

**Betonimurskeen tuotteistaminen ja tasalaatuisuuden
tarkastelu teknisten laadunvalvontatulosten avulla**



Ylemmän ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Visamäki, Rakentaminen

Syksy, 2019

Jani Pieksamä

Rakentaminen
Visamäki

Tekijä	Jani Pieksemä	Vuosi 2019
Työn nimi	Betonimurskeen tasalaatuisuuden osoittaminen teknisten laadunvalvontatulosten avulla	
Työn ohjaaja	Markku Raimovaara	

TIIVISTELMÄ

Betonimurske (BeM) on betonijätteestä murskattua tuotetta, jolla maanrakentamisessa korvataan luonnonkiviainesta. Tässä työssä tarkastellaan betonimurskeen teknisiä ominaisuuksia. Tällä hetkellä suuri osa betonimurskeista hyödynnetään toisarvoisissa käytöissä, vaikka materiaalia laadukkaasti jalostettuna voidaan käyttää täysin korvaamaan neitseellistä materiaalia korkealuokkaisissa rakennekerroksissa. Materiaalin hukkaaminen tulee valvotun teknisen laadunvalvonnan yleistyessä vähenemään. Samalla laboratoriotasoinen laaduntarkkailu lisää materiaalin luotettavuutta ja sitä kautta arvoa. Betonimurskeen korkea hyödyntäminen on myös ratkaisevassa asemassa, jotta EU:n asettamat kierrätystavoitteet toteutuvat Suomessa rakennusjätteiden osalta.

Työn lähtöaineistona ovat Rudus Oy:n tuotteistaman Betoroc BeM I ja II betonimurskeiden laadunhallintatulokset vuosilta 2009–2017. Tutkimuksen kohteena olevat parametrit ovat rakeisuus ja puristuslujuus. Tulosten avulla osoitetaan tuotteelle tehdyn laadunvalvonnan pitkäjänteisyys ja tuotetun materiaalin tasalaatuisuus. Tutkittuja tuloksia on verrattu käytössä olevien maanrakennusmateriaalien yleisten ohjeiden laatuvaatimuksiin, jotka työssä tehdyn tarkastelun mukaan betonimurske täyttää. Näiltä osin betonimurske täyttää myös jätteen luokittelun päättymisen edellytykset, eli end-of-waste -kriteerit. Yleisenä johtopäätöksenä voidaan todeta, että Rudus Oy:n pitkäjänteisellä työllä betonimurskeen laadun seurannassa on suuri merkitys materiaalin käytön kehitykselle.

Avainsanat betonimurske, betonimurskeen laatu, YAMK

Sivut 54 sivua, joista liitteitä 2 sivua

Degree Programme in Construction and Environmental Engineering
Visamäki

Author	Jani Pieksemä	Year 2019
Subject	Examination of the quality of the crushed concrete by technical quality control results	
Supervisor	Markku Raimovaara	

ABSTRACT

Crushed concrete aggregate (CCA) is a crushed product of concrete waste, which replaces natural stone in civil engineering. The thesis examines the technical characteristics of CCA. A large proportion of CCA's are utilized in secondary uses, although high quality material processing can be used to completely replace virgin material in high-quality structural layers. Material loss will be reduced as controlled technical quality control becomes more common. At the same time, laboratory-level quality control increases the reliability and, therefore, the value of the material. High utilization of crushed concrete is also crucial for meeting the EU recycling targets for construction waste in Finland.

The material of the study is the quality management results of Betoroc (CCA trademark owned by Rudus Oy) I and II CCA's produced by Rudus Oy for 2009–2017. The studied parameters are granularity and compressive strength. The results demonstrate the long-term quality control of the product and the homogeneity of the material produced. The results have been compared with the quality requirements of the general guidelines for the construction materials used, which, according to this work, the crushed concrete achieved. In this respect, the CCA also fulfills the end-of-waste criteria. As a general conclusion, Rudus Oy's long-term work in monitoring the quality of concrete aggregate is of great importance for the development of the use of the material.

Keywords crushed concrete aggregate, CCA quality, YAMK

Pages 54 pages including appendices 2 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
1.1	Kehittämisiongelma	2
1.2	Opinnäytetyön viitekehys	2
2	KIERTOTALOUS	3
2.1	Suomen tavoitteet.....	3
2.2	Betonijätteen kierrätys Suomessa	4
3	BETONIMURSKE.....	6
3.1	Yleistä betonista	6
3.2	Betonimurske	7
3.3	Betonimurskeen valmistus	11
3.4	Epäpuhtauksien poistaminen.....	13
3.5	Betonimurskeen käyttö Suomessa.....	14
3.6	Betonimurske hiilinieluna	16
4	LAINSÄÄDÄNTÖ	17
4.1	Ympäristönsuojelulaki 527/2014	18
4.2	Jätelaki 646/2011	18
4.3	Valtioneuvoston asetus 843/2017	19
4.4	EU:n rakennustuoteasetus (EU) N:o 305/2011.....	21
4.5	Jätteeksi luokittelun päättymisen (EoW).....	23
5	BETONIMURSKEEN LAADUNVALVONTA	27
5.1	Betonimurskeen laatuluokat.....	27
5.2	EoW menettelyyn liittyvä valvonta	28
5.3	Laadunvalvontatutkimukset.....	29
5.3.1	Puristuslujuus	29
5.3.2	Rakeisuus	30
5.3.3	Litteysluvun määrittäminen	30
5.3.4	Muotoarvo.....	30
5.3.5	Iskunkestävyys.....	31
5.3.6	Tiheys.....	31
5.3.7	Kemialliset ominaisuudet	31
5.3.8	InfraRYL.....	32
6	LAADUNVALVONTATULOKSET.....	33
6.1	Rakeisuus.....	33
6.2	Puristuslujuus	35
7	TULOKSIEN ANALYSOINTI	37
7.1	Kappaleen iän vaikutus lujittumiseen (7 vrk ja 28 vrk)	37
7.2	Betonimurskeen laatuluokan vaikutus puristuslujuuteen	38

7.3 Toimipisteen vaikutus betonimurskeen puristuslujuuteen	39
8 JOHTOPÄÄTÖKSET	40
8.1 Tutkimustulosten arviointi	40
8.2 Päätelmät ja tulevaisuudennäkymät	41
LÄHTEET	42

LIITTEET

Liite 1	Rudus Oy:n valmistaman Betoroc betonimurskeen CE-merkintä
Liite 2	VÄYLÄ, betonimurskeen materiaalikortti, luonnos 18.3.2019

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

AVCP = tuotteen vaatimustenmukaisuuden osoittamistapaa osoittava luokitusjärjestelmä (Assessment and Verification of Constancy of Performance)

Betonimurske = Betonimurskeella (BeM I-IV) tarkoitetaan rakennustuotteiden valmistuksessa, rakennustuotannossa sekä rakenteiden ja rakennusten korjauksessa ja purkamisessa syntyvästä betonijätteestä murskattu tuotetta, joka voi sisältää tiiltä.

CE Conformité Européene = Tuotteen CE-merkki on tuotteen valmistajan vakuutus läpikäydyistä testeistä ja tuotteen kelpoisuudesta.

End of waste –kriteerit = kriteerit (ns. EoW -kriteerit), joiden perusteella materiaali lakkaa olemasta jätettä. Kriteerit perustuvat Euroopan parlamentin ja neuvoston jätedirektiiviin.

InfraRYL = Infra-alan yhdessä laatima kuvaus infrarakentamisen yleisistä laatuvaatimuksista. Se määrittää työn lopputuloksen rakennusteknisen laadun.

JL = Jätelaki 646/2011

Jäte = Jätelaissa (646/2011) jätteellä tarkoitetaan ainetta tai esinettä, jonka sen haltija on poistanut tai aikoo poistaa käytöstä taikka on velvollinen poistamaan käytöstä.

MARA-asetus = Valtioneuvoston asetus 843/2017 eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa.

YSL = Ympäristönsuojelulaki 527/2014

1 JOHDANTO

Suomessa on tehty useita tutkimuksia betonimurskeen hyödyntämiseen liittyen jo 1990-luvun alkupuolelta lähtien. Rudus Oy on ollut alusta alkaen mukana kehittämässä betonimurskeen hyödyntämiseen liittyviä laatu- luokituksia, teknisiä vaatimuksia sekä ympäristökelpoisuusmenetelmiä. Betonimurskeen raaka-aineiden, eli betonijätteiden kierrättäminen siinänsä sujuu hyvin ja vain pieni osa jätteistä jää kokonaan hyödyntämättä. Betonimurskeella rakentaminen ei juurikaan eroa luonnonkiviainesmurskeella rakentamisesta. Ongelmana on, ettei materiaalin potentiaalia saada parhaaseen mahdolliseen jatkokäyttöön kiviainesten korvaajana, vaan sitä hyödynnetään toisarvoisissa käytöissä, kuten täytemateriaalina. Osaltaan laadukkaasti valmistetun ja CE-merkityn tuotteen käyttöä rajoittaa sen nykyinen jätestatus.

EU edellyttää jäsenvaltioiden päättävän omilla säädöksillään tai tapauskohtaisesti jätteeksi luokittelun päättymisestä siltä osin kuin EU ei ole käyttänyt omaa toimivaltaansa. Jätelaissa ei ole kuvattu menettelyä, kuinka jätteeksi luokittelun päättymisestä (End of Waste = EoW) päätehdään tapauskohtaisesti. Ympäristöministeriön vuonna 2014 julkaistussa ohjeessa lausutaan, että ympäristölupamenettelyssä voidaan päättää jätteeksi luokittelun päättymisestä. Rudus Oy on hakenut tuotteistetun betonimurskeen (tuotenimi Betoroc) jätestatuksen päättymistä ympäristölupamenettelyissä, joiden käsittely on kesken. Ympäristöministeriön 2017 teettämässä selvityksessä: ”Jätteeksi luokittelun päättymisen hyödyt ja haitat” on todettu, että betonimurskeen osalta EoW-menettelyn vaikutukset ovat pääosaltaan positiivisia ja edistävät hyvälaatuisen kierrätysmateriaalin käyttöä. Selvityksessä mukana olleissa vertailumaissa kansallisella EoW- ja sivutuotesääntelyllä ei tunnistettu olevan merkittäviä haitallisia sivuvaikutuksia, ennemminkin on viitteitä positiivisista vaikutuksista. Ympäristöministeriö on aloittanut betonimurskeen EoW-menettelyn valmistelun.

Yleisenä jätelain ja jätedirektiivin kriteerinä jätteeksi luokittelun päättymiselle on, että aineen jatkokäytöstä on varmuus. Betoroc-tuotteille on selkeät markkinat ja Rudus Oy on myynyt valmistamansa Betoroc-tuotetta yli seitsemän miljoonaa tonnia. Betoroc täyttää sen suunniteltuun käyttöön liittyvät tuotetta sekä ympäristön- ja terveydensuojelua koskevat vaatimukset, eikä sen käyttö kokonaisuutena arvioiden aiheuta vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle. Asiaa on selvitetty CE-merkinnän yhteydessä sekä mm. Mara-asetuksen mukaisissa ympäristökelpoisuustestauksissa. Betoroc-murskeille tehdään tuotteistamisen yhteydessä teknistä laadunvalvontaa: mm. luokitteluja, rakeisuusseulontaa sekä seurataan murskeen puristuslujuutta.

1.1 Kehittämisiongelma

Työn kehittämisiongelman lähtöaineistona ovat Rudus Oy:n Betoroc-betonimurskeen laadunhallintatulokset seulonnan ja puristuslujuuden osalta vuosilta 2009–2017. Tulosten avulla voidaan osoittaa tuotteelle tehdyn laadunvalvonnan pitkäjänteisyys ja tuotetun materiaalin tasalaatuisuus. Taustalla on ongelma, jossa kaikkea betonista koostuvaa purkujätettä kutsutaan vaihtelevien käsittelymenetelmien jälkeen betonimurskeiksi ja tällä menettelyllä vahingoitetaan laadukkaiden materiaalien mainetta. Tuotteistamalla materiaali olemassa olevien kiviainesten laatuvaatimusten mukaiseksi, sekä jätestatuksen poistamisella, betonimurskeeseen liittyvät hyötykäytön rajoitukset vähenevät merkittävästi. Standardit sekä laatuvaatimukset täyttävän materiaalin luotettavuus ja sitä kautta kysyntä paranee, jolloin sen arvostus todennäköisesti myös nousee. Tutkimustuloksia voidaan hyödyntää mm. betonimurskeen laadunvalvonnan raja-arvojen kehittämisessä ja jätteeksi luokittelun päättymisprosessissa taustamateriaalina.

1.2 Opinnäytetyön viitekehys

Rudus Oy:llä on tallennettuna Betoroc-murskeen tekniseen laatuun liittyviä seurantatuloksia tuotteen valmistuksen alkuvaiheista, 90-luvulta lähtien. Tulosten käsittely sekä hyödyntäminen on järkevää jo siksi, ettei vastaavaa ole aiemmin Suomessa tehty. Olemassa olevaa materiaalia on perusteltua hyödyntää tuotteen laadun osoittamisessa sekä myös materiaalin markkinoinnissa. Esimerkkinä tulosten seurannasta on mm. se, että Betoroc-murskeelle on tehty yli 20 vuoden ajan kantavuuden seurantaa käytännön olosuhteissa. Seurannan yhteydessä on tehty rakenteiden vertailua perinteisillä kiviaineksilla tehtyihin vastaaviin haasteellisiinkin rakenteisiin, kuten moottoriteihin. Seurannassa saatujen tulosten perusteella kantavuus betonimurskeella valmistetuissa rakenteissa on jopa perinteistä kiviainesta parempi (Dettenborn 2013, Dettenborn 2015). Käsitellyn aineiston perusteella voidaan luotettavasti ennakoita ja osoittaa materiaalin laatu ja tuotteistetun betonimurskeen tuotantoprosessin tasalaatuisuus.

Työssä tarkastellaan betonimurskeeseen liittyviä lakeja, asetuksia, määräyksiä sekä tärkeimpiä ohjeita. Tutkimuksessa hyödynnetään olemassa olevaa laadunhallinta-aineistoa sekä hyödynnetään opinnäytetyön tekijän omia kokemuksia betonimurskeen valmistuksesta ja sen laadusta. Kuvaukset on laadittu tilastollista tarkastelua silmällä pitäen ja vertailu on tehty käytössä oleviin yleisiin materiaalin laatukriteereihin. Tutkimuksen kohteena olevat parametrit ovat rakeisuus ja puristuslujuus. Betonimurskeen seulontatestien tulosten hajonta on yksittäisten testien perusteella hyvin pientä. Oletusarvona on, että kaikki seulontatestit ovat InfraRYL:n määritteleminen rajojen sisällä. Puristuslujuuden osalta kokeiden määrä on vähäisempi ja odotettavaa on, että myös tulosten hajonta on suurempaa.

Tässä työssä käsitellään Betoroc-murskeesta tehtyjä tutkimuksia ja muodostetaan niiden perusteella kuva laadukkaasta tuotteesta, jonka pohjalta mm. tuotteen EoW-kriteerien määrittäminen on teknisen raekokoja-kauman ja puristuslujuuden osalta helpompaa. Aineistosta tehdyillä erilaisilla kuvaajilla havainnollistetaan seulontatulosten tilastollisten tunnuslukujen esittelyä.

2 KIERTOTALOUS

2.1 Suomen tavoitteet

Kiertotaloudessa resurssit säilytetään taloudessa silloinkin, kun tuote on saavuttanut käyttöikänsä lopun. Tavoitteena on jo lähtökohtaisesti suunnitella ja valmistaa tuotteet siten, että tuotteiden, komponenttien ja materiaalien sekä niihin sitoutunut arvo kiertää taloudessa mahdollisimman pitkään tai niiden arvo jopa kasvaa. Kierrätyksessä, johon kiertotalous helposti sekoitetaan, keskitytään puolestaan löytämään käyttötarkoituksia jo syntyneelle jätteelle. Väestönkasvu ja luonnonvarojen niukkeneminen nostavat tulevaisuudessa raaka-aineiden hintoja ja heikentävät niiden saatavuutta. Kiertotalous auttaa Suomea varautumaan tähän kehitykseen, kun resurssien uudelleenkäyttö voidaan nostaa uudelle tasolle.

Suomen valtion tavoitteena on nostaa Suomi kiertotalouden kärkimaaksi vuoteen 2025 mennessä. Kiertotalouden tiekartta on Sitran, ministeriöiden ja laajasti eri toimijoiden yhteistyönä valmistunut suunnitelma, jolla kiertotalouden mahdollisuuksia pyritään toteuttamaan. Tiekarttaa täydentää kiertotalouden toimenpideohjelma ja sen päivitykset.

Siirtyminen kiertotalouteen edellyttää muutoksia koko arvoketjussa aina tuotteen suunnittelusta uusiin liiketoiminta- ja markkinointimalleihin sekä kulutuskäyttäytymiseen. Nimestään huolimatta kiertotalous ei ole erillinen talous, vaan monialainen ja mittava muutos toimintatavoissa. Resurssien kierron tehostaminen tarjoaa Suomelle 1,5 – 2,5 miljardin euron vuotuisen kasvupotentiaalin vuoteen 2030 mennessä. Sekundääristen materiaalien käyttöä edistetään erityisesti julkisten hankintojen ja julkisen infrastruktuurirakentamisen kautta. (YM 2018, YM 2017, Sitra 2014, Sitra 2016)

Euroopan komission (2015) toimintasuunnitelmassa Kierto Kuntoon (ns. kiertotalouspaketin toinen, päivitetty versio) esitetään kierrätystavoitteiden muuttamista nykyistä haastavammiksi. EU-tason yhteiseksi tavoitteeksi yhdyskuntajätteen uudelleenkäytölle kierrättämiselle asetetaan 65 % vuoteen 2030 mennessä ja pakkausjätteelle vastaavasti 75 %. Suunnitelmaan sisältyy myös sitova tavoite kaatopaikkajätteen vähentämisestä enintään 10 %:iin kaikesta yhdyskuntajätteestä vuoteen 2030 mennessä.

Valtakunnallisessa jätesuunnitelmassa vuoteen 2023, Kierrätyksestä kiertotalouteen, on asetettu jätehuollon ja jätteen synnyn ehkäisyn tavoitteet sekä toimet tavoitteiden saavuttamiseksi seuraavaksi kuudeksi vuodeksi. Suunnitelma on valmisteltu laajassa yhteistyössä jätealan asiantuntijoiden sekä sidosryhmien kanssa. Ympäristöministeriön asettama jätealan strateginen yhteistyöryhmä on toiminut jätesuunnitelmatyön ohjausryhmänä.

Jätesuunnitelmassa olevat yksityiskohtaiset tavoitteet ja toimenpiteet on asetettu neljälle jätesuunnitelman painopisteelle, joita ovat rakentamisen jätteet, biohajoavat jätteet, yhdyskuntajätteet sekä sähkö- ja elektroniikkalaiteromu. Valtakunnallisen jätesuunnitelman tavoitteena Suomen jätehuollon (VALTSU) sekä jätteen määrän ja haitallisuuden vähentämisen tavoitella vuoteen 2030 on:

1. Laadukas jätehuolto on osa kestävästä kiertotaloudesta.
2. Materiaalitehokas tuotanto ja kulutus säästävät luonnonvaroja sekä hillitsevät ilmastonmuutosta.
3. Jätteen määrä on vähentynyt nykyisestä. Uudelleenkäyttö ja kierrätys ovat nousseet uudelle tasolle.
4. Kierrätysmarkkinat toimivat hyvin. Uudelleenkäytön ja kierrätyksen myötä syntyy uusia työpaikkoja.
5. Kierrätysmateriaaleista saadaan talteen myös pieninä pitoisuuksina esiintyviä arvokkaita raaka-aineita.
6. Materiaalikierrot ovat haitattomia ja tuotannossa käytetään yhä vähemmän vaarallisia aineita.
7. Jätealalla on laadukasta tutkimusta ja kokeilutoimintaa ja jäteosaaminen on korkealla tasolla.

2.2 Betonijätteen kierrätys Suomessa

Rakennusjätettä muodostuu erityisesti korjaustoiminnassa, jossa sekalaisen jätteen osuus on merkittävästi suurempi kuin uudisrakentamisessa ja purkutoiminnassa. Korjausrakentamisessa jätteiden lajittelun suunnittelu etukäteen ja lajittelumenettelytapojen kehittäminen on haastavampaa kuin uudisrakentamisessa ja purkutöissä, koska kohteet ovat hyvin erilaisia ja toimijat erikokoisia.

Rakennuksia puretaan, kun ne ovat tekniikaltaan tai toiminnallisuudeltaan käyttökelvottomia tai eivät muuten vastaa nykyajan tarpeisiin toiminnallisen tehokkuuden osalta. Näiden lisäksi merkittävä betonijätteen lähde on betonituoteteollisuus, jossa jätettä muodostuu betonitehtaiden tuotantoprosesseista, rikkoutuneista tuotteista sekä uudisrakentamisen ylijäämästä.

Merkittävimmät rakennusjätelajit ovat tähän saakka olleet betoni- ja puujäte sekä sekalainen jäte. Betonijäte on massamääräisesti suurin jätejäte ja se hyödynnetään jo nyt tehokkaasti. (Salmenperä et al. 2016)

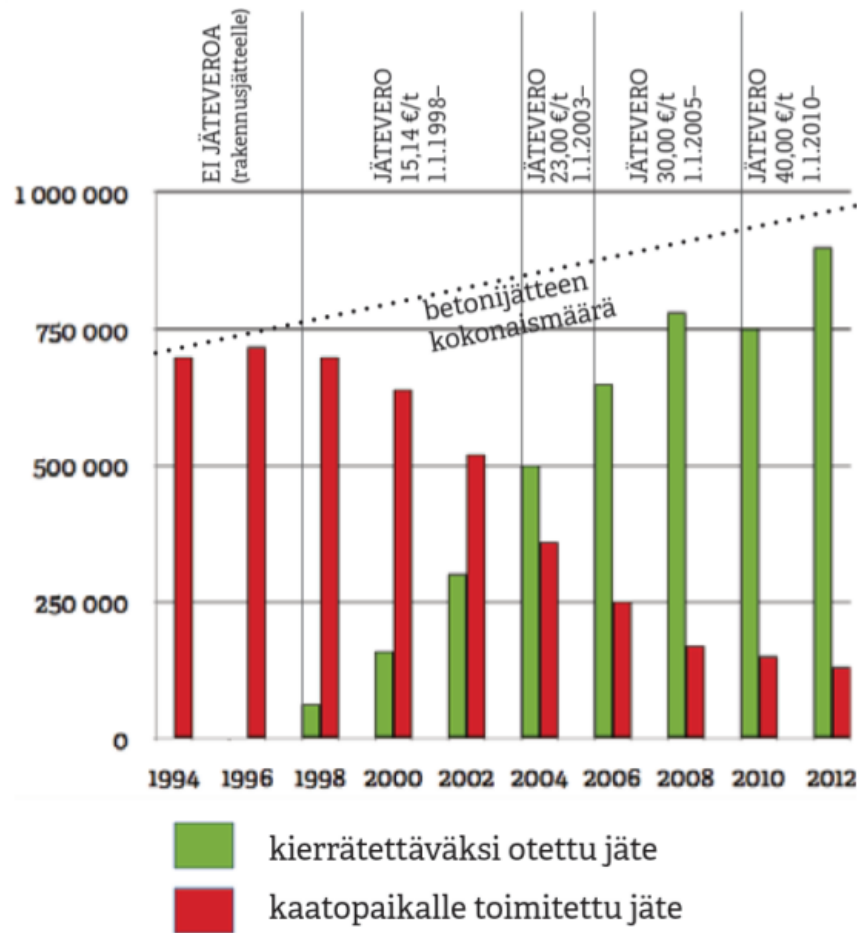
Rakennusjätteiden hyötykäyttöä on edistetty asettamalla kaatopaikalle sijoitettavalle jätteelle vero. Jäteverolaki tuli voimaan 1996. Jäteveron määrää on nostettu vaiheittain ja betonijätteen jätevero on tällä hetkellä 70 euroa tonnilta.

Betonimurskeella voidaan korvata osa luonnonkiviaineksista. Tällä hetkellä lähes kaikki Suomessa kierrätettävä betonijäte käytetään murskeena maarakentamisessa korvaamaan maa- ja kiviaineksia (Vakkuri 2011). Kaatopaikalle päätyvän betonijätteen määrää on pyritty vähentämään valtion toimesta. Kaatopaikkarakentamiseen käytettävät betonijätteet ovat pitkälti jalostettuja sulkemisarakenteisiin ympäristöluvan mukaisesti käytettäviä jalostettuja materiaaleja.

Tällä hetkellä rakentamisen jätteiden tilastointi perustuu valvonnan tarpeisiin kehitettyyn Vahti-ympäristötietojärjestelmään. Vahti-järjestelmässä tiedetään olevan jäteluokitteluun ja -määriin liittyviä tiedollisia puutteita, jotka heijastuvat myös tilastoihin (Salmenperä et al. 2018). Suomessa syntyvän betonijätteen kokonaismäärästä ei ole saatavilla tarkkaa tilastoitua tietoa, mutta sen voidaan arvioida olevan noin 1,5 miljoonaa tonnia vuodessa. Suomessa syntyvästä betonijätteestä arvioidaan kierrätettävän 70 - 80 %. Betonijätteellä on painavana jakeena suuri merkitys rakennusjätteelle asetettujen kierrätystavoitteiden saavuttamisessa. EU:n jätedirektiivi edellyttää, että vuoteen 2020 mennessä jäsenmaiden on kierrätettävä 70 prosenttia rakennus- ja purkujätteistä materiaalina.

Suomessa rakennus- ja purkujätteen kierrätysaste on arvioitu 26 %:iin (ilman hyödyntämistä energiana), kun muualla EU:ssa se on keskimäärin 47 %. Syynä eroon on puujätteen suuri osuus Suomessa (YM raportteja 17/2014). Edellisen kerran kierrätysastetta on merkittävästi saatu nostettua nykyiselle noin 50 % tasolle tilastointia korjaamalla. Ruduksen käsittelemät betonijättemäärät ovat vaihdelleet 2010-luvulla 350 000 ja 550 000 tonnin välillä.

Kuvassa 1. on esitetty kierrätettävän ja kaatopaikalle toimitetun betonijätteen määrien kehitys vuosina 1994–2012 sekä kulloinkin voimassa ollut jätevero.



Kuva 1. Betonijätteen määrän kehitys vuosina 1994–2012. Kuva: Betoniteollisuus ry/Rudus Oy (Saarinen 2014).

3 BETONIMURSKKE

3.1 Yleistä betonista

Betoni on maailman yleisimmin käytetty rakennusmateriaali. Betonia valmistetaan maailmassa vuodessa keskimäärin yksi tonni ihmistä kohden (Marie & Quiasrawi 2012). Betoni raaka-aineena koostuu sementistä, kiviaineksesta, seosaineista kuten mineraalisista fillereistä ja pigmenteistä, vedestä, lisäaineista ja mahdollisista kuiduista. Sementti on epäorgaanista materiaalia, joka veden kanssa reagoi muodostaen pastan, sitoutuu ja kovettuu, ja joka kovettumisen jälkeen säilyttää lujuutensa ja pysyvyytensä myös veden alla (Johansson 2016).

Kovettuneen betonin tärkeimmät ominaisuudet ovat lujuus ja säilyvyys erilaisia rasituksia vastaan. Betonin ominaisuuksia voidaan muokata säätelemällä valmistusaineiden suhteita. Betonin päävalmistusaineet ovat:

Sementti

Sementti on hienoksi jauhettua epäorgaaninen materiaali, joka veden kanssa reagoidessaan muodostaa lujan lopputuotteen. Sementillä on suurin vaikutus betonin ominaisuuksiin.

Kiviaines

Kiviaineksen osuus betonissa on 60-80 % ja sillä on myös merkittävä vaikutus betonin ominaisuuksiin ja niistä käytetään yleisesti nimitystä betonin runkoaine.

Seosaineet

Betonin side- ja runkoaineena voidaan käyttää mineraalisia seosaineita, kuten lentotuhkaa, kuonaa tai silikaa.

Vesi

Betonin valmistamiseen voidaan käyttää normaalia puhdasta juomavettä.

Lisäaineet

Betonin osa-aineiden valinnan ja seossuhteiden eli suhteutuksen lisäksi betonin ominaisuuksia voidaan säädellä erilaisilla lisäaineilla, jotka yleensä ovat erilaisia polymeerejä. Lisäaineilla voidaan säädellä esimerkiksi betonimassojen notkeutta, pakkasen kestoa, ilmapitoisuutta tai kovettumisen nopeutta.

(Suomen betoniyhdistys, by 201 2018)

3.2 Betonimurske

Betonimurskeen maarakennuskäytön laadunvalvontajärjestelmä SFS 5884:n määrittelee betonimurskeen (BeM) rakennustuotteiden valmistuksessa, rakennustuotannossa sekä rakenteiden ja rakennusten korjauksessa ja purkamisessa syntyvästä betonijätteestä murskatuksi tuotteeksi, joka voi sisältää tiiltä. Betonimursketta käytetään pääsääntöisesti maarakennusmateriaalina ja voidaan käyttää uusiokiviaineksena betonin valmistuksessa, mikäli sen ominaisuudet täyttävät SFS-EN 12620 vaatimukset.

Betonimurske uusiokiviaineksena eroaa luonnonkiviaineksesta siten, että siinä on kivirakeiden lisäksi sementtipastaa. Betonimurskeen ominaisuuksiin vaikuttaa oleellisesti sementtipastan laatu ja määrä. Aineksen sementtipasta alentaa materiaalin tiheyttä, koska sementtipasta on kiveä kevyempää. Betonimurskeen vedenimukyky on suurempi mitä enemmän rakeesta on sementtipastaa, koska se on kiveä huokoisempaa. Betonimurskeen muotoon ja rakenteeseen vaikuttaa murskausmenetelmä ja seulonta. (Etxeberria ym. 2007)

Jätteeksi luokittelun päättymisen edellytyksistä (EoW, End of Waste) voidaan päättää joko EU-säädöksellä, kansallisella säädöksellä tai tapauskohtaisen arvioinnin perusteella. Betonimurskeelle on Suomessa haettu EoW-statusta ympäristölupamenettelyn yhteydessä, mutta toistaiseksi sitä ei ole materiaalille myönnetty, vaikka vastaava menettely on normaali käytäntö useissa Euroopan maissa, kuten Englannissa, Hollannissa ja Saksassa.

Ympäristöministeriö valmistelee parhaillaan kansallista asetusta betonimurskeen jätestatuksen päättämisestä. Ensimmäinen luonnos asetuksesta on saatu kommentoitavaksi keväällä 2019. Siihen liittyen ympäristöministeriö on järjestänyt sidosryhmätilaisuuksia, joissa kerättiin sidosryhmien näkemyksiä asetusluonnokseen sen jalostamiseksi ja mahdollisten epäselvyyksien ja harhaanjohtavien kohtien tunnistamiseksi ja korjaamiseksi.

Yksi keskeinen lähtökohta jätteeksi luokittelun päättymisessä on, että jätte on hyödyntämistoimien (mukaan lukien kierrätys) seurauksena lakanut olemasta jätettä, eikä siihen hyödyntämisen jälkeen enää sovelleta jätelain säännöksiä. Yksinkertaisimmillaan hyödyntämistoimi voi olla jätteen tarkastaminen sen toteamiseksi, että se täyttää jätteeksi luokittelun päättymistä koskevat perusteet. Tavoitteena jätteeksi luokittelun päättymistä koskevassa hyödyntämisessä on, että sen avulla edistetään etusijajärjestyksen mukaisesti materiaalina hyödyntämistä ja jätteiden käyttöä raaka-aineena tai tuotteena soveltuviissa käyttötarkoituksissa. Asetuksen voimaantulon jälkeen betonimurske ei enää olisi jäte, vaan tuote, jonka jälkeen sitä voitaisiin käyttää ilman jätettä koskevan lainsäädännön rasitteita. Ympäristöministeriö valmistelee myös muistiota ”Tapauskohtainen jätteeksi luokittelun päättymisen”, jonka tarkoituksena on auttaa toiminnanharjoittajia sekä viranomaisia arvioimaan, milloin jäte lakkaa olemasta jätettä tapauskohtaisen tarkastelun perusteella.

Kun materiaalia ei enää luokitella jätteeksi, tulee sen markkinoille saatettavana tuotteena täyttää käyttötarkoituksestaan ja tuoteryhmästään riippuen monenlaisia tuote- ja tuoteryhmäkohtaisia säännöksiä sekä kemikaalilainsäädännön velvoitteita. Säännökset eivät myöskään aina ole toisilleen vaihtoehtoisia, vaan useita erilaisia säännöksiä voidaan joutua soveltamaan samaan materiaaliin. Tuotteistettuna, vaikkakin jätestatuksella, betonimursketta voidaan hyödyntää ympäristönsuojelulain mukaisella ympäristöluvalla (sisältää kohdekohtaisen riskien arvioinnin ja tarkastelun), Mara-asetukseen perustuvalla ilmoitusmenettelyllä (rajatut kohteet ja rakenteet) sekä jätelain ja ympäristönsuojelulain mukaisilla kuntakohtaisilla säädöksillä (jätehuoltomääräykset ja ympäristönsuojelumääräykset). Kuntakohtaisilla säädöksillä voidaan materiaalia käyttää pieniä määriä rajatuissa käyttökohteissa, yleensä ei-ammattimaisessa rakentamisessa.

Betonimurske jalostetaan ja sitä käytetään pääsääntöisesti vaativissa maarakenteissa, kuten teiden jakavissa ja kantavissa rakenteissa. Tiivistetty betonimurske kovettuu rakenteessa, joten sillä saadaan aikaan erinomainen kantavuus jopa perinteisiä kiviaineksia ohuemmillä rakenteilla (Dettenborn 2013). Kuvassa 2. on esitetty BeM II luokan betonimursketta kasalla Rudus Oy:n Konalan toimipisteellä.

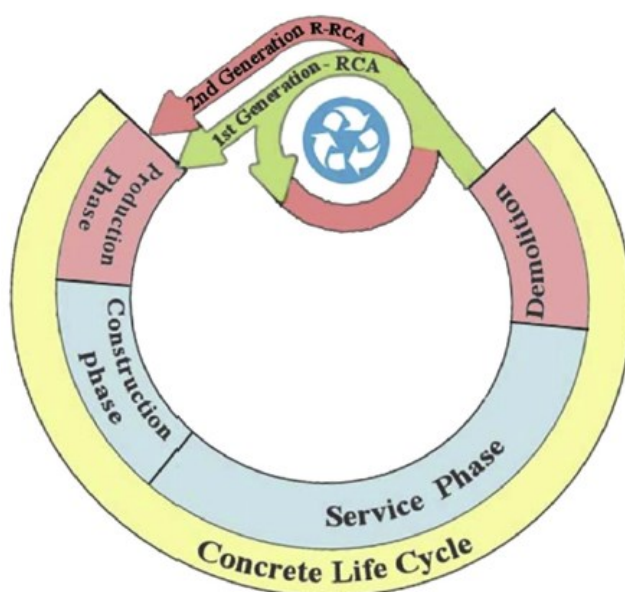


Kuva 2. BeM II luokan betonimursketta kasalla (Rudus 2019)

Murskatun betonin alkuperä vaihtelee rakennusjätteestä puhtaisiin ylijäämäbetoneihin. Mara-asetuksen mukaan betonimurske saa sisältää enintään yhden painoprosentin siihen kuulumatonta vedessä kellumatonta ainesta, kuten puuta, kumia tai metallia. Lisäksi betoni- tai tiilimurskeessa saa olla enintään 10 cm³/kg vettä kevyempiä materiaaleja, kuten muovia ja eristemateriaaleja. Betonijäte saa sisältää lisäksi enintään 30 painoprosenttia tiili- ja kaakelijätettä. Betonimurskeen laatuokkien vaatimukset puhtaudelle on esitetty myöhemmin kappaleessa 5.1. Betonimurskeen laadun ja oikean käytön varmistaminen on tärkeää, jotta murskeen käytöstä ei aiheudu teknisiä tai ympäristöllisiä ongelmia. Laitosmaisesti toimittaessa ja riittävän suurien massamäärien sekoituessa, ei yksittäisten kohteiden laadun vaihtelulla ole suurta vaikutusta lopputuotteeseen. Yksittäisissä purkukohteissa tapahtuvalla betonijätteen käsittelyllä, jossa jätemäärät ovat pienempiä, kohteen lähdemateriaali vaikuttaa selkeämmin lopputuotteeseen.

Rakennusmateriaalina betonin kiertokulkuun kuuluu Marien ja Quiasrawin (2012) mukaan viisi vaihetta (kuva 3):

1. betonin raaka-aineiden valmistus
2. rakentamisvaihe (betonin valmistus)
3. valmiin betonirakenteen käyttö
4. betonirakenteen purkaminen ja hajottaminen osiin
5. käytöstä poistaminen tai kierrätys



Kuva 3. Ensimmäisen ja toisen sukupolven kierrätysbetonin kiertokulku. (Marie & Quiasrawi 2012)

Betonimursketta voidaan käyttää myös uusiobetonin raaka-aineena. Laajamittaisempi käyttö vaatii vielä kehitystyötä sekä viranomaisten, suunnittelijoiden, betonivalmistajien ja purkutyötä tekevien välistä yhteistyötä, jotta kaupallinen hyödyntäminen betonin uusiokiviaineena on kannattavaa. Markkinoilla on kuitenkin herännyt kysyntää tuotteille, joissa käytetään kierrätettyjä uusiomateriaaleja. Suomessa osasyynä uusiokiviaineen käytön vähyyteen betonin raaka-aineena on luonnonkiviaineen helppo saatavuus ja edullinen hinta. Betonimurskeella on usein myös karkeampi rakenne ja sen raemuodosta tulee normaalilla murskauksella kulmikkaampi kuin kiviaineella, millä voi olla vaikutusta siitä valmistetun betonimassan työstettävyyteen. Uusiokiviaineen nopea ja suuri vedenimukyky verrattuna luonnonkiviaineeseen vaikuttaa massan työstettävyyteen ja betonin vesi-sideainesuhteeseen. Betonin valmistuksessa käytetään myös menetelmiä, joiden avulla pyritään kontrolloimaan betonin valmistusta siten, että uusiokiviaineen käyttö ei vaikuttaisi negatiivisesti uusiobetonin ominaisuuksiin. Uusiobetonin työstettävyyttä voidaan parantaa lisäaineilla, kuten käyttämällä notkistimia.

3.3 Betonimurskeen valmistus

Rudus Oy vastaanottaa betonijätteitä murskeen valmistusta varten ympäristöluvallisissa toimipisteissä. Vastaanotettava betonijäte tarkastetaan ja samalla varmistetaan, että se täyttää vastaanottoehdoissa edellytetyt laatuvaatimukset. Betonimurskeen valmistus perustuu vastaanottotarkastukseen, esikäsittelyyn, murskaukseen, raudoitusten ja epäpuhtauksien erotteluun, seulontaan ja homogenisointiin.

Ennen murskausta betonijäte on usein esikäsiteltävä sopivan kokoiseksi paloittelulla tai pulveroinnilla (kuva 4.) sekä erityisesti mahdolliset raudoitukset pyritään poistamaan tai katkomaan riittävän lyhyiksi, jotta ne eivät aiheuta ongelmia murskausprosessissa. On myös tärkeää, että betonijäte lajitellaan muista purettavista materiaaleista oikein ja riittävän tarkasti, ettei haitallista kierrätettävien materiaalien ja epäpuhtauksien sekoittumista pääse tapahtumaan. Pulveroinnissa jätteen palakokoa pienennetään hydraulisella kaivinkoneeseen kytketyllä puristimella noin 20-30 cm palakokoon, jolloin suurin osa raudoituksista saadaan poistettua betoni- ja tiilijätteestä.



Kuva 4. Betonimurskeen pulverointi (Rudus 2019)

Esikäsitellyssä kaivinkoneella saadaan poistettua raudan lisäksi jonkin verran muita epäpuhtauksia, kuten eristeitä ja puuta. Ennen murskausta tapahtuvan esikäsitteilyn tarpeellisuus ja toteutus riippuu betonijätteen kappalekoosta ja laadusta.

Murskailaitosten tyyppi ja koko vaihtelevat huomattavasti, mutta yleensä betonijäte murskataan pienemmillä laitteistoilla ja vähemmissä vaiheissa, eli murskauseroissa, kuin tavallinen kiviaines. Huomattavimmat syyt pienempään mahdollisesti siirrettävään kalustoon betonin murskauksessa ovat pienemmät volyymit, murskaustilan rajoitukset ja iskumurskainta käytettäessä suurempi murskaussuhde. Erilaisia murskaimia ja murskainyhdistelmiä on paljon, mutta tyypillisimmät murskaimet ovat isku-, leuka- ja kartiomurskain.

Betonijätteen murskaukseen soveltuu parhaiten yhdessä vaiheessa murskattaessa iskumurskain ja kaksivaiheisesti murskattaessa esimurskaukseen soveltuu leukamurskain. Poiketen luonnonkiviaineksen murskaamisesta betonin murskauksen jälkeen murskeesta erotetaan lähes aina raudoitukset magneettierottimella. Kuvassa 5. on esitetty betonimurskeen valmistusta Ruduksen toimipisteellä.



Kuva 5. Betonimurskeen valmistusta (Rudus 2017)

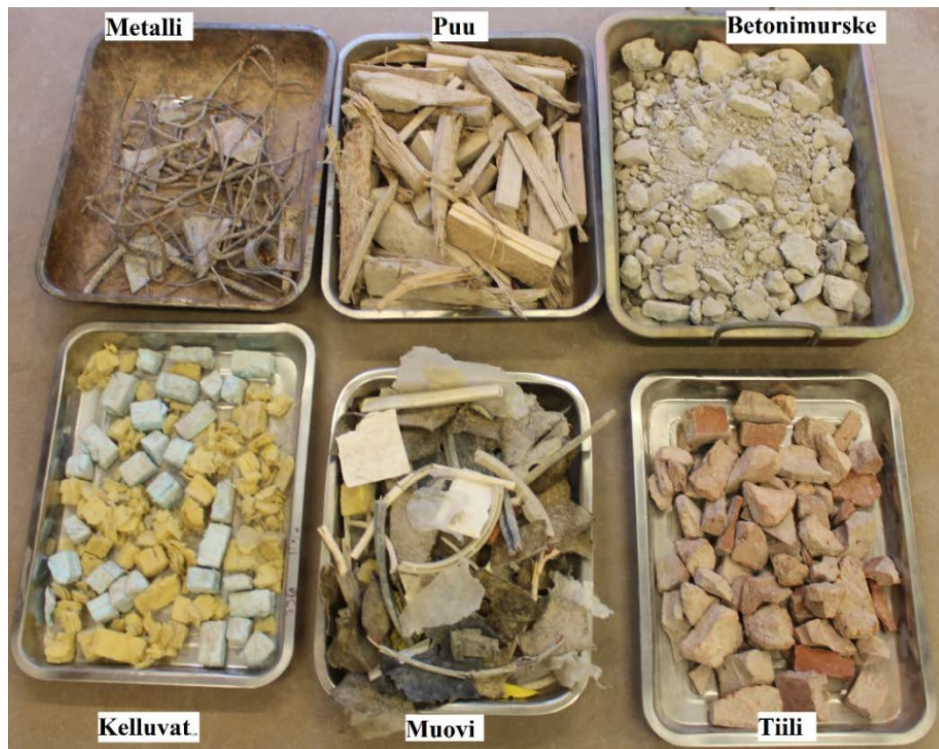
Betonimurskeen seulonnassa käytetään samantyyppisiä seuloja kuin tavallisen kiviaineksen seulonnassa. Huomioitava on lähinnä pienempien fraktioiden erottelussa muodostuva sementtipöly, joka lisää seulapinta-alaa ja hidastaa tuotantoa. Seulonta on kuitenkin tärkeää murskeen homogenisoinnissa sekä raudoituksia sisältävien betonikappaleiden ja muiden epäpuhtauksien poistamisessa. Seulontalaitteistolla betonimurske jaotellaan haluttuihin raekokoihin.

3.4 Epäpuhtauksien poistaminen

Jätelainsäädäntö edellyttää, että rakennus- ja purkujätteen haltija huolehtii, ettei erilaiset jätteet sekoitu jätehuoltoketjun missään vaiheessa. On myös varmistuttava, että mahdollisimman suuri osa jätteestä voidaan jätelain 8 §:n mukaisesti uudelleen käyttää, kierrättää tai hyödyntää. Epäpuhtauksien poistaminen on käytännön kannalta järkevintä purkamisen yhteydessä, sillä esikäsittelyvaiheissa ja murskauksen jälkeen epäpuhtaudet ovat pienempiä sekä tasaisesti betoni- ja tiilijätteeseen sekoittuneena vaikeammin eroteltavia. Tätä kutsutaan lajittelevaksi puruksi, jossa käytetään purkumenetelmiä, jolla purettavasta kohteesta saadaan eri jätelajit eroteltua purkutuosiksi hyötykäyttömahdollisuuksien edellyttämällä tavalla. Tämän varmistamiseksi toimipisteillä vastaanotettavan betoni- ja tiilijätteen vastaanottotarkastus on erittäin tärkeä osa betonimurskeen laadunhallintaa. Toimipisteiden vastaanottoehtojen vastaiset, sekä muuta jätettä tai epäpuhtauksia sisältävät kuormat ohjataan muualle edelleen käsiteltäväksi.

Magnetisoituvat metallit on helppo poistaa betonimurskeen raaka-aineesta esikäsittelyn yhteydessä tai magneettierottimella prosessin raaka-ainevirrasta. Metalleja prosessissa poistetaan noin 1-1,5 painoprosenttia. Osuus vaihtelee sen mukaan, miten raudoitusta saadaan poistettua alkuperäisen rakenteen purkuvaiheessa. Muiden epäpuhtauksien osalta käsin lajittelu on käytännössä todettu ainoaksi tehokkaaksi toimintatavaksi, etenkin silloin kun epäpuhtauksien määrä on vähäinen ja pyritään hyvään lopputulokseen. Muita käytettäviä tekniikoita ovat mm. ilmaerottelu, erilaiset upotuskäsittelyt sekä robotiikka. Muut tekniikat ovat vaikeita hallita sekä hidastavat prosessia. Muissa kuin käsin lajittelussa puhdasta materiaalia ohjautuu liikaa rejektiin ja tuotos huononee tai sitten menettelyn erottelukyky ei ole riittävä verrattuna käsityönä tehtävään lajitteluun.

Poistettavia epäpuhtauksia ovat mm. ei magnetisoituvat ja betonikappaleiden sisälle jääneet metallit, puu, erilaiset eristeet laajasti sekä muovit. Kuvassa 6. on esitetty betonimurskeessa esiintyviä epäpuhtauksia. Niiden osuus kokonaisjätevirrasta vaihtelee, ja hyvin syntypaikalla oikein lajitellussa betonijätteessä muita epäpuhtauksia on joitakin promilleja.



Kuva 6. Betonimurskeesta esiintyviä epäpuhtauksia (Paalanen 2018)

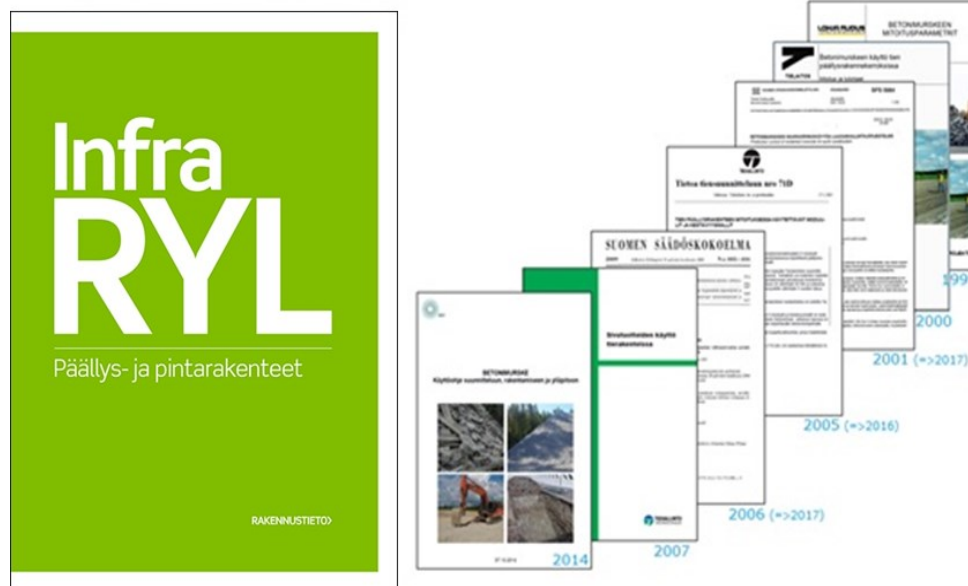
Materiaalit erottuvat betonimurskeesta mekaanisella seulonnalla vaihtelevasti, johtuen betonimurskeen ja näiden muiden materiaalien tilavuuspainojen eroista ja kappaleiden muotojen eroista. Prosessista poistetut materiaalit toimitetaan joko sellaisenaan kierrätykseen tai rakennusjätteenä edelleen käsittelyyn lajiteltavaksi. Poistettavien epäpuhtauksien osalta saanto on Ruduksen vastaanottoehtojen mukaisen jätteen käsittelyn osalta muutaman promillen luokkaa käsiteltävän betoni- ja tiilijätteen kokonaismäärästä.

3.5 Betonimurskeen käyttö Suomessa

Betonimurskeen kierrätyksen ensimmäiset kokeilut on aloitettu Suomessa 1980-luvun lopulla talteen otetun hukkabetonien kierrättämisellä uudelleen betonin runkoaineeksi. Luonnonkiviaineksen suhteellisen edullisen hinnan vuoksi toiminta todettiin taloudellisesti kannattamattomaksi. Rudus on ollut mukana betonimurskeen maarakennuskäytön tutkimuksissa 1990-luvun alusta lähtien ja ensimmäinen kierrätyskeskus jätebetonille perustettiin Helsingin Konalaan 1994. Ruduksen valmistamien betonimurskeiden ensimmäiset käytännön kohteet rakennettiin jo samana vuonna.

Ensimmäiset betonimurskerakentamista koskevat suunnitteluohjeet julkaistiin vuonna 1996 (Lohja Rudus Ympäristöteknologia Oy Ab 1996) ja mitoitusparametrit vuonna 1999 (Viatak Oy 1999). Vuosituhannen vaihteessa betonimurskeen käyttö alkoi vakiintua ja se alettiin huomioida laajemmin eri tahojen suunnitteluohjeistuksissa, kuten esimerkiksi Tielaitok-

sen, Kuntaliiton tie- ja katusuunnitteluohjeissa sekä RIL:n maarakennusohjeissa (Tielaitos 2000; Kuntaliitto 2000; RIL 2000). Samoihin aikoihin julkaistiin myös standardi SFS 5884 ”Betonimurskeen maarakennuskäytön laadunhallintajärjestelmä”, josta on julkaistu päivitetty versio keväällä 2018 (SFS 2018). Kuvassa 7. on esitetty betonimurskeohjeistuksen historiaa.



Kuva 7. Betonimurskeen käyttöön on vuosien saatossa laadittu useita ohjeita.

Ruduksen osalta betonimurskeen tutkimus on jatkunut 1990-luvun koe-kohteiden seurantatutkimuksilla sekä uusilla laboratorio- ja kenttäkokeilla. Betonimurskeen käyttö on lisääntynyt käsiteltävän betonijätteen määrän kasvaessa. Rakennushankkeissa huomioidaan yhä enenevässä määrin ympäristönäkökulmat, joten painetta myös betonimurskeen käytön lisäämiselle on. Julkiset tahot ovat alkaneet esittää betonimursketta entistä näkyvämmiin yhtenä rakennusmateriaalivaihtoehtona esimerkiksi väylärakentamisessa. Käytön laajentamista raitiotierakentamiseen on jo selvitetty ja mitään estettä käytölle ei näyttäisi olevan.

Pääkaupunkiseudulla sekä HSY että seudun kaupungit Helsinki, Espoo ja Vantaa ovat julkaisseet ohjeet betonimurskeen hyödyntämisestä rakentamisessa. Ohjetta on päivitetty 2019 ja mukaan ovat lähteneet myös Tampereen ja Turun kaupungit. Useissa muissa kaupungeissa, esim. Lahdessa on myös laadittu omia ohjeistuksia betonimurskeen käytön tueksi. Uusiomateriaalit hyväksytään luonnonkiviaineksia korvaaviksi murskeiksi myös uusimmassa InfraRYL:n laatuvaatimusjärjestelmässä (Rakennustieto 2017).

3.6 Betonimurske hiilinieluna

Rakentamisesta aiheutuvat päästöt nähdään usein merkityksettömiksi rakennetun ympäristön käytönaikaisiin päästöihin verrattuna (liikenne, asuminen, energia, ruoka). Rakentamisen kiviaineshuolto on kuitenkin tunnistettu yhdeksi potentiaaliseksi tekijäksi rakennetun ympäristön päästöjen vähentämisessä (TEM 2015). Resurssitehokkaalla rakentamisella saadaan aikaan nopeita päästövähennyksiä, usein pelkästään toimintatapoja muuttamalla. (Känkänen 2018).

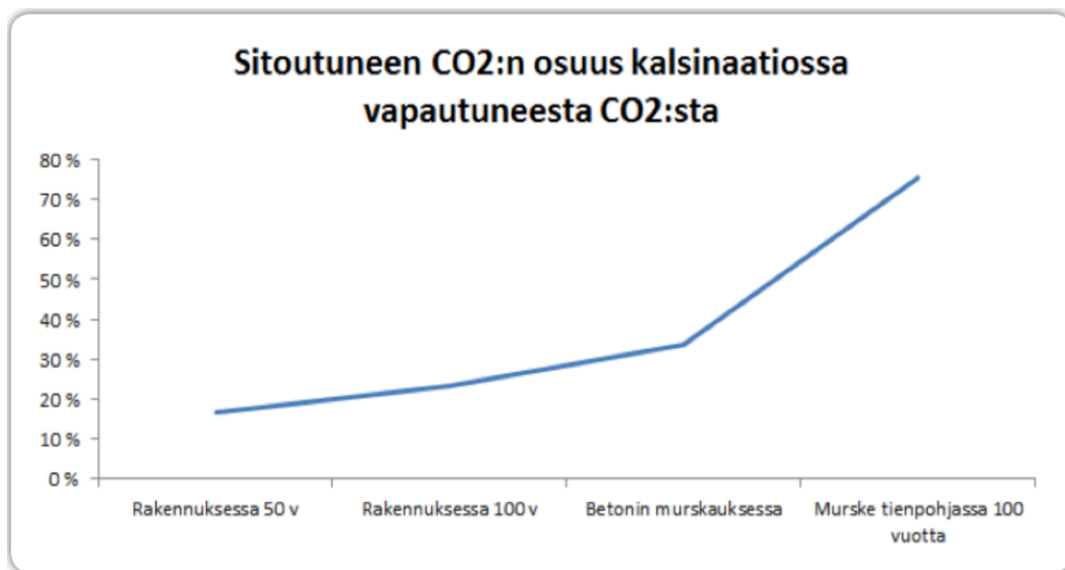
Luonnonvarojen säästymisen lisäksi betonimurskeen käyttö lisää rakennushankkeen ympäristöystävällisyyttä siinä tapahtuvan hiilidioksidin sitoutumisen kautta. Kaikki betonin alkuperäisestä käytöstä aiheutuvat päästöt siihen saakka, kunnes betonijäte on käyttövalmista betonimursketta, kohdistuvat edellisen tuotteen elinkaarelle. Lisäksi kierrättämällä betonia rakennusjätteen varastointitarve pienenee ja samalla myös luonnonkiviaineksen louhintatarve rakennuskäyttöön pienenee. Myös betonimurskeen pienempi tilavuuspaino vaikuttaa siten, että samalla tonnimäärällä saadaan tehtyä enemmän rakenteita. Pienempi tilavuuspaino vaikuttaa myös kuljetuskustannuksiin (Rudus 2018, Salmenperä et al. 2018).

Betonin pääraaka-aineita ovat kiviaines, vesi ja sementti. Suurin päästölähte betonin valmistusketjussa on sementin valmistaminen. Laskelmien mukaan sementin valmistus ja kuljetus aiheuttavat hiilidioksidipäästöjä noin 600–700 kg sementtitonnin kohden. Kovettuessaan betoni ei aiheuta mainittavia päästöjä ja on rakennusmateriaalina turvallinen. (Beton.com 2019)

Betonin kovettuminen perustuu sementin ja veden kemialliseen reaktioon, jossa sementtimineraaleista syntyy sementtikiveä ja kalsiumhydroksidia. Kalsiumhydroksidi on vesiliukoinen ja voimakkaan emäksinen yhdiste, joka reagoi edelleen hiilidioksidin kanssa kalsiumkarbonaatiksi joutuessaan kosketuksiin ilman kanssa. Kalsiumhydroksidin ja hiilidioksidin reaktiota kutsutaan karbonatisoitumiseksi. Karbonatisoitumisessa kalkkikivestä vapautunut hiilidioksidi sitoutuu takaisin kalsiumkarbonaatiksi. (Virtanen 2010)

Betonirakenteen saavuttaessa käyttövaiheen lopun se voidaan murskata. Betonin sisältämään sementtiin sitoutuu ympäröivästä ilmasta hiilidioksidia karbonatisoitumisreaktion kautta. Karbonatisoitumista tapahtuu koko ajan betonirakenteiden pinnassa. Betonia murskattaessa sen pinta-ala moninkertaistuu, eli uutta betonipintaa paljastuu, mikä kiihdyttää hiilidioksidin sitoutumista. Sementin valmistus on merkittävä ilmakehään vapautuvan hiilidioksidin lähde, esimerkiksi Suomen hiilidioksidipäästöistä noin 1,3 % syntyy sementin valmistuksesta. Suurin osa hiilidioksidista vapautuu sementin pääraaka-aineesta, kalkkikivestä sen polton yhteydessä, ja loput polttoprosessiin tarvittavasta polttoaineesta. Karbonatisoitumi-

sen myötä osa kalkkikivestä vapautuneesta hiilidioksidista sitoutuu takaisin betoniin. Hiilidioksidia sitoutuu betoniin jo alkuperäisen rakenteen käyttöaikana. Hiilidioksidin sitoutuminen kiihtyy betonin murskauksen jälkeen ja sitoutuminen jatkuu murskeen uudelleen käytön ajan. Karbonatisoitumisaste voi rakennuksen 70 käyttöiän aikana olla luokkaa 60-80%, kun betonirakenteet käytön jälkeen murskataan ja murske käytetään esim. tierakenteessa. Kuvassa 8. on esitetty betoniin karbonatsoituneen hiilidioksidin osuus vapautuneesta CO₂:sta. (Pommer & Pade 2005, Rudus 2019, Betoni.com 2019)



Kuva 8. Betoniin karbonatsoituneen hiilidioksidin osuus vapautuneesta CO₂:sta. (Bionova 2012).

4 LAINSÄÄDÄNTÖ

Betonimurskeen käyttöä säädelään ympäristönsuojelulaissa sekä jäte-laissa, joiden perusteella on säädetty erityissäädäntöä hyödyntämistä varten. Käyttöä rakennusmateriaalina säädelään EU:n rakennustuoteasetuksessa. Tuotteiden vaatimuksista on säädetty EU:n lainsäädännössä sekä kansallisessa lainsäädännössä. Tuotekohtaisessa lainsäädännössä on määritetty valmistajan, maahantuojan ja jakelijan vastuut tuotteen vaatimustenmukaisuuden varmistamisessa.

EU:n tuotelainsäädäntö pyrkii takaamaan tuotteiden vapaan liikkuvuuden sisämarkkinoilla yhtenäistämällä tuotteita koskevat vaatimukset, jotta tuotteiden vaatimustenmukaisuutta ei tarvitse erikseen osoittaa jokaisessa maassa. Kaikille tuotteille ei kuitenkaan ole yhtenäisiä eurooppalaisia vaatimuksia, mutta tuoteryhmille on saatettu asettaa vaatimuksia Suomen kansallisessa lainsäädännössä, jolloin kansalliset vaatimustenmukai-

suuden osoittamisen menettelyt on kerrottu erikseen tuoteryhmää koskevissa säädöksissä. Suomessa turvallisuus- ja kemikaalivirasto (TUKES) vastaa tuotteiden markkinavalvonnasta.

Käytännössä betonimurskeen käyttö tapahtuu joko ympäristönsuojelulain mukaisella ympäristölupamenettelyllä, MARA-asetuksen mukaisella ilmoitusmenettelyllä tai kunnallisiin ympäristönsuojelu- sekä jätehuoltomääräyksiin perustuvilla menettelyillä. Ympäristölupamenettelyn mukaisesti betonimursketta hyödynnetään kohteissa, joissa materiaalin jalostusarvolla ei yleensä ole merkitystä. Kun materiaalia käytetään vallirakenteisiin tai paksuihin täyttörakenteisiin ilman että siihen kohdistuu muita teknisiä vaatimuksia kuin kappaleen raekoko, sekä tietyt ympäristökelpoisuudet, niin silloin selkeästi hukataan materiaalia, jota voitaisiin käyttää teknisesti korkeatasoisemmassa rakentamisessa. Tällaisissa kohteissa jalostamattoman betonimurskeen sijasta pystyttäisiin hyödyntämään heikompileattuisia materiaaleja, jotka eivät muuten sovellu teknisesti vaativaan rakentamiseen. MARA-asetuksen mukaisesti hyödynnettäessä on jonkin verran käyttöä rajoittavia tekijöitä, kuten pohjavesialueet, lasten leikkipaikat ja asuinrakennusten alusrakenteet. Muuten betonimurskeella rakentaminen tapahtuu laaditun suunnitelman mukaisesti, eikä ero luonnonkiviaineiksilla rakentamisesta. Kunnalliset menettelyt koskevat yleensä pieniä hyödyntämismääriä ja soveltuvat ei-ammattimaiseen rakentamiseen. Niissä materiaalin laadun suhteen käytetään samoja teknisiä ja ympäristökelpoisuusvaatimuksia kuin MARA-asetuksessa.

4.1 Ympäristönsuojelulaki 527/2014

Ympäristönsuojelulaki on ympäristön pilaantumisen ehkäisemistä koskeva yleislaki. Sitä sovelletaan toimintaan, josta aiheutuu, tai voi aiheutua ympäristön pilaantumista. Ympäristönsuojelulain 16. pykälän mukaan maahan ei saa jättää tai päästää jätettä tai ainetta, josta voi aiheutua maaperän huononemista tai haittaa terveydelle tai ympäristölle. Lisäksi lain 17. pykälään on kirjattu pohjaveden pilaamiskielto. Pohjaveden laadun takaamiseksi on säädetty, että toimintoja tai aineita ei saa sijoittaa vedenhankintaan soveltuville tai muuten tärkeille pohjavesialueille (Ympäristönsuojelulaki 2014, 16 §, 17 §).

Jätteen laitospäätöseen tai ammattimaiseen hyötykäyttöön tarvitaan ympäristönsuojelulain 527/2014 27 §:n mukainen ympäristölupa. Käytännössä tämä koskee betonijätteen vastaanottoa, varastointia, käsittelyä ja sen jalostusta eri käyttötarkoituksiin.

4.2 Jätelaki 646/2011

Jätelain 646/2011 tarkoituksena on ehkäistä jätteistä ja jätehuollosta aiheutuvaa vaaraa ja haittaa terveydelle ja ympäristölle, sekä vähentää jätteen määrää ja haitallisuutta, edistää luonnonvarojen kestävästä käytöstä,

varmistaa toimiva jätehuolto ja ehkäistä roskaantumista. Laki määrittelee jätteen esineeksi tai aineeksi, jonka sen haltija on poistanut tai aikoo poistaa käytöstä. Jätteeksi luetaan myös esine tai aine, jonka sen haltija on velvollinen poistamaan käytöstä. (Jätelaki 2011, 5 §). Materiaalin jalostaminen ei vaikuta materiaalin jätestatukseen, vaikka se jalostetaan ja CE-merkitään.

Suomen jätelainsäädäntö seuraa Euroopan unionin jätelainsäädännön kehitystä. Jätelaki toimii ensisijaisena implementoimiskeinona jätepuitedirektiiville (2008/98/EY). Jättesääntely on alun perin osa terveydensuojelulainsäädäntöä, mutta sen painotukset ovat muuttuneet ympäristölainsäädännön kehittyessä. Joiltain osin Suomen lainsäädäntö on EU-säädöksiä laaja-alaisempi ja tiukempi.

4.3 Valtioneuvoston asetus 843/2017

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa (VNa 843/2017) eli ns. MARA-asetus pyrkii lisäämään jätteiden hyödyntämistä ja siten edistämään kestävää luonnonvarojen käyttöä ja kiertotaloutta. Asetuksessa määritellään vaatimukset, joiden täytyessä asetuksessa tarkoitettujen jätteiden hyödyntämiseen ei tarvita ympäristönsuojelulain (527/2014) mukaista ympäristölupaa. Näiden vaatimusten täytyminen osoitetaan ympäristöluvan sijaan hyödyntämistä koskevassa rekisteröinti-ilmoituksessa. Betonimurske kuuluu asetuksen soveltamisalaan. Joissakin asetuksen mukaisissa rakenteissa, kuten vallirakenteissa, betonimurskeen käyttö on kielletty. Rajoituksilla pyritään ohjaamaan kyseiset jättemateriaalit jatkojalostukseen ja sitä kautta laadukkaampaan hyödyntämiseen muissa asetuksen tarkoittamissa maarakentamiskohteissa.

Mara-ilmoitusmenettelyä varten kootaan asetuksessa edellytetyt tiedot rekisteröinti-ilmoitukseen. Lähtökohtaisesti jätteen hyödyntämisen Mara-asetuksen mukaisesti tulee perustua lakisääteiseen suunnitelmaan, lupaan tai ilmoitukseen. Mikäli ilmoitus laaditaan hankkeeseen ryhtyvän tai omistajan puolesta, niin myös kirjalliset suostumukset on hankittava.

Mara-asetuksen mukaista ilmoitusta varten tarvittavat tiedot ovat:

- 1) hyödyntämispaikan ja väliaikaiseen varastointiin tarkoitetun paikan haltijan nimi ja yhteystiedot sekä laskutusosoite;
- 2) tiedot hyödyntämispaikan sijainnista koordinaatteineen merkittynä asemapiirrokseseen tai karttaan, johon rakenne on rajattu, sekä sen läheisyydessä sijaitsevista pohjavesialueista ja niiden luokista sekä vedenottoaikoista ja vesistöistä;
- 3) tiedot hyödyntämispaikan käyttötarkoituksesta ja maarakentamista koskevasta suunnitelmasta, luvasta tai ilmoituksesta taikka kunnan rakennusjärjestyksestä;
- 4) jätteen luovuttajan nimi ja yhteystiedot;
- 5) jätteen nimike ja selvitys jätteen sisältämien haitallisten aineiden liukoisuuksista, pitoisuuksista ja muista ominaisuuksista sekä näiden tietojen tuottamiseen liittyvä laadunhallintaraportti;
- 6) tiedot jätteen luovuttajan laadunvarmistusjärjestelmästä;
- 7) selvitys jätteen määrästä;
- 8) selvitys jätettä sisältävästä rakenteesta periaatepoikkileikkauksineen, jätteen teknisestä kelpoisuudesta kohteessa, peittämiseen tai päällystämiseen käytettävästä materiaalista, varastoinnista ja muusta toiminnasta hyödyntämispaikalla sekä näihin liittyvistä tarpeellisista ympäristönsuojelutoimista;
- 9) ajankohta, jolloin hyödyntäminen maarakentamisen aikana alkaa ja päättyy.

Mara-asetuksen tiedot kootaan ympäristöhallinnon lomakkeelle, joka lähetetään käsiteltäväksi alueelliseen Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukseen (ELY-keskus). Ilmoituksen käsittelystä peritään 220 € maksu. Asetuksen käytäntöönpanon avuksi on ympäristöhallinto laatinut soveltamisoppaan. Opasta on jo kertaalleen asetuksen voimassaoloaikana päivitetty, mutta silti hyväksymismenettelyissä on edelleen hienoisia eroja eri ELY-keskusten alueilla. Menettelyn tasapuolisuutta parantaisikin ilmoitusten käsittelyn keskittäminen yhdelle ELY-keskukselle. ELY-keskus merkitsee laaditun ilmoituksen ympäristönsuojelun tietojärjestelmään, jonka jälkeen hyödyntäminen voidaan ilmoituksen mukaisesti suorittaa. Toteutunut hanke raportoidaan ELY-keskukselle, jolloin mm. todelliset hankkeessa hyödynnetyt jätemäärät saadaan todenmukaisesti tilastoitua.

Vuosina 2006-2011 Mara-asetuksen mukaisella ilmoitusmenettelyllä käytettiin yhteensä noin 4,2 miljoonaa tonnia betoni- ja tuhka-jätettä. Suurin osa hyödynnetyistä jätteistä oli betonimursketta. Ilmoitusmenettelyllä hyödynnetyt betoni- ja tuhka-jätteen osuus oli vuonna 2010 vain noin 0,7 % sora- ja kalliokiviainesten oton kokonaismäärästä. Jätteen käyttö ilmoituksella keskittyi Etelä-Suomeen, erityisesti pääkaupunkiseudulle. (Mikkola 2013)

Uudenmaan ELY-keskuksen alueella vuonna 2018 tehtiin 160 Mara-asetuksen mukaista ilmoitusta. Ilmoituksilla ympäristönsuojelun tietojär-

jestelmään järjestelmään oli kirjattu hyödynnettäväksi 1,16 miljoona tonnia betonimursketta. (Betonimurskeen hyödyntäminen maarakentamisessa pääkaupunkiseudulla – käytön edistäminen ja käytön esteet, Kokous 30.1.2019 klo 13-14.30, 17. Kokous, Pauli Huotarinen Uudenmaan ELY-keskus)

4.4 EU:n rakennustuoteasetus (EU) N:o 305/2011

EU:n rakennustuoteasetus on korvannut 1.7.2013 alkaen aiemmin käytössä olleen rakennustuotedirektiivin. Rakennustuoteasetuksessa määrätään, että maanrakentamisessa käytettävä rakennustuote, jollaiseksi myös betonimurske luetaan, on CE-merkittävä, mikäli tuotteelle on olemassa sille sovellettavissa oleva harmonisoitu tuotestandardi (hEN). Rakennustuoteasetuksen tavoitteena on luotettavien ja tarkkojen tietojen saanti rakennustuotteiden suoritusasoista ja ominaisuuksista yhteisellä eurooppalaisella tavalla. Asetus edistää rakennustuotteiden vapaata liikkuuutta ja esteiden poistoa Euroopan sisäisessä kaupankäynnissä. (Ympäristöministeriö 2018)

CE-merkinnällä valmistaja vakuuttaa, että rakennustuotteen ominaisuudet ovat eurooppalaisen harmonisoidun tuotestandardin tai eurooppalaisen teknisen hyväksynnän mukaiset. CE-merkintä on pakollista suurelle osalle rakennustuotteita. Tämä tarkoittaa sitä, että rakennustuotteen valmistaja ei saa asettaa saataville markkinoille rakennustuotteita, jotka kuuluvat harmonisoidun tuotestandardin soveltamisalaan, jos niillä ei ole CE-merkintää.

CE-merkintää on mahdollista käyttää 0/90 tai tätä pienemmän raekoon betonimurskeelle. Valmistaja voi liittää betonimurskeeseen CE-merkinnän, mikäli standardin SFS-EN 13242 (Maa- ja vesirakentamisessa ja tienrakenteissa käytettävät sitomattomat ja hydraulisesti sidotut kiviainekset) vaatimukset täyttyvät. Merkintä on pakollinen, mikäli rakennustuotteelle on laadittu harmonisoitu tuotestandardi. Yritys voi halutesaan saattaa tuotteensa CE-merkinnän piiriin myös vapaaehtoisesti täyttämällä eurooppalaisen teknisen arvioinnin ETA:n vaatimukset. (Ympäristöministeriö 2018)

Betonimurskeelle on harmonisoitu tuotestandardi SFS-EN 13242 (Maa- ja vesirakentamisessa ja tienrakenteissa käytettävät sitomattomat ja hydraulisesti sidotut kiviainekset) ja se on myös vahvistettu suomalaiseksi kansalliseksi standardiksi. Standardi on tarkoitettu maa- ja vesirakentamisessa ja tierakenteissa käytettäville sitomattomille ja hydraulisesti sidotuille kiviaineksille, jotka ovat joko luonnon-, keino- tai uusiokiviainesta, ja se mahdollistaa vaatimustenmukaisen arvioinnin maarakentamisessa käytettävälle kiviainekselle. (Maa- ja vesirakentamisessa ja tienrakenteissa käytettävät sitomattomat ja hydraulisesti sidotut kiviainekset 2008, 4.) Harmonisoitu tuotestandardi osoittaa muun muassa tuotteesta selvitetävät tekniset ominaisuudet sekä säilyvyysvaatimukset (Lahti 2013). Omi-

naisuudet selvitetään hyödyntäen kunkin ominaisuuden osalta olemassa olevia standardeja.

CE-merkinnän tärkeänä osana on suoritustason pysyvyyden arviointi ja varmentamismenettely AVCP (Assessment and Verification of Constancy of Performance). Menettelyssä osoitetaan tarvittavat menettelyt tyyppi-testaukseen ja laadunvalvontaan. Tuotteen AVCP -luokka (1+, 1, 2+, 3 ja 4) kertoo eri tahojen osallistumisen tasosta CE-merkintää koskeviin testauksiin ja laadunvalvontaan. Alla olevassa kuvassa 9. on taulukoitu vaatimustenmukaisuusmenettelyn kontrollikeinoja.

KONTROLLIKEINOT	VAATIMUSTENMUKAISUUSMENETTELY (AC-LUOKKA)						
	Ilmoitetun laitoksen todistus AC-luokissa 1+, 1, 2+ ja 2. Valmistajan vakuus kaikissa.						
	1+	1	2+	2	3	4	
Tuotteen tyyppitestaus	▲ Vtai L	▲ Vtai L	●	●	●	▲ L	●
Tehtaalta otettujen näytteiden testaus	●	●	●	●			
Tehtaalta, markkinoilta tai rakennuspaikalta otettujen näytteiden testaus	▲ Vtai L						
Tehtaan sisäinen laadunvalvonta	●	●	●	●	●	●	●
Tehtaan ja sen sisäisen laadunvalvonnan alkutarkastus	▲ Vtai T	▲ Vtai T	▲ Vtai T	▲ Vtai T	▲ Vtai T	▲ Vtai T	
Tehtaan sisäisen laadunvalvonnan jatkuva valvonta, arviointi ja hyväksyminen	▲ T	▲ T	▲ T	▲ T			

● = valmistaja

▲ = ilmoitettu laitos, joka suorittaa tuotteiden varmistamis-, tarkastus- ja/tai testaustehtäviä

V = varmentaminen
T = tarkastuselin
L = testauslaboratorio

Kuva 9. Vaatimustenmukaisuuden osoittamisessa käytettävät menettelyt ja AC-luokat.

Betonimurske kuuluu standardin SFS-EN 13242 (Maa- ja vesirakentamisessa ja tierakenteissa käytettävät sitomattomat ja hydraulisesti sidotut kiviainekset) mukaan AVCP- luokkaan 4 ja 2+. Standardin liitteen ZA mukaan ensiksi mainittua luokkaa käytetään vaatimustenmukaisuuden osoittamismenettelynä kiviaineksille käyttökohteissa, joissa ei ole korkeita turvallisuusvaatimuksia, eikä kolmannen osapuolen osallistumista vaadita. Lisäksi standardi ohjeistaa vaatimustenmukaisuuden osoittamismenettelyn luokalle 2+, jota sovelletaan kiviaineksille kohteissa, joissa on korkeat turvallisuusvaatimukset. (Maa- ja vesirakentamisessa ja tienrakenteissa käytettävät sitomattomat ja hydraulisesti sidotut kiviainekset 2008, 33.) Rudus Oy:n tuottamalle Betoroc-murskeelle on myönnetty standardin EN 13242:2002+A1:2007 liitteen ZA sertifikaatti järjestelmän 2+ mukaisesti ensimmäisen kerran 14.6.2016 ja ulkopuolinen auditoitsija varmistaa toiminnan vuosittain suoritettavilla tarkastuksilla. CE-merkinnän edellyttämiä testauksia ja valmistuksen laadunvalvontaa saavat tehdä niin sanotut ilmoitetut laitokset. Suomessa ympäristöministeriö nimeää ilmoitetut laitokset ja valvoo niiden toimintaa.

Tuotteen CE-merkinnästä vastaa tuotteen valmistaja. Liitteessä 1 on Rudus Oy:n Helsingin Konalan toimipisteellä tuotteistaman Betoroc BeM II 0/45 mm betonimurskeen CE-merkki. Suomessa CE-merkintöjä valvovana markkinavalvontaviranomaisena toimii Turvallisuus- ja kemikaalivirasto TUKES. Viranomaisen on halutessaan saatava rakennustuotteeseen liittyvät asiakirjat sekä muu tarvittava aineisto nähtäväksi. CE-merkinnän perusteeton käyttö voi johtaa tuotteen luovutuksen ja käytön, sekä sen rakentamiskäytön kieltoon, kunnes virheelliset kohdat ovat vaatimusten mukaiset. (Liikennevirasto 2018)

Betonimurskeen tekninen kelpoisuus on osoitettava rakennustuoteasetuksen ja eurooppalaisten kiviainesstandardien mukaisesti. Betonimurskeen aiottu käyttötarkoitus määrittelee noudatettavan standardin. Teknisen kelpoisuuden osalta betonimurskeen ominaisuudet on tutkittava ja ilmoitettava alla lueteltujen harmonisoitujen EN –standardien mukaisesti.

- EN 13242 Maa- ja vesirakentamisessa ja tierakentamisessa käytettävät sitomattomat ja hydraulisesti sidotut kiviainekset,
- EN 13043 Kiviainekset teiden, lentokenttien ja muiden liikennöityjen alueiden asfalttimassoihin ja pintauksiin,
- EN 12620 Betonikiviainekset.

Betonimurskeilta eri käyttötarkoituksissa vaadittavat ominaisuudet määrittyvät lisäksi kansallisten kiviainesstandardien (SFS 7003-7005) mukaisesti, ja mahdollisesti muiden käyttötarkoitusta koskevien yleisten ohjeiden, kuten InfraRYL:n mukaisesti.

Betonimurskeiden tekninen kelpoisuus osoitetaan ensisijaisesti suoritus-tasoilmoituksella ja CE-merkinnällä. Mikäli CE-merkintä ei ole mahdollinen rakennustuoteasetuksessa mainituissa poikkeuksissa, kelpoisuus on osoitettava edellä mainittujen standardein mukaisesti tuoteselosteella.

4.5 Jätteen luokittelun päättymisen (EoW)

Euroopan komission ja neuvoston asetuksissa määritellään kriteerit (ns. end-of-waste -kriteerit), joiden perusteella aine tai esine lakkaa olemasta jätettä. Kriteerit perustuvat Euroopan parlamentin ja neuvoston jätedirektiiviin. Valtioneuvoston asetuksella voidaan antaa tarkempia säännöksiä jätelajeittain siitä, milloin aine tai esine ei ole enää jätettä, jos:

1) se on läpikäynyt hyödyntämistoimen;

Jätedirektiivin oikeudellisesti sitovan johdannon 22 kohdan mukaan hyödyntämistoimi voi olla yksinkertaisimmillaan tarkastus, mutta Rudus Oy:n toiminnassa hyödyntämistoimi muodostuu raaka-ainetarkastuksista, soveltumattomien metallien ja muiden materiaalien poistosta sekä raaka-aineen murskauksesta ja seulonnasta haluttuun raakokoon Rudus Oy:n hallintajärjestelmän mukaisine valvontatoimenpiteineen.

2) sillä on käyttötarkoitus, johon sitä käytetään yleisesti;

Kysyntä mm. tie- ja kadunrakennuksen käyttötarkoitukseen (etenkin jakavat ja kantavat kerrokset) on ollut jo pitkään. Edellä mainittuihin käyttötarkoituksiin ovat Tiehallinto ja Kuntaliitto julkaisseet jo vuonna 2000 omat betonimurskeohjeensa ja sittemmin ohjeistus on päivitetty mm. 05/2017 julkaistuun InfraRYL:n päivitykseen. Jättemateriaalina betonimurskeen käyttö väylä- ja kenttärakenteissa sekä teollisuus- ja varastorakennusten pohjarakenteissa on sallittu myös Mara-asetuksella (Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 843/2017). Rudus Oy:n laatimassa Betoroc-ohjeessa on yksilöity useita soveltuvia käyttötarkoituksia. Ensimmäinen Rudus Oy:n Betoroc-ohje on julkaistu 1990-luvulla, jonka jälkeen ohje päivitetty useita kertoja.

3) sillä on markkinat tai kysyntää;

Betoniraaka-aineet on prosessoitu ja myyty CE-merkittyinä materiaaleina käyttöön. Betoroc-tuotetta on Suomessa myyty noin seitsemän miljoonaa tonnia suoraan korvaamaan luonnonkiviaineeksiä. Jatkossa tehtävä Betoroc-murskeen määrittely tuotteeksi tiettyihin käyttötarkoituksiin selvittää Betorocin asemaa. Samalla se poistaa aiempia mielikuviin perustuvia kysynnän esteitä, kuten luokittelemattomat rakennusjätteet, joita virheellisesti markkinoidaan betonimurskeina.

4) se täyttää käyttötarkoituksensa mukaiset tekniset vaatimukset ja on vastaaviin tuotteisiin sovellettavien säännösten mukainen;

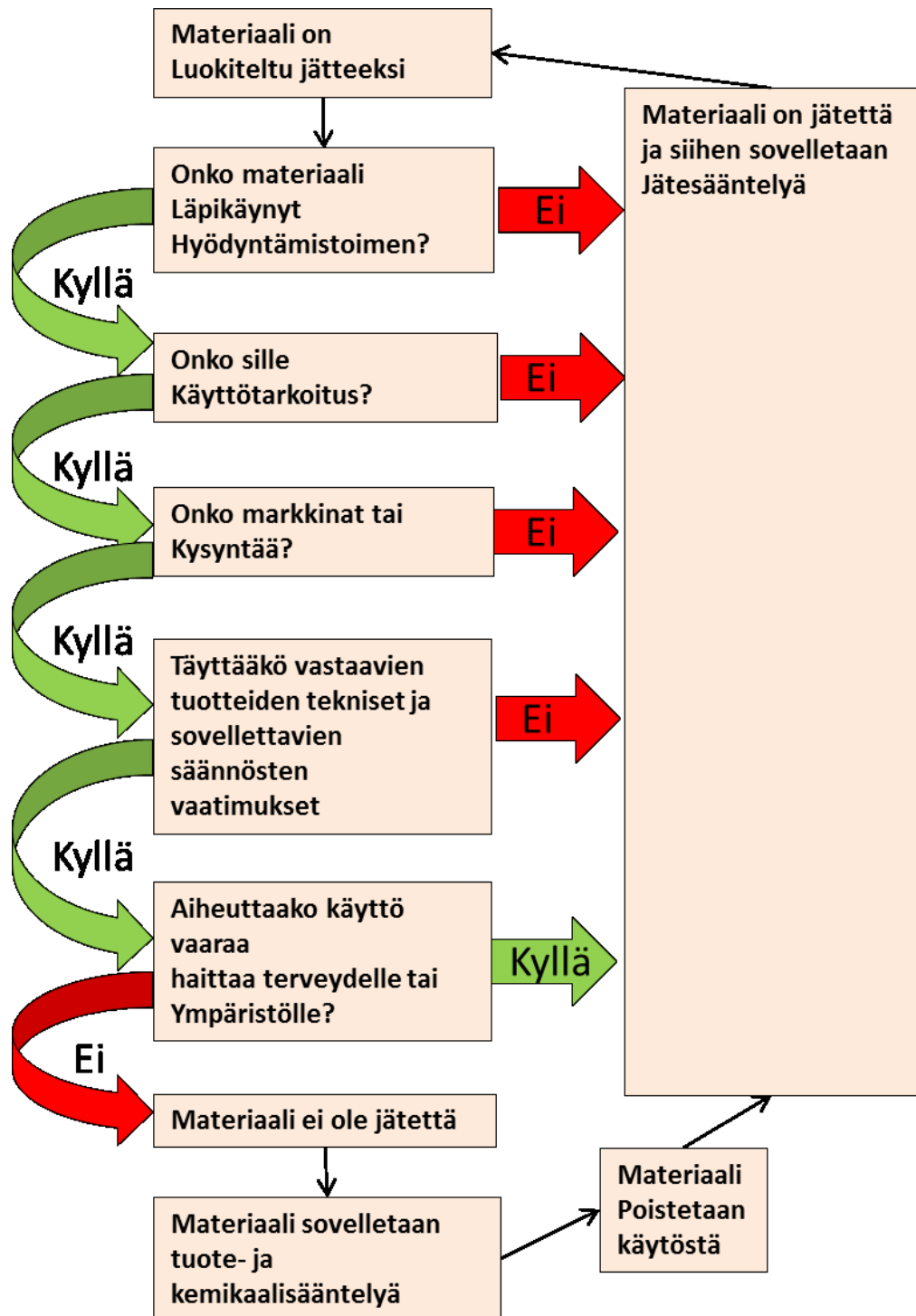
Betonimurske vastaa luonteeltaan, käyttöominaisuuksiltaan ja toiminnallisesti vastaaville neitseellisille kiviaineksille asetettuja vaatimuksia. Teknisiin vaatimuksiin olennaisesti kuuluva materiaalien pitkäaikaistoimivuus käyttötarkoituksessaan on osoitettu mm. Betorocilla toteutettujen kohteiden seurantamittauksilla, jotka useissa kohteissa ovat jatkuneet yli 20 vuotta. Rudus Oy on tehnyt pitkäaikaista laadunvalvontatutkimusta, josta on saatu tietoa mm. tässä työssä tarkasteltavaan rakeisuuksien ja puristuslujuuksien arviointiin, ja niiden avulla voidaan osoittaa tuotteen säännösten mukaisuus.

Tien rakennekerrokset, joissa on käytetty 0/50 mm betonimursketta kantavassa tai jakavassa kerroksessa, saavuttavat 13–15 vuoden jälkeen rakentamisesta keskimäärin noin 15–25 %:a suuremman kantavuuden päällysteen pinnalta, kuin tavallisella kiviaineksella rakennetut rakennekerrokset. Kantavuuden kehittymiseen vaikuttaa betonimurskeen lujittuminen, joka tapahtuu rakenteissa ajan myötä. Lujittuminen perustuu sitoutumattoman sementin murskauksessa syntyvien reaktiopintojen sitoutumiseen. Koekohteiden havaintojen perusteella betonimurskeen lujittuminen on suurinta ensimmäisten vuosien jälkeen rakentamisesta ja lujittuminen hidastuu noin 2-5 vuoden jälkeen rakentamisesta. (Dettenborn 2013 s. 100)

- 5) sen käyttö ei kokonaisuutena arvioiden aiheuta vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle;

Yleisenä lähtökohtana terveys- ja ympäristöhaittojen arvioinnissa voidaan käyttää tuotteen testaustuloksia, joiden avulla mitataan tuotteesta vapautuvien aineiden pitoisuuksia mm. maaperään, ilmaan tai vesiympäristöön. Riskitason hyväksyttävyyys voidaan arvioida vertaamalla testituloksia soveltuviin terveys- tai ympäristönsuojelun viitearvoihin, jos sellaisia on käytettävissä. Betonin ympäristökelpoisuutta on selvitetty mm. Marasetuksen laatimisen yhteydessä. Siinä on määritelty soveltuvat vaarallisten aineiden pitoisuudet betonimurskeelle siitä riippumatta, täyttääkö se tuotteistamisen muut edellytykset. Luonnonkiviaineksille ei ole olemassa terveys- ja ympäristöhaittojen määrittelyyn soveltuvia raja-arvoja, joten vertaaminen niihin ei betonimurskeen osalta ole ilman laajoja analyysejä mahdollista. Toimija tunnistaa prosessissa tuotteen mahdolliset terveys- ja ympäristöhaitat sekä tarvittaessa esittää millä keinoilla haittoja mitataan. Tarvittaessa toiminnanharjoittaja esittää, millä riskinhallintakeinoilla materiaalin mahdollisia haittoja voidaan sen käytön aikana rajoittaa. Laatuvalvotun Betorocin lujittumisominaisuudet voivat vähentää rakennevaurioista aiheutuvia vaaratekijöitä ja päällysteiden korjauskustannuksia.

Ympäristöministeriö on teettänyt Suomen ympäristökeskuksella kaksi EoW-hanketta, joissa betonimurske on ollut mukana. Hankkeissa on tutkittu eräiden jätteiden osalta jätteeksi luokittelusta poistumisen hyötyjä ja haittoja. Ensimmäinen projekti on päättynyt ja sen raportti julkaistu alkuvuodesta 2018 (Ymra 9/2018). Toisessa hankkeessa on laadittu mm. muistio tapauskohtaisen päätöksenteon tueksi jätteeksi luokittelusta poistumisesta. Kuvassa 10. on muistiossa esitytetty kaaviokuvan muodossa jäteluonteen päättymisen prosessi.



Kuva 10. Kaavio jäteluonteen päättymistä koskevasta arvioinnista (Ympäristöministeriö muistioluonnos 28.10.2018)

Ympäristöministeriössä on valmisteilla valtioneuvoston asetus betonimurskeen jätteeksi luokittelun päättymisestä. Asetusvalmistelu on aloitettu 2018 ja ensimmäinen luonnos on ollut kohdennetusti nähtävillä. Asetuksen laatiminen on alkanut työpajoilla ja seuraavana odotetaan asetusluonnosta lausunnolle.

Jätedirektiiviin 2008/98/EY2 on hyväksytty muutokset Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivillä (EU) 2018/8513 keväällä 2018, ja nämä muutokset on toimeenpantava jäsenmaiden lainsäädäntöön viimeistään heinäkuuhun 2020 mennessä. Säädöksessä on muun ohella tarkennettu jäteluonteen päättymistä koskevia kriteerejä yleisesti. Direktiivissä kannustetaan kansallisten ja tapauskohtaisten päätösten tekemiseen, mutta samalla direktiivissä korostetaan, että viranomaispäätösten tulisi mahdollisimman hyvin noudattaa sisällöltään EU-säädösten sisältövaatimuksia. Päätösten tulisi olla viranomaisten vahvistamia ja niistä tulisi olla tiedot kootusti saatavilla. Lisäksi direktiivissä säädetyissä arviointiperusteissa on selvennetty, että jätteestä valmistetun tuotteen markkinoille saattajan velvollisuus on varmistaa, että tuote täyttää kemikaali- ja tuotelainsäädännön vaatimukset.

Sekä kansalliset että tapauskohtaiset EoW -päätökset ovat lähtökohtaisesti voimassa vain siinä maassa, jossa päätös on tehty. Jos materiaalia aiotaan viedä toiseen maahan, pitää vientimaan toimivaltaiselta viranomaiselta selvittää, hyväksyykö se kyseistä materiaalia koskevan Suomessa tehdyn jäteluonteen päättymistä koskevan päätöksen.

5 BETONIMURSKEEN LAADUNVALVONTA

5.1 Betonimurskeen laatuluokat

Laadunvalvonnan tavoitteena on varmistaa, että asiakkaille toimitettavat tuotteet täyttävät niille asetetut vaatimukset, ja että asiakkaalla on laadun osoittamiseksi tarvittavat ajantasaiset asiakirjat saatavilla ja liitettävissä omaan laatujärjestelmäänsä. Laadukkaan toiminnan ja laatuvaatimukset täyttävien tuotteiden kautta pyritään edistämään uusiomateriaalien hyötykäyttöä ja sitä kautta edistämään kestävä kehityksen periaatteita. Toimintaa varten on betonimurskeille toiminta- ja laatujärjestelmä, jolloin varmistutaan, että tuotteet täyttävät niille asetetut vaatimukset. Varmennukseen käytetään kolmannen osapuolen varmistusta (tuotannon sisäistä laadunvalvontaa koskeva sertifikaatti 0416-CPR-9480-01).

Tässä työssä on keskitytty laadunvalvonnan osalta vain puristuslujuuden ja rakeisuuden tuloksiin. Aiemmissa tarkasteluissa esillä ovat olleet betonimurskeen ympäristökelpoisuuteen liittyvät ominaisuudet.

Betonimurskeet on jaettu neljään luokkaan BeM I-IV. Luokan BeM I-murskeen raaka-aine on pääsääntöisesti betoniteollisuuden ylijäämäbetonia, joka voi sisältää 0,5 paino-% muita vierasaineita (puu, metalli, muovi) kuin tiili. BeM II -luokan betonimurske voi sisältää 10 paino-% tiiltä ja 1 paino-% muita vierasaineita, BeM III -luokan betonimurskeen joukossa voi olla 10 paino-% tiiltä ja 1 paino-% muita vierasaineita. BeM IV -luokan betonimurskeessa saa olla korkeintaan 30 paino-% tiiltä ja 1 pai-

no-% vierasaineita. Epäpuhtaudet voivat vaikuttaa betonimurskeen teknisiin ominaisuuksiin, mikä puolestaan vaikuttaa betonimurskeen soveltuvuuteen eri käyttökohteissa. Kunkin BeM-luokan betonimurskeiden ominaisuuksille, kuten 28 vuorokauden ikäisen näytteen puristusluvulle (BeM I ja II) ja raekokojakaumalle, on asetettu raja-arvoja InfraRYL-ohjeistuksessa. (InfraRYL 2017, Helsinki 2015).

Luokittelu pohjautuu nykyisen Väyläviraston 1990-luvulla laatimiin ohjeisiin, joiden pohjalta tehdyt luokitusperusteet ovat käytössä mm. InfraRYL:ssä. Työn liitteenä 2 on Väyläviraston ohjeita xx/201X (Luonnos 18.3.2019), Uusiomateriaalien käyttö väylärakentamisessa -oppaan betonimurskeen materiaalikortti. Kortissa on esitetty tekniset tiedot ja materiaaliparametrit. Ohje on ollut lausuntokierroksella keväällä 2019 ja lausuntojen käsittely ohjeen työstäminen ovat vielä työn alla. Ohje on tarkoitus julkaista vuoden 2019 aikana.

Korkeampilaatuissa betonimurskeissa BeM I ja BeM II tapahtuu lujittumista rakentamisen jälkeen, mikäli olosuhteet ovat lujittumiselle suotuisat. Lujittuminen nostaa erityisesti materiaalin kantavuutta. Lujittumisen edistämiseksi rakentamis- ja jälkihoitovaiheessa on huolehdittava betonimurskeen riittävästä kastelusta. Myös tiivistystyötä voidaan tehostaa ja nopeuttaa kastelemalla betonimursketta ennen tiivistämistä. BeM-luokat ja niiden materiaaliominaisuudet on esitetty alla olevassa taulukossa 1.

Taulukko 1. Betonimurskeiden ominaisuuksia: Raaka-aineet (a), mitoituspärametreja ja vaatimuksia (b) sekä muita ominaisuuksia (c). (Helsingin, Espoon ja Vantaan kaupunki 2015.)

a)	BeM I	Epäpuhtauksista vapaa betonijäte, joka on peräisin esim. betoniteollisuudesta				
	BeM II	Purkutyömailta tai muualta peräisin oleva betonijäte				
	BeM III	Purkutyömailta tai muualta peräisin oleva betonijäte, jonka uudelleenlujittuminen on epävarmaa				
	BeM IV	Purkutyömailta tai muualta peräisin oleva betonijäte, jonka uudelleenlujittuminen on epävarmaa				
b)	Luokka	Puristuslujuus [MPa]	Routivuus	E-moduuli [MPa]	Tiilen max. osuus [paino-%]	Muiden materiaalien max. osuus** [paino-%]
	BeM I	≥ 1,2	Routimaton	700	0	0,5
	BeM II	≥ 0,8	Routimaton	500	10	1
	BeM III	Epävarmaa	Routimaton	280 / 300***	10	1
	BeM IV	Vaihtelee	Vaihtelee	Vaihtelee	30	1
	*	harkittava tapauskohtaisesti				
	**	puu, muovi, yms. Tämän paino-% vaatimuksen lisäksi erityisen keveitä materiaaleja (esim. solumuovi- ja vuorivilla-eristeet) ei saa olla haitallisissa määrin.				
	***	Liikenneviraston ohje / Kuntaliiton ohje				
c)	Ominaisuus	BeM I, II, III	Yksikkö	Ominaisuus	BeM I, II, III	Yksikkö
	Optimivesipitoisuus, w_{opt}	8...12	%	Kapillaarisuus, H_c	0,2...0,25	m
	Maksimikuivatilavuuspaino	17,5...20,5	kN/m ³	Vedenläpäisevyys, k	10 ⁻⁴ ... 10 ⁻³	m/s
	Minimikuivatilavuuspaino	12,7...14,5	kN/m ³	Happamuus, pH	11...12,5	-
	Kiintotiheys	2,55...2,65	t/m ³	Kitkakulma	40	°

5.2 EoW menettelyyn liittyvä valvonta

EoW–betonimurskeiden valmistajan, valmistuksen ja tuotteiden osalta vaatimusten mukaisuuden osoittamisluokaksi olisi Suomessa päätettävä 2+, joka tarkoittaa, että edellä mainittuja asioita valvoo säännöllisesti kolmas osapuoli. Osoituksena siitä valmistajalla on oltava tuotesertifioin-

titodistus eli todistus tehtaan sisäisen laadunvalvonnan vaatimustenmukaisuudesta. Kolmas osapuoli valvoo täten valmistajan laadunhallintajärjestelmän toimivuutta, tuotteiden testauksen vaatimusten mukaisuutta sekä tuotteiden laatuasiakirjojen vaatimusten mukaisuutta.

Tuotestandardeissa on teknisten ominaisuuksien lisäksi määritelty, että kansallisesti voidaan tarkentaa, mitä tarkoitetaan tuotteen vaarallisten ominaisuuksien ilmoittamisella. Tämä voidaan tässä yhteydessä kansallisesti päättää, että jätteiksi luokittelun päättyminen betonimurskeiden osalta se tarkoittaa EoW-kriteerien täyttymistä ja tällöin niidenkin osalta valvonta voidaan osoittaa kolmannen osapuolen tehtäväksi.

Lisäksi betonimurskeita valmistavat laitokset kuuluvat YSL:n mukaisesti lupavalvonnan piiriin, jolloin lupamääräysten mukaiset vuosi-ilmoitukset tulee valmistajan tehtäväksi automaattisesti sekä lupavalvonta kattaa kiinteän käsittelylaitoksen koko toiminnan. Nyt esillä olevassa betonimurskeen asetusluonnoksessa, jossa määritetään arviointiperusteet sille, milloin betonimurske lakkaa olemasta jätettä, on maanrakennuskäytölle edellytyksenä ulkoinen, kolmannen osapuolen laadunvalvonta.

5.3 Laadunvalvontatutkimukset

5.3.1 Puristuslujuus

Betonimurskeen puristuslujuus suoritetaan menetelmällä, jossa määritetään lujittuneen betonimurskeen puristuslujuus 7 ja 28 vuorokauden ikäisistä halkaisijaltaan 100 mm koekappaleista. Testilajite on 0/25 mm, joka tiivistetään koekappalemuottiin sopivalla vesipitoisuudella. Menetelmä soveltuu betonimurskeen luokitteluun standardin SFS 5884 liitteen A mukaisesti. Koska betonimurskeelle on hankala määrittää optimivesipitoisuutta, koekappaleet valmistetaan esikäsittelyvaiheessa määritetyn vesipitoisuuden perusteella valitussa kosteuspitoisuudessa. Puristuslujuus määritetään kolmesta koekappaleesta 7 vuorokauden ikäisenä ja kolmesta koekappaleesta 28 vuorokauden ikäisenä. Menetelmä on haastava ko. rakeisuudella, ja varmuustoimenpiteenä käytetään kolmen kappaleen keskiarvoa. Seitsemäs varakappale puristetaan tarvittaessa. Koekappaleet säilytetään + 20 °C lämpötilassa muovikelmulla peitettynä.

Puristuslujuudesta tehtävän testiraportin tulee sisältää: a) näyte-erän tunnistustiedot ja testauspäivämäärä, b) koekappaleen valmistusmenetelmä ja päivämäärä, c) koekappaleiden valmistuksessa käytetty vesipitoisuus (w), d) suurin kuorma murtohetkellä, kN, e) yksittäisten koekappaleiden puristuslujuus, MPa, pyöristettynä lähimpään 0,1 MPa:iin ja kolmen määrittämisen keskiarvo 7 ja 28 vuorokauden ikäisenä, f) yksittäisten koekappaleiden mitat ja vesipitoisuus (w₂).

Puristuslujuus saadaan yhtälöllä:

$$f = F/A$$

missä:

f on puristuslujuus, MPa (N/mm²)

F on suurin kuorma murtohetkellä, N

A on kuormituksen alaisen koekappaleen poikkileikkauspinta-ala mm²

Puristuslujuus ilmoitetaan pyöristettynä lähimpään 0,1 MPa:iin.

Kiviainekselle perinteisesti käytettävät iskunkestävyyden ja lujuuden mitaukseen tarkoitetut menetelmät, kuten Los Angeles-luvun tai kuulamylyarvon määrittäminen, eivät sovellu betonimurskeelle. Niiden perusteella ei saada todellista kuvaa materiaalin toimivuudesta rakenteessa, koska betonimurskeen lujuus ja sitä kautta kantavuuden kehittyminen perustuu murskauksen yhteydessä vapautuvan sementin uudelleensitoutumiseen. Tämän vuoksi betonimurskeelle laadunvalvontamielessä sopivin menetelmä lujuuden määrittämiseen on puristuslujuuden mittaaminen koekappaleiden avulla.

5.3.2 Rakeisuus

Kaikille betonimurskeille tehdään rakeisuuden määrittäminen. Määrittäminen tapahtuu tuotannonaikaisessa laadunvalvonnassa SFS-EN 933-1 standardin mukaisesti. Hienoaineksen määrä määritellään pesuseulonnalla SFS-EN 933-1 standardin mukaisesti. Seulonnassa 0,063 mm:n seulalle jäänyt kiviaines kuivataan ja tuloksena ilmoitetaan 0,063 mm:n seulan läpäisevän kiviaineksen määrä. (SFS-EN 933-1.)

5.3.3 Litteysluvun määrittäminen

Testin suorittaminen edellyttää kahta eri seulontavaihetta. Ensimmäisellä seulonnalla näyte jaetaan SFS EN 932-2 standardin mukaisten seulasarjojen avulla eri raekokolajitteisiin. Seuraavassa vaiheessa kukin raekokolajite seulotaan välppäseulojen avulla. Näytteen litteysluku määritetään laskemalla välppäseulat läpäisseiden rakeiden massa prosentteina koko testatun näytteen kuivasta massasta. Tarvittaessa jokaisen raekokolajitteen litteysluku voidaan määrittellä laskemalla vastaavan välppäseulan läpäisseiden kivirakeiden massa prosentteina koko kyseisen raekokolajitteen massasta. (SFS-EN 933-3.)

5.3.4 Muotoarvo

Kiviaineksen muotoarvo saadaan jakamalla kiviainesrakeen pituus sen paksuudella. Kiviainesrakeen pidempi sivu L ilmoittaa rakeen pituuden ja lyhyempi sivu E sen paksuuden. Karkeiden kiviainesten kohdalla yksittäisillä rakeilla voidaan ilmoittaa muotoarvo. Pienempien rakeiden kohdalla

muotoarvo lasketaan niiden rakeiden massasta, joiden suhde on suurempi kuin 3, ilmaistuna prosentteina testattujen kiviainesrakeiden kuivasta kokonaismassasta. (SFS-EN 933-4.)

5.3.5 Iskunkestävyys

Kiviainesten fysikaaliset vaatimukset testataan normaalisti iskunkestävyydellä. Iskunkestävyyden määrittämiseen käytetään Los Angeleskoetta, joka tehdään SFS-EN 1097-2 standardin mukaisesti. Los Angeleskoe ei sovellu betonimurskeelle lujittumisominaisuuksien vuoksi, ja tämän testin osalta materiaalille ei ole raja-arvoja. Betonimurskeelle eri tutkimuksissa saadut LA-luvut vaihtelevat suuresti riippuen lähtömateriaalin, eli betonin lujuudesta ja siinä käytetystä kiviaineksestä. Tie- ja katurakenteen kantavalle kerrokselle on esitetty vaatimustaso iskunkestävyyden osalta Los Angeles-lukuna, kun kerros rakennetaan kallio- tai sora-murskeesta. Uusiomateriaalien Los Angeles-luku on ilmoitettava, mutta sille ei ole vielä asetettu vaatimusta, koska sen vaikutuksesta rakenteen toimivuuteen ja pitkäaikaiskestävyyteen ei ole riittävästi aineistoa.

5.3.6 Tiheys

Tiheys on suure, joka ilmaisee kappaleen massan suhteessa sen tilavuuteen. Uusiokiviaineksen tiheys riippuu siinä olevan sementtipastan määrästä siten, että uusiokiviaineksen tiheys on sitä suurempi mitä vähemmän sementtipastaa se sisältää. Uusiokiviaineksen tiheyteen vaikuttaa myös murskattavan betonin lujuus ja maksimiraekoko. Uusiokiviaineksen tiheys on alhaisempi kuin luonnonkiviaineksen, koska sen sisältämä sementtipasta on huokoisempaa ja kevyempää kuin kivirae.

5.3.7 Kemiaaliset ominaisuudet

Lujittumisen ohella betonimurskeen erottaa tavanomaisesta murskeesta sen emäksisyys. Betonimurskeen sisältämä sementtikivi tekee siitä selvästi emäksisen materiaalin. Tyypillisestä betonista valmistettavassa betonimurskeessa on keskimäärin noin 300 kg/m³ sementtikiveä ja noin 2000 kg/m³ luonnonkiviainesta sekä materiaalin huokostiloissa olevaa vapaata vettä (TTY 2014). Veden päästessä liikkumaan murskerakenteessa siihen voi liueta sementtikivestä emäksisiä ainesosia, jolloin sen pH-arvo kohoaa. Laboratoriotutkimuksissa on havaittu betonimurskeen läpi suotautuvan veden pH-arvon olevan noin 12,5. Tämä vastaa käytännössä kylläisen kalsiumhydroksidin vesiliuoksen pH:ta, joten arvoa voidaan pitää emäksisyyden enimmäisarvona betonimurskeen käyttöolosuhteissa. Betonimurskerakenteen läpi kulkeutuvan veden pH voi jäädä huomattavasti tätä alhaisemmaksi, riippuen esimerkiksi sen virtausnopeudesta. Happamuusastetta kuvaava pH-asteikko on logaritminen, jolloin yhden yksikön muutos vastaa liuoksen happamuuden kasvua kymmenkertaiseksi. (Liden 2018)

5.3.8 InfraRYL

Infrarakenteiden yleiset laatuvaatimukset -julkaisu (InfraRYL) ohjeistaa uusiomateriaalien, joihin myös BeM kuuluu, käyttöä maarakenteissa. InfraRYL 2017 mukaan sitomattoman kantavassa ja jakavassa kerroksessa käytettävien materiaalien materiaalivaatimukset ja kelpoisuus osoitetaan standardin SFS-EN 13242 mukaisella CE-merkinnällä, suoritus-tasoilmoituksella ja rakeisuuden tutkimustuloksilla.

Ohjeistuksen mukaan maarakenteissa käytettävien uusiomateriaalien on teknisiltä ominaisuuksiltaan ja maarakennuskelpoisuudeltaan sovelluttava käyttökohteeseen ja oltava riittävän tasalaatuisia. Kuormitettavissa maarakenteissa käytettävien uusiomateriaalien pitkäaikaiskestävyys osoitetaan käyttöhistorialla esim. toteutetuista rakennuskohteista. Uusiomateriaalien pitkäaikaiskestävyyteen liittyviä riskejä pienennetään alustavilla laboratorio- ja kenttäkokeilla sekä kokeilukohteista saadulla tiedolla. Rakeisuuden ja lujuusominaisuuksien lisäksi väylärakenteiden materiaaleille on asetettu vaatimuksia jäätymis-sulamiskestävyyden osalta. Betonimurskeen jäätymis-sulamiskäyttäytymistä käsittelevissä tutkimuksissa Suomessa ja Ruotsissa on havaittu betonimurskeen pakkasrapautumisen olevan hyvin vähäistä todellista käyttötilaa vastaavassa kosteustilassa, mutta kasvavan selvästi rakenteen ollessa vedellä kyllästettynä. (InfraRYL 2017)

InfraRYL 2017 mukaan betonimurske on osittain sitoutuva materiaali, mutta rakenteeseen tiivistetty betonimurske on kuitenkin aukikaivettavissa ja uudelleen tiivistettävissä. Ohjeen mukaan betonimurske ei soveltu käytettäväksi vedenpinnan alaisissa täytöissä tai rakenteissa hienoaikaisen mahdollisen liettymisen takia. Luonnonkiviainesta korkeampi pH-arvo rajoittaa betonimurskeen käyttöä. Esimerkiksi pinnoittamattomien alumiinisten vesihuoltolaitteiden kontaktia betonimurskeen kanssa on vältettävä korroosiovaaran takia.

Luokkien BeM I ja II murskeita voidaan käyttää sitomattomissa kantavissa kerroksissa, kun niiden raekokojakauma on SFS-EN 13285 luokkien GO tai GA mukainen. InfraRYL 2017 liitteessä T18 on tarkemmat ohjeet luokkien BeM I - III betonimurskeiden laatuvaatimuksista ja ominaisuuksien testaustihydestä käytettäessä sitomattomissa kantavissa ja jakavissa kerroksissa. (InfraRYL 2017)

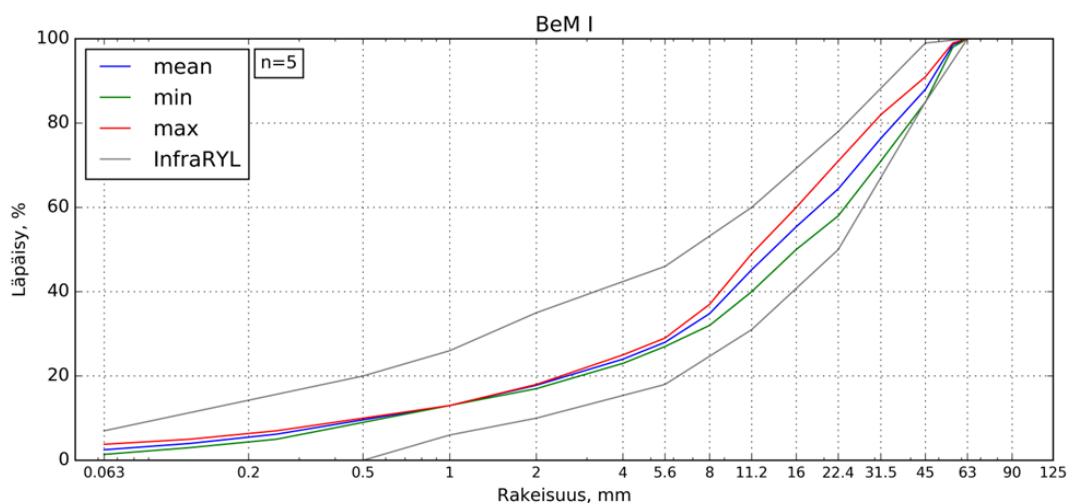
6 LAADUNVALVONTATULOKSET

Tässä työssä on käyty läpi Ruduksen Betoroc-betonimurskeen laadunvalvonnan laboratoriotuloksia vuosilta 2009-2017. Analysoitavaan aineistoon kuuluu seulontatestejä (BeM I 5 kpl ja BeM II 22 kpl) ja puristuslujuustestejä (BeM I 35 kpl ja BeM II 153 kpl).

6.1 Rakeisuus

BeM I luokan betonimurskeen seulontatestien tulosten hajonta oli hyvin pientä. Kaikki seulontatestien tulokset ovat InfraRYL:n taulukon "Taulukko 21310:T2am. Kantavan kerroksen murskeiden yksittäisten rakeisuustulosten sallittu vaihteluväli, luokka GO. 0/45" määrittelemien rajojen sisällä.

Kuvassa 11. on esitetty testien rakeisuuskäyrien tulokset. Kuvaajassa on myös esitetty edellä mainitun InfraRYL taulukon minimi ja maksimi arvot yksittäiselle testille. Seulontakokeiden tilastolliset tunnusluvut ovat esitettyinä alla taulukossa 2.



Kuva 11. BeM I rakeisuuskäyrien tulokset. Vaaka-akselilla on raekoko (mm). Pystyakselin arvot kuvaavat seulan läpäisyprosenttia.

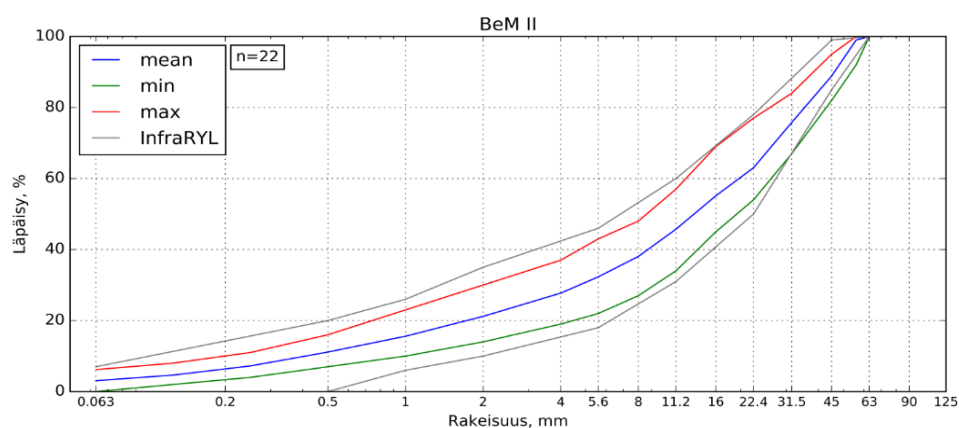
Taulukko 2. Seulontakokeiden tilastolliset tunnusluvut BeM I.

Seula- koko	0.063	0.125	0.25	0.5	1	2	4	5.6
KA	2.5	4	6.2	9.6	13	17.8	24	28
STD	0.95	0.71	0.84	0.55	0.00	0.45	0.71	0.71
Min	1.4	3	5	9	13	17	23	27
Max	3.8	5	7	10	13	18	25	29

Seula- koko	8	11.2	16	22.4	31.5	45	56	63
KA	34.8	45.2	55.4	64.4	76.4	88	98.6	100
STD	1.92	3.56	4.10	5.13	4.51	2.55	0.55	0.00
Min	32	40	50	58	71	85	98	100
Max	37	49	60	71	82	91	99	100

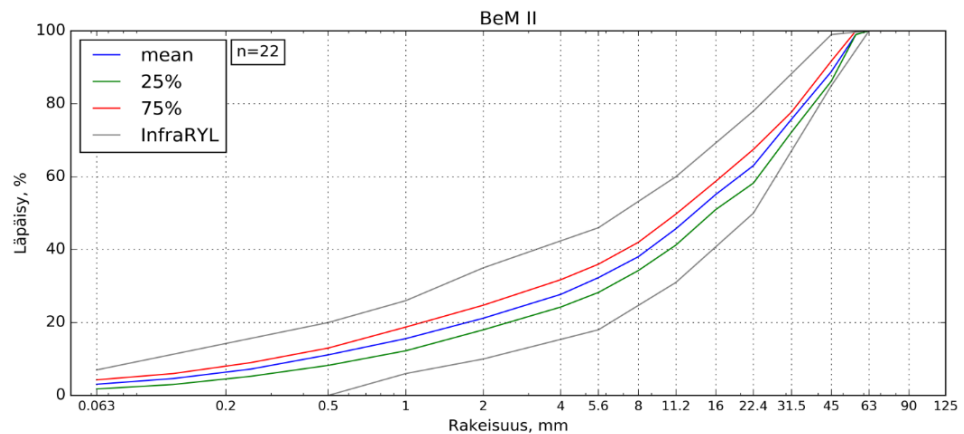
BeM II luokan betonimurskeen seulontatestien tulosten hajonta on InfraRYL:n asettamien raja-arvojen puitteissa. Lähes kaikki seulontatestit ovat InfraRYL -taulukon "Taulukko 21310:T2a. Kantavan kerroksen murskeiden yksittäisten rakeisuustulosten sallittu vaihteluväli, luokka GO. 0/45" määrittelemien rajojen sisällä.

Kuvassa 12. on esitetty BeM II seulontatutkimuksien tulokset. Kuvaajassa on myös esitetty edellä mainitun InfraRYL taulukon minimi ja maksimi arvot yksittäiselle testille. Laajemman aineiston johdosta minimi ja maksimi arvot on laajemmalle levittänyt kuin BeM I luokan murskeelle.



Kuva 12. Rakeisuuskäyrien tulokset. Vaaka-akselilla on raekoko (mm) Pystyakselin arvot kuvaavat seulan läpäisyprosenttia.

Aineiston 25 % ja 75 % rajat on kuitenkin kapealle hajaantunut (kuva 13). Seulontakokeiden tilastolliset tunnusluvut ovat esitettyinä taulukossa 3.



Kuva 13. Rakeisuuskäyrien 25 % ja 75 % rajat. Vaaka-akselilla on rakekoko (mm). Pystyakselin arvot kuvaavat seulan läpäisyprosenttia.

Taulukko 3. Seulontakokeiden tilastolliset tunnusluvut BeM II

Seula-koko	0.063	0.125	0.25	0.5	1	2	4	5.6
KA	3.1	4.6	7.2	11.1	15.6	21.2	27.7	32.3
STD	1.7	1.8	2.1	2.8	3.8	4.6	5.3	5.6
Min	0	2	4	7	10	14	19	22
25 %	1.8	3.0	5.3	8.3	12.3	18.0	24.3	28.3
50 %	2.95	4.5	7	11.5	16	21.5	28	32.5
75 %	4.3	6.0	9.0	13.0	18.8	24.8	31.8	36.0
Max	6.2	8	11	16	23	30	37	43

Seula-koko	8	11.2	16	22.4	31.5	45	56	63
KA	38.0	45.7	55.1	63.0	75.8	88.9	99.00	100
STD	5.7	6.0	6.2	6.4	5.2	3.6	1.88	0
Min	27	34	45	54	67	82	92	100
25 %	34.3	41.3	51.0	58.3	72.3	86.3	99	100
50 %	37.5	45.5	53.5	63.5	76	89	100	100
75 %	42.0	49.8	58.8	67.5	77.8	91.8	100	100
Max	48	57	69	77	84	95	100	100

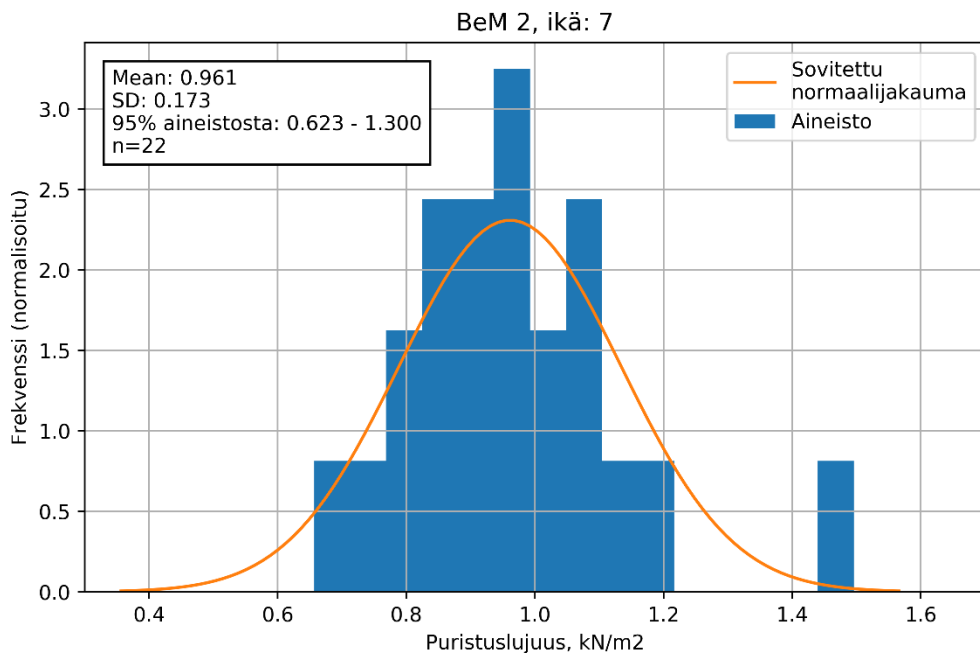
6.2 Puristuslujuus

Betonimurskeen laatuluokissa BeM I ja BeM II puristuslujuutta on testattava, jotta edellytettyjen raja-arvojen täytyminen voidaan osoittaa. Betonimurskeen puristuslujuus määritetään ICT-kokeella 7 vrk ja 28 vrk ikäisille näytteille. Puristuslujuus määritetään kolmen näytteen keskiarvolla.

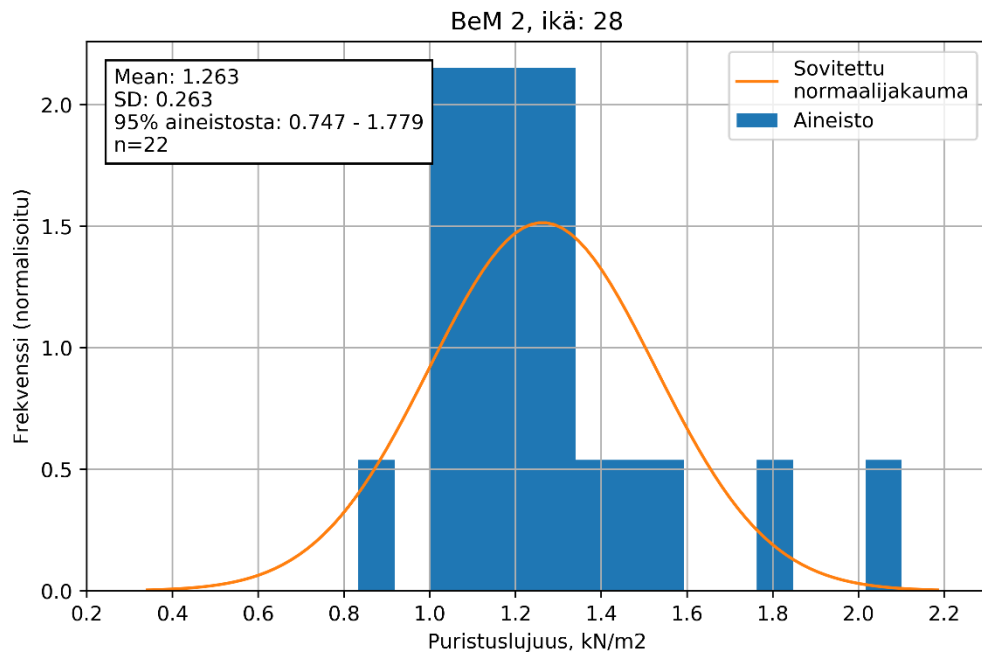
Yhdestä betonimurskekoe-erästä tehdään vähintään kuusi koestusta (3 kpl 7 vrk ja 3 kpl 28 vrk + 1 koekappale varalle).

BeM I luokan betonimurskeelle on dokumentoitu yhteensä viisi koe-erää eri vuosilta. Määrä on vähäisempi, koska käsitelty BeM I raaka-ainemäärä on käytännössä kahden betonituotetehtaan vuosittainen jätemäärä. Koe-eriä on siis vähän, joten tarkempaa tilastollista analyysia ei suoritettu. Tehtyjen tuloksien perusteella voidaan kuitenkin laskea keskiarvot. Seitsemän vuorokauden ikäisistä näytteistä ICT-puristuslujuuden keskiarvo oli 1.1 kN/m² ja 28 päivän 1.3 kN/m².

BeM II luokan betonimurskeesta on tutkittu 22 koe-erää. Alla olevissa Kuva 14 ja 15 on esitetty puristuslujuuksien hajonnat 7 vrk ja 28 vrk ikäiselle näytteille. Kuvaajiin on sovitettu normaalijakauma. Tehtyjen koestuksien perusteella 7 vrk ikäisen betonimurskeen lujuus on ollut keskimäärin 0,96 kN/m² ja 28 vrk vastaavasti 1,26 kN/m².



Kuva 14. BeM II luokan betonimurskeen puristuslujuuden tulokset 7 vrk ikäisille näytteille.

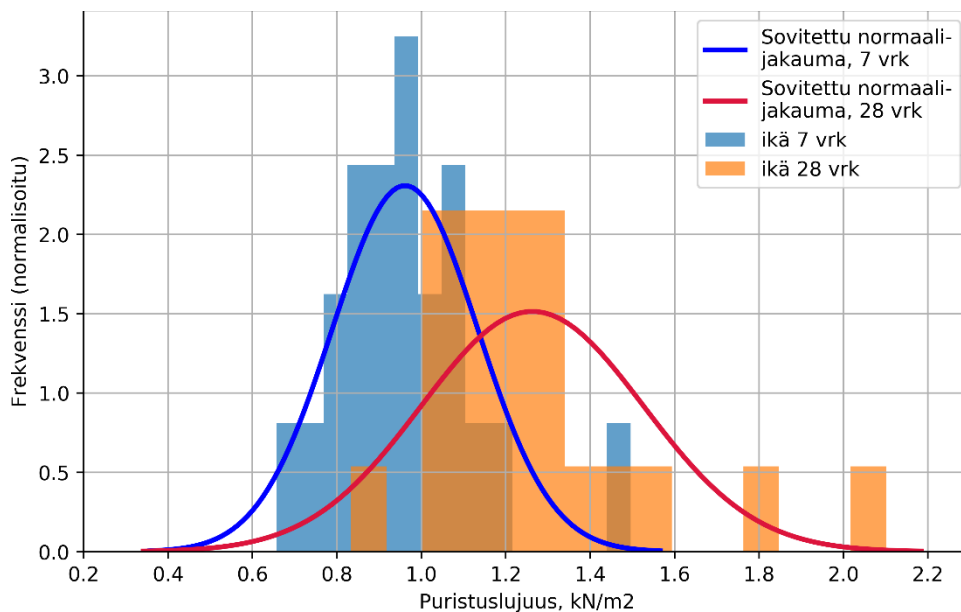


Kuva 15. BeM II luokan betonimurskeen puristuslujuuden tulokset 28 vrk ikäisille näytteille.

7 TULOKSIEN ANALYSOINTI

7.1 Kappaleen iän vaikutus lujittumiseen (7 vrk ja 28 vrk)

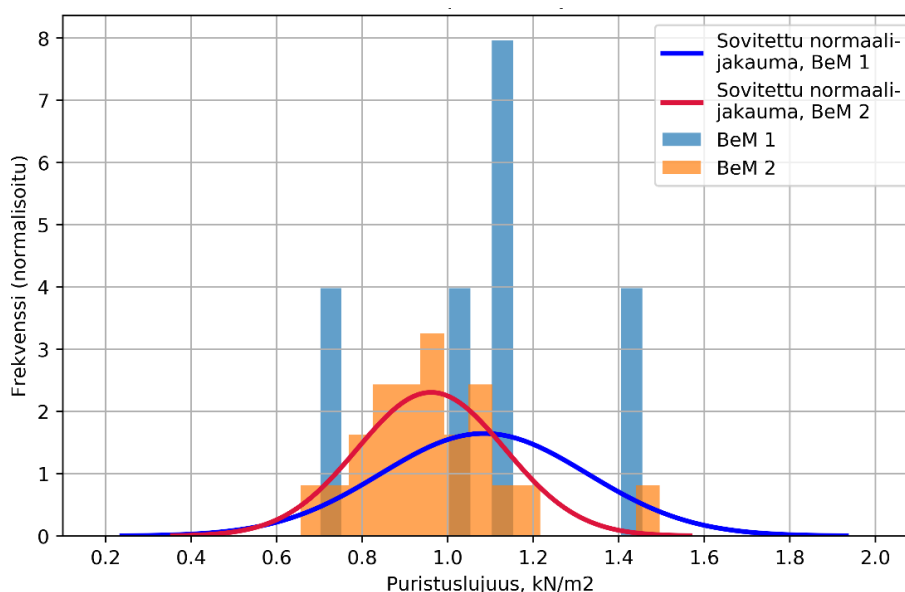
Betonimurskeen koestusiällä havaittiin olevan selvä vaikutus betonimurskeen puristuslujuuteen. BeM I luokan betonimurskeella havaittiin puristuslujuuden kasvavan 7 vrk ja 28 vrk koestetuilla näytteillä n. 15 %. Vastaavasti BeM II luokan betonimurskeen havaittiin lujittuvan n. 25 %. Kuvassa 16 on esitetty BeM II luokan betonimurskeen iän vaikutus puristuslujuuteen.



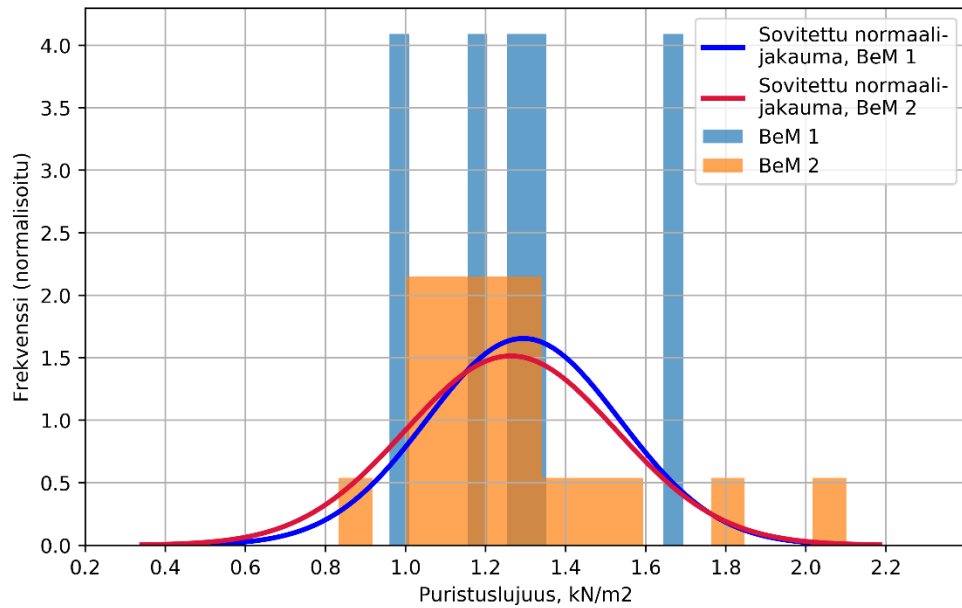
Kuva 16. BeM II luokan betonimurskeen puristuslujuuden muutos 7 vrk ja 28 vrk koestetuille näytteille.

7.2 Betonimurskeen laatuluokan vaikutus puristuslujuuteen

Kuvissa 17 (7 vrk) ja 18 (28 vrk) on esitetty BeM I ja BeM II luokan puristuslujuudet. Betonimurskeen laatuluokalla on vähäinen vaikutus betonimurskeen puristuslujuuteen. 7 vrk ikäisissä koestuksissa BeM I luokan betonimurske saavutti keskimäärin n. 13 % suuremman puristuslujuuden. 28 vrk koestuksissa ero oli huomattavasti pienempi, jossa BeM I luokan betonimurske saavutti keskimäärin 3 % suuremman puristuslujuuden. Tulosten analyysissa on huomioitava, että BeM I luokan betonimurskeesta oli käytettävissä huomattavasti vähemmän koestuksia.



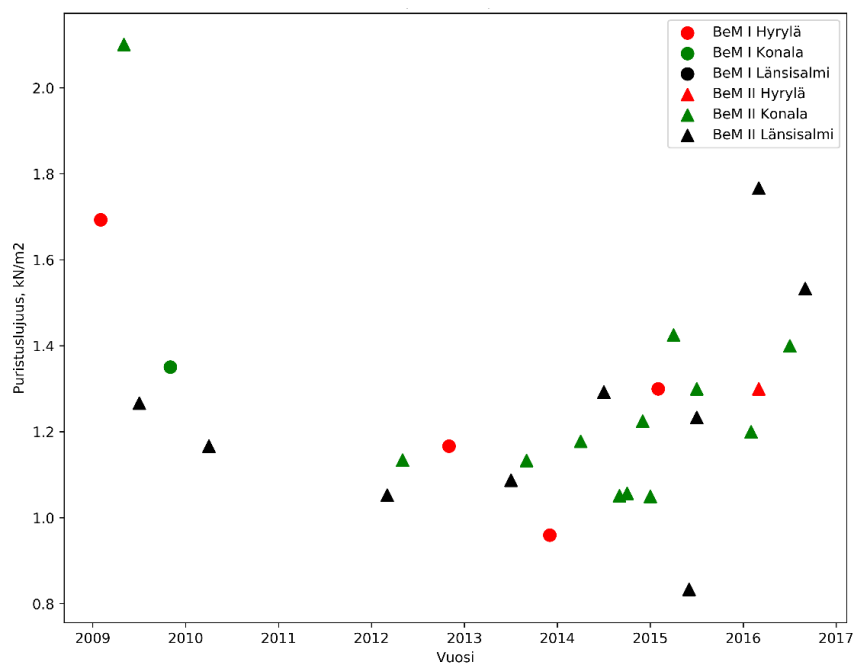
Kuva 17. Betonimurskeen BeM I ja BeM II luokan 7 vrk puristuslujuus.



Kuva 18. Betonimurskeen BeM I ja II luokan 28 vrk puristuslujuus.

7.3 Toimipisteen vaikutus betonimurskeen puristuslujuuteen

Kuvassa 19 on esitetty toimipisteen ja ajankohdan vaikutus betonimurskeen 28 vrk puristuslujuuteen. Tuloksista voidaan havaita, että toimipisteellä ei ole merkittävää vaikutusta betonimurskeen puristuslujuuteen. Vuoden 2012 jälkeen on havaittavissa, että betonimurskeen puristuslujuuden ovat jonkin verran kasvaneet.



Kuva 19. Betonimurskeen valmistuksen toimipisteen ja ajankohdan vaikutus 28 vrk puristuslujuuteen.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

8.1 Tutkimustulosten arviointi

Seulontatulosten osalta tarkastellut tulokset osuivat käytössä olevan normiston kantavan murskeen vaihteluväliin, joten materiaalin laatua voidaan näiden tulosten perusteella pitää luotettavana. Puristuslujuuksissa on enemmän hajontaa, etenkin BeM I osalta, jossa tulosten määrä eli otanta oli pieni. Materiaali täyttää kaikki EoW-menettelyltä edellytettävät vaatimukset, ja ympäristöministeriö onkin lähtenyt valmistelemaan jätteesi luokittelun päättymiseen tarvittavaa lainsäädäntöä betonimurskeelle. Rudus Oy on mukana betonimurskeen käyttöön liittyvän ohjeituksen ja lainsäädännön valmistelutyössä. Yrityksen vuosien mittaan keräämä aineisto ja tutkimustulokset ovat käytettävissä valmistelussa ja merkittävässä asemassa, kun mm. arvioidaan materiaalin rakenteellista pitkäaikaiskestävyyttä.

Käsitelty aineisto ja siitä tehdyt johtopäätökset olivat arvioidun kaltaisia. Loppujen lopuksi vain näytteiden vähäinen määrä aiheutti ongelmia tulosten tarkastelussa. Rudus Oy:llä on todennäköisesti ainoana betonimurskeen toimijana Suomessa sanottavasti dokumentoitua laboratorioissa suoritettua teknistä laadunhallinnan dataa, jotta kyseinen tarkastelu voidaan ylipäättään suorittaa. Tiedossa ei ole, että vastaavaa tarkastelua olisi aiemmin toteutettu myöskään muualla maailmassa, joten vertailua aikaisempiin tuloksiin ei voitu suorittaa.

Kokemusperäisesti voitiin arvioida, että laboratoriotestien tulokset vastaavat normeihin tässä työssä osoitetulla tavalla. Tulosten tarkastelu vahvisti tätä tulkintaa. Vastaavia tutkimuksia ei ole tiedossa, mutta tutkimustuloksilla voidaan korreloida kenttäolosuhteissa suoritettujen pitkäaikais-toimivuutta osoittavien kantavuustutkimusten tuloksia. Vastaavaa analyysiä ei ole myöskään tiettävästi tehty muista uusiomateriaaleista ja aineiston käsittely osaltaan täydentää betonimurskeelle aiemmin tehtyjä pitkäaikaistoimivuuden testauksia, joita on tehty pitkäjänteisesti kenttäolosuhteissa täysimittakaavaisilla tierakenteilla vuodesta 2005 alkaen.

Jatkotutkimuksena voisi suoritettuja tutkimuksia täydentää myöhemmin tehtävillä seulontatuloksilla ja puristuslujuuden mittauksilla. Lisäksi myöhemmin tarkasteltuja tuloksia voidaan verrata nyt saatuihin tuloksiin.

Tutkimusprosessi on keskittynyt olemassa olevan aineiston käsittelyyn ja saatujen tulosten analysointiin. Prosessissa on saavutettu suunnitellut tulokset. Työn tuloksena saatiin tietoa ja tuloksia, jolla voidaan osoittaa materiaalin tasalaatuisuutta.

8.2 Päätelmät ja tulevaisuudennäkymät

Materiaalin hukkaaminen tulee valvotun teknisen laadun valvonnan yleistyessä vähenemään. Valvottu laboratoriotasoinen teknisen laadun tarkkailu lisää materiaalin luotettavuutta ja sitä kautta arvoa. Tällä hetkellä suuri osa betonijätteistä hyödynnetään toisarvoisissa käytöissä kuten ympäristöluvan vaativissa täyttörakenteissa tai valleissa, vaikka materiaalista valmistettu laadukas betonimurske voitaisiin käyttää täysin korvaamaan neitseellistä materiaalia korkealuokkaisissa rakennekerroksissa. Betonimurskerakenteiden hyvien teknisten ominaisuuksien lisäksi murskeiden käyttö on järkevää myös logistiikan kannalta. Betonimurskeen raaka-ainetta, eli betonijätettä syntyy pääsääntöisesti siellä missä rakennetaan paljon, jolloin myös käyttökohteet ovat lähellä.

Tulosten ja käytännön osoittamana voidaan myös todeta, että 7 vrk ICT-testillä tehty puristuslujuuden seuranta on tarpeetonta. Käytännössä rakenteeseen kehittyy riittävästi lujuutta, eikä 7 vrk:n puristuslujuudella ole ohjaavaa vaikutusta, ja vain lopulliset 28 vrk:n tulokset hyödynnetään. Käsiteltyjen tulosten osalta puristuslujuus täyttää hyvin alan normien vaatimukset.

Yleisenä johtopäätöksenä voidaan myös todeta, että Ruduksen pitkäjänteisellä työllä betonimurskeen laadun seurannassa on iso merkitys materiaalin käytön kehitykselle ja mahdollisesti tulevalle EoW-menettelylle. Opinnäytetyön teoriaosuudessa annetaan hyvä perustieto aiheesta.

Ympäristöministeriön laatimassa muistiolounnoksessa 23.10.2018 ”Tapauskohmainen jätteeksi luokittelun päättymisen” todetaan tällä hetkellä olevan materiaaleja, joita jo käytetään vakiintuneesti tuotteina, mutta ne eivät ole saaneet jäteluonteen päättymiseen liittyvää viranomaishyväksyntää. Tällaisten materiaalien tapauksissa turhan sääntelyn välttämiseksi valvova viranomainen voi tehdä materiaaleista tulkintakannanoton, jos heidän mielestään pelkän jäteluonteen muuttamisen takia luvan muutokselle ei ole tarvetta, ja jäteluonteen päättymisen voidaan sitten myöhemmin vahvistaa lupaviranomaisen päätöksellä, kun toimintaa koskevaa lupaa muutetaan seuraavan kerran.

Betonimurskeen maanrakennuskäytön kasvun ajureina tulevaisuudessa ovat ympäristötietoisuuden kasvu rakennusalalla sekä hyvälaatuisten betonimurskeiden tarjonnan, sekä niiden käyttöön liittyvän tietoisuuden lisääntyminen.

LÄHTEET

Bionova. (2012). YMPÄRISTÖYSTÄVÄLLISEN KIVITALON SUUNNITTELU JA TOTEUTUS. Toim. Pasanen, P., Bruce, T. & Sipari, A. Haettu 16.5.2018 osoitteesta: <http://kivitalo.asiakkaat.sigmatic.fi/core/wp-content/images/2012/06/ymparistoystavallisen-kivitalon-suunnittelu.pdf>

Dettenborn T. (2013). *Betonimurskerakenteiden pitkäaikaistoimivuus*. Diplomityö. Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma. Aalto-yliopisto. Haettu 21.2.2019 osoitteesta: https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/30175/master_dettenborn_taaavi_2013.pdf

Dettenborn T., Forsman J. & Korkiala-Tanttu L. (2015). Crushed concrete in road structures – two decades of experience. Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Paper 1500005. ICE Publishing. 8 p.

Etzeberria, M., Vázquez, E., Mari, A. & Barra, M. (2007). Influence of amount of recycled coarse aggregates on concrete properties. Magazine of Concrete Research Vol. 63:8. S. 617-627.

Greitschus, J. (2012). The use of recycled crushed concrete as a road base material. Advances in Transportation Geotechnics II. ss. 105-109. London, Taylor & Francis Group.

Suomen Betoniyhdistys ry (2016). Betoninormit 2016. Toim. Johansson, K., Merikallio, T., Haara, T., Mantila, A., & Tikanoja, T.

Liikennevirasto (2014). Uusiomateriaalien käytön kehittäminen UUMA2-ohjelman välähankkeilla. Haettu 16.5.2018 osoitteesta: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lr_2014_uusiomateriaaliopas_luonnos_28.2.2014_web.pdf

Linden, T. (2017) *Betonimurskeen käyttö raitiotierakentamisessa*. Diplomityö. Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma. Tampereen teknillinen yliopisto. Haettu 21.2.2019 osoitteesta: <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/25813/linden.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Mikkola, A. (2013). *Valtioneuvoston asetus (591/2006) eräiden jätteen hyödyntämisestä maarakentamisessa – ilmoitusmenettelyn toimivuus ja sen parantaminen*. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos. Haettu 21.2.2019 osoitteesta: <https://www.ym.fi/download/noname/%7BA3785E40-D33D-4F0A-B469-92D90D8C8E21%7D/118758>

Helsingin, Espoon ja Vantaan kaupunki (2015). OHJE - BETONIMURSKEEN HYÖDYNTÄMINEN INFRARAKENTAMISESSA PÄÄKAUPUNKISEUDULLA. Haettu 16.6.2018 osoitteesta: <https://www.hel.fi/static/hkr/julkaisut/ohjeet/betonimurske.pdf>

Paalanen, T. (2017). *Betonimurskeen puhtauden tunnistaminen ja mekaaniset ominaisuudet*. Diplomityö. Yhdyskunta- ja ympäristötekniikka. Aalto-yliopisto. Haettu 21.2.2019 osoitteesta: https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/28508/master_Paalanen_Topi_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Pommer, K. & Pade, C. (2005). Guidelines – Uptake of carbon dioxide in the life cycle inventory of concrete. Danish Tehcnological Institute. ISBN 87-7756-757-9

Rakennustieto Oy (2017). InfraRYL Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Osa 1, Liite T18 2017 Sitomattoman kantavan kerroksen ja jakavan kerroksen vaatimukset betonimurskeelle sekä suositukset testaustehydeksi.

Ramboll Finland Oy (2017). Betoroc koerakenteiden seurantamittaukset 2017. Raportti. 11 s. + liitt. 6 s.

Rudus Oy (2017). Betoroc-murskeohje 1/2017. Käyttöohje rakentamiseen ja suunnitteluun. Haettu 16.6.2018 osoitteesta: <http://www.rudus.fi/Download/24032/Betoroc-murske%20ohje.pdf>.

Salmenperä, H., Haavisto, T. ja Wahlström, M. (2018). Rakentamisen jätteen kierrätystä lisäävät keinot. Haettu 21.2.2019 osoitteesta: <http://www.jateplus.fi/jateplus-12017/talonrakentamisen-jatteiden-kierratysta-lisaavat-keinot/>

SFS 5884 (2001). Betonimurskeen maarakennuskäytön laadunhallintajärjestelmä. SFS Online. Haettu 21.2.2019 osoitteesta <https://online.sfs.fi>

SFS-EN 13242 (2008). Maa- ja vesirakentamisessa ja tienrakenteissa käytettävät sitomattomat ja hydraulisesti sidotut kiviainekset. SFS Online. Haettu 16.6.2019 osoitteesta <https://online.sfs.fi>

Sitra (2016). Kierrolla kärkeen - Suomen tiekartta kiertotalouteen 2016-2025. Sitran selvityksiä 117. Haettu 21.2.2019 osoitteesta: <https://media.sitra.fi/2017/02/27175308/Selvityksia117-3.pdf>

Sitra (2014). Kiertotalouden mahdollisuudet Suomelle. Sitran selvityksiä 84. Haettu 21.2.2019 osoitteesta: <http://www.sitra.fi/julkaisut/Selvityksia-sarja/Selvityksia84.pdf>

Työ- ja elinkeinoministeriö (2015). Kiviaines- ja luonnonkiviteollisuuden kehitysnäkymät. Haettu 21.2.2019 osoitteesta: http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/75045/TEMjul_54_2015_web_28102015.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Tielaitos (2000). Betonimurskeen käyttö tien päällysrakennekerroksissa, Mitoitus- ja työohjeet. Haettu 21.2.2019 osoitteesta: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/thohje/pdf2/tiel_3200594_betmurskeohje.pdf

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

Valtioneuvoston kanslia (2016). Vihreän kasvun sekä materiaali- ja resurssitehokkuuden avainindikaattorit. Valtioneuvoston selvitys ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 23/2016. Toim. Seppälä, J. Kurppa, S. Savolainen, H. Antikainen, R. Lyytimäki, J. Koskela, S. Hokkanen, J. Känkänen, R. Koltola, L. Hippinen, I. Haettu 21.2.2019 osoitteesta: https://tietokayttoon.fi/documents/10616/2009122/23_Avainindikaattorit.pdf/9cb50a04-7e40-4405-b065-4886692ba6b2?version=1.0

Valtioneuvoston kanslia (2016). Kohdennetut keinot kierrätyksen kasvuun. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 53/2016. Toim. Salmenperä, H., Sahimaa, O., Kautto, P., Haavisto, T., Dahlbo, H., Wahlström, M., Bacher, J., Laine-Ylijoki, J., Espo, J. ja Vahvelainen, S. Haettu 21.2.2019 osoitteesta: https://tietokayttoon.fi/documents/10616/2009122/53_2016+Kohdennetut+keinot+kierr%C3%A4tyksen+kasvuun.pdf/e883402b-13dc-4d69-8126-953c80cc1b8f/53_2016+Kohdennetut+keinot+kierr%C3%A4tyksen+kasvuun.pdf?version=1.0

Virtanen, J. (2010). Betoni on hiilidioksidinielu. *Betoni* 4/2010 s. 43

VTT (2015). Energiatuotannon tuhkien, jätteenpolton tuhkan ja betonimurskeen jäteluokitus - menettely kriittisten vaaraominaisuuksien tutkimuksessa. FINHAZ-projektiraportti. Toim. Wahlstöm, M., Laine-Ylijoki, J., Kaartinen, T. & Merta, E. Haettu 21.2.2019 osoitteesta: https://energia.fi/files/278/FinHaz_Loppuraportti_15.11.2015.pdf

Ympäristöministeriö (2018). Kiertotalous. Haettu 21.2.2019 osoitteesta: <http://www.ymparisto.fi/FI-Ymparisto/Kiertotalous>

Ympäristöministeriö (2018). Jätteeksi luokittelun päättymisen hyödyt ja haitat. Ympäristöministeriön raportteja 9|2018. Toim. Kauppila, J. Turunen, T. Häkkinen, E. Salminen, J. Lazarevic, D. Haettu 21.2.2019 osoitteesta: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4786-9>

Ympäristöministeriö (2014). Rakentamisen materiaalitehokkuuden edistämishjelma Ramate-työryhmän loppuraportti. Ympäristöministeriön raportteja 17|2014. Toim. Peuranen, E. & Hakaste, H. Haettu 21.2.2019 osoitteesta:

https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/135172/YMra_17_%202014.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Ympäristöministeriö (2017). Ympäristöministeriö vauhdittaa kiertotaloutta. 5.12.2017. Haettu 21.2.2019 osoitteesta:

<https://www.slideshare.net/Ymparistoministerio/ympristministeri-vauhdittaa-kiertotaloutta-5122017>

Rudus

180924

CE


Rudus Oy
 Karvaamokuja 2a, PL 42
 00381 HELSINKI
 13
 0416-CPR-9480-1

SFS-EN 13242
 KANTAVA
Betonimurske
Betoroc BeM II 0/45
 KONALA

Raekoko	0/45
Rakeisuusluokka	G _A 85
Raemuoto	FI ₂₀
Hienoainespitoisuus	f ₇
Iskunkestävyys	NPD
Kiintotiheys	2.45 – 2.65 Mg/m ³
Vedenimeytyminen	NPD
Uusiokiviaineksen osa-aineiden luokittelu	Rc ₉₀ Rcug ₉₀ Rb ₁₀₋ X ₁₋
Kelluvat rakeet (V _{FL})	<10 cm ³ /kg
Ympäristökelpoisuus (VNa 843/2017)	Täyttää Vna 843/2017 kaikkien rakenteiden raja-arvot
Jäädytys-sulatuskestävyys	NPD
Radioaktiivisuus	I ₁ < 1

Lisätietoja

Vedenimeytymisestä, jäädytys-sulatuskestävyydestä ja iskunkestävyydestä eivät sovellu betonimurskeen ominaisuuksien ja laadun arviointiin. BeM II on routimatonta ja siinä tapahtuu rakenteeseen tiivistettynä lujuuden kehitystä.

2. Betonimurske (BeM)		3/2019	
Materiaalikuvaus		Kuvia materiaalista	
<p>Suomessa muodostuu rakennus- ja purkutyömailla sekä betonteollisuudessa vuosittain noin 1,5 milj. tonnia betonijätettä (tarkka määrä ei ole tiedossa).</p> <p>Betonijätteestä valmistettava betonimurske muistuttaa ulkonäöltään ja käsiteltävyydeltään luonnon kiviainesmurskettä. Betonimurskeen tekniisiin ominaisuuksiin sekä ympäristökelpoisuuteen voidaan vaikuttaa lajittelevan purkutekniikan avulla. Betonimurskeille on käytössä laatuluokitus, jossa ne on jaettu teknisten ominaisuuksiensa perusteella neljään luokkaan (BeM I-IV).</p> <p>Betonimurske sisältää reagoimatonta sementtiä ja se on näin ollen osittain sitoutuva materiaali. Lujittuneen betonimurskeen E-moduuli on suurempi kuin vastaavan rakeisuuden luonnonkiviaineksella. Lujittuneen betonimurskeen kaivuvastus on suurempi kuin luonnon kiviaineksen, mutta kaivu on silti toteutettavissa tavallisella kaivinkoneella ja materiaali voidaan tiivistää uudelleen takaisin kaivantoihin.</p> <p>Betonimurskeelle on uusiokiviaineksena mahdollista toteuttaa standardin SFS-EN 13242 mukainen CE-merkintä.</p>		 <p>(kuvat: Rudus Oy, arkisto)</p>	
Ympäristölainsäädäntö		Tyypillisiä käyttökohteita InfraRYL-rakennusosissa	
<p>Betonimurske on luokiteltu jätteeksi, jonka hyötykäyttö on mahdollista MARA -ilmoitusmenettelyllä väylä- ja kenttärakenteissa, kun betonimurskeen maksimiraekoko on 90 mm ja kohde muutoin täyttää asetuksessa VNa 843/2017 esitetyt vaatimukset. Muutoin hyödyntäminen tapahtuu ympäristöluvalla.</p>		Rakennusosa	Laatuluokka
		21320 Kantavat kerrokset	I, II
		21210 Jakavat kerrokset	I, II, III
		21110 Suodatinkerrokset	II, III
		18150 Vastapenkerreet	III
	18110 Maapenkerreet	III	
Betonimurskeiden laatuluokitusperusteet (InfraRYL)			
Ominaisuus	BeM I	BeM II	BeM III
Raaka-ainelähde	Betoniteollisuus	Betoniteollisuus, rakennus- tai purkutyömaa	
Uudelleenlujittuminen	Kyllä	Kyllä	Epävarmaa
Rakeisuus	¹⁾	¹⁾	¹⁾
Routivuus	Routimaton		
Puristuslujuus (28d), MPa	> 1,2	> 0,8	-
Betonin osuus, paino-%	90	-	-
Betoni+kiviaines+lasi, paino-%	-	90	90
Tiilen maksimiosuus, paino-%	10		
Muiden materiaalien maksimiosuus, p-% ²⁾	1		
Kelluvat ainekset, cm ³ /kg ³⁾	5	10	10
¹⁾ murskeen tulee täyttää InfraRYL:n mukaiset käyttökohteen rakeisuusvaatimukset ²⁾ puu, muovi yms. ³⁾ solumuovit, mineraalivilla yms.			
Betonimurskeille tyypillisiä ominaisuusarvojen vaihteluvälejä			
<ul style="list-style-type: none"> Optimivesipitoisuus $w_{opt} = 8...14\%$ Maksimikuivairtoiheys $\rho_{dmax} = 1750...2000\text{ kg/m}^3$ Vedenläpäisevyys k-arvo $\geq 1 \times 10^{-3}\text{ m/s}$ pH ≥ 11 (emäksinen) Lämmönjohtavuus $\lambda \approx 1,5\text{ W/mK}$ (vastaa luonnonkiviaineksen lämmönjohtavuutta vastaavissa olosuhteissa) 			
Suunnittelussa, rakentamisessa ja käytössä huomioitavia asioita			
<ul style="list-style-type: none"> Betonimurskeen korkea pH voi aiheuttaa alumiinin korroosiota tai polyesterista valmistetun lujitteen lujuuden alenemista. Betonimurskeen ei ole todettu aiheuttavan tavanomaisesti käytettyjen putkimateriaalien korroosiota. Asia on varmistettava tarvittaessa. Rakenteesta lajittelevasti esiin kaivetun betonimurskeen uudelleenkäyttö on mahdollista MARA-asetuksen mukaisesti. Kuivan betonimurskeen pöly saattaa ärsyttää silmiä, limakalvoja ja ihoa. Materiaalia käsiteltäessä käytettävä tavanomaisia henkilösuojaimia. 			
Kirjallisuus			
Liikennevirasto, 2018. Tierakenteen suunnittelu. Liikenneviraston ohjeita 38/2018. Rakennustieto, 2017. InfraRYL 2017. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. SFS, 2018. SFS 5884 Betonimurskeen maarakennuskäytön laadunvalvontajärjestelmä. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.			