



Purkubetonista betonikiviainesta pienbetonituotteiden valmistukseen

Selvitys

Sisällysluettelo

| | |
|---|----|
| 1. Johdanto | 2 |
| 2. Betonikiviaineksen vaatimukset..... | 2 |
| 2.1. Betonikiviaineksen yleiset ominaisuudet | 3 |
| 2.2. Purkubetonista valmistetun betonikiviaineksen vaikutukset betonin ominaisuuksiin | 4 |
| 3. Betonikiviaineksen valmistaminen purkubetonista | 5 |
| 3.1. Raaka-aineen laatu | 5 |
| 3.2. Murskaus | 6 |
| 3.3. Seulonta | 7 |
| 3.4. Luokittelumenetelmät | 8 |
| 3.5. ”Kevyt murskaus = paakkujen rikkominen” tuotetehtaalla ennen kiviainessiiloon syöttöä..... | 9 |
| 4. Purkubetonista valmistetun betonikiviaineksen varastointi..... | 10 |
| 5. Lainsäädäntö purkubetonimurskeen betonikiviaineskäytössä | 11 |
| 6. Jatkoselvitys- ja kehitystarpeet | 13 |

1. Johdanto

Tämä selvitys on Lahden kaupungin Hiilineutraalin rakentamisen kehityskeskukseen tilaama esiselvityksestä pienbetonituotteisiin käytettävän, purettavista rakennuksista saatavan betonimurskeen tuottamisen edellytyksistä. Selvityksessä pääpaino on purkubetonin käsittelyssä betonimurskeeksi niin, että näin valmistettuja fraktioita voitaisiin hyödyntää betonituoteteollisuudessa pienbetonituotteiden, kuten pihakivien ja -laattojen sekä muuri- yms. infra- ja maisemarakentamiseen tarkoitettujen betonituotteiden valmistuksessa.

Purkubetoni hyödynnetään Suomessa tällä hetkellä lähes pelkästään maarakentamisessa murskeena. Maarakentamisessa käytettävä murske on tyypillisesti rakeisuudeltaan 0/45 ... 0/90 mm, jolloin se soveltuu hyvin käytettäväksi katu-, tie ja kenttärakentamisessa jakavissa kerroksissa ja pengerrakenteissa. Osa maarakentamisen päätyvästä betonimurskeesta käytetään vielä melko matala-arvoisessa käytössä, kuten paksuissa maantäytöissä tai vallirakentamisessa, johon saadaan kyllä menemään suuria massamääriä, mutta samalla kuitenkin hukataan yksi parhaista uusioraaka-aineista, josta voitaisiin valmistaa myös arvokkaampia tuotteita, joilla voidaan korvata arvoltaan korkeampi luonnon raaka-aineita. Tällainen käyttötarkoitus olisi hyödyntäminen betonin valmistuksessa betonikiviaineena, jossa betonimurske korvaisi luonnon hiekkaa, soraa ja kalliomursketta. Betonikiviainekseksi soveltuvan luonnon soran ja hiekan otto tuhoaa arvokkaita soraharjuja ja nykypäivänä lähellä kasvukeskuksia olevat hyvät esiintymät on jo pitkälti hyödynnetty ja luonnon kiviaineita joudutaan kuljettamaan betonitehtaille pitkiä matkoja. Jo lähitulevaisuudessa luonnon soraa ja hiekkaa korvaavien uusiomateriaalien tarve tulee varmuudella lisääntymään. Purkubetonimurske ja etenkin sen rakeisuudeltaan hienoin materiaali sisältää myös osin reagoimatonta sementtiä, jonka johdosta sen käyttö betonivalmistuksessa olisi myös loogista.

Purkubetonin hyödyntäminen mahdollisimman korkea-arvoisessa käytössä säästäisi siis luonnon varoja. Sen käyttö voi vähentää myös betonin CO₂-päästöjä, kun tyypillisesti rakennusten purkamista tapahtuu jatkuvasti kaupunkiseuduilla ja siten purkubetonia on saatavilla lähialueilla, jolloin kuljetusten päästöt ovat lyhyempien kuljetusmatkojen johdosta pienemmät.

Purkubetonin hyödyntäminen uuden betonin valmistuksessa toteuttaisi kiertotalouden ja jätehierarrian periaatteita, kun kerran valmistetun betonin elinkaarta voidaan jatkaa hyödyntämällä se uudelleen ensimmäisen käyttösyklin jälkeen uudelleen betonivalmistuksessa.

Tässä selvityksessä on tarkasteltu pääasiassa betonimurskeen valmistukseen ja varastointiin liittyviä asioita erityisesti betonikiviaines -näkökulmasta. Selvityksessä on kuvattu myös kirjallisuusselvityksen ja kokemuseräisen tiedon perusteella purkubetonimurskeen ominaisuuksia sekä sen käytön mahdollisia vaikutuksia betonimassan ja betonituotteiden ominaisuuksiin. Selvitykseen on kirjallisuuslähteistä saadun tiedon lisäksi haastateltu murskausta tekeviä yrityksiä.

2. Betonikiviaineksen vaatimukset

Purkubetonin hyödyntämistä betonin valmistuksen raaka-aineena tarkastellaan tässä pääsääntöisesti kiviainekäytön näkökulmasta. Betonimurskeella on toki myös sitoutumisominaisuuksia, koska murskauksen yhteydessä syntyvä hienoaines on osittain sementtiä, joka on vielä osittain reagoimatonta. Sitä, kuinka merkittävässä määrin betonimurskeen hienoaines toimisi myös sideaineena ja

siten sementtiä korvaavana aineena, tulee selvittää tarkemmin betonitutkimuksilla laboratoriossa. Kirjallisuusselvityksen perusteella betonimurskeen hienoaineksella ei ole todettu olevan kovin merkittävää lujittumista lisäävää vaikutusta betonimassan valmistuksessa, koska tämä hieno, jauhemainen aines lisää lähtökohtaisesti myös massan vedentarvetta, jolloin betonin ominaisuudet muuttuvat.

2.1. Betonikiviaineksen yleiset ominaisuudet

Rakeisuus

Murskattu betoni tulee käsitellä käyttötarkoitukseen sopivan kokoiseksi. Massiivisissa paikallavaluissa käytettävän betonimassan valmistukseen käytettävän kiviaineksen maksimiraekoko voi olla jopa 64 mm, mutta pienbetonituotteissa se on tyypillisesti enintään 16 mm. Betonimassan ominaisuuksiin vaikuttaa merkittävästi sen valmistuksessa käytettävien kiviainesten yhdistelmärakeisuus ja jotta betonimassa saadaan suhteutettua rakeisuudeltaan optimaaliseksi, käytetään betonin valmistuksessa yleensä useita kiviainelajitteita. Kun käytetään useita eri katkaistuja lajitteita ja niiden lisäksi filleriä, pystytään niiden osuuksia massasta säätämään helposti ja siten saadaan aikaa optimaalinen massan rakeisuus.

Yleensä betoninvalmistuksessa pyritään välttämään 0-pohjaisten, niin sanottujen koostekiviainelajitteiden käyttöä, koska sen myötä massaan saattaa tulla helposti liikaa jotakin rakeisuusaluetta ja siten suhteutuksen tekeminen ja massan ominaisuuksien hallinta on haastavaa.

Betonimurske voisi soveltua parhaiten katkaistuksi lajitteeksi, josta hienoaines on siis poistettu. Tällaisten, esim. 6/16 mm betonimurskelajitteiden käyttöä on jonkin verran tehtykin.

Raemuoto

Kiviaineksen raemuoto vaikuttaa myös betonimassan ominaisuuksiin ja myös työstettävyyteen. Murskaamalla valmistetut kiviainekset ovat raemuodoltaan pääosin kulmikkaita ja eroavat siten hiekasta ja sorasta. Murskaus- ja jalostusmenetelmillä voidaan kuitenkin vaikuttaa myös kiviaineksen muotoon. Tyypillisesti betonimassan valmistuksessa käytetään samanaikaisesti sekä murskattuja että luonnon pyöreärakeisia kiviaineksia, jolloin tällaisella kombinaatiolla saadaan massasta ominaisuuksiltaan ja työstettävyydeltään hyvää.

Hienoainespitoisuus

Käytettävien kiviainesten hienoainespitoisuus ja siten koko betonimassaan tulevan hienoaineksen määrällä on merkittävä vaikutus massan ominaisuuksiin. Liian suuri hienoainespitoisuus lisää massan vedentarvetta, joka johtaa betonin lujuuden heikkenemiseen, ellei sementtipitoisuutta lisätä. Betonimurskeen hienoaines on laadultaan sellaista, että se imee itseensä vettä, joka lisää edellä mainittua vaikutusta. Tästä syystä aikaisemmissa tutkimuksissa on päädytty yleensä siihen, että betonimurskeessa oleva hienoaines on lähinnä haitallista betonin valmistuksessa ja se onkin pyritty pääosin poistamaan ja tuomaan tarvittava hienoaines massoihin luonnonhiekalla, jossa vedenimuomaisuutta ei juurikaan ole.

Veden imu

Betonimurskeessa sen vedenimu on huomattavasti normaaleja luonnon kiviaineksia huomattavasti suurempi. Kierrätetyn kiviaineksen suurempi veden imukyky vaikuttaa sekä tuoreen että kovettuneen betonin ominaisuuksiin. Veden lisääminen johtaa kutistumisherkkyiden lisääntymiseen ja vaikuttaa myös massan työstettävyyden hallintaan. Karkeamman betonimurskeen korkeampi vedenimukyky ei tee siitä kuitenkaan käyttökeltontonta, koska suurelta osin sen imevä vesi sitoutuu

betonikiviainesrakeisiin eikä välttämättä siten aiheuta merkittäviä vaikutuksia lujittuneeseen betoniin. Betonimurskeen vedenimukyky tulee kuitenkin tuntea ja huomioida se massan reseptoinnissa ja ennakkokokeilla varmistaa, että massasta saadaan työstettävää ja että lujittuneen betonin ominaisuudet ovat vaatimusten mukaiset.

Tiheys

Betonimurskeen tiheys on luonnonkiviaineksia pienempi, tyypillisesti n. 5-10 %. Betonimurske on siis kuutiopainoltaan luonnon kiviainesta kevyempää ja sen käytöllä voidaan siten säästää tarvittavan kiviaineksen määrässä ja siten kuljetuksissa.

Raelujuus ja -kestävyys

Kiviainesten lujuutta tutkitaan kuulamylyllä tehtävällä Los Angeles -kokeella. Betonimurskeiden Losa -arvo on tyypillisesti luokkaa 35-45, eli se on useimpia luonnon kiviaineksia heikompaa. Normaaliluokan betoneissa (C30-40 MPa) kiviaineksen kovuudella ei kuitenkaan juurikaan ole merkitystä, vaikka se hieman saattaa heikentää betonin puristuslujuutta. Kulutuksen kestävyyttä edellyttävissä rakenteissa tai pinnoissa sillä on merkitystä ja siten esimerkiksi pihakivien ja -laattojen pintaossa voi olla tarkoituksenmukaista tehdä luonnonkiviaineksestä.

Epäpuhtaudet

Kiviaineksen epäpuhtaudet vaikuttavat yleensä heikentävästi betonin laatuun. Epäpuhtauksilla tarkoitetaan tässä yhteydessä esimerkiksi luonnonkiviainesten osalta humusta tai savea ja betonimurskeessa ns. mekaanisia, kappalemaisia, usein orgaanisia, epäpuhtauksia, kuten puuta, muovia, kipsiä, eristeitä.

Epäpuhtauksilla voi olla myös vaikutusta ulkonäköön, jos tällainen ei-kiviaineskappale sattuu pintakerrokseen. Tällaisesta kohdasta betoni saattaa lähteä myös herkemmin haurastumaan ja rikkoutumaan käyttöolosuhteissa.

2.2. Purkubetonista valmistetun betonikiviaineksen vaikutukset betonin ominaisuuksiin

Betonin lujuus

Betonimurskeesta valmistetun betonin lujuus on tutkimusten mukaan yleisesti ottaen pienempi kuin vastaavalla sementtimäärällä luonnonkiviaineksestä valmistetun betonin lujuus. Lujuuden alenemaan vaikuttaa moni seikka ja se voi olla tutkimusten mukaan hyvinkin vähäistä tai sitten jopa kymmeniä prosentteja.

Betonin, jonka valmistuksessa on käytetty kierrätettyä betonia, lujuusvaihtelun on todettu olevan suurempaa kuin luonnollisesta kiviaineksestä valmistetun ”perinteisen” betonin. Tämä johtuu todennäköisesti kierrätyskiviaineksen suuremmista laatuvaihteluista, esimerkiksi jos purkubetoniraaka-aineissa on sekaisin eri lujuusluokkien betonilaatuja, jolloin myös murskeen ominaisuudet, kuten rakeisuuskäyrä, hienoaineksen määrä ja veden imukyky vaihtelevat.

Taivutus- ja vetolujuus

Puristuslujuuden lisäksi eri käyttötarkoituksissa betonin taivutus- tai vetolujuus voi olla oleellinen laatu parametri. Tämän osalta purkubetonimurskeen käyttö ei välttämättä aiheuta merkittävää lujuudenheikentymistä, jos kiviainesten suhteutus on onnistunut. Kuitenkin, jos massan valmistuksessa on käytetty liikaa betonimursketta, saattaa sen luonnon kiviainesta heikompi raelujuus aiheuttaa myös etenkin taivutusvetolujuuden alentumista, jos kiviaineksen rakeet antavat periksi.

Kutistuma

Betonimurskeesta valmistetun betonin kuivamiskutistuminen on yleensä suurempi kuin pelkästään luonnonkiviaineesta valmistetun betonin johtuen suuremmasta veden lisäyksen tarpeesta. Kuivumiskutistuma lisääntyy yleensä erityisesti, jos valmistuksessa on käytetty myös hienorakeista betonimursketta.

Jäädytys-sulatuskestävyys

Betonin jäädytys-sulatuskestävyyteen vaikuttaa eniten betonimassan koostumus, tiiveys ja lujittumisreaktioiden tapahtuminen. Jos betonin, jonka valmistuksessa on käytetty betonimursketta, suhteus ja reseptointi on onnistunut, betonin jäädytys-sulatuskestävyys on todennäköisesti myös hyvä.

Suomen olosuhteissa betoneilta vaaditaan käyttökohteista riippuen myös suola-pakkasrasituksen kestävyttä. Betonimurskeen käytöllä ei pitäisi tähän olla vaikutusta, jos betonimassan koostumus ja ominaisuudet on todettu vaatimusten mukaisiksi.

Karbonatisoituminen

Käytössä ollut betoni karbonisoituu, ilman hiilidioksidi tunkeutuu siihen. Tällöin betoni siis sitoo itseensä hiilidioksidia. Betonirakenteessa karbonatisoituminen on yleensä melko hidasta ja se tunkeutuu hitaasti betoniin. Kun betoni murskataan, ilman kanssa tekemisissä oleva betonin pinta-ala kasvaa ja karbonatisoituminen kiihtyy. Karbonatisoitumisella on negatiivinen vaikutus betonin kestävyteen ja betoniraudoitukseen asti tunkeutuessaan se aiheuttaa raudoituskorroosiota. Näin ollen, jos purkubetonin raaka-aineena oleva betoni on huomattavasti karbonisoitunut, tällä voi olla vaikutusta siitä valmistetun betonin kestävyteen ja käyttöikänsä. On kuitenkin todennäköistä, että piha-kivi- ja -laattabetonituotteissa sillä ei ole vaikutusta niiden suunniteltuun käyttöikänsä eikä tuotteiden kestävyteen.

3. Betonikiviaineksen valmistaminen purkubetonista

3.1. Raaka-aineen laatu

Purkubetonijätteen puhtaus on tärkeämpää betonikiviaineskäytössä kuin maarakentamisessa. Puh-taudella ei tässä yhteydessä tarkoiteta niinkään haitallisia aineita vaan kappalemaisia epäpuhtauksia ja muuta kuin betoni- ja kivimateriaalia, kuten kipsilevyjätettä, lasia, keramiikkaa ja mineraalivillaa sekä myös orgaanisia materiaaleja, kuten puuta ja muovia. Betonimurskeessa saattaa olla myös jonkin verran metalleja, yleensä betoniteräksen kappaleita, vaikka ne pääosin saadaankin pois murskauksen yhteydessä magneettierottimella. Maarakentamiseen käytettävässä betonikiviaineuksessa sallitaan edellä mainittuja epäpuhtauksia niin, että kellumattomia epäpuhtauksia saa olla enintään 1 paino-% ja kellumattomia enintään 10 cm/kg. Betoninormeissa epäpuhtauksille on asetettu tiukemmat raja-arvot, joihin syynä on osin tekniset näkökulmat ja osin myös visuaaliset tekivät.

Maarakentamiseen tarkoitettussa ja siihen käyttötarkoitukseen hyvin soveltuvassa betonimurskeessa voi olla seassa myös tiiltä enintään 10 %. Tämä tiili voi olla sekä poltettua tiiltä että muita tiilimateriaaleja, kuten kahitiiltä. Tiileksi luetaan tässä yhteydessä myös erimerkiksi kevytbetoniharkot ja esim. Siporex-kevytbetonituotteet. Maarakentamisessa on katsottu, että jos näiden määrä on alle 10 %, sillä ei ole merkittävää betonimurskeen teknistä laatua heikentävää vaikutusta.

Betonikiviaineskäytössä voi olla tarpeen saada betonimurskeen raaka-aineeksi pelkkää betonia, jotta murskeesta saadaan ominaisuuksiltaan riittävän tasalaatuista betonikiviainesta.

Betonijätteessä voi olla myös haitallisia aineita ja siksi jätteen ympäristökelpoisuus tulee tutkia. Haitalliset aineet voivat olla peräisin betonin valmistuksen raaka-aineista, jotka sinällään ovat olleen ”puhtaita”, normaalisti käytettyjä raaka-aineita. Esimerkiksi raskasmetalleja esiintyy luonnon kiviaineksissa ja niitä on myös sementissä, johtuen sen raaka-aineista, kuten kivihiiilen lentotuhka, tai säilyvyyden takia sementtiin lisättävistä kromiyhdisteistä. Betonirakenteet ovat saattaneet myös kontaminoitua käytön aikana tai betonijätteen sekaan on saattanut päätyä purkuvaiheessa muita, haitallisia aineita, kuten asbestia, PAHia tai PCB:tä sisältäviä aineita.

Jotta purkubetonista saadaan laadukas ja turvallinen raaka-aine betonin valmistukseen, on tärkeää, että purkuvaiheessa varmistetaan sekä ennakkotutkimuksilla että purkutöiden ja jätteiden lajittelun laadukkaalla toteutuksella, että haitallisia aineita sisältävät materiaalit ja rakenteet on poistettu hyödyntämiskelpoisen materiaalin seasta.

Jos tavoitteena on purkubetonin käyttö betonikiviaineksen raaka-aineena, on purkuvaiheessa tärkeää tällöin huomioida myös tiilirakenteiden purkaminen erilleen betonijätteestä. Tutkimusvaiheessa voisi olla tarkoituksenmukaista selvittää, olisiko myös betonirakenteiden tarkempi lajittelu betonin alkuperäisen lujuusluokan mukaisesti tarpeen. Tällöin voitaisiin erotella esimerkiksi ontelolaatat ja muut korkeamman lujuusluokan betonit muusta betonista. On kuitenkin todennäköistä, että tyypillinen valmisbetoni, jota käytetään paikallavaluissa ja perustuksissa, on kuitenkin murskeeksi valmistettuna raelujuudeltaan ja muilta ominaisuuksiltaan riittävää käytettäväksi pienbetonituotteiden kiviaineksena. Tämä helpottaa purkutyötä ja samalla pienentää myös ylimääräisestä lajittelusta johtuvia kustannuksia.

3.2. Murskaus

Lähtökohtaisesti betonijätettä voidaan murskata samalla murskauslaitteistolla kuin luonnon kiviaineksia. On kuitenkin pitkän kokemuksen perusteella todettu, että iskupalkkimurskaimella betonimurskeelle saadaan parhaimmat ominaisuudet. Iskupalkkimurskain soveltuu luonnon kiviainesta hieman pehmeämmälle betonille hyvin. Esimerkiksi Rudus Oy:n Betoroc -betonimurskeet on aina valmistettu iskupalkkimurskaimilla. Viime vuosina iskupalkkimurskaimia on hankittu varta vasten betonijätteen murskaamista varten, kun murskeiden käyttö on lisääntynyt ja myös tekniseen laatuun on alettu kiinnittämään enemmän huomiota.

Leukamurskaimia käytetään Suomessa yleisesti maarakentamiseen tarkoitetun, karkeampirakeisemmän, kuten 0/90 mm:n murskeen valmistamiseen ja se soveltuu siihen ihan hyvin. Tyypillisesti leukamurskainta käytetään esimurskaimena ja sen perässä voi olla vielä kartiomurskain, jolla kiviaines tai betoni murskataan haluttuun raekokoon.

Betonikiviaineskäyttöön tarkoitettu betonimurske voidaan murskata jo lähtökohtaisesti mahdollisimman hienoksi. Voi kuitenkin olla teknisti tarkoituksenmukaisempaa murskata jäte esim. 0/45 mm:n murskeeksi ja lähteä siitä seulomalla valmistamaan soveltuvia lajikkeita betonikäyttöön. Betonikiviaineskäyttöön ylisuuret lajikkeet voidaan palauttaa murskaimeen tai ne voidaan ohjata maarakennuskäyttöön. Murskausprosessi on tärkeää optimoida sen mukaisesti, mitä lajiketta erityisesti halutaan tuottaa ja miten kyseistä tai kyseisiä lajikkeita saadaan syntymään mahdollisimman paljon.

3.3. Seulonta

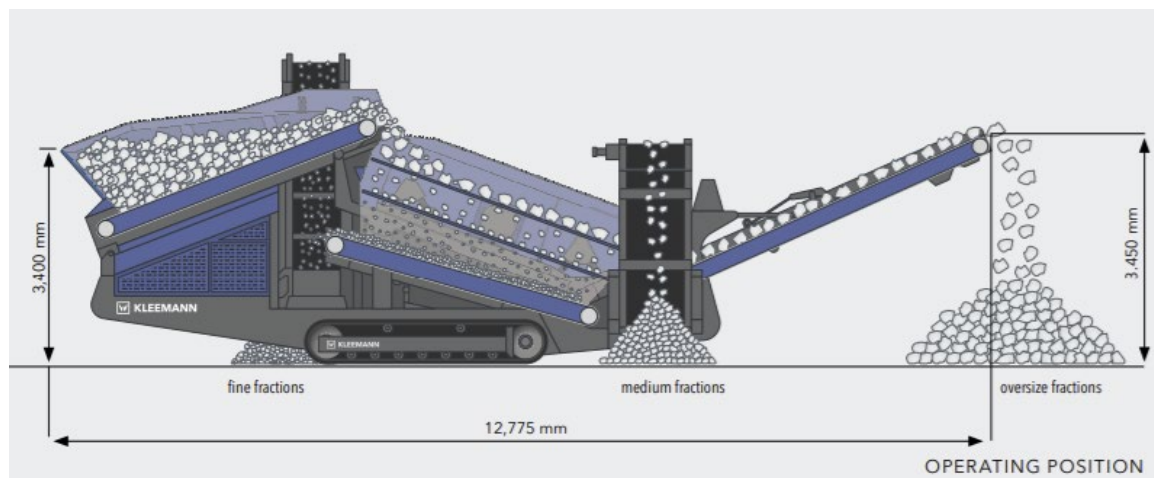
Betonikiviaineskäyttöön pelkällä murskaimella ei käytännössä saada tehtyä soveltuvia lajikkeita. Betonissa kiviaineksen maksimiraekoko riippuu valmistettavasta tuotteesta tai valmisbetonin käyttötarkoituksesta. Tämän selvityksen kohteena olevissa päällysteenä käytettävissä betonikivissä ja -laatoissa maksimiraekoko on käytännössä 16 mm, jolloin käytännössä tähän tarkoitukseen valmistettavan betonimurskeen maksimiraekoko (D) olisi noin 12 mm.

Betonikiviainesten suhteutuksella on suuri merkitys betonimassan ja valmiiden tuotteiden ominaisuuksiin. Siksi betonin valmistukseen käytetään yleensä 2-3 rakeisuudeltaan erilaista, katkaistua kiviainelajiketta sekä lisäksi fillerikiviainesta. Nämä betonin runkoaineet pyritään hankkimaan mahdollisimman läheltä kustannussyistä, koska kiviaineksen osuus koko betonimassasta on tyypillisesti n. 80-85 %. Siten saatavilla olevat kiviainekset vaikuttavat siihen, minkälaisia kiviaineskombinaatioita kullakin betonituotetehtaalla käytetään.

Jotta betonikäyttöön soveltuvaa betonimursketta voidaan valmistaa, täytyy murskauksen jälkeen murske seuloa haluttuihin fraktioihin. Seulontamenetelmiä on useita ja ne voidaan jakaa kuiva- ja märkämenetelmiin. Menetelmän valintaan vaikuttavat monet seikat, kuten se, halutaanko valmistaa 0-pohjaista materiaalia, kuten esimerkiksi 0/8 mm murske vai halutaanko panostaa erityisen laadukkaiden katkaistujen lajikkeiden saatavuuteen. Katkaistuilla lajikkeilla tarkoitetaan esimerkiksi 6/12 tai 8/12 mm mursketta, joista hienoaine on pyritty poistamaan mahdollisimman tehokkaasti.

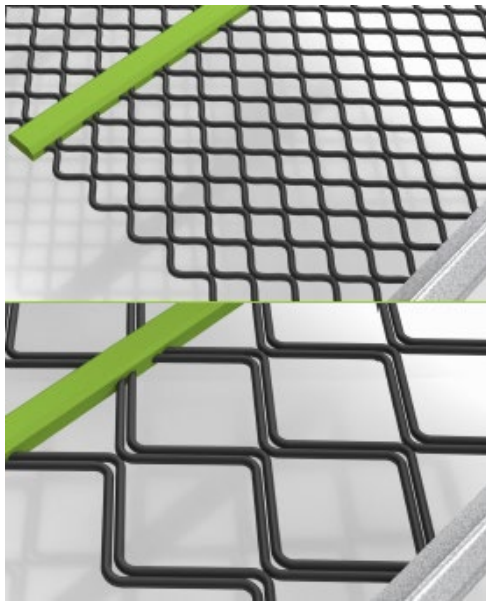
Kuivaseulonta

Kuivaseulontatekniikoita on useita, joista yleisimmin kiviainesten valmistuksessa käytetään täyryttäviä 1- tai 2-tasoseuloja. Lisäksi on olemassa mm. rumpu- ja tähtiseuloja. 1-tasoseulalla voidaan erottaa esimerkiksi 0-pohjainen lajike (esim. 0/8) ja sitä suurempi lajike. Kun valmistetaan betonikiviainelajikkeita, käytetään yleisesti 2-tasoseuloja, joissa alimpana on pienempisilmäinen seula, jonka läpäisevänä alitteena syntyy seulan silmäkoosta riippuen esim. 0/6 tai 0/8 mm:n lajiketta. Ylemmän seulan silmäkoosta riippuen sen läpäisee esim. 12 mm rakeet, jolloin seulastosta saadaan esim. 6/12 mm lajike. Lisäksi ylimmälle seulalle jää materiaali, jonka rakeisuus riippuu seulastolle syötetyn materiaalin rakeisuudesta. Jos seulalle on syötetty esim. 0/45 mm murske, ja seulan silmäkoot ovat 6 mm ja 12 mm, ylimmältä seulalta saadaan rakeisuudeltaan 12/45 mursketta.



Kuva 1. Kleemann Mobiscreen MS 13 Z 2-tasoseula

Riippuen runkoaineen lähtörakeisuudesta, murskaustekniikasta ja myös sääolosuhteista, seulastolta saatavien lajikkeiden saanto vaihtelee merkittävästi. Myös hienoaineksen katkaisukohta vaikuttaa merkittävästi ja ainakin Kivikolmio Oy:n asiantuntijan mukaan 8 mm olisi betonimurskeelle huomattavasti parempi katkaisukohta kuin sitä pienemmät. Toki myös seulalaite ja seulaverkot vaikuttavat lopputulokseen. Perinteiset (halvemmat) seulaverkot pyrkivät tukkeutumaan helposti, jos seulottava materiaali on vähänkään kostea. Markkinoilla on myös laadukkaampia ja uudentyyppisiä seulaverkkoja, joissa tukkeutuminen on huomattavasti vähäisempää ja siten hienoaineksen erottelu tehokkaampaa.



Kuva 2. FLEX-MAT seulaverkot, joissa seula on ”punottu” uudentyyppisesti ja verkon silmän muoto parantaa sen läpäisykykyä ja vähentää tukkeutumisherkkyttä

Märkäseulonta

Märkäseulonnassa seulottava runkoaines käytännössä pestään, jolloin hienoaines irtoaa karkeampien rakeiden pinnalta. Tällä menetelmällä saadaan valmistettua tasalaatuisia ja laadukkaita katkaisuja betonikiviainelajikkeita, joissa haitallinen, rakeiden pinnalla oleva hienoaines ja pöly on käytännössä poistettu. Tämä menetelmä ei sovellu, jos tavoitteena on hyödyntää nimenomaan hienoainespitoinen materiaali, koska se päätyy lietteeksi ja on siten hyvin hankalasti hyödynnettävissä betonin valmistuksessa. Toki lietemäisiä fraktioita voidaan laskeuttaa altaissa ja vielä sen jälkeen erotella niistä vettä esimerkiksi suotonauhapuristimilla, mutta siltikään hienoaineksesta ei todennäköisesti saada riittävän kuivaa. Tällaiselle lietteelle voi tuki löytyä hyödyntämiskohteita myös muista käyttötarkoituksista, kuten esimerkiksi maisemoinnit, kaatopaikkarakentaminen tai vaikkapa kasvualustat.

3.4. Luokittelumenetelmät

Seulontamenetelmien lisäksi mineraalisten materiaalien jalostamiseen on olemassa erilaisia luokittelumenetelmiä, joilla tarkoitetaan jonkin, yleensä hienorakeisen, osan erottelua muusta, karkeammasta materiaalista. Tällaisia menetelmiä ovat ainakin ilmaluokittelu sekä ADR-menetelmä (Advance Dry Recovery). Nämä kummatkin ovat kuivamenetelmiä, joista ilmaluokittelu on alettu käyttämään myös Suomessa kalliokiviaineksesta valmistettujen betonikiviainesten puhdistamisessa hienoaineksesta.

ADR-menetelmä on pääosin käytössä Suomessa jätteenpolton pohjakuonien käsittelyssä, jossa tämän teknologian avulla tehostetaan metallien talteenottoa pohjakuonasta erottelemalla rakeiden pinnalta hienoainesta, jolloin metallien erottelu seulonnalla ja pyörrevirtaerottimilla tehostuu.

Ilmaluokittelu

Ilmaluokittimeen voidaan syöttää vain melko hienorakeista materiaalia, eli tyypillisesti seulonnan jälkeä hienoin jae, kuten 0/2..4 mm. Ilmaluokittimessa tästä erotetaan käytännössä hienoin, pölymäinen fraktio, joka on todettu betonikiviaineskäytössä ei-toivotuksi, koska se lisää betonimassan vedentarvetta ja siten myös lisää sementin tarvetta, jotta vesisementtisuhte saadaan säilyvyys- ja työstettävyyssominaisuuksien näkökulmasta oikealle tasolle.

Betonimurskeelle on tehty ainakin yksi kokeilu luokittimen käytöstä hienoaineksen erottelussa, mutta tämä kokeilu onnistui huonosti. Betonimurskeesta oli ensinnäkin hyvin vaikea seuloa luokittimeen soveltuva, riittävän hieno fraktio ja toisekseen betonimurske on luonnolliselta kosteudeltaan kalliokiviainesta kosteampaa, jolloin luokittelu ei käytännössä onnistu, kun tekniikka perustuu pölymäisen, kuivan aineksen erotteluun ilman avulla.

ADR (Advance Dry Recovery)

ADR-menetelmä on uudentyyppinen teknologia, jota käytetään pääosin mineraalisten kierrätysmateriaalien jalostuksessa. Sitä käytetään hienojen ja kevyiden epäpuhtauksien ja hienoaineksen (0–4 mm) poistamiseen kierrätysmateriaalista. ADR-laitetta käytetään yleisesti käsittelyprosessin osana jätteenpolton pohjakuonien mekaanisessa käsittelyssä, jossa erotellaan mineraalisista jakeista metalleja. ADR menetelmä soveltuu käytettäväksi myös kosteahkoille materiaaleille, kuten juuri betonimurskeille, jotka tukkisivat kuivalle materiaalille tarkoitetun ilmaluokittimen. ADR toimii puhtaasti mekaanisesti ilman, että materiaalia pitäisi kuivata tai märkäuseuloa ensin. ADR-laitteeseen voidaan syöttää rakeisuudeltaan < 12 mm:n materiaalia. ADR on tehokkaimmillaan, jos materiaalista on ensin kuivaseulonnalla eroteltu jo osa 0/2 mm:n fraktiosta, mutta toki ADR-käsittelyä voidaan myös toistaa peräkkäin, jolloin saadaan suurempi osa hienoaineksesta puhdistettua karkeammista rakeista.

ADR-menetelmän etu on siinä, että se vähentää hienoaineksen erotteluprosessin monimutkaisuutta ja välttää pölyn (ilmaluokittelusta) tai lietteen (pesuseulonta) aiheuttamat ongelmat. Se käyttää kiinteistä energiaa katkaisemaan kosteuden ja hienojen hiukkasten muodostamat sidokset ja menetelmä voi luokitella materiaalit lähes riippumatta niiden kosteuspitoisuudesta. Kun materiaali on haotettu suihkuksi, hienot hiukkaset erotetaan karkeista hiukkasista.

3.5. ”Kevyt murskaus = paakkujen rikkominen” tuotetehtaalla ennen kiviainessiiloon syöttöä

Koska 0-pohjaiset betonimurskelajikkeet hyvin todennäköisesti ainakin jossain määrin jämähtävät varastokasalle siinä olevan sementin reaktioista johtuen, täytyy tällaisten lajikkeiden käytössä todennäköisesti olla joko varastokasalta kuormausvaiheessa tai betonitehtaalla kiviainestaskuun syöttämisen yhteydessä jonkinlainen paakkujen riktin. Tällä varmistetaan, että kiviaines, joka betonisekoittimeen syötetään, on rakeista ja ”juoksevaa” ja että se sekoittuu myllyssä sideaineiden, veden ja mahdollisen lisäaineiden kanssa tasaisesti. Yleensä kiviainestaskujen päällä on betonitehtaalla välipät, jotka estävät ylisuurten rakeiden pääsyn siiloon ja toki jossain määrin myös rikkovat paakkuja. Jos betonimurske on ollut varastokasalla vain vähän aikaa, nämä saattavat olla riittävät rikkomaan hieman paakkuuntunutta betonimursketta. Voi myös olla mahdollista ja tarpeellista selvittää, olisiko tällaiseen välppään mahdollista liittää voimakasta tärytystä tai jotakin muuta tekniikkaa, joka voisi rikkoa betonimurskepaakkuja vielä tehokkaammin.

On syytä myös huomioida, että jos betonimurske on tehtaan kiviainesiilossa kauan eikä sen syöttö myllyyn ole jatkuvaa, se saattaa myös holvaantua siiloon, jolloin se ei enää purkaudu annostelun kautta kunnolla. Myös joillakin luonnonkiviaineslajeilla saattaa esiintyä holvaantumisongelmaa ja siiloihin onkin kehitetty jonkinlaisia ns. kuusimaisia rakenteita, joilla voidaan parantaa kiviainesten liikkuvuutta siiloissa. Jos betonimurske holvaantuu tai jämähtää siiloon, voi olla todella hankalaa saada se sieltä pois ja siksi tähän asiaan on tärkeää löytää ratkaisut testaamalla eri menetelmiä käytännössä.

4. Purkubetonista valmistetun betonikiviaineksen varastointi

Betonimurskeesta seulottu hienorakeinen betonikiviaines, eli 0/8 mm fraktio, imee herkästi vettä. Se on siten liettymisherkkä, mutta pienemmissäkin määrin sadevesi ja jossain määrin myös ilmankosteus saavat aikaan sitoutumisreaktioiden käynnistymisen. Tämän johdosta materiaali paakkuuntuu varastokasalla.

Kun betonimurskeesta eroteltua hienorakeista ainesta käytetään betonin valmistuksessa, sen varastointi valmistamisen jälkeen tulisi tehdä katetussa tilassa, esimerkiksi katoksessa tai pressuhallissa, jolloin sadeveden pääsy materiaalin estetään ja materiaalin kosteus säilyy tasaisena. Betonimurske on kuitenkin luonnolliselta ominaisuudeltaan aina hieman kosteampaa kuin kalliomurske ja luonnon kiviaines, koska se huokoisena materiaalina sitoo kosteutta itseensä. Tästä syystä se saattaa myös hallivarastoinnissa jonkin verran ”jämhähtää” ja paakkuuntua.



Kuva 3. 0-pohjaisen betonimurskeen varastokasa. Sitoutumisreaktioiden johdosta hienoaines aiheuttaa kasaan lähes pystysuoria leikkauspintoja

Hieman paakkuuntuneen 0-pohjaisen betonimurskeen käyttö voi kuitenkin olla mahdollista siten, että siinä vaiheessa, kun sitä siirretään kasavarastosta betonitehtaan kiviainestaskuun, se ajetaan esimerkiksi täryseulan läpi, jolloin paakut todennäköisesti ainakin pääosin hajoavat. Tätä ja soveltuvia laitteistoja tulisi kuitenkin testata käytännössä eri pituisia aikoja kasalla olleen materiaalin käytössä, jotta soveltuva laitteisto ja menetelmä löydetään ja sen kustannuksia voidaan arvioida.

Karkean, eli katkaistun purkubetonimurskeen varastointi ja sen varastoinnin aikana käyttökelpoisena säilyminen on todennäköisesti helpompaa, kun sitoutumisreaktioita ja siten paakkuuntumista aiheuttava hienoaines on pääosin poistettu. Parhaiten rakeisena säilyminen voidaan varmistaa tämänkin fraktion osalta varastoimalla murske katetussa tilassa, jolloin materiaalin kosteus säilyy taissaisena eikä siten aiheuta haasteita betonireseptin vesi-sideainesuhteessa, jota säädetään massaansäilyttävän veden määrällä huomioiden kiviainesten kosteus.

Myös talviaika ja pakkasen hankaloittavat betonikiviainesten käyttöä erityisesti hienoainespitoisten materiaalien osalta, koska ne myös jäätyvät helposti niissä olevan korkeamman vesipitoisuuden johdosta. Toki betonituotetehtailla on talvisin käytössä kiviainesten lämmitys kiviainessiiloissa, mutta kovin jäätynyttä materiaalia kiviainestaskuihin ei kuitenkaan voida syöttää. Voi siis olla, että purkubetonimurskeiden käyttö tulisi rajata vain aikaan, jolloin ulkolämpötila pysyy plussan puolella ja selvittää sitten toiminnan vakiintuessa mahdollisuuksia modifioida tuotantolaitteistoja ja varastointimahdollisuuksia niin, että betonimurskekiviainekset saadaan pysymään sulana myös pakkasaikana.

Suoraan tuotannosta käyttöön tuotettava betonimurske voi toki olla yksi mahdollisuus, jolloin se ei ehdi kastua tai jäätyä, mutta käytännössä betonituotetehtaalla tarvittava päivittäinen kiviainestarve on määrällisesti niin pieni suhteessa kiviainesten tuotantolaitteiston kapasiteettiin, että ei ole taloudellisesti järkevää tuottaa sitä vain sitä mukaa, kun sitä käytetään.

5. Lainsäädäntö purkubetonimurskeen betonikiviaineskäytössä

Purkubetoni on jätelainsäädännön mukaisesti aina jätettä. Ainoastaan silloin, jos purettavasta rakennuksesta irrotetaan esimerkiksi betonielementit ehjänä ja ne käytetään sellaisenaan uudelleen ilman muuntamistoimia, kyseessä on uudelleenkäyttö, jolloin tällainen betoni ei ole jätettä. Toistaiseksi betonirakenteiden uudelleenkäyttö on vasta tutkimusasteella ja käytännössä kaikki purkutyö tapahtuu niin, että betonirakenteet puretaan rikkomalla ja näin syntyvästä betonijätteestä valmistetaan mursketta, joka hyödynnetään rakentamisessa. Purkubetonin käsittely on siis ympäristölainsäädännön tarkoittamaa jätteen käsittelyä, jolloin tulee noudattaa jäte- ja ympäristölainsäädäntöä. Koska tässä tapauksessa purkubetonista valmistetaan kiviainesta joko maarakentamiseen tai betonin valmistuksen raaka-aineeksi, kyseessä on myös rakennustuote, jolloin tulee noudattaa myös rakentamisen lainsäädäntöä, josta rakennustuoteasetus koskee rakennustuotteiden valmistusta ja markkinoille saattamista.

Seuraavassa on lyhyesti käsitelty sekä jäte- ja ympäristölainsäädännön että rakennustuoteasetuksen velvoitteet. Lisäksi on tuotu esiin kemikaalilainsäädäntö, koska myös sen mukaisten velvoitteiden arviointi tulee kyseeseen silloin, kun jätteestä tulee tuote. Näiden eri sektoreiden lainsäädäntöjen rajapintahaasteet on tunnistettu sekä kansallisesti että EU-tasolla ja niiden on todettu jossain määrin myös haittavan kiertotalouden toteutumista, kun jätteeksi päätyneet materiaalit pyritään palauttamaan takaisin käyttöön. Käytännössä eri sektoreiden lainsäädännön tulkinnan tekevät ympäristö- ja rakennusvalvontaviranomaiset omien toimivaltarajojensa puitteissa. Koska lainsäädäntö on jäte-tuote-rajapinnassa usein melko tulkinnanvaraista, on vaarana se, että eri viranomaiset tulkitsevat asioita eri tavalla ja viime kädessä vasta oikeusasteissa voidaan tehdä kokonaisvaltainen arviointi lainsäädännön oikeasta tulkinnasta huomioiden eri lainsäädäntösektorit.

Heinäkuussa 2021 muuttuneessa jätelaissa lain tarkoitukseen on nostettu ensi kertaa kiertotalouden edistäminen ja luonnonvarojen kestävä käyttö, joka toivottavasti alkaa ohjaamaan myös

viranomaispäätöksentekoa ja kiertotalouden mukaisten toimintamallien esteitä voidaan purkaa. Myös uudistuva maankäyttö- ja rakennuslaki tulee ohjaamaan nykyistä enemmän vähähiiliseen ja resurssitehokkaaseen rakentamiseen.

5.1. Jäte- ja ympäristölainsäädäntö

Jätteen, eli tässä tapauksessa purkubetonin, vastaanotto, varastointi ja käsittely esimerkiksi murskaamalla sekä murskeen varastointi, edellyttävät toiminnanharjoittajalta ympäristölupaa, koska kyseessä on jätteen ammattimainen ja laitostyöläinen käsittely. Myös jätteen hyödyntäminen, eli esimerkiksi murskeen käyttäminen raaka-aineena betonituotteiden valmistuksessa, edellyttää ympäristölupaa sitä hyödyntävältä tehtaalta. Maarakentamisessa betonimursketta voidaan hyödyntää MARA-asetuksen (843/2017) mukaisella rekisteröintimenettelyllä, joka helpottaa ja nopeuttaa viranomaismenettelyä. MARA-asetus ei kuitenkaan koske jätteen hyödyntämistä muussa toiminnassa.

Purkubetonista valmistettu murske on edelleen jätettä, vaikka se olisi pitkälle tuotteistettu ja CE-merkitty. Näin ollen sen vastaanottajalla tulee olla ympäristölupa ottaa vastaan ja hyödyntää kyseistä jätemateriaalia.

Laitosmaisesti (ympäristöluvallisessa toiminnassa) valmistetun purkubetonimurskeen jäteluonne voi päättyä, kun Suomen kansallinen end of waste -asetus astuu voimaan (arvioiden mukaan vuonna 2022) ja kyseinen murske täyttää asetuksen mukaiset vaatimukset. Tällöin poistuu myös end of waste betonimurskeen käyttäjältä velvollisuus hakea ympäristölupaa, koska kyseessä ei enää ole jäte.

Uuden raaka-aineen, oli se sitten jätestatuksella tai ei-enää-jätettä olevaa betonimursketta, käyttöönotto betonitehtaalla voi edellyttää joka tapauksessa ympäristöluvan muutosta. Kyseeseen saatava tulla myös viranomaismenettelyltään kevyempi ympäristöluvan selventäminen, koska kyseessä on ympäristövaikutuksiltaan lähinnä positiivinen vaikutus, mutta asia on tapauskohtaisesti selvítettävä kunnan ympäristöviranomaiselta. Betoniasema-asetuksen (858/2018) mukaisesti rekisteröidyillä betonitehtailla voidaan hyödyntää tehtaan omassa tuotannossa syntyvää ylijäämäbetonia, mutta sielläkin purkubetonimurskeen käyttö edellyttää lupamenettelyn vaatimusten selvittämistä kunnan ympäristönsuojeluviranomaiselta.

5.2. Rakennustuoteasetus

EU:n rakennustuoteasetus (EU) N:o 305/2011 koskee rakennustuotteiden CE-merkintää ja markkinoille asettamista EU:n alueella. Purkubetonista valmistettava kierrätyskiviaines kuuluu harmonisoidun eurooppalaisen betonikiviainesstandardin SFS-EN 12620 soveltamisalaan, joten se on CE-merkittävä, kun se asetetaan markkinoille eli käytännössä silloin, kun omistaja vaihtuu. Vaikka CE-merkintää ei tarvita silloin, kun materiaali käytetään omassa käytössä, tulee kuitenkin materiaalin tekninen laatu ja muut olennaiset ominaisuudet tutkia, jotta voidaan varmistua, että siitä valmistettava tuote, kuten betonipihakivet, täyttävät niille asetetut vaatimukset.

CE-merkissä ilmoitetaan tuotteen ominaisuudet standardin mukaisella tavalla huomioiden käyttökohteesta johtuvat vaatimukset. Suomessa kansalliset vaatimukset ja siten soveltamisohje standardiin SFS-EN 12620 on esitetty kansallisessa betonikiviainesstandardissa SFS 7003.

Purkubetonimurskeen valmistaja on rakennustuoteasetuksessa ja standardissa tarkoitettu kiviaineksen valmistaja ja hänen tulee tuntea nämä vaatimukset ja hänen on tehtävä betonimurskeen CE-merkintä. Betonikiviaineksilta edellytetään myös kolmannen osapuolen varmennusta (AVCP -luokka 2+), jonka hankinta on myös betonimurskeen valmistajalla.

5.3. Kemikaalilainsäädäntö

REACH-asetus (EY) N:o 1907/2006 koskee kemikaalien eli aineiden ja seosten rekisteröintiä, arviointia, lupamenettelyjä ja rajoituksista. REACH-asetusta ei sovelleta jätteisiin, mutta kuin liikutaan jäte-tuote-rajapinnassa tai viimeistään, kun jätteen jäteluonne päättyy, tulee tarkastella myös ne vaatimukset, joita kemikaalilainsäädäntö mahdollisesti asettaa tuotteelle ja sen valmistajalle.

REACH-asetuksen tulkintaohjeissa on todettu, että betonimurske ei ole aine eikä seos, koska sen ominaisuuksien kannalta kemiallista koostumusta merkityksellisempi on sen fysikaalinen olomuoto, kuten rakeisuus, hienoainespitoisuus ja raemuoto. Asetusta ja siten esim. käyttöturvallisuustiedotteen laatimisvelvollisuutta ei siis sovelleta betonimurskeeseen.

6. Jatkoselvitys- ja kehitystarpeet

Betonimassan ja siitä valmistettujen betonituotteiden ennakkokokeet sekä laboratoriossa että tehdaspiloteissa ovat ensi arvoisen tärkeitä, kun halutaan ottaa käyttöön uusioraaka-aine. Betoniteollisuuden omasta ylijäämäbetonista valmistetusta betonimurskeesta ja sen käytöstä betonituotteiden valmistuksessa on jo kokemuksia ja esimerkiksi Rudus Oy on jo tuonut markkinoille UUMA-pihakiven, jonka runkoaineesta n. 15 % on korvattu kierrätysbetonimurskeella. Ennakkokokeilla tulee selvittää, mitä betonimurskelajikkeita käyttötarkoituksessa on tarkoituksenmukaista hyödyntää. Tärkeää on myös huomioida reseptöinnissä sen betonitehtaan käytössä olevat muut kiviaineslajikkeet ja filleri, jossa tuotantoa aiotaan tehdä, koska pelkästä betonimurskeesta on tutkimustiedon mukaan melko vaikeaa saada tehtyä riittävän kestäviä ja ominaisuuksiltaan tuotetehdastuotantoon soveltuvaa betonimassaa.

0-pohjaisen betonimurskeen, kuten 0/8 mm, soveltuvuus ja vaikutukset betonin ja betonituotteiden ominaisuuksiin edellyttää kattavia betonitutkimuksia. Perinteisesti betonivalmistuksessa pyritään lähtökohtaisesti välttämään tällaisten ns. koostekiviainesten käyttöä, koska sen rakeisuusalue on laaja ja se on siten vaikeasti hallittavissa, kun tehdään betonimassan suhteutusta. Betonikiviaineksinä pyritään lähtökohtaisesti käyttämään katkaistuja lajikkeita, joista hienoaines on poistettu. Betonimassaan tarvittava hieno fraktio tuodaan massaan fillerillä, jolloin hienoaineksen määrää ja myös sen laatua on helppo säätää ja sideaineiden, erityisesti sementin määrä, saadaan optimoitua.

Betonimurskeesta valmistettua 0/8 mm lajiketta kannattaa kuitenkin tutkia esimerkiksi juuri pienbetonituotteiden valmistuksen runkoaineena, koska sen myötä massaan tulevan ”lisäsementin” vaikutuksia ei ehkä kuitenkaan ole vielä riittävästi osattu huomioida, jos on käytetty betonitutkimuksen ja betonisuhteutuksen perinteisiä olettamuksia ja lainalaisuuksia, joissa kiviaines on kiviainesta ilman mitään sitoutumisominaisuuksia. Betonimassan rakeisuuden optimointi on säilyvyysominaisuuksien ja pitkäaikaiskestävyyden kannalta tärkeää, joten perinteisiä betonin suhteutuksen lähtökohtia kannattaa kuitenkin kunnioittaa. Lujuuden kehitystä kannattaa seurata pidempään, kuin normaalin 28 tai 91 vuorokautta, koska saattaa olla, että betonimurskeen käyttö voi pidemmän ajan kuluessa vielä aiheuttaa lujuuden kehitystä ja siten säilyvyys- ja pitkäaikaiskestävyys saattavat olla parempia, kuin mitä kesken lujittumisprosessin tutkituissa näytteissä tai koekappaleissa.

Myös katkaistujan betonimurskelajikkeita kannattaa testata ja samalla optimoida koko betonimurskeen valmistusprosessia. Kun valmistetaan katkaistua lajiketta, murskeesta jää yleensä yli myös muita lajikkeita, joille on löydettävä käyttö- ja hyödyntämiskohteet, koska muuten prosessista syntyy

paljon ylijäämää eikä se todennäköisesti ole myöskään taloudellisesti kannattavaa. On todennäköistä, että karkeammille lajikkeille, joita ei voida käyttää betonin valmistuksessa, löytyy edelleen ainakin maarakentamisesta kysyntää.

Ongelmallinen materiaali, jota purkubetonijätteen jalostuksessa syntyy, on todennäköisesti hienoaines, joka katkaistuista lajikkeista seulotaan pois. Tälle materiaalille voisi kyllä löytyä soveltuvia käyttökohteita esimerkiksi mullan ja kasvualustojen valmistuksesta, johon se toisaalta toisi mineraalista ainesta, mutta toisaalta myös kalkkia, jota tarvitaan mm. pH:n säädössä kasveille optimaaliseksi. Betonimurskeen melko korkea pH on pääasiassa nähty ongelmana, mutta voisiko olla löydettävissä myös käyttökohteita, joissa sitä voitaisiin hyödyntää? On myös tutkimuksilla todettu, että betonimurske sitoo itseensä hiilidioksidia eli karbonatisoituu, jonka ominaisuuden hyödyntämistä ei vielä ole juurikaan tutkittu eri käyttötapauksissa.

Betonikiviainekseksi soveltuvan purkubetonimurskeen valmistusprosessi tarvitsee vielä konkreettista ja kokeellista selvittämistä. Riittävän puhtaan raaka-aineen saatavuus ei ole itsestään selvyyttä, koska rakennusten purkaminen tehdään tällä hetkellä betonijätteen lajittelun ja käsittelyn osalta pelkästään sillä tasolla, että se kelpaa maarakentamiseen. Parempi lajittelu on varmasti mahdollista ja tässä arvoketjun osapuolena ovat purettavien rakennusten omistajat sekä purku-urakoitsijat. Betonikiviainekseksi soveltuvan purkubetonimurskeen valmistusprosessin osavaiheet ovat pääosin olemassa (luku 3) ja soveltuvia laitteistojakin on myös Suomessa. Myös tässä kokeilemisen kautta on tärkeää selvittää soveltuva laitteistokombinaatio haluttujen lajikkeiden tuottamiseksi ja huomioida siinä raaka-aineen ominaisuuksien vaikutukset ja esimerkiksi epäpuhtauksien mekaanisen poistamisen tarpeet vielä käsittelyn aikana.

Myös betonimurskelajikkeiden valmistuksen jälkeinen varastointi sekä varastoitujen lajikkeiden käytökelpoisuuden varmistaminen varastoinnin jälkeen betonituotetahtaalille toimitettaessa, vaatii menetelmäkehitystä ja käytännön testaamista ulko-olosuhteissa.

Purkubetonista valmistettavan betonikiviaineksen taloudellista kannattavuutta on tarkoituksenmukaista myös selvittää, jotta saadaan faktatietoa eri tavoilla valmistettujen ja eri ominaisuuksia omaavien betonimurskeiden valmistuskustannuksista. Myös betonimurskeen käytön kustannusvaikutukset betonimassan kustannuksina on tärkeää selvittää. Jos betonimurskeen käyttö lisää betonimassassa tarvittavan sementin käyttömäärää, on todennäköistä, että taloudellinen kannattavuus heikenee siten myöskin haitalliset ympäristövaikutukset kasvavat.

Kustannusten osalta ei kuitenkaan kannata ajatella pelkästään nykytilannetta. Suomessa kiviainekset ovat vielä hyvin edullisia ja niitä on saatavilla yleensä melko lyhyiden kuljetusmatkojen päässä. On kuitenkin selvää, että ilmastovaikutusten sekä kiertotalous- ja vähähiilisyystavoitteiden saavuttamiseksi, on otettava käyttöön myös ohjauskeinoja, jotka tulevat muutamaa nykytilannetta myös perinteisten ratkaisujen kustannusten osalta. On erittäin tärkeää, että uusia ratkaisuja kehitetään jo nyt, jolloin voidaan valmistautua siihen, että ne ovat käyttöönotettavissa sitten, markkinat ovat siihen valmiit tai kun niihin on pakko siirtyä. On myös huomioitava, että kun uusia ratkaisuja ja teknologioita on kehitetty ja kaupallistettu, on helpompi vaatia myös hallinnollisia ja poliittisia toimenpiteitä, joilla uusien puhtaampien ja ekologisesti kestävien ratkaisujen kilpailukykyä parannetaan.