



Tiina Lahtinen

Purkubetonista uuden betonin raaka-aineeksi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

5.5.2025

Tiivistelmä

Tekijä: Tiina Lahtinen
Otsikko: Purkubetonista uuden betonin raaka-aineeksi
Sivumäärä: 66 sivua + 0 liitettä
Aika: 5.5.2025

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine: Rakennetekniikka
Ohjaajat: Tiimipäällikkö Anna-Maria Nieminen
Lehtori Tapani Järvenpää

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kerätä yhteen ohjeistuksia ja määräyksiä purkubetonin hyödyntämisestä uuden betonin raaka-aineena sekä koota yhteen toimintatapoja, joita voitaisiin testata tulevassa pilottihankkeessa. Opinnäytetyö tehtiin osana purkubetonin kiertotalous-hanketta ja opinnäytetyötä rahoitettiin Lahden teollisuusseuran säätiön toimesta.

Tietoa kerättiin monipuolisista lähteistä, kuten Euroopan komission Joint Research Centre:n julkaisemista tutkimuksista sekä erilaisista kansallisista laeista ja asetuksista, kuten jätelain ja betonin ”ei enää jätettä”-asetuksesta. Lisäksi hyödynnettiin EU:n jäsenmaita velvoittavia asetuksia, kuten rakennustuoteasetusta. Tämän lisäksi haastateltiin Suomen ja Euroopan maiden yrityksiä, jotka ovat työskennelleet uusiobetonin tai sen prosessin eri osa-alueiden parissa.

Suomessa syntyy vuosittain noin 1,5 miljoonaa tonnia rakennus- ja purkujätettä, josta betonijätteen osuus on merkittävä. Rakennustuotteiden kiertotaloudessa noudatetaan jätelain etusijajärjestystä, joka ohjaa vähentämään jätteen syntymistä ja edistää materiaalien uudelleenkäyttöä ja kierrätystä eli uusiokäyttöä. Betonijätettä kierrätetään suurimmaksi osaksi maarakentamisessa, mutta purkubetonin hyödyntäminen uuden betonin raaka-aineena tarjoaa sille korkeamman jalostusarvon. Purkukartoitus ja lajitteleva purkaminen ovat keskeisiä menetelmiä betonin uusiokäytön kannalta. Epäpuhtauksien poistaminen on tärkeää uusiokiviaineksen laadun varmistamiseksi. Uusiokiviaineksen laatu vaikuttaa merkittävästi uusiobetonin laatuun. Uusiobetonia voidaan hyödyntää erilaisissa rakennuskohteissa, mutta sen käyttö on rajoitettu haastavissa olosuhteissa.

Purkubetonin uusiokäyttö vähentää ympäristövaikutuksia ja säästää luonnonvaroja. Uusiokiviainesta voidaan hyödyntää tehokkaasti, kun epäpuhtauksien määrä minimoidaan. Uusiobetoni soveltuu hyvin rakenteisiin, joihin ei kohdistu suurta rasitusta, ja sen käyttöä tulisi edistää julkisen sektorin toimesta.

Avainsanat: uusiokäyttö, betonimurskejäte, uusiokiviaines, uusiobetoni

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author:	Tiina Lahtinen
Title:	Use of Demolition Concrete as Raw Material for New Concrete
Number of Pages:	66 pages + 0 appendices
Date:	5 May 2025
Degree:	Bachelor of Engineering
Degree Programme:	Degree Programme in Civil Engineering
Professional Major:	Structural Engineering
Supervisors:	Anna-Maria Nieminen, Team leader Tapani Järvenpää, Senior Lecturer

The purpose of this thesis was to compile guidelines and regulations for using demolition concrete as raw material for new concrete and to collect practices for a future pilot project. The thesis was conducted as part of the demolition concrete circular economy project and was funded by the Lahti Industrial Society Foundation.

Information was collected from diverse sources, including studies by the European Commission's Joint Research Centre, national laws and regulations, such as the waste Act, and EU member state regulations, such as the Construction Products Regulation. Furthermore, companies from Finland and Europe that have worked with recycled concrete were interviewed.

Demolition surveys and selective demolition are essential for reusing concrete. Crushing can be performed in various ways and with different equipment, and removing impurities is crucial for the quality of the recycled aggregate. Recycled aggregates, meeting concrete's "end-of-waste" regulation, are used as raw material for new concrete, significantly affecting its quality. Recycled concrete is suitable for various construction projects but is limited in challenging conditions.

Recycling crushed concrete reduces environmental impacts and conserves natural resources. When impurities are minimized, recycled aggregate can be used effectively. Recycled concrete is well suited for structures that are not subjected to high stress so its use should be promoted by the public sector.

Keywords: recycling, crushed concrete waste, recycled aggregates, recycled concrete

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Betoni	3
2.1	Raaka-aineet	3
2.2	Kiviaineksen ominaisuudet	4
3	Kiertotalous	8
3.1	Rakennustuotteiden kiertotalous	8
3.2	Betonin uudelleenkäyttö	11
3.3	Betonijätteen kierrätys	12
4	Haastattelututkimus	14
5	Purkamisen ja murskaamisen toimintatavat	15
5.1	Purkukartoitus	15
5.2	Purkaminen	17
5.3	Murskaaminen	20
6	Betonimurskejätteestä uusiokiviainestuotteeksi	23
6.1	Ei enää jätettä-asetus	23
6.1.1	Haitta-aineet ja epäpuhtaudet	25
6.1.2	EEJ-betonimurskeen erot Mara-murskeeseen	28
6.1.3	Laadunvarmistus	32
6.2	Rakennustuoteasetus	34
7	Uusiokiviaines	37
7.1	Ominaisuudet	38
7.2	Vertailu Euroopan maiden välillä	41
8	Uusiobetoni	45
8.1	Rasitusluokat	45
8.2	Lujuusluokka	48

8.3	Käyttökohteet ja kokemukset	50
8.3.1	Belgia	50
8.3.2	Saksa	51
8.3.3	Alankomaat	52
8.3.4	Sveitsi	53
8.4	Kehitysehdotukset	54
9	Tulokset	56
10	Johtopäätökset	58
	Lähteet	61

Lyhenteet

AVCP:	<i>Assessment and Verification of Constancy of Performance. AVCP-järjestelmä on suoritustason pysyvyyden arviointi- ja varmennusjärjestelmä.</i>
EEJ:	<i>Ei enää jätettä. Betonimurskeen saama status, kun se täyttää valtioneuvoston asetuksen mukaiset arviointiperusteet jätteeksi luokittelun päättymisestä.</i>
FL:	<i>Uusiokiviaineksen osa-aine, johon kuuluu kelluvat materiaalit.</i>
NR:	<i>No requirements. Ominaisuudelle ei ole vaatimuksia.</i>
Ra:	<i>Uusiokiviaineksen osa-aine, johon kuuluu bitumiset materiaalit.</i>
Rb:	<i>Uusiokiviaineksen osa-aine, johon kuuluu poltetut tiilet, kalkkihiekkatiilet ja -harkot sekä kellumaton vaahtobetoni.</i>
Rc:	<i>Uusiokiviaineksen osa-aine, johon kuuluu betonin, betonituotteet, laastin ja betoniharkot.</i>
Rcu:	<i>Uusiokiviaineksen osa-aine, johon kuuluu Rc ja Ru materiaalit yhdessä.</i>
Rg:	<i>Uusiokiviaineksen osa-aine, johon kuuluu lasi.</i>
Ru:	<i>Uusiokiviaineksen osa-aine, johon kuuluu sitomattoman kiviaineksen, luonnonkiven ja hydraulisesti sidotun kiviaineksen.</i>
X:	<i>Uusiokiviaineksen osa-aine, johon kuuluu koheesiomaa, metallit, kellumaton puu, muovi, kumi ja kipsilaasti.</i>

1 Johdanto

Suomessa syntyi vuonna 2022 noin 1,2 miljoonaa tonnia rakennus- ja purkujätettä, joka syntyy pääasiassa rakennusten korjaus- ja purkutöiden seurauksena. Valtakunnallisen jätesuunnitelman rakennus- ja purkujätteen materiaalihyödyntämistavoite on 70 %, mikä on määritelty jo vuonna 2008 ja on jälleen tavoitteena saavuttaa vuoteen 2027 mennessä. Vuonna 2022 syntyneestä jättemäärästä 630 000 tonnia hyödynnettiin, mikä kuvastaa noin 54 % materiaalihyödyntämistä. (Rakentamisen jätteet 2024; Tähtinen & Samila 2024: 10.)

Suomessa syntyvää betonijätettä hyödynnetään pääasiassa maarakentamisessa, kuten teiden alapuolisissa maakerroksissa. On kuitenkin todettu, että purkamisessa syntyvällä betonijätteellä on hyvät edellytykset myös uusiokäyttöön uuden betonin raaka-aineena. (Betonin kierrätys ja uudelleenkäyttö 2021.) Betonijätteen käyttö maarakentamisessa vähentää betonimurskeen arvoa. Sen sijaan betonijätteen uusiokäyttö uuden betonin raaka-aineena lisää sen arvoa, sillä sitä käytetään korvaamaan arvollisesti merkittävämpää raaka-ainetta eli betonin kiviainesta. (Hallitus hyväksyi asetuksen betonimurskeen jätteeksi luokittelun päättymisestä 2022; Rakentamisen kiertotalouden sanakirja 2023: 12.)

Opinnäytetyö tehdään osana purkubetonin kiertotaloushanketta ja opinnäytetyötä rahoitetaan Lahden teollisuusseuran säätiön toimesta. Hankkeen hankeryhmä koostuu seuraavista yrityksistä ja toimijoista: Lahden kaupunki, Lahden seudun kehitys Ladec Oy, AFRY Finland Oy, Betset Oy, Salpamaa Oy, EcoUp Oy ja Purkupiha Oy. Hankeryhmän tavoitteena on kehittää Suomeen taloudellisesti toimiva malli purkubetonin hyödyntämiseksi uuden betonin raaka-aineena. Opinnäytetyön tarkoituksena on kerätä yhteen ohjeistuksia ja määräyksiä purkubetonin hyödyntämisestä uuden betonin raaka-aineena sekä koota yhteen toimintatapoja, joita voitaisiin testata tulevassa pilottihankkeessa. Pilottihankkeessa testataan tämän opinnäytetyön avulla selvitettyjä ja hyväksi todettuja toimintatapoja, jotka liittyvät purkubetoniin, sen purkamiseen ja uusiokiviaineksen tuotantoon. Pilottihanke tullaan toteuttamaan opinnäytetyön valmistumisen jälkeen ja se on yksi hankeryhmän välitavoitteista koko hankkeen aikana.

Opinnäytetyössä tietoa kerätään monipuolisista lähteistä, kuten Euroopan komission Joint Research Centren julkaisemista tutkimuksista sekä erilaisista kansallisista laeista ja asetuksista, kuten jätelaista ja betonin ”ei enää jätettä”-asetuksesta. Lisäksi hyödynnetään EU:n jäsenmaita velvoittavia asetuksia, kuten rakennustuoteasetusta. Tämän lisäksi haastatellaan Suomen ja Euroopan maiden yrityksiä, jotka ovat työskennelleet uusiobetonin tai sen prosessin eri osalueiden parissa.

Opinnäytetyössä tarkastellaan purkubetonista valmistetun karkean kiviaineksen hyödyntämistä uuden betonin raaka-aineena. Tätä kiviainesta kutsutaan tässä opinnäytetyössä uusiokiviainekseksi, joka määritellään standardissa SFS-EN 12620+A1 (2008: 6) kiviainekseksi, joka on valmistettu aikaisemmin rakentamisessa käytetystä epäorgaanisesta materiaalista. Uusiokiviaines syntyy, kun purkubetonista saatu jäte täyttää betonin ”ei enää jätettä”-asetuksen ja rakennustuoteasetuksen vaatimukset, jolloin siitä tulee CE-merkitty rakennustuote (Kunnas 2023).

Opinnäytetyön kieliasun viimeistelyssä on käytetty Microsoftin Copilottia. Opinnäytetyön tekijä on vastuussa kaikesta opinnäytetyön sisällöstä ja muotoilusta.

2 Betoni

Suomessa betonia valmistetaan noin 5 miljoonaa kuutiometriä vuosittain (Betonin käyttö 2015). Betoni on laajalti käytetty materiaali sen erinomaisten ominaisuuksien takia. Se on luja, jäykkä, kosteutta kestävä, turvallinen, muokattava ja edullinen materiaali. Lisäksi se on pitkäikäinen ja vaatii vähän huoltoa. Betonia käytetään erityisesti suurissa rakenteissa, jotka vaativat stabiiliutta ja turvallisuutta. Sen avulla voidaan toteuttaa myös ääneneristys ja paloturvallisuus. (Haara ym. 2018: 13.)

Betonia voidaan käyttää talojen rakentamisessa muun muassa ala-, väli-, ja yläpohjissa sekä seinissä, julkisivuissa, pilareissa ja palkeissa. Lisäksi betonista voidaan valmistaa erilaisia harkkoja, kattotiiliä ja pihakiviä. Infrarakentamisessa betonia käytetään laajasti muun muassa padoissa, tunneleissa, silloissa ja melusteissa. Heikosti kantavalla maaperällä tiet ja rakennukset perustetaan betonilaatan tai -paalujen varaan. Betoni voidaan valaa suoraan paikan päällä halutuksi rakenteeksi tai sitä voidaan valmistaa ennalta elementtejä, jotka kuljetaan paikan päälle asennettavaksi. (Betonin käyttö 2015.)

2.1 Raaka-aineet

Betoni koostuu kolmesta pääraaka-aineesta, jotka ovat kiviaines, vesi ja sementti. Sementti on hienojakoista jauhetta, jota valmistetaan jauhamalla klinkkeriä, kipsiä ja seosaineita, kuten kalkkikiveä ja masuunikuonaa, kuulamylyssä. Sementin tärkein raaka-aine on klinkkeri, joka sisältää kalsiumkarbonaattia, piioksidia, rautaoksidia ja alumiinioksidia. Näitä aineita saadaan louhimalla kalkkikiveä ja sivukiviä kalkkikivilouhoksista sekä hyödyntämällä teollisuuden sivutuotteita. (Haara ym. 2018: 24–25.)

Klinkkeriä valmistetaan jauhamalla nämä aineet ja yhdistämällä ne halutussa suhteessa. Jauheista saatu seos esilämmitetään uunin esilämmitysjärjestelmässä, jonka jälkeen se poltetaan kiertoilmauunissa erittäin korkeissa lämpötiloissa. Polttamisen yhteydessä jauheseos sulaa osittain ja muodostaa

klinkkerimineraaleja. Polton jälkeen klinkkerimineraalit jäädytetään nopeasti, jonka jälkeen ne jauhetaan seosaineiden ja kipsin kanssa sementiksi sementti-kohtaisen reseptin mukaisesti. Sementti yhdessä veden kanssa muodostaa sementtipastan, joka sitoo betonin raaka-aineet yhteen ja kovettuu ajan myötä lu-jaksi ja yhtenäiseksi materiaaliksi eli betoniksi. (Haara ym. 2018: 24–25.)

Kiviaines on betonin valmistukseen soveltuva materiaali, joka voi olla luonnon kiviainesta, keinokiviainesta tai uusiokiviainesta (SFS-EN 12620+A1 2008: 6). Suomessa betonin kiviaineksena käytetään yleisimmin graniittipohjaista luon-nonkiviainesta, joka tarkoittaa luonnosta louhittua ja mekaanisesti jalostettua ki-viainesta (Rakennus- ja luonnonkivien kestävä hyödyntäminen; Haara ym. 2018: 43). Betonille soveltuvinta kiviainesta saadaan hiekka- ja sora-muodostu-mista, joita löytyy harjualueilta (Haara ym. 2018: 43). Kalliosta murskaamalla saatua kiviainesta käytetään betonin valmistuksessa yhä enemmän soravaran-tojen ehtymisen ja sora-alueiden ottoehtojen tiukentumisen vuoksi (Kotimaista ja paikallista raaka-ainetta). Betonin kiviaineksena voidaan käyttää myös keino-tekoisia materiaaleja, kuten kevytsoraa, joka on teollisesti valmistettua mineraa-lista kiviainesta. Lisäksi betonissa voidaan hyödyntää uusiokiviaineita, kuten tiili- ja betonimursketta. (Haara ym. 2018: 43.) Uusiokiviaines on aikaisemmin rakentamisessa käytetystä materiaalista tehtyä kiviainesta (SFS-EN 12620+A1 2008: 6).

2.2 Kiviaineksen ominaisuudet

Betoni sisältää 65–80 % kiviainesta, joten kiviainesten ominaisuuksilla on mer-kittävä vaikutus betonin ominaisuuksiin. Kiviaineksen geometriset ja mekaaniset ominaisuudet vaikuttavat betonissa käytettävän veden ja sementin määrään. Näitä ominaisuuksia ovat esimerkiksi rakeisuus ja raemuoto, kiintotiheys sekä vedenimeytyminen. (Haara ym. 2018: 43–51.) Kiviaineksen tärkein ominaisuus on sen tasalaatuisuus (Johansson 2023: 3).

Rakeisuus tarkoittaa kiviaineksen sisältämien erikokoisten rakeiden määrien painosuhteita, ja se määritetään seulomalla kiviaines. Seulonnassa kiviaines

syötetään seulasarjaan, jossa on erikokoisilla aukotuksilla varustettuja seuloja asetettu toistensa päälle. Suurimman aukotuksen omaavat seulat ovat seulasarjan yläpäässä ja pienemmän aukotuksen omaavat seulat ovat seulasarjan alapäässä. Seulasarjaa ravistellaan, jolloin kiviaines putoaa ylimmästä seulasta alaspäin ja jää sille seulalle, jonka aukotuksesta se ei enää mahdu läpi. Seuloille lasketaan läpäisevyysprosentti, joka kertoo, kuinka suuri prosenttiosuus kiviaineksesta on päässyt seulan lävitse. (Haara ym. 2018: 45–47.)

Kiviainekset nimetään niiden raekoon mukaan merkinnällä d/D , jossa d on alempi seulakoko ja D ylempi seulakoko. Esimerkiksi hieno kiviaines 0/3 tarkoittaa, että pienin seulakoko, jonka tämä kiviaines läpäisee, on 0 mm ja suurin seulakoko on 3 mm. Toisin sanoen 0/3 kiviaineksen pienimmät kivirakeet ovat noin 0 mm kokoisia ja suurimmat kivirakeet ovat 3 mm kokoisia. Rakeisuuden perusteella kiviainestuotteet luokitellaan taulukon 1 mukaiseen jaotteluun. (Haara ym. 2018: 45–46.)

Taulukko 1. Erilaisten kiviainestuotteiden jaottelu ja niitä vastaavat raekoot (Johansson 2023: 5).

Kiviainestuotteiden jaottelu	Raekoot (mm)
Hieno kiviaines	$d=0, D \leq 4$
Luonnon lajittama	$d=0, D=8$
Koostekiviaines (hienon ja karkean kiviaineksen sekoitus)	$d=0, D > 4$
Karkea kiviaines	$d < 4, D < 90$

Kiviaineksen rakeisuus ja raemuoto vaikuttavat betonin vedentarpeeseen, vesisementtisuhteeseen sekä betonin lujuuteen. Pyöreäähkö kiviaines on raemuodoltaan paras kiviaines betoniin, sillä se pakkautuu hyvin ja sitä on helpompi tiivistää. Litteä kiviaines pakkautuu huonommin, mikä lisää betonin tiivistystarvetta. Lisäksi litteää kiviainesta sisältävä betoni vaatii enemmän vettä saavuttaakseen saman notkeuden kuin pyöreäähköllä kiviaineksella valmistettu betoni. Suurempi vedentarve lisää sementin tarvetta, jolloin sementtipastan määrä kasvaa ja

betonin kutistuma suurenee. (Johansson 2023: 11–17; Haara ym. 2018: 48.) Liiallinen kutistuminen voi aiheuttaa rakenteiden halkeilua ja siten heikentää rakenteen kestävyyttä (Betonin kutistuminen).

Hienoaines on kiviainesta, joka läpäisee 0,063 mm seulan. Huonolaatuinen hienoaines, kuten hienojakoinen kiille ja savi, voi lisätä vedentarvetta betonissa. Hyvälaatuinen hienoaines on kovaa ja hienojakoista, ja se parantaa betonin tiivyyttä ja koossapysyvyyttä, kunhan sitä on oikeassa määrin. Liiallinen hienoaineksen määrä voi lisätä vedentarvetta, vaikka se olisi hyvää hienoainesta. (Johansson 2023: 21–26; Haara ym. 2018: 49–50.)

Kiviaineksen kiintotiheyden tulisi olla 2000–3000 kg/m³, jotta se luokitellaan normaaliksi kiviaineksi. Kiintotiheyden vaihtelut kiviaineksessa voivat vaikuttaa betonin tilavuuspainoon ja rakenteen kokonaispainoon, joten kiintotiheys tulee tietää ja tarkastaa säännöllisesti. Erityisesti kallioalueilla esiintyy eri kivilajeja, joiden kiintotiheydet voivat erota toisistaan merkittävästi. (Johansson 2023: 27–28; Haara ym. 2018: 50.)

Betonin todellisen vesimäärän määrittämiseksi on tärkeää tuntea siinä käytettävän kiviaineksen vedenimeytymiskyky. Vesi imeytyy kiviaineksen avoimiin pintahuokosiin ja rapautuneisuutta lisää pintahuokoisuutta. Mitä enemmän kiviaines imee vettä, sitä jäykempää siitä valmistetusta betonista tulee. Normaalin rapautumattoman kiviaineksen vedenimukyky on noin 0,3–0,5 paino-%, kun taas rapautuneen kiviaineksen vedenimukyky voi olla yli 1 paino-%. Kiviaineksen vedenimukyky vaikuttaa muun muassa betonin vedentarpeeseen ja pakkasrasituksen kestävyys. Jos kiviaineksen vedenimukyky on yli 1 paino-% tai on muuten syytä epäillä sen pakkasenkestävyyttä, tulee kiviaineksen pakkasenkestävyys tarkistaa. (Haara ym. 2018: 50–51.)

Kiviaineksen kulutus- ja iskunkestävyyteen vaikuttaa sen koko, tekstuuri, koostumus ja rapautuneisuus (Haara ym. 2018: 51). Iskunkestävyys mitataan Los Angeles-menetelmällä, jossa pyörivään rumpuun laitetaan teräskuulia ja kiviainesta. Rumpu pyörii siten, että kuulat nousevat rummun seinämää pitkin ylös ja

putoavat kiviaineksen päälle. Testin jälkeen kiviaines seulotaan 1,6 mm seulan läpi, jolloin saadaan kiviaineksen Los Angeles-luku, joka kuvaa sen iskunkestävyyttä. Luku kertoo, kuinka suuri prosenttiosuus kiviaineksesta läpäisi 1,6 mm seulan. Mitä pienempi prosenttiosuus seulan läpäisee, sitä parempi iskunkestävyys kiviaineksella on. (Kalliainen ym. 2017: 35.) Hyvää iskunkestävyyttä edellytetään esimerkiksi korkealujuusbetoneissa ja kovan rasituksen alaisissa lattiabetoneissa (Johansson 2023: 32).

3 Kiertotalous

Kiertotalous on materiaalien ja raaka-aineiden tuotanto- ja kulutusmalli, jossa tuotteet ja materiaalit pidetään kierrossa (Mikä kiertotalous on ja mitä sillä on merkitystä 2023). Tämä tarkoittaa sitä, että tuotteiden ja materiaalien elinkaari ei pysähdy, vaan niitä hyödynnetään uudelleen ja kierrätetään mahdollisimman tehokkaasti. Tämä saavutetaan esimerkiksi uudelleenkäytön, huollon, korjaamisen ja uudelleenvalmistuksen avulla. Kiertotaloudella on monia positiivisia vaikutuksia ympäristöön, ihmisiin ja maailmanlaajuisiin haasteisiin, kuten ilmastonmuutokseen, luonnon monimuotoisuuteen sekä jätteisiin ja saasteisiin. (What is a circular economy?)

Kiertotalouden ensimmäinen periaate on jätteiden ja saasteiden tuotannon lopettaminen. Toinen periaate on hyödyntää tuotteita ja materiaaleja niiden korkeimman mahdollisen jalostusarvon mukaan ja pitää ne kierrossa niin, että ensimmäinen periaate täyttyy. Suunnittelulla on erittäin suuri merkitys kiertotalouteen. Jäte on ihmisen luoma konsepti ja nykyiset tuotteet on suunniteltu siten, että niiden elinkaaren päättyessä ne päätyvät jätteeksi. Tuotteet tulisi suunnitella siten, että ne eivät enää päädy jätteeksi, vaan niiden elinkaari jatkuu kierroksen mukana. (Eliminate waste and pollution 2022; Circulate products and materials 2022.)

3.1 Rakennustuotteiden kiertotalous

Rakennustuotteiden kiertotaloudella pyritään tuotteiden ja niissä käytettyjen materiaalien mahdollisimman pitkään elinkaareen (Circulate products and materials 2022). Näiden elinkaaren maksimoimiseksi noudatetaan jätelain pykälän 8 mukaista etusijajärjestystä (646/2011: § 8). Etusijajärjestys kuvaa jätteen käsittelymahdollisuudet tärkeysjärjestyksessä pyrkien vähentämään jätteen syntymistä ja ohjaamaan välttämättömän jätteen hyödyntämistä (Jätehierarkia: välttä jätteen syntymistä, kierrätä enemmän). Jätelain mukaan jäte on aine tai esine, joka on poistettu käytöstä (646/2011: § 5). Tämä etusijajärjestystä on kuvattu hierarkiamallisesti kuvassa 1.



Kuva 1. Jätteen hyödyntämisen etusijajärjestys (Rakentamisen kiertotalouden sanakirja 2023: 8).

Etusijajärjestyksen mukaisesti jätteen syntymistä tulisi ensisijaisesti vähentää (Rakentamisen kiertotalouden sanakirja 2023: 8). Tämä tarkoittaa, että rakenteiden ja tuotteiden käyttöikää pidennetään korjaamalla ja huoltamalla, jotta niitä ei tarvitse vaihtaa uusiin (What is a circular economy?). Uudelleenkäyttö on ensisijainen ratkaisu, kun tuote ei enää sovellu sen alkuperäiseen käyttötarkoitukseen tai halutaan muusta syystä poistaa. Uudelleenkäytöllä tarkoitetaan tuotteen käyttämistä uudelleen samaan tarkoitukseen kuin sen alkuperäinen käyttötarkoitus. Jos tuotteelle uudelleenkäyttö ei ole mahdollista, keskitytään sen sisältämiin materiaaleihin. (Rakentamisen kiertotalouden sanakirja 2023: 8–9.)

Kolmantena kohtana etusijajärjestyksessä on kierrätys, jossa tuotteen materiaalit jalostetaan uusiksi tuotteiksi ja käytetään sellaisenaan tai uuden tuotteen valmistuksessa. Kierrättämisestä käytetään myös termiä uusiokäyttö. Kierrätettyjä materiaaleja voidaan kutsua kierrätysmateriaaleiksi tai uusiomateriaaleiksi. Kierrätystä voidaan tehdä materiaalin arvoa nostavasti tai vähentävästi. Arvoa nostavassa kierrätyksessä jätemateriaali jalostetaan korvaamaan mahdollisimman

arvokasta materiaalia tuotteen valmistuksessa. Arvoa vähentävässä kierrätyksessä uusiomateriaali hyödynnetään toissijaiseen käyttötarkoitukseen, jolloin sen arvo ei ole niin korkea. (Rakentamisen kiertotalouden sanakirja 2023: 8–12.)

Etusijajärjestyksen viimeisenä kohtana on loppukäsittely, jos jätettä ei pystytä uudelleen käyttämään tai hyödyntämään muuten (Rakentamisen kiertotalouden sanakirja 2023: 8). Rakennusmateriaalien uudelleenkäyttö ja kierrätys ovat välttämättömiä, jotta ne eivät päädy polttoaineeksi tai maantäyttöön (Rakentamisen kiertotalouden sanakirja 2023: 12; Eliminate waste and pollution 2022).

Kiertotalouden tavoitteena on maksimoida materiaalien tehokas käyttö mikä edesauttaa luomaan niille pitkän elinkaaren (Circulate products and materials 2022). Materiaalitehokkuudella tarkoitetaan, että tuotteiden valmistuksessa hyödynnetään sivuvirtoja, uudelleenkäytettäviä osia ja kierrätettyjä materiaaleja. Tämä vähentää myös tuotteen valmistamisesta aiheutuvia ympäristöpäästöjä. (Rakentamisen kiertotalouden sanakirja 2023: 5.)

Materiaalitehokkuus saadaan aikaiseksi muun muassa hyödyntämällä kaskadiperiaatetta. Kaskadiperiaate tarkoittaa tuotteiden ja materiaalien hyödyntämistä tärkeysjärjestyksessä, jotta niiden resurssitehokkuus voidaan maksimoida. (Rakentamisen kiertotalouden sanakirja 2023: 5.) Sen mukaan tuotteet korjataan ja huolletaan, jotta niitä voidaan käyttää uudelleen mahdollisimman pitkään. Kun uudelleenkäyttö ei ole enää mahdollista, tuotteen sisältämät materiaalit erotellaan ja kierrätetään uusiksi tuotteiksi tai niiden valmistukseen. Uusia tuotteita voidaan jälleen korjata ja huoltaa ennen kuin ne kierrätetään uudelleen. Hyödyntämätön palava materiaali voidaan hyödyntää energiantuotannossa. Kaskadiperiaatteen hyödyntäminen lisää materiaalien ja raaka-aineiden arvoa sekä tehostaa kiertotaloutta ja sen periaatteita. (Heponiemi 2021.)

Rakennustuotteiden valmistuksessa käytetään paljon luonnollisia raaka-aineita, mutta tätä pyritään muuttamaan lisäämällä uusiomateriaalien käyttöä tuotteiden valmistuksessa. Tähän liittyen Euroopan unionin taksonomia on asettanut

kiertotalouskriteerejä uusien rakennuksien rakentamiselle. Betonin osalta on määritely, että enintään 70 % käytetystä kiviaineksesta saa olla luonnonkiviainesta, jolloin loput 30 % on uusiokiviainesta. (Construction of new buildings.) Euroopan unionin taksonomia on luokitusjärjestelmä, joka on suunniteltu auttamaan yrityksiä ja sijoittajia. Sen tavoitteena on edistää investointeja hankkeisiin, jotka ovat ympäristön kannalta kestäviä. (EU Taxonomy Navigator.) Betonilla on merkittävä rooli kiertotalouden edistäjänä johtuen sen laajasta käytöstä, suuresta jätemäärästä ja hyödyntämispotentialista (Pacheco ym. 2023: 2).

3.2 Betonin uudelleenkäyttö

Betonielementit nähdään erityisen potentiaalisina betonituotteiden uudelleenkäytön kannalta. Betonielementit voidaan irrottaa ehjinä rakenteesta, jolloin ne voidaan uudelleenkäyttää (Huuhka 2024). Tällöin sovelletaan tuotelainsäädäntöä. Usein uudelleenkäytettävät elementit ovat seinä- ja laattaelementtejä. Uudelleenkäyttö on suositeltavaa, kun elementille on etukäteen määritely uudelleenkäyttökohde. Elementti voidaan joko käyttää uudelleen sellaisenaan tai kunnostaa uutta vastaavaksi, jolloin elementille palautetaan sen alkuperäinen arvo. Tämän jälkeen elementin kelpoisuus uuteen käyttökohteeseen varmistetaan, minkä jälkeen se voidaan viedä asennettavaksi uuteen paikkaan. (Rakentamisen kiertotalouden sanakirja 2023: 10–11.)

Jos uudelleenkäytettävälle elementille ei ole käyttötarkoitusta tai mahdollisuutta uudelleenkäytölle, se on käyttötarkoituksesta poistettu tuote eli se luokitellaan jätteeksi. Tällöin sovelletaan jätelainsäädäntöä ja pyritään poistamaan elementin jäteluokittelu. Elementin jäteluokittelun poistamiseksi se tarkistetaan, puhdistetaan ja korjataan, jotta se voidaan uudelleenkäyttää ilman suurempaa esikäsittelyä. Kun elementti on todettu uudelleenkäyttökelpoiseksi, siitä tulee jälleen tuote, joka voidaan uudelleenkäyttää. Tällöinkin on vielä tarkastettava, että elementti soveltuu uuteen käyttökohteeseen ennen sen asentamista. (Rakentamisen kiertotalouden sanakirja 2023: 11.)

3.3 Betonijätteen kierrätys

Betonia kierrätetään yleisesti murskeena eri reakokoina. Hienointa raekokoa voidaan kierrättää sementin valmistukseen, 0–16 mm kokoisia rakeita uuden betonin kiviaineksena ja 0–90 mm kokoisia rakeita maarakentamisessa. Betonijätettä kierrätetään Suomessa eniten maarakennuskäyttöön. (Betonin kierrätys ja uudelleenkäyttö 2021.) Vuonna 2017 valtioneuvosto uudisti asetusta, joka edistää eräiden jätteiden hyödyntämistä maarakentamisessa. Tämä asetus, joka tuli ensimmäisen kerran voimaan vuonna 2006, tunnetaan nimellä Mara-asetus. Mara-asetus sallii esimerkiksi betonimurskejätteen hyödyntämisen maarakennuskohteissa tietyin rajauksin ilman ympäristölupaa, kunhan betonimurske täyttää asetuksen esittämät vaatimukset. (Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa soveltamisohje 2019: 2.) Ympäristölupa on yleensä tarpeen toiminnalle, joka voi aiheuttaa ympäristön pilaantumista tai sen vaaraa, jotta voidaan varmistua sen harmittomuudesta (Ympäristölupa 2022). Ympäristölupa tarvitaan, jos betonimursketta hyödynnetään Mara-asetuksesta poikkeavalla tavalla maarakentamisessa.

Betonimurskejätteen käyttö maarakentamiskohteessa edellyttää kuitenkin ilmoituksen tekemistä Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukselle, jotta se voidaan merkitä ympäristösuojelun tietojärjestelmään. Ilmoituksessa pitää käydä ilmi, että jäte täyttää asetuksen vaatimukset, sitä käytetään asetuksen sallimassa käyttökohteessa ja toiminnan suunnitelmallisuus on esitettävä esimerkiksi lakisääteisillä suunnitelmillä. Maarakentamiskohteita, joissa betonimurskejätettä voidaan hyödyntää, ovat väylä- ja kenttärakenteet sekä teollisuus- ja varastorakennusten pohjarakenteet. Väylärakenteilla tarkoitetaan alle 10 metriä leveydeltään olevia kulkuväyliä, kuten pyöriteitä ja jalkakäytäviä, kun taas kenttärakenteilla tarkoitetaan väylää leveämpiä ja laajempia kohteita, kuten pysäköintialueita ja urheilukenttiä. Betonimurskejätettä, joka täyttää Mara-asetuksen vaatimukset, kutsutaan Mara-murskeeksi. (Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa soveltamisohje 2019: 12; Ollikainen ym. 2024: 5–6.)

Betonijätteen käyttö maarakentamisessa on kierrätystä, joka vähentää betonimurskeen arvoa. Betonijätteen arvoa lisäävää kierrätystä on sen uusiokäyttö uuden betonin raaka-aineena. (Hallitus hyväksyi asetuksen betonimurskeen jätteeksi luokittelun päättymisestä 2022; Rakentamisen kiertotalouden sanakirja 2023: 12.) Jotta betonijätettä voidaan uusiokäyttää uuden betonin raaka-aineeksi, edellyttää se sen jäteluokituksen päättymistä (Kunnas 2023).

Vuonna 2022 voimaan tullut valtioneuvoston asetus 466/2022 määrittelee betonimurskeen jätteeksi luokittelun päättymisen arviointiperusteet. Tätä asetusta kutsutaan betonin ”Ei enää jätettä”-asetukseksi tai betoni-EEJ-asetukseksi. Betoni-EEJ-asetuksen myötä purkubetonista syntyvää betonijätettä voidaan valmistaa uusiokiviaineeksi ja hyödyntää uuden betonin kiviaineeksena. (Valtioneuvoston asetus betonimurskeen jätteeksi luokittelun päättymisen arviointiperusteista soveltamisohje 2022: 1.) Betonijätteen uusiokäytöllä saataisiin kaskadiperaatteen mukaisesti materiaalille korkeampi jalostusaste verrattuna Mara-murskeeseen ja pidennettyä sen elinkaarta.

4 Haastattelututkimus

Opinnäytetyössä toteutettiin haastattelututkimus ajanjaksolla 23.1.2025-7.3.2025. Haastateltavia valittiin Suomen ja Euroopan yrityksistä, jotka ovat työskennelleet uusiobetonin tai jonkin sen prosessin osa-alueen parissa. Haastattelu pyyntö lähetettiin 36 eri yritykselle. Tutkimukseen osallistui 14 asiantuntijaa, joista kuusi oli Suomesta, kolme Belgiasta, kaksi Saksasta ja kolme Alankomaista. Lisäksi yksi asiantuntija Sveitsistä vastasi kysymyksiin kirjallisesti sähköpostin välityksellä. Haastateltavat yritykset koostuivat purkuyrityksistä, betonin valmistajista, sertifiointiyrityksistä, konsultointi- ja tutkimusyrityksistä, sementin valmistajista, rakennustuoteteollisuuden yhdistyksestä ja insinööritoimistoista. Haastateltavat asiantuntijat olivat muun muassa yrityksensä kestävän kehityksen osaajia, innovaatio-ohjelman johtajia, liiketoiminnan kehittäjiä ja toimitusjohtajia.

Haastateltaville lähetettiin kysymykset ennakoon tutustuttavaksi ennen haastattelupäivää. Haastattelut käytiin Teamsin välityksellä ja 12/14 haastattelusta tehtiin tekstitallointit opinnäytetyön laatijan käyttöön. Tavoitteena oli kerätä tietoa parhaista toimintatavoista uusiobetonin tuottamiseen ja soveltuvista käyttötarkoituksista. Haastatteluissa käytiin läpi seuraavia aihealueita: purkubetonin lähtötilanne, purkaminen ja murskaus, uusiokiviaines, uusiobetoni ja sen käyttökohteet sekä kehitysehdotukset. Haastattelututkimuksen tulokset esitellään opinnäytetyössä anonymisti ja saatuja tietoja on sisällytetty seuraaviin kappaleisiin kappaleen aihealueen mukaan.

5 Purkamisen ja murskaamisen toimintatavat

Rakennus- ja purkujätettä syntyy vuosittain noin 1,5 miljoonaa tonnia (Lehtonen 2019: 11). Vuonna 2022 jätettä syntyi 1,2 miljoonaa tonnia, josta hyödynnettiin 630 000 tonnia. Materiaalihyödyntämisaste oli noin 54 % mikä kuvaa, kuinka suuri osa jätteistä hyödynnetään uudelleenkäytön tai kierrätyksen kautta. Valta-kunnallisen jätesuunnitelman tavoitteena on, että vuoteen 2027 mennessä rakennus- ja purkujätteestä hyödynnetään materiaalina vähintään 70 %. (Rakentamisen jätteet 2024.)

Purkuhankkeille voidaan asettaa tavoitteita purettavien tuotteiden uudelleenkäytölle sekä materiaalien hyödyntämiselle. Tavoitteiden asettamista varten toteutetaan purkukartoitus, joka antaa ennakkotietoa purkukohteesta. Sen avulla purkaminen voidaan suunnitella niin, että hyödyntämiskelpoiset materiaalit ja tuotteet saadaan purettua hyödyntämiskelpoisessa kunnossa. (Lehtonen 2019: 21–24.) Seuraavissa luvuissa esitetään purkamisprosessin toimintatapoja, jossa huomioidaan materiaalien ja erityisesti betonin uudelleen hyödyntäminen. Lisäksi käsitellään toimintatapoja betonimurskejätteen murskaamiselle huomioiden sen uusiokäyttö.

5.1 Purkukartoitus

Ennen purkamista tehdään purkukartoitus, joka on yleinen toimintatapa Suomessa ja myös muualla Euroopassa (Hradil ym.: 3). Purkukartoitukseen sisältyy asbesti- ja haitta-ainetutkimus sekä purkumateriaali- ja rakennusjäteselvitys (Lehtonen 2019: 20; 751/2023: § 16). Asbesti- ja haitta-ainetutkimus on tehtävä aina ennen purkutyöhön ryhtymistä ja siinä tutkitaan purettava kohde haitallisten aineiden varalta, sillä niiden esiintyminen vaikuttaa purkumenetelmiin sekä purkumateriaalien hyödyntämiseen. Purkukartoituksessa esitetään ohjeet haitta-aineita sisältävien materiaalien poistamiseksi. Kattava ja huolellisesti toteutettu haitta-ainetutkimus on tärkeää myös uusiokäytön kannalta, jotta terveellisyys ja turvallisuus voidaan varmistaa. (Lehtonen 2019: 18–21.)

Haitta-aineita voi esiintyä erilaisissa rakennusmateriaaleissa, kuten pintamateriaaleissa, levytyksissä ja eristemateriaaleissa, sekä materiaalien pinnoitteina, kuten maaleissa ja laasteissa. Haitta-aineita voi olla myös rakenteissa rakennuksen käytön takia tai kulkeutuneena muista haitallisia aineita sisältävistä materiaaleista. Betoni voi pilaantua haitta-aineiden vaikutuksesta, kun esimerkiksi öljyhiilivetyjä sisältävät öljyt ovat valuneet betonipinnalle ja imeytyneet betoniin. Betonin huokoisuuden vuoksi haitta-aineet voivat imeytyä siihen ja levitä laajallekin alueelle. Myös bitumituotteiden ja saumamassojen sisältämät haitta-aineet voivat imeytyä betoniin niiden ollessa kosketuksissa toistensa kanssa. (Haitalliset aineet rakennuksissa tutkijan ohje 2022: 3–6.)

Ajan myötä haitta-aineet voivat aiheuttaa betonin rapautumista, värimuutoksia tai epämiellyttävää hajua. Pilaantuminen ei aina ole silmin havaittavissa, eikä kyseessä olevaa haitta-ainetta ole mahdollista tunnistaa ilman kattavaa tutkimusta. Betonirakenteiden uudelleenkäyttöä suunniteltaessa haitta-aineiden vaikutukset on arvioitava tarkasti, jotta haitalliset aineet eivät päädy takaisin materiaalikiertoon. Arvioinnissa on huomioitava myös pintamateriaalien ja pinnoitteiden mahdolliset haitta-aineet ennen rakenteiden valmistelua uudelleenkäyttöä varten. (Haitalliset aineet rakennuksissa tutkijan ohje 2022: 3–6.)

Purkumateriaali- ja rakennusjätteselvityksessä selvitetään mitä materiaaleja purkukohteessa on ja arvioidaan niiden määrät. Purettavista materiaaleista selvitetään mitkä soveltuvat uudelleenkäyttöön ja mitkä kierrätettäväksi, jolloin voidaan arvioida myös syntyvän jätteen määrää. Uudelleenkäyttö ja kierrätys edellyttää, että purettava materiaali ei sisällä haitallisia aineita tai materiaaleja. Materiaalien ja elementtien uudelleen hyödyntämisen mahdollisuus vaikuttaa purkujärjestykseen ja purkamisen toimintatapoihin. Etusijajärjestyksen mukaisesti purkaminen pyritään suunnittelemaan niin, että uudelleenkäyttökelpoiset tuotteet saadaan otettua talteen mahdollisimman hyväkuntoisina. Purkumateriaali- ja rakennusjätteselvityksessä annetaan suosituksia toimintatavoista, miten tuotteita ja materiaaleja voidaan uudelleenkäyttää ja kierrättää. Tämä voi mahdollistaa purku-urakalle asetettavia kierrätys- ja hyödyntämistavoitteita sekä edellyttää tiettyjen jätelajien erilliskeräystä. (Lehtonen 2019: 21–24; 751/2023: § 16.)

Haastateltavilta kysyttiin mitä he tutkivat betonirakenteista, jotka aiotaan purkaa, jotta ne olisivat soveltuvia uusiobetonin raaka-aineeksi. Haastateltavat korostivat asbesti- ja haitta-ainekartoituksen merkitystä, sillä betonia ei voida uusioikäyttää, jos siinä esiintyy haitallisia aineita yli sallittujen raja-arvojen (Haastattelu 1 Alankomaat, 2 Suomi, 3 Suomi, 6 Suomi, 8 Saksa, 9 Belgia, 13 Suomi). Tästä syystä osa haastateltavista piti rakenteen rakennusvuotta tärkeänä tietona, sillä asiantuntija voi sen perusteella arvioida, onko olemassa riski haitallisten aineiden esiintymiselle (Haastattelu 2 Suomi, 6 Suomi, 9 Belgia).

Muiden purettavan betonin ominaisuuksien, kuten puristuslujuuden tai rasitusluokan, tutkimista ei koettu tärkeäksi. Korkeampi puristuslujuus nähdään etuna, mutta se ei ole välttämätöntä. (Haastattelu 1 Alankomaat, 3 Suomi, 4 Saksa, 5 Alankomaat, 8 Saksa, 9 Belgia.) Purettavan betonin ei tarvitse täyttää mitään tiettyjä ominaisuuksia, että se voitaisiin uusiokäyttää. Haastatteluista saatujen tietojen mukaan kaikki purkubetoni voidaan hyödyntää, jos siinä ei esiinny haitallisia-aineita. (Haastattelu 5 Alankomaat, 8 Saksa, 15 Sveitsi.)

Toisaalta betonin lähtötilanteen laadun tunteminen mahdollistaa uusiobetonin ominaisuuksien arvioinnin. Esimerkiksi korkeamman lujuusluokan betonilla on selvästi alhaisempi huokoisuus kuin kohtalaisen ja matalan lujuusluokan betoneilla. Alempi huokoisuus parantaa uusiokiviaineksen ominaisuuksia, jolloin saadaan parempilaatuista uusiokiviainesta, joka myös parantaa uusiobetonin ominaisuuksia. (Nieminen 2015: 18.)

5.2 Purkaminen

Lähtökohtaisesti purkaminen edellyttää joko purkamislupaa tai purkamisilmoituksen tekemistä kunnan rakennusvalvontaviranomaiselle. Purkamisilmoitus riittää esimerkiksi, jos purkaminen on vähäistä tai jos rakennuksella ei ole enää käyttötarkoitusta ja sen purkaminen johtaa purkumateriaalien merkittävään uudelleenkäyttöön ja kierrätykseen. Purkamislupaa haettaessa lupahakemukseen on lisättävä purkumateriaali- ja rakennusjätteselvitys sekä suunnitelma rakennusjätteen määrän ja haitallisuuden vähentämiseksi. (Lehtonen 2019: 17; 751/2023: § 16,

55, 56.) Selvityksessä on mainittava arvio hankkeessa syntyvistä purkujättemääristä ja arviossa on eriteltävä vähintään seuraavat materiaalit: (1089/2024: § 1).

- betoni
- tiili
- kivennäislaatat ja keramiikka
- asfaltti
- bitumi ja kattuhuopa
- kipsi
- puu ja puupohjaiset tuotteet
- metalli
- lasi
- muovi
- eristeet
- sähkö- ja elektroniikkalaitteet
- sekalainen materiaali

Materiaalien mahdollisimman korkean hyödyntämisasteen takaamiseksi purkaminen suoritetaan lajittelevana purkamisena, mikä vastaa jätelaissa esitettyä jätteiden erilliskeräysvelvollisuutta (646/2011: § 15). Lajittelevassa purkamisessa eri materiaalit erotellaan ja lajitellaan jo purkamisen yhteydessä omille lavoilleen. Tämä toimintamalli edistää materiaalien uudelleenkäyttöä ja kierrätystä, sekä on edellytys jätelain mukaisen etusijajärjestyksen toteutumiselle. Lajitteleva purku vaatii ennakoivaa suunnittelua ja tutkimista, jotta purkaminen voidaan suorittaa tehokkaasti ja kiertotalouden periaatteiden mukaisesti. (Yhdelle lavalle yhtä ja samaa sorttia: viisi kysymystä lajittelevasta purkamisesta 2022.) Valtioneuvoston asetus jätteistä ohjaa lajittelemaan erilleen ainakin seuraavat materiaalit: (978/2021: § 26).

- betoni, tiili, kivennäislaatat ja keramiikka
- asfaltti
- bitumi ja kattuhuopa
- kipsi

- kyllästämätön puu
- metalli
- lasi
- muovi
- paperi ja kartonki
- mineraalivillaeristeet
- maa- ja kiviaines

Lajitteleva purkaminen aloitetaan asbestin ja haitta-aineiden poistamisella, jos niitä on havaittu purkukohteessa. Tämän jälkeen poistetaan kaikki irtotavara ja purkukohde siivotaan muusta irtojätteestä. (Yhdelle lavalle yhtä ja samaa sorttia: viisi kysymystä lajittelevasta purkamisesta 2022.) Uudelleenkäyttöön tarkoitetut rakennustuotteet irrotetaan ehjänä rakenteesta ja varastoidaan suunnitellulla tavalla (Lehtonen 2019: 23). Kun uudelleenkäyttöön tarkoitetut osat ovat irrotettu, voidaan aloittaa purkukohteen rakenteiden purkaminen.

Rakenteiden purkaminen aloitetaan kohteen ei-kantavista osista kuten kevyistä väliseinistä ja ikkunoista niin, että jäljelle jää vain kantava runko. Runko puretaan rakennusosittain ja materiaaleittain yleensä rakenteen korkeimmasta pisteestä aloittaen. Mahdollisimman huolellisesti toteutettu lajitteleva purku eri vaiheissa edistää huomattavasti eri purkujätteiden kierrätystä ja hyödyntämistä. (Yhdelle lavalle yhtä ja samaa sorttia: viisi kysymystä lajittelevasta purkamisesta 2022.) Samaa purkujärjestystä voidaan soveltaa myös muihin purkukohteisiin, kuten siltoihin ja vesitorneihin, jättäen pois tarpeettomat vaiheet.

Purkamisesta saadut jätemateriaalit lajitellaan lajiltaan ja laadultaan erilleen ja niiden sekoittuminen toisiin materiaaleihin pyritään minimoimaan (646/2011: § 15). Betonijätteessä esiintyviä muita materiaaleja nimitetään epäpuhtauksiksi. Epäpuhtauksien liiallinen esiintyminen betonimurskeessa, jota on tarkoitus käyttää uusiobetonin valmistuksessa, vaikuttavat merkittävästi uusiobetonin ominaisuuksiin. (Pacheco ym. 2023: 15–22; Lehtonen 2022: 4–5.) Betonijätteestä erilleen haluttavia epäpuhtauksia ovat kaikenlaiset tiilimateriaalit, kellumaton

vaahtobetoni, savi ja muut maa-ainekset, metallit, puu, muovi, kumi, kipsilaasti, lasi ja kelluvat epäpuhtaudet, kuten villa (466/2022: Liite 3 taulukko 2).

Haastattelujen perusteella lajitteleva purkaminen on yleinen menettely. Purukohteen tyypillä ei ole merkitystä, mutta haastateltavat ilmaisivat betoniset tiet ja sillat suosituimmiksi purkukohteiksi, sillä niiden rakenteissa on käytetty yhteinäistä betonilaatua ja niissä muiden epäpuhtauksien määrä on vähäinen.

(Haastattelu 4 Saksa, 9 Belgia, 12 Belgia.) Asuinrakennuksista peräisin olevan betonimurskeen uusiokäyttö koetaan haastavammaksi, koska rakenteissa käytetään monenlaisia materiaaleja, mikä lisää riskiä epäpuhtauksien määrälle betonimurskeessa (Haastattelu 4 Saksa, 9 Belgia). Tällaisissa purkukohteissa epäpuhtauksien välttäminen vaatii enemmän aikaa ja työtä, mikä lisää kustannuksia, mutta on siitä huolimatta mahdollista toteuttaa (Haastattelu 13 Suomi).

Haastatteluissa kysyttiin, lajitellaanko betonia edelleen laadullisesti tai muulla tavoin erilleen, esimerkiksi laadullisesti parempi ja huonompi purkubetoni.

Haastatteluista saatujen tietojen mukaan kaikki betoni puretaan samalle lavalle (Haastattelu 1 Alankomaat, 2 Suomi, 4 Saksa, 9 Belgia, 13 Suomi). Kuitenkin osa haastateltavista totesi, että laadullisesta lajittelusta voisi olla hyötyä, koska se helpottaisi uusiobetonin ominaisuuksien määrittämistä (Haastattelu 1 Alankomaat, 2 Suomi, 3 Suomi, 4 Saksa).

Laadullinen lajittelu edistäisi myös uusiokiviaineksen tasalaatuisuuden saavuttamista. Jos korkean ja matalan lujuuden betonimurskeita sekoitetaan uusiokiviaineksen valmistuksessa, matalamman lujuuden betonimurske aiheuttaa uusiobetonin lujuuden paikallista heikkenemistä (Nieminen 2015: 36).

5.3 Murskaaminen

Murskaaminen voidaan suorittaa purkutyömaalle sijoitettavalla mobiilimurskaimella tai kierrätysasemalla (Pacheco ym. 2023: 16–17). Mobiilimurskain on kompaktimpi versio kierrätysasemasta ja sitä voidaan siirtää paikasta toiseen. Sillä voidaan käsitellä esimerkiksi betoni- ja asfalttijätettä. Mobiilimurskain

sisältää yleensä murskaimen, magneettierottimen, joka erottelee teräkset betonimurskeen joukosta, sekä seulan, joka erottelee muut epäpuhtaudet. (Murskausasemat siirtyvät sinne missä tarvitaan.)

Kierrätysasema on suurempi yksikkö, joka sijaitsee kiinteässä sijainnissa. Kierrätysasema voi sisältää useampia murskaimia ja laitteistoja epäpuhtauksien erotteluun. Lisäksi kierrätysasema pystyy käsittelemään betonin lisäksi monenlaisia jätteitä, kuten puuta, pahvia, kipsiä ja metallia. (Pacheco ym. 2023: 16–17.) Murskaamiseen pitää olla ympäristölupa tai toiminnassa murskataan betonijätettä kiinteään betoniaseman ja betonituotetehtaan ympäristönsuojeluvaatimuksista annetun valtioneuvoston asetuksen nojalla (Kunnas 2023).

Haastattelujen perusteella kierrätysasemalla tapahtuvaa murskausta suositetaan ennemmin, sillä murskaaminen on äänekkästä ja pölyävää työtä mikä voi haitata ympärillä oleskelevia ihmisiä (Haastattelu 1 Alankomaat, 2 Suomi, 3 Suomi, 4 Saksa, 9 Belgia, 13 Suomi). Kierrätysasemalla lajittelu on tehokkaampaa, koska käytettävissä on enemmän laitteistoja murskaamiseen ja epäpuhtauksien poistamiseen (Pacheco ym. 2023: 16–17).

Mobiilimurskaimen etuna on, että uusiokiviaineksen laatua voidaan hallita paremmin, kun tiedetään tarkasti mistä betonijäte on peräisin. Suuremmalla purkutyömaalla, jossa syntyy runsaasti betonijätettä, voi olla etu käyttää mobiilimurskainta, jolloin välttyään täysin kuljetuskustannuksilta ja ympäristövaikutuksilta. Toisaalta mobiilimurskaimet käyttävät polttoaineenaan dieseliä, kun taas kierrätyslaitoksella on sähkökäyttöiset laitteet. (Pacheco ym. 2023: 16–17.)

Ennen kierrätysasemalle kuljettamista betonimurske pulveroidaan purkutyömaalla. Pulveroinnilla tarkoitetaan betonin esimurskaamista sellaiseen kokoon, että sitä voidaan syöttää tehokkaasti murskaajaan ja murskaaja voi sen tehokkaasti murskata. Pulveroinnin yhteydessä betonista erotellaan magneetin avulla betonin seassa olevat suuremmat raudoitteet. Erotellut raudoitteet pystytään myös uudelleenkäyttämään. (Pulverointi; Haastattelu 1 Alankomaat, 2 Suomi, 10 Suomi.)

Murskauslaitteistona käytetään leuka-, isku-, tai kartiomurskainta. Haastattelussa suosittiin kaksiosaista murskaamista leukamurskainta ja kartiomurskaimella, jolloin betonimurske esimurskataan leukamurskaimella ja sen jälkeen murskataan toisen kerran kartiomurskaimella haluttuun raekokoon (Haastattelu 4 Saksa, 5 Alankomaat, 9 Belgia, 10 Suomi, 11 Belgia). Monivaiheisella murskaamisella saadaan vähennettyä uusiokiviaineksessa olevaa vanhaa kovettunutta sementtipastaa, mikä parantaa uusiokiviaineksen raemuotoa ja koostumusta (Nieminen 2016: 80).

Uusiobetonissa käytettävän karkean kiviaineksen koko on tyypillisesti 4–16 mm (Haastattelu 1 Alankomaat, 5 Alankomaat, 8 Saksa, 9 Belgia, 14 Alankomaat). Murskaamisen yhteydessä saadaan myös hienoa kiviainesta 1–4 mm ja todella hienoa kiviainesta <1 mm, joita voidaan hyödyntää uusiobetonissa ja sementin valmistuksessa. (Haastattelu 5 Alankomaat, 7 Suomi).

Suurimmat silmillä nähtävät epäpuhtaudet poistetaan betonin joukosta purkamisen yhteydessä ja huolellisesti toteutettu lajitteleva purku vähentää epäpuhtauksien määrää huomattavasti. Jäljelle jäävät epäpuhtaudet pyritään poistamaan murskausprosessin aikana erilaisilla tekniikoilla. Monet erottelutekniikat perustuvat siihen, että betonilla on suurempi tiheys ja massa kuin eroteltavilla materiaaleilla. Esimerkiksi tuuliseulan toiminta perustuu materiaalien massaan, jolloin kevyemmät materiaalit kulkeutuvat ilmapirran mukana ja raskaammat kappaleet jäävät paikoilleen. Lisäksi käytetään magneettia, jotta saadaan eroteltua magneettiset metallit betonimurskeen seasta. (Pacheco ym. 2023: 16–17.)

Epäpuhtaudet sekä karkean kiviaineksen pinnalla oleva pöly ja hienoaines voidaan poistaa märkäseulonnalla, jossa kiviaines pestään. Tämä vähentää myös kemiallisten aineiden aiheuttamaa kontaminaatiota. Betonimurskeen peseminen vähentää esimerkiksi sen kloridipitoisuutta. Peseminen aiheuttaa kuitenkin ongelmia pesuveden käsittelyssä, eikä se sovellu käytettäväksi, jos tarkoituksena on hyödyntää myös murskeen hienoaines. (Pacheco ym. 2023: 15; Lehtonen 2021: 6–9.) Lisäksi uusiokiviaineksen sisältämä vanha sementtipasta voi alkaa reagoimaan pesuveden kanssa, jolloin se jähmettyy (Nieminen 2015: 39).

6 Betonimurskejätteestä uusiokiviainestuotteeksi

Betonimurskejätteestä uusiokiviaineksen tuottaminen edellyttää monien asioiden tarkastelua ja hallintaa, mitkä on määritelty jätelainsäädännössä, rakennustuoteasetuksessa ja betonin-EEJ-asetuksessa. Jätelainsäädäntö esittää vaatimuksia materiaalien uudelleenkäytölle ja kierrätykselle, jätteen erilliskeräykselle ja vaarallisten aineiden käsittelylle (646/2011: § 8–21).

Betonimurskeen jäteluokittelun päättyminen on keskeisessä osassa. Betonin EEJ-asetus määrittelee, milloin betoni lakkaa olemasta jätettä ja sitä voidaan hyödyntää asetuksen määrittelemissä käyttökohteissa, kuten maarakentamisessa ja uusiobetonissa. Asetuksessa on säännelty betonijätteen käsittelyvaatimuksista, kuten haitta-aineiden raja-arvoista ja murskeen laadunvalvontavoitteista. Lisäksi EEJ-betonimurskeen valmistajalla tulee olla ympäristölupa betonijätteen murskaustoimintaan tai valmistustehtaassa tulee täytyä ympäristönsuojeluvaatimukset. Nämä säätelyt lisäävät ympäristöriskien hallintaa, jotta ympäristöriskit voidaan minimoida. Uusiokiviaineksen soveltuvuus suunniteltuun käyttötarkoitukseen tulee aina arvioida käyttökohdekohtaisesti. (466/2022: § 1–19; Hallitus hyväksyi asetuksen betonimurskeen jätteeksi luokittelun päättymisestä 2022; Kunnas 2023.)

Rakennustuoteasetus säätelee rakennusmateriaalien, kuten uusiokiviaineksen, markkinoille saattamista ja käyttöä, edellyttäen vaatimustenmukaisuusilmoituksen laatimista. Uusiokiviainesta tulee voida käyttää turvallisesti uuden betonin valmistuksessa, jolloin sen laadun varmentamiseen tulee osallistua kolmas osapuoli. Uusiokiviaineksella on oltava CE-merkintä, jos sitä halutaan käyttää rakennustuotteena ja uuden betonin raaka-aineena. (Rakennustuotteet; Kunnas 2023.)

6.1 Ei enää jätettä-asetus

Jätelain mukaan jäte ei ole enää jätettä, kun se on kierrätetty tai muuten hyödynnetty, sitä on määrä käyttää erityisiin tarkoituksiin, sillä on markkinat tai

kysyntää, se täyttää tekniset vaatimukset ja sen käyttö ei aiheuta haittaa tai vaaraa terveydelle tai ympäristölle (646/2011: § 5b). Betonin-EEJ-asetuksessa (466/2022) kerrotaan, mitä vaatimuksia betonimurskejätteen tulee täyttää, ennen kuin sitä voidaan hyödyntää ilman jäteluokitusta.

Betonimurskeen jätteeksi luokittelu päättyy, kun betonin EEJ-asetuksen asettamat arviointiperusteet täyttyvät betonimursketta markkinoille saatessa. Seuraavaksi on esitetty listaus betonimurskeen jätteeksi luokittelun päättymisen arviointiperusteista ja niiden sisältöä selvennetään tulevissa kappaleissa: (466/2022: § 3, 8, 9, 12, 14.)

- Betonimurskejätteen esikäsittelyvaiheessa on poistettu betonimurskejätteen sisältämät epäpuhtaudet, kuten magneettiset metallit ja eristemateriaalit, ennen sen jatkokäsittelyä.
- Betonimurskejäte on käsitelty käyttötarkoituksen mukaiseen raekokoon, joka on kuitenkin enintään 90 mm.
- Jatkokäsittelyvaiheessa betonimurskejätteestä on mitattu haitta-aineiden liukoisuudet, eivätkä ne ylitä taulukossa 2 määriteltyjä raja-arvoja.
- Jatkokäsittelyvaiheessa betonimurskejätteestä on poistettu epäpuhtaudet niin, että se täyttää taulukossa 3 määriteltyt raja-arvot.
- Käytetystä betonista peräisin olevaa betonimurskejätettä saa käyttää kiiviaineena talonrakentamisessa, maarakentamisessa sekä valmisbetonin ja betonituotteiden valmistamisessa, kun sen AVCP- luokka on 2+ ja edellä mainitut kohdat täyttyvät.

EEJ-betonimurskeen valmistajan on pidettävä kirjaa vastaanotetuista ja hylätyistä betonimurskejätteistä. Jokaisesta vastaanotetusta erästä on kirjattava vastaanottoajankohta, syntypaikka, tuottaja, luovuttaja ja jätteen tyyppi. Hylätyille jäte-erille kirjataan edellä mainittujen tietojen lisäksi hylkäämisajankohta ja hylkäysperuste. Valmistajan on laadittava vaatimustenmukaisuusilmoitus jokaisesta betonimurske-erästä ja annettava se vastaanottajalle. Ilmoitus voi olla myös sähköisessä muodossa ja valmistajan on säilytettävä se kymmenen vuoden ajan. (466/2022: § 6, 7.)

Valmistajan on ilmoitettava arviointiperusteiden käyttöönotosta valvontaviranomaiselle vähintään 30 vuorokautta ennen toiminnan käyttöönottoa. Vuosittain valmistajan on toimitettava valvontaviranomaiselle tiedot käytetyistä jätteistä ja niiden määristä, käsittelyssä poistetuista materiaaleista, muutoksista laadunvarmistusjärjestelmässä, betonimurskeen haitallisten aineiden pitoisuuksista ja epäpuhtauksien määristä sekä valmistetun betonimurskeen määristä.

(466/2022: § 16, 18.)

6.1.1 Haitta-aineet ja epäpuhtaudet

Epäpuhtaudet ja haitta-aineet ovat keskeisessä roolissa, kun halutaan uusioikäyttää betonimursketta. Jatkokäsittelyn jälkeen betonimurskejätteestä otetaan vähintään kaksi kokoomanäytettä, joista toisesta määritellään haitta-aineiden pitoisuudet sekä liukoisuudet ja toisesta betonimurskejätteen materiaali jakauma sekä epäpuhtaudet. Kokoomanäyte edustaa 10 000 tonnia betonimurskejätettä ja se koostuu vähintään 20 osanäytteestä, joita on otettu jatkuvasta betonimurskejätevirrasta. (466/2022: § 10.) Näytteenotossa ja analysoinnissa käytetään standardoituja menetelmiä tai muita menetelmiä, jotka on todettu riittävän tarkoin ja toistettaviksi. Näytteenottajalla ja tutkijalla täytyy olla asianmukainen pätevyys analyysin suorittamiseen. (466/2022: § 11.)

Haitta-aineiden määrittämistä varten tehdään liukoisuuskokeet, jotta voidaan selvittää haitta-aineiden pitoisuudet ja liukoisuudet betonimurskeessa. Betonin- EEE-asetus määrittelee haitta-aineiden sallitut liukoisuudet ja pitoisuudet, jotka on esitetty taulukossa 2. (466/2022: Liite 3 taulukko 1.)

Taulukko 2. Haitta-aineiden sallitut liukoisuudet ja pitoisuudet (466/2022: Liite 3 taulukko 1).

Haitta-aine	Liukoisuus mg/kg	Kokonaispitoisuus mg/kg
Antimoni (Sb)	0,2	
Arseeni (As)	0,1	
Barium (Ba)	5	
Kadmium (Cd)	0,02	
Kromi (Cr)	0,6	
Kupari (Cu)	1	
Elohopea (Hg)	0,01	
Molybdeeni (Mo)	0,7	
Nikkeli (Ni)	0,3	
Lyijy (Pb)	0,1	
Seleeni (Se)	0,2	
Vanadiini (V)	0,3	
Sinkki (Zn)	4	
Fluoridi (F ⁻)	12	
Kloridi (Cl ⁻)	200	
Sulfaatti (SO ₄ ²⁻)	300	
PAH-yhdisteet ¹		30
PCB-yhdisteet ¹		1
Öljyhiilivedyt ≥ C10–C40 ¹		200

Betonin-EEJ-asetus määrittelee myös epäpuhtauksien sallitut enimmäismäärät, jotka on esitetty taulukossa 3 (466/2022: Liite 3 taulukko 2).

Taulukko 3. Epäpuhtauksien sallitut enimmäismäärät EEJ-betonimurskeessa (466/2022: Liite 3 taulukko 2).

Epäpuhtaus materiaali	Määrä
Tiilien ja tiililaattojen, kalkkihiekkatiilien ja -harkkojen sekä muiden poltettujen tiilien sekä kellumattoman vaah Tobetonin yhteenlaskettu määrä	10 paino-%
Saven ja muun koheesiomaan ja maa-aineksen, sekalaisen metallien (metallit ja rautayhdisteitä sisältämättömät metallit), kellumattoman puun, muovin ja kumin sekä kipsilaastin yhteenlaskettu määrä	1 paino-%
Kelluvat epäpuhtaudet	5 cm ³ /kg

Betonimurskeen laatuun pyritään vaikuttamaan minimoimalla epäpuhtauksien määrää, sillä niiden ominaisuudet heikentävät betonimurskeen laatua. Purkubetonimurskeessa esiintyvät epäpuhtaudet ovat yleensä huokoisempia, karkeampia ja heikompia kuin itse betonimurske ja sen sisältämä kiviaines. Nämä epäpuhtaudet voivat heikentää uusiobetonin lujuutta, lisätä imeytyvän veden määrää, aiheuttaa haitallisia kemiallisia reaktioita ja vaikeuttaa uusiobetonin työstettävyyttä. (Pacheco ym. 2023: 17–21.)

Epäpuhtauksien huokoisuus lisää imeytyvän veden määrää, mikä puolestaan vaikuttaa betonin lujuuden kehitykseen ja kovettumiseen (Pacheco ym. 2023: 21). Esimerkiksi tiili on huokoisempaa materiaalia kuin luonnonkiviaines, minkä vuoksi sen vedenimukyky on 6–20 paino-% (Tekniset ominaisuudet). Rapautumattoman luonnonkiviaineksen vedenimukyky on 0,3–0,5 paino-%, jolloin ero tiilen vedenimukykyyn on huomattava (Haara ym. 2018). Tiilen liiallinen esiintyminen betonimurskeessa voi vääristää betonimassan vedentarvetta. Kipsin sisältämät sulfaattiyhdisteet voivat aiheuttaa haitallisia kemiallisia reaktioita, jotka johtavat uusiobetonin tilavuuden kasvuun ja halkeiluun. Lisäksi epäpuhtaudet voivat tehdä betoniseoksesta liian jäykkää, mikä vaikeuttaa sen työstämistä. (Pacheco ym. 2023: 18–22.)

Betonin luonnollisen kiviaineksen optimaaliset ominaisuudet ovat pyöreähkö muoto, tiheys sekä vähäinen litteys ja pintahuokoisuus (Haara ym. 2018: 48–

51). Nämä ominaisuudet ovat lähes päinvastaiset epäpuhtausmateriaalien ominaisuuksiin verrattuna. Uusiokiviaines on sitä laadukkaampaa, mitä vähemmän se sisältää epäpuhtausmateriaaleja. Uusiokiviaines tulisi tuottaa mahdollisimman suuresta määrästä betonimursketta mikä sisältää hyvin rajoitetun määrän epäpuhtauksia. (Pacheco ym. 2023: 18–22.)

6.1.2 EEJ-betonimurskeen erot Mara-murskeeseen

Mara-murskeen ja EEJ-betonimurskeen erot näkyvät haitta-aineiden ja epäpuhtauksien sallituissa määrissä. Taulukossa 4 on vertailtu EEJ-betonimurskeen ja Mara-murskeen sallittuja haitta-ainepitoisuuksia. Vertailun kohteeksi on valittu Mara-murske, jonka maarakentamiskohde on kenttä, jossa kerrospaksuus on enintään 1,5 metriä ja joka on peitetty vähintään 10 cm paksuisella pilaantumattomalla luonnon maa- tai kiviaineksella. Tämä Mara-murskeen käyttökohde valittiin, koska siinä on tiukimmat haitta-aineiden raja-arvot verrattuna muihin Mara-murskeen käyttökohteisiin. (466/2022: Liite 3 taulukko 1; 843/2017: § 3, Liite 2 taulukko 1.)

Taulukko 4. Haitta-aineiden sallitut liukoisuudet ja pitoisuudet EEJ- betonimurskeelle ja Mara-murskeelle (466/2022: Liite 3 taulukko 1; 843/2017: Liite 2 taulukko 1).

Haitta-aine	EEJ-betonimurske		Mara-murske	
	Liukoisuus mg/kg	Kokonaispitoisuus mg/kg	Liukoisuus mg/kg	Kokonaispitoisuus mg/kg
Antimoni (Sb)	0,2		0,3	
Arseeni (As)	0,1		0,5	
Barium (Ba)	5		20	
Kadmium (Cd)	0,02		0,04	
Kromi (Cr)	0,6		0,5	
Kupari (Cu)	1		2	
Elohopea (Hg)	0,01		0,01	
Molybdeeni (Mo)	0,7		0,5	
Nikkeli (Ni)	0,3		0,4	
Lyijy (Pb)	0,1		0,5	
Seleen (Se)	0,2		0,4	
Vanadiini (V)	0,3		2	
Sinkki (Zn)	4		4	
Fluoridi (F ⁻)	12		10	
Kloridi (Cl ⁻)	200		800	
Sulfaatti (SO ₄ ²⁻)	300		1200	
Liennut orgaaninen hiili (DOC)	-		500	
PAH-yhdisteet		30		30
PCB-yhdisteet		1		1
Öljyhiilivedyt ≥ C10–C40		200		500
Bentseeni		-		0,02
TEX		-		25
Naftaleeni		-		5
Fenoliset-yhdisteet		-		5

Mara-murskeelta tutkitaan laajempi määrä haitta-aineita, kuin EEJ-betonimurskeelta. Mara-murskeelle ympäristökelpoisuus on tärkeää, koska murske on kosketuksissa maan kanssa, eikä siihen saa liueta haitallisia-aineita, jotka voisivat vaarantaa esimerkiksi pohja- ja pintaveden laadun (Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa soveltamisohje 2019: 8). Mara-murskeen haitta-aineiden sallitut määrät riippuvat sen maarakentamis-kohteesta (843/2017: Liite 2 taulukko 1). Siitä huolimatta Mara-murskeessa sallitaan suurempia määriä haitta-aineita kuin EEJ-betonimurskeessa. Edellä esitetyssä vertailussa ainoat poikkeamat olivat kromi, molybdeeni ja fluori, joiden kohdalla Mara-murskeen raja-arvot olivat tiukempia. Koska vertailun kohteena oli Mara-murskeen käyttökohde, jossa on tiukimmat raja-arvot, EEJ-betonimurskeella on tiukemmat tai yhtä suuret raja-arvot kaikkiin muihin Mara-murskeen käyttökohteisiin verrattuna. (466/2022: Liite 3 taulukko 1; 843/2017: Liite 2 taulukko 1.)

Taulukossa 5 on vertailtu EEJ-betonimurskeen ja Mara-murskeen sallittuja epäpuhtauksien määriä. EEJ-betonimurskeelle asetetaan tiukemmat puhtausvaatimukset kuin Mara-murskeelle, sillä epäpuhtaudet vaikuttavat uusiobetonin ominaisuuksiin. (466/2022: Liite 3 taulukko 2; 843/2017: Liite 2.)

Taulukko 5. Epäpuhtauksien sallitut enimmäismäärät EEJ-betonimurskeessa ja Mara-murskeessa (466/2022: Liite 3 taulukko 2; 843/2017: Liite 2).

Epäpuhtaus materiaali	Määrä	
	EEJ Betoni-murske	Mara-murske
Tiilien ja tiililaattojen, kalkkihiekkatiilien ja -harkkojen sekä muiden poltettujen tiilien sekä kellumattoman vaahtobetonin yhteenlaskettu määrä	10 paino-%	30 paino-%
Saven ja muun koheesiomaan ja maa-aineksen, sekalaisten metallien (metallit ja rautayhdisteitä sisältämättömät metallit), kellumattoman puun, muovin ja kumin sekä kipsilaastin yhteenlaskettu määrä	1 paino-%	1 paino-%
Kelluvat epäpuhtaudet	5 cm ³ /kg	10 cm ³ /kg

EEJ-betonimurskeen epäpuhtauksien tiukempien raja-arvojen takia sitä täytyy seuloa enemmän epäpuhtauksien poistamiseksi kuin Mara-mursketta. Lisäksi Mara-murskeelle riittää, että se murskataan kerran, jolloin sen raekoko on soveltuva sen käyttökohteisiin. EEJ-betonimurske on hyvä murskata ainakin kahden kertaan, jotta saavutetaan haluttu raekoko ja koostumus. (Pacheco ym. 2023: 19; Nieminen 2016: 80.)

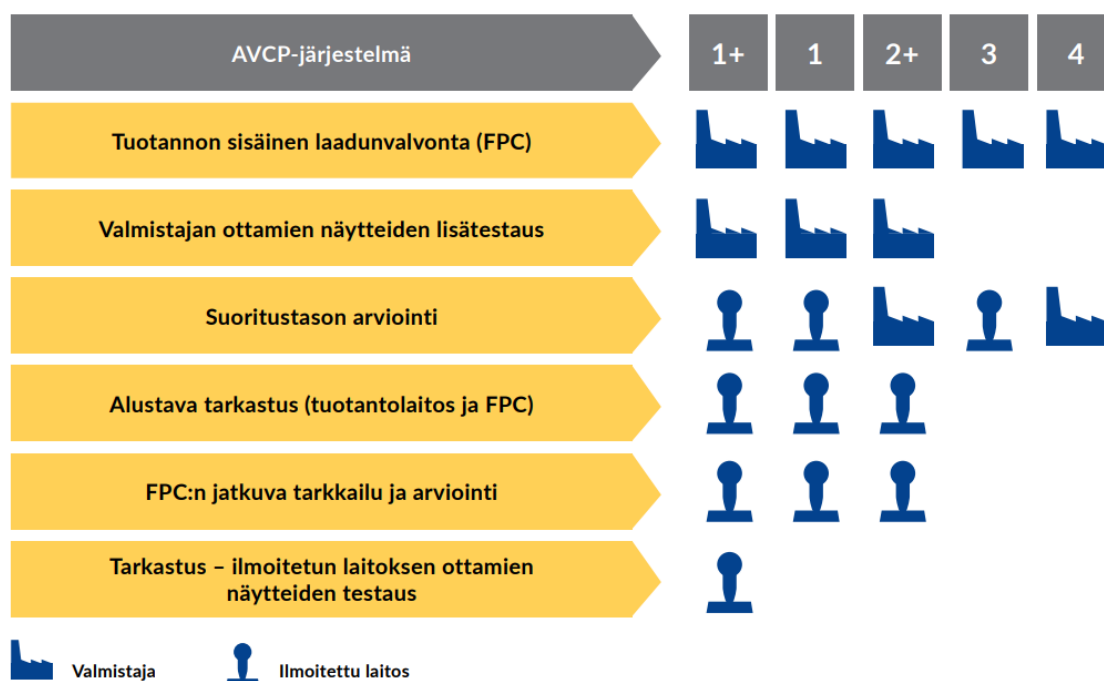
EEJ-betonimurskeen käyttö ei ole yhtä rajoitettua kuin Mara-murskeen. Mara-murskeen käyttö on rajoitettu maarakentamiskohteisiin, eikä sitä saa käyttää pohjavesialueilla, asumiseen tai lasten leikkipaikoilla luonnonsuojelualueilla, ravintokasvien viljelyalueilla eikä sisämaan tulvavaara-alueilla (843/2017: § 2). Purkubetonista valmistettua EEJ-betonimursketta voidaan hyödyntää talonrakentamisessa, maarakentamisessa sekä valmisbetonin ja betonituotteiden valmistuksessa kiviaineeksena. Käyttämättömästä betonista peräisin olevaa EEJ-betonimursketta voidaan lisäksi käyttää lannoitteena, kalkitusaineena, maanparannusaineena tai kasvualustana. EEJ-betonimursketta voidaan tietyin edellytyksin käyttää myös pohjavesialueilla. (466/2022: § 14; Oivanen 2022: 67.)

Lisäksi EEJ-betonimurskeen käyttöön ei liity vaatimuksia enimmäiskerrospak-suudesta, peittämisestä tai päällystämisestä, toisin kuin Mara-murskeella. Mara-murskeen käytössä peittämisen ensisijaisena tarkoituksena on estää jätteen le-viäminen esimerkiksi tuulen tai eroosion vaikutuksesta. Peittämisellä ja päällystämällä estetään myös altistuminen jätteelle suoran kosketuksen kautta. Peit-tämisessä voidaan käyttää esimerkiksi luonnon maa- tai kiviaineksesta tehtyä sitomatonta pintakerrosta. Päällystämisessä käytetään usein asfalttipäällystystä. (466/2022; 843/2017: § 4; Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyö-dyntämisestä maarakentamisessa soveltamisohje 2019: 7.)

6.1.3 Laadunvarmistus

Laadunvarmistusta suositellaan toteutettavaksi koko betonimurskejätteen uu-siokäyttöprosessin ajan, alkaen jo purkukartoituksesta. Kattavat tutkimukset, huolellinen lajitteleva purku ja purkutyön valvonta edesauttavat laadukkaan uu-siokiviaineksen tuotantoa. (Lehtonen 2019: 19.) Betonin-EEJ-asetuksessa on keskitytty antamaan vaatimuksia laadunvarmistukseen betonimurskejätteestä valmistettavan uusiokiviaineksen tuotantoa varten, kun betonimurskejäte on kul-jetettu uusiokiviaineksen tuotantolaitokseen (466/2022: § 4).

Betonijätteestä valmistettavalle uusiokiviainekselle edellytetään AVCP- järjestel-män luokkaa 2+ (466/2022: § 14). AVCP- järjestelmä on suoritustason pysyvyy-den arviointi- ja varmennusjärjestelmä. AVCP-järjestelmä kertoo ja ohjaa kuinka tarkasti tuotteen valmistuksen laadunvalvontaa tulee seurata. Eri AVCP-järjes-telmä tasot on esitetty kuvassa 2. AVCP 2+ järjestelmän kohdalla tuotteen val-mistajan täytyy huolehtia sisäisestä laadunvalvonnasta, näytteiden lisätestauk-sesta ja suoritustason arvioinnista. Näiden lisäksi erillinen suoritustason arvioin-tilaitos tekee ensin alustavan tarkastuksen tuotantolaitokselle sekä tuotannon sisäiselle laadunvalvonnalle. Alustavan tarkastuksen jälkeen laitos suorittaa jat-kuvaa tarkkailua ja arviointia tuotannon sisäiselle laadunvalvonnalle. (Raken-nustuotteiden CE-merkintä vaihe vaiheelta 2015: 7–8.)



Kuva 2. AVCP-järjestelmän eri luokat ja niiden eroavaisuudet. Kuvakkeilla ilmaistaan joko valmistajan tai ilmoitetun laitoksen vastuulla olevat toiminnot kussakin luokassa. (Rakennustuotteiden CE-merkintä vaihe vaiheelta 2015: 8.)

Uusiokiviaineksen tuotantoa varten luodaan laadunvarmistusjärjestelmä, jonka tarkoituksena on varmistaa uusiokiviaineksen laatu. Laadunvarmistuksesta vastaava henkilö suorittaa tarkastuksia ja auditointeja uusiokiviaineksen laadun takaamiseksi. Laadunvarmistus alkaa betonimurskejätteen vastaanotosta tai hylkäämisestä, ja näistä pidetään kirjanpitoa. Betonimurskejätteet tarkastetaan jäte-erittäin ennen niiden vastaanottoa esikäsittelyyn. Laadunvarmistusjärjestelmään laaditaan selkeät ohjeet vastaanottotarkastuksesta ja vastaanottokirjanpidosta. (466/2022: § 4, 7, 5; Valtioneuvoston asetus betonimurskeen jätteen luokittelun päättymisen arviointiperusteista soveltamisohje 2022: 4.)

Betonimurskeen valmistusprosessiin liittyvästä toiminnasta, kuten laitteiden käytöstä ja huollosta, laaditaan ohjeistus laadunvarmistusjärjestelmään. Myös näytteenotosta, niiden esikäsittelystä ja tutkimisesta laaditaan ohjeistus. Näytteenotto-ohjeissa tulee mainita tiedot näytteenottajasta, näytteenottoajankohdasta ja -paikasta. Lisäksi ohjeissa on oltava tiedot osa- ja kokoomanäytteiden määristä ja laadusta, mistä osanäytteistä kokoomanäytteet muodostuvat, näytteenotossa

havaituista epäpuhtauksista ja muista poikkeamista sekä käytettyjen näytteenotto-, mittaus- tai testausvälineiden käytöstä, kalibroinnista ja huollosta. Laadunvarmistusjärjestelmän vaatimustenmukaisuus tulee tarkastuttaa riippumattoman tahon toimesta, jolle on myönnetty Turvallisuus- ja kemikaaliviraston pätevyys toimia tehtävässä. (466/2022: § 13; Valtioneuvoston asetus betonimurskeen jätteen luokittelun päättymisen arviointiperusteista soveltamisohje 2022: 4.)

6.2 Rakennustuoteasetus

Betonin ”ei enää jätettä”-asetuksen (466/2022) lopputulemana betonimurskejätteestä tulee EEJ-betonimursketta. Jotta sitä voidaan markkinoida ja myydä uusiokiviaineena, tulee sen täyttää myös rakennustuoteasetuksen asettamat vaatimukset ja harmonisoidun tuotestandardin soveltamisalan mukaiset ominaisuudet (EU2024/3110: 17–26).

Rakennustuoteasetus varmistaa, että rakennustuotteet täyttävät maankäyttö- ja rakennuslaissa tai sen nojalla säädetyt olennaiset tekniset vaatimukset. Näihin vaatimuksiin kuuluvat: (Rakennustuotteet.)

- rakenteiden lujuus ja vakaus
- paloturvallisuus
- terveellisyys
- käyttöturvallisuus
- esteettömyys
- meluntorjunta ja ääniolosuhteet
- energiatehokkuus

Rakennustuotteet ovat rakennukseen kiinteäksi osaksi tulevia tuotteita, kuten betonielementtejä ja ikkunoita. Rakennustuotesetoksen piiriin kuuluvat rakennustuotteet, joilla on harmonisoitu tuotestandardi, ja asetuksella pyritään rakennustuotteiden vertailukelpoisuuteen sekä myynnin edistämiseen. (Rakennustuotteet; CE-merkintä.)

EEJ-betonimurskeen tuotteeksi saattamisessa sovelletaan standardia SFS-EN 12620 + A1, mikä on betonikiviainesstandardi. SFS-EN 12620+A1 toimii harmonisoiduna tuotestandardina kaikille kiviainestuotteilla, joita hyödynnetään betonin valmistuksessa. Standardi määrittelee tuotteen ominaisuudet ja testausmenetelmät, jotta ne ovat yhdenmukaiset kaikkien vastaavien tuotteiden kanssa. Näin varmistetaan, että tuotteet täyttävät rakennustuoteasetuksen vaatimukset ja voivat saada CE-merkinnän. Betonikiviaines standardissa määritellään ominaisuudet ja vaatimukset, jotka betonikiviaineksen tulee täyttää, ja tätä standardia sovelletaan uusiokiviainekseen. (SFS-EN 12620+A1 2008: 39–48; CE-merkintä.)

Kun kiviaines täyttää sille määritetyt vaatimukset ja sen vaatimustenmukaisuus on osoitettu, se voidaan merkitä CE-merkillä. CE-merkintä osoittaa, että tuote on testattu harmonisoidun tuotestandardin mukaisesti ja täyttää ilmoitetut suoritustasot. Jokaisella tuotteella, jolla on harmonisoitu tuotestandardi ja joka halutaan asettaa markkinoille, tulee olla CE-merkintä. (CE-merkintä.)

Edelliselle rakennustuoteasetukselle on tehty korvaava säädös EU 2024/3110, joka astui voimaan tammikuussa 2025. Uusi asetus sisältää kuitenkin useita siirtymäaikoja. Asetuksessa keskeisinä kohtina ovat muun muassa rakennustuotteiden ympäristö- ja turvallisuussuorituskyvyn ilmaiseminen, uusia ympäristövelvoitteita ja kestävyysvaatimuksia sekä digitaalisen tuotepassin käyttöön-otto. Asetus korostaa ympäristövaikutuksia ja kestävyysnäkökohtia, kuten elinkaaren arviointia ja kierrätettävyyttä. (EU2024/3110: 64–84.)

Uuden asetuksen (EU2024/3110) liitteessä 1 määritellään rakennuskohteen perusvaatimuksia, joita tulisi käyttää tuotteiden perusominaisuuksien yksilöinnin ja standardointipyyntöjen pohjana. Näihin vaatimuksiin kuuluu luonnonvarjojen kestävä käyttö rakennuskohteessa. Tämä tarkoittaa, että rakennuskohde ja sen osat on suunniteltava, rakennettava, purettava, käytettävä ja huollettava siten, että luonnonvarjojen käyttö on kestävää koko elinkaaren ajan. Tämä sisältää raaka-aineiden ja uusiomateriaalien resurssitehokkaan käytön, raaka-aineiden kokonaismäärän minimoimisen, energian ja vedenkäytön vähentämisen, jätteen

määrän minimoimisen sekä rakennuskohteen ja sen materiaalien uudelleenkäytön ja kierrätettävyyden maksimoimisen. Lisäksi purkamisen helpottaminen tulee huomioida. (EU2024/3110: 78–80.)

7 Uusiokiviaines

Uusiokiviaines sisältää osa-aineita, jotka koostuvat epäpuhtauksista, betonituotteista ja kiviaineksista. Osa-aineisiin jaottelu auttaa määrittämään, mitä materiaaleja uusiokiviaines sisältää ja kuinka paljon kutakin materiaalia on. Tällä hetkellä voidaan valmistaa A- tai B-tyypin uusiokiviainesta. Tyypin A uusiokiviainesta on laadultaan puhtaampaa eli sen joukossa on vähemmän epäpuhtauksia kuin tyypin B uusiokiviaineksessa. Tyypin A ja B uusiokiviainesten osa-aineet ja niiden määrät on esitetty taulukossa 6. Määrät on ilmoitettu massaprosentteina. (SFS-EN 206:2014+A2:2021: 75; SFS-EN 12620+A1 2008: 18–19.)

Taulukko 6. Uusiokiviainesten tyyppien A ja B osa-aineiden määrät ja määritelmät (SFS-EN 206:2014+A2:2021: 75; SFS-EN 12620+A1 2008: 18–19).

Tyyppi A	Tyyppi B	Osa-aineet:
Rc 90 M-% Rcu 95 M-% Rb ≤ 10 M-% Ra ≤ 1 M-% FL ≤ 2 M-% XRg ≤ 1 M-%	Rc 50 M-% Rcu 70 M-% Rb ≤ 30 M-% Ra ≤ 5 M-% FL ≤ 2 M-% XRg ≤ 2 M-%	Rc: Betoni, betonituotteet, laasti, betoniharkot
		Ru: Sitomaton kiviaines, luonnonkivi, hydraulisesti sidottu kiviaines
		Rb: Poltetut tiilet, kalkkiahiekkatiilet ja -harkot, kellumaton vaahabetoni
		Ra: Bitumiset materiaalit
		FL: Kelluvan materiaalin tilavuus
		X: Muut; Koheesiomaa, metallit, kellumaton puu, muovi ja kumi, kipsilaasti
		Rg: Lasi

Vertailemalla taulukon 5 ja 6 arvoja voidaan todeta, että A-tyypin uusiokiviaines vastaa EEJ-betonimurskeen epäpuhtauksien raja-arvoja. Tyypin B uusiokiviaines vastaa Mara-murskeen epäpuhtauksien raja-arvoja ja sallii jopa hieman enemmän epäpuhtauksia kuin Mara-murskeelle sallitaan. EEJ-asetus on ristiriidassa Betonistandardin EN 206 kanssa. EEJ-asetuksessa kerrotaan, että käytetystä betonista peräisin olevaa betonijätettä saa hyödyntää uusiobetonin

valmistuksessa, jos se täyttää muun muassa taulukossa 5 esitetyt epäpuhtauksien raja-arvot. Betonistandardissa EN 206 kuitenkin mahdollistetaan myös uusiokiviaines tyyppin B käyttämistä uusiobetonin valmistuksessa, jolle sallitaan jopa Mara-mursketta enemmän epäpuhtauksia. (SFS-EN 206:2014+A2:2021: 75; 466/2022: § 14.)

7.1 Ominaisuudet

Uusiokiviaineksen täytyy täyttää samat vaatimukset betonin valmistusta varten kuin luonnonkiviaineksen, jotta sitä voidaan hyödyntää uusioraaka-aineena uusiobetonissa. Vaatimukset liittyvät seuraaviin kiviaineksen ominaisuuksiin: (SFS-EN 12620+A1 2008: 40.)

- raemuotoon, raekokoon ja kiintotiheyteen
- puhtauteen
- iskunkestävyyteen
- kulutuskestävyyteen
- koostumukseen
- tilavuuden pysyvyyteen
- vedenimeytymiseen
- vaarallisiin aineisiin
- jäädytys-sulatuskestävyyteen
- alkali-piiyhdistereaktiivisuuteen.

Näiden vaatimusten lisäksi uusiokiviaineksen tulee ilmoittaa ja täyttää vaatimukset sen sisältämille osa-aineille, vesiliukoisten sulfaattien pitoisuudelle ja betonin sitoutumisajan alkamisen vaikutukselle (SFS-EN 12620+A1 2008: 40). Osa-aineet ilmoitetaan massaprosentteina ja niitä vastaavissa luokissa. Esimerkiksi jos bitumisia materiaaleja on uusiokiviaineksen joukossa ≤ 5 M-%, sen luokka ilmoitetaan seuraavasti Ra₅-. Näin ilmoitetaan uusiokiviaineksen jokaisen osa-aineen pitoisuus. (SFS-EN 12620+A1 2008: 18–19.)

Vesiliukoisten sulfaattien pitoisuus on tärkeä tieto uusiokiviaineksessa. Esimerkiksi kipsi, joka on yleisesti käytetty rakennusmateriaali, sisältää sulfaatteja. Kipsi reagoi sementin kalsiumaluminaattihydraattien kanssa muodostaen ettringiyyhdisteitä. Ettringiitti on sementti jauheen ja veden hydrataatiotuote, jota esiintyy hallitusti sementissä. Ettringiitin muodostuminen lisää sementtipastan tilavuutta. Kovettuneessa betonissa ettringiittireaktio aiheuttaa painetta betoniin, mikä voi johtaa sen halkeiluun ja rapautumiseen. Sulfaattien lisäksi ettringiittireaktion syntymiseen tarvitaan korkea lämpötila ja pitkäaikainen kosteusrasitus betonissa. (Pacheco ym. 2023: 18; Haara ym. 2018: 133–134.) Sulfaattien määrä ilmoitetaan massaprosentteina ja sitä vastaavassa luokassa. Esimerkiksi kun vesiliukoisten sulfaattien määrä on $\leq 0,2$ M-%, kuvastaa se luokkaa SS_{0,2}. (SFS-EN 12620+A1 2008: 20.)

Uusiokiviaineksessa voi esiintyä vesiliukoisia aineita, jotka voivat vaikuttaa sementtipastan sitoutumisajan alkamiseen. Sitoutumisajan alku tarkoittaa aikaväli vedenlisäyksestä siihen, kunnes sementtipasta saavuttaa tietyn jäykkyyden. Tämän jäykkyyden saavuttamisen jälkeen sitoutuminen kiihtyy ja jäykkyys kasvaa, kunnes materiaali muuttuu kiinteäksi. Eri lujuusluokan sementeille on määriteltä vähimmäisajat sitoutumisajan alulle, ja vesiliukoiset aineet voivat muuttaa tätä aikaa merkittävästi. Ajalliset muutokset täytyy olla tiedossa, jotta tiedetään, kuinka kauan massaa voidaan työstää sekä milloin sen kovettuminen ja lujuuden kehitys alkaa. (Haara ym. 2018: 35–37.) Sitoutumisajan alkamisen muutos ilmoitetaan minuuteissa ja sitä vastaavassa luokassa. Esimerkiksi, jos aika muuttuu ≤ 10 minuutilla, vastaa se luokkaa A₁₀. (SFS-EN 12620+A1 2008: 21.)

Standardi EN 206 esittää suosituksia betonissa käytettäville karkeiden uusiokiviainesten ominaisuuksille. Nämä suositukset on esitetty taulukossa 8. Taulukon 8 ulkopuolelle jääville ominaisuuksille voidaan käyttää luokkaa NR, kunhan kyseiselle ominaisuudelle voidaan ilmoittaa luokka betonikiviainesstandardin mukaisesti. Luokka NR tarkoittaa, että ominaisuudelle ei ole vaatimuksia. (SFS-EN 206:2014+A2:2021: 75.)

Taulukko 7. Betonistandardin esittämät suositukset betonikiviainesstandardin mukaisille karkeiden uusiokiviainesten ominaisuuksille (SFS-EN 206:2014+A2:2021: 75).

Ominaisuus	Uusiokiviaines tyyppi	Standardin EN 12620 mukai- nen luokka
Hienoainespitoisuus	A ja B	Luokka tai arvo ilmoitettava
Litteysluku	A ja B	$\leq FI_{50}$ tai $\leq SI_{55}$
Iskunkestävyys	A ja B	$\leq LA_{50}$ tai $\leq SZ_{32}$
Kiintotiheys uunikuivat- tuna	A	$\rho_{rd} \geq 2100 \text{ kg/m}^3$
	B	$\rho_{rd} \geq 1700 \text{ kg/m}^3$
Vedenimukyky	A ja B	Arvo on ilmoitettava
Osa-aineet	A	R_{c90} , R_{cu95} , R_{b10-} , R_{a1-} , FL_{2-} , XR_{g1-}
	B	R_{c50} , R_{cu70} , R_{b30-} , R_{a5-} , FL_{2-} , XR_{g2-}
Vesiliukoisten sulfaat- tien pitoisuus	A ja B	$\leq SS_{0,2}$
Vesiliukoisten kloridi-io- nien pitoisuus	A ja B	Arvo on ilmoitettava
Vaikutus sitoutumisajan alkuun	A ja B	$\leq A_{40}$

Uusiokiviaineksen ominaisuudet poikkeavat luonnonkiviaineksen ominaisuuksista erityisesti vedenimukyvyssä, tiheydessä ja rakeiden koostumuksessa. Suurempi vedenimukyky vaikuttaa betonimassan työstettävyyteen ja sen vesimenttisuhteeseen, mikä voi heikentää betonin laatua ja kestävyyttä. Uusiokiviaines sisältää esimerkiksi tiiltä ja vanhaa kovettunutta sementtipastaa, jotka lisäävät sen huokoisuutta ja vedenimeytymistä. (Nieminen 2016: 82.)

Suomalaisen luonnonkiviaineksen tiheys on yleisesti 2650–3000 kg/m³. Taulukossa 8 mainittu suositus uusiokiviaineksen tiheydestä on vähintään 1700 tai 2100 kg/m³ riippuen sen tyypistä. (Haara ym. 2018: 50; SFS-EN 206:2014+A2:2021: 75.) Uusiokiviaines ei ole yhtä tiheää, kuin

luonnonkiviaines, mikä heikentää sen kestävyyttä. Suuri vedenimukyky altistaa betonin myös ulkoisille haittatekijöille, kuten klorideille, jotka voivat kulkeutua betoniin imeytyvän veden mukana. Lisäksi uusiokiviaineksen rakeet, jotka ovat esimerkiksi lasia tai metallia, ovat usein pitkulaisia ja hilseileviä. Nämä muoto-ominaisuudet heikentävät betonin työstettävyyttä ja lisäävät sen vedentarvetta. (Pacheco ym. 2023: 18–26.)

Myös haastatteluista saatujen tietojen mukaan uusiokiviaineksen raemuoto, huokoisuus ja erityisesti hienoaineksen määrä lisäävät vedenimukykyä ja vedentarvetta (Haastattelu 1 Alankomaat, 8 Saksa). Uusiokiviaineksen hienoaines koostuu muun muassa savesta, muusta koheesiomaasta ja muiden epäpuhtauksien pieniksi murskaantuneista rakeista. Tällainen hienoaines luokitellaan huonolaatuiseksi ja se lisää betonimassan vedentarvetta, varsinkin jos niitä on runsaasti uusiokiviaineksessa. (Pacheco ym. 2023: 21; Johansson 2023: 24; Haara ym. 2018: 49–50.) Haastateltavat suosittelivat hienoaineksen poistamista ja kiinnittämään erityistä huomiota uusiokiviaineksen imeytyvän veden määrään ja betonimassan vedentarpeeseen (Haastattelu 1 Alankomaat, 8 Saksa).

7.2 Vertailu Euroopan maiden välillä

Muutkin Euroopan maat käyttävät samankaltaisia tyyppisiä uusiokiviaineksille, mutta niissä ilmenee pieniä eroja. Taulukossa 9 on vertailtu Euroopan standardin EN 206, Saksan standardin BREZ 2010:09, Belgian standardin NBN 15-001 ja Sveitsin tulevan uuden standardin osa-aineiden arvoja. Eriäväisyydet on lihavoitu. (SFS-EN 206:2014+A2:2021: 75; Haastattelu 8 Saksa, 12 Belgia, 15 Sveitsi.)

Taulukko 8. Vertailu Euroopan standardin EN 206, Saksan standardin BREZ 2010:09, Belgian standardin NBN 15-001 ja Sveitsin standardin sallimien epäpuhtauksien määristä tyyppin A ja B uusiokiviaineksille (SFS-EN 206:2014+A2:2021: 75; Haastattelu 8 Saksa, 12 Belgia, 15 Sveitsi).

	Tyyppi A	Tyyppi B
EN 206	Rc 90 M-% Rcu 95 M-% Rb ≤ 10 M-% Ra ≤ 1 M-% FL ≤ 2 M-% XRg ≤ 1 M-%	Rc 50 M-% Rcu 70 M-% Rb ≤ 30 M-% Ra ≤ 5 M-% FL ≤ 2 M-% XRg ≤ 2 M-%
	Tyyppi 1	Tyyppi 2
BREZ 2010:09	Rcu ≥ 90 M-% Rb ≤ 10 M-% Ra ≤ 1 M-% FL ≤ 2 M-% XRg ≤ 1 M-%	Rcu ≥ 70 M-% Rb ≤ 30 M-% Ra ≤ 1 M-% FL ≤ 2 M-% XRg ≤ 2 M-%
	Tyyppi A+	Tyyppi B+
NBN 15-001	Rc ≥ 90 M-% Rcu ≥ 95 M-% Rb NR* Ra ≤ 1 M-% FL ≤ 2 M-% XRg ≤ 0.5 M-%	Rc ≥ 50 M-% Rcu ≥ 70 M-% Rb ≤ 30 M-% Ra ≤ 5 M-% FL ≤ 2 M-% XRg ≤ 2 M-%
	Kierrätetty betoniki- viaines	Kierrätetty sekoittunut kiviaines
Sveitsi	Rc 50 M-% Rcu 90 M-% Rb 10 M-% Ra ≤ 1 M-% FL ≤ 2 M-% XRg ≤ 0,5 M-%	Rcu 50 M-% Rb ≤ 50 M-% Ra ≤ 1 M-% FL ≤ 2 M-% XRg ≤ 0,5 M-%

Euroopan ja Saksan standardien välillä ei ole suuria eroja. Saksassa tyypin 2 uusiokiviainekselle sallitaan vähemmän bitumia ja tyypin 1 uusiokiviaineksessa betonia sekä sitomatonta kiviainesta voi olla hieman vähemmän, kuin Eurooppalaisen standardin uusiokiviaineksilla. Belgian standardissa silmiinpistävin eroavaisuus on A+-tyypin uusiokiviainekselle, jolle ei ole asetettu vaatimusta tiilen ja vastaavien tuotteiden esiintymiselle. Sekä Sveitsin että Belgian standardeissa puhtaammalle kiviainekselle sallitaan lasia ja muita aineita, kuten muovia, enintään 0,5 M-%. (SFS-EN 206:2014+A2:2021: 75; Haastattelu 8 Saksa, 12 Belgia, 15 Sveitsi.)

Sveitsin standardi poikkeaa eniten Eurooppalaisesta standardista. Puhtaampi kiviaines voi sisältää vähemmän betonia ja sitomatonta kiviainesta, ja lasia sekä muita aineita sallitaan vähemmän. Epäpuhtaamman kiviaineksen osalta erot näkyvät myös lasin ja muiden aineiden kohdalla, mutta myös tiiltä sallitaan paljon enemmän kiviaineksen sekaan verrattuna Euroopan standardin B-tyypin uusiokiviainekseen. (SFS-EN 206:2014+A2:2021: 75; Haastattelu 15 Sveitsi.)

Uusiokiviaineksen ominaisuuksien tarkastelussa noudatetaan pitkälti Eurooppalaisen standardin EN 206 suosituksia. Belgian ja Sveitsin standardeissa on kuitenkin tiukennettu joitakin vaatimuksia uusiokiviainekselle verrattuna Eurooppalaiseen standardiin. Belgian standardin eroavaisuudet keskittyvät A+-tyypin uusiokiviainekseen, kun taas B+-tyypin uusiokiviaineksessa ei ole eroavaisuuksia Eurooppalaisen standardin B-tyypin uusiokiviainekseen. (SFS-EN 206:2014+A2:2021: 75; Haastattelu 12 Belgia, 15 Sveitsi.)

Belgian standardissa puhtaammalle uusiokiviainestyyppille eli tyypille A+ vaaditaan Los Angeles -luku 35 ja litteysluku Fl_{20} , kun Eurooppalaisessa standardissa A-tyypin uusiokiviainekselle suositellaan Los Angeles-luvun ja litteysluvun olevan ≤ 50 . Los Angeles-luvulla kuvataan betonin iskunkestävyyttä, ja siinä oleva numero ilmaisee karkeiden rakeiden hienoutumisessa syntyvän hienoaineksen prosentuaalista määrää. Litteysluvulla taas esitetään kiviaineksen raemuotoa. Mitä pienempi litteysluku on, sitä pyöreämpää kiviaines on, mikä on

soveltuvampaa betonin käyttöön kuin litteä ja puikkomainen kiviaines. (SFS-EN 206:2014+A2:2021: 75; Haastattelu 12 Belgia.)

Belgian standardin A+-tyypin uusiokiviaines vaaditaan olevan myös hieman tiheämpää kuin Eurooppalaisessa standardissa suositellaan. Eurooppalaisessa standardissa A-tyypin uusiokiviainekselle tiheydeksi suositellaan arvoa $\geq 2100 \text{ kg/m}^3$, kun Belgian standardissa tiheys on $2\,200 \text{ kg/m}^3$. Eurooppalaisessa standardissa ei ole suosituksia karkean uusiokiviaineen hienoainespitoisuudesta, mutta arvo on kuitenkin ilmoitettava. Belgian ja Sveitsin standardeissa hienoaineksen pitoisuudelle on annettu arvo $f_{1,5}$, mikä tarkoittaa, että 1,5 M-% uusiokiviaineksesta on läpäissyt 0,063 mm seulan. (SFS-EN 206:2014+A2:2021: 75; Haastattelu 12 Belgia, 15 Sveitsi.)

Sveitsin standardi eroaa Euroopan ja Belgian standardeista siten, että siinä vaaditaan betonin sitoutumisajan alkamiseen 10 minuutin muutosta, joka vastaa luokkaa A_{10} . Euroopan ja Belgian standardissa arvo on $\leq A_{40}$ eli vaikutus sitoutumisajan alkuun voi olla 40 minuuttia. (SFS-EN 206:2014+A2:2021: 75; Haastattelu 12 Belgia, 15 Sveitsi.)

8 Uusiobetoni

Uusiobetonin tuotannossa uusiokiviaineksen laatu ja korvausaste eli kuinka suurella prosenttiosuudella luonnollista kiviainesta on korvattu uusiokiviaineksellä, ovat tärkeässä roolissa. Huonolaatuinen uusiokiviaines voi vaikuttaa haitallisesti uusiobetonin ominaisuuksiin, mikä on hallittavissa hyvälaatuisen ja tasalaatuisen uusiokiviaineksen käytöllä. Laadukas uusiokiviaines voi jopa parantaa uusiobetonin ominaisuuksia. Lisäksi uusiokiviaineksen korvausaste vaikuttaa moniin uusiobetonin ominaisuuksiin, kuten puristus- ja vetolujuuteen sekä rasitusluokan valintaan ja tarvittavan sementin määrään. Uusiokiviaineksen osittainen korvaaminen on sekä teknisestä näkökulmasta että ympäristö- ja talousnäkökulmasta kannattavampaa. (Pacheco ym. 2023: 26–28.)

8.1 Rasitusluokat

Tyypin A uusiokiviaineella voi korvata suuremman prosenttiosuuden luonnonkiviainesta uusiobetonin valmistuksessa kuin tyypin B uusiokiviaineella epäpuhtausmäärien takia. Korvattava prosenttiosuus riippuu myös mihin rasitusluokkaan uusiobetonialuetta halutaan valmistaa. Rasitusluokat auttavat määrittämään milloin rasituksiin ja olosuhteisiin betoni valmistetaan. Taulukossa 10 on selvennetty kuinka suurella prosenttiosuudella kierrätyskiviainestyyppit voivat korvata luonnonkiviainesta riippuen rasitusluokasta. (SFS-EN 206:2014+A2:2021: 75.)

Taulukko 9. Uusiokiviaineksen korvausprosentti riippuen uusiobetonin rasitusluokasta (SFS-EN 206:2014+A2:2021: 75).

Uusiokiviainestyyppi	Rasitusluokat			
	X0	XC1, XC2	XC3, XC4, XF1, XA1, XD1	Kaikki muut rasitusluokat
Tyyppi A: Rc ₉₀ , Rcu ₉₅ , Rb ₁₀₋ , Ra ₁₋ , FL ₂₋ , XRg ₁₋	50 %	30 %	30 %	0 %
Tyyppi B: Rc ₅₀ , Rcu ₇₀ , Rb ₃₀₋ , Ra ₅₋ , FL ₂₋ , XRg ₂₋	50 %	20 %	0 %	0 %

Rasitusluokka X0 tarkoittaa, että betonille ei ole korroosion tai syöpymisrasituksen riskiä. XC-rasitusluokat viittaavat siihen, että betoni altistuu ilmalle ja kosteudelle, mitkä voivat aiheuttaa karbonatisoitumisesta johtuvaa korroosiota. XF-rasitusluokka tarkoittaa, että betoniin kohdistuu kosteuden lisäksi merkittävästi jäädytys-sulatusrasituksille. XA-rasitusluokka viittaa siihen, että betoni altistuu maaperän ja pohjaveden aiheuttamille kemiallisille rasituksille. XD-rasitusluokka tarkoittaa, että betoni on kosketuksissa veden kanssa, joka sisältää muualta kuin merivedestä peräisin olevia klorideja. (Haara ym. 2018: 137-139; SFS-EN 206:2014+A2:2021: 22–23.)

Rasitusluokkien numerot ilmaisevat rasituksen voimakkuuden asteen. Pienempi numero tarkoittaa vähäisempää rasitusta ja rasituksen voimakkuus kasvaa numeron kasvaessa. (Haara ym. 2018: 137-139; SFS-EN 206:2014+A2:2021: 22–23.) Taulukossa 10 esitetyt rasitusluokat on esitetty tarkemmin taulukossa 11.

Taulukko 10. Uusiobetonille soveltuvimpien rasitusluokkien määritelmät, käyttökohteet ja niistä esimerkit (Haara ym. 2018: 137-139; SFS-EN 206:2014+A2:2021: 22–23; Timonen-Nissi 2019: 6).

Rasitusluokka	Olosuhteiden kuvaus	Käyttökohteet	Esimerkit
X0	Ei korroosion tai syöpymisrasituksen riskiä	Kuivat sisätilat.	Kevyet väliseinät
Karbonatisoitumisen aiheuttama korroosio rasitus			
XC1	Kuiva tai jatkuvasti märkä	Sisätilat, joissa ilmankosteus on alhainen tai betoni on pysyvästi veden alla.	Väliseinät, siltojen vedenalaiset rakenteet
XC2	Kostea ja harvoin kuiva	Betoni on pitkään kosketuksessa veden kanssa, mutta voi toisinaan kuivua.	Perustukset
XC3	Kohtalaisen kostea	Sisätilat, joissa ilmankosteus on kohtalainen tai suuri sekä ulkotilat, joissa betoni on suojattu sateelta.	Uimahallien sisäseinät, julkisivut
XC4	Jaksollinen kastuminen ja kuivuminen	Sateelle alttiit betonit.	Parvekelaatat
Jäädytys-sulatusrasitus			
XF1	Kohtalainen kastuminen ilman jäänsulatusaineita	Sateelle ja jäätymiselle alttiit betonit.	Julkisivut ja sokkelit
Kemiallinen rasitus			
XA1	Kemiallisesti heikosti aggressiivinen ympäristö	Betoniin kohdistuu maaperästä ja pohjavedestä aiheutuva kemiallinen rasitus.	Maatalousrakenteet
Muualta kuin merivedestä peräisin olevien kloridien aiheuttama korroosio rasitus			
XD1	Kohtalaisen kostea	Sisäilman sisältämille klorideille alttiina.	Uimahallien sisätilat

Haastateltavat ilmaisivat, että uusiobetoni soveltuu hyvin vähemmän rasitettuihin rasitusluokkiin, joita hyödynnetään laajasti rakentamisessa. Haastavammissa rasitusluokissa normaalikin betoni joutuu suuren rasituksen alaiseksi, minkä vuoksi ei olla nähty tarpeelliseksi valmistaa uusiobetonia haastavampiin rasitusluokkiin. Haastattelujen perusteella erityisesti rasitusluokat, joissa betoni altistuu pakkasrasitukselle, eivät sovellu hyvin uusiobetonin käyttökohteiksi. (Haastattelu 1 Alankomaat, 4 Saksa, 8 Saksa, 9 Belgia, 12 Belgia, 15 Sveitsi.) Rasitusluokista XS on ainoa, jossa uusiobetonin käyttöä ei sallita edes sen vähäisimmässä rasitusasteessa. XS-rasitusluokka tarkoittaa, että betoni on alttiina meriveden sisältämille klorideille. (SFS-EN 206:2014+A2:2021: 22.)

8.2 Lujuusluokka

Valmistettaessa C30/37 lujuusluokkaa korkeampaa uusiobetonia, B-typin uusiokiviainesta ei saa käyttää eikä A-typinkään käyttämistä suositella (SFS-EN 206:2014+A2:2021: 75; Pacheco ym. 2023: 27). Lujuusluokka ilmaisee, kuinka paljon betoni kestää puristusvoimaa, ja on betonin tärkein rakennetekninen ominaisuus. Lujuusluokat ilmaistaan kirjaimella C ja kahdella numerolla. Ensimmäinen numero ilmaisee betonin lieriölujuuden ja toinen numero kuutiolujuuden. Esimerkiksi lujuusluokassa C30/37, kyseisen lujuusluokan betoni kestää lieriön muotoisena 30 MPa puristusvoiman ja kuution muotoisena 37 MPa puristusvoiman. (Haara ym. 2018: 85.)

Uusiobetonin suositellaan valmistettavaksi matalaan ja kohtalaiseen lujuusluokkaan eli alle C35/45 lujuusluokkaan. Suositus on rajattu tähän, koska kohtalaisen laadun omaavasta uusiokiviaineksesta valmistettu uusiobetoni voi saavuttaa kohtalaisen puristuslujuuden eli enintään 35 MPa. Korkeampi lujuusluokka kohdistaa kiviainekseen enemmän rasitusta, mitä uusiokiviaines ei välttämättä kestä. (Pacheco ym. 2023: 27.)

Mitä enemmän uusiokiviaineksella korvataan luonnonkiviainesta, sitä enemmän on lisättävä sementtiä halutun lujuuden ja elastisuuden saavuttamiseksi. Pienillä korvausprosentteilla sementin määrää ei välttämättä tarvitse lisätä ollenkaan.

Tähänkin vaikuttaa uusiokiviaineksen laatu. Sementin lisäys ei kuitenkaan ole lineaarista, vaan merkittävästi suurempi sementin lisäys tarvitaan, kun korvausaste ylittää 30 %. Tällöin uusiobetonin tuotannosta syntyy enemmän hiilidioksidipäästöjä kuin luonnollisella kiviaineksella. Korvausasteen pysyessä 30 % tai alle, sementin lisäys on 0–2 % verrattuna täysin luonnollisella kiviaineksella tehtyyn betoniin. (Pacheco ym. 2023: 28; Nieminen 2015: 51–63.)

Uusiobetonin lujuutta ja työstettävyyttä voidaan parantaa ilman sementtimäärän lisäämistä, esimerkiksi lisääaineilla, kuten notkistimilla ja kaksivaiheisella sekoitusmenetelmällä. Tässä menetelmässä betonimassan tarvittava vesimäärä lisätään kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa lisättävä vesi reagoi uusiokiviaineksen vanhan sementtipastan kanssa, muodostaen sementtilietekerros kiviaineksen ja vanhan sementtipastan ympärille. Sementtilietekerros täyttää huokosia ja halkeamia. Toisessa vaiheessa seokseen lisätään uusi sementti ja loput tarvittavasta vesimäärästä, mikä luo vahvan liitoksen uuden sementin, vanhan sementin ja kiviaineksen välille. Tämä menetelmä parantaa uusiokiviaineksen ja sementin liitoksen lujuutta, mikä johtaa myös uusiobetonin lujuuden kasvuun. (Nieminen 2016: 82.)

Uusiobetonin lujuus riippuu merkittävästi uusiokiviaineksen laadusta. Aiheesta on tehty monenlaisia tutkimuksia, yrittäen selvittää mikä korvausaste on uusiobetonille optimaalisin. Useissa tutkimuksissa on todettu, että 15–30 % korvausosuus ei muuta uusiobetonin ominaisuuksia merkittävästi. Korvausosuus voi olla suurempikin ilman merkittäviä muutoksia, mutta tämä riippuu täysin uusiokiviaineksen laadusta. (McNeil & Kang 2013: 62–65; Pacheco ym. 2023: 28.) Korvausasteeseen vaikuttaa myös, mitä raekokoa on käytetty luonnonkiviaineksen korvaamiseen, sillä karkeampi ja suurempi uusiokiviaines ei muuta uusiobetonin ominaisuuksia samalla tavalla kuin hienompi uusiokiviaines. Suurempaa kiviainesta voidaan korvata suuremmalla prosenttiosuudella kuin hienompaa. (Nieminen 2015: 68.)

8.3 Käyttökohteet ja kokemukset

Haastattelujen perusteella uusiobetonin valmistuksessa käytetään usein mieluummin A-typin uusiokiviainesta sen pienemmän epäpuhtausmäärän takia. B-typin uusiokiviainesta käytetään ennemmin tierakentamisessa. (Haastattelu 1 Alankomaat, 4 Saksa, 8 Saksa, 9 Belgia, 11 Belgia, 12 Belgia.) Haastateltavilta kysyttiin, missä he käyttävät uusiobetonia ja millaisia kokemuksia sen käytöstä on ilmennyt.

8.3.1 Belgia

Belgiassa uusiokiviainesta käytetään pääasiassa teiden rakentamisessa ja niiden tasoittavissa maakerroksissa, mikä on maarakentamista. Tiukemmat vaatimukset uusiokiviaineksen ominaisuuksille hankaloittavat sen hyödyntämistä. Haastattelusta saadun tiedon perusteella Belgiassa olisi mahdollisuus tuottaa kaksi miljoonaa tonnia hyvälaatuista uusiokiviainesta, mutta vuonna 2024 tuotettiin vain noin 50 000 tonnia. Ongelmat johtuvat epäpuhtauksien määrästä uusiokiviaineksessa. Tämä johtaa siihen, että uusiokiviaines on sekalaatuista, jolloin se ei täytä standardin vaatimuksia ja kelpaa vain alemman suoritustason käyttökohteisiin, kuten teiden alapuolisiin rakenteisiin. Uusiokiviainesta hyödynnetään uusiobetonin valmistuksessa vähemmän, mutta korkealaatuinen uusiokiviaines pyritään käyttämään uusiobetonin valmistukseen. (Haastattelu 9 Belgia, 11 Belgia, 12 Belgia.)

Puhtaan Belgian standardin A+-luokan uusiokiviaineksen valmistaminen on haastavaa ja sitä saadaan melkein pä ainoastaan täysin betonista valmistetuista rakenteista. Standardin B+- tyyppin uusiokiviainesta ei käytetä Belgiassa lainkaan uusiobetonin valmistukseen. Uusiokiviainesta tuotetaan usein vanhojen betonisten teiden murskeesta. (Haastattelu 9 Belgia, 11 Belgia, 12 Belgia.)

Belgiassa käytetään vapaaehtoista BENOR-sertifikaattia, joka osoittaa betonin laadun olevan vaatimusten mukainen. Sertifikaatti vaaditaan usein julkisissa projekteissa ja se edellyttää, että uusiokiviaineksen korvausprosentti on

enintään 30 %. Tätä prosenttia halutaan nostaa, sillä se on todettu teknisesti mahdolliseksi. Uusiobetonია käytetään esimerkiksi teollisuushallien lattioissa ja muissa rakenteissa, jotka eivät altistu suolalle. Haastattelujen perusteella uusiobetonin käyttö koetaan osittain haasteelliseksi esimerkiksi vedenimukyvyn ja tiukkojen standardien vuoksi. Näistä syistä uusiokiviainesta käytetään enemmän maarakennuskohteissa. Osa on kuitenkin halukkaita kehittämään uusiokiviaineksen käytettävyyttä ja uusiobetonin valmistusta. (Haastattelu 9 Belgia, 11 Belgia, 12 Belgia.)

8.3.2 Saksa

Saksassa uusiobetonია käytetään pääasiassa tie- ja moottoritieprojekteissa, joissa uusiokiviainesta voidaan hyödyntää jopa 70 %. Muissa hankkeissa uusiokiviainesta on korvattu korkeintaan 45 %. Korvausmäärä riippuu siitä, mihin rasitus- ja lujuusluokkaan uusiobetonია valmistetaan. Myös Saksa ongelman ovat epäpuhtaudet, joiden poistaminen vaatii purkutyömaalla enemmän aikaa ja vaivaa. Tämä lisää kustannuksia, joita ei aina olla valmiita maksamaan. Kun purkumateriaaleja ei lajitella kunnolla, niitä on vaikea hyödyntää uudelleen. Lisäksi Saksassa on runsaasti halpaa soraa. Uusiokiviainesten tuotanto ja käyttö on siis aina ollut hintakysymys. (Haastattelu 4 Saksa, 8 Saksa.)

Ristiriitoja aiheuttaa myös uusiokiviaineksen käyttökohteet. Maarakentamisessa uusiokiviaines ei saa yhtä hyvää jalostusarvoa kuin uusiobetonissa, jolloin kiertotalouden periaatteet eivät täysin toteudu. Jos uusiobetonია taas käytetään uusiobetonin valmistukseen, luonnollista kiviainesta joudutaan käyttämään maarakennuskohteissa. Viranomaiset haluavat edistää kiertotaloutta ja lisätä uusiobetonin käyttöä. Kuntien julkisissa rakennusprojekteissa, kuten päiväkodeissa ja kouluissa, onkin rahoitusehtona käyttää uusiobetonია. Tämä on johtanut markkinoiden muodostumiseen uusiobetonin ympärille. Uusiobetonია käytetään esimerkiksi rakennusten sisäseinissä, eikä uusiobetonin käytössä olla havaittu teknisiä ongelmia. Saksassa on myös ryhdytty kehittämään uusiobetonin ominaisuuksia, jotta sitä voitaisiin käyttää myös korkeammissa lujuusluokissa. (Haastattelu 4 Saksa, 8 Saksa.)

Hyvälaatuisen uusiokiviaineksen tuottajista on kuitenkin vielä pulaa. Useimmat valmistavat uusiokiviainesta maarakennuskohteisiin, koska uusiobetonin varten tuotanto vaatii enemmän työtä. Tämän takia kuljetusmatkat ovat myös pitkiä osassa maata, mutta tilanne näyttää vähitellen paranevan. (Haastattelu 4 Saksa, 8 Saksa.)

8.3.3 Alankomaat

Alankomaissa luonnonkiviainesta ei ole saatavilla yhtä runsaasti kuin esimerkiksi Suomessa, minkä seurauksena uusiokiviaineksen ja siten uusiobetonin käyttö on yleistynyt. Suuressa osassa betonituotteita käytetään uusiokiviainesta ja uusiobetonin hyödynnetään monipuolisesti pihakivistä taloelementteihin. Luonnonkiviainesta korvataan yleensä 20–30 % uusiokiviaineksella betonituotteissa. Uusiokiviaineksesta tehdyn hienoaineksen on havaittu lisäävän vedenimukykyä ja heikentävän betonin lujuutta, mutta karkean uusiokiviaineksen käytössä ei ole havaittu ongelmia. Alankomaissa kehitetäänkin käytäntöjä hienoaineksen hyödyntämiseksi. (Haastattelut 1 Alankomaat, 5 Alankomaat, 14 Alankomaat.)

Viranomaiset edistävät kierrätysmateriaalien käyttöä, mikä vaikuttaa myös uusiobetonin käyttöön. Alankomaissa tuotteiden käytöstä maksetaan hiilijalanjälki-vero, joka on pienempi, jos tuote on uudelleen käytetty tai sen valmistuksessa on käytetty kierrätettyjä raaka-aineita ja sen hiilidioksidipäästöt ovat alhaiset. Korkeammat päästöt ja neitseellisten raaka-aineiden käyttö johtavat korkeampaan verotukseen. Haastattelujen perusteella asiakkaita kiinnostaa tuotteiden hinta, mikä verotuksen takia suosii uusiobetonin. Kierrätettyjen materiaalien käyttö tuo taloudellista etua ja on luonut markkinoita myös elementtien uudelleen käytölle. Uusiokiviaineksen markkinat ovat Alankomaissa suuret ja sitä tuodaan jopa naapurimaista. Kuljetuksessa suositaan usein kanaaleja, jotta hiilidioksidipäästöt olisivat matalammat. (Haastattelut 1 Alankomaat, 5 Alankomaat, 14 Alankomaat.)

Alankomaissa pyritään minimoimaan epäpuhtauksien määrä, jotta uusiokiviaines sisältäisi pääasiassa puhdasta betonia ja sitä varten käytetään aikaa ja vai-
vaa. Uusiokiviaines murskataan kahdesti ja se voi käydä läpi useita seulonta-
prosesseja epäpuhtauksien poistamiseksi. Uusiobetonin kehittämistä viedään
Alankomaissa eteenpäin ja käynnissä on pilottihanke, jossa valmistetaan Levvel
blockeja kanavien vesiesteiksi. Näissä blockeissa on käytetty 50 % uusiokivi-
ainesta ja siitä valmistettua hienoainesta sekä 20 % kierrätettyä sementtipastaa
uuden sementin valmistuksessa. Levvel blockien on kestävä aaltojen iskeyty-
minen liikkumatta, kloridien vaikutus ja veden jäätyminen. Pilotti on aloitettu
vuonna 2020. (Haastattelut 1 Alankomaat, 5 Alankomaat, 14 Alankomaat.)

8.3.4 Sveitsi

Sveitsissä uusiobetonin käyttö on myös yleistä ja on ollut jo monien vuosien
ajan. Sveitsin kaupungissa Zurichissä toteutettiin vuonna 2002 pilottihanke,
jossa julkisen rakennuksen rakentamisessa käytettiin ensimmäistä kertaa uusio-
betonia. Hankkeen kohteena oli koulurakennus, joka lopulta sisälsi 80 % uusio-
betonia. Tämän pilottihankkeen myötä vuonna 2005 tuli vaatimukseksi käyttää
uusiobetonin julkisissa hankkeissa Euroopan betonistandardin EN 206 ja Sveit-
sin kierrätysbetonistandardin SIA 2030 mukaisesti. Tämä vaatimus loi markkinat
uusiobetonin käytölle, jotka myöhemmin laajenivat myös yksityisille markki-
noille. (Haastattelu 15 Sveitsi; Recycled concrete and low carbon cement: 1.)

Vuonna 2005 tuli myös vaatimukseksi, että uusiobetonin tulisi sisältää vähin-
tään 25 % uusiokiviainesta. Tarkoittaen, että myös julkisissa hankkeissa uusio-
betonin tuli sisältää vähintään 25 % uusiokiviainesta. (Recycled concrete and
low carbon cement: 1.) Maassa käytetään kahden tyyppistä uusiobetonin, joista
toisessa kiviainesta on korvattu uusiokiviaineksella 25 % ja toisessa 50 %. Li-
säksi Sveitsissä voidaan valmistaa betonia, jossa 0–24 % kiviaineksesta on kor-
vattu uusiokiviaineksella ilman, että sitä täytyy ilmoittaa. Näin voidaan hyödyn-
tää merkittäviä määriä uusiokiviainesta, vaikka uusiobetonille ei olisi kysyntää,
koska uusiokiviainesta halutaan käyttää mieluummin betonin raaka-aineena
kuin maarakentamisessa. (Haastattelu 15 Sveitsi.)

Uusiobetonia käytetään pääasiassa rakennuksissa, kuten kouluissa ja asuinrakennuksissa eikä juurikaan infrarakentamisessa. Uusiobetonia ei valmisteta XA-, XD-, XS- ja XF-rasitusluokan käyttökohteisiin. Muita käyttökohteita on kuitenkin runsaasti, joten tätä ei nähdä ongelmana. Sveitsissä uusiobetonia käytetään kestäväen kehityksen edistämiseksi, mutta myös siksi, että maassa on pulaa luonnollisesta kiviaineksesta. Lisäksi Sveitsissä on pulaa maakäyttökohteista, joissa uusiokiviainesta voitaisiin varastoida tai hyödyntää. (Haastattelu 15 Sveitsi.)

8.4 Kehitysehdotukset

Haastateltavilta kysyttiin, miten heidän mielestään uusiokiviainesten ja uusiobetonin valmistusta tulisi kehittää. Useat haastateltavat korostivat epäpuhtauksien poistamisen tehostamisen. Mitä paremmin ja tehokkaammin epäpuhtaudet saadaan poistettua betonimurskejätteestä, sitä parempaa uusiokiviainesta saadaan tuotettua, jolloin myös uusiobetonin ominaisuuksille saadaan varmuutta. (Haastattelu 1 Alankomaat, 3 Suomi, 8 Saksa, 9 Belgia.) Purkuprosessissa on tärkeää huomioida betonimurskeen puhtaus, jotta se vastaa betonivalmistajien tarpeita (Haastattelu 8 Saksa, 13 Suomi). Tämän saavuttamiseksi tarvitaan eri toimijoiden välistä yhteistyötä (Haastattelu 10 Suomi).

Selkeitä laatuvaatimuksia ja standardeja tarvitaan, mitkä määrittelevät millaista murskattua betonia voidaan käyttää uuden betonin valmistuksessa (Haastattelu 1 Alankomaat, 3 Suomi, 13 Suomi). Lisäksi tarvitaan investointeja murskaus- ja betonivalmistuslaitoksiin, jotta uusiobetonia voitaisiin tuottaa tehokkaammin ja laadukkaammin (Haastattelu 3 Suomi). Kierrätysasemien sijoittaminen lähelle rakennuskohteita on myös tärkeää (Haastattelu 4 Saksa).

Hienoaineksen hyödyntäminen uusiobetonissa on nähty haasteena ja sen kehittämiseen tulisi panostaa (Haastattelu 1 Alankomaat, 8 Saksa). Suomessa purkubetonin hienoainesta hyödynnettyä jo uusissa tuotteissa ja sitä voidaan käyttää myös uuden sementtiklinkkerin valmistuksessa (Haastattelu 7 Suomi; Materiaali ja käyttökohteet).

Monet haastateltavat mainitsevat myös asenneongelman, joka monilla on kiertäysmateriaalien uusiokäyttöä kohtaan (Haastattelu 1 Alankomaat, 3 Suomi, 4 Saksa, 9 Belgia, 15 Sveitsi). Nämä ennakkoluulot täytyisi saada karsittua pois, mahdollisesti lakisääteisten ja taloudellisten kannustimien avulla. Lainsäädännön tulisi tukea uusiobetonin käyttöä ja asettaa vaatimuksia sen käytölle rakennusprojekteissa. (Haastattelu 1 Alankomaat, 2 Suomi, 3 Suomi, 4 Saksa, 10 Suomi.)

Julkisen sektorin rooli edelläkävijänä on tärkeää, sillä se lisäisi varmuutta uusia tuotteiden käytölle (Haastattelu 3 Suomi). Hankintakäytäntöjä tulee muuttaa ja investointeja sekä kaupallista potentiaalia lisätä, jotta uusiobetonin käyttö yleistyy (Haastattelu 11 Belgia, 13 Suomi). Suurin haaste uusiobetonin ja uusio-
kiviaineksen hyödyntämiselle on markkinoiden ja viranomaisten vakuuttaminen näiden laadusta ja käyttökelpoisuudesta. Tarvitaan tiedonjakamista ja tietoisuuden lisäämistä uusiobetonin mahdollisuuksista ja laadusta. Euroopan unionin taksonomia voi toimia merkittävänä kannustimena uusiobetonin käytölle. (Haastattelu 3 Suomi, 9 Belgia, 11 Belgia.)

Euroopan maat ovat näyttäneet hyvää esimerkkiä uusiobetonin käytöstä. Haastattelusta saadun tiedon mukaan Suomessa, jossa uusiobetonია ei vielä käytetä, sen käyttöä ei tulisi ainoastaan kehittää, vaan ottaa käyttöön ja huomata sen toimivuus. (Haastattelu 15 Sveitsi.)

9 Tulokset

Purkukartoituksella on merkittävä rooli erityisesti haitta-aineiden tunnistamisen osalta. Tämän vuoksi osa haastateltavista pitää rakennusvuotta tärkeänä lähtötietona, mutta muiden purkubetonin lähtötietojen, kuten puristuslujuuden, selvittämistä ei pidetä tarpeellisena. Purkubetonin ominaisuuksien tarkastelu auttaisi kuitenkin ennakoimaan uusiokiviaineksen ominaisuuksia ja toimisi lähtötietona lajittelevan purkamisen lisäksi tehtävää laadullista lajittelua varten. Purkubetonin ei tarvitse täyttää mitään ennalta määriteltyjä ominaisuuksia soveltuakseen uusiokäyttöön, mutta sen ominaisuuksien tunteminen mahdollistaa laadullisen lajittelun, jolloin saadaan parempilaatuista ja tasalaatuista uusiokiviainesta.

Laadukkaan purkamisen edellytyksenä on lajitteleva purkaminen, joka on käytäntönä myös muissa purkubetonia hyödyntävissä maissa. Purkamisessa pääpaino halutaan asettaa lajitteluun, mikä vaatii toimintamallien kehittämistä. Erytyisesti betonin osalta, jotta sen kanssa esiintyvien epäpuhtauksien määrä olisi mahdollisimman vähäinen. Purkamisesta saadut materiaalit lajitellaan erilleen, mutta betonia ei enää lajitella erikseen laadullisesti. Laadullinen lajittelu voisi kuitenkin hyödyttää tasalaatuisemman uusiokiviaineksen valmistusta, jolloin voidaan valmistaa myös tasalaatuisempaa ja suurempia rasituksia kestävää uusio-betonia.

Murskaamiseen on monenlaisia vaihtoehtoja ja laitteistoja. Haastateltavat käyttivät sekä iskumurskainta että leuka- ja kartiomurskainta. Murskaamiseen suositeltiin kuitenkin kaksiosaista prosessia, jossa ensimmäinen murskausvaihe toteutetaan leukamurskaimella ja toinen vaihe kartiomurskaimella. Epäpuhtauksien poistamiseen suositeltiin seulaa, magneettia ja tuuliseulaa. Epäpuhtauksien mahdollisimman hyvä poistaminen on edellytys hyvälaatuiselle uusiokiviainekselle, joten siihen tulee kiinnittää erityistä huomiota. Koska suositeltavia laitteistoja on useita, murskaaminen on parempi suorittaa kierrätyslaitoksessa, jossa on tarvittavat fasilitetit verrattuna mobiilimurskaimeen. Mobiilimurskaimen käyttö on myös äänekästä, pölyävää ja vaatii tilaa purkutyömaalla, minkä vuoksi se ei aina ole soveltuvin ratkaisu.

Uusiokiviainesta valmistetaan jokaisessa haastatellussa maassa kahta eri laatua: puhtaampaa ja vähemmän puhdasta. Yleisesti puhtaampaa uusiokiviainesta käytetään uusiobetonin valmistuksessa, kun taas vähemmän puhdasta uusiokiviainesta teiden rakentamisessa. Uusiokiviaineksen ominaisuudet testataan EN 12620- standardin mukaisesti, mutta Belgiassa ja osittain Sveitsillä on tiukemmat vaatimukset uusiokiviaineksen ominaisuuksista, kuten iskunkestävyydestä ja hienoainespitoisuudesta. Uusiokiviaineksen ongelmat liittyvät erilaiseen vedenimukykyyn, raemuotoon ja tiheyteen luonnonkiviainekseen verrattuna. Ongelmat syntyvät juuri epäpuhtauksien esiintymisen seurauksena ja vanhan kovettuneen sementtipastan takia. Nämä ominaisuudet on huomioitava ja hallittava uusiobetonin valmistusprosessissa.

Uusiobetonია käytetään sekä rakennuksissa että infrastruktuurissa. Saksassa ja Belgiassa uusiobetonია käytetään pääasiassa teiden rakentamiseen, kun taas Alankomaissa ja Sveitsissä sen käyttö on laajempaa ja kattaa myös rakennukset. Uusiokiviaineksen korvausprosentti riippuu käyttökohteesta. Mitä haastavammat olosuhteet uusiobetonilla on, sitä vähemmän voidaan hyödyntää uusiokiviainesta sen tuotannossa. Haastaviin olosuhteisiin, kuten jäädytys-sulatusrasituksen tai meriveden aiheuttaman kloridirasituksen omaaviin käyttökohteisiin ei katsota tarpeelliseksi käyttää uusiobetonია. Suositeltava uusiobetonin lujuusluokka on $\leq C30/37$.

Uusiokiviaineksen ja uusiobetonin valmistuksen kehittämisessä on tärkeää tehosta epäpuhtauksien poistamiseen betonimurskejätteestä, jotta saadaan laadukkaampaa uusiokiviainesta ja parannetaan uusiobetonin ominaisuuksia. Selkeät laatuvaatimukset, investoinnit murskaus- ja betonivalmistuslaitoksiin sekä kierrätysasemien sijoittaminen lähelle rakennuskohteita ovat keskeisiä toimenpiteitä. Hienoaineksen hyödyntämistä uusiobetonissa tulee kehittää ja asenneongelmat kierrätysmateriaalien käyttöä kohtaan ratkaista lakisääteisten ja taloudellisten kannustimien avulla. Julkisen sektorin rooli edelläkävijänä on tärkeää ja Euroopan unionin taksonomia voi toimia merkittävänä kannustimena uusiobetonin käytölle. Suomessa uusiobetonია tulisi ottaa käyttöön ja huomata sen toimivuus.

10 Johtopäätökset

Purkamisessa betoni muodostaa suurimman jätelajikkeen ja Suomessa se hyödynnetään pääasiassa Mara-murskeena maarakennuskohteissa. Kiertotalouden periaatteiden mukaan tuotteet ja materiaalit tulisi hyödyntää niiden korkeimman jalostusarvon mukaan ja pitää kierrossa niin, että jätettä ja saasteita ei enää syntyisi. Purkubetonin uusiokäyttö on esimerkki tästä periaatteesta. Purkubetonijätteen uusiokäytöllä on merkittäviä etuja, erityisesti ympäristövaikutusten pienentämiseen ja luonnonvarojen säästämiseen.

Uusiokiviainesta valmistetaan purkubetonijätteestä, joka murskataan kaksiosaisesti leuka- ja kartiomurskaimella sekä seulotaan ja käydään läpi magneetilla epäpuhtauksien poistamiseksi. Betonimurskejätteen jäte luokitus tulee saada poistettua, jolloin noudatetaan betonin EEJ-asetuksen asettamia vaatimuksia. Betonimurske ei saa ylittää haitta-aineiden tai epäpuhtausmateriaalien raja-arvoja, se tulee murskata käyttötarkoituksen mukaiseen raekokoon ja sen tuotannon laadunvalvonnassa tulee käyttää AVCP-järjestelmän luokkaa 2+. Kun betonin EEJ-asetuksen vaatimukset täyttyvät, betonimurskeesta tulee EEJ-betonimursketta.

Jotta EEJ-betonimursketta voidaan myydä uusiokiviaineeksena, tulee sen täyttää myös rakennustuoteasetuksen ja harmonisoidun tuotestandardin asettamat vaatimukset. Rakennustuoteasetus varmistaa, että rakennustuotteet täyttävät maankäyttö- ja rakennuslaissa tai sen nojalla säädetyt olennaiset tekniset vaatimukset. Uusiokiviaineksen kohdalla harmonisoituna tuotestandardina sovelletaan standardia SFS-EN 12620+A1. Standardi määrittelee tuotteen ominaisuudet ja testausmenetelmät, jotta ne ovat yhdenmukaiset kaikkien vastaavien tuotteiden kanssa. Kun uusiokiviaines täyttää sille määritetyt vaatimukset ja sen vaatimusten mukaisuus on osoitettu, se voidaan merkitä CE-merkillä ja siitä tulee CE-merkitty rakennustuote.

Betoni on laajalti käytetty rakennusmateriaali, jonka kestävyys ja muut hyvät ominaisuudet riippuvat suuresti käytetystä kiviaineksesta. Laadukkaan betonin

valmistukseen tarvitaan laadukasta kiviainesta, mutta uusiokiviaineksen laatua heikentää siinä olevat epäpuhtaudet ja sen epätasalaatuisuus. Purkamisessa ei voida täysin välttää epäpuhtauksien joutumiselta betonimurskeen sekaan, mutta hyvin tehdyllä lajittelevalla purkamisella voidaan ehkäistä suurin osa epäpuhtauksista. Tehokas lajittelu purkutyömaalla helpottaa seulontaprosessia, jolloin pyritään poistamaan loput epäpuhtauksista.

Uusiokiviaineksen laatuun voidaan vaikuttaa myös purettavan betonin tarkemmillä tutkimuksilla. Kiviaineksen tärkein ominaisuus on sen tasalaatuisuus, joka tulee erityisesti ottaa huomioon uusiokiviainesta tuotettaessa. Lajittelevan purkamisen lisäksi purkubetonijäte tulisi lajitella erikseen myös laadullisesti, jotta uusiokiviaineksen haluttu tasalaatuisuus saavutettaisiin. Laadunvarmistus koko purkuhankkeen aikana takaa paremman laadun betonimurskeelle. Kattavat tutkimukset, huolellinen lajitteleva purku sekä purkutyön valvonta edesauttavat uusiokiviaineksen paremman laadun saavuttamista.

Uusiokiviaines on sitä laadukkaampaa, mitä vähemmän se sisältää epäpuhtausmateriaaleja. Uusiokiviaineksen paras osa-aine on betoni ja mitä enemmän se sisältää betonia, sitä paremmat ominaisuudet sillä on ja sitä parempaa uusiobetonia voidaan tuottaa. Uusiokiviaines tulisi tuottaa mahdollisimman suuresta määrästä betonimursketta mikä sisältää hyvin rajoitetun määrän epäpuhtauksia. Tästä syystä betonin-EEJ-asetuksessa esitetyt epäpuhtauksien sallitut määrät eivät välttämättä ole riittävät.

Laadukasta uusiobetonia voidaan valmistaa käyttämällä hyvää ja tasalaatuista uusiokiviainesta sekä huomioimalla uusiokiviaineksen suuri vedentarve tuotantomenetelmissä. Vedentarve voidaan selvittää esimerkiksi laadunvarmistuksessa tehtävillä vedenimutesteillä. Tavoitteena on kuitenkin mahdollistaa laadukkaan uusiobetonin valmistus ilman merkittävää sementtimäärän lisäystä. Kun uusiokiviaineksen ominaisuudet ja niihin vaikuttavat tekijät tunnetaan ja tehdään laadunvarmistus testejä, voidaan nämä ottaa huomioon uusiobetonin valmistuksessa. Näin saadaan tuotettua laadukasta uusiobetonia optimaalisilla menetelmillä.

Vaikka uusiokiviaines ei täysin vastaa luonnonkiviainesta, laadukas uusiokiviaines voi kuitenkin parantaa uusiobetonin ominaisuuksia. Tästä huolimatta sitä voidaan toistaiseksi käyttää uusiobetonin tuotannossa vain rajoitetusti. Uusiokiviaineksen korvausaste riippuu uusiobetonin käyttökohteesta. Vaikka uusiobetonin käyttökohteet keskittyvät rakenteisiin, joihin ei kohdistu suurta rasitusta, ovat nämäkin käyttökohteet tärkeitä ja niiden valmistus välttämätöntä. Esimerkiksi betoniporsain kutsutut liikenne-esteet ovat erittäin käytännöllisiä ja tarpeellisia auto- ja kävelyteillä sekä pysäköintialueilla. Tällaisilta tuotteilta ei vaadita erityisiä rakenteellisia tai käyttöikään liittyviä vaatimuksia. Uusiobetonille on monia vastaavia ja muita soveltuvia käyttökohteita, jotka ovat tarpeellisia ja välttämättömiä.

Siirtymävaihe siihen, että uusiobetoniala aletaan yleisesti käyttämään, vaatii aikaa ja investointeja ja julkisella sektorilla on tässä merkittävä rooli. Alankomaissa, Saksassa ja Sveitsissä viranomaiset kannustavat kiertotalouteen kiertäysmateriaalien käytön kevennetyllä verotuksella ja luomalla edellytyksiä uusiomateriaalien käytölle julkisissa hankkeissa. Tämä auttaa luomaan markkinoita, jotka leviävät myös yksityiselle sektorille. Uusiobetonin käytön edistämiseksi tietoisuutta sen hyödyistä ja mahdollisuuksista on lisättävä.

Opinnäytetyön jatkoksi suositellaan pilottihankkeen toteuttamista, jossa testataan opinnäytetyössä esitettyjä toimintatapoja. Lisäksi suositellaan selvittämään purkubetonijätteen murskaamisesta syntyvän hienoaineksen vaikutusta uusiobetoniin sekä kehittämään menetelmiä sen betonin koostumusta heikentävien vaikutusten vähentämiseksi, jotta hienoainesta voitaisiin hyödyntää paremmin uusiobetonissa. Betonijätettä murskatessa syntyy paljon hienoainesta, koska se sisältää vanhaa kovettunutta sementtiä ja muita hauraita materiaaleja, jotka murskauksessa hienoutuvat herkästi. Hienoaines olisi hyvä saada myös osittain uusiobetonin valmistukseen.

Lähteet

Betonin kierrätys ja uudelleenkäyttö. 2021. Verkkoaineisto. Betoni. <<https://betoni.com/betoni-ja-ymparisto/kiertotalous/>>. Julkaistu 18.11.2021. Luettu 17.3.2025.

Betonin kutistuminen. Verkkoaineisto. Finnsementti. <<https://finnsementti.fi/sementti/tietoa-betonista/tietoa-betonista-tietoa-betonista-suunnittelijalle/betonin-kutistuminen/>>. Luettu 22.3.2025.

Betonin käyttö. 2015. Verkkoaineisto. Betoni. <<https://betoni.com/tietoa-betonista/betoni-rakennusmateriaalina/kaytto-infrarakentamisessa/>>. Julkaistu 5.4.2015. Luettu 17.3.2025.

CE-merkintä. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<https://ym.fi/ce-merkinta>>. Luettu 22.3.2025.

Circulate products and materials. 2022. Verkkoaineisto. Ellen macarthur foundation. <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circulate-products-and-materials>>. Julkaistu 16.2.2022. Luettu 30.3.2025.

Construction of new buildings. Verkkoaineisto. European commission <<https://ec.europa.eu/sustainable-finance-taxonomy/activities/activity/350/view>>. Luettu 15.4.2025.

Eliminate waste and pollution. 2022. Verkkoaineisto. Ellen macarthur foundation. <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/eliminate-waste-and-pollution>>. Julkaistu 16.2.2022. Luettu 30.3.2025.

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus rakennustuotteiden kaupan pitämisestä koskevien sääntöjen yhdenmukaistamisesta ja asetuksen EU305/2011 kumoamisesta. 2024. Asetus EU2024/3110. Verkkoaineisto. Euroopan unionin virallinen lehti 18.12.2024. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202403110>. Luettu 23.3.2025.

EU Taxonomy Navigator. Verkkoaineisto. European commission. <<https://ec.europa.eu/sustainable-finance-taxonomy/home>>. Luettu 15.4.2025.

Haara, Tuomo; Heikkilä, Esa; Johanson, Kim; Järvinen, Maarit; Kaskiaro, Tiina; Koivisto, Maritta; Kunnassaari, Esa; Kuula, Pirjo; Lumme, Pentti; Mannonen, Risto; Mantila, Ari; Matsinen, Martti; Mattila, Jussi; Meriläinen, Jani; Merikallio, Tarja; Niemi, Sami; Paukku, Elina; Petrow, Seppo; Punkki, Jouni; Tallbacka, Katriina; Tepponen, Pirjo; Tikkanen, Johanna; Toivonen, Mikko; Valjus, Juha; Vasama, Mikko; Virtanen, Juha & Ålander, Casper. 2018. By 201 Betoniteknii-
kan oppikirja. Helsinki: BY-koulutus Oy.

Haitalliset aineet rakennuksissa tutkijan ohje. 2022. RT 103501. Rakennustieto.

Hallitus hyväksyi asetuksen betonimurskeen jätteeksi luokittelun päättymisestä. 2022. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<https://ym.fi/-/hallitus-hyvaksyi-asetuksen-betonimurskeen-jatteeksi-luokittelun-paattymisesta>>. Julkaistu 16.6.2022. Luettu 21.3.2025.

Heponiemi, Kimmo. 2021. Verkkoaineisto. Lab open. <<https://www.labopen.fi/lab-pro/materiaali-pidempaan-kierrossa-kaskadikaytolla/>>. Julkaistu 8.10.2021. Luettu 31.3.2025.

Hradil, Petr; Wahlström, Margareta; Teittinen, Tuuli; Bergmans, Jef; Van Cauwenberghe, Liesbet; Sičáková, Alena; Struková, Zuzana & Li, Jiabin. Purkukartoitus periaatteet. Verkkoaineisto. VTT. <https://projectsites.vtt.fi/sites/parade/files/PARADE_EIT_RM_FI.pdf>. Luettu 15.3.2025.

Huuhka, Satu. 2024. Betonielementtien irrottaminen ehjänä uudelleenkäyttöä varten. Verkkoaineisto. Betoni. <<https://betoni.com/lehti/2024/12/23/betonielementtien-irrottaminen-ehjana-uudelleen kaytto-a-varten/>>. Luettu 15.4.2025.

Johansson, Kim. 2023. Betonin kiviainekset. Verkkoaineisto. Betonitieto. <<https://www.betonitieto.fi/media/laboranttikurssin-materiaalit/kiviaines-2023.pdf>>. Julkaistu 10.2.2023. Luettu 22.3.2025.

Jätehierarkia: vältä jätteen syntymistä, kierrätä enemmän. Verkkoaineisto. Stena recycling. <<https://www.stenarecycling.com/fi/uutiset-tietoa-kierratyksesta/tietoa-kierratyksesta/tietoa-kierratyksesta/-jatehierarkia/>>. Luettu 31.3.2025.

Jätelaki. 2022. 646/17.6.2011.

Kalliainen, Antti; Kuula, Pirjo & Leppänen, Minna. 2017. Väylärakenteiden valtakunnallinen kiviaines- ja geosynteettitutkimus. Verkkoaineisto. Doria. <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/134688/lts_2017-22_978-952-317-402-3.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. Luettu 23.3.2025.

Kotimaista ja paikallista raaka-ainetta. Verkkoaineisto. Betoni. <<https://betoni.com/tietoa-betonista/betoni-rakennusmateriaalina/kiviaines/>>. Luettu 22.3.2025.

Kunnas, Tuuli. 2023. Betonimurske-jätettä vai ei? Ja mitä väliä sillä on? Verkkoaineisto. Betoni. <<https://betoni.com/lehti/betonilehti/1-2023/>>. Luettu 17.3.2025.

Lehtonen, Katja. 2019. Purkutyöt-opas tekijöille ja teettäjiille. Verkkoaineisto. Valtioneuvosto. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161884/YM_2019_29.pdf?sequence=4&isAllowed=y>. Julkaistu 15.11.2019. Luettu 15.3.2025.

Lehtonen, Katja. 2021. Purkubetonista betonikiviainesta pienbetonituotteiden valmistukseen selvitys. Verkkoaineisto. Lahti. <https://www.lahti.fi/uploads/2022/04/e7ac71f0-selvitys_purkubetoni-betonikiviaineksena_ytekki.pdf>. Julkaistu 19.12.2021. Luettu 20.3.2025.

Materiaali ja käyttökohteet. Verkkoaineisto. Cubeco. <<https://cubeco.fi/materiaali/>>. Luettu 12.4.2025.

McNeil, Katrina & Kang, Thomas H-K. 2013. Recycled concrete aggregater: a review. Verkkoaineisto. Springer open. <<https://ijcsm.springeropen.com/articles/10.1007/s40069-013-0032-5>>. Julkaistu 29.3.2013. Luettu 23.3.2025.

Mitä kiertotalous on ja miksi sillä on merkitystä? 2023. Verkkoaineisto. Euroopan parlamentti. <<https://www.europarl.europa.eu/topics/fi/article/20151201STO05603/mita-kiertotalous-on-ja-miksi-silla-on-merkitysta>>. Julkaistu 30.6.2023. Päivitetty 30.6.2023. Luettu 12.3.2025.

Murskausasemat siirtyvät sinne missä tarvitaan. Verkkoaineisto. Kivikolmio. <<https://kivikolmio.fi/konekanta/>>. Luettu 16.3.2025.

Nieminen, Anna-Maria. 2015. Murskatun betonin hyödyntäminen uusiokiviaineksena betonissa. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu. Aaltodoc-tietokanta.

Nieminen, Anna-Maria. 2016. Uutta betonia vanhaa hyödyntäen. Verkkoaineisto. Betoni. <<https://betoni.com/lehti/betonilehti/4-2016/>>. Luettu 21.3.2025.

Oivanen, Pihla. 2022. Betonimurskeen hyödyntämisen ja jätteeksi luokittelun päättymisen sääntely- uuden EEJ-asetuksen vaikutukset oikeustilaan. Pro gradu-tutkielma. Itä-Suomen yliopisto, Oikeustieteiden laitos. eRepo-palvelu.

Ollikainen, Suvi; Dettenborn, Taavi & Forsman, Juha. 2024. Betonimurske kaupunkien julkisessa maarakentamisessa. Verkkoaineisto. Uusiomaarakentaminen. <https://uusiomaarakentaminen.fi/wp-content/uploads/sites/5/2024/04/2024_04_29_Betonimurske-kaupunkien-julkisessa-maarakentamisessa_lukittu.pdf>. Julkaistu 1.2.2024. Luettu 23.3.2025.

Pacheco, João; De Brito, Jorge & Lamperti Tornaghi, Marco. 2023. Use of recycled aggregates in concrete: opportunities for upscaling in Europe. Verkkoaineisto. European commission. <<https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC131294>>. Luettu 10.3.2025.

Pulverointi. Verkkoaineisto. JHV recycle. <<https://www.jhvrecycle.com/palvelut/pulverointi>>. Luettu 17.3.2025.

Rakennus- ja luonnonkivien kestävä hyödyntäminen. Verkkoaineisto. GTK. <<https://www.gtk.fi/palvelut/rakennus-ja-luonnonkivien-kestava-hyodyntaminen/>>. Luettu 22.3.2025.

Rakennustuotteet. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<https://ym.fi/rakennustuotteet>>. Luettu 22.3.2025.

Rakennustuotteiden CE-merkintä vaihe vaiheelta. 2015. Verkkoaineisto. European commission. <<https://ec.europa.eu/docsroom/documents/12322?locale=en>>. Julkaistu 8.9.2015. Luettu 22.3.2025.

Rakentamisen jätteet. 2024. Verkkoaineisto. Ympäristö. <<https://www.ymparisto.fi/fi/kestava-kierto-ja-biotalous/kierratys-ja-jatteet/valtakunnallisen-jate-suunnitelman-seuranta/rakentamisen-jatteet>>. Julkaistu 10.7.2024. Päivitetty 8.10.2024. Luettu 25.3.2025.

Rakentamisen kiertotalouden sanakirja. 2023. Verkkoaineisto. Green building council Finland. <<https://figbc.fi/media/rakentamisen-kiertotalouden-sanakirja.pdf>>. Julkaistu 3.5.2023. Luettu 2.4.2025.

Rakentamislaki. 2023. 751/21.4.2023.

Recycled concrete and low-carbon cement. Verkkoaineisto. Agora energiewende. <https://www.agora-energie-wende.org/fileadmin/Success_Stories/BP/BP_CH_Recycled-concrete/A-EW_282_Succ_Stor_BP_Recycled-concrete-in-Switzerland_WEB.pdf>. Luettu 12.4.2025.

SFS-EN 12620+A1. 2008. Betonikiviainekset. Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 206:2014+A2:2021. Betoni. Määrittely, ominaisuudet, valmistus ja vaatimustenmukaisuus. Suomen Standardisoimisliitto.

Tekniset ominaisuudet. Verkkoaineisto. Tiili info. <<https://tiili-info.fi/tiili-materiaalina/tekniset-ominaisuudet/>>. Luettu 21.3.2025.

Timonen-Nissi, Hannu. 2019. Rasitusluokat. Verkkoaineisto. Rudus. <<https://www.rudus.fi/Download/27940/Betoniakatemia%20Rasitusluokat.pdf>>. Julkaistu 25.1.2019. Luettu 2.4.2025.

Tähtinen, Lauri & Samila, Elina. 2024. Kestävyyden kuntotarkastus 2024- taustaraportti. Verkkoaineisto. Green building council Finland. <https://figbc.fi/media/kestavyyden-kuntotarkastus-taustamuistio-kiertotalous_2024-figbc.pdf>. Julkaistu 26.11.2024. Luettu 25.3.2025.

Valtioneuvoston asetus betonimurskeen jätteeksi luokittelun päättymisen arviointiperusteista. 2022. 466/16.6.2022.

Valtioneuvoston asetus betonimurskeen jätteeksi luokittelun päättymisen arviointiperusteista soveltamisohje. 2022. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<https://ym.fi/documents/1410903/38678498/Betonimurske-EEJ-asetuksen+soveltamisohje+31082022.pdf/291e0c2f-22ac-4f3d-eae3-efb6b473a32f/Betonimurske-EEJ-asetuksen+soveltamisohje+31082022.pdf?t=1662004058228>>. Julkaistu 31.8.2022. Luettu 24.3.2025.

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa. 2017. 843/7.12.2017.

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa soveltamisohje. 2019. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <https://ym.fi/documents/1410903/38439968/MARA_soveltamisohje_versio_020719-76828F77_2CD0_40E6_90ED_8D4ABBD81EC8-148047.pdf/7dbbf52-a791-deb1-4550-0a1163dc2aa7/MARA_soveltamisohje_versio_020719-76828F77_2CD0_40E6_90ED_8D4ABBD81EC8-148047.pdf?t=1603260912567>. Julkaistu 2.7.2019. Luettu 23.3.2025.

Valtioneuvoston asetus jätteistä. 2021. 978/18.11.2021.

What is a circular economy? Verkkoaineisto. Ellen macarthur foundation. <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>>. Luettu 30.3.2025.

Yhdelle lavalle yhtä ja samaa sorttia: Viisi kysymystä lajittelevasta purkamisesta. 2022. Verkkoaineisto. Lotus demolition. <<https://lotusdemolition.fi/uutinen/yhdelle-lavalle-yhta-ja-samaa-sorttia-viisi-kysymysta-lajittelevasta-purkamisesta/>>. Julkaistu 8.8.2022. Luettu 16.3.2025.

Ympäristölupa. 2022. Verkkoaineisto. Ympäristö. <<https://www.ymparisto.fi/fi/luvat-ja-velvoitteet/ymparistolupa>>. Julkaistu 28.2.2022. Päivitetty 10.1.2025. Luettu 23.3.2025.

Ympäristöministeriön asetus purkumateriaali- ja rakennusjätteselvityksestä. 2024. 1089/31.12.2024.

Haastattelut:

Haastattelu 1. Alankomaat. CRH. 23.1.2025.

Haastattelu 2. Suomi. Lotus Demolition Oy. 27.1.2025.

Haastattelu 3. Suomi. Rakennusteollisuus RT ry. 27.1.2025.

Haastattelu 4. Saksa. VDZ Technology gGmbH. 31.1.2025.

Haastattelu 5. Alankomaat. C2CA Technology B.V. 4.2.2025.

Haastattelu 6. Suomi. Rakennustuoteteollisuus RTT ry. 17.2.2025.

Haastattelu 7. Suomi. Finnsementti Oy. 17.2.2025.

Haastattelu 8. Saksa. Dyckerhoff GmbH. 18.2.2025.

Haastattelu 9. Belgia. Groen Beton Vert. 19.2.2025.

Haastattelu 10. Suomi. Oy Sika Finland Ab. 3.3.2025.

Haastattelu 11. Belgia. Tracimat vzw. 5.3.2025.

Haastattelu 12. Belgia. Procertus vzw. 5.3.2025.

Haastattelu 13. Suomi. Umacon Oy. 6.3.2025.

Haastattelu 14. Alankomaat. Meijs Ingenieurs BV. 7.3.2025.

Haastattelu 15. Sveitsi. Holcim SA. 2025.