

BETONIN VALMISTUKSEN SIVUVIRTOJEN KUVAUS

Case Rakennusbetoni- ja Elementti Oy

Tiivistelmä

| | | |
|---|-------------------------------------|-------------------------------|
| Tekijä Ukkola, Teemu | Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK | Valmistumisaika Syksy 2020 |
| | Sivumäärä 70 + 4 | |
| Työn nimi Betonin valmistuksen sivuvirtojen kuvaus Case Rakennusbetoni- ja Elementti Oy | | |
| Tutkinto Insinööri (AMK), Energia- ja ympäristötekniikka | | |
| <p>Ihmiskunnan hallitsemattoman väestönkasvun, kulutuskäyttäytymisen sekä neitseellisten luonnonvarojen kestäättömän käytön seurauksena maapallon kantokyky rajoittuu. Teollisuudesta syntyy huomattava määrä hiilidioksidipäästöjä, mikä vauhdittaa ilmastonlämmenemistä ja aiheuttaa erilaisia ongelmia, kuten ympäristön monimuotoisuuden heikkenemistä ja joidenkin eliölajien massasukupuuton uhkaa. Teollisuusyrityksissä on nykyään pohdittava, kuinka hiilidioksidipäästöt saadaan minimoitua ja materiaalien käyttö tehokkaaksi, jolloin materiaalia menee mahdollisimman vähän hukkaan ja raaka-aineet voitaisiin käyttää alkuperäisen käyttökohteen jälkeen uudelleen.</p> <p>Opinnäytetyö on tehty Rakennusbetoni- ja Elementti Oy:n toimeksiannosta. Työssä tutkitiin betoniteollisuusyrityksen betonijätteen muodostumista ja uudelleenkäyttöön johtavaa jalostusprosessia sekä lainsäädäntöä, joka ohjaa betonimateriaalien uusiokäyttöä tuotteissa tai erilaisissa alkuperäisestä poikkeavissa käyttökohteissa. Työssä kuvataan toimeksiantajana toimivan betonitehtaan tuotannon ylijäämäisen betonimateriaalin kiertokulua tehdasalueella. Betonisivuvirtoja syntyy satoja tonneja vuodessa ja niiden laadukasta lajiteltua jalostusta on harjoitettava entistä enemmän. Sivuvirtojen hallinnalla voidaan parhaassa tapauksessa säästää luonnonvaroja ja saavuttaa taloudellista hyötyä.</p> <p>Työssä pyrittiin huomioimaan ja kuvaamaan kaikki betonisivuvirtojen syntymis-, keräys- ja varastointitilanteet. Betonijättemäärien keräystä arvioitiin tuotantotiloissa vertaamalla ja laskemalla tuotantoon valmistettavien betonien määrää jätteen määrään tarkkailukierroksilla. Varastointialueiden toimintaa esitellään yhdessä betonisivuvirtojen jalostustyövaiheiden kanssa. Jalostusvaiheessa eritellään sivutuotteistetut betonijätteet ja niiden hyödyntämiskäyttökohteet.</p> <p>Työssä käytettäviä toteutusmenetelmiä olivat tehdasalueen tuotantoalueiden tarkkailu ja havaintojen raportointi, jätemäärien mittaaminen ja dokumentointi sekä tehtaan työntekijöiden haastattelut. Tiedonlähteinä toimivat toimeksiantajayrityksen sisäiset dokumentit, alan kirjallisuus sekä internet-lähteet. Työn keskeinen tulos on sivuvirtalajikekohtainen kuvio, johon on koottu tehtaan betonisivuvirtojen syntypaikat, niiden esivarastointi-, jalostus- ja tuotteistamisvaihtoehdot sekä jatkokäyttökohteet.</p> | | |
| Asiasanat betoniteollisuus, kiertotalous, materiaalisivuvirrat, betonijäte | | |

Abstract

| | | |
|---|--|--------------------------|
| Author Ukkola, Teemu | Type of publication Bachelor's thesis | Published Autumn 2020 |
| | Number of pages 70 + 4 | |
| Title of publication Description of concrete production's by-products Case Rakennusbetoni- ja Elementti Oy | | |
| Name of Degree Bachelor of Environmental Engineering | | |
| <p>As a result of uncontrolled population growth, consumption behaviour and unsustainable use of virgin natural resources the Earth's carrying capacity is limited. Industry emits a significant amount of carbon dioxide which accelerates global warming and causes various problems such as the loss of environmental diversity and the threat of mass extinction of some species. These days industrial companies need to consider how to minimize carbon dioxide emissions and make the use of materials more efficient, so that the material is wasted as little as possible and the raw materials could be reused after the original use.</p> <p>The thesis was commissioned by Rakennusbetoni- ja Elementti Oy. The formation of concrete waste from a concrete industry company, and the process that ends in the reuse, as well as the legislation that governs the reuse of concrete materials in products or various non-original applications were studied in the work. The thesis describes the circulation of surplus concrete material in the production area of the concrete plant under review. Each year hundreds of tonnes of concrete by-products are generated, and their high-quality sorted processing must be carried out even more. At its best, by the side-stream management natural resources can be saved and economic benefits can be achieved.</p> <p>The aim of the work was to take into account and describe all situations of the generation, collection and storage of concrete side streams. In the observation rounds the collection of concrete waste was assessed in the production facilities by comparing and calculating the amount of concrete to be produced for production with the amount of waste. The operation of the storage areas is presented together with the stages of processing the concrete side streams. In the processing phase the by-produced concrete waste and the uses for its utilization are specified.</p> <p>Information sources used in the work were the company's internal documents, literature of the field and web sources. As the implementation methods were used observation of the production areas of the concrete factory, reporting of observations, the measurement and documentation of concrete waste volumes and interviews with the employees. The main result of the work is a figure of the side stream variety, which contains the locations of the factory's concrete side streams, their pre-storage, processing and production options as well as re-use purposes.</p> | | |
| Keywords Circular economy, concrete industry, concrete waste, material side streams | | |

SISÄLLYS

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | JOHDANTO | 1 |
| 2 | KIERTOTALOUS JA MATERIAALISIVUVIRRAT BETONITEOLLISUUDESSA | 3 |
| 2.1 | Kiertotalous..... | 3 |
| 2.2 | Kiertotalous betoniteollisuudessa..... | 3 |
| 2.3 | Valtakunnallinen jätesuunnitelma..... | 7 |
| 2.4 | Sivuvirrat betoniteollisuudessa | 8 |
| 3 | BETONIRAKENTAMISEN SIVUVIRTOJA OHJAAVA LAINSÄÄDÄNTÖ..... | 13 |
| 3.1 | EU:n jätehuoltolaki..... | 13 |
| 3.2 | EU:n rakennustuoteasetus..... | 14 |
| 3.3 | Ympäristönsuojelulaki 527/2014 | 14 |
| 3.4 | Jätelaki 646/2011 | 14 |
| 3.5 | Valtioneuvoston asetus 591/2006 (MARA-asetus) | 15 |
| 3.6 | Tehtaan sivutuotteita koskevia lakeja, asetuksia, määräyksiä ja ohjeita..... | 18 |
| 4 | BETONI MATERIAALINA | 19 |
| 4.1 | Betonin käyttökohteet | 19 |
| 4.2 | Betonin ominaisuudet | 19 |
| 4.3 | Kiviainesten käyttö..... | 21 |
| 5 | BETONITUOTANNON SIVUVIRRAT..... | 22 |
| 5.1 | Betonimurske..... | 22 |
| 5.2 | Betonimurskeen kelpoisuus ja CE-merkintä..... | 23 |
| 5.3 | Kevytkiviainekset | 24 |
| 5.4 | Betoniliete (flokkulointijäte) ja kierrätysvesi..... | 25 |
| 6 | TOTEUTUSMENETELMÄT | 26 |
| 6.1 | Tiedonhankinta | 26 |
| 6.2 | Kenttätyöskentely | 26 |
| 7 | TEHDASESITTELY | 27 |
| 7.1 | Tuotannon kuvaus | 27 |
| 7.2 | Betonin kierron kuvaus | 27 |
| 7.3 | Betonisivuvirtojen keräys | 28 |
| 7.4 | Virheelliset tuotteet | 31 |
| 7.5 | AKO Wall -tuotanto | 32 |
| 7.6 | Betonimyllyt ja asemat..... | 33 |
| 7.6.1 | Betonimylly 3 | 33 |

| | | |
|-------|---|----|
| 7.6.2 | Betonimylly 1 | 34 |
| 7.6.3 | Betonimyllyt 4 ja 5 | 35 |
| 7.7 | Betonin, betonilietteen ja veden kierrätys betonitehtaalla..... | 36 |
| 7.8 | Sivuvirtojen jalostus | 42 |
| 7.8.1 | Varastointialueen kuvaus..... | 43 |
| 7.8.2 | Esivarastointi | 45 |
| 7.9 | Betonimurskeiden valmistus | 48 |
| 7.9.1 | Ylijäämäbetonin soveltamista | 56 |
| 7.9.2 | Laadunvalvonta | 57 |
| 8 | TULOKSET..... | 58 |
| 9 | YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET | 63 |
| | LÄHTEET | 65 |
| | LIITTEET | 70 |

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty toimeksiantona Hollolassa sijaitsevalle Rakennusbetoni- ja Elementti Oy:lle. Yritys on kolmen yrityksen konserni, johon kuuluvat lisäksi Hollolan Sora Oy ja Mikrobetoni Oy. Yrityksen pääasiallinen tuotanto koostuu valmisbetonituotannosta, erilaisista betonituotteista ja myytävistä kiviaineksista. Opinnäytetyö käsittelee Rakennusbetonin ja osittain Hollolan Soran toimialuetta. Työssä ei käsitellä Mikrobetonin valmisbetoniasemaa.

Työn tarkoituksena oli selvittää betonia ja betonituotteita valmistavan yrityksen tuotannosta syntyviä betonisivuvirtoja tehdasalueella. Tutkittavat pääsivuvirrat voidaan jakaa tuoreeseen ylijäämäbetoniin ja kovettuneeseen betoniin. Työn tavoitteena oli kuvata yrityksen tuotannon betonisivuvirtojen mallintamista ja löytää kehittämiskorjauksia. Työn aihe kohdistui kiertotalousmallin mukaiseen toimintaan, jolla voidaan vahvistaa yrityksen asemaa ympäristöystävällisten toimintatapojen ja lakien asettamien tavoitteiden mukaisesti.

Tutkimuksessa käsitellään betonitehtaan tuotantoprosesseissa syntyviä sivuvirtoja ylijäämäbetonin osalta. Tutkimuksen päätavoitteen saavuttamiseksi tulee kohdeyrityksen karttoittamisen ja analyysien perusteella tunnistaa nykytilanne eli ylijäämäbetonin syntykohteet ja betonijätteen lajiteltu keräys ja varastointi sekä jalostusvaiheet ja vaihtoehtoiset käyttömahdollisuudet. Nykytilasta on tarkoitus antaa selkeä kuvaus visuaalisten hahmotelmien, kuten kuvioiden, kuvien ja taulukoiden esittämänä betonisivuvirroista tehdasalueella. Tutkittavia kohteita ovat betonijätteen valmistuksesta, tuotantotiloista ja kuljetuksesta sekä kaluston pesusta syntyneet sivuvirrat, joiden laadun perusteella betonijäte luokitellaan ja jalostetaan haluttuun raekokoluokkaan. Jalostettujen sivuvirtojen käyttö vähentää luonnon neitseellisiä raaka-aineita ja madaltaa yrityksen jätehuollon kustannuksia betonijätteen hävittämisen osalta. Sivuvirtojen lajikekohtainen kuvaus voi toimia havainnollistavana ohjeena betonin kuljetuksen ja jätteen käsittelyn parissa työskenteleville. Kokonaisvaltaisen betonisivuvirtojen kuvauksen pohjalta voidaan havaita uusia kehittämiskohteita ja viedä niitä eteenpäin.

Opinnäytetyössä paneudutaan Euroopan Unionin direktiiveihin, Suomen lainsäädännön asettamiin lakeihin ja kunnallisiin ohjeisiin sekä viitataan standardeihin ja tuotteistamiseen vaadittaviin CE-merkintöihin. Työn teoriaosuudessa kuvataan lyhyesti betonin raaka-aineiden valmistuksen hiilidioksidipäästöjä, mutta pääasiassa teoriaosuus käsittelee kiertotaloutta, materiaalitehokkuutta, betonin ominaisuuksia sekä betonisivuvirtoja ja niiden hyödyntämistä. Tehtaalla käytettävien sivuvirtojen jalostuskalustojen, kuten betonin kierrätyslaitoksen ja murskaus- ja seulontalaitteiston, toiminta kuvaillaan yleisellä tasolla. Työ on

osittain salainen ja tästä syystä kaikkia tutkimustuloksia ei voida julkaista. Salassa pidettäviin asioihin kuuluvat muun muassa tuotantokohtaiset betonin valmistusmäärät.

Tutkimustyön tavoitteisiin ohjautuvat kysymykset ovat:

- Mitä velvoitteita ja mahdollisuuksia ylijäämäbetonin hyödyntämiseen kuuluu?
- Missä yhteydessä ylijäämäbetonia muodostuu?
- Miten yrityksen betonisivuvirtojen synty tapahtuu eri tuotantoprosesseissa?
- Kuinka betonisivuvirrat lajitellaan jalostettavaksi ja tuotteistetaan?
- Kuinka betonirakentamisen ekologisuutta on parannettu raaka-aineiden ja materiaalihävikin osalta?

2 KIERTOTALOUS JA MATERIAALISIVUVIRRAT BETONITEOLLISUUDESSA

2.1 Kiertotalous

Kiertotalous on talousmalli, jossa materiaalit ja raaka-aineet kiertävät pitkään talouden käytössä, eikä jätettä synny ja materiaalia mene hukkaan. Tavoite on säästää luonnon resursseja ja hyödyntää materiaalit tehokkaalla tavalla suljetussa kierrossa. Tuotteet pyritään suunnittelemaan uudelleen käytettäväksi. Materiaalien arvo säilyy tai nousee kierrossa ja ympäristölle haitalliset vaikutukset pienenevät. Suomen itsenäisyyden juhlarahasto (Sitra) edistää Suomessa tietoutta kiertotaloudesta. (Elinkeinoelämän keskusliitto 2016; Sitra 2020.)

Vuonna 2016 Sitra laati maailmanlaajuisesti ensimmäisen kiertotalouden kansallisen tiekartan. Tiekartassa käsitellään kiertotalouden kannattavimmat toimenpiteet, joilla voidaan vastata ilmastonmuutoksen ja kaupungistumisen haasteisiin sekä luonnonvarojen väheneemiseen. Vuonna 2017 julkaistiin Kiertotalouden toimenpideohjelma jatko-osana Suomen kiertotalouden tiekartalle hallituksen toimesta. Maaliskuussa 2019 päivitettiin tavoitteiden osalta kiertotalouden tiekartta 2.0. Nykyisen hallituksen hallitusohjelmassa on tavoitteena vahvistaa Suomen asemaa kiertotalouden suunnannäyttäjänä. (Sitra 2020.)

Maapallon kantokyky rajoittuu, jolloin on opittava sopeutumaan uusiin kantokyvyn rajoihin. Kiertotaloudelliseen muutokseen on väistämättä sopeuduttava nykyisen väestönkasvun ja kulutuskäyttäytymisen vuoksi. Kulutuskäyttäytyminen pyritään muuttamaan omistamisen sijasta palveluiden käyttämiseen. (Sitra 2020.) Nykyisellä luonnonvarojen käyttötahdilla tarvittaisiin arviolta 1,6 maapallon verran resursseja ylläpitämään nykyistä hyvinvointia. Materiaalien kulutustahti on näillä näkymin kasvamassa tulevaisuudessa. Uusiutumattomien luonnonvarojen riittämättömyyteen ja hintojen nousuun varautuminen auttaa yrityksiä kehittämään omavaraisuutta. Materiaalitehokkuuden kehittäminen suunnittelussa, tuotannossa ja tuotteiden elinkaaren lopussa ovat ratkaisuja kehittää ennakoivia ratkaisuja raaka-ainepulaan ja pitää yritys kilpailukykyisenä. (Elinkeinoelämän keskusliitto 2016.)

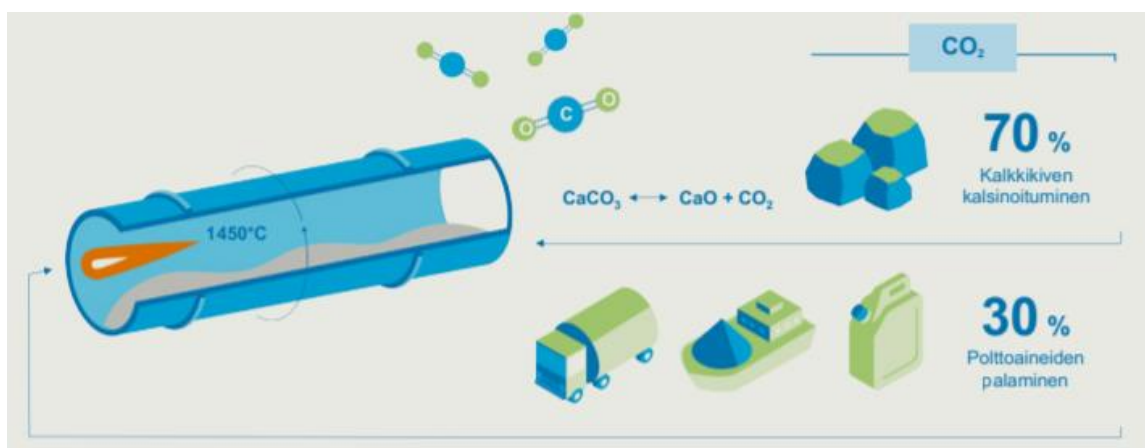
2.2 Kiertotalous betoniteollisuudessa

Betoniteollisuuden kiertotalous jakaantuu raaka-aineisiin, polttoaineisiin, tuotannon prosesseihin, tuotteisiin ja käyttöelinkaaren loppupäässä oleviin materiaaleihin (kuvio 1).

Betonin pääraaka-aineet ovat runkoaine eli kiviaine, sementti ja vesi. Betonirakentamisessa ympäristöä ja ilmastoa kuormittava teollisuusala on sementtiteollisuus, erityisesti siihen kuuluva louhinta ja sementin valmistaminen. Sementin valmistuksessa syntyy hiilidioksidipäästöjä noin 700 kilogrammaa klinkkeritonnia kohden. (Betoniteollisuus ry 2020e.)

Hiilen kierto ja sementin valmistus

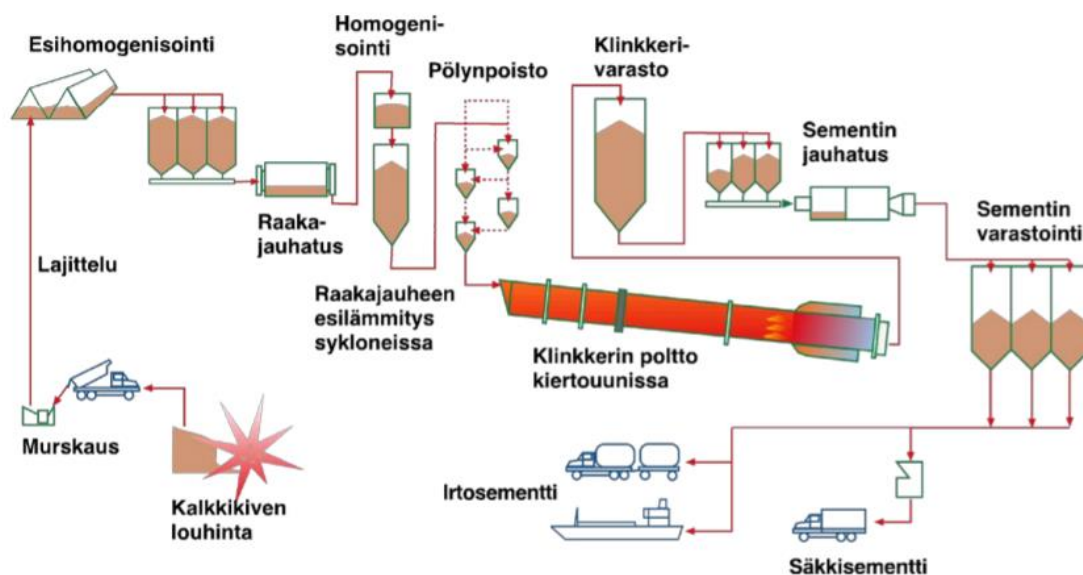
Kalkkikivestä peräisin olevien hiilidioksidipäästöjen määrä on sementin valmistuksen hiilidioksidipäästöstä noin 70 % (kuvio 2). Sementtiteollisuudessa kalkkikivestä valmistettavan sementin vapauttama hiilidioksidi sitoutuu vielä takaisin betonirakentamisessa betonisiin rakenteisiin ja sivuvirtoihin. Ilmiötä kutsutaan karbonatisoitumiseksi, joka on hidas kemiallinen betonin neutraloitumisprosessi betonirakenteissa. Kierron loppuun tulneiden betonirakenteiden murskaaminen vauhdittaa kalkkikivestä valmistetun sementin karbonatisoitumista. Karbonatisoitumista käsitellään myöhemmin tämän opinnäytetyön luvussa 4.2. (Ahlberg 2020, 5.)



Kuvio 2. Sementin valmistuksen hiilidioksidipäästöjen jakautuminen (Ahlberg 2020, 3)

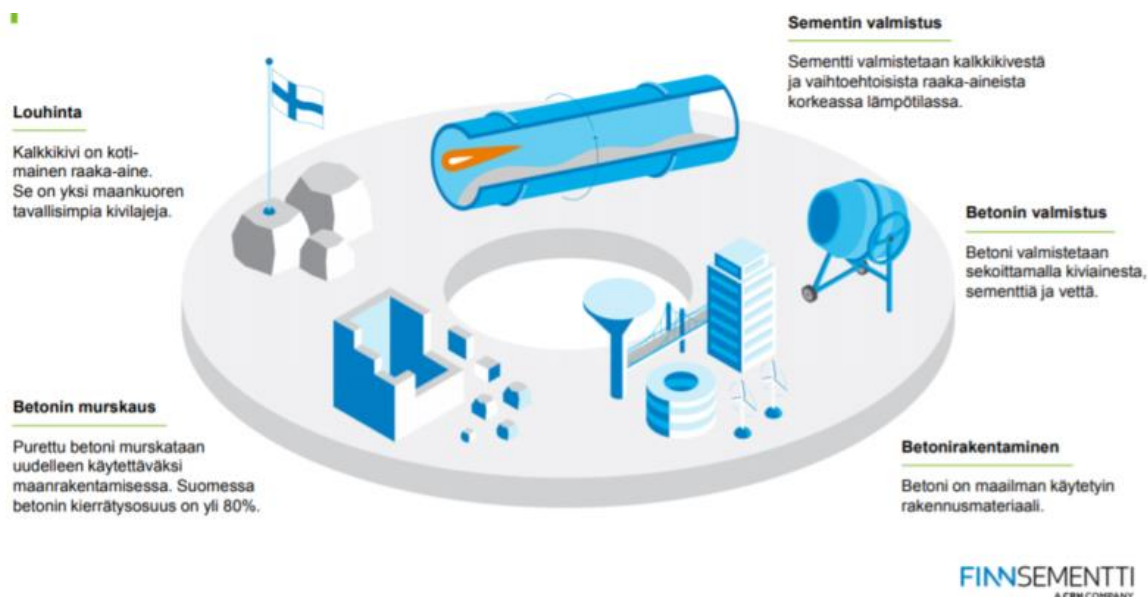
Sementin tuotanto on kotimaassa louhittua kalkkikiveä, joka murskataan ja lajitellaan ennen raakajauhatusta. Kalkkikivestä saadaan kalsiumkarbonaattia. Sementin valmistuksen raaka-aineena käytetään hyödyksi vuosittain noin 260 000 tonnia erilaisia teollisuudesta syntyneitä jätteitä ja sivutuotteita. (Kivifaktaa 2016.) Kalkkikivilouhoksen sivukivistä ja teollisuuden sivutuotteina saadaan sementin valmistukseen tarvittavia raaka-aineita: piioksidia, rautaoksidia ja alumiinioksidia. Näiden raaka-aineiden syöttösuhteet määritellään kemiallisesti, jotka menevät raaka-ainemylllyyn jauhattavaksi. Sementtiklinkkeriä valmistetaan kiertouunissa lämpötilan ollessa 1400 °C, jolloin kalkki-, pii-, alumiini- ja rautayhdisteet muuttuvat kalsiumyhdisteiksi. Rakennussementtien valmistuksessa jauhetaan klinkkeriä, kipsiä ja seosaineita, kuten kalkkikiveä ja masuunikuonaa. (Finnsementti 2020.) Masuunikuona lajitellaan kolmeen lajikkeeseen: masuunikuonajauhe, ferrokromikuona ja

silika (BY 65 Betoninormit 2016, 130). Kuviossa 3 on esitetty sementin valmistusprosessin eri vaiheet.



Kuvio 3. Sementin valmistusprosessi (Johansson 2020)

Sementin valmistuksessa käytetään lentotuhkaa, jota saadaan muun muassa lämpövoimalaitosten polttoprosesseista savukaasuista suodattamalla. Kuivalla lentotuhkalla voidaan korvata sementin käyttöä betonin valmistuksessa. Tämä parantaa niin betonin laatua kuin betonin valmistuksen kustannustehokkuutta, sillä kalliiden kiviaineslajikkeiden tarve pienenee. Terästeollisuudesta peräisin olevaa masuunikuonaa hyödynnetään sivutuotteena betonin valmistuksessa yli 300 000 tonnia vuodessa. Sementtiuunin energianlähteinä käytetään hiilidioksidineutraaleja bio- ja kierrätyspolttoaineita. (Betoniteollisuus ry 2020b.) Kuviossa 4 esitetään sementin kiertokulku louhinnasta betonin kierron elinkaaren päättymiseen. Tässä työssä tutkitaan betonin murskaamisen jälkeistä jatkojalostusta.



Kuvio 4. Sementin kiertokulku betonin elinkaareissa (Ahlberg 2020, 4)

2.3 Valtakunnallinen jätesuunnitelma

Valtakunnallinen jätesuunnitelma on ympäristöministeriön ja jätealan asiantuntijoiden yhteistyönä toteutettu ohjelma. Tavoitteena on ehkäistä jätteen syntyä ja siirtää kohti kiertotalousmallia vuoteen 2023 mennessä. Ohjelmaa kutsutaan nimellä ”Kierrätyksestä kiertotalouteen” ja se sisältää toimenpiteitä, joilla tavoitteet ovat saavutettavissa. Jätesuunnitelmassa on neljä painopistealuetta: biohajoavat jätteet, sähkö- ja elektroniikkajäte (SER), rakennusjäte ja yhdyskuntajäte. (Ympäristöministeriö 2019.)

Jätesuunnitelmassa on lisäksi pidemmän ajan tavoitteita, jotka on asetettu vuoteen 2030. Jätteen synnyn ja jätehuollon tavoitteet on koottu seitsemän kohdan listaksi:

1. Laadukas jätehuolto on osa kestävästä kiertotaloudesta.
2. Materiaalitehokas tuotanto ja kulutus säästävät luonnonvaroja sekä hillitsevät ilmastomuutosta.
3. Jätteen määrä on vähentynyt nykyisestä. Uudelleenkäyttö ja kierrätys ovat nousseet uudelle tasolle.
4. Kierrätysmarkkinat toimivat hyvin. Uudelleenkäytön ja kierrätyksen myötä syntyy uusia työpaikkoja.
5. Kierrätysmateriaaleista saadaan talteen myös pieninä pitoisuuksina esiintyviä arvokkaita raaka-aineita.
6. Materiaalikierrot ovat haitattomia ja tuotannossa käytetään yhä vähemmän vaarallisia aineita.
7. Jätealalla on laadukasta tutkimusta ja kokeilutoimintaa ja jäteosaaminen on korkealla tasolla. (Ympäristöministeriö 2019.)

2.4 Sivuvirrat betoniteollisuudessa

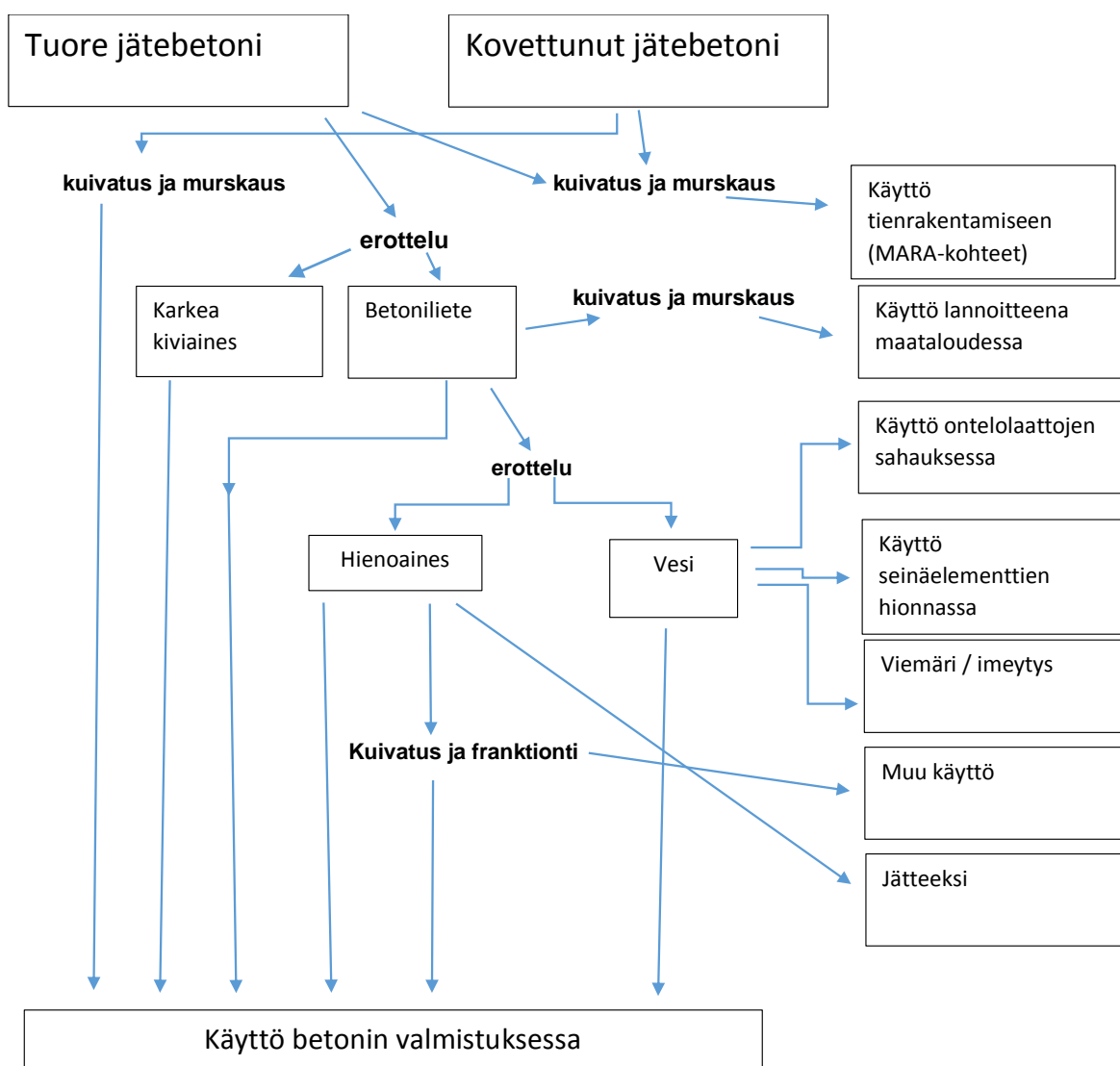
Sivutuotteeksi kutsutaan tuotantoprosessissa varsinaisen tuotteen valmistuksen yhteydessä syntyvää ainetta tai esinettä, jolle löytyy jatkokäyttötarkoitus joko suoraan sellaiseenaan tai tavanomaisen teollisen jalostuksen tuloksena (Jätelaki 646/2011, 5 §). Valtioneuvoston asetus jätteistä (179/2012) määrittää edellytykset, mikä sivutuote voidaan luokitella jätteeksi ja mikä ei.

Teollisuudesta syntyvien ylijäämäisten raaka-aineiden ja jätteiden hyötykäyttö vähentää yritysten neitseellisten raaka-aineiden hankintakustannuksia ja uusien käyttötarve pienenee. Teollisuuden sivuvirrat halutaan tehtailla hyötykäyttöön, jotta jätemäärä vähenee, kierrätys tehostuu ja materiaalitehokkuus paranee. Hyötynä tästä on teollisuudelle kulujen pieneneminen tavalla, joka ei vaikuta tuotteen tai prosessin laadun heikkenemiseen. Sitran tekemän Resurssiviisauden indikaattorit -hankkeen toisen periaatteen tavoitteessa ei synny jätettä. Siinä kuvataan, kuinka hyvin materiaalit pysyvät kierrossa huomioiden yhdyskuntajätteen ja teollisuuden jätevirrat. Materiaalihäviöiden laskenta tapahtuu kaatopaikalle menevien jätevirtojen, jätteiden polton ja loppusijoitettavien jätteiden viennin perusteella laskemalla niiden massayksiköt yhteen. (Linkola 2014; Laurila 2016.)

Kierrätysbetoni

Suomessa syntyy vuosittain noin miljoona tonnia kierrätysbetonia, josta noin puolet on peräisin purkutyömailta ja puolet on ylijäämäbetonia tehtailta ja työmailta. Tämän materiaalin käsitteleminen viisaasti kierrätysvaiheessa mahdollistaa Suomen mittakaavassa merkittävän hiilidioksidimäärän sitomisen pois ilmakehästä. (Concrete Solutions 2020.)

Ylijäämäbetonilla tarkoitetaan ylituotettua tuoretta betonia, joka palaa betonijätteenä takaisin tehtaalle. Betonijätteen keräystavan mukaan betonijätettä voidaan jakaa kahteen tyyppiin ominaisuuksiltaan: tuoreeseen ja kovettuneeseen. Kovettunut betonijäte kerätään tuotannosta siivousmurskeena ja viallisina tuotteina, jotka menevät jatkojalostettavaksi. Kuviossa 5 on esitetty tuoreen ja kovettuneen betonin sivuvirtoja erilaisissa tuotantovaiheissa ja niiden jakamista käyttökohteisiin. Suomen betonitehtaissa syntyvästä 5 miljoonasta kuutiometristä betonia syntyy sivutuotteena betonilietettä muun muassa tuotanto- ja kuljetuskaluston pesun, pesubetonipintojen pesun sekä tuotteiden jatkojalostuksen yhteydessä. Betonituotannon kokonaismäärään nähden betonilietettä tulee noin 2 %. (Suomen betoniteollisuus Oy 2005, 44.)



Kuvio 5. Jätebetonin erottelukaavio (mukailtu Elementtisuunnittelu 2020)

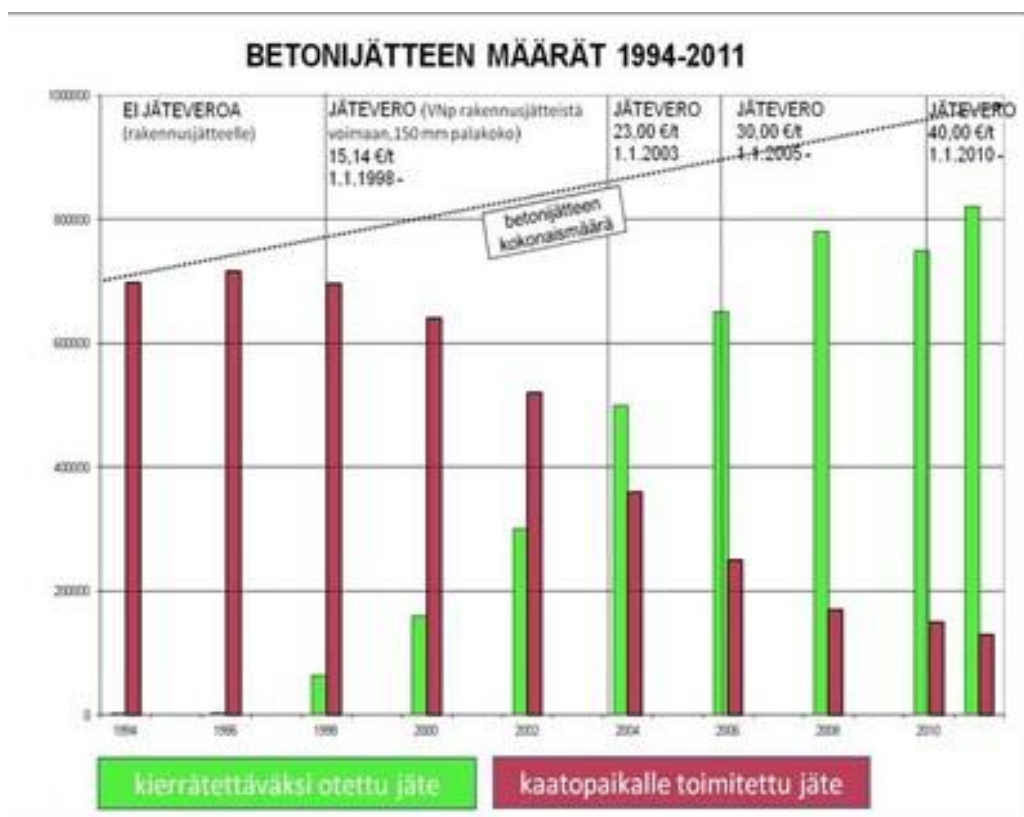
Valmistettua tuoretta ylijäämäbetonia kertyy ylimitoitettujen tilausten ja betonia kuljettavan kaluston seurauksena. Ylijäämäbetoni puretaan ja pestään vedellä siihen soveltuvassa pesulaitteistossa. Laitteisto selkeyttää lietteen ja karkeamman kiintoaineksen erilleen ja vesi kierrätetään uudelleen prosessiin.

Betonilietteen sisältämän hienoaineksen kierrätyksen osalta on huomioitava kahdentyyppiset kierrätysvedet. Osa kierrätysvesistä halutaan pois järjestelmästä, jotta vältetään haitalliset laatuvaikutukset ja kierrätysveden käsittelyongelmat. Puhtaampaa kierrätysvettä käytetään uudelleen pesuprosessin pesuvetenä puhdistamaan betonikuljettimia, betonisekoittimia ja betonautojen säiliöitä tai käyttämällä raaka-aineena betonin

valmistuksessa. Betonin valmistuksessa käytetään kierrätysvettä joko selkeytettynä tai selkeyttämättömänä. (Suomen Betoniteollisuus Oy 2005, 43-44.)

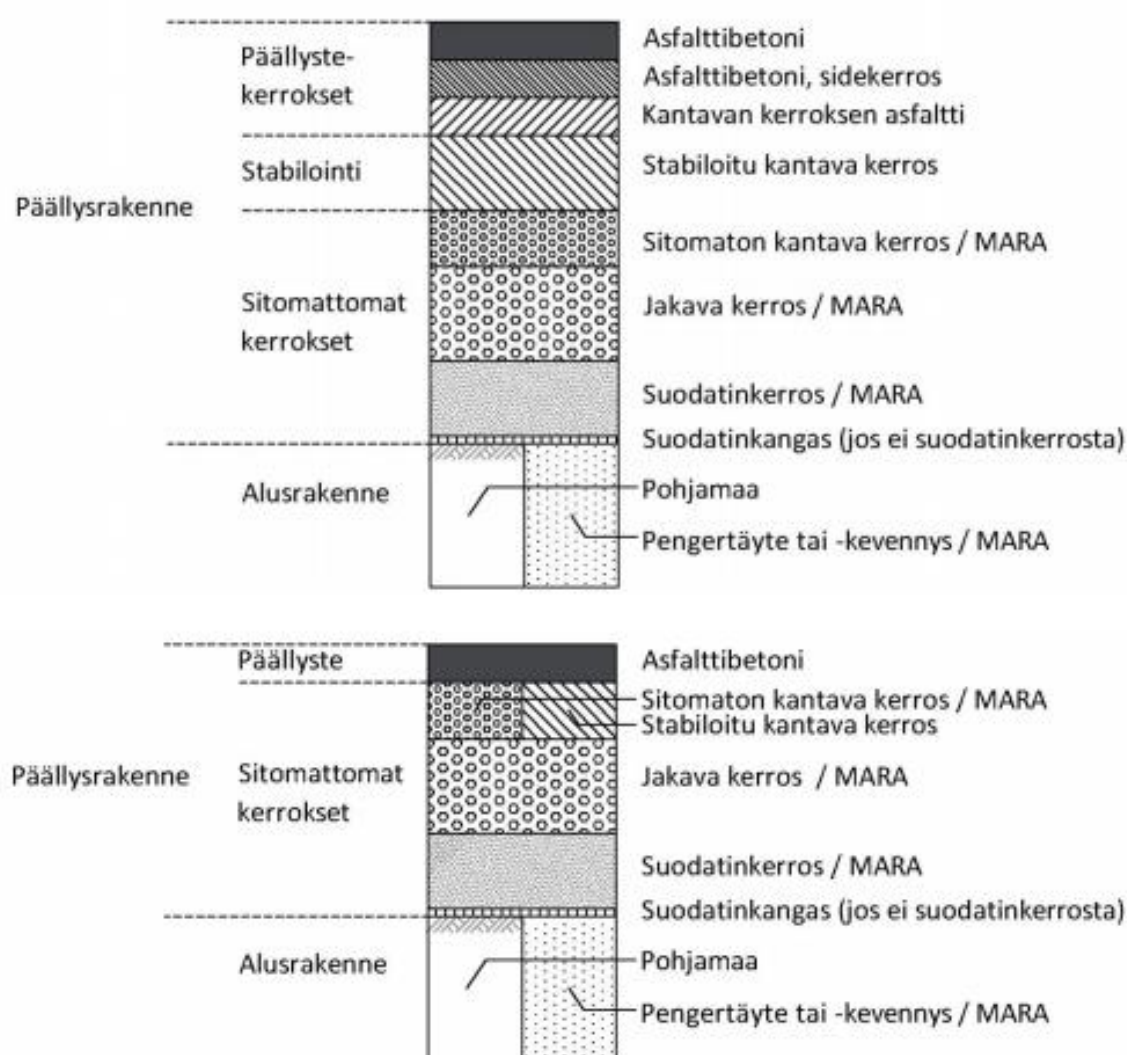
Tehtaalta ulos johdettavia kierrätysvesiä ei pidetä ympäristön kannalta haitallisina. Lietteelle on jatkokäyttöä esimerkiksi maanparannusaineena, jos se ylittää kalkitusaineelle asetetun neutralointikyky 10 % (Ca). Betonisten ontelolaattojen sahauksesta ja hionnasta syntyvä liete on sovellettu neutraloimaan peltojen happamuutta. Pesuvedestä ja betoni-massasta erilleen pesty kiviaines on soveltuva maanrakennuskäyttöön esimerkiksi teiden rakentamisessa. Lisäksi pestyä kiviainesta (pesukiveä) on mahdollista käyttää lajikkeisiin jakamattomana uudelleen betonin valmistuksessa. (Suomen Betoniteollisuus Oy 2005, 1, 18, 31.)

Suomessa 70–80 % purkubetonista kierrätetään uusiokäyttöön. Vuodessa se on 700 000–1 000 000 tonnia. Tavoitteena on kierrättää kaikista rakennusjätteistä 70 %. (Infra ry 2020.) Betonin kierrätysaste on kasvanut kahden viime vuosikymmenen aikana huomattavasti (kuvio 6) ja on ylittänyt jo 80 % rajan. Kierrätys on yritysten markkinaehtoista toimintaa. Kierrätyskiviainesten korkea laatu, edullinen hinta ja lyhyet kuljetusmatkat vaikuttavat myönteisesti betonin kierrätykseen. (Betoniteollisuus ry 2020e.)



Kuvio 6. Betonijätteen kierrätysasteen kehitys (Betoniteollisuus ry 2020e)

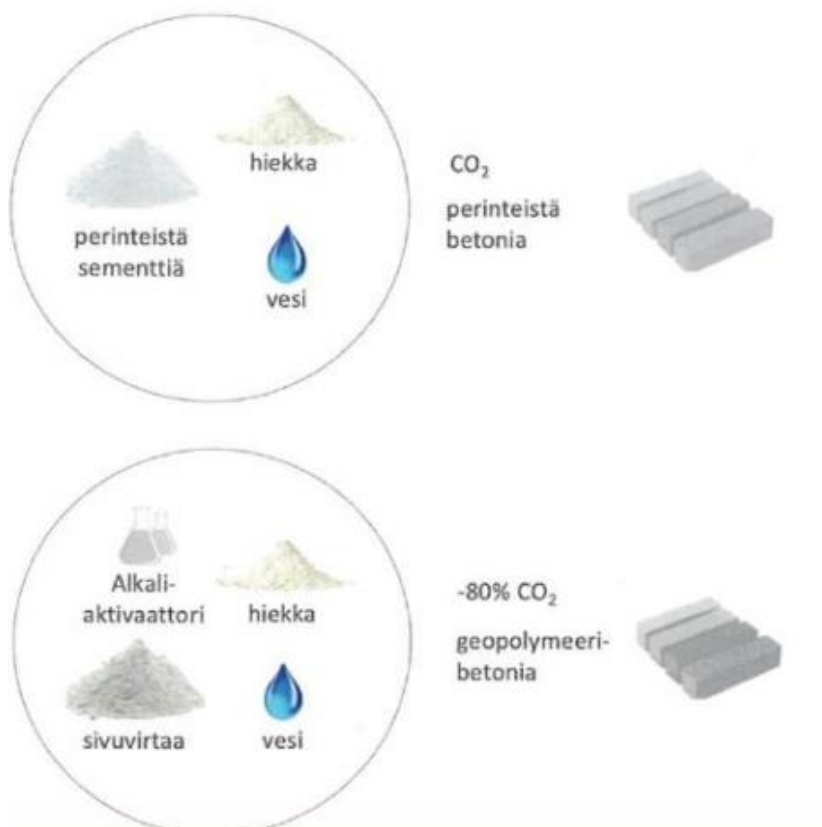
Betonitehtaalla kovettuneesta betonista erotellaan raudoitukset eli betoniteräs, joka toimittetaan metalliromuksi ja siitä uudelleen sulatettavaksi. Suomessa käytetään romupohjaista harjaterästä, jonka kasvihuonepäästöt ovat alle puolet neitseellisen teräksen päästöistä. Kovettunut betoni murskataan ja siitä valmistetaan jalostettua uusiomateriaalia. Betonimurske sopii vaativiin maarakennuskohteisiin, kuten jakaviin ja kantaviin tierakenteisiin. Kuviossa 7 on poikkileikkaus tierakenteen kerroksista, joissa on MARA-asetuksen mukaisesti mahdollista hyödyntää betonimursketta. Betonimurske on kantavuusominaisuuksiltaan parempaa kuin luonnonkiviaines ja sen käytöllä voidaan säästää luonnon kiviainesten käyttöä. (Betoniteollisuus ry 2020e.)



Kuvio 7. MARA-asetuksen mukainen jättemateriaalin hyödyntäminen päällysrakenteiden kerroksissa (MARA-asetuksen soveltamisohje 2019, 38)

Geopolymeerien käyttö betonin korvaajana tulevaisuudessa

Geopolymeeri on betonin kaltainen korkean emäksisyyden omaava aine, jota syntyy teräs- ja kaivannaisteollisuuden sivuvirtana pii- ja alumiinipitoisena jätteenä. Tulevaisuudessa geopolymeerien käyttö betonin korvikkeena nähdään potentiaalisena vaihtoehtona. Geopolymeerien valmistus ja kehittäminen on tutkimuksen alla ja niiden käytöllä voidaan jopa 80-prosenttisesti vähentää betonin valmistuksen ympäristön kuormitusta kuvion 8 mukaisesti. (Tuominen 2016.)



Kuvio 8. Geopolymeeribetoni (Johansson 2020)

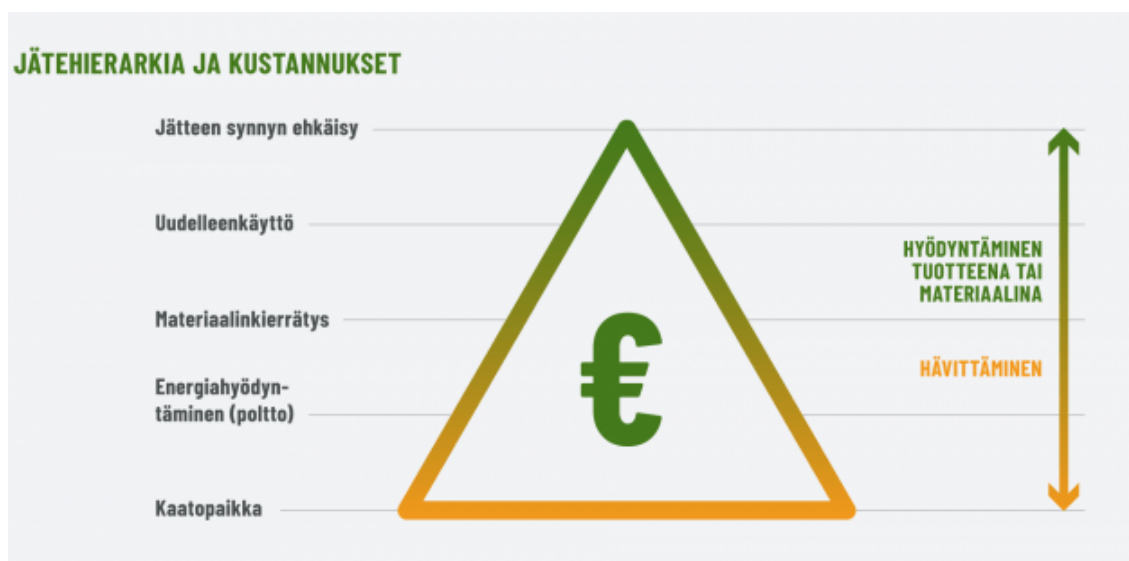
3 BETONIRAKENTAMISEN SIVUVIRTOJA OHJAAVA LAINSÄÄDÄNTÖ

3.1 EU:n jätehuoltolaki

EU:n jätehuoltolaki (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/98/EY) määrittää Euroopan unioniin kuuluvissa maissa harjoitettavan jätteenkäsittelyn oikeudellisuuden perustan. Tavoitteena on järjestää jätehuolto niin, että ympäristön- ja terveydensuojelu sekä luonnonvarojen kestävä hyödyntäminen toteutuu. (Euroopan unionin jätehuoltolaki 2020.)

Laki sisältää laajennetun tuottajan vastuun. Jätteen tuottajan ja hallussapitäjän on joko itse käsiteltävä jäte tai luovutettava se asianmukaisen toimijan käsiteltäväksi. Jätteen käsittely on luvanvaraista ja toimintaa valvotaan. Laki velvoittaa toimialoja laatimaan jätehuoltosuunnitelman ja jätteen synnyn ehkäisemistä koskevia ohjelmia. Lakiin sisältyy tavoitteet talousjätteen sekä rakennus- ja purkujätteen hyödyntämiselle ja kierrätykselle vuoteen 2020 mennessä. Lakia on päivitetty myöhemmin vastaamaan kiertotalousmallin mukaisia toimenpiteitä (Muutosdirektiivi (EU) 2018/851). Tuottajan vastuuta laajennettiin, jotta jätteiden hyödyntäminen paranee entisestään. (Euroopan unionin jätehuoltolaki 2020.)

Laissa vedotaan siihen, kuinka jätteet kannattaa ensisijaisesti hyödyntää sen sijaan, että ne loppusijoitettaisiin hyödyntämättömänä esimerkiksi kaatopaikalle. Jätteiden käsittelyn etusijajärjestyksen (jätehierarkia) mukaisesti suurimmat säästöt syntyvät, kun jätteen muodostumista ehkäistään ja jäte hyödynnetään uudelleen tai kierrätetään (kuvio 9). Eli mitä vähemmän jätettä syntyy, sitä halvemmaksi tulee jätteen käsittely. Jätteen kaatopaikkasijoitus ja polttaminen tulee kalliiksi verrattuna sen uudelleenkäyttöön. (Euroopan unionin jätehuoltolaki 2020.)



Kuvio 9. Jätteiden käsittelyn etusijajärjestys kustannuksiin suhteutettuna (Remeo Oy)

3.2 EU:n rakennustuoteasetus

Rakennustuotelainsäädäntö käsittelee rakentamisessa käytettäviä kaikkia materiaaleja riippumatta niiden jätestatuksesta. Lainsäädännöllä varmistetaan rakennustuotteista saatavan tiedon luotettavuus ja vertailukelpoisuus. Rakennuttaja ja suunnittelija voivat arvioida tuotteiden soveltuvuutta rakennuskohtaisesti. (EUR-Lex 2011.)

EU:n rakennustuoteasetus (EU 305/2011) sisältää ohjeet toimijoille, joissa on ilmoitettava rakennustuotteiden suoritustasot ja rakennustuotteiden CE-merkinnän sääntelyt. Suoritus-tasoilmoituksessa tarkistetaan tuotteen kelpoisuus sen ominaisuuksien mukaan. Rakennustuotteen kuuluessa harmonisoituun tuotestandardin soveltamisalaan tai rakennustuotteella on eurooppalainen tekninen arviointi (ETA), jotka osoittavat rakennustuotteelle hyväksytyn CE-merkinnän, joka pysyy omistajan vaihdoksesta riippumatta tuotteella. (EUR-Lex 2011.)

Tietyillä rakennushankkeilla rakennustuotteen kelpoisuuteen tarvitaan myös muitakin osoituksia tuotteen CE-merkinnän lisäksi. Tiettyyn rakennuskohteeseen käytetään yksilöityjä vaatimusluokkia tai ominaisuuksien raja-arvoja, myös hankintasopimukseen on mahdollista asettaa lisävaatimuksia. Rakennustuote saadaan markkinoille myös ilman CE-merkintää, kun se täyttää kansallisessa lainsäädännössä asetetut vaatimukset rakennustuotteiden tuotehyväksynnässä. (EUR-Lex 2011.)

3.3 Ympäristönsuojelulaki 527/2014

Maaperän pilaantumiskiellon mukaan maahan ei saa jättää jätettä, joka voi heikentää maaperän laatua, aiheuttaa haittaa terveydelle tai vähentää olennaisesti alueen viihtyvyyttä (Ympäristönsuojelulaki 527/2014, 16 §). Ympäristönsuojelulaki määrittelee pohjaveden pilaamiskieltoa tärkeillä vedenhankintaan soveltuvilla tai muuten merkittävillä pohjavesialueilla. Pohjaveden laatuun ei saa vaikuttaa suorasti tai epäsuorasti haitallisilla aineilla tai toiminnoilla. (Ympäristönsuojelulaki 527/2014, 17 §.)

3.4 Jätelaki 646/2011

Jätelain tarkoituksena on ehkäistä jätteistä ja jätehuollosta aiheutuvaa haittaa tai vaaraa terveydelle ja ympäristölle sekä vähentää jätteiden määrää ja haitallisuutta. Jätelakiin kuuluvat luonnonvarojen kestävä käyttö, toimivan jätehuollon varmistaminen ja roskaamisen ehkäiseminen. Jätelain mukaan jätteellä korvataan luonnon raaka-aineita, kun sitä käytetään ensisijaisesti hyödyksi tuotantolaitoksessa tai muussa taloudessa. Kuitenkin jätteen haltija on vastuussa jätteestä yleisen huolehtimisvelvollisuuden mukaan, ja on vastuussa

jätehuollosta tai jätteen hyödyntämisestä, mikäli se on mahdollista toteuttaa ehtojen ja kohtuullisten kustannusten mukaan. (Jätelaki 646/2011, 6 §.) Jätelaki määrittelee jätteellä aineen tai esineen, jonka sen haltija on poistanut tai aikoo poistaa käytöstä tai on velvollinen poistamaan käytöstä (Jätelaki 646/2011, 5 §).

Betonimurskeella säilyy jätestatus, vaikka se on jalostettuna ympäristökelpoiseksi ja CE-merkitty (Helsingin, Espoon ja Vantaan Kaupunki 2015, 9). Betonimurskeen hyötykäyttö jätteenä on mahdollista MARA-asetuksen ilmoitusmenettelyllä tai ympäristöluvalla väylä- ja kenttärakenteissa (Liikenneviraston ohjeita 2020, 18–19).

Jätteen haltija luokittelee, onko tuotannon yhteydessä syntynyt materiaali sivutuote. Lupa- ja valvontaviranomaiset tekevät lopullisen luokituksen hyväksyttyään sivutuotestatuksen. Tuotteeksi luokitellun materiaalin hyödyntäminen ei edellytä jätelain mukaan ympäristölupaa tai MARA-asetuksen rekisteröinti-ilmoituksen tekemistä. Jos betonimursketta halutaan hyödyntää väylärakenteissa, täytyy materiaalille saada Väyläviraston materiaalihyväksyntä tai hankekohtainen materiaalihyväksyntä. (Liikenneviraston ohjeita 2020, 12.)

Jätteeksi luokittelu päättyy, kun jäte on hyödynnettävissä esimerkiksi kierrättämällä ja jätelain säännökset eivät enää koske materiaalia. Näitä jätenimikkeen poistamiseen johtavia kriteerejä kutsutaan EoW-kriteereiksi. EoW-kriteerien määrittely betonimurskeelle on käynnistynyt vuonna 2019. (Liikenneviraston ohjeita 2020, 11.)

3.5 Valtioneuvoston asetus 591/2006 (MARA-asetus)

Valtioneuvoston asetus (591/2006) eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa lyhennetään MARA-asetukseksi. Viimeisin päivitetty MARA-asetus (VNA 843/2017) tuli voimaan vuoden 2018 alussa. Asetus edistää kiertotalousajattelun mukaisesti kierrätettävien jätteiden käyttöä ja vähentää tarvetta käyttää uusia luonnon raaka-aineita maarakentamisessa. Asetuksen piiriin kuuluvia jätteitä voidaan hyödyntää ilman ympäristönsuojelulain (527/2014) 27 §:n mukaista ympäristölupaa, mikä sujuvoittaa maarakentamistointia. MARA-asetuksen piiriin kuuluu seuraavat materiaalit: kevytbetoni, kevytsorajätteet, leijupetihiekka, tiilimurske, asfalttimurske ja rouhe, käsitelty jätteenpolton kuona, valimohiekat, kalkit, puuperäisten polttoaineiden lento- ja pohjatuhkat, renkaat ja betonimurske. (Motiva Oy 2020.)

MARA-asetuksen ehdoissa käsitellään uusiomateriaalin hyötykäyttöä, käyttökohteita ja käyttökohteen soveltuvuutta. Asetus käsittelee tuottajan asetusten mukaista laadunhallintajärjestelmää ja laadunvalvontaa, kuten haitta-aineiden liukoisuuksien ja pitoisuuksien raja-arvoja (liite 1) ja murskekokoa. Asetuksesta on myös soveltamisohjeita ja ohjeistus

jätteen omistajan vaihdokseen ja ympäristönsuojelun tietojärjestelmään tehtävään ilmoitukseen liittyen. (Suomen ympäristökeskus 2020.)

MARA-asetuksessa käsiteltäviä asioita listattuna: laadunvalvontatutkimukset, vastuuhenkilöt ja näiden pätevyys, ohjeet jätteen vastaanotosta, laadunvarmistusjärjestelmän arviointi- tai auditointisuunnitelma, tarvittaessa erityiset puhtausvaatimukset, kuten jätteeseen kuulumattomien aineiden osuus, seuranta ja raportointi. (Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 843/2017.)

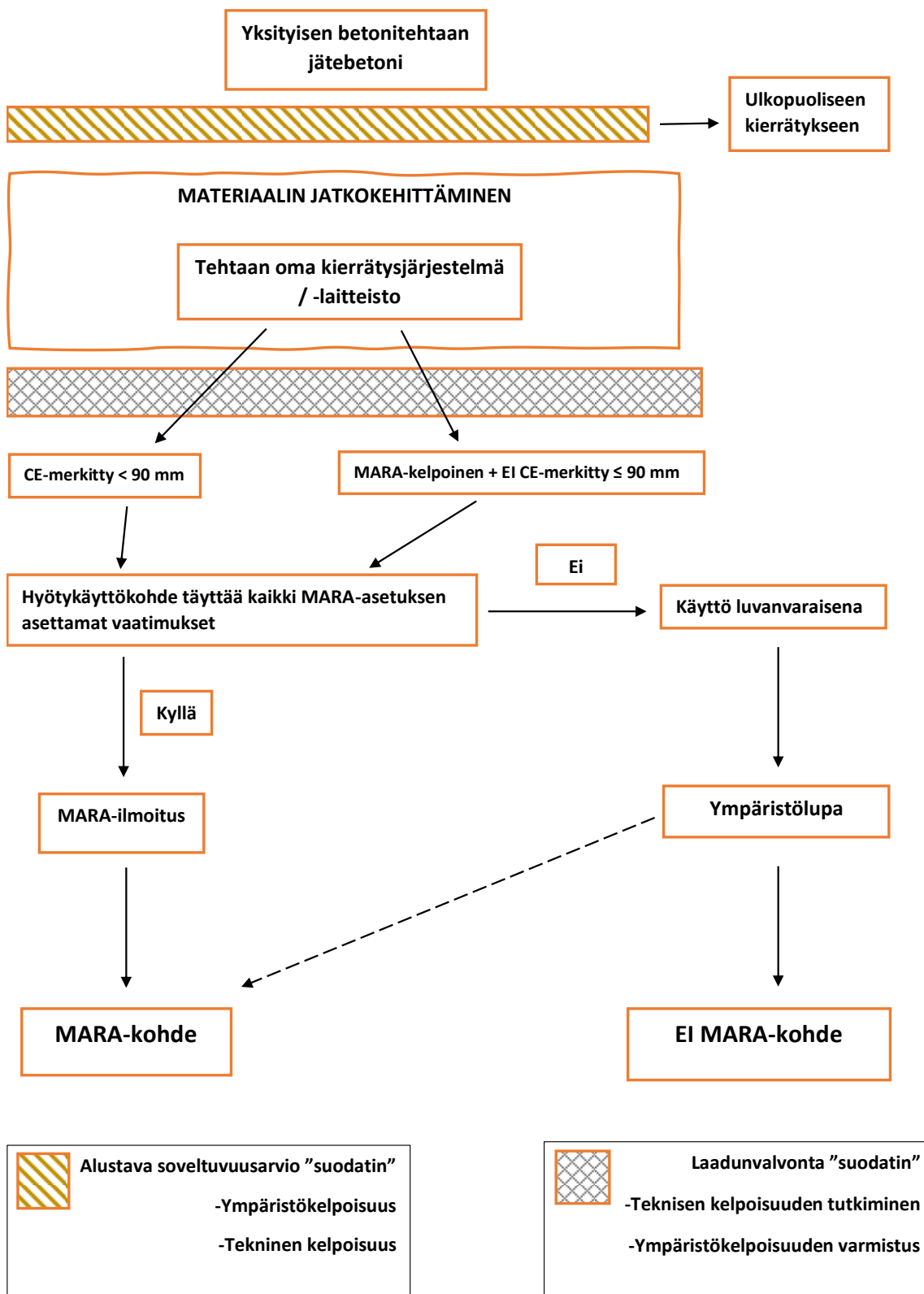
MARA-asetuksen soveltamisehdot

MARA-asetuksen mukainen betonijätteen käyttö on sallittua julkisilla tai yksityisillä alueilla vain peitetyissä tai päällystetyissä kenttä- ja väylärakenteissa sekä pohjaraketeissa varasto- ja teollisuusrakennuksissa. MARA-asetuksen soveltamisvaiheita on jaoteltu viiteen kohtaan betonijätteen käytössä:

1. Pohjavesialueen selvittäminen
2. Kuuluuko kohde MARA-asetuksen soveltamisalaan ja täyttääkö se hyödyntämisalueen asetuksen vaatimukset
3. Materiaalin ympäristökelpoisuuden ja teknisen kelpoisuuden selvittäminen MARA-asetuksen vaatimusten mukaan
4. Hyödyntämispaikan haltijan tekemä rekisteröinti-ilmoitus ympäristönsuojelun tietojärjestelmään, hyödyntämispaikan omistaja on myös jätteen haltija
5. Hyödyntämisen jälkeen ilmoitetaan MARA-loppuraportti ELY-keskukseen. (Lehtonen 2018.)

Kuviossa 10 esitetään MARA-asetuksen soveltuvuusvaatimukset jätebetonille.

Betonijätteen betonimurskeeksi jalostamisen periaatteita



Kuvio 10. Betonijätteen jalostamisen ehdot betonitehtaalla (mukailtu Helsingin, Espoon ja Vantaan kaupunki 2015)

Ympäristölupa

Jätteen hyötykäyttöön tarvittava ympäristösuojelulain (527/2014, 27 §) mukainen ympäristölupa haetaan silloin, kun MARA-ilmoitusmenettelyn edellytykset eivät täyty. Betonimurskeen käyttäminen maarakentamisessa pohjavesialueilla on ympäristöluvanvaraista, jossa viranomaispäätöksellä arvioidaan pohjaveden pilaantumisriski. Ympäristölupa tarvitaan, kun kiinteä murskaamo on sijoitettu tärkeälle tai muulle vedenhankintakäyttöön soveltuvalla pohjavesialueella ja toiminnalla voi aiheutua pohjavedenpilaantumisvaaraa (Ympäristönsuojelulaki 527/2014, 28§; Ympäristöministeriö 2020a.)

3.6 Tehtaan sivutuotteita koskevia lakeja, asetuksia, määräyksiä ja ohjeita

Lannoitevalmistelaki 539/2006

Lannoitevalmistelaissa käsitellään teollisuuden tuotannosta syntyviä sivutuotteita, joita käytetään maanparannusaineina, kalkitusaineina ja kasvualustoina. Sivutuotteen käytöstä ei saa aiheutua ympäristöhaittaa. Betoniteollisuuden sivuvirtojen käytöllä maanparannusaineena voidaan vaikuttaa maaperän fysikaalisiin ominaisuuksiin ja lisäämällä maaperän biologisuutta. Kalkitusaineena käytettävän sivutuotteen neutralointikyky on oltava vähintään 10 % kalsiumia. (Lannoitevalmistelaki 539/2006.)

Betonijätteen kuljetus

Betoni- ja tiilijätteen kuljetuksessa on oltava mukana jätteen tuottajan laatima siirtoasiakirja, jotta jätteen alkuperä, kuljettaja ja vastaanottaja voidaan jäljittää. Siirtoasiakirjan voi myös korvata kuormakirjalla, jos siinä on lisättynä betonimurskeen jätenimike. Jätteen kuljettajaa velvoittaa liittyminen jätehuoltorekisteriin. (Jätelaki 646/2011, 94 §.)

Betonimurskeen pienimuotoinen hyödyntäminen

Betonimurskeen hyödyntäminen ei tapahdu aina MARA-asetuksen mukaisesti. Vaihtoehtoja ovat hyödyntäminen ympäristöluvalla tai pienimuotoinen hyödyntäminen. Luvan käsittelee kunnan ympäristösuojeluviranomainen, kun vuosittain käsiteltävä jätemäärä on alle 50 000 t vuodessa ja aluehallintovirasto (AVI), kun käsiteltävä jätemäärä on suurempi kuin 50 000 t/vuosi. Ympäristöluvalla toteutettavia betonimurskeen hyödyntämiskohteita ovat esimerkiksi puistojen maataytöt, meluvallit ja erilaiset putkikaivantojen lopputäytöt. (Dettenborn & Forsman 2019, 6.)

4 BETONI MATERIAALINA

4.1 Betonin käyttökohteet

Betoni on maailman yleisin rakennusmateriaali. Maailmalla betonia käytetään vuodessa noin 13 miljardia kuutiometriä ja Suomessa noin 5 miljoonaa kuutiometriä vuodessa. Suomessa talonrakentamiseen käytetään noin 60 % betonista ja loppuosuus jakaantuu erilaisiin infrastruktuurin rakentamiskohteisiin, kuten teihin, satamiin, siltoihin, tuulivoimaloiden perustuksiin ja sähkölinjojen perustuksiin. (Johansson 2020, 2.)

4.2 Betonin ominaisuudet

Betoni soveltuu monenlaiseen tarkoitukseen ja kohteeseen. Betonista valmistetut rakenteet kestävät pitkään vaatien vähän huoltoa ja ne ovat helposti kierrätettäviä. Betoni on edullista rakennuksien runkomateriaaleissa ja se on materiaalina helposti muokattavaa. Betoni antaa rakenteeseen lujuutta ja jäykkyyttä sekä luo turvallisuutta palon- ja kosteudenkestävyydellään, eikä se sisällä terveydelle haitallisia aineita. Betonin tärkeimmät ominaisuudet ovat lujuus ja säilyvyys erilaisia rasituksia kohtaan. Betonilta vaadittavien ominaisuuksien säätely tapahtuu valmistusaineiden suhteita muuttamalla. (Betoniteollisuus ry 2020a.)

Betonin koostumus ja raaka-aineet

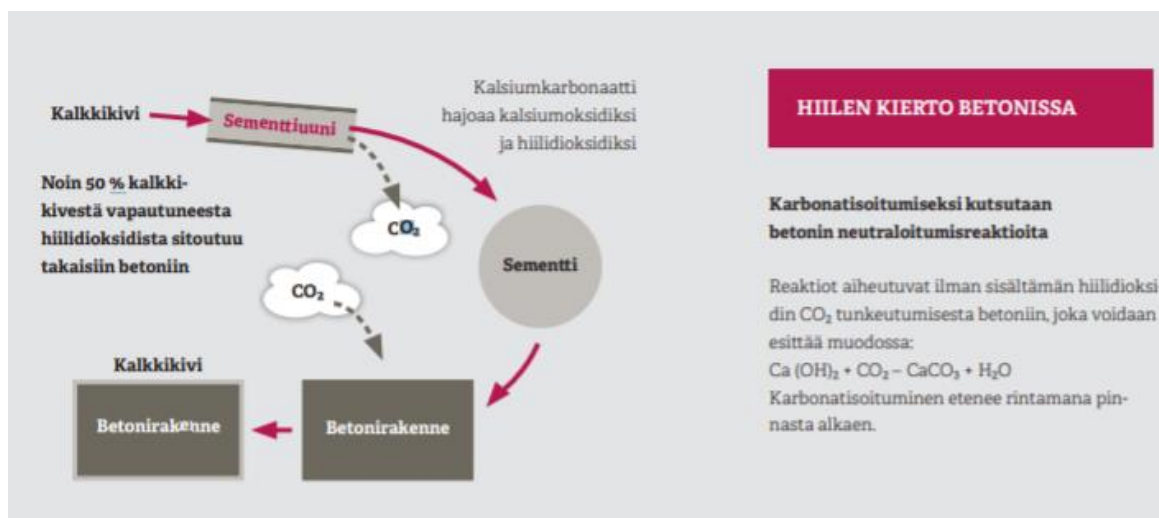
Betonin kolme olomuotoa ovat plastinen, kovettuva ja kovettunut. Betoni koostuu suurimmalta osin runkoaineesta, sementistä ja vedestä, myös mahdollisista lisäaineista, kiuista sekä seosaineista, kuten mineraaleista ja pigmenteistä. (Johansson 2020.) Runkoaine on kiviainesta, jota on 60–85 % betonin tilavuudesta. Runkoaineen rakeisuus ja jakauma vaikuttavat betonin työstettävyyteen ja rakenteen ominaisuuksiin. (Rakentaja.fi 2018.)

Sementti

Sementti on hienoksijauhettu epäorgaaninen sideaine, joka veden kanssa reagoi kemiallisesti muodostaen lujuutta ja sitovuutta antavan kovettuvan mineraalin runkoaineen sekaan. Sementtilaaduilla voidaan vaikuttaa betonin sitoutumisnopeuteen ja lujuuden kehittymiseen. Kovettuneen sementtikiven sisältämät mineraalit ovat hyvin emäksisiä. Sementtikiven pH on luokkaa 13-14. (Concrete Solutions 2020.)

Betonin kovettuminen perustuu sementin ja veden kemialliseen reaktioon, jossa sementtimineraaleista syntyy sementtikiveä ja kalsiumhydroksidia. Kalsiumhydroksidi on vesiliukoinen ja voimakkaan emäksinen yhdiste, joka reagoi hiilidioksidin kanssa joutuessaan

kosketuksiin ilman kanssa. Tätä kalsiumhydroksidin ja hiilidioksidin reaktiota kutsutaan karbonatisoitumiseksi (kuvio 11).



Kuvio 11. Hiilidioksidin vapautuminen ja sitoutuminen betonissa (Simola 2017, 3)

Karbonatisoitumisen myötä kalkkikivestä vapautunut hiilidioksidi sitoutuu taas takaisin kalsiumkarbonaatiksi rakenteen pinnassa ja lopulta myös sisärakenteissa, kun hiilidioksidi pääsee tunkeutumaan paremmin rakenteen huokosiin ja reagoimaan kalsiumhydroksidin kanssa. Mitä ohuemmasta rakenteesta on kyse, sitä enemmän karbonatisoitumista tapahtuu. Sementtiä sisältävien tuotteiden valmistus vapauttaa hiilidioksidia, mutta valmiit tuotteet, kuten laasti ja betonielementit myös sitovat sitä. (Simola 2017.) Karbonatisoitumista pidetään haitallisena betonirakenteille, koska se laskee betonin emäksisyyttä, joka puolestaan suojaa betonirakenteita ruostumasta (Virtanen 2010, 2). Taulukkoon 1 on kootuna perusbetonin paino- ja tilavuusprosentit suhteutettuna kokonaismäärään. Betoneita on erilaisia ja eri osa-aineiden suhdemäärät hieman vaihtelevat.

Taulukko 1. Tavanomaisen perusbetonin suhteet (Johansson 2020)

| | määrä/m ³ | paino-% | tilavuus-% |
|-----------|----------------------|---------|------------|
| Sementti | 250 kg | 10,6 | 8 |
| Kiviaines | 1920 kg | 81,7 | 72 |
| Vesi | 180 kg | 7,6 | 18 |
| Ilma | 20 dm ³ | – | 2 |

Betonin valaminen

Betonin valaminen tarkoittaa betonimassan tiivistämistä muottiinsa. Massa ohjataan muottiin tehtaalla yleensä betonikuljettimella, josta se puretaan muottiin. Massa tiivistetään huolellisesti ja pinta tasataan. Massan annetaan lujittua muotissa saavuttaen riittävän lujuuden, jolloin muotti on mahdollista purkaa ja tuote kestää siirron. Valmisosat eli elementit valetaan valmiiksi tehtaassa, ja ne asennetaan työmaalla paikoilleen. Valmisbetoni on työmaalle sekoittavilla säiliöautoilla kuljetettua betonimassaa, joka voidaan purkaa valuun suoraan autosta tai betonipumppuautolla. Valmisbetonista rakennetaan runkorakenteita, lattioita ja siltoja. (Betoniteollisuus ry 2020b.)

4.3 Kiviainesten käyttö

Maa-ainesten ottaminen teolliseen käyttöön on maa-ainesluvanvaraista toimintaa, joka kuuluu maa-aineslakiin. Maa-aineslupahakemus pyydetään kunnan viranomaisilta ja hyväksytty ottamislupapäätös ilmoitetaan viranomaisen toimesta muille asianomaisille ja ELY-keskukselle. (Ympäristöministeriö 2020a.)

Betonin valmistuksessa käytetty kiviaines luokitellaan uusiutumattomiin luonnonvaroihin, mutta käytännössä on myös ehtymätön luonnonvara. Betonirakentamisessa käytettävä kiviaines on katoamatonta, eikä kuluta kiviainesvaroja, sillä Suomessa betoniset purkukohteet murskataan. Samalla kierrätyskiviaines korvaa neitseellisen luonnon kiviaineksen käytön maarakentamisessa antaen ominaisuuksiltaan paremman lopputuloksen. Suomessa käytetään luonnon kiviaineksia noin 80 miljoonaa tonnia vuodessa ja betonikiviaineksien osuus tästä on alle 10 % eli noin 8-10 miljoonaa tonnia. Kalliosta otetun kiviaineksen käyttö on kasvanut 30 prosenttiyksikköä 15 vuodessa ja lukema on tällä hetkellä 50 % Suomessa käytetystä kiviaineksestä. Syitä kalliokiviainesten käytölle ovat: rakentamisalueiden läheisyydessä soravarantojen ehtyminen tai soranottoehtoien kiristyminen. Kalliokiviaineksen soveltuvuus asfaltin laatuun on parempaa kuin luonnonsorasta valmistettuna. (Betoniteollisuus ry 2020d.)

Betonin valmistukseen käytetyt kiviainekset ovat kalliosta ja kivistä murskattua ja seulottua kivimateriaalia (Johansson 2020). MARA-asetuksen (591/2006) valmistelun yhteydessä arvioitiin, että Suomessa käytetään maarakentamiseen vuosittain 70-90 miljoonaa tonnia luonnon kiviaineksia (Ympäristöministeriö 2019). Betonin sementin raaka-aineena käytetään maankuoren yleisintä kiviainesta eli kalkkikiveä (Betoniteollisuus ry 2020b).

Kiviteollisuudesta sivutuotteena muodostuu hienorakeista kivituhkaa. Kivituhkaa muodostuu betonikiviainesten murskauksen sivutuotteena, jota voidaan käyttää ulkokulkureittien pintamateriaalina. (Lemola 2020.)

5 BETONITUOTANNON SIVUVIRRAT

5.1 Betonimurske

Betonimurskeen maarakennuskäytön laadunvalvontajärjestelmä standardi SFS 5884 määrittelee betonimurskeen rakennustuotteiden valmistuksessa, rakennustuotannossa sekä rakenteiden ja rakennusten korjauksessa ja purkamisessa syntyvästä betonijätteestä murskatuksi tuotteeksi asettamat tekniset ja ympäristökelpoisuusvaatimukset täyttäväksi betonimurskeeksi (SFS 5884 2018).

Betonimurske on kovettunutta betonijätettä, jota voidaan käyttää uusiokiviaineeksena mittavalla tavalla (Nieminen 2016, 4). Betonijätettä syntyy Suomessa vuosittain arviolta miljoona tonnia, josta 70 % saadaan kierrätettyä uusiokäyttöön pääosin maarakentamiseen (Nieminen 2016, 78). Betonijätettä syntyy rakennustyömaiden purkutöistä ja ylijäämäbetonina betoniteollisuudessa tuotannon yhteydessä materiaaliylijäämänä sekä hylätyistä tuotteista. Opinnäytetyössä käsitellään betonitehtaalla syntyvää betonijätettä, jota jatkojalostetaan tehdasalueella ehtojen vaatimaan raekokoon ja laatuun. Betonimurskeiden luokitus jaetaan yleisesti laatuluokkiin BeM I-IV (taulukko 2), joista raja-arvot ovat: epäpuhtautta 0,5-1 paino-% ja tiilijätettä 0-30 paino-%. (Rudus 2018.)

Taulukko 2. Betonimurskeen laatuluokat (Rakennusbetoni- ja Elementti Oy 2020a)

| Ominaisuus | BeM I | BeM II | BeM III | BeM IV |
|-----------------------|---|---|---|---|
| Raaka-ainelähde | Betoniteollisuus | Betoniteollisuus, rakennus- tai purkutyömaa | Betoniteollisuus, rakennus- tai purkutyömaa | Betoniteollisuus, rakennus- tai purkutyömaa |
| Rakeisuus | EN 13242, käyttökohteen vaatimukset | EN 13242, käyttökohteen vaatimukset | EN 13242, käyttökohteen vaatimukset | EN 13242, käyttökohteen vaatimukset |
| Hienoainespitoisuus | < 7 % (f_f) | < 7 % (f_f) | - | - |
| Routivuus | Routimaton | Routimaton | Routimaton tai routiva | Routimaton tai routiva |
| Puristuslujuus | > 1,2 Mpa | > 0,8 Mpa | - | - |
| Osa-aineet | Betoni > 90 % (R_{c90}) tiili < 10 % (R_{b10}) | Betoni, lasi, kiviaines yht > 90 % (R_{cug90}) tiili < 10 % (R_{b10}) | Betoni, lasi, kiviaines yht > 90 % (R_{cug90}) tiili < 10 % (R_{b10}) | Betoni, lasi, kiviaines yht > 70 % (R_{cug70}) tiili < 30 % (R_{b30}) |
| Epäpuhtaudet | < 1 paino-% (X_1) | < 1 paino-% (X_1) | < 1 paino-% (X_1) | < 1 paino-% (X_1) |
| Kelluvat epäpuhtaudet | < 5 cm ³ /kg (FL_5) | < 10 cm ³ /kg (FL_{10}) | < 10 cm ³ /kg (FL_{10}) | ei vaatimusta (FL_{NR}) |

Luonnon kiviainekseen (kallio- ja soramurske) verrattuna laadukas betonimurske on parempaa materiaalia maa- ja infrarakentamiseen. 1990-luvun alusta lähtien Suomessa on hyödynnetty betonimursketta miljoonien tonnien edestä. Yleisiä käyttökohteita ovat tie-, katu- ja kenttärakenteet. Murskeen kuntoa ja kestävyyttä on seurattu pitkäjänteisesti jo 90-luvulta lähtien ja näyttöä on saatu esimerkiksi kantavien ja jakavien kerrosten kunnosta. (Lehtonen 2018.)

5.2 Betonimurskeen kelpoisuus ja CE-merkintä

Betonimurske on luonnon kivimurskeiden tavoin tuotettua kiviainesta ja se kuuluu harmonisoidun eurooppalaisen kiviainesstandardin SFS-EN 13242 soveltamisalaan maa- ja vesirakentamisessa. Näin ollen betonimurske voidaan CE-merkitä. Betonimurskeen CE-merkintä on pakollista, kun mursketta toimitetaan toiselle omistajalle eli sen haltija vaihtuu. MARA-asetuksen vaatimuksen mukaan betonimurskeen raekoko on oltava alle 90 mm ja murskeen hyödyntämistä ohjataan laadunhallinnalla. (Rudus 2018.) Betonimurske kuvataan liitteen 2 materiaalituotekortilla.

Uusio-, keino- ja kierrätyskiviainekset

Luonnonkiviaineksia voidaan korvata erilaisilla uusiomateriaaleilla, joista käytetään myös nimityksiä uusio-, keino- tai kierrätyskiviaines. Uusiomateriaaleja koskevat käytännössä samat vaatimukset kuin luonnonkiviaineksia, mutta niille voidaan määrittää myös lisävaatimuksia tai niille asetetut vaatimusluokat voivat olla tiettyjen ominaisuuksien osalta erilaisia kuin luonnonkiviaineksen. Uusiomateriaalien käyttö betonin valmistuksessa on osoitettava soveltuvaksi käytössä olevien ohjeiden mukaisesti. Rakenteen suunnittelussa on huomioitava uusiomateriaalien erityisominaisuudet ja -vaatimukset. (Autio 2018.)

Uusiomateriaalit usein CE-merkitään standardin SFS EN mukaisesti, mutta niiden CE-merkintä voi perustua myös eurooppalaiseen tekniseen hyväksyntään (ETA). Uusiomateriaalien käyttömäärästä ei tarvitse raportoida valvovalle viranomaiselle samaan tapaan kuin neitseellisten luonnonkiviainesten käytöstä. Niistä on ilmoitettava samat ominaisuudet kuin normaaleista betonin raaka-aineista ilmoitetaan ja uusiomateriaalien tulee täyttää samat geometriset ja mekaaniset vaatimukset kuin mitä luonnonkiviainekselle on määritetty. Uusiomateriaalien käytössä on otettava huomioon betonin uudelleenkäyttökohteen asettamat tekniset kelpoisuusehdot ja työturvallisuus sekä lainsäädännön että ympäristöluvan asettamat ympäristökelpoisuusehdot. (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 32.)

Pestyt uusiokiviainekset

Kovettumattomasta ylijäämäbetonista pesemällä muodostunutta kiviainesta kutsutaan pestyksi uusiokiviainekseksi. Sitä voidaan käyttää betonikiviaineksena valmistajan omassa tuotannossa. Standardi SFS-EN 12620 sisältää vaatimukset pestyjen kiviainesten käytölle. Jos kiviaineksen kokonaismassasta on yli 5 % pestyjä kiviaineksia, tulee kiviaines jakaa karkeisiin ja hienoihin lajikkeisiin. Alle 5 % pitoisuuden omaavaa kiviainesta voi käyttää lajikkeisiin jakamattomana. (Autio 2018, 16.)

Keinokiviaines

Mineraaleja muuntamalla voidaan keinotekoisesti valmistaa kiviaineksia. Keinokiviaineksia ovat esimerkiksi teollisuuden kuonista valmistetut murskeet ja hiekat. (Liikennevirasto 2020, 13.)

5.3 Kevytkiviainekset

Kevytkiviaineksia voidaan käyttää betonin valmistuksessa runkoaineena kiviaineksen korvikkeena. Luonnosta löytyvää kevytkiviainesta on hohkakivi ja teollisesti voidaan savesta valmistaa kevytkiviainesta tai kierrätysmateriaaleista, kuten vaahtolasista. (Autio 2018, 10.)

Kevytkiviaineksista Leca-soraa käytetään tehtaan betonin valmistuksessa, esimerkiksi kevytsoraharkkojen valmistuksessa. Tuotanto käyttää raaka-aineena kahden kokoluokan Leca-soraa, josta valmistetaan AKO Wall -tuotteet, kylpyhuonetuotteiden seinä- tai laatta-elementit ja valmisbetonina valmistettavat ulkotasojen päällyskerrokset.

Kuvassa 1 vasemmalla ylhäällä on Leca-soraa ja vieressä oikealla ylhäällä on siitä valmistettua betonia murskemuodossa. Kuvassa 1 vasemmalla alhaalla oleva murske on AKO Wall -myllyn pesusta ja sen vieressä oikealla on jätteeksi menevää tuotetta.



Kuva 1. Kevytsora raaka-aineena ja kerättävänä jätteenä

5.4 Betoniliete (flokkulointijäte) ja kierrätysvesi

Betoniteollisuudessa lietettä muodostuu tuoreesta ylijäämäbetonista betonin kierrätyslaitoksen pesuprosessissa toisena sivutuotteena (kuva 2). Tuore betoniliete on hyvin vesipi-toista hienojakoista ainesta, jonka raekoko on alle 0,25 mm. (Niemelä 2013, 4.)

Liete sopii hyvin maanparannusaineeksi sen sisältämän kalkin vuoksi, jos sen neutraloiva kyky ylittää 10 % (Ca). Esimerkiksi betonin sahauksesta ja hionnasta syntyvä aines soveltuu hyvin peltojen pH:n nostoon. (Niemelä 2013, 22.)



Kuva 2. Tuoretta betonilietettä

Kierrätysvedeksi kutsutaan betonituotannossa käytettyä vettä, joka on otettu talteen ja käytetään uudelleen betonituotannossa (Niemelä 2013, 4). Kierrätysvettä syntyy muun muassa betonisekoitinten, betonikuljettimien ja betoniautojen pesemisessä. Betonin valmistukseen kierrätysvesi sopii joko sellaisenaan tai vesijohtoveteen sekoitettuna. Kierrätysvesi sisältää kiintoainesta, joka tulee huomioida ennen uudelleenkäyttöä. Kiintoaines on yleensä hienojakoista, mutta se voi vaikuttaa ominaisuuksiltaan betonin väriin, jännitettyyn betoniin ja huokostettuun betoniin. (Betonikeskus ry 2007, 14.)

6 TOTEUTUSMENETELMÄT

6.1 Tiedonhankinta

Tutkimuksen teoriaosuus perustuu kirjallisuuskatsaukseen kiertotaloudesta ja betonin valmistuksen sidonnaisten teollisuusmuotojen ympäristövaikutuksista sekä betonin elinkaar-ympäristönäkemyksestä. Betoniteollisuudesta syntyneen ylijäämäbetonin käytön toiminnan kuvauksessa on hyödynnetty alan tieteellistä kirjallisuutta ja artikkeleita sekä yrityksen ammattitaitoista henkilöstöä yhdessä tehtaan sisäisen laadunhallintaa kuvaavan käsikirjan kanssa.

Nykytilan kuvaamiseksi kerättiin kvalitatiivista tietoa tehtaan tietojärjestelmästä ja henkilöstöä haastatteleamalla. Keskustelut käytiin sivuvirtojen synnystä ja keräyksestä eri tuotantotilojen kesken tehdaskierroksilla. Suuremmat kokonaisuudet käsiteltiin etukäteen määriteltyjen kysymysten pohjalta, josta laadittiin palaverikohtaiset muistiinpanot.

6.2 Kenttätyöskentely

Betonisivuvirtojen selvityksessä hyödynnettiin tehdaskierrosten yhteydessä otettuja kuvia ja jätemäärämittauksia. Havainnot dokumentointiin, jotta niiden käsittely on jälkikäteen helpompaa. Tarkkailukierroksilla seurattiin kovettuneen betonin keräysastioiden täyttymisastetta. Lietteen ja murskeen määrää arvioitiin ja tulokset koostettiin taulukkomuotoon.

Työn toteutuksen aikana oli mahdollisuus olla mukana MARA-näytteenotossa, seuloa betonimursketta ja määrittää murskeen rakeisuuslukua ja raekokojen jakautumista sekä hie-noainespitoisuutta. Varsinaisesti kyseisiä tuloksia ei esitetä työssä.

7 TEHDASESITTELY

7.1 Tuotannon kuvaus

Rakennusbetoni- ja Elementti Oy:n tehtaalla betonituotanto on jaettu erillisiin tuotantotiloihin, joissa prosessit toimivat toisistaan poikkeavalla tavalla sen suhteen, missä myllyssä tuotannossa hyödynnettävä betoni on valmistettu, kuinka betoni kuljetetaan työpisteille ja mitä tuotetta valmistetaan. Betonituotanto jakaantuu neljälle betonimyllylle, joista betoni ohjataan tuotantolinjastoille suoraan myllystä kuljettimien avulla. Kuljettimiin lukeutuvat ratakuljettimet, pyöräkuormaajan ajama kuljetusastia tai betoniauton säiliö. Tuotantotiloissa valmistettavia tuotteita ovat KARANTTIA-väestönsuojat ja AKO Wall -väliseinät. AKO Houses -tuotemerkki sisältää erilaiset harkkotuotteet ja paikallisen valmisbetonin. AKO Garden -tuotemerkki sisältää piharakentamistuotteiden valmistuksen, kuten erilaisten luonnonkivien ja päällystekivien ja -laattojen sekä viherkattoympäristötuotteen valmistuksen. Tuotanto on myös erikoistunut linja-autopysäkkien pohjalaattojen, siltaelementtien, laitureiden sekä moduulikylpyhuoneiden valmistukseen.

Betonitehtaassa kerätään ja käsitellään tuotannossa syntyvä ylijäämäbetoni. Tuoreella betonilla likaantuneet kuljettimet, pumppuauto ja betoniautojen säiliöt pestään betonin kierrätyslaitoksen käsiteltäväksi. Kovettunut ylijäämäbetoni on pääsääntöisesti siivousjätettä tai myyntiin kelpaamattomia viallisia tuotteita. Kovettunutta betonia syntyy tuotantolinjastolla poistettavan materiaalin mukana, kuten tuotepätkien tai rakeen ja murskan muodossa sekä erilaisten tuotekorjauksien, laadunvalvonnan ja huoltojen yhteydessä.

Tuotannossa on välillä vaihtelua työvuorojen ja valmistettavien tuotteiden osalta. Kaksi-vuorotöitä tehdään välillä pihabetoni- ja harkkotuotannossa ja talven aikana on noin kolmen kuukauden tuotantotauko. Väestönsuojaelementtejä valmistetaan välillä viikonloppuisin. Valmisbetonituotanto vaihtelee, sillä siihen vaikuttavat tilausten määrät ja asiakassijainnit sekä Mikrobetoni Oy:n betoniaseman huollot ja käyttömahdollisuudet. Silta-, kylpyhuone- ja laiturituotanto on riippuvaista tuotteiden kysynnästä.

7.2 Betonin kierron kuvaus

Kiertotalous on vahvasti mukana konsernin päätuotannossa betonin valmistuksessa ja kiiviainesten seulonnassa. Tuotantojen ylijäämäbetonien ja seulonnan sivutuotteiden kierrätys sekä tuotteistaminen näkyy kevytsoramurskeen ja betonimurskeen käytettävyytenä uudelleen raaka-aineena, jolloin korvataan neitseellisiä luonnonkiviaineita. Tuotannon ylimääräisinä syntyviä sivuvirtoja aiotaan vähentää ja ratkaista kehittämällä ylijäämäraaka-aineet uusiksi tuotteiksi.

Betonitehtaalla syntynyttä ylijäämäbetonia jaotellaan tuoreeseen ja kovettuneeseen sekä osittain myös sivuvirtaprosessien sivuvirtoihin. Tuoreen ylijäämäbetonin osuus on suurta etenkin silloin, kun valmistetaan ulosmyytävää valmisbetonia ja pestään betoniautojen säiliöitä sekä tuotannon betonikuljettimia. Tuoreen betonin pesusta syntyvää betonilietettä ja karkeaa kiviainesta syntyy betonin kiviainespesurin sivutuotteena. Kovettunutta betonia syntyy erityisesti AKO Wall -tuotannon hukkapaloina ja murskeena sekä piha- ja harkko-betonituotannon viallisina tuotteina ja myös väestönsuojahallin valmistuksen yhteydessä siivottavana murskeena.

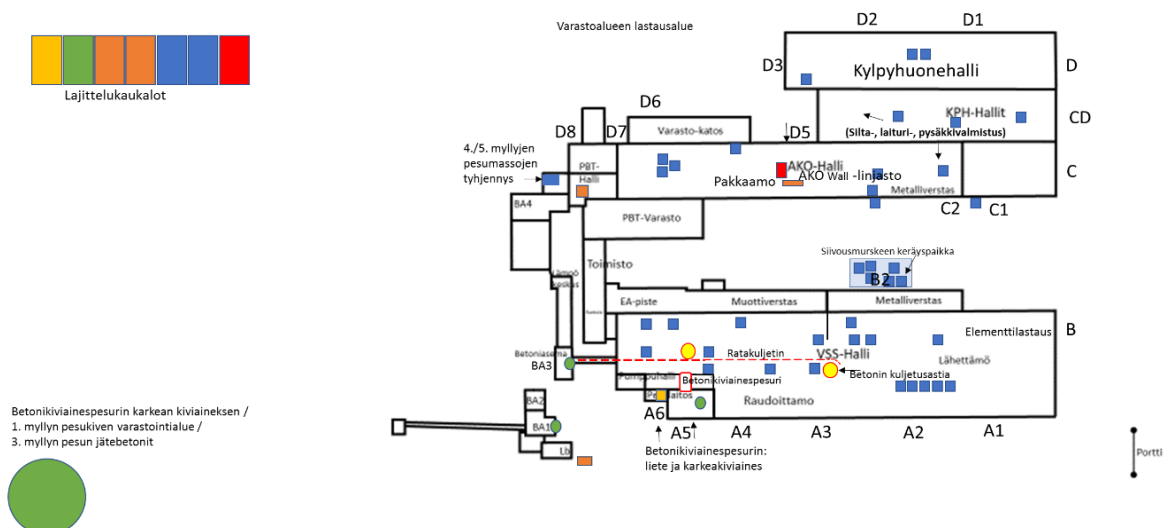
Betonitehtaalla on betonijätteille varastointi- ja jatkokäsittelymahdollisuudet. Tehdas on jaettuna erilaisiin tuotantotiloihin, jotka poikkeavat toisistaan betonituotannon ja siitä syntyvän jätteen osalta. Tuotantotiloista löytyy betonijätteelle keräysastioita, joihin kerätään lajiteltuna ylimääräinen betoni. Keräysastioiden betoni syntyy yleisesti betonin valujen pintojen hierrosta, joka siivotaan tuotantotilojen lattioilta kuivuneena murskeena. Täysinäiset betonijäteastiat noudetaan niille suunnatuilta tyhjennyspaikoilta ja tyhjenetään lajittelukaukaloihin. Kaukaloissa betonijäte pysyy lajiteltuna, eikä pääse sekoittumaan muihin jätebetonilajikkeisiin. Kaukalot toimivat väliaikaisena ulko-varastona murskattavaksi meneville ja myös murskatuille ja seulotuille betonimurskeille.

Ylijäämäbetonin arvioitu osuus on 5,2 %:n luokkaa betonin kokonaistuotannosta vuosina 2006–2015 laaditun arviolaskelman mukaan (tehtaan betonijätekaavio). Merkittävää muutosta ei ole tullut. (Leppänen 2020.)

7.3 Betonisivuvirtojen keräys

Kuvioon 12 on merkitty tehtaan betonisivuvirtojen lajikekohtaisten tuotannon sivuvirtojen pääsääntöiset keräysastioiden sijainnit ja tehtaan kaksi toisistaan erillään olevaa esivarastointialuetta, jotka ovat samalla värikoodilla selkeyttääkseen tehdasrakennuksesta siirrettäviä sivuvirtoja oikeisiin esivarastointialueisiin. Siivouksen yhteydessä kerätty murske ja jalostamiseen soveltumattomat betonit on merkitty siniseksi. Keräysastiat on sijoitettu tuotantopisteiden läheisyyteen ja ovat helposti liikuteltavissa tai ovat prosessin yhteydessä, jolloin astiat täyttyvät itseksensä. Oranssi väri on joko kevytsoraa tai kovettunutta betonia sisältävää jätettä, ja ne tulisi lajitella erilleen toisistaan. Lisäksi ne voivat sisältää epäpuhtauksia, kuten betoniraudotteita ja eristeitä. Punainen katkoviiva ja kaksi punaisella ääri-viivalla merkattua keltaista ympyrää kuvaavat väestönsuojahallin tuoretta betonia, joka pestään betonin kierrätyslaitoksen eriteltäväksi. Tehdasrakennuksen vihreät ympyrät kuvaavat kolmea erilaista sivuvirtaa, jotka lajitellaan kuvion pyöreälle esivarastoalueelle erillisiin kasoihin toisistaan. Sävyltään tummempi keltainen ruutu kuvaa betonin kierrätyslaitoksen tuottamaa betonilietettä ja sen esi- ja välivarastointipaikkaa. Punainen väri vastaa

tuotannon viallisten AKO Wall -tuotteiden keräystä ja esivarastointia. Kuviossa 12 ei ole kaikkia betonin valmistukseen kuuluvia betonisivuvirtoja. Puuttuvat sivuvirrat ovat tehdas-kiinteistön ulkopuolinen betonin kuljetus ja huoltoihin kuuluvat sivuvirrat.



Kuvio 12. Betonin keräysastiat tehdastiloissa

Väestönsuojaelementtien valmistuksen tuotantotilat

Väestönsuojahallissa on käytössä noin 24 kappaletta betonijätteen keräysastioita, kaksi kuljetinta, tilavuudeltaan 2 m³, sekä ratakuljetin 1 m³. Väestönsuojahallin betonijätteen käytössä olevat keräysastiat täyttyvät noin kahdesta neljään viikkoon. Kuivunutta siivousbetonijätettä kerätään kuvien 3 ja 4 mukaisiin työmaakärryihin. Väestönsuojahallissa on lisäksi kaksi erilaista keräysastiaa. Väestönsuojahallin astiat siirretään täysinäisinä B2-oven eteen pihalle, josta pyöräkuormaajalla otetaan siivousmurske lajiteltavaksi lajittelukaukalo.



Kuva 3. T-kärry on tilavuudeltaan 420 litraa ja kestää 750 kg kuorman



Kuva 4. Väestönsuojahallin siivousmurskeen keräysastioiden tyhjennysalue

Siivousmursketta syntyy varsinaisesti väestönsuojapuolella valettavien petien pintojen hierrosta ja elementtien purkamisesta pedeistä. Tuotannossa myös tuotteen

puhdistaminen ja korjaustoimet tehdään väestönsuojaelementeille, joista murskeen arvioitu osuus on 55 kg tuotantopäivässä. Murske kerätään siivousjätteenä työmaakärryyn (Ahokas 2020).

Tuotekohtaiset tuotantotilat

Linja-autopysäkkilaattojen, kylpyhuoneiden, siltojen ja laitureiden valmistus ei synnytä suurta määrää betonijätettä, joten niiden yhteyteen siivottavalle murskeelle ei tarvitse varata kärryjä kuin 1-2 kpl tuotantohalliin. Kylpyhuonetuotannossa poistoon meneville kaakelille on varattu kaksi keräysastiaa. Täyttyneiden keräysastioiden tyhjennys tapahtuu hallin päätyovien kautta pyöräkuormaajan noutamana. Kyseisten tuotantojen murskeet ja kaakelit menevät siivousmurskeena samaan lajittelukaukalo. Hallin tilojen valmistukseen kuljetetaan tuoretta betonia pyöräkuormaajan kuljettimessa, joka puretaan hallissa oleviin samantapaisiin betonin kuljetusastioihin. Kaikki betonin kuljetusastiat pestään tuoreen betonin kierrätyslaitoksessa.

7.4 Virheelliset tuotteet

Virheellinen tuote hylätään, ellei sitä voida korjata. Virheellinen tuote voi syntyä esimerkiksi suunnittelun tai valmistuksen virheenä. Betonin raaka-aineissa tai betonimassan valmistuksessa voi tapahtua tekninen tai inhimillinen virhe. Suurempi virhe voi edellyttää tuotteen kelpoisuuden arvioinnin rakennuskäyttöön, joihin vaikuttaa tuotteelle asetettujen vaatimusten täyttyminen. Yrityksen laadunvalvonnalla seurataan erityisesti betonin alkulujuuden kehitystä, tuoreen betonimassan ilmapitoisuutta ja notkeutta, lämpötilaa, tiheyttä sekä vesi- ja sementtisuhdetta. Lisäksi runkomateriaalien rakeisuuden ja jakautuvuuden sekä kiviaineksen kosteuden valvonta kuuluu yrityksen sisäiseen laadunvalvontaan betonilaboratoriossa suoritettavaksi. Yrityksen laboratoriossa testataan tuotantoihin valmistettavia betonimassoja ja koekappaleita sekä piha- ja harkkotuotteita. Laatukriteerejä täyttämättömät tuotteet hylätään ja mahdollisista jo toimitettujen tuotteiden laatuvirheistä ilmoitetaan asiakkaalle, jolloin sovitaan jatkotoimenpiteistä. Laboratoriosta tuotetestauksen ja betonimassan testauksesta syntyvää betonijätettä kerätään sekalaisena kovettuneena lajikkeena keräysastiaan. Tuoreella betonilla likaantuneet välineet pestään pesuhallissa.

Piha- ja harkkabetonituotteiden valmistuksessa valvotaan tuotteiden esteettisyyttä ja virheelliset tuotteet kerätään sivuun tuotantolinjastolta tai pakkaamosta. Yrityksen digitalisoinnin edistämiseksi on otettu käyttöön yrityksen käyttöjärjestelmästä löytyvä tuotantotilakohtaiselle jätteenkeräykselle oleva jätteen määrän- ja laadunseurannan raportointisovellus, jota voidaan soveltaa pihabetonituotannon jätteen keräyksessä (Hallikainen 2020).

Elementtien valmistuksessa virheelliset tuotteet korjataan tai hylätään. Hylätty tuote siirretään lajittelualueen reunalle, josta se voidaan ottaa myöhemmin murskattavaksi lajittelukaukalojen äärelle.

7.5 AKO Wall -tuotanto

AKO Wall -tuotannon tuotekone saa betoniaineksen käyttöön myllystä 4. Tuotekone aiheuttaa käyttöaikana prosessista ohivuotavaa mursketta (kuva 5) sivutuotteena. Murskeelle on kolme keräysastiaa ohivuotokohtien läheisyydessä. Kaksi keräysastiaa on sisällä ja yksi tehtaan seinän vieressä ulkona. Tuotekoneen alku- ja loppuvaiheen käytöstä jäävät hukkapalat kerätään erilleen sivuun edellyttäen, että ne ovat riittävän isokokoisia.



Kuva 5. AKO Wall -tuotekoneesta tulevaa siivottavaa mursketta

Valmiit AKO Wall -tuotteet kärsivät taivutusrasitusta pakkaamon pakkausprosessissa. Hajonneet tuotteet kerätään sisällä omalle keräyslavalle, minne myös AKO-tuotantokoneen hukkapätkät kerätään. Lastausvaiheessa hajonnut AKO Wall -tuote siirretään pakettina sivuun myöhempää korjaustoimenpidettä varten. Pakkaamossa vialliset tuotteet kerätään jätelavalle. Hajonneet AKO Wall -tuotteet toimitetaan AKO:lle varatulle lajittelukaukalolle ja tuotekoneelta syntyneet murskeet kerätään muiden siivousmurskeiden kanssa yhteiseen lajittelukaukaloon (kuva 6). (Peltonen 2020.)



Kuva 6. Murskattavaksi varastoitu AKO Wall -tuote lajittelukaukalossa

7.6 Betonimyllyt ja asemat

Tehtaalla on käytössä neljä betonimyllyä (numeroitu 1, 3, 4 ja 5). Mylly 2 on poistettu käytöstä. Mylly 3 tuottaa betonia ratakuljettimella väestönsuojahalliin. Lisäksi myllystä 3 tuotetaan betonit pyöräkuormaajalla kuljetettavaksi tehtaan tuotantoihin: kylpyhuone-, pysäkki-, silta- ja laiturituotantoon. Tehtaalta ulos myytävää betonia voidaan valmistaa myllystä 3, mutta pääsääntöisesti myllystä 1. Pihatuotteet ja erilaiset harkot valmistetaan vuoroerissä myllyllä 5. AKO Wall -tuotanto valmistetaan myllyllä 4 ja omalla tuotantolinjastolla.

7.6.1 Betonimylly 3

Betoniasemaa 3 päivystää betonimyllyläri, joka vastaa myllyjen 3 ja 1 käytöstä. Myllystä 3 tuotetaan väestönsuojatuotantoon betonit seinä- ja laattapuolelle, sinne kulkevalla ratakuljettimella. Betonimylly 3 on tilavuudeltaan yhden kuutiometrin ja siitä pyritään tuottamaan myös betonit linja-autopysäkkien laattoihin, siltaelementteihin, laitureihin ja kylpyhuoneisiin. Kyseisiin tuotantoihin kuljetetaan betonit pääsääntöisesti pyöräkuormaajalla betonikuljettimessa.

Betonimyllyn välipesulle on joissakin tapauksissa tarvetta, mutta loppupesu tehdään aina tuotannon jälkeen. Pesuvesi valuu myllyn purkusuppilon läpi pesujätteen keräysastialle (kuva 7). Astiaan kertyy pesussa irronnutta märkää betonia ja pesuvettä. Tyhjennys on kerran tuotantopäivässä pyöräkuormaajalla astian ollessa lähes täysi, josta koostumukseltaan hieman yli puolet on ylimääräistä vettä. Vesi kaadetaan pesuhalliin ja pohjalle jäänyt märkä betonimassa tyhjennetään rinnepenkkaan kuivumaan ja astia toimitetaan tyhjänä myllyn purkusuppilon alle. (Haapalahti 2020.)



Kuva 7. Myllystä 3 valuneet betonit (ei vielä pesuvettä)

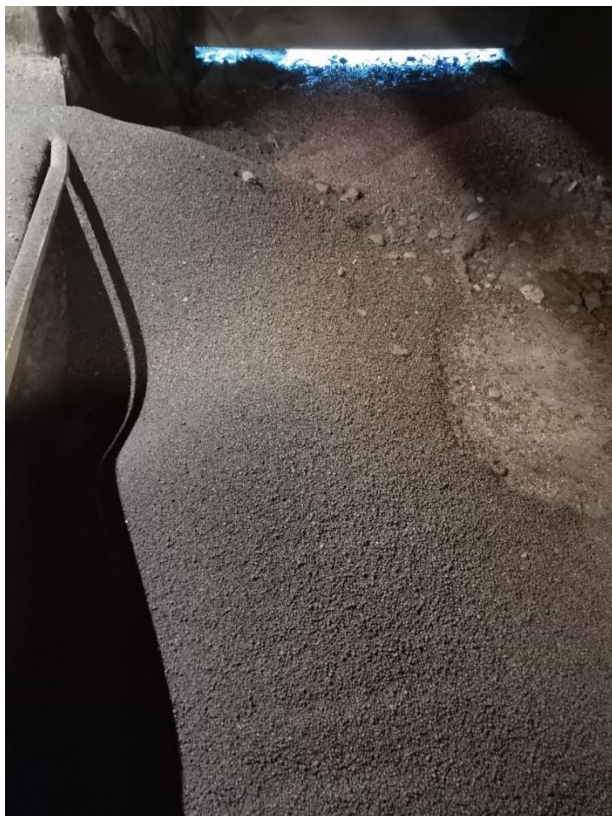
7.6.2 Betonimylly 1

Betoniasemasta 3 ohjataan valmisbetonituotantoa, joka valmistetaan tilavuudeltaan 3 m³ olevasta betonimyllystä 1. Myllyn käyttö vaihtelee valmisbetonituotannon mukaan, joka on yksi syy, miksi myllyä on erityisen vaikea pitää puhtana. Tuotantopäivän jälkeen mylly pestään kaksivaiheisella pesuohjelmalla. Pesu käyttää puhdasta vettä ja pesuohjelman molemmilla kerroilla otetaan talteen pesukivet. Pesukivet puretaan myllystä pyöräkuormaajan betoninkuljetusastiaan. Ensimmäinen pesukerta sisältää noin 2200 kg pesukiveä

ja toinen pesu siihen perään lisää vielä noin 1200 kg pesukiven määrää. Pesukivet varastoidaan omalle varastointialueelle. Tuotantopäivinä, jolloin valmisbetonin tuotanto katkeaa pidemmäksi ajaksi, mylly pestään samalla pesuohjelmalla kuin loppupesussa. Myllyn huollon yhteydessä piikataan myllyn sisälle kovettunut betoni ja puretaan betonimyllyn purkuaukosta maahan, josta se kerätään pyöräkuormaajalla lajittelukaukaloon. (Haapalahti 2020.)

7.6.3 Betonimyllyt 4 ja 5

Betonimyllyt ovat kahden betonituotantolinjaston käytössä. AKO Wall -tuotantoon betonia valmistava mylly 4 on vuoden ympäri jatkuvassa yksityövuorokäytössä. Pihabetonituotteita ja betoni- ja eristeharkkoja valmistava mylly 5 on päivä- ja iltavuorokäytössä. Myllyille ei ole tarvetta tehdä tuotantopäivän aikana välipesua, vaikka olisi kaksi työvuoroa. Molemmat myllyt pestään kerran loppupesuna ja siitä syntyvien pesuvesien määrä voi olla lähellä 800 litraa (Parikka 2020). Molempien myllyjen pesutuotteet kasaantuvat samalle alustalle myllyn 5 alle. Pestyjen myllyjen jätteet tyhjennetään pyöräkuormaajan toimesta noin kuukauden välein. Kuvassa 8 näkyy vasemmalla myllyn 4 valmistamisessa käytettyä kevytsorabetonia, joka on pesty myllystä ja oikealla myllyn 5 peseytynyttä pihatuotteisiin käytettyä betonia. Lajikkeet menevät sekaisin samaan lajittelukaukaloon halleista tulevan siivouksessa kertyneen betonijätteen ja AKO-tuotekoneen synnyttämän murskeen kanssa.



Kuva 8. Myllyjen 4 ja 5 pesun erottamat betonijätteet

7.7 Betonin, betonilietteen ja veden kierrätys betonitehtaalla

Tehtaan henkilökunta kutsuu tuoreen ylijäämäbetonin kierrätys- ja pesuasemaa yleisesti termillä pesuhalli. Tässä työssä pesuhallin sivuvirtoja erottavaan laitteistoon viitataan nimityksellä tuoreen betonin kierrätyslaitos.

Betonipesuaseman tekninen kuvaus

Betonipesuaseman toimintalaitteita ovat: betoniauton pesupumppu, pesurinpumppu, prosessipumppu, siirtopumppu, betonikiviainespesuri, liete- ja ylitäyttöaltaat, selkeytysallas, pesuveden varastointisäiliö ja lietepuristin, pesutaso, pesulieteputki, puhdasvesiletku ja vesipiste betoniautoille, korkeapainepumppu, pesukaukalo, syöttövesiliitin, prosessilieteputki, sähkökeskus, pintarajakytkimet, potkurisekoitin, betonin siirtoratakuljetin. Pesuaseman purkunopeus on 200 litraa minuutissa. (Rakennusbetoni- ja Elementti Oy 2020b.)

Käyttötointo

Kun tehdään betonin kierrätyslaitoksen käynnistää, samanaikaisesti käynnistyvät kiviainekuljetin ja lietepumppu. Tuore ylijäämäbetoni erotellaan vedellä pesemällä. Prosessin ensimmäisessä selkeytysaltaassa oleva pesty tuore betoni erotetaan ruuvipesurin nostamana ja puristamana, jolloin liiallinen kosteus ja hienoaines jää erilleen kiintoaineksesta.

Omaksi puhtaaksi kasaksi hallin lattialla kerääntynyt karkea kiviaines on valmis esivarastoitavaksi. (Niemelä 2013, 12.)

Prosessissa jatkavat märkä hienoaines, josta erotellaan liete ja vesi toisistaan. Seoksen kiintoaines ja vesi saadaan erilleen selkeytysaltaassa, jossa kiintoaines saostuu pohjalle. Suotopuristin tiivistää kiintoaineksen eli prosessissa syntyneen betonilietteen keräysastiaan ja puhtaampi pesuvesi varastoidaan kierrätysaltaaseen. (Niemelä 2013, 12.) Vesi kierrätetään uudelleen pesuprosessiin ja betonin valmistukseen myllylle 3. Liikaa hienoja partikkeleja sisältävä kiertovesi poistetaan kierrosta purkuputkella maaperän imeytykseen. (Leino 2020.)

Betonitehtaan betonin kierrätyslaitoksen vesi ei ole ympäristön kannalta haitallista, vaikka se on erittäin emäksistä. Myöskin betonilietteet ovat erittäin emäksisiä ja niiden ympäristökelpoisuus ei ole ongelma, jos ne käsitellään ja sijoitetaan oikein. Suomessa kaikkien betonitehtaiden tutkitut lietteet alittavat lannoitelaisissa vaadittavat raja-arvot maanparannusaineena käytettäväksi. (Suomen Betoniteollisuus Oy 2005.)

Pestävät kalustot

Tuoreella betonilla likaantunut kalusto pestään sisätilassa (pesuhallissa). Betoniauto peruutetaan hallin pesukaukalon päälle niin, että auton purkukouru osuu pesukaukalon välipälle. Pumppuautolla peruutetaan siten, että puhdistusluukku kohdistuu pesukaukalon välipään päälle. Pyöräkuormaajien kuljettamat betonikuljettimet pestään reunan yli kaatamalla ensin betonit välipään läpi ja puhdistetaan vedellä loppuun. Laboratoriovälineet tuodaan myös välipään päälle vedellä puhdistettavaksi. Väestönsuojapuolella puhdistus tapahtuu samalle välipälle, vaikka välissä on betoniseinä.

Pesupaikkaan pestävän kaluston koko ja pestävä betoni määrä vaihtelee kaluston seinämille tai astiaan jääneen betonin määrän mukaan. Pyöräkoneiden kuljettamat betonin kuljetusastiat (2-4 kpl, 2 m³) pestään välipesujen vuoksi noin 2-3 kertaa päivässä (Haapalahti, 2020). Kuljetusastioihin ei jää yli puolta kuutiota enempää betonia. Betonilaboratorion välineiden pesussa on 10-20 litraa pestävää betonia ja pesukertoja on päivässä 1-2. Pesuhallia käytetään betonijäteastian kertyneiden myllyn 3 pesuvesien tyhjennykseen, mutta astian pohjalla oleva betonimassa tyhjennetään lajittelukaukaloon. (Haapalahti 2020.) Pumppuauton pesuun kuluu noin 300 litraa vettä tuotantopäivän loppupesussa (Aitalaakso 2020).

Valmisbetonituotannon ylijäämäbetonit

Betoniautojen (5 kpl) säiliöt ovat tilavuudeltaan 6 m³ ja yhden 8 m³. Säiliöihin jää usein pestävää betonia arviolta alle 200 litraa ja pesuvettä kuluu noin 300 litraa pesussa. Niissä

tapauksissa, jossa ylijäämäbetoni on purettu lajittelukaukaloiden eteen, niin jää säiliöön pestävää betonia hyvin vähän. Betoniautojen säiliöiden pesukertojen määrä vaihtelee tuotannon mukaan siten, että säiliöiden välipesukertoja tarvitaan, jos betonilajikkeet vaihtuvat merkittävästi tai pidempien tuotantokatkosten aikana, jolloin riskinä on betonin jähmettyminen. Mikrobetoni Oy on valmisbetoniasema, joka pääsääntöisesti valmistaa kyseisille betoniautoille ulosmyytävät valmisbetonit. Betoniautoja käytetään ja pestään, silloin kun Mikrobetoniasema on suljettuna tai paikallisen valmisbetonin tarve on lähellä Rakennusbetoni- ja Elementti Oy:tä. Mikrobetoniasemalla on myös betonin kierrätyslaitos, josta tuodaan vaihtelevasti betonilietettä Rakennusbetoni- ja Elementti Oy:n tehtaan lietteelle varatulle lajittelukaukalolle.

Jokaisesta betonikuljetuksesta ulosmyytävään kohteeseen tulee tehdä lähete eli toiselta nimeltä kuormakirja. Betoniautokuskit arvioivat säiliöön jäävän $0,2 \text{ m}^3$ ylittäneen ylijäämäbetonin määrän silmämääräisellä tarkastuksella, jotka ilmoitetaan kuormakirjassa. Ylijäämäbetoni pestään betonin kierrätyslaitoksessa (kuva 9), mutta jo aina yli 1 m^3 ylijäämäbetonikuormat puretaan tehtaan lajittelualueen purkupaikalle tai uusiokäytetään tehtaan tuotannossa sellaisenaan raaka-aineena.



Kuva 9. Betoniauton säiliön pesu betonin kierrätyslaitokseen

Väestönsuojatuotantohallissa olevat 1 m³ ratakuljetin ja 2 m³ betonin kuljetusastiat 2 kpl ja kourut (2 kpl) pestään kerran tuotantopäivän päätteeksi. Kuvassa 10 näkyy betonia kourun kautta purkava ratakuljetin betonin kuljetusastiaan ja taustalla on väestönsuojahalli pesupaikka kuljetusastioille. Ratakuljetin ja kourut pestään kuljetusastiaan loppupesuna. Betonia tilataan hallin valuihin ratakuljettimella tilaus kerrallaan ja ylijäämäbetoni ei pitäisi syntyä yli 0,5 m³ enempää tuotantopäivän aikana.



Kuva 10. Ratakuljetin purkamassa betonia betoninkuljetusastiaan pesupaikan edustalla

Betonin kiviainespesurin pesty kiviaines tyhjennetään usein kasan ollessa yli 150 cm korkea eli pääsääntöisesti kerran tuotantopäivässä. Pyöräkonekuski kerää noin yhdestä kolmeen kauhallista pesurin pesemää kuvan 11 mukaista karkeaa kiviainesta. Kuvan 11 mukainen kasa on noin 180 cm korkea.



Kuva 11. Ruuvipesuri nostaa karkean kiviaineksen erilleen tuoreesta betonista hallin lattialle

Betonilietteen keräysastian tyhjennys

Betonin kierrätyslaitos tuottaa betonilietettä keräysastiaan (kuva 12). Astian käy tyhjentämässä pyöräkuormaaja astian tultua täyteen. Betonilieteastia täyttyy työpäivän aikana täyteen ja välillä astia on jo hieman ylitäytynyt, mutta pysyy kasassa. Lieite on olomuodoltaan verrattavissa saveen ja sen kiintoainekseen on sitoutunut tuoreena runsaasti vettä. Arvioitu betonilietteen (flokkulointijäte) määrä on ollut $2\text{--}2,5 \text{ m}^3 / 2,4 \text{ t/kg}$ tuotantopäivässä (Hallikainen 2015).



Kuva 12. Betonilietteen keräysastia

Betonin kierrätyslaitoksen kierrosta poistuva pesuvesi lasketaan purkuputkesta imeytyshiekalle. Tyhjennysalue kaivetaan tyhjäksi imeytyshiekasta (rinnesora), joka sisältää hienoainespitoista märkää lietettä. Maaperän huolto tehdään kerran vuodessa. Betonin kiviainespesurin kierrosta poistuneiden vesien imeytyshiekka kaivetaan pois (kuva 13), jonka jälkeen sen tilalle asetetaan uutta imeytysmaa-ainesta (rinnesora). (Leino 2020.)



Kuva 13. Betonin kierrätyslaitoksen kierrosta poistuneiden pesuvesien tyhjennysalueen huolto

7.8 Sivuvirtojen jalostus

Rakennusbetoni- ja Elementti Oy:n betonijätteen murskaus toteutetaan Hollolan Sora Oy:n henkilökunnan ja yhteistyökumppaneiden toimesta keväisin ja syksyisin. Rakennusbetonin murskausluvut ovat Hollolan kunnan vaadittavien ehtojen mukaiset. (Factory Production Control (FPC) 2020.) Betonimurskeen valmistuksessa toteutetaan seuraavat vaiheet: esikäsittely, raudoitusten ja epäpuhtauksien erottelu, murskaus, seulonta ja homogenisointi sekä varastointi. Murskeet ja sivuvirrat menevät uusiokäyttöön betonin valmistuksen raaka-aineena tai viherkatoissa, myytävänä maanparannusaineena rakennuskohteisiin ja kalkitusaineena peltolannoittamiseen. Myytävät tuotteet ja tuotteisiin käytettävät raaka-aineet ovat CE-merkittyjä. Murskauskäärät ja valmistusajankohdat raportoidaan Hollolan Sora Oy:n toimesta Rakennusbetoni- ja Elementti Oy:n sähköiseen tietokantaan. Yrityksen ympäristöinsinööri hoitaa murskeiden varastoinnin ja valmistuksen lupa-asioita yhdessä Hollolan Sora Oy:n henkilöstön kanssa.

Betonisivuvirtojen jalostuksen vaiheet ovat:

1. Betonijätteen talteenotto
2. Betonijätteen lajiteltu esivarastointi
3. Esimurskaus ja epäpuhtauksien erottelu
4. Murskaus, seulonta ja homogenisointi
5. Välivarastointi
6. Uusiokäyttö tai tuotteistaminen
7. Käyttöönotto / toimitus käyttäjälle

Tärkeimmät kriteerit, mitkä betonijätteen tuottajan on huomioitava:

- Betonijätteen tuottajan ja jätteen jalostajan on varmistettava, etteivät raaka-aineet sekoitu keskenään kuljetuksen tai varastoinnin aikana.
- Raaka-aineiden joukkoon ei saa päästä epäpuhtauksia kuljetuksen tai varastoinnin aikana.
- Raaka-aineiden kuljetuksen ja varastoinnin aikana ei saa aiheutua ympäristölle haittaa. (Enerkon Ympäristöpalvelut Oy 2016.)

Työssä ei erikseen syvennytä käsittelemään työn suorittamista standardikohtaisella tasolla, eikä syvennytä käsittelemään työterveydellisiä seikkoja, kuten esimerkiksi työn suorittamisessa aiheutuvan pölyämisen vähentämistä.

Tehtaan varastointialueiden sijainti

Rakennusbetoni- ja Elementti Oy:n betonisivutuotteiden varastointialueet sijaitsevat kahdessa eri paikassa tehdasalueella. Lajittelukaukaloiden varastointialue on käytännöllisellä sijainnilla, sillä se jää Hollolan Sora Oy:n soranottoalueen ja betonitehtaan väliin tehdas-kiinteistön tasalle. Lisäksi alue kuuluu Kukonkoivun teollisuusalueeseen Hollolan kunnan asemakaavan mukaan. (Hollolan Kunta 2011.) Sivummalle rinteeseen varastoidaan betonikiviainespesurin karkeat kiviainekset, myllyn 1 pesukivet ja myllyn 3 pesusta irronneet betonit.

7.8.1 Varastointialueen kuvaus

Tehtaan betonijätteet varastoidaan lajittelukaukaloihin tai kasoihin. Kaukaloita on nykyään seitsemän, joihin varastoidaan lajiteltuina tehtaan tuotannosta syntyneitä betonimurskeita. Kaukaloita käytetään myös tilapäisenä jalostetun betonimurskeen varastointipaikkana. Kaikkia tuotannosta syntyviä betonisivuvirtoja ei esivarastoida lajittelukaukaloihin vaan

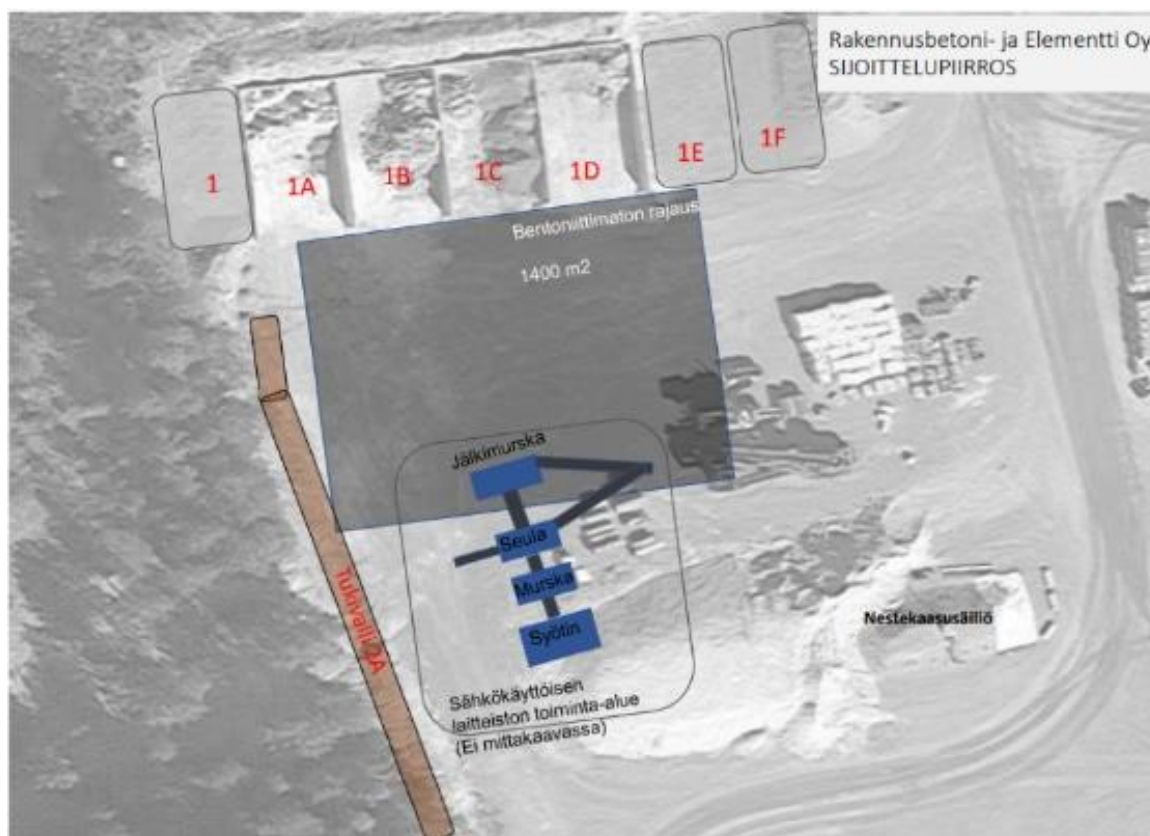
niille on omat erilliset esivarastointialueet, joihin ne voidaan kasata erillisiin kasoihin. Varastointialueen lajittelukaukaloiden edessä on väliaikaisia varastokasoja, jotka menevät myöhemmin jalostettavaksi tai maanparannusaineksi. Esivarastointi tehdään myös tehtaan kolmesta eri laadusta syntyvälle pestylle betonijätteelle. Tämä alue sijaitsee hieman sivummalla betonijätteen lajittelukaukaloista (kuva 14, kohta 3).



Kuva 14. Betonisivuvirtojen varastointialueet

Varastointialueen seitsemän lajittelukaukaloa betonisen laatan päällä. Kaukaloiden yhteispinta-ala peittää yli 1000 m² ja niiden väliseinien korkeus on 2,2 m. Kaukaloiden väliseinien tarkoitus on estää lajikkeita jakautumasta keskenään. Kaukaloiden edessä on maan alle asennettu bentoniittimatto, jonka rajautuu 1400 m² neliskulmaiselle alueelle. Maton alueella ovat: betonin murskaukseen käytettävä leukamurskain, tuoreelle ylijäämäbetonille varattu tyhjennyspaikka, betonimurskekasa ja murskausalueen pintamaa-aineksen sisältämä kasa. Kuvassa 15 on rajattuna bentoniittimaton alue, jossa tapahtuu osa betonijätteidön jalostuksesta.

Kaukaloihin lajitellaan esivarastoitavia samanlaatuisia betonisivuvirtoja tai välivarastoidaan murskattua ja seulottua betonimursketta. Varastointialueella tehdään esimurskaus, jossa myös epäpuhtaudet erotellaan betonista. Varastointialueen päädyssä on myös tilaa säilyttää murskattavaksi meneviä tuotteita, kuten päällystelaattoja ja elementtejä.



Kuva 15. Betonimurskeiden esi- ja välivarastointialue sekä esimurskaus- ja jalostusalue

7.8.2 Esivarastointi

Tehtaan betonisivuvirrat pyritään esivarastoimaan lajittelukaukaloihin kuvan 15 ohjeen mukaan, eikä lajikkeet sekoitu keskenään. Toisena esivarastointipaikkana toimii kuvan 14 mukainen varastointialue (rinne). Kuva 16 on otettu varastointialueelta, jonne on varastoitu myllyn 1 pesukivikasa. Esivarastoinnissa kerätään lajittelukaukalot riittävän täyteen,

jolloin voidaan aloittaa esimurskaus, murskaus ja murskeiden seulonta sekä välivarastointi. Lopuksi kaukalot saadaan tyhjiksi, jotta uutta sivuvirtaa pystytään taas varastoi-
maan.



Kuva 16. Varastoitua pesukiveä myllystä 1

Esivarastoitavat lajikkeet lajittelukaukaloihin ovat kuvan 15 mukaisessa järjestyksessä 1:stä 1F:ään:

1 Betoniliete (flokkulointijäte), Rakennusbetoni- ja Elementti Oy / (Mikrobetoni Oy)

1A Kovettunut ylijäämäbetoni, (betoniautojen tyhjennyskasat (kamit) ja mylly 3)

1B Kovettunut betoni (betonituotteet, elementit, polyuretaanieristeet)

1C Kevytsora (kevytsoraharkot, polyuretaanieristeet)

1D Sekalainen (siivouksen yhteydessä kerätty murske, AKO-tuotekoneen murske, mylly-
jen 4 ja 5 sekalainen pesukiviaines)

1E Sekalainen (sama kuin 1D)

1F AKO Wall -tuotteet

1 Betoniliete

Lieteastia tyhjennetään joka tuotantopäivä lietteelle varattuun lajittelukaukaloon (kuva 17). Mikrobetoni Oy toimittaa oman betonin kierrätyslaitoksen tuottaman lietteensä ulkopuoliseen kierrätyspuistoon tai Rakennusbetoni- ja Elementti Oy:n lajittelukaukaloon. Molempien lietteiden annetaan kuivua ulkona.



Kuva 17. Lietteen lajittelukaukalo

1A Kovettunut ylijäämäbetoni

Lajittelukaukalo on varattu kovettuneelle ylijäämäbetonille, joka paakkuuntuu (kamit). Poikkeustapauksissa betoniautot tyhjentävät ylijäämäbetonin varastointialueen reunaan. Syitä tähän on betonin kierrätyslaitteiston tukkeutumisvaara kiireen aikana, kun ylijäämäbetonia on säiliössä yli 1 m³. Kuivuneet ylijäämäbetoniläjät kerätään pyöräkuormaajalla kaukaloon. Kaukaloon tuodaan myös myllyn 3 pesusta syntyneet massat ilmakeivattuna rinteessä olevalta varastointialueelta (Leino 2020).

1B Kovettunut betoni

Lajittelukaukalo on varattu kovettuneelle betonille, joka koostuu enimmäkseen kelpaamattomista tuotteista. Kaukaloon lajitellaan päällystekivet ja harkot sekä väestönsuojaelementit. Betonin mukana kasaan kertyy epäpuhtauksia, kuten polyuretaanieristeitä ja betoniraudoiteteräksiä.

1C Kevytsora

Jalostettavaksi murskeeksi menevät tuotteet tulevat pihabetonituotannosta hylättyinä kevytsoratuotteita tai vaihtoehtoisesti muista kevytsorabetoneista. Polyuretaanieristeitä sisältävät kevytsorajätteet lajitellaan tähän kaukaloon.

1D / 1E Sekalainen

Sekalaiseen lajittelukaukaloön kuuluvat tuotantohallien siivousmurske ja AKO-tuotekoneen murske sekä myllyjen 4 ja 5 pesusta sekaisin menneet betonijätteet. Ongelmalliset betonijätteet viedään jatkojalostamattomina kierrätyspuistoon. Kierrätyspuistossa materiaali punnitaan kuorma kohtaisesti ja yrityksen kilpailusopimuksen mukaisella hinnoittelulla laskutetaan. Kierrätyspuistossa vastaan otettujen jätteiden lajittelua jatketaan. (Leino 2020.)

1F AKO Wall

Tähän lajittelukaukaloön sijoitetaan jalostettavaksi murskeeksi kerättävät poikkinaiset kevytsoraseinät. Jalostettavan AKO-murskeen kanssa on käytetty eristeetöntä kevytsoramursketta, mutta enää niitä ei sekoiteta keskenään. AKO Wall -tuotekoneen synnyttämää mursketta ei käytetä, vaan se sijoitetaan sekalaiseen lajittelukaukaloön siivousmurskeen sekaan.

7.9 Betonimurskeiden valmistus

Rakennusbetonin murskausluvut ovat Hollolan kunnan vaatimien ehtojen mukaiset (FPC 2020). Betonimurskeiden valmistus ajoittuu kevääseen ja syksyyn, jolloin murskeiden väli-varastona pidettävät lajittelukaukalot tyhjennetään kerätyistä betonisivuvirroista. Betonin esimurskaus tehdään lajittelukaukaloiden edessä kaikille lajikkeille. Murskaus ja seulonta tehdään lajittelukaukaloiden varastointialueella tai soraontulla riippuen murskattavasta lajikkeesta. Homogenisointi eli jalostetun murskelaadun tasalaatuinen sekoittuminen tapahtuu murskauksen ja seulonnan yhteydessä jalostetuilla lajikkeilla (Leino 2020).

Väli-varastoinnin aikana lajikkeiden sijoittelu lajittelukaukaloihin voi muuttua. Kun kaukalot saadaan tyhjiksi, on varaa valita mihin jalostettuja murskeita sijoitetaan väliaikaisesti. Lajittelukaukaloissa olevat materiaalit voivat erivaiheisen jalostusprosessin aikana vaihtaa väliaikaisesti kaukaloa, sillä osa tuotetuista murskeista pitää saada betonilaatan päälle ja osa voidaan sijoittaa väli-varastoitavaksi hiekkakentälle bentsoniittimaton alueelle. Suunnitelmassa on rakentaa kolme uutta lajittelukaukaloa samalle varastointialueelle.

Betonimurskeen esikäsittely

Betonimurskeen valmistuksessa toteutetaan seuraavat vaiheet: esikäsittely, raudoitusten ja epäpuhtauksien erottelu, murskaus, seulonta, (homogenisointi) ja välivarastointi. Tehaan betonisivuvirrat käsitellään leukamurskaimessa ja lisäksi osa lajikkeista käsitellään kiviainesten seulontalaitteistossa.

Betonijätteen esikäsittelyssä betoni murskataan sopivaan palakokoon. Esikäsittely tehdään tarpeen mukaan paloittelemalla kaivurin kauhalla tai kaivuriin asennettavalla pulverointilaitteella. Mahdollinen raudoitus poistetaan magneettierottimella. Muiden epäpuhtauksien määrä on vähäistä. Murskatusta betonista erotellaan käsin eristeharkkojen polyuretaanieriste. Eristeitä sisältävät epäpuhtaudet murskatussa betonimurskeessa olisi mahdollista poistaa tuuliseulontamenetelmällä vuokrattavalla kalustolla tehdasalueella. Tuuliseulaa ei kuitenkaan käytetä, ellei eristeitä sisältävää betonijätettä viedä kierrätyspuistoon käsiteltäväksi. (Leino 2020.) Kuvassa 18 on esimurskattua kameja ja AKO Wall -tuotteita.



Kuva 18. Kameja ja esimurskattuja AKO Wall -tuotteita

Pulverointi

Pulveroitavia sivutuotteita ovat Betonin kierrätyslaitoksesta syntynyt kovettunut betoniliete ja betonin kuljetusautojen kovettuneet ylijäämäbetonit (kamat). Rinteeseen varastoidut kovettuneet lajikkeet saattavat vaatia pulverointia. Kyseisiä lajikkeita ovat myllyn 3 pesusta kertyneet betonit ja betonin kierrätyslaitoksen kierrosta poistuneen pesuveden kovettama imeytyshiekka sekä myllyn 1 pesukivet.

Betonilietteen jalostus (flokkuointijäte)

Lajittelukaukalo on esivarastoitu Rakennusbetoni- ja Elementti Oy:n ja mahdollisesti Mikrobetoni Oy:n betonilietteet. Jalostus aloitetaan esimurskaamisella eli tämän lajikkeen kohdalla pulveroimalla kovettunut liete pieneksi jauheeksi lajittelukaukalossa. Esimurskattu liete valmistetaan varastointialueella kaivuriin asennettavalla seulakauhalla ja seulottu liete välivarastoidaan lajittelukaukalo. (Leino 2020.)

Betonilietteen käsittely ja käyttö tuovat haasteita jalostusprosessiin ja kierrätyskäyttöön. Tiiviin lietteen sisältämän suuren vesipitoisuuden kuivattaminen on hidasta ja jalostetun materiaalin jatkokäyttömahdollisuudet ovat vähäiset esimerkiksi käyttötarpeeseen vaadittavaan määrään nähden. Aikaisemmin betonilietettä on yritetty käyttää kuivatettuna sekoittaen sitä muun betonimurskeen joukkoon jalostusvaiheessa, mutta kyseisellä tavalla ei saavutettu haluttua hyötyä. Lietteen jalostusta on yhtäjaksoisesti kehitelty (Lemola 2020). Varastoitua lietettä jatkojalostetaan käytettäväksi maanparannusaineena, erityisesti peltojen lannoittamisessa. Jalostettua lietettä syntyy vaihtelevasti noin 300 t/vuosi, joka on soveltuvaa maanparannusaineena peltolannoitteeksi. (Leino 2020.)

Kovettunut betonijäte ja väestönsuojaelementti

Viallinen väestönsuojaelementti (kuva 19) sisältää raudoituksen, joten sen esimurskaus tapahtuu ensin piikkaamalla irti mahdolliset ulosviennit ja ovet (Leino 2020). Kaivurin kauhalla ja kaivuriin asennettavalla pulverointilaitteella murskataan betonilohkareet ja raudoitteet pienempään palakokoon (kuva 20). Magneettierottimella erotellaan teräs betonimurskeesta. Betoniraudoitukseen käytetty teräs on suuremmissa määrissä tärkeää saada eroteltua, jotta betonimurskain ei mene tukkoon. Teräkset kerätään talteen ja kierrätetään romuna.



Kuva 19. Viallinen väestönsuojaelementti lajittelukaukaloiden edustalla



Kuva 20. Väestönsuojaelementistä eroteltuja teräsraudoituksia ja murskettä lajittelukaukaloissa

Kevytsora

Kevytsorabetonin kanssa toimitaan samalla tavalla kuin kovettuneen betonijätteen kanssa. Paitsi kevytsorabetonituotteiden kanssa ei varastoida raudoitettua betoni, jota tarvitsisi pulveroida ja magneettierotella. Kevytsoramurske kerätään ja valmistetaan omalle betonijätteen lajittelukaukalolle välivarastoitavaksi. Kevytsora esimurskataan kaivurin kauhalla ja murskataan leukamurskaimella, jonka jälkeen voidaan erotella polyuretaanieristeet kierrätettäväksi. Kevytsoramurske seulotaan varastointialueella ja välivarastoidaan lajittelukaukaloon. Kevytsoramursketta käytetään maarakentamiskohteisiin.

Leukamurskain ja seulonta

Esikäsiteltyä betonia syötetään yksivaiheiseen leukamurskaimeen. Leukamurskain (kuva 21) ja seulontavälineistö sijaitsevat lajittelukaukaloiden äärellä. Eristeharkkojen osalta eristeet erotellaan käsin murskauksen aikana keräyslavalle ennen seulontaa. Seulonta suoritetaan lajittelukaukaloiden edessä olevalla varastointialueella samoilla seuloilla, jotka soveltuvat kiviaineksille. Seulonnan läpi kulkeutunut aines samalla homogenisoituu, joten sitä ei tarvitse enää jälkikäteen sekoittaa.



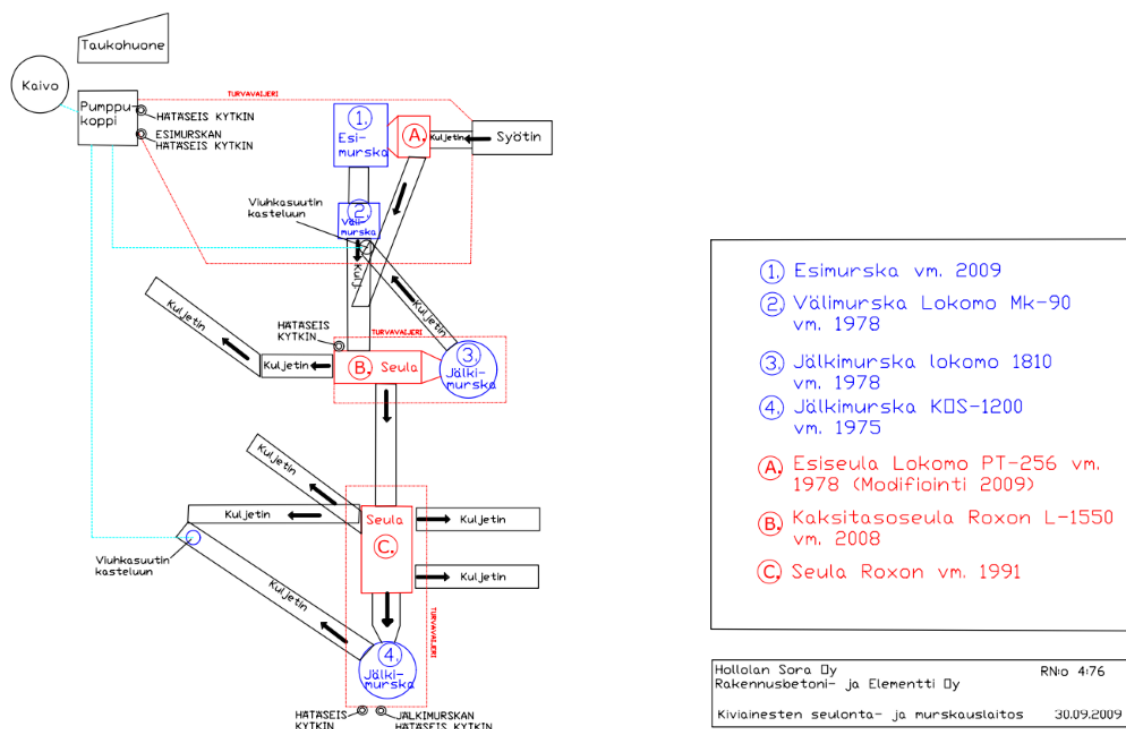
Kuva 21. Leukamurskain lajittelukaukaloalueella

Murskaus- ja seulontalaitteisto

Hollolan Sora Oy:n kiviainesten ottoalueet eli yrityksen soranottomontulla (kuva 22, kohta 1) on kolmiosainen kiviainesten murskaus- ja seulontalaitteisto. Laitteistosta käytetään kaksiosaisena sivutuotejalostuksessa erityisesti AKO-murskeen ja pestyjen kiviainesten jalostamiseen (kuvio 13). Lajittelukaukalolle kerätyt hajonneet ja kaivurin kauhalla esimurskatut (0-70 mm) AKO Wall -murskeet kuljetetaan murskaus- ja seulontalaitteiston syöttimeen pyöräkuormaajalla. Laitteistonkuljetin siirtää materiaalia esimurskauksen kautta seulalle, josta liian suuret rakeet erotetaan jälkimurskaukseen ja uudelleen seulalle. Valmiiksi seulottu murske välivarastoidaan tyhjiin lajittelukaukaloon odottamaan jatkokäyttöä. Valmis AKO-murske on raekooltaan 0-12 mm ja sitä hyödynnetään AKO Garden Roof -viherkattojen rakenteen raaka-aineena. (Leino 2020.)



Kuva 22. Murskaus- ja seulontalaitteiston sijainti varastoalueeseen ja varastointikasaan nähden

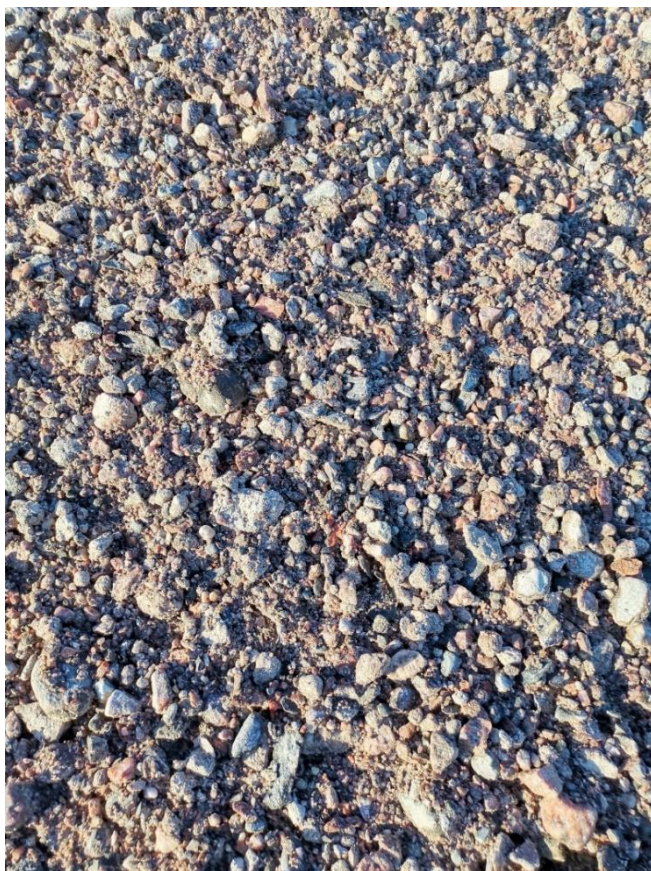


Kuvio 13. Murskaus- ja seulantalaitteiston tekninen piirroskuva (Hollolan Sora Oy 2009)

Soranottomontulla olevalla murskaus- ja seulantalaitteistolla valmistetaan sekoitettua kahden sivutuotteen sekoitusta, jotka ovat betonikiviainespesurin tuottamaa pestyä kiviainesta ja myllyn 1 pesukiviä (kuva 23). Niiden sekaan lisätään normaalia kiviainesta parantamaan sivutuotteen kulkemista laitteiston läpi (kuva 24). Tämän vuoden käsiteltävä määrä on 2000 tonnia. Toimintaperiaate on sama kuin AKO-murskeen valmistuksessa, mutta valmistettu tuote on seulottu raekokoon 0-32 mm. (Leino 2020.) Valmistuote kuljeteen ylös välivarastoon tyhjiin lajittelukaukaloon tai niiden eteen omaksi kasaksi. Betoni-murske myydään asiakkaan tarpeeseen maarakentamiskäyttöön.



Kuva 23. Betonikiviainespesurin karkeaa kiviainesta ja myllyn 1 pesukiveä



Kuva 24. Pesukivi sekoitettuna betonikiviainespesurin karkeaan kiviainekseen, joka on murskaus- ja seulontalaitteistoon menevää

Varastointialueen pintamaa sisältää murskauksen yhteydessä jääneitä epäpuhtauksia. Hiekkakerros vaihdetaan ja poistettava maa-aines kasataan väliaikaiseksi omaksi kasaksi varastointialueelle. Kyseisestä kasasta erotellaan suurimmat epäpuhtaudet ja jalostetaan seulomalla maarakennuskäyttöön.

Betonijätteen lajittelukaukaloissa oleva betonimurske esi-murskataan kaivurilla ja leuka-murskaimella 0-55 mm tai 0-70 mm kokoon. Murskattu betonijäte käsitellään lajittelukauksen seulontalaitteistossa, josta valmistetaan 0-12 mm ja 0-32 mm raekokoon mursketta.

Tarkat betonisivutuotemäärät raportoidaan betonijätelajikohtaisesti murskaus- ja seulontaprosessista jalostettuna homogenisoituna välivarastoon. Kierrätyspuistoon menevät jätebetonit punnitaan kuormakohtaisesti ja laskutetaan yritysten välisen salassa pidettävän kilpailusopimuksen mukaan.

7.9.1 Ylijäämäbetonin soveltamista

Tehdas on käyttänyt ylijäämäbetonia hyödyksi omalla kiinteistöllä rajaismuurina toimiviin tuotteisiin (kuva 25).



Kuva 25. Esimerkki ylijäämäbetonin käyttökohteesta

Betoniautoihin ylijäänyttä valmisbetonia voidaan käyttää hyödyksi tehtaan tuotannossa korvaavaan tuotantoon. Ylijäämäbetonin laadun pitää täyttää kohteeseen sovellettavat kriteerit ja sen määrä arvioidaan tuotannon tarpeeseen.

Tuoreen ylijäämäbetonin kierrätettävyyteen voidaan käyttää esimerkiksi kaksikomponenttista jauhetta, jotka lisätään betoniauton säiliöön ylijäämäbetonin sekaan sekoittumaan. RE-CON ZERO -tuotetta markkinoidaan hyödyntämään suurempi määrä ylijäämäbetonia uudeksi betoniksi. Tuore betoni voidaan muuttaa kierrätettävään muotoon käytettäväksi kierrätyskiviaineeksi tai täyttökiviaineeksi. (Mapei 2020.)

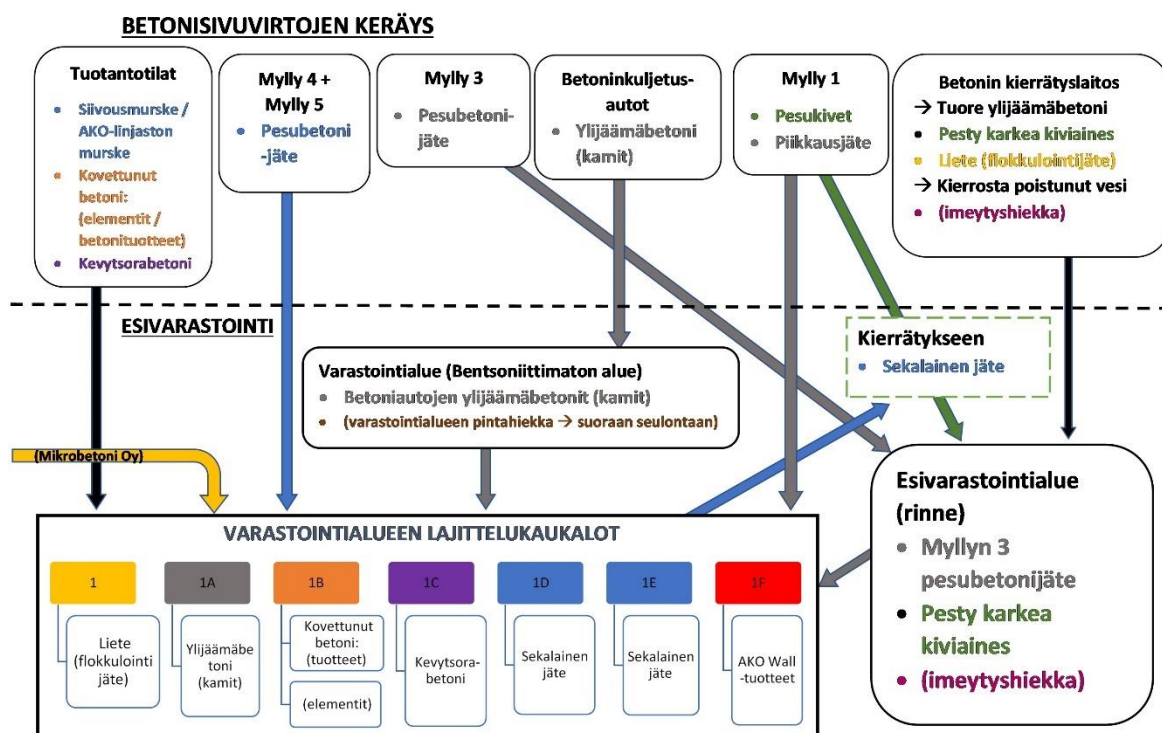
7.9.2 Laadunvalvonta

Vuonna 2017 päivitetyn MARA-asetuksen mukainen laadunvarmennusjärjestelmä sisältää liitteen 3 mukaiset kohdat. Kohdeyrittäjän hallinnon sisäistä laadunvalvontaa kuvaavasta käsikirjasta löytyvät suunnitelmat ja ohjeet liitteen 3 kohdista 3-6. Sivuvirtojen jalostetut lajikkeet ja ulkopuoliseen kierrätykseen sijoitetut määrät raportoidaan talteen yrityksen kirjapitoon. Tarvittavat laadunvalvontatutkimukset näytteenottoinen ja tutkittavien omaisuusien mukaiset kokeet tilataan ulkopuoliselta tutkimuslaitokselta. Laadunvalvontatutkimusten tuloksien perusteella maarakennuskäyttöön menevät murskeet määräytyvät Bem 1-4 laatuluokkiin. (Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 843/2017.)

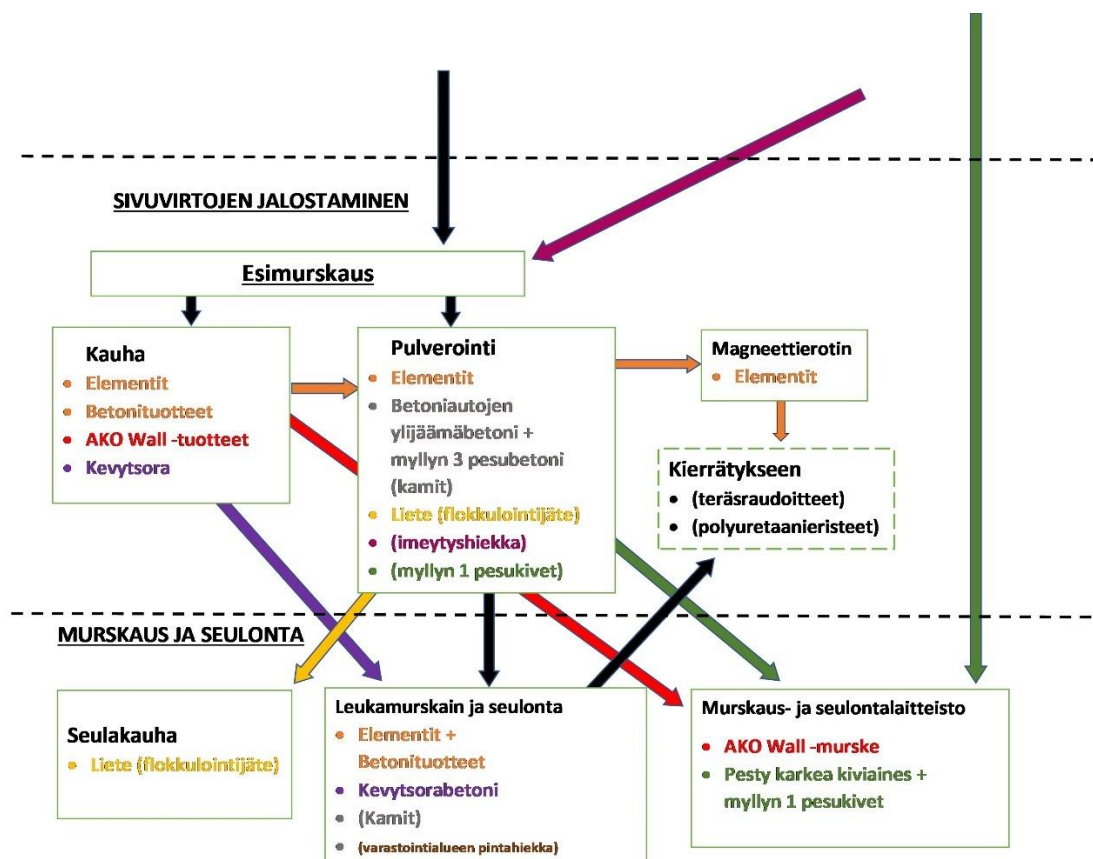
8 TULOKSET

Kuvioissa 14, 15 ja 16 on kuvailtu tehtaalla käsiteltäviä betonisivuvirtoja lajikekohtaisesti jokaisen prosessivaiheen kautta. Prosessivaiheita ovat: betonisivuvirtojen keräys, esivarastointi, sivuvirtojen jalostaminen, murskaus ja seulonta, jalostetun betonimurskeen väliaikainen varastointi ja käyttökohteet.

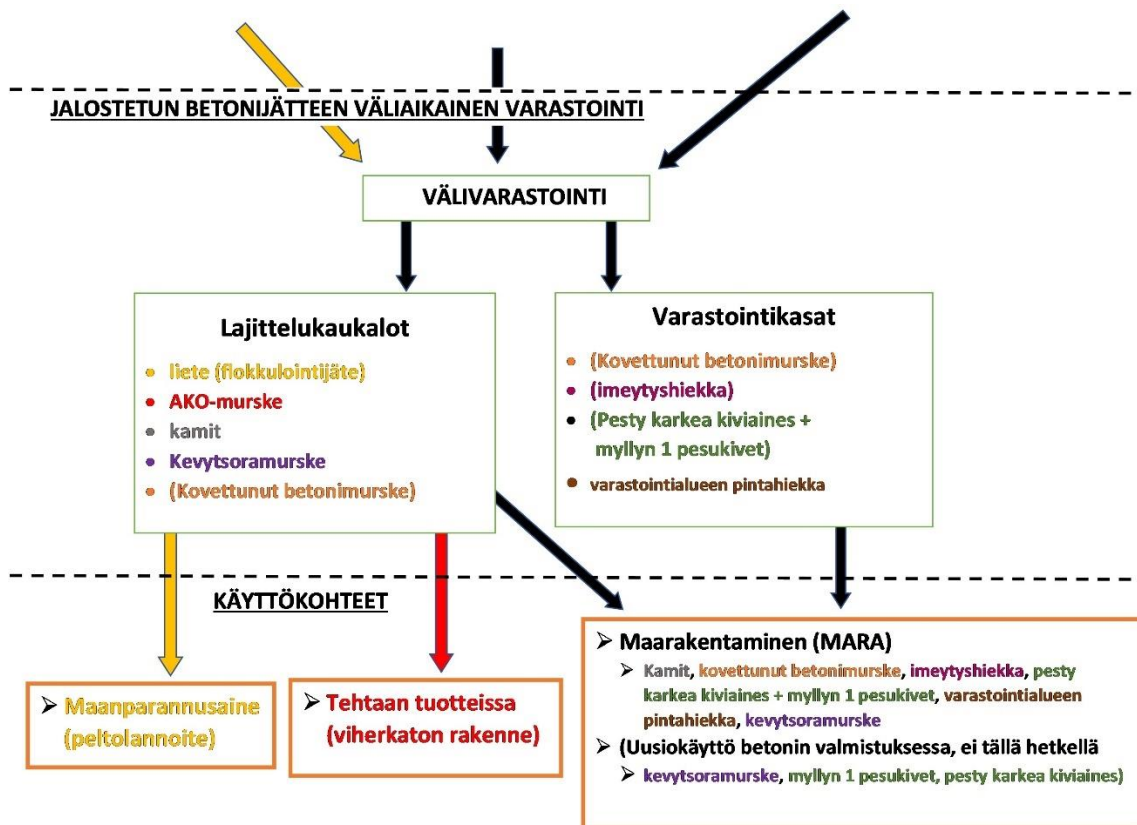
Betonisivuvirtojen keräys on jaettu jaettuna kuuteen eri osa-alueeseen ja jokaista sivuvirtalajia kuvataan prosessin läpi omalla teksti- ja suuntanuolivärillä. Joistakin osa-alueista voi syntyä useampaa kuin yhtä sivuvirtalajiketta ja siitä johdettavaa nuolta kuvataan silloin mustalla värillä. Jotkin lajikkeet yhdistetään prosessin aikana. Esivarastointi tapahtuu lajittelukaukaloihin tai niiden edessä olevalle hiekkakentälle bentsoniittimaton rajaamalle alueella ja tehtaan varastointialueella rinteessä sijaitsee esivarastointialue osalle lajikkeista. Rinteessä oleva esivarastointialue ei ole jalostusvaiheen jälkeen välivarastoalueena, vaan kaikki lajikkeet varastoidaan lajittelukaukaloihin tai niiden edessä olevalle bentsoniittimaton rajaamalle alueelle.



Kuvio 14. Betonisivuvirtojen keräys ja esivarastointi



Kuvio 15. Betonisivuvirtojen jalostaminen



Kuvio 16. Jalostetun betonijätteen väliaikainen varastointi ja käyttökohteet

Taulukossa 3 on silmämäärin arvioituja betonijättemääriä, jotka on valmistettu myllyistä 3, 4 ja 5 aikavälillä 14.4.2020 – 10.5.2020. Tehdaskierroksien (6) aikana on esitetty yleisim-
män siivousmurskeen alkuperänä valmistetut betonituotantomäärät myllystä 3, josta tuo-
tanto jakaantuu taulukon VSS- ja KPH-tiloihin.

Taulukko 3. Keräysastioiden tarkkailutulokset tehdasalueella

| Astia (num.) | Osasto | Kovettunut betonijäte (AKO/Betoni/Kevytora/Siivousjäte) | Astian / koko (m3) | määrä (%) 14.4.2020 | määrä (%) 17.4.2020 | määrä (%) 21.4.2020 | määrä (%) 24.4.2020 | määrä (%) 28.4.2020 | määrä (%) 10.5.2020 |
|-----------------|-------------|--|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1 | Laboratorio | Sekalaista | Lava (1,3m3) | 15 | 65 | 75 | 10 | | 85 |
| 2 | VSS | Siivousjäte | T-Kärry (0,42m3) | 70 | 80 | 95 | 95 | 0 | 0 |
| 3 | VSS | Siivousjäte | T-Kärry (0,42m3) | 60 | 60 | 80 | 90 | 20 | 30 |
| 4 | VSS | Siivousjäte | T-Kärry (0,42m3) | 5 | 5 | 10 | 10 | 15 | 15 |
| 5 | VSS | Siivousjäte | Keräyslava (3m3) | 50 | 55 | 60 | 80 | 85 | 90 |
| 6 | VSS | Siivousjäte | T-Kärry (0,42m3) | 90 | 90 | 90 | 90 | 35 | 55 |
| 7 | VSS | Siivousjäte | T-Kärry (0,42m3) | 75 | 85 | 85 | 90 | 5 | 30 |
| 8 | VSS | Siivousjäte | T-Kärry (0,42m3) | 70 | 75 | 75 | 80 | 95 | 95 |
| 9 | VSS | Siivousjäte | T-Kärry (0,42m3) | 20 | 30 | 45 | 45 | 50 | 50 |
| 10 | VSS | Siivousjäte | T-Kärry (0,42m3) | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 95 |
| 11 | VSS | Siivousjäte | T-Kärry (0,42m3) | 95 | 95 | 100 | 40 | 40 | 40 |
| 12 | VSS | Siivousjäte | T-Kärry (0,42m3) | 45 | 75 | 85 | 95 | 0 | 0 |
| 13 | VSS | Siivousjäte | T-Kärry (0,42m3) | 65 | 75 | 85 | 100 | | 50 |
| 14 | VSS | Siivousjäte | T-Kärry (0,42m3) | 45 | 95 | 95 | 0 | 0 | 5 |
| 15 | VSS | Siivousjäte | T-Kärry (0,42m3) | 100 | 105 | 5 | 15 | 30 | 55 |
| 16 | VSS | Siivousjäte | T-Kärry (0,42m3) | 100 | 105 | 5 | 70 | 0 | 0 |
| 17 | VSS | Siivousjäte | T-Kärry (0,42m3) | 25 | 35 | 35 | 40 | 40 | 40 |
| 18 | VSS | Siivousjäte | T-Kärry (0,42m3) | 45 | 60 | 70 | 90 | 50 | 55 |
| 19 | VSS | Siivousjäte | Keräyslaatikko (1m3) | 0 | 5 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| 20 | VSS | Siivousjäte | T-Kärry (0,42m3) | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 10 |
| 21 | VSS | Siivousjäte | T-Kärry (0,42m3) | 0 | 20 | 60 | 75 | 0 | 10 |
| 22 | VSS | Siivousjäte | T-Kärry (0,42m3) | 0 | 0 | 0 | 0 | 45 | 45 |
| 23 | VSS | Siivousjäte | T-Kärry (0,42m3) | 0 | 15 | 70 | 90 | 0 | 0 |
| 24 | VSS | Siivousjäte | T-Kärry (0,42m3) | 0 | 40 | 80 | 95 | 10 | 10 |
| 25 | VSS | Siivousjäte | T-Kärry (0,42m3) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 26 | KPH | Siivousjäte | T-Kärry (0,42m3) | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| 27 | KPH | Siivousjäte | T-Kärry (0,42m3) | 15 | 15 | 20 | 45 | 85 | 85 |
| 28 | KPH | Siivousjäte | T-Kärry (0,42m3) | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 29 | KPH | Siivousjäte | T-Kärry (0,42m3) | 85 | 85 | 85 | 90 | 90 | 90 |
| 30 | KPH | Siivousjäte | Kaakelit 420l Tkärry | 95 | 95 | 95 | 100 | 100 | 105 |
| 31 | KPH | Siivousjäte | kaakelilava (1m3) | 50 | 50 | 60 | 70 | 70 | 10 |
| 32 | KPH | Siivousjäte | T-Kärry (0,42m3) | 85 | 85 | 85 | 85 | 85 | 85 |
| 33 | KPH | Siivousjäte | T-Kärry (0,42m3) | 0 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 34 | AKO | Siivousjäte | T-Kärry (0,42m3) | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| 35 | Pakkaamo | Betoni | Keräysastia (1m3) | 15 | 85 | 10 | 105 | 5 | 85 |
| 36 | Pakkaamo | Siivousjäte | T-Kärry (0,42m3) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 37 | Pakkaamo | Siivousjäte | T-Kärry (0,42m3) | 10 | 15 | 15 | 15 | 15 | 20 |
| 38 | Pakkaamo | Siivousjäte | T-Kärry (0,42m3) | 15 | 35 | 45 | 45 | 45 | 45 |
| 39 | Pakkaamo | Siivousjäte | Puulaatikko | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 40 | PBT | Kevytora tai betoni | Keräysastia (0,83m3) | 75 | 85 | 90 | 90 | 90 | 90 |
| 41 | AKO | AKO (Wall) | Lava (1,3m3) | 70 | 55 | 70 | 70 | 30 | 35 |
| 42 | AKO | Siivousjäte | T-Kärry (0,42m3) | 10 | | 20 | 30 | 40 | 45 |
| 43 | AKO | Siivousjäte | Keräysastia (1m3) | 5 | | 10 | | | |
| 44 | AKO | Siivousjäte | Piha-astia (1m3) | 55 | 10 | 20 | 25 | 30 | 35 |

Kuluneen vuoden aikana myllyissä 1 ja 3 valmistetuista betonimääristä laadittiin taulukko, johon jaoteltiin eri betoniperheisiin kuuluvat tuotantomäärät. Taulukko on salainen, eikä sitä julkaista tässä tutkimuksessa. Päiväkohtaiset betonin tuotantomäärät tarkkailujakson ajalta koottiin taulukkoon 3. Tuotantomääriä verrattiin vuotuisen kokonaistuotantomäärään ja keräysastioiden täyttymisasteeseen. Valmistettujen betonimäärien ja laatu-
mu-
kaan on arvioitu ja raportoitu betonitehtaan tuotantotiloissa syntyvän betonijätteen keräyk-
sen täyttöastetta.

Myllyn 3 betonimäärät lajeittain tuotantotiloihin

Tarkkailuajankohtana väestönsuojaelementtituotantoon (VSS) valmistetut betonimäärät eivät huomattavasti poikkea kuluvan vuoden muiden kuukausien tuotantomäärästä. Kylpyhuoneiden, pysäkkien, siltojen ja laitureiden valmistus on vaihtelevaa. Tarkkailuajankoh-
tana oli vähäisempää tuotantoa vuoden normaaliin tilanteeseen nähden.

AKO- ja pihabetonituotannon betonin valmistusmääriä ei ole tarkkailtu, vaikka kyseisten tuotantotilojen betonijättemäärä arviot löytyvät edellä esitetystä taulukosta (taulukko 3). AKO-tuotteiden tuotanto on jatkuvaa, mutta pihabetonituotanto (PBT) vaihtelee kevytsora-
harkko- ja pihabetonituotevalmistuksessa yksi- ja kaksivuorotyönä ja tuotannossa pide-
tään noin kolmen kuukauden huoltotauko keskitalvella (Parikka 2020). Kyseisen tarkkailu-
jakson aikana ei ole huomioitu tuotantomääriä tai työvuoroja.

Valmisbetonin valmistus myllyssä 1

Valmisbetonin valmistus vaihtelee suuresti eri kuukausien aikana, sillä tuotanto on asia-
kastilauksista riippuvaista. Vertailu ei kerro todellista tilannetta kuljetuskaluston pesutar-
peen määrästä tuotantopäivän aikana ja varsinaista ylijäämäbetonin määrää.

Rakennusbetoni- ja Elementti Oy:n ja Mikrobetoni Oy:n yhteen laskettujen läheteiden
määrä on 82 kappaletta ajalta 14.4.–10.5.2020. Lähetteet tuodaan Rakennusbetonille ar-
kistoitavaksi. Kymmeneen läheteeseen on merkattu arvioitu ylijäämäinen määrä, jonka
keskiarvoksi tulee $1,12 \text{ m}^3$. Betoniautokuskien ilmoittamat silmämääräiset arviot ylijäämä-
betonista on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Rakennusbetoni- ja Elementti Oy:n ja Mikrobetoni Oy:n yhteenlasketut lähet-
teet

| RB ja MB (14.4 -10.5.2020) | Ylijäämäbetonin määrä (m^3) |
|----------------------------|--|
| 15.4.2020 | 0,7 + 0,7 |
| 16.4.2020 | 2,7 |
| 17.4.2020 | 0,5 |
| 20.4.2020 | 0,8 |
| 21.4.2020 | 2,5 |
| 22.4.2020 | 0,4 + 0,4 |
| 24.4.2020 | 0,5 + 2,0 |

Taulukossa 5 on esitetty betonisivuvirroista jalostettujen betonijätteiden käyttökohteet. Murskeiden raekoot valikoituvat haluttujen tilausten mukaan. Raekoot 0-12 mm ja 0-32 mm ovat murskattuja ja seulottuja jalostettuja betonijätteitä. Raekoot 0-55 mm ja 0-70 mm ovat esimurskattuja jalostettuja betonijätteitä.

Taulukko 5. Betonisivuvirtojen hyödyntämiskohteet

| | |
|--|--|
| Betonin kiviainespesurin karkea kiviaines ja myllyn 1 pesukivet | Maarakennuskäyttöön (Uusiokäyttö betonissa ei tällä hetkellä) |
| AKO Wall -murske | Viherkatot |
| Kevytsoorabetonimurske | Maarakennuskäyttöön (Suunnitteilla kevyt välikerros) |
| Betoniliete / (flokkuointijäte) | Maaperän parannusaineeksi (peltolannoitus) |
| Betonin kierrätyslaitoksen kierrosta poistuvien pesuvesien imeytyshiekkä | Maarakennuskäyttöön |
| Myllyn 1 pesu / betoniautojen ylijäämän tyhjennys (kamat) | Maarakennuskäyttöön |
| Varastointialueen pintamaa | Maarakennuskäyttöön |
| Kovettunut betonijäte | Maarakennuskäyttöön |
| Huoltojen murskeet: myllyt ja aluset, pesurin ruuvi, autojen säiliöt | Maarakennuskäyttöön |
| Tuotantotilojen siivousmurskeet, myllyn 4 ja 5 pesumassat, Polyuretaanieristeet ja betoniraudoituksen teräkset | Ulkopuoliseen kierrätykseen |
| CE-merkintä | Kaikki maarakennuskäyttöön |
| AKO-murske | 0-12 mm raekoko |
| Murskattu ja seulottu (murskejalosteet) | 0-12 mm, 0-32 mm |
| Esimurskatut (murskejalosteet) | 0-55 mm, 0-70 mm |

9 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Betoni on kiertotalouden kannalta suotuisa materiaali kierrätettäväksi ja hyödynnettäväksi uudelleen sen alkuperäisen käyttötarkoituksen päätyttyä. Betonia voi käyttää uudelleen niin, että sitä ei tarvitse enää pitkälle jalostaa. Betonilla on kestävyysominaisuuksiensa ansiosta pitkä tekninen käyttöikä. Mikäli betonituote on vioittunut, se voidaan murskata ja hyödyntää betonimurskeena maarakennusaineena ottaen huomioon lainsäädännölliset ehdot. Betonin valmistuksesta syntyneiden betonisivuvirtojen hyödyntäminen on tehtaalla hallittua, vaikka ongelmakohtia ollaan kehittämässä varastointialueella ja jalostusmenetelmillä sekä löytämään uusia käyttökohteita tuotteistetulle betonijätteelle.

Betonijätteen määrän syntymistä ja keräystä tutkittiin huhti-toukokuun välisenä aikana. Väestönsuojahallien, kylpyhuoneiden, siltaelementtien, laitureiden ja linja-autopysäkkilaitojen tuotantoon valmistettujen betonimäärien suhdetta verrattiin ja arvioitiin tuotantotilakohtaiseen betonijätteen keräysmäärään. Kovettuneen betonijätteen määrää ja keräystä tutkittiin myös AKO Wall -tuotannosta ja pihabetonituotannosta. Kyseiseltä aikaväliltä hahmoteltiin myös tehtaalla valmistetun valmisbetonin määrää suhteessa tehtaalle takaisin palautuvana ylijäämäbetonina verraten määrää kuormakirjoissa ilmoitettuun arvioon. Tuore ylijäämäbetoni ja kuormakirjoihin ilmoitetut määrät menevät sekaisin kahden betoniaseman kanssa ja niiden lisäksi menevät sekaisin betonin kierrätyslaitoksien tuottamat betonilietteet.

Tuoreen ylijäämäbetonin määrää ja keräystä arvioitiin betonimyllyjen pesuista tulevien erilaatuisten betonijätteiden osalta. Lisäksi tutkittiin betonin kierrätyslaitoksen toimintaa, joka käsitteli kuljetuskaluston pesusta tullutta ylijäämäbetonia. Tehtaan tuotantotilojen betonijätteen keräyspisteiden sijainnista luotiin pohjapiirroskuva, jonka pohjalta päästiin hahmottelemaan kuviota betonisivuvirtojen kierrosta. Betonitehtaan betonisivuvirroista laadittiin kolmiosainen kuvio koko prosessista, miten betonijätteen keräyksestä siirrytään jalostettuun betonijätetuotteeseen ja sen käyttökohteisiin.

Työn tekemisen aikana ilmeni useita haasteita. Kuluneen vuoden aikana vallitsi koronapandemia ja sen aiheuttamat toiminnalliset rajoitukset vaikeuttivat muun muassa haastattelujen ja tehdaskierrosten toteutusta työpaikalla. Betonituotanto vaihteli suuresti, johtuen tilausten satunnaisuudesta ja tuotannon kohdistumisen vaihtelusta eri tuoteryhmien välillä. Esimerkiksi kylpyhuone- ja laituritilauksia tuli vähäisesti. Valmisbetonituotanto on vaihtelevaa ja toimitustahti ja betonilaadut vaikuttavat säiliöiden välipesun tarpeeseen. Liian suuret betoniylijäämät menevät helposti eri paikkaan kuin betonin kierrätyslaitokseen. Ilta- ja viikonloppuvuorojen vaihtelu vaikutti jätteiden kertymiseen.

Epähuolellinen lajittelu vaikeuttaa sivuvirtojen tunnistamista, jalostamista ja jatkokäyttöä. Betonijätteiden määrän vuosimittaus- ja raportointitapa sekä laatujen selvittäminen olivat epäselviä, kuten myös se, tarvitseeko sitä suunnitella uudestaan. Laatujen selvittämiseen olisi tarvinnut tehdä ulkopuolisen näytteenottajan suorittamat kokeet ja tutkimustyö olisi laajentunut liian suureksi.

Tehdasalueen kartoituksen yhteydessä ongelmana oli hahmottaa, mitä jätelajikkeita esivarastoidaan missäkin lajittelukaukalossa eri jalostusprosessien aikana ja mitkä kaukalot toimivat valmiiden lajikkeiden välivarastona. Lisäksi joitakin lajikkeita varastoitiin useammaksi vuodeksi kerrallaan ennen jalostamista. Tämä hankaloitti lajittelukaukaloiden täyttöasteen ja lajittelulaadun selvitystä. Varastointialueen lajittelukaukalot tarkistettiin useaan kertaan kuluneen vuoden aikana.

Työssä haasteina olivat myös yksityiskohtaisen tiedon sovittaminen työn kokonaiskuvaan, valmiina olevan tiedon määrään tutustuminen ja sen sisäistäminen sekä tiedon tarpeellisuuden arviointi työn rajauksen puitteissa. Ajanhallinnallisena haasteena oli ennen kaikkea opiskelun ja päivätyön yhteensovittaminen.

LÄHTEET

Ahlberg, T. 2020. Kiertotalous keventää sementin hiilidioksidipäästöjä [viitattu 19.5.2020]. Rakennusteollisuus (RT). Saatavissa: https://betoni.com/wp-content/uploads/2020/03/BET2001_74-81.pdf

Ansion Sementtivalimo (ASV). 2015. Betonin kiertotalous toimii [viitattu 14.5.2020]. Saatavissa: <https://asv.fi/uutiset/betonin-kiertotalous-toimii>

Autio, M. 2018. Betonin valmistajan näkökulma [viitattu 19.9.2020]. Rudus Oy. Saatavissa: http://www.betoniyhdistys.fi/media/kurssimateriaalia/by-paiva-17.5.2018/autio-mika_betonin-valmistajan-nakokulma.pdf

Betonikeskus ry. 2007. Betonirakenteiden ympäristöominaisuudet. Helsinki.

Betoniteollisuus ry. 2020a. Betonin ominaisuudet ja käyttö [13.5.2020]. Saatavissa: <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/betonin-ominaisuudet-ja-kaytto/>

Betoniteollisuus ry. 2020b. Betonin valmistus [viitattu 13.5.2020]. Saatavissa: <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/betonin-valmistus/>

Betoniteollisuus ry. 2020c. Kiviaines [viitattu 19.9.2020]. Saatavissa: <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/kiviaines/>

Betoniteollisuus ry. 2020d. Sementti ja kasvihuonekaasupäästöt. [Viitattu 21.9.2020.] Saatavissa: <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/sementti-seosaineiden-kaytto/>

Betoniteollisuus ry. 2020e. Kiertotalous toimii: Betonirakentamisessa materiaalit kiertävät [viitattu 2020]. Saatavissa: <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/ekologisuus/kierratys/>

Concrete Solutions. 2020. Hiilidioksidin sitoutuminen betoniin [viitattu 21.11.2020]. Saatavissa: <https://concretesolution.fi/karbonatisoituminen/>

Dettenborn, T. & Forsman J. 2019. Betonimurske kaupunkien julkisessa maarakentamisessa [viitattu 3.11.2020]. Saatavissa: http://www.uusiomaarakentaminen.fi/sites/default/files/2019_04_Betonimurske_kaupunkien_julkisessa_marakentamisessa.pdf

Elementtisuunnittelu. 2020. Suljetut prosessikierrat [viitattu 24.10.2020]. Saatavissa: <https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/valmisosarakentaminen/ymparistoominaisuudet/kierratys>

Elinkeinoelämän keskusliitto (EK). 2016. Syty kiertotaloudesta [viitattu 19.3.2020]. Saatavissa: https://ek.fi/wp-content/uploads/Syty_kiertotaloudesta.pdf

Enerkon Ympäristöpalvelut Oy. 2016. Betonimurske, Betonimurskeen jalostus maarakennuskäyttöön (SFS 5884) [viitattu 14.11.2020]. Saatavissa: <https://docplayer.fi/31088671-Betonimurske-betonimurskeen-jalostus-maarakennuskayttoon-sfs-5884.html>

EUR-Lex. 2011. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) N:o 305/2011, annettu 9 päivänä maaliskuuta 2011, rakennustuotteiden kaupan pitämistä koskevien ehtojen yhdenmukaistamisesta ja neuvoston direktiivin 89/106/ETY kumoamisesta ETA:n kannalta merkityksellinen teksti. Euroopan unionin virallinen lehti [viitattu 27.9.2020]. Saatavissa: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=CELEX%3A32011R0305>

Euroopan unionin jätehuoltolaki. 2020. Tiivistelmä asiakirjasta: Direktiivi 2008/98/EY jätteistä ja tiettyjen direktiivien kumoamisesta [viitattu 23.9.2020]. Saatavissa: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=LEGISSUM%3Aev0010>

Factory Production Control (FPC). 2020. Tehtaan sisäistä laadunvalvontaa kuvaava käsikirja. Ei saatavilla.

Finnsementti. 2020. Sementin valmistus [viitattu 28.5.2020]. Saatavissa: <https://finnsementti.fi/palvelut/tietoa-sementista/valmistus/>

Haapalahti, T. 2020. Betonimylläri. Rakennusbetoni- ja Elementti Oy. Haastattelu 26.5.2020.

Hakaste, H. 2019. Kiertotalous rakentamisen ohjauksessa. Purettavuus, siirrettävyys ja kierrätys – rakennusalan tulevaisuutta? -seminaari [viitattu 17.5.2020]. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <https://www.novia.fi/assets/CE-wood/190509/Hakaste190509-Kiertotalous-rakentamisen-ohjauksessa.pdf>

Hallikainen, S. 2015. Ylijäämäbetonin määrät. Taulukko. Ei saatavissa:

Helsingin, Espoon ja Vantaan Kaupunki. 2015. Ohje: Betonimurskeen hyödyntäminen inf-rarakentamisessa pääkaupunkiseudulla [viitattu 2.10.2020]. Saatavissa: <https://www.es-poo.fi/download/noname/%7BF33E1B33-8E73-48F7-A111-3991B68F3445%7D/113213>

Hollolan Kunta. 2011. Asemakaavan selostus (luonnos) [viitattu 25.8.2020]. Saatavissa: <https://docplayer.fi/39390007-Asemakaavan-selostus-luonnos.html>

Infra Ry. 2020. Purku ja kierrätys. [Viitattu 22.9.2020.] Saatavissa: <https://www.rakennusteollisuus.fi/INFRA/tietoa-alasta/Purku-ja-kierratys/>)

Johansson, K. 2020. Betonin yleisimmät käyttökohteet [21.10.2020]. Suomen betoniyhdistys ry. Saatavissa: <http://www.betoniyhdistys.fi/media/kurssimateriaalia/betonin-perus-kurssi/betonin-yleisimmat-kayttokohteet-2020.pdf>

Jätelaki 17.6.2011/ 646. Suomen laki [viitattu 16.10. 2020]. Saatavissa: <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20110646>

Kivifaktaa. 2020. Betonirakenteet ovat unohdettu hiilinielu [viitattu 2.6.2020]. Saatavissa: <https://kivifaktaa.fi/faktapankki/kivi-on-ymparistoystavallinen-materiaali/betonirakenteet-ovat-unohdettu-hiilinielu/>

Lahden Kaupunki. 2020. Jätteen hyödyntäminen maarakentamisessa [viitattu 9.5.2020]. Saatavissa: <https://www.lahti.fi/asuminen-ja-ymparisto/ymparistonsuojelu-ja-valvonta/jatteen-hyodyntaminen-maarakentamisessa/>

Lannoitevalmistelaki 29.6.2006/539. Suomen laki [viitattu 15.10.2020]. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2006/20060539>

Laurila, J. 2016. Teollisuuden sivuvirrat raaka-aineiksi tai tuotteeksi – lue miten [viitattu 20.3.2020]. Saatavissa: <https://lassikko.lt.fi/teollisuuden-sivuvirrat>

Lehtonen, K. 2018. Betonimurskeohje [viitattu 27.6.2020]. Saatavissa: <https://www.holola.fi/library/files/5bf3db79c91058178e000689/Betonimurskeohje.pdf>

Liikennevirasto. 2020. Liikenneviraston ohjeita: Uusiomateriaalien käyttö väylärakentamisessa [viitattu 8.11.2020]. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf11/vo_2020-06_uusiomateriaalien_kaytto_web.pdf

Linkola, L. 2014. Resurssiviisauden indikaattorit [viitattu 20.3.2020] Saatavissa: <https://www.sitra.fi/artikkelit/resurssiviisauden-indikaattorit/>

Mapei. 2020. MAPEI on kehittänyt ympäristöystävällisen ja kestävän ratkaisun jäännösbetonin uusiokäyttöön [viitattu 30.10.2020]. Saatavissa: <https://www.mapei.com/fi/fi/re-con-zero-evo-tuotetietoa>

Motiva Oy. 2020. Ympäristö ja lupaprosessi [viitattu 16.9.2020]. Uuma-käsikirjasto. Saatavissa: <http://www.uusiomaarakentaminen.fi/ymp%C3%A4rist%C3%B6-ja-lupaprosessi-0>

Niemelä, H. 2013. Betoninvalmistuksen hienojakoisen jätteen hyötykäytön tehostaminen – katsaus alan teknologiaan ja kirjallisuuteen. Esiselvitysraportti. Lahden Ammattikorkeakoulu.

Nieminen, A. 2016. Uutta betonia vanhaa hyödyntäen [viitattu 24.10.2020]. Saatavissa: https://betoni.com/wp-content/uploads/2016/12/BET1604_78-83.pdf

Pieksemä, J. 2019. Betonimurskeen tuotteistaminen ja tasalaatuisuuden tarkastelu teknisten laadunvalvontatulosten avulla. Opinnäytetyö, ylempi AMK. Hämeen ammattikorkeakoulu, Rakentaminen [viitattu 12.10.2020]. Saatavissa:

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/228110/Pieksema_Jani.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Rakennusbetoni- ja Elementti Oy. 2020a. Betonimurskeen laatuluokat (BeM1–BeM4). Raja-arvotaulukko. Ei saatavissa.

Rakennusbetoni- ja Elementti Oy. 2020b. Betonin kierrätyslaitoksen käyttöohje tehtaan seinällä. Ei saatavissa.

Rakentaja.fi. 2018. Mitä Betoni on [viitattu 6.9.2020]. Betonikoulu. Saatavissa:

<http://www.betoniyhdistys.fi/media/kurssimateriaalia/betonin-peruskurssi/betonin-yleisimmat-kayttokohteet-2020.pdf>

Remeo Oy. 2020. Miten kiertotalous säästää rahaa ja koko maapallon [viitattu

21.10.2020]. Saatavissa: <https://remeo.fi/kiertotalous/miksi-kiertotalous-on-tarkeaa/>

Rudus Pro. 2018. Betonimurskeen käyttö laajenee ja laatu tarkentuu [viitattu 7.5.2020].

Saatavissa: <https://www.rudus.fi/ajankohtaista/2018/04/26/betonimurskeen-kaytto-laajenee-ja-laatu-tarkentuu>

SFS 5884. 2018. Betonimurskeen maarakennuskäytön laadunvalvontajärjestelmä [viitattu

15.11.2020]. Standardien verkkokauppa. Saatavissa: <https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/SFS/ID2/5/672276.html.stx>

Simola, L. 2017. Nykykaupungit hiilinieluja [viitattu 3.6.2020]. Saatavissa: https://betoni.com/wp-content/uploads/2017/05/BET1702_82-84.pdf

Sitra (Suomen Itsenäisyyden juhlarahasto). 2020. Kiertotalouden tiekartta Suomelle

2016-2025 [viitattu 19.3.2020]. Saatavissa: <https://www.sitra.fi/hankkeet/kierrolla-karkeen-suomen-tiekartta-kiertotalouteen-2016-2025/#mista-on-kyse>

Suomen Betoniteollisuus Oy. 2005. Betonin, betonilietteen ja veden kierrätys betoniteollisuudessa [viitattu 22.9.2020]. Saatavissa:

<https://betoni.com/wp-content/uploads/2020/06/Betonin-betonilietteen-ja-veden-kierr%C3%A4tys-betoniteollisuudessa.pdf>

Suomen Betoniyhdistys ry. 2018. By 43 Betonin kiviainekset 2018. BY-koulutus.

Suomen ympäristökeskus (SYKE). 2020. Jätteiden hyödyntäminen maarakentamisessa

[viitattu 14.10.2020]. Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. Saatavissa:

https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Luvat_ilmoitukset_ja_rekisterointi/YSLn_kertaluonteisen_toiminnan_ilmoitusmenettely/Jatteiden_hyodyntaminen_marakentamisessa

Tuominen, R. 2016. Geopolymeerit muuttavat maailmaa [viitattu 26.8. 2020]. Saatavissa: <https://www oulu.fi/yliopisto/node/41024>

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 7.12.2017/843. Suomen laki [viitattu 12.5.2020]. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170843>

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 28.6.2006/591. Suomen laki [viitattu 12.5.2020]. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2006/20060591?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=591%2F2006%20>

MARA-asetuksen soveltamisohje. 2019. Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 28.6.2006/591 [viitattu 14.9.2020]. Saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B39D6ABBA-49BE-4620-ACB1-B8A03700AB96%7D/143106>

Virtanen, J. 2010. Betoni on hiilidioksidinielu. Finnsementti Oy [viitattu 22.11.2020]. Saatavissa: https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/09/BET1004_42-45.pdf

Väylävirasto. 2020. Uusiomateriaalien käyttö väylärakentamisessa [viitattu 21.5.2020]. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf11/vo_2020-06_uusiomateriaalien_kaytto_web.pdf

Ympäristöministeriö. 2019. Valtakunnallinen jättesuunnitelma [viitattu 21.3.2020]. Saatavissa: https://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Jatteet/Valtakunnallinen_jatesuunnitelma

Ympäristöministeriö. 2020a. Maa-ainesten ottamiseen liittyvät luvat ja ilmoitus [viitattu 12.10.2020]. Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/fi-fi/asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/luvat_ilmoitukset_ja_rekisterointi/maaaainesten_ottamiseen_liittyva_ilmotus_ja_luvat

Ympäristöministeriö. 2020b. Rakennustuotteiden tuotehyväksyntä [viitattu 12.10.2020]. Saatavissa: <https://ym.fi/rakennustuotteet>

Ympäristönsuojelulaki 527/2014. Suomen laki [viitattu 21.3.2020]. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140527>

LIITTEET

Liite 1. Taulukko haitta-aineyhdisteiden ja epäpuhtauksien näytemäärittämisistä (MARA-asetuksen soveltamisohje 2019, 36)

Liite 2. Materiaalituotekortti betonimurskeesta (Liikennevirasto 2020)

Liite 3. MARA-asetuksen mukainen ohjeistus laadunvarmistuksesta (Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 843/2017)


Liite 1. Taulukko haitta-aineyhdisteiden ja epäpuhtauksien näytemäärittämisestä (MARA-asetuksen soveltamisohje 2019, 36)

Taulukko 2. Kokoomanäytteistä jätteiden laadunvalvonnan yhteydessä tehtävät määritykset. BTEX-yhdisteet ja fenoliset yhdisteet määritetään yksittäisistä näytteistä.

| Jäte | Laadunvalvonta | | |
|---|---|--|--|
| | Liukoisuusmääritykset | Kokonaispitoisuudet | Muut määritykset |
| Jätteenpolton kuona | Sb, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Mo, Ni, V, Zn, Se, F ⁻ , SO ₄ ²⁻ , Cl ⁻ , DOC | | |
| Kivihiilen-, turpeen- ja puupeträisen aineksen polton lento- ja pohjatuhkat; leijupetihiekka | Sb, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Mo, Ni, V, Zn, Se, F ⁻ , SO ₄ ²⁻ , Cl ⁻ , DOC | PAH-yhdisteet | |
| Kalkit | Sb, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Mo, Ni, V, Zn, Se, F ⁻ , SO ₄ ²⁻ , Cl ⁻ , DOC | | |
| Valimohiekat | Sb, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Mo, Ni, V, Zn, Se, F ⁻ , SO ₄ ²⁻ , Cl ⁻ , DOC | PAH-yhdisteet, BTEX-yhdisteet, fenoliset yhdisteet | |
| Betonimurske | Sb, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Mo, Ni, V, Zn, Se, F ⁻ , SO ₄ ²⁻ , Cl ⁻ , DOC | PAH-yhdisteet, PCB-yhdisteet, öljyhiilivedyt ≥ C10-C40 | Materiaalijakauma, epäpuhtaudet, kelluvat epäpuhtaudet |
| Tiilimurske | Sb, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Mo, Ni, V, Zn, Se, F ⁻ , SO ₄ ²⁻ , Cl ⁻ , DOC | PAH-yhdisteet, PCB-yhdisteet, öljyhiilivedyt ≥ C10-C40 | Materiaalijakauma, epäpuhtaudet, kelluvat epäpuhtaudet |
| Asfalttirouhe ja -murske | - | Öljyhiilivedyt ≥ C10-C40, BTEX-yhdisteet | |
| Rengasrouhe käytetyistä renkaista | - | PAH-yhdisteet | |

Liite 2. Materiaalituotekortti betonimurskeesta (Liikennevirasto 2020)

2. Betonimurske

| Materiaalikuvaus | Kuvia materiaalista |
|--|---|
| <p>Suomessa muodostuu rakennus- ja purkutyömailla sekä betoniteollisuudessa vuosittain noin 1,5 milj. tonnia betonijätettä. Betonijätteestä valmistettava betonimurske muistuttaa ulkonäöltään ja käsiteltävyydeltään luonnon kiviainesmursketta. Betonimurskeen teknisiin ominaisuuksiin sekä ympäristökelpoisuuteen voidaan vaikuttaa lajittelevan purkutekniikan avulla. Betonimurskeille on käytössä laatuluokitus, jossa ne on jaettu raaka-ainelähteen ja betonimurskeen puhtauden sekä teknisten ominaisuuksiensa perusteella neljään luokkaan, BeM I-IV (SFS 5884).</p> <p>Betonimurske sisältää reagoimatonta sementtiä ja se on näin ollen osittain sitoutuva materiaali. Lujittuneen betonimurskeen E-moduuli on suurempi kuin vastaavan rakeisuuden luonnonkiviaineksella. Lujittuneen betonimurskeen kaivuutus on suurempi kuin luonnon kiviaineksen, mutta kaivu on silti toteutettavissa tavallisella kaivinkoneella ja materiaali voidaan tiivistää uudelleen takaisin kaivantoihin.</p> |  <p>(kuvat: Rudus Oy, arkisto)</p> |
| Ympäristölainsäädäntö | Tyypillisiä käyttökohteita |
| <p>Betonimurske on luokiteltu jätteeksi, jonka hyötykäyttö on mahdollista MARA -ilmoitusmenettelyllä väylä- ja kenttärakenteissa, kun betonimurskeen maksimiraekoko on 90 mm ja materiaalin käyttö kohteessa muutoinkin täyttää asetuksessa VNa 843/2017 esitetyt vaatimukset. Muutoin käyttöön tarvitaan ympäristölupa.</p> | <p>Kantavat kerrokset Jakavat kerrokset Penkereet Vastapenkereet</p> |
| Betonimurskeille tyypillisiä ominaisuusarvojen vaihteluvälejä | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Optimivesipitoisuus $w_{opt} = 8-14 \%$ • Maksimikulvairtitiheys $\rho_{dmax} = 1750-2000 \text{ kg/m}^3$ • Vedenläpäisevyys k-arvo $\geq 1 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ • pH ≥ 11 (emäksinen) • Lämmönjohtavuus $\lambda \approx 1,5 \text{ W/mK}$ (vastaa luonnonkiviaineksen lämmönjohtavuutta vastaavissa olosuhteissa) | |
| Betonimurskeen erityispiirteitä | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Betonimurskeen korkea pH voi aiheuttaa alumiinin korroosiota tai polyesterista valmistetun lujitteen lujuuden alenemista. • Kuivan betonimurskeen pöly saattaa ärsyttää silmiä, limakalvoja ja ihoa. • InfraRYLissä on esitetty betonimurskeelle sitomattoman jakavan ja kantavan kerroksen vaatimukset sekä suositukset testaustiheyksiksi. | |
| Kirjallisuus | |
| <p>Liikennevirasto, 2018. Tierakenteen suunnittelu. Liikenneviraston ohjeita 38/2018.</p> <p>Rakennustieto, 2017. InfraRYL 2017. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset.</p> <p>SFS, 2018. SFS 5884 Betonimurskeen maarakennuskäytön laadunvalvontajärjestelmä. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.</p> | |

Liite 3. MARA-asetuksen mukainen ohjeistus laadunvarmistuksesta (Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 843/2017)

1. Laadunvarmistusjärjestelmä

Jätteen luovuttajalla on oltava laadunvarmistusjärjestelmä, jota noudattamalla tuotetaan yksilöitävissä ja jäljitettävissä olevat tiedot siitä, että jäte kuuluu asetuksen soveltamisalaan ja että hyödynnettäväksi luovutettu jäte täyttää sille liitteessä 2 asetetut vaatimukset, jäljempänä ympäristökelpoisuus. Laadunvarmistusjärjestelmän avulla on varmistettava, että hyödynnettävän jätteen laadun valvonta on säännöllistä ja suunnitelmallista toimintaa ja siihen liittyvät laadunvalvontatutkimukset on järjestetty tässä liitteessä esitetyt vaatimukset täyttävällä tavalla. Lisäksi laadunvarmistusjärjestelmällä tulee varmistaa, että syntyvät erilaiset jättejakeet pidetään erillään niiden synty- ja varastointipaikalla.

Laadunvarmistusjärjestelmän tulee sisältää ainakin seuraavat asiat:

1) jätteet ja niiden nimikkeet sekä arvio niiden vuosittain syntyvästä määrästä, kun kyse on laitosmaisesta tuotannosta

2) laadunvalvontatutkimukset, jossa on määritelty näytteenottopaikat ja -ajankohdat, näytteenottomenetelmät, kokooma- ja osanäytteiden määrät ja koot sekä näytteenoton laadunvarmennus;

3) ohjeet jätteen varastoinnista ja käsittelystä sekä vastaanotosta, jos laitoksella käsitellään useista kohteista toimitettavan jätettä;

4) vastuuhenkilöt ja näiden pätevyys;

5) arviointi- ja auditointisuunnitelma;

6) seuranta ja raportointi, mukaan lukien tutkimustulosten dokumentointi.

2. Laadunvalvontatutkimukset

2.1 Näytteenotto

Jätteen ympäristökelpoisuus tutkitaan edustavista kokoomanäytteistä, jotka on muodostettu osanäytteistä taulukon 1 vaatimusten mukaisesti. Osanäytteiden raekokoa voidaan tarvittaessa pienentää jätettä murskaamalla tai jauhamalla.

Näytteenoton suunnittelussa ja toteutuksessa sovelletaan jätteiden karakterisointia koskevan standardin SFS-EN 14899 ja Euroopan standardoimisjärjestön (CEN) teknisten raporttien periaatteita sekä maarakentamistoimialan omia standardeja.

a) Laitosmaisessa tuotannossa syntyvät jätteet

Laitosmaisessa tuotannossa syntyvien jätteiden ympäristökelpoisuus tutkitaan säännöllisesti. Laadunvalvontatutkimukset kohdennetaan joko laitoksella syntyvään jatkuvaan jätevirtaan tai käsiteltyyn, hyödynnettäväksi toimitettavaan jätteeseen. Jätteen sisältämien haitta-aineiden liukoisuudet ja pitoisuudet tulee määrittää vähintään yhdestä kokoomanäytteestä ennen jätteen luovuttamista hyödynnettäväksi.

Mikäli laitoksella syntyvä jäte ei täytä liitteen 2 vaatimuksia, voi toiminnanharjoittaja käsitellä jätettä eri tavoin, ikäännyttäminen mukaan lukien, sen ympäristökelpoisuuden parantamiseksi. Tällöin jätteen ympäristökelpoisuus tulee tutkia uudelleen edustavista kokoomanäytteistä, jotka on muodostettu käsitellyistä jätteistä otetuista osanäytteistä. Kokoomanäytteen osanäytteiden lukumäärän tulee vastata taulukossa 1 annettuja vaatimuksia ja muita edustavan näytteenoton suosituksia. Osanäytteet otetaan siten, että ne edustavat koko tutkittavaa jäte-erää.