusprosessin, varastoinnin ja hyödyntämisen tehostaminen	35
6.1	Valmistusprosessin ja varastoinnin tehostaminen.....	35
6.2	Hyödyntämisen tehostaminen	36
7	Yhteenveto ja pohdinta	38
	Lähteet	40

1 Johdanto

Opinnäytetyön aiheena on betonimurskeen valmistuksen ja hyödyntämisen tehostaminen Päijät-Hämeen alueella maansiirtoalan yrityksen näkökulmasta. Työn toimeksiantajana on Päijät-Hämeen alueella toimiva maansiirtoalan yritys Maansiirto Dahl Oy. Työn aihe valikoitui toimeksiantajan tarpeesta tehostaa betonimurskeen valmistusta ja maksimoida hyödyntämistä yrityksensä toiminnassa. Opinnäytetyön tavoitteena on löytää ratkaisuja betonimurskeen valmistusprosessin ja hyödyntämisen tehostamiseen niin tuotannollisesti kuin kiertotaloudellisesti. Opinnäytetyössä lisäksi käsitellään ylimääräisen sidosaineen hyödyntämisen mahdollisuuksia. Erilaisia tehostamiseen liittyviä ratkaisuja on tarkoitus hyödyntää tulevaisuudessa yrityksen toiminnassa. Opinnäytetyön aihe on rajattu siten, että teoria ja käsittelykappaleet liittyvät ja tukevat toimeksiantajan toimintaa.

Opinnäytetyön aihe on ajankohtainen niin toimeksiantajan kuin yhteiskunnan kannalta. Yritys pyrkii jatkuvasti kehittämään ja tehostamaan toimintaansa niin, että toiminta olisi kannattavaa yrityksen ja ympäristön kannalta. Toimeksiantajan tavoitteena on jatkuvasti pyrkiä toimimaan entistä ympäristöystävällisemmin ja kiertotalousajattelun mukaisesti. Yhteiskunnan kannalta aihe on ajankohtainen, koska ympäristöystävällisyys ja kiertotalouden mukainen toiminta yleistyy jatkuvasti niin yksittäisten ihmisten kuin yritysten keskuudessa. Toimeksiantajan toiminnan kehittyminen ympäristöystävällisemmäksi tukee kiertotaloutta ja yhteiskunnallisia tavoitteita kohti kestävämpää toimintaa.

Maansiirto Dahl Oy on vuonna 2021 perustettu maansiirtoalan yritys, joka toimii pääosin Päijät-Hämeen alueella. Yrityksen toiminta keskittyy pääsääntöisesti maarakennus ja -siirtoihin. Maansiirto Dahl Oy:n palveluihin kuuluvat rakennusten pohjatyöt, piha-alueet, maa-ainestoimitukset ja yleinen koneurakointi. Yrityksen asiakaskuntaan kuuluvat niin yksityis- kuin yritysasiakkaat ja julkiset tahot. Maansiirto Dahl Oy on aloittanut toimintansa perheyrittäjänä, mutta vuosien varrella toiminta on laajentunut ja tällä hetkellä yritys työllistää 7 henkilöä.

2 Kiertotalous

2.1 Kiertotalouden hyödyt

Kiertotaloudella tarkoitetaan sellaisia tuotanto- ja kulutusmalleja, joissa olemassa olevat materiaalit ja tuotteet hyödynnetään mahdollisimman pitkälle lainaamalla, vuokraamalla, uudelleen käyttämällä, korjaamalla, kunnostamalla ja kierrättämällä. Kiertotalouden tarkoituksena on pidentää tuotteiden elinkaarta ja vähentää jätteiden määrää minimiin. Elinkaarren päähän tulevan tuotteen ja sen materiaalit pyritään aina hyödyntämään uudelleen, jolloin ne luovat lisäarvoa. (Euroopan parlamentti 2023.)

Kiertotalouden vastakohta on lineaarinen talouden malli, jonka mukaan tuotteet valmistetaan, kulutetaan ja heitetään pois. Malli edellyttää suuria määriä edullisia ja helposti saatavilla olevia raaka-aineita sekä energiaa. Lineaarisen malliin kuuluu tuotteiden suunniteltu vanheneminen. Tällä tarkoitetaan sitä, että tuotteen käyttöikä on tarkoituksella rajallinen ja näin kuluttajat joutuvat ostamaan sen tilalle uuden tuotteen. Euroopan parlamentti on vauhtinut toimia lineaarisen talouden mallin kitkemiseksi. (Euroopan parlamentti 2023.)

Kiertotalous ei ole vain pelkästään kierrättämistä vaan myös kestävä suunnittelua, vuokrapalveluita, korjaamista ja jakamista. Kestävästi toteutetulla kiertotaloudella on monia hyötyjä luonnolle ja ympäristölle, se tehostaa taloutta ja kasvattaa sosiaalista pääomaa. Kiertotalous ei ainoastaan vähennä ympäristöön kohdistuvia paineita, vaan synnyttää myös uusia markkinoita ja lisää työllisyyttä. (Kiertotalous-Suomi a.)

Kiertotaloudella ja sitä edistävillä toimilla on merkittävä rooli luonnonvarojen kulutuksen ja ilmastonmuutoksen hillitsemisessä sekä luonnon monimuotoisuuden säilyttämisessä. Kiertotalouden edistämiseen liittyviä toimia ovat sementin- ja betonikäytön optimointi sekä betonielementtien uudelleenkäyttö. Luonnon monimuotoisuuden säilyttämiseksi merkittävimmät kiertotaloustoimet ovat materiaalitehokkuuden parantaminen sekä materiaalien käytön optimointi ja uudelleenkäyttö rakentamisessa ja teollisuudessa. (Kiertotalous-Suomi b.)

Kiertotaloudesta on taloudellista hyötyä eri tahoille. Kiertotalous ja siihen liittyvät toiminnat lisäävät kilpailukykyä ja talouskasvua, kannustavat innovaatioihin sekä luovat uusia työpaikkoja. Kuluttajille tarjotaan kestävämpiä tuotteita, jotka säästävät rahaa pitkällä aikavälillä. (Kiertotalous-Suomi c.) Väestönkasvusta johtuva rakentamisen tarve lisää raaka-aineiden ja muiden resurssien kysyntää. Kiertotalous vähentää myös raaka-aineriippuvuutta. Esimerkiksi raaka-aineiden kierrätys vähentää tarjontaan liittyviä riskejä, kuten hintojen epävakautta, saatavuutta ja tuontiriippuvuutta. (Euroopan parlamentti 2023.)

Kiertotalous vaikuttaa ihmisten arkeen ja hyvinvointiin sekä se vaatii kulutuskäyttäytymisen muuttumista kestävämpään suuntaan. Kiertotalouden sosiaalisia hyötyjä ovat muun muassa uudenlaiset työmahdollisuudet sekä osaamisen ja palveluiden kehittyminen. Kiertotalouden prosessit ovat haastavampia automatisoida verrattuna lineaaritalouteen, koska neitseellisten raaka-aineiden sijaan hyödynnetään ja kierrätetään käytettyjä materiaaleja ja tuotteita. Tämä toimintatapa luo uusia työmahdollisuuksia esimerkiksi purkamisen, korjauksen, lajittelun, kierrätyksen, lainaamisen ja vuokraamisen ympärille. (Kiertotalous-Suomi d.)

2.2 Kiertotalous rakennusalalla

Rakennuksiin ja rakentamiseen käytetään maapallon luonnonvaroista noin 50 prosenttia ja jalostamattomasta energiasta noin 40 prosenttia. Rakennussektori tuottaa maailmanlaajuisesti noin 35 prosenttia kasvihuonekaasupäästöistä ja 30 prosenttia jätteestä. Suomessa rakentamisen osuus kaikista jätteistä on noin 12 prosenttia. Tästä määrästä yli 90 prosenttia on jätteeksi luokiteltavia maamassoja ja noin 10 prosenttia rakennus- ja muita purkujätteitä. Rakentamisen aiheuttama maankäyttö ja raaka-aineiden kulutus vaikuttavat merkittävästi niin luontoon kuin ilmastoon. Kiertotalouden avulla rakennusalalla on mahdollisuus hallita ilmastonmuutosta ja ehkäistä luonnon monimuotoisuuden köyhtymistä. Esimerkiksi uusien rakennustuotteiden ja -materiaalien valmistuksen sijaan materiaalien ja tuotteiden uudelleen käyttö ja kierrätys säästävät luonnonvaroja sekä vähentävät päästöjen ja jätteiden syntymistä. (Ympäristöministeriö; Rakennusteollisuus.)

Maanrakentamisessa voidaan soveltaa kiertotalouden periaatteita luonnon monimuotoisuuden säilyttämiseksi sekä päästöjen ja jätteiden vähentämiseksi. Maanrakentamisessa käytettävät kiviainekset ovat uusiutumattomia luonnonvaroja, joten on kiertotalousmallin mukaista hyödyntää kiviainesta korvaavia materiaaleja tilanteissa, joissa se on teknisesti mahdollista ja ympäristövaikutuksiltaan sallittua. Kiviainesta voidaan korvata esimerkiksi hyödyntämällä betoni- ja asfalttimurskettä, sivukiviä kaivosteollisuudesta sekä teollisuuden sivutuotteita ja jätteitä, kuten lentotuhkaa. Massastabiloinnin sideaineena voidaan hyödyntää yleisimmin käytettyjen materiaalien sijasta teollisuuden sivutuotteita, kuten lentotuhkaa, kipsiä tai meesaa. (Autiotalo & Niemelin 2018.) Kiertotalouden kannalta betonimurskeen hyödyntäminen on järkevää, sillä se sitoo itseensä ilman hiilidioksidia jopa 66 prosenttia. Kovettumisensa ansiosta betonimurske on luonnonsoraa lujempaa, jolloin sama kantavuus saavutetaan jopa puolet ohuemmalla rakennekerroksella. Tällä tavoin säästetään luonnon kiviaineita, kuten soraa ja kalliomurskeita, sekä voidaan uudelleen hyödyntää käytettyjä betonituotteita. (Saarinen 2015, 47.)

2.3 Betonimurskeen vaikutus hiilidioksidipäästöihin

Uusiobetonituotteiden kysyntä Suomessa on kasvussa, koska rakennusalalla toimivat yritykset ja asiakkaat ovat yhä tietoisempia ympäristövastuullisemmista tuotteista. Esimerkiksi betonimurskeen hyödyntäminen rakennusmateriaalina vähentää luonnonkiviainesten tarvetta. Suomessa syntyy purkubetonia vuosittain noin 1,5 miljoonaa kuutiota. Betonijäte hyödynnetään tehokkaasti ja noin 80 prosenttia betonijätteestä hyödynnetään uudelleen joko betonimurskeena infrarakentamisessa tai betonin valmistuksessa runkoaineena luonnonkiviaineksen sijaan. (Rakennuslehti; Kekkonen 2023.)

Betonimurskeen hiilidioksidipäästöjen arvioinnissa huomioidaan materiaalin jatkojalostus ja käsittely, kuljetus hyödyntämiskohteeseen sekä hyödyntäminen kohteessa. Dettenbornin ym. (2020, 16) mukaan uusiomateriaalien päästölaskennassa ei tarvitse ottaa huomioon materiaalien alkuperäisen muodon ja käyttökohteen päästöjä. Esimerkiksi betonimurskeen hiilidioksidipäästöjä laskiessa ei tarvitse ottaa huomioon betonielementin valmistuksesta aiheutuneita päästöjä. Betonimurskeen hiilidioksidipäästöjen laskenta on aina tapauskohtaista, sillä päästöjen määrät vaihtelevat niin murskeen valmistuksessa kuin kuljetuksissa käytettävästä kalustosta sekä tuotteen kuljetusmatkoista. Luonnonkiviaineksiin verrattuna betonimursketta voi usein olla saatavilla huomattavasti lähempänä kuin esimerkiksi kalliomursketta. Kuljetuksen aiheuttamat hiilidioksidipäästöt vaihtelevat myös paljon riippuen siitä, onko kuljetusmatka maantie- vai kaupunkiajoa. (Dettenborn ym. 2020, 16–18.)

Hiilijalanjälki ei ole ainoa tapa arvioida betonimurskeen ympäristökestävyyttä. Uusiomaanrakentamisessa ympäristökestävyyteen liittyviä tekijöitä ovat materiaalitehokkuus ja neitseellisten luonnonvarojen säästö. Esimerkiksi betonimurskeen hyödyntämisellä maanrakentamisessa säästetään luonnonvaroja ja vähennetään päästöjä verrattuna luonnonkiviaineksen louhimiseen ja kuljettamiseen. Luonnon kiviainesten louhimisen vähentäminen myös edesauttaa luonnon monimuotoisuuden ja maisema-arvon säilymistä.

Betonin karbonatisoitumisella on merkittävä vaikutus ilmastonmuutoksen torjuntaan. Karbonatisoitumisella tarkoitetaan betonin sideaineen eli sementin reagoimista ilman hiilidioksidin kanssa, jolloin sideaine sitoo hiilen takaisin. Karbonatisoituminen alkaa heti betonirakenteen valmistuttua ja jatkuu koko sen käyttöajan ajan. Kun rakennus puretaan, betonista paljastuu merkittävästi karbonatisoitumatonta pinta-alaa, jolloin hiilensidonta tehostuu entisestään. Ilmastonmuutoksen torjumisen kannalta karbonatisoituminen ilmiönä on merkittävä, koska betonirakenteet sitovat jatkuvasti hiilidioksidia ollessaan kosketuksissa ilman kanssa. Betonimurske toimii karbonatisoitumisen ansiosta hiilinieluna. Suomessa purettavan betonin hiilinielupotentiaali on 76 000 tonnia hiilidioksidia vuodessa. (Kekkonen 2023; Härkönen 2024.)

3 Betonimurske

3.1 Ominaisuudet

Betonimurskeella tarkoitetaan jätettä, joka on valmistettu betoniteollisuuden betonijätteistä, purkubetonista tai uudisrakentamisessa syntyneestä betonista murskaamalla. Betonimurske on kierrätyskiviaines, joka luonnon kiviainesten tavoin on tuotettua kiviainesta. Betonimurske kuuluu eurooppalaisen maa- ja vesirakentamisen kiviainesstandardin SFS-EN 13242 soveltamisalaan. Betonimurske täytyy CE-merkitä silloin, kun sitä toimitetaan käyttäjille eli materiaalin omistaja vaihtuu. Rakentamisessa tilaajan on huolehdittava ja varmistettava, että rakentamisessa käytetään vain laatuvaatimukset täyttävää materiaalia. (Lehtonen 2018, 6; Ympäristöministeriö 2019, 14.)

Suomessa betonimursketta on käytetty jo 1990-luvun alusta saakka, niin pohja- kuin tierakenteissa. Betonimurske on laatuvaatimuksiltaan luonnonkiviainesta vastaava ja kuormituskestävyydeltään jopa teknisesti parempaa rakennusmateriaalia kiviaineksiin nähden. Suomessa vuosittain arvellaan syntyvän noin 1,5–2,5 miljoonaa tonnia betonijätettä. Betonimurskeen valmistus on kannattavaa syntyvän jätteen määrään nähden, jotta betonijäte saadaan hyödynnettyä mahdollisimman tehokkaasti. (Infra 2021, 4.)

Betonimurskeen valmistuksesta ja käytöstä on yritykselle monenlaisia hyötyjä erityisesti silloin, kun yritys kykenee itse valmistamaan betonimursketta ja hyödyntämään sitä omassa toiminnassaan. Yritykselle voi olla kustannustehokkaampaa valmistaa itse betonimursketta, jos siihen on mahdollisuus kuin hankkia mursketta muilta tahoilta. Yrityksen valmistaessa betonimursketta on materiaali heti käytettävissä, eikä yritys ole riippuvainen muiden tahojen aikataulusta ja valmistuskapasiteetista. Betonimurskeen valmistus ja hyödyntäminen on tehokas ja ympäristöystävällinen keino hyödyntää betonijätettä. Yritys voi valmistaa eri laatu- luokkiin kuuluvia murskelaatuja ja hyödyntää niitä eri kohteissa vaatimusten mukaan. (Komplet.)

Betonimurske voi sisältää laatuluokan mukaan muun muassa tiilijätettä tai muita materiaaleja eli epäpuhtauksia. Betonimurskeessa saa olla epäpuhtauksia 0–30 paino-%, esimerkiksi tuhatta kiloa betonimursketta kohden saa olla maksimissaan kolmesataa kiloa epäpuhtauksia. Laadukkaista raaka-aineista ja oikealla valmistusmenetelmällä betonimurske on tietyiltä ominaisuuksiltaan usein laadukkaampaa verrattuna luonnonkiviaineksiin, kuten kallio- ja soramurskeeseen. Tästä syystä betonimurske soveltuu hyvin käytettäväksi maa- ja infrarakenteisiin. (Lehtonen 2018, 5.)

Betonimurske jaetaan teknisiltä ominaisuuksiltaan neljään eri laatuluokkaan, joita ovat BeM I, BeM II, BeM III ja BeM IV (Infra 2021, 7). Taulukossa 1 on esiteltyinä betonimurskeen

laatuluokat ja niiden tekniset ominaisuudet. Taulukosta ilmenee kyseisen laatuluokan raaka-aineiden alkuperä ja ominaisuudet, kuten routivuus, puristuslujuus, E-moduuli ja osaineet sekä epäpuhtauksien sallittu painoprosentti.

Ominaisuudet	BeM I	BeM II	BeM III	BeM IV
Raaka-ainelähde	Betoniteollisuus	Betoniteollisuus, rakennus- tai purkutyömaa	Betoniteollisuus, rakennus- tai purkutyömaa	Betoniteollisuus, rakennus- tai purkutyömaa
Rakeisuus	EN 13242, käyttökohteen vaatimukset	EN 13242, käyttökohteen vaatimukset	EN 13242, käyttökohteen vaatimukset	EN 13242, käyttökohteen vaatimukset
Hienoainespitoisuus	< 7 %	< 7 %	-	-
Routivuus	Routimaton	Routimaton	Routimaton tai routiva	Routimaton tai routiva
Puristuslujuus	> 1,2 MPa	> 0,8 MPa	-	-
E-moduuli	700 MPa	500 MPa	280/300 MPa	Vaihtelee
Osa-aineet	Betoni > 90 % Tiili < 10 %	Betoni, lasi, kiviaines yhteensä > 90 % Tiili < 10 %	Betoni, lasi, kiviaines yhteensä > 90 % Tiili < 10 %	Betoni, lasi, kiviaines yhteensä > 70 % Tiili < 30 %
Epäpuhtaudet	< 1 paino-%	< 1 paino-%	< 1 paino-%	< 1 paino-%
Kelluvat epäpuhtaudet	< 5 cm ³ /kg	<10 cm ³ /kg	<10 cm ³ /kg	Ei vaatimusta

Taulukko 1. Betonimurskeen laatuluokat ja ominaisuudet (mukailtu Helsingin, Espoon ja Vantaan kaupunki 2015, 4; Lehtonen 2018, 6)

Betonimurske on materiaalina kemiallisen koostumuksen takia emäksinen ja on pH-arvoltaan 10–12. Betonimurskeen emäksisyys on otettava huomioon esimerkiksi johto- tai putkimateriaaleja valittaessa, sillä betonimurskeesta läpi suodattava vesi syövyttää alumiinia, jos sitä ei ole suojapinnoitettu. Emäksisyyden ansiosta betonimurske vähentää rautametalien korroosiotaipumusta. Betonimurskeella ei ole vaikutusta muovi- tai betoniputkiin.

Polyesteri ei siedä emäksisiä materiaaleja, joten polyesteristä valmistettuja geolujitteita tai -tekstiileitä ei suositella käytettäväksi betonimurskeen yhteydessä. Maarakentamisessa betonimurskeen etäisyys mahdolliseen salaojaan tulee olla vähintään yksi metri. Betonimurskeen ja ympäristäytön väliin on asennettava suodatinkangas, joka yleisimmin on valmistettu polypropeenista. Betonimursketta ei tule myöskään käyttää orsi- tai pohjavesipinnan alapuolella, jotta vältetään betonimurskeesta liukenevien emäksisten aineiden pääsy ympäristöön. Betonimurskeeseen tulee välttää ihokontaktia materiaalin emäksisyyden takia. (Infra 2021, 9–11.)

Betonimurske on kosteuspitoisuudeltaan kosteampaa verrattuna luonnon kiviaineksiin, joten murske ei pölyä sitä käsiteltäessä luonnon kiviaineksiä enempää. Betonimurskeen pöly on haitallista hengitysteille, joten suojautuminen pölyltä on suositeltavaa. Liikennöidyillä alueilla betonimurskeen pölyämistä estetään tarvittaessa kastelemalla. (Infra 2021, 10–11.)

Betonimurske on valmistuksen jälkeen uudelleen lujittuva materiaali. Murskeen lujittuessa se muodostaa tiiviin kerroksen. Lujittuminen on suurinta ensimmäisen vuoden jälkeen rakentamisesta ja se hidastuu 2–5 vuoden jälkeen. Lujittumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat huolellinen tiivistystyö, riittävä jälkihoito, lujittuva betonimurskelajike ja lämpötila. Betonimurskeen lujittumista hidastaa alhainen lämpötila ja se saattaa heikentää puristuslujuuden tai kantavuuden kehittymistä. Huolellisesti tiivistetyn betonimurskeen aukikaivaminen ja uudelleen hyödyntämisen ei ole todettu vaikuttavan lujittumiseen tai murskeen raekoon. (Helsingin, Espoon ja Vantaan kaupunki 2015, 5; Väylävirasto 2022a, 30–31.)

3.2 Käyttökohteet

Infrarakentamisessa luonnon kiviaines voidaan korvata laadukkaalla betonimurskeella monissa rakennekerroksissa. Betonimurskeen käyttö on turvallista, kestävä ja resurssitehokasta sekä materiaalin hyödyntämisellä voidaan saavuttaa kustannussäästöjä. Betonimurskeen käytössä on kuitenkin huomioitava muun muassa murskeen emäksisyys, pohjavesialueet sekä putki- ja johtovesikaivannot. (Lehtonen 2018, 14.)

Betonimurskeella on lukuisia käyttökohteita, koska materiaalia voidaan hyödyntää monissa kohteissa luonnon kiviaineksen tavoin. Betonimurskeen hyödyntämiskohteita ovat yleiset tiet, kadut, pyörätiet ja jalkakäytävät. Mursketta voidaan käyttää pysäköintialueiden, urheilukenttien sekä virkistys- ja urheilualueiden reittien rakentamisessa. Muita betonimurskeen käyttökohteita ovat ratapihat, satamien kenttärakenteet, putkikaivojen lopputäytöt sekä teollisuus-, jätteenkäsittely- ja lentoliikenteen alueiden varastointikentät ja tiet. (Lehtonen 2018, 14.)

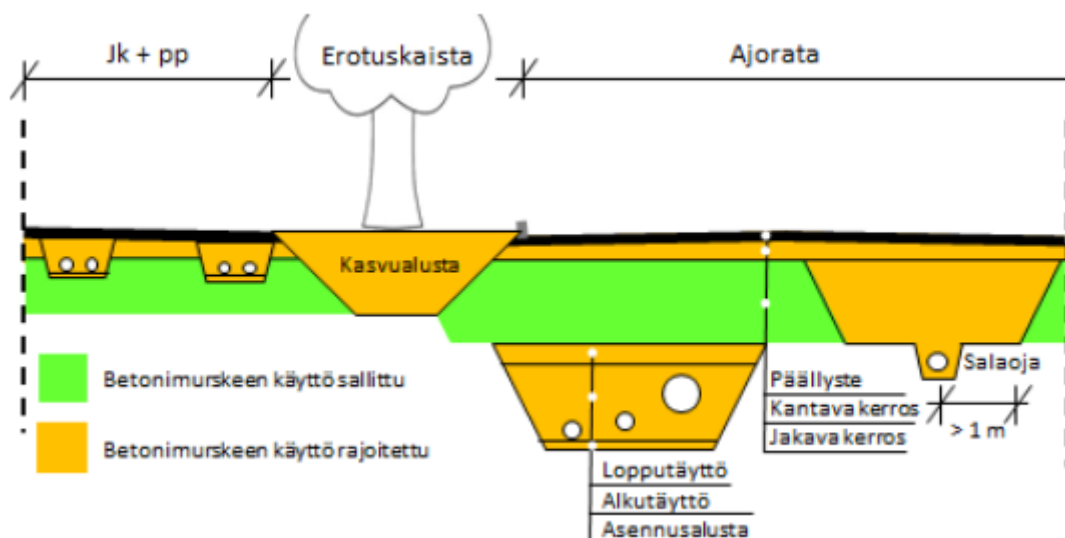
Betonimurskeen laatuluokat soveltuvat eri tavoin vaihteleviin rakennekerroksiin. Betonimurskeen laatuluokkien tekniset ominaisuudet vaihtelevat, joten mursketta käytettäessä on tarkasteltava minkälaiseen rakennekerrokseen eri laatuluokat soveltuvat. Laatuluokan BeM IV:n käytöstä sovitaan tilaajan kanssa riippuen kohteesta ja rakennusosista. (Ollikainen ym. 2024, 11.) Taulukossa 2 kuvataan betonimurskeen kolmen laatuluokan soveltuvuus eri rakennekerroksiin. Taulukossa 2 ei ole esitelty laatuluokkaa BeM IV, koska sen käytöstä sovitaan erikseen tilaajan kanssa.

Rakennekerros	BeM I	BeM II	BeM III
Kantava kerros	Soveltuu kohtalaisesti	Soveltuu kohtalaisesti	Ei sovellu
Jakava kerros	Soveltuu hyvin	Soveltuu hyvin	Soveltuu hyvin
Suodatinkerros	Soveltuu hyvin	Soveltuu hyvin	Soveltuu hyvin
Penger	Soveltuu hyvin	Soveltuu hyvin	Soveltuu hyvin
Lopputäyttö	Soveltuu kohtalaisesti	Soveltuu kohtalaisesti	Soveltuu kohtalaisesti
Alkutäyttö	Ei sovellu	Ei sovellu	Ei sovellu
Arina	Ei sovellu	Ei sovellu	Ei sovellu

Taulukko 2. Betonimurskeen laatuluokkien soveltuvuus eri rakennekerroksiin (Mukailtu Ollikainen ym. 2024, 11)

Kuten taulukosta 2 voi havaita, luokat I ja II soveltuvat kohtalaisesti kantavaan kerrokseen, kun taas luokka III ei sovellu lainkaan. Kaikki kolme laatuluokkaa soveltuvat hyvin niin jakavaan kuin suodatinkerrokseen sekä pengerrykseen. Lopputäyttöön voidaan hyödyntää kaikkia taulukossa olevia luokkia kohtalaisesti. Mitkään kolmesta luokasta eivät sovellu käytettäväksi alkutäyttöön tai arinaan.

Betonimurskeen käyttö soveltuu myös alueille, joissa on kunnallistekniikkaa esimerkiksi kaapelointia tai putkistoja. Poikkileikkauspiirustuksessa on myös esitettävä, missä rakennosissa betonimursketta on tarkoitus hyödyntää. Kuvassa 1 on katualueen poikkileikkaus, mistä selviää, mihin kyseisessä kohteessa betonimursketta on mahdollista hyödyntää.

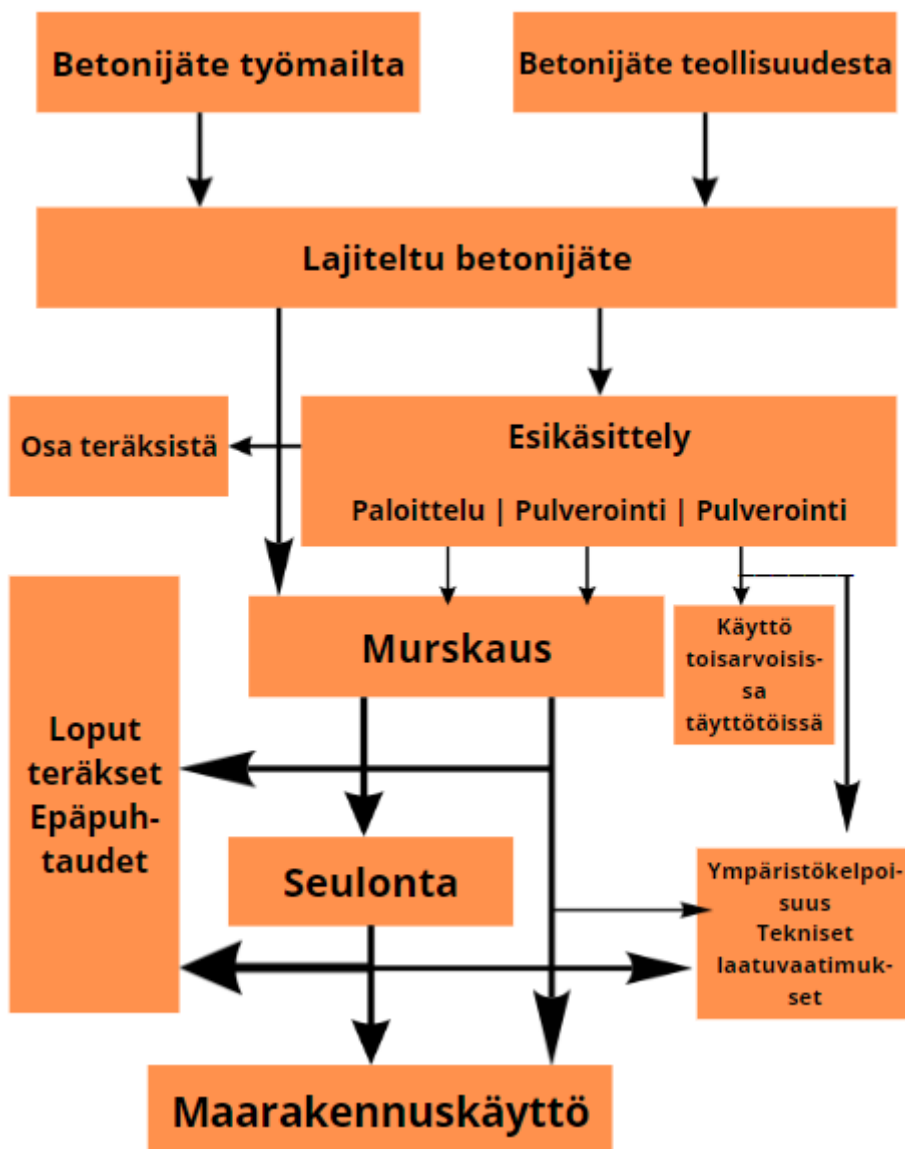


Kuva 1. Betonimurskeen käyttö tiealueella, jossa on kunnallistekniikkaa (Forsman & Dettenborn 2019, 20)

Kuten kuvasta 1 näkee, betonimurskeen käyttö on sallittua vihreällä merkityillä alueilla. Betonimursketta voidaan hyödyntää kuvan 1 kohteessa ainoastaan jakavassa kerroksessa eli kevyenliikenteenväylällä ja ajoradalla. Betonimurskeen käyttöä on rajoitettu päällysteessä, kasvu- ja asennusalustassa, alku- ja lopputäytössä, salaojassa sekä kantavassa kerroksessa.

3.3 Betonimurskeen valmistusprosessi

Betonimursketta valmistetaan niin betoniteollisuuden ylijäämä- kuin hylkybetonista sekä rakentamisessa ja purkamisessa syntyvästä betonijätteestä. Betonimursketta valmistetaan murskaamalla betonijäte sopivaan raekokoon joko siihen tarkoitetuilla laitoksilla tai suoraan betonijätteen syntypaikalla. Murskauslaitteita on monenlaisia, yleisimpiä laitteita ovat mobiilimurskain tai kauhamurska. Valmistuksen aikana betonimurskeen sekaan voi jäädä epäpuhtauksia, kuten puuta, metallia tai muovia, kuitenkin laatuluokkien BeM I-IV sallimissa rajoissa. Betonimurskeen ominaisuudet tutkitaan jokaisesta valmistuserästä ja kelpoisuus osoitetaan suoritusasoilmoituksella ja CE-merkinnällä. (Infra 2021, 4–5.) Kuvassa 2 on kuvattuna betonimurskeen valmistusprosessin vaiheet.



Kuva 2. Betonimurskeen valmistusprosessi (Mukailtu Hotanen 2005, 74)

Betonimurskeen valmistusprosessi alkaa betonijätteen esikä-sittelyllä, joka mahdollistaa betonimurskeen jalostusprosessin. Esikä-sittely on tärkeä vaihe betonimurskeen valmistuksessa, koska sillä saadaan helpotettua murskausta ja poistettua suurimmat epäpuhtaudet. Tyypillisiä esikä-sittelymenetelmiä ovat betonijätteen palakoon pienentäminen joko pulveroimalla tai pilkkomalla. Esikä-sittely ei ole välttämätöntä, jos betonikappaleiden seassa ei ole epäpuhtauksia ja kappaleet ovat sopivan kokoisia murskattavaksi. (Hotanen 2005, 75.)

Suosittelava betonimurskeen valmistustapa on pelkkä murskaus tai murskaus ja pulverointi. Pulverointi tarkoittaa suurien betonikappaleiden pienentämistä. Betonikappaleet pulveroidaan kaivinkoneeseen kiinnitettävällä pulveroijalla, joka pilkkoo betonikappaleet pienimmillään noin 0/150–0/200 millimetrin raekokoon. Pulveroinnin etuna on se, että tuotteesta

saadaan samanaikaisesti poistettua suurimmat teräkset ja muut epäpuhtaudet, kuten metalli-, puu- ja muovikappaleet. Pulverointi on betonikappaleiden esikäsittelymenetelmä ennen varsinaista murskausta. MARA-asetuksen mukaan suurin raekoko betonimurskeelle on 0–90 millimetriä. Tästä syystä pulverointi menetelmänä ei yksinään sovellu murskeen valmistukseen. (Hotanen 2005, 75; Väylävirasto 2022a, 20.)

Betonimursketta valmistetaan myös murskaamalla betonijätettä. Betonijäte voidaan murskata tehdasalueella, paikan päällä työmaalla tai jäte voidaan kuljettaa murskattavaksi kierätyslaitokseen. Murskaamisen vaatimuksena voi olla betonijätteen esikäsittely, jotta jätekappaleet mahtuvat murskaimeen. Betonijätteen murskauksessa on tehokasta käyttää siihen tarkoitettua murskainta, joka on varustettu lisävarusteilla, kuten magneettierottimella. Lisävarusteet mahdollistavat epäpuhtauksien tehokkaamman erottelun murskaamisen yhteydessä. Betonimurskaukseen soveltuvia murskaimia ovat isku-, leuka- tai kartiomurskain. Betonijätteen murskaus betonimurskeeksi tapahtuu yksi- tai kaksivaiheisena prosessina. Yksivaiheiseen murskaukseen voidaan käyttää isku- tai leukamurskainta, mutta iskumurskain soveltuu parhaiten. Kaksi- tai monivaiheisessa valmistusprosessissa voidaan esimurskauksessa käyttää isku- tai leukamurskainta ja jälkimurskauksessa voidaan hyödyntää kaikkia kolmea murskainta. Murskaamisen etuna on se, että jätteen joukosta saadaan poistettua betoniteräkset ja niitä voidaan hyödyntää muualla sekä jätteen seasta saadaan poistettua epäpuhtaudet. (Hotanen 2005, 75–78; K&B Crushers 2024; Fibo Intercon.)

Betonimurskeen seulonta on tärkeä osa murskeen valmistusprosessia. Betonimurskeesta voidaan erotella seulomalla eri raekokoja. Seulaaan syötetään betonimursketta, joka ylittää tärisevän seulaverkon erottaen halutun raekoon. Seulon kuljetin kuljettaa murskeen erillisiin kasoihin raekoon mukaan. Seulonta tekee betonimurskeesta tasalaatuisempaa materiaalia ja edesauttaa murskeen laatuvaatimusten täyttymisen. Seulonnalla varmistetaan, ettei betonimurskeen sekaan jää raudoitusta sisältäviä betonikappaleita. Seulomalla saadaan murskeen seasta poistettua myös mahdollisia muita epäpuhtauksia. (Hotanen 2005, 77–78; Fibo Intercon.)

3.4 Lait ja säädökset

Betonimurskeen valmistuksessa ja hyödyntämisessä on otettava huomioon lait ja viralliset säädökset. Vuosien varrella betonimursketta koskevat lait ja säädökset ovat muuttuneet mahdollistaen betonimurskeen helpomman hyödyntämisen. Nykypäivänä lait ja säädökset huomioivat tarkemmin betonijätteen oikeanlaisen käsittelyn ja betonimurskeen vaikutuksen ympäristöön. Esimerkiksi Ympäristöministeriö asetti vuonna 2017 betonimurskeelle tarkat laatuvaatimukset (Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 843/2017).

Betonimurskeen hyödyntämiseen on erilaisia lupia ja säädöksiä riippuen murskeen käyttökohteesta. Betonimurskeen hyödyntämisessä on noudatettava jotain kolmesta säädöksestä: MARA-asetusta, ympäristölupaa tai EEJ-asetusta. Jos betonimursketta hyödynnetään MARA-asetuksen täyttävänä jätteenä, joka ei ole markkinoilla, on silloin tarkistettava CE-merkinnän tarve. MARA-betonimursketta voi käyttää ainoastaan asetuksen sallimiin käyttökohteisiin. Tällaisia käyttökohteita ovat väylä- ja kenttärakenteet sekä teollisuus- ja varastorakennusten pohjarakenteet. Ympäristöluvalla betonimursketta voidaan hyödyntää esimerkiksi meluvalleissa, kantavissa kasvualustoissa, puistojen täytöissä ja putkikaivantojen lopputäytöissä. Ympäristöluvalla käytettävä betonimurske vaatii CE-merkinnän käyttökohteen mukaan. EEJ- betonimursketta voidaan hyödyntää luonnonkiviainesten tavoin rakennustuotteena, mutta sen käyttöä on rajoitettu pohjaveden suojelemiseksi. Tällöin betonimurskeen käyttö rakennustuotteena vaatii CE-merkinnän. (Väylävirasto 2022a, 21–22; Kunnas 2023; Ollikainen ym. 2024, 4–8.)

3.4.1 CE-merkintä ja EEJ-asetus

Turvallisuus- ja kemikaaliviraston eli Tukesin mukaan CE-merkintä tarkoittaa merkintää, joka todistaa, että tuote on tarkastettu ja se täyttää EU:n turvallisuus-, terveys- ja ympäristövaatimukset (Tukes). CE-merkinnän vaatimuksia ovat muun muassa materiaalin mekaaninen lujuus, pitkäaikaiskestävyys ja ympäristönäkökohdat. CE-merkintää ei vaadita, jos betonimurskeen tuottaja on myös käyttäjä, eikä tuote mene markkinoille. MARA-asetuksen tai ympäristöluvan mukainen betonimurskeen hyödyntäminen ei poista CE-merkintävaatimuksen tarkistamista, eikä merkintä poista betonimurskeen luokittelua jätteeksi. MARA-betonimurskeen ollessa markkinoilla, on sillä oltava CE-merkintä. Vaikka betonimursketta ei CE-merkittäisi, on sen laatu kuitenkin tutkittava ja osoitettava. Murskeen on täytettävä ympäristökelpoisuuden lisäksi tilaajan ja käyttökohteen asettamat tekniset laatuvaatimukset. (Väylävirasto 2022a, 22; Ollikainen ym. 2024, 4–8; Väylävirasto 2022b, 12.)

Vuonna 2022 astui voimaan ”Ei enää jätettä” -asetus (EEJ-asetus), jonka mukaan betonimursketta ei enää luokitella jätteeksi. Ennen EEJ-asetuksen voimaantuloa betonimurskeen käytössä oli huomioitava niin sanottu MARA-asetus (eli Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa) ja asetuksen sallimat käyttökohteet ja rajaukset. EEJ-asetuksen alaisen betonimurskeen käytöstä ei enää tarvitse ilmoittaa viranomaiselle eikä MARA-asetusta tarvitse huomioida. Betonimursketta voidaan käyttää betonin valmistuksessa luonnon kiviaineksen sijaan EEJ-asetuksen tultua voimaan. MARA-asetus ei aikaisemmin mahdollistanut betonimurskeen maksimaalista hyödyntämistä. (Kunnas 2023.)

3.4.2 Valtioneuvoston asetukset

Vuonna 2022 tuli voimaan valtioneuvoston asetus betonimurskeen jätteeksi luokittelun päättymisen arviointiperusteista. Betonimurskeen valmistajalla tulee olla laadunvarmistusjärjestelmä, jonka avulla varmistetaan laatuvaatimusten täytyminen. Laatuvaatimusten täytyminen on vahvistettava riippumattoman osapuolen toimesta ja osapuolella on oltava Turvallisuus- ja kemikaaliviraston myöntämä pätevyys. (Valtioneuvoston asetus betonimurskeen jätteeksi luokittelun päättymisen arviointiperusteista 466/2022, 4 §.) Valmistajan on asetettava betonijätteelle vaatimukset, jotta siitä voidaan valmistaa arviointiperusteiden mukaista betonimursketta (Valtioneuvoston asetus betonimurskeen jätteeksi luokittelun päättymisen arviointiperusteista 466/2022, 5 §).

Epäpuhtauksien poistamiseksi betonijäte on esikäsiteltävä ennen jätteen valmistamista betonimurskeeksi. Esimerkiksi sandwich-elementeistä on poistettava siihen kiinnitetty eristeet sekä muut epäpuhtaudet huolellisesti. (Valtioneuvoston asetus betonimurskeen jätteeksi luokittelun päättymisen arviointiperusteista 466/2022, 8 §.) Betonijäte on käsiteltävä enintään 90 millimetrin raekokoon. Betonimurskeen valmistusprosessissa käytettävien laitteiden käytöstä ja huoltamisesta on löydyttävä selkeät ohjeet laadunvarmistusjärjestelmästä. (Valtioneuvoston asetus betonimurskeen jätteeksi luokittelun päättymisen arviointiperusteista 466/2022, 9 §.)

Betonimurskeesta on otettava näytteitä sen materiaalijakauman ja ympäristökelpoisuuden selvittämiseksi. Yksi näyte voi kuitenkin edustaa vain maksimissaan 10 000 tonnia valmista betonimursketta. Murskeen massan ollessa alle 10 000 tonnia näyte edustaa yhtä murskauserää. Betonimurskeesta on otettava vähintään kaksi näytettä, joista toisessa määritetään haitta-aineiden liukoisuudet ja pitoisuudet sekä toisessa näytteessä materiaalijakauma ja muut epäpuhtaudet. Materiaalijakaumaa tai epäpuhtauksia ei tarvitse määrittää murskeesta, jonka valmistuksessa on käytetty käyttämättömästä betonista peräisin olevaa betonijätettä. (Valtioneuvoston asetus betonimurskeen jätteeksi luokittelun päättymisen arviointiperusteista 466/2022, 10 §.)

Betonimurskeen materiaalijakauman ja epäpuhtauksien määrittämisessä on käytettävä tiettyjä standardoituja määrittämenetelmiä. Kuvassa 3 on kuvattuna betonimurskeen sisältämien haitta-aineiden, epäpuhtauksien ja materiaalijakauman määrittämiseksi käytettävät määrittäysstandardit.

Määritettävä parametri	Standardi tai tekninen spesifikaatio
Sb, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Se, V, Zn, F ⁻ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻	SFS-EN 16192 tai tekninen raportti CEN/TR 16192:2020:en
Öljyhiilivedyt ≥ C10–C40	SFS-EN 14039
PCB-yhdisteet	SFS-EN 17322:2020:en
PAH-yhdisteet	SFS-EN 15527 tai SFS-ISO 18287
Materiaalijakauma, epäpuhtaudet ja kelluvat epäpuhtaudet	EN 933-11

Kuva 3. Määritysstandardit (Kuvakaappaus, Valtioneuvoston asetus betonimurskeen jätteen luokittelun päättymisen arviointiperusteista 466/2022)

Betonimurskeen valmistusprosessin läpikäyneestä tuotteesta haitta-aineiden liukoisuudet ja pitoisuudet eivät saa ylittää alla olevan taulukon 3 arvoja. Suurin osa haitta-aineiden liukoisuuksista ei saa ylittää yli yhtä milligrammaa kiloa kohden. Esimerkiksi yhdestä kilosta betonimursketta ei saa liueta lyijyä yli 0,1 milligrammaa. Joitain haitta-aineita, kuten kloridia ja sulfaattia, saa olla huomattavasti enemmän muihin haitta-aineisiin verrattuna. PAH- ja PCB-yhdisteille sekä öljyhiilivedyille on määritetty kokonaispitoisuusarvot. Esimerkiksi yhdessä kilossa betonimursketta saa olla 30 milligrammaa kokonaisuudessaan PAH- yhdisteitä.

Haitta-aine	Liukoisuus mg/kg (L/S 10)	Kokonaispitoisuus (mg/kg)
Antimoni (Sb)	0,2	
Arseeni (As)	0,1	
Barium (Ba)	5	
Kadmium (Cd)	0,02	
Kromi (Cr)	0,6	
Kupari (Cu)	1	
Elohopea (Hg)	0,01	
Molybdeeni (Mo)	0,7	
Nikkeli (Ni)	0,3	
Lyijy (Pb)	0,1	

Seleeni (Se)	0,2	
Vanadiini (V)	0,3	
Sinkki (Zn)	4	
Fluoridi (F-)	12	
Kloridi (Cl-)	200	
Sulfaatti (SO ₄ -)	300	
PAH-yhdisteet		30
PCB-yhdisteet		1
Öljyhiilivedyt ≥ C10–C40		200

Taulukko 3. Betonimurskeen haitta-aineiden pitoisuudet ja liukoisuudet (Mukaiitu, Valtio-neuvoston asetus betonimurskeen jätteeksi luokittelun päättymisen arviointiperusteista 466/2022)

Betonimurskeen epäpuhtaudet eivät saa ylittää kuvan 4 arvoja. Kuvan merkityt kohdat 2–5 selitetään seuraavaksi tarkemmin. Betonimursketta sisältävien materiaalien, kuten tiililaattojen ja kalkkihiekkatiilien, yhteenlaskettu osuus lasketaan materiaali jakauman perusteella. Joidenkin materiaalien ja epäpuhtauksien määrää sovelletaan murskeen käyttötarkoituksen mukaan, joita ovat esimerkiksi talon- ja maanrakennus tai viherrakentaminen. Tällaisia materiaaleja ja epäpuhtauksia ovat sekalaiset metallit, kellumaton puu, muovi ja kumi. Edellä mainittujen materiaalien ja epäpuhtauksien määriä sovelletaan betonimurskeeseen, jota käytetään kiviaineksena betonin ja betonituotteiden valmistamisessa. Betonimurske voi sisältää kelluvia epäpuhtauksia, joita ovat vettä kevyemmät materiaalit.

Materiaalien ja epäpuhtauksien tyypit ¹	Määrä
Tiilien ja tiililaattojen, kalkkihiekkatiilien ja -harkkojen sekä muiden poltettujen tiilien sekä kellumattoman vaahtobetonin yhteenlaskettu määrä ²	10 paino-%
Saven ja muun koheesiomaan ja maa-aineksen, sekalaisten metallien (metallit ja rautayhdisteitä sisältämättömät metallit), kellumattoman puun, muovin ja kumin sekä kipsilaastin yhteenlaskettu määrä ³	1 paino- %
Saven ja muun koheesiomaan ja maa-aineksen, sekalaisten metallien (metallit ja rautayhdisteitä sisältämättömät metallit), kellumattoman puun, muovin ja kumin, kipsilaastin sekä lasin yhteenlaskettu määrä ⁴	1 paino- %
Kelluvat epäpuhtaudet ⁵	5 cm ³ /kg

Kuva 4. Epäpuhtauksien raja-arvot (Kuvakaappaus, Valtioneuvoston asetus betonimurskeen jätteeksi luokittelun päättymisen arviointiperusteista 466/2022)

Kuvan 4 merkityt kohdat kolme ja neljä eroavat toisistaan hieman. Kohtaa kolme sovelletaan sellaisessa tilanteessa, kun betonimurske on tarkoitettu käytettäväksi kiviaineksena talo-, maa- tai viherrakentamisessa. Kohtaa neljä sovelletaan, jos betonimursketta käytetään kiviaineksena betonin tai betonituotteiden valmistuksessa. (Valtioneuvoston asetus betonimurskeen jätteeksi luokittelun päättymisen arviointiperusteista 466/2022.)

3.4.3 Uusi rakentamislaki

Uusi rakentamislaki tulee voimaan 1.1.2025. Laissa säädetään rakennusten ja rakennuskohteiden suunnittelusta, rakentamisesta ja käytöstä. Uuden rakentamislain tavoitteena on hillitä ilmastonmuutosta, edistää kiertotaloutta, vähentää hallinnollista taakkaa ja selkeyttää aikaisempaa rakentamislakia. (Rakentamislaki 751/2023, 1 §; Rakennustieto.) Laissa on määritelty lakipykälä, jotka vaikuttavat betonimurskeen valmistukseen ja hyödyntämiseen.

Uuden rakentamislain mukaan rakentamisen on hillittävä ilmastonmuutosta ja perustua kiertotaloutta edistäviin ratkaisuihin (Rakentamislaki 751/2023, 5 §). Suomen ympäristökeskus ylläpitää päästötietokantaa, joka sisältää rakennuksen ja rakennuspaikan vähähiilisyyden arvioinnissa tarvittavat hiilijalanjäljen ja hiilikädenjäljen tiedot. Näitä tietoja ovat muun muassa rakennustuotteiden valmistus ja kuljetus, rakennustuotteiden jätteenkäsittely ja kierrätys sekä rakentamisessa käytettävät työkonet ja polttoaineet. (Rakentamislaki 751/2023, 15 §.) Uusi laki vaatii purkumateriaali- ja rakennusjätteselvitystä. Selvityksessä on käytävä ilmi arvio rakennus- ja purkuhankkeessa syntyvästä purkumateriaalimäärästä. Selvitys on päivitettävä rakennus- tai purkuhankkeen valmistuttua niin, että siitä ilmenevät

tiedot rakennuspaikalta pois kuljetettujen rakennus- ja purkujätteiden määristä, toimituspai-koista ja käsittelystä. (Rakentamislaki 751/2023, 16 §.)

Vuoden 2025 alussa voimaantulevan rakentamislain mukaan rakennustuotteen on oltava turvallinen ja terveellinen sekä täyttää ominaisuuksiltaan tekniset vaatimukset. Rakennus- tuotteen valmistajan on huolehdittava tuotteen suunnittelusta ja valmistuksesta siten, että tuote on ominaisuuksiltaan kestävä ja korjattavaa sekä materiaalin tulee olla uudelleen käytettävää. (Rakentamislaki 751/2023, 121 §.) Tukes toimii uuden rakentamislain mukaan markkina- valvontaviranomaisena tilanteissa, joissa epäillään rakennustuotteen olevan ter- veydelle, turvallisuudelle tai ympäristölle vaaraksi eikä tuote ole CE-merkinnän tai valmis- tuksen laadunvalvonnan mukainen (Rakentamislaki 751/2023, 154 §). Tukesilla on oikeus valvoa ja suorittaa tarvittavia tarkastuksia kaikkiin rakennustuotteiden valmistus- ja varas- tointitiloihin sekä tarvittaviin tietoihin (Rakentamislaki 751/2023, 156 §). Tukesilla on myös oikeus ottaa rakennustuotteita ja sen valmistukseen liittyviä asiakirjoja tutkittavaksi (Raken- tamislaki 751/2023, 157 §).

4 Betonimurskeen valmistus ja hyödyntäminen maansiirtoalan yrityksessä

4.1 Betonimurskeen valmistusprosessi

Betonimurskeen valmistusprosessi vaatii raaka-aineen, kaluston ja varastointialueen. Maansiirto Dahl Oy valmistaa betonimurskettä elementtitehtaan yhteydessä. Murskattavia betonituotteita ovat vialliset seinäelementit (kuva 5), ontelolaatat ja laattojen hukkapalat (kuva 6) sekä ylijäämäbetonimassa (kuva 7).



Kuva 5. Viallinen seinäelementti

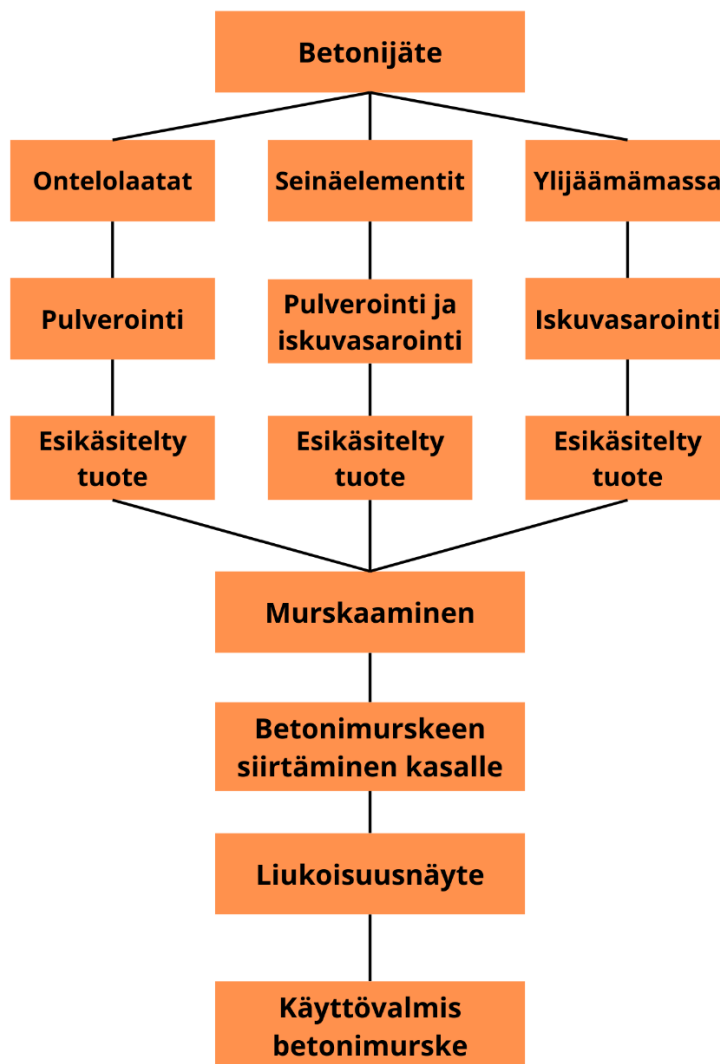


Kuva 6. Ontelolaattojen hukkapaloja



Kuva 7. Ylijäämämassasta koostuva betonijättekappale

Murskattavat betonituotteet kasataan elementtitehtaan piha-alueen kulmaukseen odottamaan esikäsitelyä ja murskausta. Esikäsitelyssä betonijäte pulveroidaan kaivinkoneeseen kytkettävällä pulveroijalla. Pulveroinnin yhteydessä betonituotteista eritellään raudoitukset. Raudoitukset kasataan siisteihin kasoihin, joista ne lastataan kuorma-auton kyytiin ja vietään kierrätykseen. Pulveroija toimii hyvin ontelolaattoihin, mutta ylijäämämassasta koostuvat tiiviit kappaleet ja seinäelementit ovat järkevämpi käsitellä iskuvasaralla. Murskaaminen tapahtuu betonijättekasan vieressä. Kaivinkone syöttää leukamurskainta pulveroidun betonijättekasan päältä, jolloin näkyvyys on hyvä ja murskan syöttö on tehokasta. Valmis tuote siirretään kasalle tontin kulmaukseen pyöräkuormaajalla. Varastointi tapahtuu alueella, josta tuotteen lastaaminen on helppoa, eikä lastaaminen aiheuta häiriötä tehtaan toiminnalle. Kuvassa 8 on esiteltyä betonimurskeen valmistusprosessi toimeksiantajan näkökulmasta.



Kuva 8. Betonimurskeen valmistusprosessi

Betonijätteen esikäsittelyssä toimeksiantaja hyödyntää kaivinkonetta, johon on kiinnitetty joko pulveroija tai iskuvasara. Pulveroijaa käytetään helposti rikottavien kappaleiden, esimerkiksi ontelolaattojen, paloitteluun, kuten kuvassa 9. Iskuvasara soveltuu paremmin esikäsittelemään enemmän rautaa sisältäviä seinäelementtejä ja ylijäämäbetonimassasta koostuvia kappaleita. Seinäelementtien paloittelu onnistuu parhaiten, kun ne ensin käsitellään iskuvasaralla ja tämän jälkeen pulveroijalla. Pulveroinnin yhteydessä on myös helppoa erotella teräkset ja suurimmat epäpuhtaudet, kuten puukappaleet ja eristeet. Ontelolaattojen pulverointi on suhteellisen vaivatonta, sillä laatat murenevat helposti ja laattojen punokset on helppo poimia pois pulveroijalla. Esikäsitteilyllä on suuri vaikutus murskauksen tehokkuuteen. Esimerkiksi betonituotteet tulisi pulveroida maksimissaan noin 500 millimetrin kokoisiksi kappaleiksi. Ontelolaattojen kohdalla tämä toteutuu oikeastaan aina, sillä laatta murenee pieniksi palasiksi punoksia poistettaessa. Ylijäämämassasta koostuvat kappaleet sen sijaan vaativat iskuvasaraa, jotta saavutetaan 500 millimetrin kokotavoite. Maksimissaan 500 millimetrin kokoiset kappaleet nopeuttavat murskaamista, sillä suuremmat kappaleet hidastavat leukamurskaimen toimintaa ja saattavat aiheuttaa murskaimen tukkeutumista. Esikäsitteily on murskaukseen verrattuna jatkuva prosessi eli esikäsitteilyvaihe on jatkuvaa, kun taas murskausvaihe on ajoittaista ja kestää yleensä noin viikon.



Kuva 9. Betonimurskeen esikäsitteilyvaiheessa käytettävä kaivinkone, johon on kytketty pulveroija

Murskauksessa toimeksiantaja käyttää vuokrattavaa Keestrack B3 -leukamurskainta (kuva 10). Murskainta liikutetaan kaukosäätimellä, jolloin kaivinkoneen kuljettaja pystyy ohjaamosta siirtämään murskaa tarvittaessa. Esikäsitelyssä ja murskaimen syöttämisessä toimeksiantaja käyttää Doosan DX 225 -kaivinkonetta, jonka työpaino on noin 22 500 kilogrammaa. Leukamurskainta syötetään kaivinkoneella esikäsitellyn kasan päältä, jolloin murskan syöttämiseen on hyvä näkyvyys ja syöttämisen tahti pysyy optimaalisena. Murskaaminen vaatii kaksi henkilöä: murskaimen syöttäjän ja valmiin materiaalin siirtäjän vieämään tuotetta kasalle. Murskaimessa on myös integroituna magneetti, joka kerää pienet teräksen kappaleet, joita ei ole saatu pois esikäsitelyvaiheessa. Magneetin keräämät teräksiset kulkeutuvat kuljetinhihnaa pitkin jäteastiaan. Betonijätteidensä murskausvaihe kestää keskimäärin noin viikon.



Kuva 10. Keestrack B3 -murskain ja murskaimen syöttämiseen käytettävä kaivinkone

Murskauksen jälkeen betonimurske siirretään kasalle pyöräkuormaajalla, usein kahteen kerrokseen, jotta betonimurskekasa ei vie liikaa tilaa elementtitehtaan tontilta. Pyöräkuormaajan on oltava jatkuvasti valmiina siirtämään valmista betonimursketta kasalle murskaimen ollessa käynnissä. Siirtovalmius on tärkeää varsinkin silloin, kun murskaimen ja varastointialueen välinen matka kasvaa. Pyöräkuormaajan ollessa jatkuvasti valmiina siirtämään mursketta kasalle varmistaa sen, ettei murskaimen tarvitse keskeyttää toimintaansa eikä murskausprosessi tällöin hidastu tai keskeydy kokonaan. Kuvassa 11 pyöräkuormaaja on siirtämässä betonimursketta kasalle.



Kuva 11. Valmiin betonimurskeen kuljettaminen kasalle pyöräkuormaajalla

Toimeksiantajan murskausprosessissa hyvänä puolena on lyhyet etäisyydet murskausalueelta varastointipaikalle. Tällöin murskaaminen on mahdollisimman polttoainetaloudellista ja valmiin betonimurskeen siirtämiseen riittää pienempikin pyöräkuormaaja. Valmiin betonimurskeen siirtämiseen käytetään Volvon L-120E -mallin pyöräkuormaajaa, jonka työpaino on noin 20 000 kilogrammaa. Toimeksiantajan pyöräkuormaaja on varustettu neljän kuution kauhalla eli kuormaajalla voi siirtää yhteensä neljä kuutiota valmista mursketta kerrallaan.

4.2 Tuotteen määrä ja varastointi

Maansiirto Dahl Oy murskaa betonijätettä noin kerran vuodessa. Elementtitehtaan yhteydessä tapahtuva murskaus riippuu siitä, kuinka paljon tehtaasta syntyy betonijätettä. Murskauksen suunnittelu aloitetaan silloin, kun esikäsitellyn betonijätteen määrä tontin varastointialueella täyttyy. Yhdestä murskauskerrasta syntyy keskimäärin valmista betonimursketta noin 6000 tonnia. Betonijätteen ja -murskeen varastointia rajoittaa toiminta-alueen ympäristölupa. Ympäristöluvassa on määriteltynä betonijätteen ja -murskeen sallittu kokonaismäärä tontilla eikä määriä saa ylittää. Kuvassa 12 on betonimurskekesä varastointialueella.



Kuva 12. Betonimurskekasaa varastointialueella

Valmis betonimurske varastoidaan elementtitehtaan tontilla sille varatussa kulmauksessa. Varastointialue sijaitsee tontin sellaisella alueella, josta betonimurskeen nouto ja lastaus ovat helppoa, eivätkä häiritse elementtitehtaan muuta toimintaa. Tuote varastoidaan yhteen kasaan, joka koostuu usein kahdesta kerroksesta. Hienojakoisempi ja kosteampi materiaali pyritään varastoimaan betonimurskekasaa päälle, jotta se kuivaa paremmin. Lastaus tapahtuu päällystetyllä alueella, josta pyöräkuormaajan kauhasta tippuneet betonimurskekapaleet on helppo kerätä pois. Tällöin lastaus- ja varastointialueen kunnossapito on helppoa ja alueet pysyvät siistinä. Valmiista betonimurskeesta otetaan liukoisuustesti. Liukoisuustestin edellytyksenä on se, että testi otetaan vasta silloin, kun murskaus on saatu päätökseen ja betonimurske on siirretty kasalle. Tällä varmistetaan siitä, että liukoisuustesti koskee kokonaista valmistuserää, eikä kasassa ole sellaista tuotetta, mitä ei ole testattu.

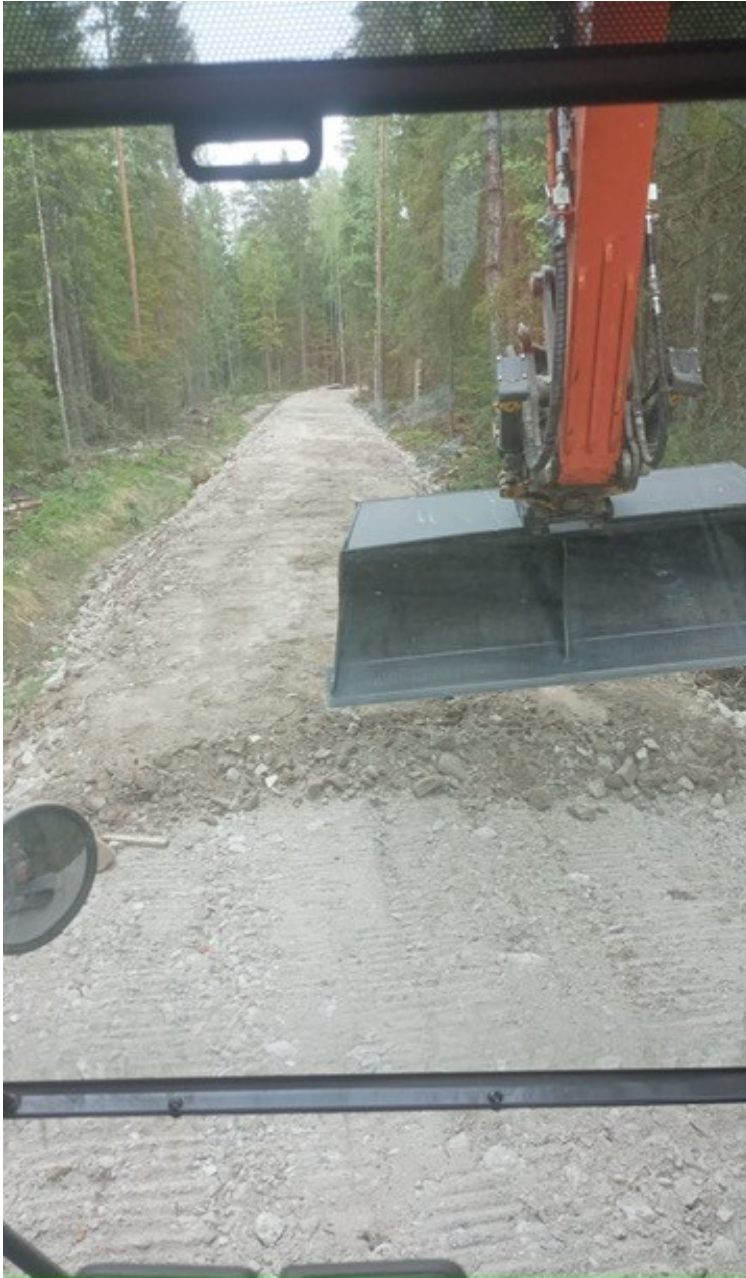
4.3 Betonimurskeen käyttökohteet

Elementtitehdas vastaa betonimurskeen laadusta, ominaisuuksista ja vaatimuksista aina murskeen hyödyntämisen loppuun asti. Toimeksiantaja sen sijaan vastaa betonimurskeen

asentamisesta ja siihen liittyvistä töistä, kuten kerrospaksuuksista ja tiivistämisestä. Toimeksiantajan mukaan betonimurskeen hyödyntämisen potentiaalia rajoittaa materiaaliin kohdistuvat ennakkoluulot sen toimivuudesta verrattuna luonnonkiviaineksiin ja murskeen ympäristövaikutukset. Betonimurskeen valintaan eniten vaikuttaa mahdolliset korkeat kuljetuskustannukset, jos tuotetta ei ole saatavilla lähistöllä. Tällöin hinta usein ratkaisee, hyödynnetäänkö betonimursketta kohteessa edullisemmän tai helpommin saatavilla olevan muun materiaalin sijaan.

Toimeksiantajan betonimurskeen käyttökohteita ovat tierakenteet, pysäköintialueet, tontti-alueiden laajennukset ja rakennusten pohjarakenteet. Käyttökohteisiin betonimurske kuljetetaan elementtitehtaan betonimurskeen varastointialueelta kasettiautoilla. Täyteen lastattu kasettiauto voi toimittaa maksimissaan 50 tonnia betonimursketta yhdellä kerralla. Käyttökohteet sijaitsevat noin 50 kilometrin säteellä betonimurskeen varastointipaikasta.

Tierakenteissa betonimursketta hyödynnetään jakavassa kerroksessa. Betonimurske levitetään tierakenteeseen kaivinkoneella tai tiehöylällä. Jakavan kerroksen jälkeen lisätään muut rakennekerrokset, kuten kantavakerros ja päällyste. Kesällä 2024 betonimursketta hyödynnettiin metsäautotien rakenteessa. Jakavaan kerrokseen hyödynnettiin betonimursketta noin 500 millimetrin kerros, jonka jälkeen kantava kerros tehtiin luonnonsorasta. Kohteessa betonimursketta hyödynnettiin yhteensä noin 500 tonnia. Kuva 13 kuvastaa kesän 2024 kohdetta.



Kuva 13. Betonimurskeen levittäminen kaivinkoneella tien jakavaan kerrokseen

Eräässä kohteessa toimeksiantaja laajensi tontin piha-alueita betonimurskeella, jotta pysäköinnille sekä varastoinnille saatiin lisää tilaa. Laajennuksessa käytettiin louhetta, jonka päälle tehtiin betonimurskekerros. Betonimurskekerroksen päälle tuli kalliomurskekerros, jonka jälkeen osittainen asfalttipäällyste. Tonttialueella betonimursketta käytettiin myös suoraan pohjamaan päällä. Betonimursketta käytettiin kohteessa noin 500 millimetrin kerros. Kuva 14 kuvaa betonimurskeen käyttöä kohteen piha-alueen laajennuksessa.



Kuva 14. Betonimurskekerros tontin piha-alueen laajennus työmaalla

Toimeksiantaja on myös toteuttanut asfalttikentän pohjatyöt hyödyntäen betonimursketta, kuten kuvasta 15 on nähtävillä. Asfalttikentän jakavakerros tehtiin betonimurskeesta. Kohteessa betonimursketta hyödynnettiin paksuissa kerroksissa. Betonimurskekerroksen päälle kantavaan kerrokseen laitettiin kalliomursketta ja sen päälle asfalttipäällyste. Kohteessa betonimursketta hyödynnettiin tuhansia tonneja. Pohjatöiden ja päällystämisen valmistuttua kentälle pystytettiin pressuhalli.



Kuva 15. Asfalttikentän pohjatyöt, jotka on toteutettu betonimurskeella

Asfalttikenttää rakennettaessa täytöt tehtiin kerroksittain, jolloin jokainen kerros tiivistettiin valssijyrällä. Betonimurskekerroksien jälkeen päälle tehtiin kerros kalliomurskeesta, joka myös tiivistettiin valssijyrällä kauttaaltaan. Kuvassa 15 näkyy projektissa käytetty valssijyrä.

5 Ylimääräinen sidosaine

Elementtitehtaalla, jossa toimeksiantaja toimii urakoitsijana, syntyy myös ylimääräistä sidosainetta. Sidosaime koostuu pääosin ylimääräisestä betonimassasta, joka valutöiden jälkeen pestään ontelolaattapedeiltä pesualtaaseen. Pesualtaassa ylimääräinen betonimassa on jatkuvasti veden alla, jolloin massa ei kovetu. Sidosainetta varastoidaan pesualtaassa, josta se siirretään ulos kuivamaan sille varattuun altaaseen odottamaan jatkokäsittelyä. Sidosainetta syntyy myös hieman esikäsitellyn eli pulveroinnin tai iskuvasaroinnin yhteydessä. Betonijättekappaleita pulveroidessa sidosaine valuu esikäsitellyn kasan pohjalle, jolloin murskauksessa kasan pohjalta tulee huomattavasti hienorakeisempaa materiaalia kuin muualta kasasta. Elementtitehtaan sivutuotteena syntyvää sidosainetta kertyy vuosittain noin 600 tonnia.

Ylimääräinen sidosaine on kuivana koostumukseltaan jauhomaista, mutta helposti paakkuuntuvaa. Märkänä sidosaine on taas tiivistä "liejua", joka muistuttaa märkää savea. Kuivanut sidosaine muuttuu nopeasti liejumaiseksi, jos se altistuu vedelle. Sidosaimeeseen liittyviä ongelmia ovat pääsääntöisesti varastointi ja kuivattaminen. Sidosainetta tulisi varastoida maksimissaan noin 100 millimetrin kerroksessa, jotta se kuivaisi tehokkaasti. Tämä kuitenkin aiheuttaa ongelmia varastoinnin suhteen, sillä jos sidosainetta on suuria määriä, vaatisi sen kuivattaminen pinta-alaltaan suuren alueen. Betonimassan tavoin myös sidosaine on emäksistä ja sidosaimeen pH-arvo on noin 12–13. Kuvassa 16 on kuivanutta sidosainetta.



Kuva 16. Kuivanut sidosaine

Tällä hetkellä toimeksiantaja on pyrkinyt hyödyntämään sidosainetta betonimurskeen sekaan tarvittaessa, jos betonimurske ei ole sisältänyt tarpeeksi hienoa ainesta. Toimeksiantaja lisää sidosainetta betonimurskeen sekaan vain pieniä määriä ja ainoastaan tarvittaessa. Sidosaainetta pyritään lisäämään mahdollisimman vähän, jotta murskeen laatuluokka pysyy samana eli BeM I:nä. Betonimurskeen sekaan sidosainetta lisätään vasta murskauksen jälkeen, sillä suuri määrä sidosainetta hidastaa leukamurskaimen toimintaa. Jos sidosainetta lisätään betonimurskeen sekaan, tulee varmistua säännöllisestä lisättävän sidosaineen määrästä ja sekoittumisesta, jotta valmis tuote on tasalaatuista sekä laatuvaatimukset täyttävää.

Ylimääräisen sidosaineen hyödyntäminen on ongelmallista, sillä esimerkiksi maanparannukseen käytettäessä sidosaine ei saisi sisältää yhtään betonikappaleita. Jos sidosaine kuitenkin saadaan talteen siten, ettei se sisällä raekooltaan suuria kappaleita, on sen levittäminen esimerkiksi pelloille mahdollista. Sidosaaineen käyttöä voisi harkita esimerkiksi pelloille levitettävän kalkin tilalle. Viljelysmaita kalkitaan säännöllisesti, jotta peltojen pH-arvot pysyvät optimaalisina viljeltäville kasveille. Kalkkia levitetään pelloille tarpeen mukaan noin

5000 kilogrammaa per hehtaari. Kalkituksen määrä vaihtelee viljeltävän kasvin optimaalisen pH-arvon mukaan. Useimpien kasvien ideaali pH-arvo on noin 5,5–7,5 pH-arvovyökön välillä. Elementtitehtaan sivutuotteena syntyvällä sidosainemäärällä voitaisiin käsitellä noin 120 hehtaaria peltoa. Sidosaineen tehokkain levitystapa olisi märkäkalkitukseen käytettävä kalkitusvaunu.

Sidosaineen hyödyntämisessä on kuitenkin otettava huomioon tuotteen käyttöön vaadittavat luvat ja asetukset. Tuotteen vieminen markkinoille vaatisi sen, että tuotteesta mitataan liukoisuudet liukoisuustodistusta varten ja sille haetaan CE-merkintä. Tuotteen vieminen markkinoille saattaa vaatia muitakin lupamenetelmiä liittyen sen ympäristövaikutuksiin.

Maanparantamiseen liittyen opinnäytetyön tekijä toteutti pienen kokeen, jonka tarkoituksena oli selvittää sidosaineen vaikutusta vanhan perunapellon pH-arvoon. Kokeilun alueena oli yhden neliömetrin kokoinen alue vanhasta perunapellosta. Mittaussyvyys oli noin 300 millimetriä ja yhden neliömetrin alueelle sekoitettiin noin 16 kilogrammaa sidosainetta. Mittausalueen tilavuus oli noin 300 litraa ja sidosainetta lisättiin 40 litraa. Tällöin kokonaisuudesta 11,8 prosenttia oli sidosainetta. Kuvassa 17 on kokeilussa käytetty mittauslaite.



Kuva 17. Mittauslaite, jonka mittausvyvyys noin 300 millimetriä

Mittausalue jaettiin viiteen osaan, jotta mittauksia tehdessä saataisiin mahdollisimman tarkka tulos. Kuva 18 on otettu mittausalueesta ja siihen on merkittynä pH-arvojen mittauskohdat yhdestä viiteen. Jos mittaus olisi otettu vain yhdestä kohdasta, olisi siinä voinut olla esimerkiksi sidosainepaakku, eikä mittaus tällöin olisi ollut realistinen. Ennen mittausaluetta kasteltiin vedellä kauttaaltaan. Taulukossa 4 näkyy sidosaineen vaikutus koealueen pH-arvoon ja mittauksien aikavälit.



Kuva 18. Mittausalue, johon merkittynä mittauspisteet

Aikaväli →	Ilman sidos-	24 h	1 vko	1 kk	4 kk
Mittaus-	ainetta				
piste↓					
1	6,7	6,7	6,9	7,2	8,1
2	6,7	6,8	7,0	7,3	8,3

3	6,4	6,9	6,9	7,2	7,9
4	6,7	6,9	6,8	7,1	7,8
5	6,5	6,7	6,9	7,0	8,0

Taulukko 4. Sidosaineen aiheuttamat pH-arvojen muutokset

Taulukossa 4 on kuvattuna mittauspisteiden pH-arvojen muutokset. Mittausaikaväli oli 24 tunnista neljään kuukauteen. Kokeilu aloitettiin mittaamalla mittauspisteiden pH-arvot ennen sidosaineen lisäämistä, jotta saatiin tietää pisteiden lähtöarvot. Alkumittauksien jälkeen koealueelle lisättiin sidosainetta, joka sekoitettiin perusteellisesti maaperään. Mittauspisteistä mitattiin alueen pH-arvoja taulukossa näkyviltä aikaväleiltä. Esimerkiksi kuukausi sidosaineen lisäämisen jälkeen oli pH-arvo noussut 0,5 yksikköä mittauspisteessä yksi. Pisteessä kaksi pH-arvo nousi mittausaikavälin aikana eniten, 1,6 yksikköä, kun taas pisteessä neljä pH-arvo nousi vähiten eli 1,1 yksikköä. Tuloksia tulkitessa on kuitenkin otettava huomioon mahdolliset virheet ja mittauksen olosuhteet. Alussa sidosaineen lisäämisen jälkeen tehty sekoitus ei välttämättä ole ollut tasaista, jolloin sidosainetta on paikoittain voinut olla enemmän tai vähemmän. Myös mittaussyvytydessä ja tarkassa mittauskohdassa on voinut tapahtua vaihtelua.

6 Valmistusprosessin, varastoinnin ja hyödyntämisen tehostaminen

6.1 Valmistusprosessin ja varastoinnin tehostaminen

Valmistusprosessin, varastoinnin ja hyödyntämisen tehostamisen kannalta on otettava huomioon toimeksiantajan toiminnan rajallisuus. Toimeksiantaja vastaa betonimurskeen valmistuksesta, murskeeseen liittyvistä asennustöistä ja osittain markkinoinnista. Elementti-tehdas vastaa betonimurskeen osalta kaikesta muusta, kuten laadusta ja ominaisuuksista. Tämän takia betonimurskeeseen liittyvän toiminnan tehostamisessa otetaan huomioon vain ne osa-alueet, joihin toimeksiantaja voi vaikuttaa.

Betonimurskeen valmistusprosessia pystyisi tilaajan näkökulmasta tehostamaan betonijätteidien selkeällä järjestelyllä sekä kalustohankinnoilla ja ylläpidolla. Esikäsittelyvaihetta pystytään tehostamaan järjestelemällä erilaiset betonijätteet selkeästi toisista erilleen. Esimerkiksi pulveroitavat ontelolaatat tulisi olla erilleen ylijäämämassasta koostuvista betonikapaleista, koska ne vaativat iskuvasarointia. Tämä tehostaa esikäsittelyvaihetta siten, että pulverointia ja iskuvasarointia vaativat betonijätteet ovat omissa kasoissaan eikä esimerkiksi pulverointikouralla tarvitse penkoa sekalaisista kasoista ontelolaattoja, mikä on erittäin aikaa vievää. Esikäsittelyvaihetta voidaan tehostaa myös pulverointikouran kulutusosien eli niin sanottujen hampaiden ylläpidolla. Pulverointikouran kulutusosien kunto vaikuttaa huomattavasti pulveroinnin tehokkuuteen, sillä betonijättekappaleet murenevat huomattavasti pienemmällä voimalla, kun kouran hampaat ovat terävät. Pulverointikouran hyvä kunto auttaa myös huomattavasti raudoitusten poistamiseen betonijätteistä, sillä ohuet raudoitukset tippuvat herkästi kuluneen pulveroijan välistä. Pulverointikouran kulutusosien ylläpito auttaa myös kouran runkorakennetta, sillä kulutusosien ollessa hyväkuntoiset, ei kouran käyttäminen vaadi niin paljoa voimaa ja koura olisi vähemmällä rasituksella. Huonokuntoiset kouran kulutusosat laskevat kouran tehokkuutta jopa 30–40 prosenttia. Jos esimerkiksi hyväkuntoisella kouralla saadaan pulveroitua materiaalia noin kahdeksan kuutiota tunnissa, olisi kuluneella kouralla tuotto vain noin 5–6 kuutiota tunnissa. Kouran ollessa jokapäiväisessä käytössä, tulisi kouran kuntoa ylläpitää vähintään kahden viikon välein. Tällöin koura pysyisi hyväkuntoisena ja pulverointi olisi jatkuvasti tehokasta.

Murskaamista pystyttäisiin tehostamaan kokeilemalla erilaista kalustoa. Oikeanlainen iskupalkkimurskain mahdollisesti kykenisi murskaamaan ontelolaattoja sellaisenaan, eikä pulveroinnille olisi tarvetta. Tämän tyyppisen iskupalkkimurskaimen kokeileminen voisi tehostaa prosessia. Tehostamisessa on otettava kuitenkin huomioon myös kustannukset. Jos uusi tai erilainen kalusto on huomattavasti kalliimpaa ja tuotannon tehokkuus ei kasva suuresti, ei se silloin ole kannattavaa.

Betonimurskeen varastointia voidaan tehostaa hyödyntämällä hienorakeinen ja märkäaines betonimurskekan päällä, jolloin sen on mahdollista kuivua kauttaaltaan. Märkä ja hienorakeinen kerros tulee varastoida kasan päälle yhteen kerrokseen, sillä sen päällä ajamisen liukkauden takia ei ole turvallista. Tuote ei myöskään saisi tiivistyä, jotta sen kuivuminen olisi tehokasta. Kun märkä ja hienorakeinen materiaali saa rauhassa kuivua kasan päällä, sekoittuu se hyvin betonimurskeen sekaan, kun sitä lastataan kuorma-autoihin.

6.2 Hyödyntämisen tehostaminen

Betonimurskeen hyödyntämisen tehostaminen ei niinkään liity tiettyihin kohteisiin vaan enemmänkin betonimurskeen mahdolliseen potentiaaliin. Betonimurskeen markkinointia tulisi kehittää niin, että ymmärrettäisiin betonimurskeen mahdollisuus luonnonkiviainesten korvaajana. Parhaimpia betonimurskeen markkinoijia olisivat suunnittelijat. Suunnittelijoilla olisi jo projektin alussa mahdollisuus ilmaista betonimurskeen käytön mahdollisuus. Jos suunnitelmissa ilmoitettaisiin, että betonimursketta voidaan hyödyntää, voisi urakoitsijat tarjouslaskelmissaan ottaa tämän jo huomioon. Jos myöhemmässä vaiheessa projektia selviää, että betonimursketta olisi voitu hyödyntää, on se silloin jo myöhäistä. Betonimurskeen hyödyntäminen vaatii lupaprosesseja, joille urakan myöhäisemmässä vaiheessa ei välttämättä ole enää aikaa tai mahdollisuuksia. Toimeksiantajan keinoja betonimurskeen hyödyntämisen tehostamiseen olisi tuotteen laajempi markkinointi. Toimeksiantaja voisi mainostaa verkkosivuillaan betonimursketta, jotta sen hyödyntämisen mahdollisuus olisi potentiaalisten asiakkaiden tietoisuudessa. Verkkosivuilla voisi esimerkiksi olla maininta betonimurskeesta, sen laatuluokasta, saatavilla olevasta määrästä, hinnoittelusta sekä tietoa tuotteen soveltuvuudesta eri kohteisiin ja rakennekerrokseen, kuten jakavaan kerrokseen. Betonimurskeen laajemmalla markkinoinnilla ja toimeksiantajan verkkosivutiedoilla voitaisiin tavoittaa sellaisia asiakkaita, jotka ovat suunnitteluvaiheessa ja betonimurskeen hyödyntäminen voisi olla mahdollista heidän kohteessaan.

Uuden rakentamislain myötä toimeksiantaja on pyrkinyt lisäämään betonimurskeen käyttöä. Betonimurskeen hyödyntämisen lisäksi toimeksiantaja on investoinut uudempaan ja ympäristöystävällisempään kuljetuskalustoon ja työkoneisiin. Tämänlaisia hankintoja ovat olleet esimerkiksi Euro 6 -päästöluokan kuorma-auto ja Stage V -päästöluokan kaivinkone. Uutta kalustoa hyödynnetään betonimurskeen kuljettamiseen ja asentamiseen. Toimeksiantaja siis tukee uutta rakentamislakia ja kiertotaloutta valmistamalla ja hyödyntämällä betonimursketta ja päivittämällä kalustoa ympäristöystävällisemmäksi. Tulevaisuudessa toimeksiantaja voi säännöllisesti ylläpitää ja päivittää kalustoa uudempaan ja ympäristöystävällisempään. Tällä tavoin kalusto olisi aina hyväkuntoinen ja toiminta olisi tehokasta kunnossa

olevalla kalustolla. Kaluston ylläpitäminen ja päivittäminen on tärkeää niin valmistusprosessin kuin hyödyntämisen tehostamisen kannalta.

Päijät-Hämeen alueella on useita yrityksiä, jotka valmistavat ja myyvät betonimursketta. Yritykset, jotka tarjoavat betonimurskeeseen liittyviä palveluita, voisivat tarvittaessa tehdä yhteistyötä ja toimittaa betonimursketta suurempiin hankkeisiin. Tällä hetkellä toimeksiantajan betonimurskeen hyödyntämistä rajoittaa osin myös materiaalin määrä. Toimeksiantajan betonimurskeen määrä ei välttämättä riitä suuriin hankkeisiin, jolloin toimeksiantaja voisi tehdä yhteistyötä muiden yritysten kanssa. Tällä tavoin Päijät-Hämeen alueella suurissa hankkeissa voitaisiin hyödyntää enemmän betonimursketta.

7 Yhteenveto ja pohdinta

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli etsiä keinoja tehostaa betonimurskeen valmistusta ja hyödyntämistä Päijät-Hämeen alueella Maansiirto Dahl Oy:n näkökulmasta. Opinnäytetyössä esitellään toimeksiantajan betonimurskeen valmistusprosessia ja betonimurskeen hyödyntämiseen liittyviä kohteita. Maansiirto Dahl Oy valmistaa betonimursketta noin 4000–6000 tonnia vuodessa. Yritys on valmistanut betonimursketta samalla menetelmällä jo useita vuosia. Opinnäytetyössä huomioitiin lisäksi myös betonimurskeen valmistuksen ja hyödyntämisen vaikutuksia kiertotalouteen ja hiilidioksidipäästöihin.

Opinnäytetyössä pohdittiin myös mahdollisia käyttökohteita ja vaikutuksia elementtitehtaassa syntyvälle ylimääräiselle sidosaineelle. Tällä hetkellä toimeksiantaja on hyödyntänyt sidosainetta betonimurskeen seassa, jos murske on ollut liian karkeaa. Opinnäytetyöprosessin aikana sidosaineen hyödyntämisestä suoritettiin pieni kokeilu, jossa mitattiin maaperän pH-arvoa sidosaineen lisäämisen jälkeen. Kokeilun tarkoituksena oli selvittää, kuinka paljon sidosaine vaikuttaa mahdollisesti maaperän pH-arvoon. Kokeilun mittausalueen pisteiden pH-arvot nousivat sidosaineen lisäämisen jälkeen. Tulevaisuudessa toimeksiantaja voisi markkinoida ja hyödyntää sidosainetta erillisenä tuotteena. Tällä tavoin ylimääräinen aine saataisiin hyödynnettyä järkevästi ja kiertotaloutta edistävästi. Sidosaineen mahdolliset käyttökohteet voisivat olla esimerkiksi pelloille levitettävän kalkin korvaajana tai muu maanparantaminen.

Toimeksiantajan mahdollisia keinoja hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi toiminnassaan olisivat uudet kalustohankinnat ja nykyisen kaluston ylläpito. Uutta ympäristöystävällisempää kalustoa olisivat esimerkiksi matalan päästöluokan koneet, kuten Stage V -kaivukone. Betonimurskeen valmistuksessa uudempi ja ympäristöystävällisempi kalusto mahdollistaisi entistä pienemmät hiilidioksidipäästöt. Uudemman kaluston hankintaa on kuitenkin arvioitava tarkasti, koska betonimurskeen valmistus ei ole kokoaikaista ja uuden kaluston hankinta vain kyseistä tehtävää varten ei olisi kustannustehokasta. Jos tulevaisuudessa toiminta betonimurskeen valmistuksen ja hyödyntämisen osalta kasvaa, olisi silloin kiertotalouden ja ympäristöystävällisyyden kannalta tärkeää harkita erilaista valmistusmenetelmää ja kalustohankintoja. Esimerkiksi iskupalkkimurskausta voitaisiin tällöin kokeilla pulveroinnin ja leukamurskaimen sijasta, koska iskupalkkimurskaus on tehokkaampaa ja poistaa yhden työvaiheen betonimurskeen valmistusprosessista.

Toimeksiantajan kannalta kiertotaloutta edistävää toimintaa ovat betonimurskeen valmistaminen ja hyödyntäminen sekä niiden tehostaminen entistä ympäristöystävällisemmäksi. Omalla toiminnallaan toimeksiantaja säästää luonnonkiviaineksia valmistamalla betonimursketta ja hyödyntämällä sitä mahdollisimman monessa kohteessa. Betonimurskeen

valmistusprosessi elementtitehtaan yhteydessä myös edistää kiertotaloutta, koska betonijätteet käsitellään tehtaan tontilla eikä jätteiden kuljetusta tällöin vaadita. Betonimurskeen valmistusprosessin ympäristöystävällisiä puolia ovat myös murskauksen ja varastoinnin lyhyet välimatkat. Tällöin polttoainetta säästyy huomattavasti ja hiilidioksidipäästöt ovat pienet, koska toiminta sijoittuu pienelle alueelle. Toimeksiantajan valmistamaa betonimursketta noutavat asiakkaat myös edistävät kiertotaloutta valitsemalla betonimurskeen luonnonkiviaineksien sijaan. Hyödyntämistä voitaisiin tehostaa entisestään myös paremmalla markkinoinnilla. Tulevaisuudessa toimeksiantaja voisi markkinoida betonimursketta enemmän, jolloin betonimurskeen hyödyntämisen mahdollisuudet tulisivat suuremman yleisön tietoon. Päijät-Hämeen alueella betonimurskeen hyödyntämistä yleisesti voisi tehostaa niin, että suunnittelijat huomioisivat ajoissa betonimurskeen käytön mahdollisuudet eri kohteissa luonnonkiviainesten sijaan.

Suomessa betonimurskeen käyttö on yleistynyt, mutta tulevaisuudessa betonimurskeen hyödyntäminen tulee varmasti kasvamaan ja valmistusmenetelmät kehittymään. Päijät-Hämeessä betonimurskeen tuottajia on useita ja tästä syystä sen hyödyntämistä tulisi lisätä. Jatkossa voitaisiin tehdä uusi tutkimus, kuinka paljon valmistusprosessin ja hyödyntämisen tehostaminen on vaikuttanut ja mitä uusia keinoja on edistää prosesseja.

Lähteet

Autiotalo, M. & Niemelin, T. 2018. Kiertotalous maarakentamisessa, mitä, miksi, miten? Circwaste. Viitattu 27.10.2024. Saatavissa [https://www.kiertotalousratkaisuja.fi/fi-FI/Ajan-kohtaista/Circblog/Kiertotalous_marakentamisessa_mita_miks\(45647\)](https://www.kiertotalousratkaisuja.fi/fi-FI/Ajan-kohtaista/Circblog/Kiertotalous_marakentamisessa_mita_miks(45647))

Dettenborn, T., Teittinen, T. & Pahkakangas, S. 2020. Uusiomaarakentamisen päästölaskenta. Ramboll. Viitattu 15.1.2025. Saatavissa <https://uusiomaarakentaminen.fi/wp-content/uploads/sites/5/2023/09/Uusiomaarakentamisen-paastolaskenta.pdf>

Euroopan parlamentti. 2023. Mitä kierrätys on ja miksi sillä on merkitystä? Viitattu 25.10.2024. Saatavissa <https://www.europarl.europa.eu/topics/fi/article/20151201STO05603/mita-kiertotalous-on-ja-miksi-silla-on-merkitysta>

Fibo Intercon. What are Recycled Concrete Aggregates (RCA). Viitattu 11.10.2024. Saatavissa <https://fibointercon.com/articles/recycled-concrete-aggregate/>

Forsman, J. & Dettenborn, T. 2019. Betonimurske kaupunkien julkisessa maarakentamisessa. Helsingin kaupunki. Viitattu 10.10.2024. Saatavissa <https://www.hel.fi/static/hkr/julkaisut/ohjeet/betonimurske.pdf>

Helsingin, Espoon ja Vantaan kaupunki. 2015. Betonimurskeen hyödyntäminen infrarakentamisessa pääkaupunkiseudulla. Maisemabetoni. Viitattu 10.10.2024. Saatavissa <https://maisemabetoni.fi/wp-content/uploads/2013/08/betonimurskeen-hyodyntminen-infrarakentamisessa-pkaupunkiseudulla.pdf>

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

Härkönen, T. 2024. Betonimurskeen piilevä potentiaali. Betoni. Nro 3/2024. Viitattu 15.1.2025. Saatavissa <https://betoni.com/lehti/2024/10/01/betonimurskeen-piileva-potentiaali/>

Infra. 2021. Betonimurskeiden tekninen soveltuvuus ja käyttö tierakenteissa. Viitattu 13.9.2024. Saatavissa https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/Betonimurske%20teknisen%20soveltuvuuden%20arviointi_web.pdf

K&B Crushers. 2024. Crushed concrete and recycling. Viitattu 11.10.2024. Saatavissa <https://www.kandbcrushers.co.uk/concrete-crushing-and-recycling/>

Kekkonen, T. 2023. Betonimurskeen hiilensidonta. Betonivartti. Viitattu 15.1.2025. Saatavissa https://betoni.com/wp-content/uploads/2023/09/Betonivartti_4.9.2023_Betonimurskeen-Hiilensidonta.pdf

Kiertotalous-Suomi. a. Mitä hyötyä kiertotaloudesta on? Viitattu 25.10.2024. Saatavissa <https://kiertotaloussuomi.fi/tieto/hyodyt/>

Kiertotalous-Suomi. b. Kiertotalouden ympäristöhyödyt. Viitattu 25.10.2024. Saatavissa <https://kiertotaloussuomi.fi/tieto/hyodyt/ekologiset-hyodyt-ymparistohyodyt/>

Kiertotalous-Suomi. c. Taloudelliset hyödyt. Viitattu 25.10.2024. Saatavissa <https://kiertotaloussuomi.fi/tieto/hyodyt/taloudelliset-hyodyt/>

Kiertotalous-Suomi. d. Kiertotalouden sosiaaliset hyödyt. Viitattu 25.10.2024. Saatavissa <https://kiertotaloussuomi.fi/tieto/hyodyt/sosiaaliset-hyodyt/>

Komplet. Pros and cons of using crushed concrete. Viitattu 10.10.2024. Saatavissa <https://kompletamerica.com/pros-and-cons-of-using-crushed-concrete/>

Kunnas, T. 2023. Betonimurske – jätettä vai ei? Ja mitä väliä sillä on? Betoni-verkkolehti. Nro 1/2023. Viitattu 12.10.2024. Saatavissa <https://betoni.com/lehti/2023/03/03/betonimurske-jatetta-vai-ei-ja-mita-valia-silla-on/>

Lehtonen, K. 2018. Betonimurskeohje. Viitattu 13.9.2024. Saatavissa file:///C:/Users/ollid/Downloads/Betonimurskeohje_181029.pdf

Ollikainen, S., Dettenborn, T. & Forsman, J. 2024. Betonimurske kaupunkien julkisessa maanrakentamisessa. Viitattu 10.10.2024. Saatavissa https://uusiomaarakentaminen.fi/wp-content/uploads/sites/5/2024/04/2024_04_29_Betonimurske-kaupunkien-julkisessa-maanrakentamisessa_lukittu.pdf

Rakennuslehti. Betonilla on positiivinen hiilikädenjälki. Viitattu 15.1.2025. Saatavissa <https://www.rakennuslehti.fi/mainos/betonilla-on-positiivinen-hiilikadenjalki/>

Rakennusteollisuus. Kiertotalous rakentamisessa. Viitattu 27.10.2024. Saatavissa <https://rt.fi/tietoa-alasta/ymparisto-ja-ilmasto/kiertotalous-rakentamisessa/>

Rakennustieto. 2024. Rakennustieto seuraa rakentamislain uudistusta. Viitattu 25.10.2024. Saatavissa <https://www.rakennustieto.fi/rakentamislaki>

Rakentamislaki 751/2023.

Saarinen, S. 2015. Kiertotalous toimii betonirakentamisessa. Betoni. Viitattu 27.10.2024. Saatavissa https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/10/BET1503_42-47.pdf

Tukes. CE-merkintä. Viitattu 25.10.2024. Saatavissa <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/ce-merkinta>

Valtioneuvoston asetus betonimurskeen jätteeksi luokittelun päättymisen arviointiperusteista 466/2022.

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 843/2017.

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa. 2019. Viitattu 20.10.2024. Saatavissa https://ym.fi/documents/1410903/38439968/MARA_soveltamishje_versio_020719-76828F77_2CD0_40E6_90ED_8D4ABBD81EC8-148047.pdf/7dbbfb52-a791-deb1-4550-0a1163dc2aa7/MARA_soveltamishje_versio_020719-76828F77_2CD0_40E6_90ED_8D4ABBD81EC8-148047.pdf?t=1603260912567

Väylävirasto. 2022a. Betonijätteen käsittely ja käyttö väylähankkeissa. Viitattu 10.10.2024. Saatavissa https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2022-43_Betonijate_web.pdf

Väylävirasto. 2022b. Uusiomateriaalien käyttö väylärakentamisessa. Viitattu 7.1.2025 Saatavissa https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2022-20_uusiomateriaalien_kaytto_web.pdf

Ympäristöministeriö. Rakentamisen kiertotalous. Viitattu 27.10.2024. Saatavissa <https://ym.fi/rakentamisen-kiertotalous>