



**SAVONIA**

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# TUHKAMATERIAALIEN JA BETONIMURSKKEIDEN HYÖ- DYNTÄMINEN MAARAKEN- TAMISESSA

Työtapaohjeen laatiminen

TE -  
KIJÄ:

Juha Tuunainen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä Juha Tuunainen			
Työn nimi Tuhkamateriaalien ja betonimurskeiden hyödyntäminen maarakentamisessa; Työtapaohjeen laatiminen			
Päiväys	24.04.2019	Sivumäärä/Liitteet	30/2
Ohjaajat Kai Auvinen, Lehtori Savonia AMK / Mervi Heiskanen, Lehtori Savonia AMK			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppanit Sitowise Oy, Sami Pailamo, Johtava konsultti			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän insinöörityön aihe on saatu Sitowise Oy:ltä. Työn tavoitteena oli laatia työtapaohje energia- ja metsäteollisuuden tuhkien sekä betonimurskeiden hyödyntämiseen maarakentamisessa. Suomessa syntyy vuosittain miljoonia tonneja hyödynnettävissä olevia uusiomateriaaleja, muttei niiden hyödyntämispotentiaalia välttämättä ymmärretä. Työtapaohjeen tarkoituksena on edistää tuhkamateriaalien ja betonimurskeiden hyödyntämistä maarakentamisessa tarjoamalla materiaalien suunnitteluun ja rakentamiseen tarvittava olennainen tieto yhdestä paikasta. Ohje laadittiin Jätekuukko Oy:lle heidän toimeksiannostaan ja sen on tarkoitus palvella myös Kuopion kaupunkia. Ohjeen tekemisen lisäksi opinnäytetyössä oli tarkoitus pohtia yleisesti uusiomateriaalien käyttöä maarakentamisessa.</p> <p>Työ jakautui kahteen osaan, joista toinen oli ohjeen kirjoittaminen ja toinen opinnäytetyön raportointi. Ohjeen tekeminen koostui aiheeseen liittyvien julkaisujen tutkimisesta ja tiedon kokoamisesta yhdeksi kokonaisuudeksi. Ohjeen kirjoittamisen tueksi toteutettiin myös koerakenteita lentotuhkalla ja betonimurskeella Kuopion jätekeskuksen alueella. Raportointiosassa pohdittiin uusiomateriaaleja ja niiden käyttöä yleisesti sekä tarkasteltiin työtapaohjeessa käsiteltäviä materiaaleja myös kriittisemmästä näkökulmasta.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena valmistui työtapaohje tuhkamateriaalien ja betonimurskeiden hyödyntämiseen. Ohjeen avulla näiden materiaalien hyödyntämiseen tarvittava tieto on saatavilla nopeasti. Energia- ja metsäteollisuuden tuhkamateriaalit ja betonimurskeet ovat oikein käytettynä hyviä materiaaleja korvaamaan luonnosta hankittavia neitseellisiä maarakennusmateriaaleja. Materiaalien laadun tulee kuitenkin olla rakentamiseen soveltuvaa. Maanrakennuskäyttöön hyvin jalostetut uusiomateriaalit ja niillä saadut hyvät rakentamisaikaiset kokemukset ovat ohjeitakin parempi tapa edistää materiaalien hyödyntämistä.</p>			
Avainsanat lentotuhka, pohjatuhka, betonimurske, uusiomateriaalit			
Julkinen			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Construction Engineering			
Author(s) Juha Tuunainen			
Title of Thesis Utilizing Fly Ash, Bottom Ash and Crushed Concrete in Earth Construction; Creating Working Instructions			
Date	24 April 2019	Pages/Appendices	30/2
Supervisor(s) Mr Kai Auvinen, Senior Lecturer Savonia UAS / Ms Mervi Heiskanen, Senior Lecturer Savonia UAS			
Client Organisation /Partners Sitowise Oy, Mr Sami Pailamo, Leading Consultant			
<p>Abstract</p> <p>This thesis was commissioned by Sitowise Oy. The aim of this thesis was to create instructions for utilizing fly ash, bottom ash and crushed concrete in earth construction. These materials are classified as waste but can be used as building materials. The purpose of the instructions is to increase the usage of the materials by helping in the planning and building processes. The instructions were made for Jättekukko Oy by their commission, but they are also intended to serve the city of Kuopio. In addition to creating the instructions, there was also an intention to reflect on the use of recycled materials in earth construction in general.</p> <p>The work was divided into two different phases. The first phase was to create the instructions and the second phase was the reporting of this thesis. The creation of the instructions consisted of researching publications related to the subject and collecting information into one completeness. To support the creation of the instructions, pilot structures were made at the Kuopio Waste Center. In the report, the recycled materials were reflected more in general and more critical approach was also introduced.</p> <p>As a result of this thesis were instructions on how to utilize different types of ash and crushed concrete in earth construction. Fly ash, bottom ash and crushed concrete are good materials for earth construction when they are used properly. However, the quality of the material used in the construction must be suitable for the upcoming structure. Furthermore, better than any instructions, good experiences gained from recycled materials encourage to use them more widely in earth construction.</p>			
Keywords fly ash, bottom ash, crushed concrete, recycled materials			
Public			

## ALKUSANAT

Haluan kiittää Sitowise Oy:tä mielenkiintoisesta opinnäytetyön aiheesta. Kiitos johtava konsultti Sami Pailamolle sekä lehtori Kai Auviselle opinnäytetyön aikana saamastani asiantuntevasta ohjauksesta sekä kannustuksesta. Kiitokset myös perheelleni ja erityisesti avopuolisolleni tuesta ja kannustuksesta pitkän projektin aikana.

Kuopiossa 24.04.2019

Juha Tuunainen

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	6
1.1	Työn tarkoitus .....	6
1.2	Lyhenteet ja määritelmät .....	7
2	UUSIOMATERIAALIT MAARAKENTAMISESSA .....	8
2.1	Uusiomateriaalien hyödyntämisessä huomioitavaa lainsäädäntöä .....	9
2.1.1	Jätelaki (646/2011) .....	9
2.1.2	Ympäristönsuojelulaki ja -asetus .....	10
2.1.3	MARA- ja MASA-asetukset .....	10
2.1.4	REACH asetus .....	11
2.2	Uusiomateriaalien käytön edellytykset .....	11
2.3	Uusiomateriaalien tuotteistaminen .....	12
3	TYÖTAPAOHJEESSA KÄSITELTÄVÄT UUSIOMATERIAALIT .....	14
3.1	Energia- ja metsäteollisuuden tuhkat .....	14
3.2	Betonimurske .....	16
4	TYÖTAPAOHJEEN LAATIMINEN .....	18
5	KOERAKENTEET KUOPION JÄTEKESKUKSELLE .....	19
5.1	Suunnitellut koerakenteet .....	19
5.2	Rakenteiden toteutus ja kantavuuden mittaus .....	21
5.3	Mittaustulokset ja niiden analysointi .....	23
5.4	Loppupäätelmät .....	26
6	POHDINTA .....	27
	LÄHTEET .....	29
	LIITE 1 KOOSTE KANTAVUUSMITTAUKSISTA .....	31
	LIITE 2 LOADMAN-TULOSTEN VERTAILU TIIVIYSPROSENTTIIN .....	32

## 1 JOHDANTO

Maarakentamiseen käytettävien luonnonmateriaalien saatavuus heikkenee koko ajan. Uusien ympäristölupien saaminen maa-ainesten ottopaikoille on hankalampaa, sillä ympäristö- ja virkistysarvot ovat korostuneet. Ongelmia on etenkin asutuskeskusten läheisyydessä, jossa myös materiaalien tarve on suurin. Tämä johtaa lisääntyneisiin kustannuksiin kuljetusmatkojen kasvaessa. (Tiehallinto 2007, 12.)

Suomessa syntyy vuosittain miljoonia tonneja hyödynnettävissä olevia uusiomateriaaleja, joilla voidaan korvata luonnonmateriaaleja ja näin saada aikaan kustannussäästöjä. Samalla materiaalit saadaan hyötykäyttöön. Esimerkiksi Helsingissä paremmalla massojen hallinnalla ja hyötykäytöllä on saavutettu 5 - 10 miljoonan euron vuosisäästöt. Vastaavanlaisen toiminnan laajentuessa valtakunnalliseksi mahdollistaisi se yhteensä kymmenien, ellei satojen miljoonien eurojen vuosisäästöt. Uusiomateriaaleja hyödyntämällä myös rakennushankkeiden ympäristövaikutukset pienenevät. (Uusiomaarakentaminen.fi 2018a.)

Monen toimijan ongelmana on kuitenkin se, ettei esimerkiksi jätteiden uusiokäyttömahdollisuutta ymmärretä ja hyödyntämiskelpoinen jäte ajetaan kaatopaikoille sekä erilaisiin täyttöihin. Tästä aiheutuu kustannuksia jätettä käsitteleville tahoille ja jätteiden sijoittamiseen vaadittava tila on poissa muulta maankäytöltä. Jätteiden ja muiden uusiomateriaalien hyödyntämisen ongelmana ovat myös lupakäytännöt. Uusiomateriaalien hyödyntämistä voidaan edistää muun muassa kehittämällä hankintamenettelyjä sekä suunnittelua ja rakennustekniikkaa. Lisäksi käyttöä voidaan lisätä myös materiaaleja tuotteistamalla ja kaupallistamalla. (Uusiomaarakentaminen.fi 2018a; Finncao Oy 2005, 3.)

### 1.1 Työn tarkoitus

Tämän työn tarkoituksena on tehdä työtapaohje uusiomateriaalien hyödyntämiseen liittyen. Ohjeessa keskitytään energia- ja metsäteollisuuden tuhkien sekä betonimurskeiden hyödyntämiseen maarakentamisessa, sillä ne ovat Kuopion seudulla yleisimmin hyödynnettävissä olevat materiaalit. Tuhkat ja betonimurskeet luokitellaan jätteiksi, jolloin niiden hyödyntäminen tapahtuu muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta joko valtioneuvoston asetuksella eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa (843/2017) tai ympäristöluvalla. Ohjeessa keskitytään valtioneuvoston asetuksella tapahtuvaan hyödyntämiseen, sillä se on prosessina paljon nopeampi ja kevyempi kuin ympäristöluva. Ohjeeseen on tarkoitus kasata tuhkien ja betonimurskeiden hyödyntämiseen liittyvä olennainen tieto niin itse materiaalien kuin lupamenettelyn osalta, jotta materiaaleilla suunnittelu ja rakentaminen olisi helpompaa. Tietoa ohjeen tekemiseen kerätään perehtymällä aiheita käsitteleviin julkaisuihin ja kirjallisuuteen, sekä tutustumalla materiaaleihin käytännössä Kuopion jätekeskuksella. Opinnäytetyössä kerrotaan lisäksi uusiomateriaalien hyödyntämisestä yleensä sekä pohditaan niiden hyödyntämiseen liittyviä ongelmia. Opinnäytetyön aihe on saatu Sitowise Oy:ltä, mutta työssä laadittava ohje tehdään Jätekuukko Oy:lle heidän toimeksiannostaan. Ohjeen on tarkoitus palvella myös Kuopion kaupunkia heidän rakennusprojekteissaan.

## 1.2 Lyhenteet ja määritelmät

E-moduuli	Rakenteen mitoituksessa käytettävä rakennusmateriaalin kantavuutta kuvaava arvo. Myös muodonmuutosmoduuli tai kantavuusmoduuli nimitystä käytetään.
EoW	End of Waste. Kriteeri, joka määrittää milloin tietty jäte lakkaa ole-masta jäte ja omaa tuotteen tai uusiomateriaalin statuksen. Tällä het-kellä end of waste tuotestatuksen saaneet materiaalit ovat rauta-, te-räs- ja alumiiniromu sekä lasimurska ja kupariromu. (ec.europa.eu.)
Juoksuraja	Vesipitoisuus materiaalin plastisen ja juoksevan olomuodon välisellä rajalla. Kun materiaalin vesipitoisuus nousee juoksurajan yläpuolelle, muuttuu materiaali juoksevaksi tai puolittain juoksevaksi. (Jääskeläinen 2009, 65.)
Levykuormituskoe	Tiivistystyön laadunvalvontaan käytettävä menetelmä.
MARA-asetus	Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maaraken-tamisessa (VNa 843/2017).
MASA-asetus	Valtioneuvoston asetus maa-ainesjätteen hyödyntämisestä maaraken-tamisessa. Tällä hetkellä asetus on vasta luonnosvaiheessa.
MPa	Megapascal, eli miljoona pascalia. Mittayksikkö, joka kuvaa painetta. Käytetään esimerkiksi kuvaamaan rakenteeseen aiheutuvaa kuormaa.
Optimivesipitoisuus	Materiaalin vesipitoisuus, jossa se saavuttaa maksimikuivatilavuuspai-sonsa. Määritetään proctor-kokeen avulla. (Jääskeläinen 2009, 55.)
Tiivysaste	Ilmaisee prosentteina, kuinka lähellä rakenteessa olevan materiaalin kuivatilavuuspaino on kuivatilavuuspainon maksimia. Materiaalin mak-simikuivatilavuuspaino määritetään proctor-kokeella. (Jääskeläinen 2009, 53.)
Tiiviyssuhde	Levykuormitus- tai pudotuspainokokeessa saavutettavan suurimman kantavuusarvon suhde ensimmäiseen kantavuusarvon mittaustulok-seen.
UUMA-rakentaminen	Uusiomaarakentaminen. Uusiomateriaaleilla tapahtuvaa maarakenta-mista.

## 2 UUSIOMATERIAALIT MAARAKENTAMISESSA

Uusiomateriaalilla tarkoitetaan uusioraaka-aineesta valmistettua materiaalia (tieteentermipankki.fi). Maanrakentamisessa uusiomateriaaleja käytetään korvaamaan uusiutumattomia luonnon kiviaineita ja se on näin ollen tehokas keino materiaalitehokkuuden ja kiertotalouden edistämiseen. Maarakentamiseen käytettäviä uusiomateriaaleja saadaan muun muassa teollisuuden sivutuotteista, jätteistä, kaivoksien ja rakennuskivilouhimoiden sivukivistä, rakentamisen ylijäämämaista, lievästi pilaantuneista maista sekä vanhoista maarakenteista. Taulukossa 2.1 on esitetty joitain uusiomateriaaleja, ja niiden suositeltuja käyttökohteita. (Uusiomaarakentaminen.fi 2018b; Liikennevirasto 2014, 9.)

Infrarakentamisessa uusiomateriaaleja voidaan käyttää esimerkiksi väylä-, kenttä- ja vallirakenteissa, satamissa ja meriväylissä, kaatopaikkojen suojarakenteissa sekä side- tai täyteaineina erilaisissa sidotuissa materiaaleissa tai stabiloinneissa (Uusiomaarakentaminen.fi 2018b). Luonnonmateriaaleihin verrattuna uusiomateriaalien käyttöominaisuudet vaihtelevat kuitenkin laajasti. Osa uusiomateriaaleista on ominaisuuksiltaan varsin samankaltaisia kuin luonnonkivimateriaalit, jolloin uusiomateriaalien käyttö ei poikkea merkittävästi luonnonmateriaaleista. Laadukkaat betonimurskeet ja masuunikuonatuotteet ovat esimerkkejä materiaaleista, joita voidaan käyttää suoraan kantavissa tai jakavissa kerroksissa. Joidenkin uusiomateriaalien käyttöominaisuudet ovat taasen erittäin vaativia ja niiden hyödyntäminen vaatii erityistä huolellisuutta ja perehtymistä. Esimerkiksi hienorakeiset materiaalit kuten lentotuhkat ovat herkkiä veden vaikutuksille, jolloin niiden käyttö maarakentamisessa voi olla hankalaa. (Liikennevirasto 2014, 10; Tiehallinto 2007, 32.)

TAULUKKO 2.1. Eräitä uusiomateriaaleja ja niiden suositeltuja käyttökohteita (Pailamo 2018-04-17)

<b>Uusiomateriaali</b>	<b>Suosittelut käyttökohteet/rakennusosa</b>
Asfalttijätteet	Päällysteet
Betoni- ja tiilimurskeet	Kantava/jakava kerros
Terästeollisuuden kuona- ja hiekkatuotteet	Tukikerros
Rengasrouheet ja kokonaiset renkaat	Kevennys-/kuivatusrakenteet
Energia- ja metsäteollisuuden tuhkamateriaalit	Tukikerroksen alaosa
Kuitulietteet	Kaatopaikkarakenteet
Muovit	Kevennysrakenteet
Lasimurskat	Tukikerroksen alaosa/kevennysrakenteet
Kaivannais- ja rakennusteollisuuden sivukivet	Penkereet/tukikerroksen alaosa

Uusiomateriaalin synty paikalla on suuri vaikutus materiaalin kilpailukykyyn. Massamäärältään eniten uusiomateriaaleista syntyy kaivosten sivukiveä, mutta usein ne sijaitsevat potentiaalisiin hyödyntämiskohteisiin nähden niin kaukana, etteivät ne pysty kilpailemaan muiden materiaalien kanssa. Pitkät kuljetusmatkat syövät myös materiaalin luontoa säästävää vaikutusta kuljetuksesta aiheutuvien



päästöjen takia. Rakennuskivilouhimoiden sivukivillä, sekä joillain uusiomateriaaleja tuottavilla teollisuuslaitoksilla ongelma ei ole niin suuri. Uusiomateriaalien on myös vaikea kilpailla, mikäli ne soveltuvat vain alempiluokkaisiin kohteisiin. Tällaisten kohteiden lähetyiltä löytyy monesti luonnonmateriaaleja, jotka ovat ominaisuuksiltaan yhtä hyviä tai parempia kuin uusiomateriaalit. (Liikennevirasto 2014, 10 - 11.)

## 2.1 Uusiomateriaalien hyödyntämisessä huomioitavaa lainsäädäntöä

Lähtökohta uusiomateriaalien hyödyntämiselle maarakentamisessa on lainsäädännön asettamien velvoitteiden täytyminen. Uusiomateriaalien hyödyntämistä ohjaa niin kansallinen- kuin eurooppalainenkin lainsäädäntö, jotka ohjaavat erityisesti ympäristökelpoisuuden arviointia, ja siihen liittyviä viranomaiskäytäntöjä. Teknistä kelpoisuutta ohjataan eri tahojen julkaisemilla ohjeilla, InfraRYL-julkaisulla sekä eurooppalaisella standardisoinnilla. (Liikennevirasto 2014, 12 - 13.) Tässä luvussa esitetään merkittävimpiä uusiomateriaalien käyttöön liittyviä säädöksiä.

### 2.1.1 Jätelaki (646/2011)

Koska moni maarakentamiseen käytettävistä uusiomateriaaleista luokitellaan jätteiksi, on jätelaki vahvasti mukana uusiomateriaalien hyödyntämisessä. Lain tarkoituksena on ”ehkäistä jätteistä ja jätehuollosta aiheutuvaa vaaraa ja haittaa terveydelle ja ympäristölle sekä vähentää jätteen määrää ja haitallisuutta, edistää luonnonvarojen kestäväää käyttöä, varmistaa toimiva jätehuolto ja ehkäistä roskaantumista” (Jätelaki 2011, 1§). Jätelakiin on sisällytetty myös EU-lainsäädännön mukainen jätehierarkia eli jätehuollon etusijajärjestys, jota uusiomateriaalien hyödyntäminen tukee. Etusijajärjestyksen mukaan jätteiden käsittely tulisi tapahtua seuraavassa järjestyksessä:

1. *jätteen synnyn ehkäisy*
2. *valmistelu uudelleenkäyttöön*
3. *kierrätys*
4. *muu hyödyntäminen*
5. *loppukäsittely* (Uusiomaarakentaminen.fi 2018c).

Jätelaki antaa myös määritelmän jätteelle ja sivutuotteelle. Jätelain mukaan jätteellä tarkoitetaan *ainetta tai esinettä, jonka sen haltija on poistanut tai aikoo poistaa käytöstä taikka on velvollinen poistamaan käytöstä. Aine tai esine ei ole kuitenkaan jäte vaan sivutuote, jos se syntyy sellaisessa tuotantoprosessissa, jonka ensisijaisena tarkoituksena ei ole tämän aineen tai esineen valmistaminen, ja*

- *Aineen tai esineen jatkokäytöstä on varmuus;*
- *Ainetta tai esinettä voidaan käyttää suoraan sellaisenaan tai sen jälkeen, kun sitä on muutettu enintään tavanomaisen teollisen käytännön mukaisesti;*
- *Aine tai esine syntyy tuotantoprosessin olennaisena osana; sekä*

*- Aine tai esine täyttää sen suunniteltuun käyttöön liittyvät tuotetta sekä ympäristön- ja terveyden- suojelua koskevat vaatimukset eikä sen käyttö kokonaisuuteen arvioiden aiheuta vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle. (Jätelaki 2011, 5 §.)*

### 2.1.2 Ympäristönsuojelulaki ja -asetus

Ympäristönsuojelulain (2014) 1§:ssä määritetään lain tarkoitus, joka on:

- 1) ehkäistä ympäristön pilaantumista ja sen vaaraa, ehkäistä ja vähentää päästöjä sekä poistaa pilaantumisesta aiheutuvia haittoja ja torjua ympäristövahinkoja;*
- 2) turvata terveellinen ja viihtyisä sekä luonnontaloudellisesti kestävä ja monimuotoinen ympäristö, tukea kestävää kehitystä sekä torjua ilmastonmuutosta;*
- 3) edistää luonnonvarojen kestävää käyttöä sekä vähentää jätteiden määrää ja haitallisuutta ja ehkäistä jätteistä aiheutuvia haitallisia vaikutuksia;*
- 4) tehostaa ympäristöä pilaavan toiminnan vaikutusten arviointia ja huomioon ottamista kokonaisuutena; sekä*
- 5) parantaa kansalaisten mahdollisuuksia vaikuttaa ympäristöä koskevaan päätöksentekoon.*

Lakia sovelletaan toimintaan, josta aiheutuu tai saattaa aiheutua ympäristön pilaantumista sekä toimintaan, jossa syntyy jätettä, tai jätettä käsitellään (Ympäristönsuojelulaki 2014, 2§). Näin ollen lakia sovelletaan myös uusiomateriaalien hyödyntämisessä.

Ympäristönsuojelulaissa määritetään myös ympäristölupaa koskeva menettely. Uusiomateriaalien hyödyntämisen kannalta tämä on tärkeää, sillä monen uusiomateriaalin hyödyntämiseen tarvitaan ympäristölupaa. Ympäristöluvan hankkiminen voi kuitenkin viedä niin paljon aikaa, että siitä muodostuu este uusiomateriaalien hyödyntämiselle (Liikennevirasto 2014, 8). Ympäristönsuojelulaissa säädetään mahdollisuudesta toiminnan rekisteröintiin, jolloin ympäristölupaa ei tarvita. Tällaisissa tapauksissa tarkempia säännöksiä voidaan antaa valtioneuvoston asetuksella, kuten asetuksella eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa. Ympäristönsuojelulain 119 §:ssä mahdollistetaan myös jätteiden hyödyntäminen koeluonteisessa toiminnassa. Ympäristöluvan ja koeluonteisen toiminnan ilmoituksen tarkempi sisältö sekä perusteet ympäristölupaviranomaisten toimivaltajaosta on säädetty ympäristönsuojeluasetuksessa. (Ympäristönsuojelulaki 2014.)

### 2.1.3 MARA- ja MASA-asetukset

Valtioneuvoston asetuksen eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa (VNa 843/2017), eli niin kutsutun MARA-asetuksen tavoitteena on lisätä jätteiden hyötykäyttöä ja siten edistää kiertotaloutta sekä kestävää luonnonvarojen käyttöä. Asetus mahdollistaa tiettyjen jätteeksi luokiteltujen uusiomateriaalien hyödyntämisen rekisteröinti-ilmoitusmenettelyllä ympäristöluvan sijaan, mikäli hyödynnettävä materiaali kuuluu asetuksen piiriin ja jätteiden hyödyntäminen on asetuksen mu-

kaista. Uusi asetus korvaa aiemman, vuonna 2006 voimaan tulleen asetuksen (VNa 591/2006). Uudessa asetuksessa soveltamisalaan kuuluvien jätteiden ja hyödyntämiskohteiden valikoima on laajempi. (Ympäristöministeriö 2018, 2.)

Mikäli ilmoitusmenettelyn edellytykset eivät täyty, tulee jätteiden hyödyntämistä varten hakea ympäristönsuojelulain (527/2014) mukainen ympäristölupa. Ympäristölupaa on haettava, jos:

- *Käytetään asetuksen soveltamisalaan kuulumatonta uusiomateriaalia tai suunniteltu käyttökohde ei kuulu asetuksen soveltamisalaan.*
- *Jätettä tuottavalla toimijalla ei ole asetuksen mukaista laadunhallintajärjestelmää tai uusiokäyttöön tarkoitettua materiaalia ei ole tutkittu asetuksen vaatimusten mukaisesti.*
- *Asetuksessa määritellyt raja-arvot haitta-ainesten liukoisuudelle tai pitoisuudelle ylittyvät.*
- *Asetuksessa määritetty suurin sallittu kerrospaksuus ylittyy.* (Uusiomaarakentaminen.fi 2018c.)

Valtioneuvosto on myös valmistellut asetusta maa-ainesjätteen hyödyntämiseksi maarakentamisessa, eli ns. MASA-asetusta. Asetus mahdollistaisi rakentamisessa ja muussa vastaavassa toiminnassa syntyvän maa-ainesjätteen hyödyntämisen maarakentamisessa rekisteröinti-ilmoitusmenettelyllä ympäristöluvan sijaan, mikäli asetuksessa säädettävät ympäristösuojeluvaatimukset täyttyisivät. Asetukseen sisältyisi myös maaperän tai maa-aineksen kiinteytys erällä jätemateriaaleilla. Rekisteröinti-ilmoitusmenettely vastaisi sisällöltään MARA-asetuksessa säädettyä, ja se sujuvoittaisi maa-ainesjätteen hyödyntämistä koskevia hallinnollisia menettelyjä. Lisäksi asetuksessa säädettävillä vaatimuksilla varmistettaisiin, ettei toiminta aiheuttaisi vaaraa tai haittaa ympäristölle tai terveydelle. (ym.fi.)

#### 2.1.4 REACH asetus

REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and restriction of Chemicals) on Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (1907/2006) kemikaalien rekisteröinnistä, arvioinnista, lupamenettelystä ja rajoituksista. Asetus sitoo EU-jäsenmaita ja se koskee miltei kaikkia markkinoille tuotavia aineita, valmisteita, ja esineitä muttei sitä sovelleta EU:n jätedirektiivin mukaisiin jätteisiin. Asetuksella on luotu oma REACH-järjestelmä kemikaalien rekisteröintiä, arviointia ja lupamenettelyä varten. Mikäli ainetta, valmistetta tai esinettä tuotetaan tai tuodaan maahan enemmän kuin yksi tonni vuodessa, täytyy siitä tehdä rekisteröinti REACH-järjestelmän tietokantaan. Asetuksen rekisteröintivelvoite koskee uusiomateriaaleja silloin, kun uusiomateriaali on hyväksytty sivutuotteeksi ympäristöluvassa määriteltyjen kriteerien avulla tai jäte on hyväksytty tuotteeksi End-of-Waste -menettelyn kautta ja tuotetta halutaan markkinoida EU-alueella. (Uusiomaarakentaminen.fi 2018c.)

#### 2.2 Uusiomateriaalien käytön edellytykset

Uusiomateriaalien hyödyntämiseen ryhdyttäessä on varmistettava, että materiaali sopii käyttökohteeseen ympäristö- ja teknisiltä ominaisuuksiltaan, joissa tulee myös huomioida työmaatekniikan osaaminen sekä kohteen korjaaminen ja purkaminen. Lisäksi uusiomateriaalien käyttämisen tulee

olla taloudellista ja jo ennen suunnitteluun ja lupahakemuksiin ryhtymistä on arvioitava, saadaanko uusiomateriaalien käytöllä riittävää hyötyä. (Liikennevirasto 2014, 44.) Liikennevirasto on listannut ohjeluonnoksessaan (2014, 44) uusiomateriaalien käytön edellytyksiä sekä kohdekohtaisen suuren hyödyntämismäärän etuja. Uusiomateriaalin käytön edellytyksiä ovat:

- Uusiomateriaalin tekniset- ja ympäristöominaisuudet on etukäteen selvitetty uusiomateriaalin haltijan tai toimittajan toimesta ja materiaalista on laadittu käyttöohje siten, että materiaalia hyödyntävä taho pystyy tietojen perusteella hankkimaan materiaalin hyödyntämiseen vaadittavat luvat sekä suunnittelemaan ja rakentamaan rakenteet.
- Uusiomateriaalien käytön tulee olla taloudellista ja sen on oltava teknisesti tarkoituksenmukaista. Käytössä ei saa olla kyse dumpkauksesta.
- Rungas rakentamisen jälkeinen aukikaivamisen tarve ei saa lisätä kustannuksia tai riskejä.
- Uusiomateriaalin käytön tulee olla ympäristön kannalta kestävä ja sen on tapahduttava hyödyntämiseen hankittujen lupien mukaisesti. Perinteistä rakennetta korkeampi hiilijalanjälki hyväksytään vain silloin kun uusiomateriaalilla korvataan luonnon soraa.
- Uusiomateriaalilla saavutetaan suoraa etua hankkeelle tai käytöstä on hyötyä yhteiskunnalle luonnonmateriaalien ja energian säästönä.

Kohdekohtaisen suuren hyödyntämismäärän etuja ovat (Liikennevirasto 2014, 44.):

- Hyödynnettävän uusiomateriaalin määrä korvaa hyödyntämisestä aiheutuvan lisävaivan (huom. myös mahdolliset ympäristöseurantavelvoitteet).
- Hyödyntämisestä aiheutuvat riskit ovat paremmin hallittavissa (ei koske ns. riskittömiä materiaaleja tai uusiomateriaalin hyödyntämistä sideaineena).
- Myöhemmissä johto- ja purkutöissä uusiomateriaalit pystytään tunnistamaan varmemmin ja massojen käsittely voidaan järjestää asianmukaisesti.

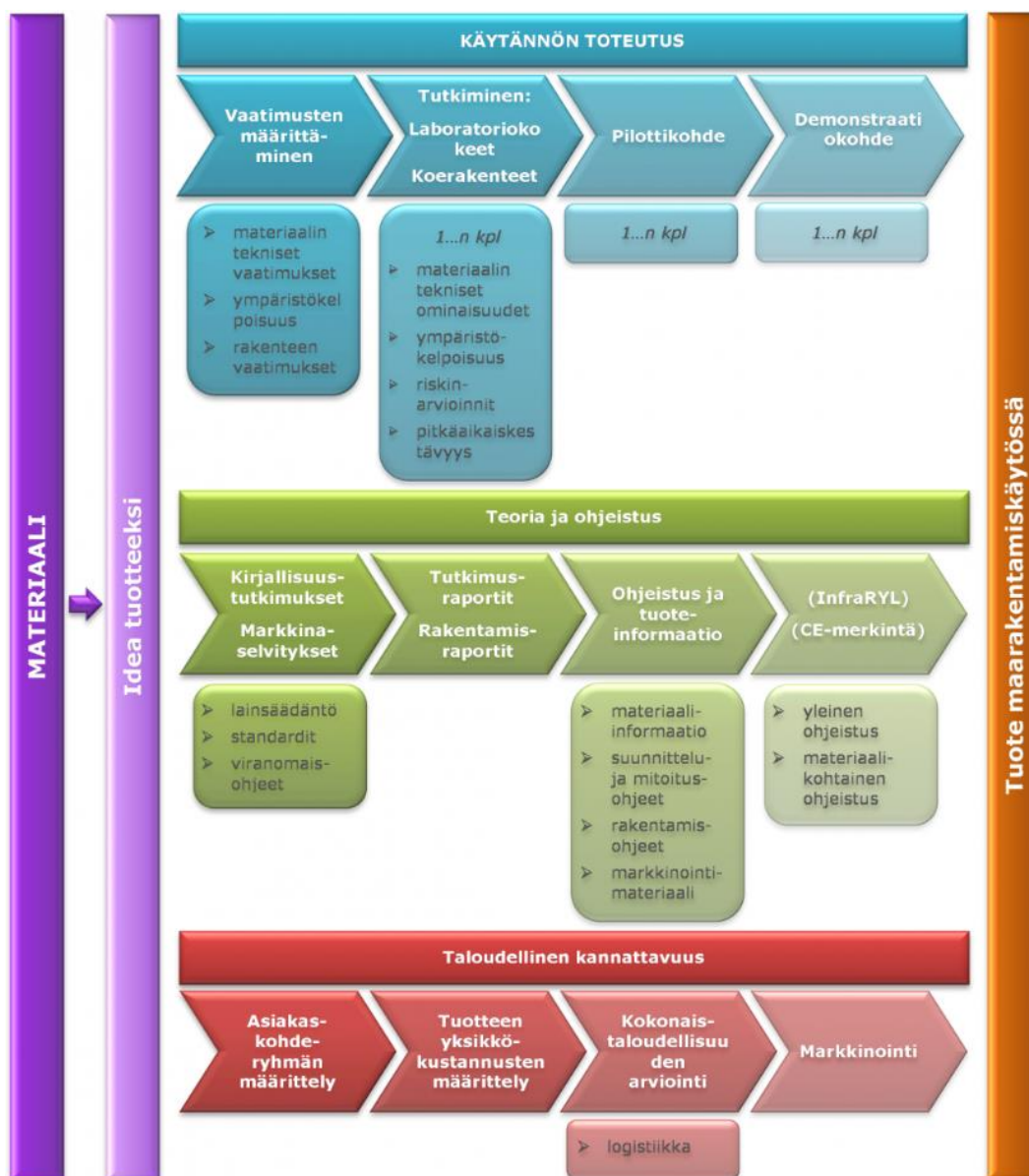
### 2.3 Uusiomateriaalien tuotteistaminen

Uusiomateriaalin tuotteistaminen on yksi mahdollisuus uusiomateriaalin käytön lisäämiseen. Prosessina materiaalin tuotteistaminen on kuitenkin kallis ja aikaa vievä projekti, joten tuotteistamiseen ryhtymisestä tulee tehdä harkittu ja suunniteltu päätös. Kun päätös materiaalin tuotteistamisesta on tehty, tarkastellaan ensiksi nykyisiä jo markkinoilla mahdollisesti olevia tuotteita, jonka jälkeen arvioidaan tuotteen kehittämisen tekniset haasteet ja vaatimukset. Prosessin edettyä tähän vaiheeseen on suositeltavaa tehdä yksityiskohtaisempi markkinatutkimus, jonka perusteella tehdään päätös siitä, onko materiaalin tuotekehitys kannattavaa ja taloudellisesti mielekästä ja mahdollista. (Uusiomaarakentaminen.fi 2018d.)

Perustana uusiomateriaalin tuotteistamiselle ovat sen suunnitellun käyttökohteen tekniset- ja ympäristökelpoisuusvaatimukset, jotka määritetään Suomen lainsäädännössä, viranomaisten antamissa ohjeissa, eurooppalaisessa standardisoinnissa sekä suunnittelu- ja rakentamishojeissa. Tuotteistettavan materiaalin tulee täyttää nämä vaatimukset. Rakennusosakohtaisten materiaali vaatimusten täyttyminen ei välttämättä toteudu kaikilla uusiomateriaaleilla, mutta niiden käyttäminen rakennusosaan

voi kuitenkin olla mahdollista ilman rakenteen toimivuuden vaarantumista. Tällöin materiaalin käyttämisen edellytyksenä on hankekohtaisen rakennuttajan hyväksyntä ja materiaalin todellisten parametrien käyttäminen suunnittelussa. (Uusiomaarakentaminen.fi 2018d.)

Tuotteistamisprosessiin kuuluu olennaisena osana myös tuotekehitys ja tuotteen testaaminen valvoituissa olosuhteissa. Uusiomateriaalia testataan kenttä- ja laboratoriokokein, joiden avulla selvitetään materiaalin tekniset ominaisuudet. Materiaalille laaditaan myös laadunvarmistussuunnitelma, jonka avulla materiaalin tasalaatuisuudesta saadaan varmuus. Tuotteistettavalla materiaalilla tehdään koerakenteita, joiden avulla selvitetään tuotannon, kuljetuksen ja rakentamisen tekeminen käytännössä. Koerakentamisen jälkeen etsitään vielä pilotti- ja mahdollinen demonstraatiokohde, joita voidaan käyttää tuotteen markkinoinnissa ja tuotteen esittelemisessä tilaajalle. Tämän jälkeen tuotteesta tehdään markkinointisuunnitelma ja tuotanto aloitetaan täydessä mittakaavassa. (Uusiomaarakentaminen.fi 2018d.) Kuviossa 2.1 on esitetty tuotteistamisprosessin vaiheet pähkinänkuoressa.



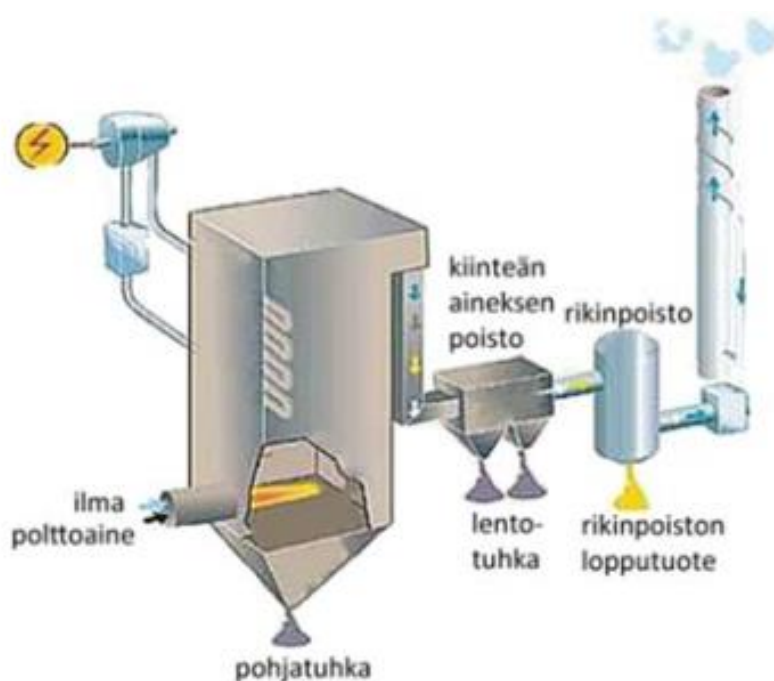
KUVIO 2.1. Materiaalin tuotteistamisen vaiheet (Uusiomaarakentaminen.fi 2018d)

### 3 TYÖTAPAOHJEESSA KÄSITELTÄVÄT UUSIOMATERIAALIT

Opinnäytetyössä laadittiin ohje uusiomateriaalien hyödyntämiseen. Maanrakentamisessa hyödynnettävien uusiomateriaalien kirjo on kuitenkin laaja. Jotta ohjeesta ei olisi tullut liian pitkä ja sen tekemiseen käytettävissä oleva aika riittäisi, päätettiin ohjeessa keskittyä energia- ja metsäteollisuuden tuhkiin sekä betonimurskeisiin. Kyseiset materiaalit ovat yleisimmät hyödynnettävät materiaalit Kuopion alueella. Muita ohjeessa tarkemmin tarkasteltavia uusiomateriaaleja olisi voinut olla esimerkiksi asfalttimurske sekä kierrätysrenkaat. Tässä luvussa esitellään lyhyesti ohjeessa käsiteltävät uusiomateriaalit. Teksti on koottu suurelta osin työtapaohjeesta, josta materiaalien hyödyntämisestä voi lukea lisää.

#### 3.1 Energia- ja metsäteollisuuden tuhkat

Energia- ja metsäteollisuuden tuhkamateriaalit syntyvät voimalaitoksissa, jotka käyttävät polttoaineena kivihiiltä, öljyä, turvetta, puuta, puun kuorta tai näiden seoksia. Tuhkamateriaalit voidaan jakaa kahteen eri tyyppiin niiden keräyspaikan perusteella: lentotuhkiin sekä pohjatuhkiin. Lisäksi tuhkat voidaan luokitella poltossa käytetyn polttoainekoostumuksen perusteella kivihiilen polton- (Kuva 3.1), seospolton- (tavanomaisten polttoaineiden seospoltto) ja rinnakkaispolton tuhkiin (jätteiden ja tavanomaisten aineiden rinnakkaispoltto). (Ramboll 2012, 8; Finncao Oy 2005, 3.)



KUVA 3.1. Kivihiilen poltossa syntyvät lento- ja pohjatuhkat sekä rikinpoiston lopputuote (Infra 062-710191, Kuva 2.1)

Lentotuhkalla tarkoitetaan polton aikana muodostuneesta savukaasusta talteen otettuja partikkeleita. Geoteknisen maalajiluokituksen mukaan lentotuhkan rakeisuus vastaa luonnonmateriaaleista siltin tai hiekkaisen siltin raekokoa. Kuivat lentotuhkat omaavat kyvyn lujittua, kun niitä kostutetaan

tai tiivistetään. Lentotuhkan leikkauslujuus muodostuu koheesiosta ja kitkasta, sillä lentotuhka vastaa rakeisuudeltaan välimaalajeja. Lentotuhkan lujittuessa kitkakulman ja koheesion arvot kuitenkin muuttuvat. Lujittumisominaisuudet vaikuttavat myös geoteknisiin ominaisuuksiin sekä lopputuotteen tekniseen laatuun. Lujittumisen ansiosta lentotuhkalla voidaan saada aikaan korkeampia kantavuuden arvoja. Toisin kuin lentotuhkilla, pohjatuhkilla lujittumisominaisuudet ovat melko vähäiset. Pohjatuhka on polttotason alapuolelle muodostuva, lentotuhkaa raskaampi tuhkatyyppi. Leijupetikatiloissa muodostuvasta pohjatuhkasta käytetään nimitystä leijupetihiekka. Leijupolton pohjatuhkat eroavat muista pohjatuhkista merkittävästi, sillä leijupolton tukiaineena käytettävää hiekkaa on myös muodostuvassa pohjatuhkassa. Raekooltaan pohjatuhkat vastaavat hiekan rakeisuutta. Lentotuhkien ja pohjatuhkien suhteelliset määrät riippuvat käytettävästä polttotekniikasta, joita edellä mainitun leijupolton lisäksi ovat esimerkiksi arina- ja pölypoltto. (Ramboll 2012, 8 - 9, 13 - 14.)

Tuhkat omaavat suuren hyötykäyttöpotentiaalin maarakentamisessa luonnon kiviaineksia korvaavana materiaalina. Niitä voidaan käyttää sellaisenaan, tiivistettynä tai seostettuna toisen uusiomateriaalin kanssa. Lentotuhkia voidaan hyödyntää myös hydraulisina sideaineina, jolloin niitä voidaan käyttää sidotuissa rakenteissa ja materiaaleissa. Tuhkien hyödyntäminen maarakentamisessa vaatii niiden sisältämien haitta-ainepitoisuuksien sekä teknisten ominaisuuksien tutkimista. (Ramboll 2012, 22; Finncao Oy 2005, 3.)

Tuhkat eivät kuitenkaan ole täysin ongelmattomia maarakennusmateriaaleja. Tuhkien hyötykäytön esteeksi voi muodostua niiden sisältämien haitta-aineiden korkea pitoisuus, johon vaikuttaa suuresti käytetty polttotekniikka. Tuhkien haitta-ainepitoisuuksia voidaan parantaa esimerkiksi ikäännyttämällä tuhkia (Ramboll 2012, 10). Korroosiolle alttiit rakenteet tulee suojata suoralta kosketukselta tuhkamateriaaleihin tai tuhkarakenteen läpi suotatuvan veden vaikutuksilta, sillä tuhkat aiheuttavat korroosiota (Ramboll 2012, 33). Tämä tulee huomioida erityisesti putkijohtokaivantojen täytöissä. Maanrakentamisessa pohjatuhkia voidaan käyttää kuten luonnon hiekkaa, mutta lentotuhkat vaativat enemmän huolellisuutta. Lentotuhkan suuren hienoainepitoisuuden johdosta materiaali on herkkä veden vaikutuksille ja sen juoksuraja voi tulla vastaan yllättävän nopeasti. Mikäli materiaali juoksettuu, sen käyttäminen rakentamisessa on mahdotonta. Lentotuhkan tiivistäminen vaatii myös erikoisjärjestelyjä, sillä tiivistykseen lentotuhka tarvitsee sivuttaistuen joko erikseen rakennetavasta tukipenkasta, tai ns. maalaatikosta (Ramboll 2010, 55). Kuivana lentotuhka myös pölyää voimakkaasti, joka voi aiheuttaa haittoja lähiympäristöön niin rakentamisen, kuin varastoinninkin aikana. Pölyämistä voidaan pienentää tuhkan kostuttamisella tai peittämisellä, sekä rakentamisen aikana pitämällä rakennekerroksia paljaana mahdollisimman lyhyen aikaa.

Lentotuhkan käyttöön liittyviä ongelmia voidaan vähentää käsittelemällä tuhkaa esimerkiksi rakeistamalla. Menetelmässä tuhka saatetaan raemaiseen muotoon hyödyntäen lentotuhkan omia lujittumisominaisuuksia, joita voidaan tarvittaessa tehostaa lisäämällä tuhkaan sideaineita. Tuhkan rakeistamiseen on olemassa ainakin kaksi erilaista menetelmää: lautas- ja rumpurakeistaminen. Kummassakin menetelmässä ideana on saattaa kostutettu tuhka vierivään liikkeeseen, jolloin se alkaa muotoutua palloiksi. Muodostuneet pallot kovettuvat ja valmis rakeistettu materiaali voidaan seuloa haluttuun raekokoon. (Korpilahti 2003, 5, 12 - 13.) Rakeistuksen johdosta tuhkan pölyävyys ja haitta-

ainepitoisuuksien liukoisuus vähenee huomattavasti. Lisäksi materiaalin kuljetus ja varastointi helpottuu (luke.fi). Rakeistettua tuhkaa käytetään maarakentamiseen suodatinkerroksissa ja kunnallistekniikan erilaisissa rakennekerroksissa. Hyödyntäminen voidaan yleensä toteuttaa MARA-ilmoituksella rakeistetun tuhkan haitallisten aineiden alhaisten liukoisuuksien vuoksi. (ecolan.fi, 4 - 5.)

### 3.2 Betonimurske

Betonimurske on yksi yleisimmistä uusiomateriaaleista, jota hyödynnetään maarakentamisessa. Sitä valmistetaan purkutyömailta tai betoniteollisuudesta peräisin olevasta betonijätteestä, jonka takia myös itse murske luokitellaan jätteeksi. Suomessa betonijätettä syntyy vuodesta riippuen noin 700 000 - 1 000 000 tonnia, josta n. 80 % hyödynnetään ja hyödynnettävästä betonijätteestä 95 % käytetään betonimurskeena maarakentamisessa (Vakkuri 2011). Betonimurskeet jaetaan neljään laatuluokkaan niiden syntyvän sekä koostumuksen perusteella taulukossa 3.1 esitetyllä tavalla.

Taulukko 3.1. Betonimurskeiden laatuluokittelu (Muokattu lähteistä: Tiehallinto 2007, 35; Helsingin, Espoon ja Vantaan kaupunki 2015, 4)

Betonimurskeen laatu	BEM I	BEM II	BEM III	BEM IV
Raaka-ainelähde	Betoniteollisuus	Purkutyömaa tai vastaava	Purkutyömaa tai vastaava	Purkutyömaa tai vastaava
Rakeisuus	*	*	*	-
Routivuus	Routimaton	Routimaton	Routimaton	Vaihtelee
Lujittuminen	Lujittuu	Lujittuu	Epävarmaa	Epävarmaa
28d:n puristuslujuus	≥1,2 MPa	≥0,8 MPa	Vaihtelee	Vaihtelee
Tiilen maks. osuus	0 p-%	10 p-%	10 p-%	30-p-%
Muiden materiaalien maks. osuus	0,5 p-%	1 p-%	1 p-%	1 p-%
Kevyt orgaaninen materiaali	ei haitallista määrää	ei haitallista määrää	ei haitallista määrää	ei haitallista määrää

\* Rakennusosakohtainen rakeisuusvaatimus InfraRylistä.

Kiviainespohjaisena materiaalina betonimurske on teknisiltä- ja ympäristöominaisuuksiltaan melko turvallinen materiaali käyttää (Tiehallinto 2007, 35). Laadukkaalla betonimurskeella on mahdollista saada aikaan suuria kantavuuden arvoja betonimurskeen lujittumisominaisuuksien johdosta, joka mahdollistaa perinteisestä luonnonkiviaineksesta valmistettua rakennekerrosta pienemmät rakennekerrospaksuudet. Lujittunut betonimurskekerros tasaa myös rakenteen painumia.



Betonimurskeen erikoisuutena voidaan pitää sen kykyä sitoa ilman hiilidioksidia (CO<sub>2</sub>). Sitoutumista tapahtuu karbonatisaatioreaktiossa, joka kiihtyy betonijätteen murskauksen jälkeen. Reaktion kiihtyminen johtuu siitä, että murskauksen johdosta reaktioon on käytettävissä enemmän vapaata pintaa. Parhaimmillaan betonimurske voi sitoa jopa puolet sen sisältämän sementin valmistuksessa syntyneistä hiilidioksidipäästöistä. (Rudus Oy 2017, 3.)

Suurin ongelma betonimurskeiden maarakennuskäytössä on betonijätteen roskaisuus, joka johtuu murskeeseen käytettävän materiaalin alkuperästä. Ongelma ei koske suoraan betoniteollisuudesta peräisin olevia, BeM I laatuluokituksen omaavia murskeita. Mitä roskaisempaa betonijäte on, sitä enemmän työtä betonimurskeen valmistaminen vaatii ja sitä enemmän betonimurskeen valmistuksesta aiheutuu kustannuksia. Lähtökohta betonimurskeen valmistukselle luodaankin jo purkutyömaalla, jossa materiaalien huolellinen lajittelu lisää tulevan betonimurskeen laatua. Mikäli roskaista betonimursketta yritetään käyttää maarakentamisessa, ei betonimurske saavuta tavoiteltavia kantavuusvaateita. Roskaisuuden lisäksi betonimurskeen mahdollinen suuri hienoainespitoisuus voi muodostua ongelmaksi. Korkea hienoaineksen määrä lisää roskaisuuden tapaan murskeen valmistuksen kustannuksia, ja aiheuttaa ongelmia työmaalla mm. lisäämällä liettymisen riskiä. Betonimurskeen valmistuksessa ja sen käytössä täytyy pitää huoli siitä, että materiaali on sille asetettujen laatuvaatimusten mukaista.

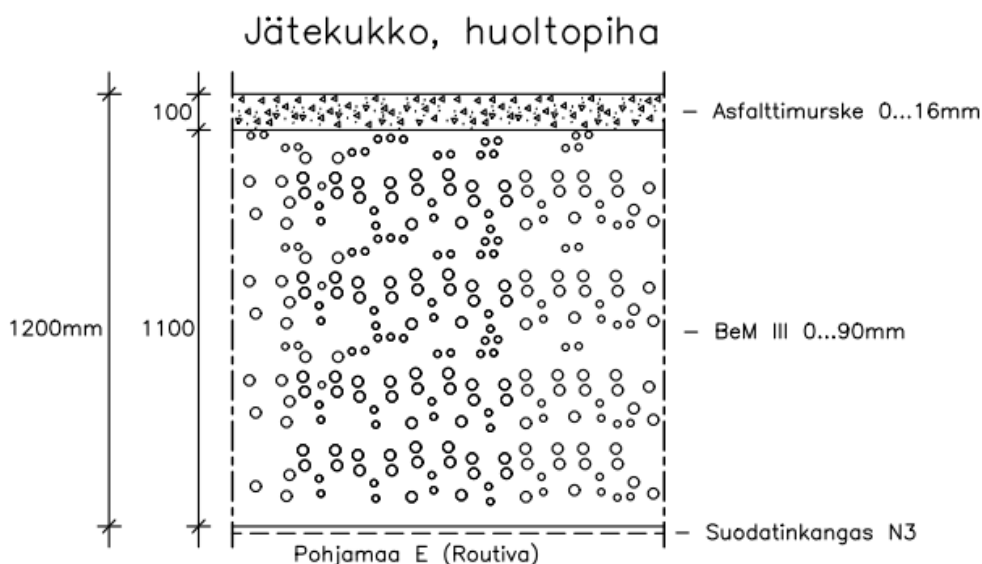
#### 4 TYÖTAPAOHJEEN LAATIMINEN

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tuottaa ohje Jätekuukko Oy:lle tuhkien ja betonimurskeiden hyödyntämiseen maarakentamisessa. Työtapaohjeen tekeminen aloitettiin syksyllä tutustumalla aiheesta kertovaan kirjallisuuteen ja julkaisuihin. Suurin osa ohjeen tekemiseen liittyvästä työstä muodostui aiheeseen liittyvän tiedon keräämistä samaan paikkaan. Ohjeen tekemisen tueksi toteutettiin myös koerakenteita Kuopion jätekeskuksella, joiden tekemisestä kerrotaan lisää luvussa 5. Ohjeen tekemisen tueksi oli tarkoitus tehdä myös laboratoriotutkimuksia betonimurskeella sekä Kuopion energian lento- ja pohjatuhkilla, mutta niiden tekemisestä täytyi kuitenkin luopua ajanpuutteen vuoksi.

Ohjeen kirjoittaminen tapahtui Sitowise Oy:n johtavan konsultin Sami Pailamon ohjauksessa. Ohjeessa kerrotaan lyhyesti maarakentamiseen käytettävistä uusiomateriaaleista. Pääpaino on energia- ja metsäteollisuuden tuhkamateriaaleissa sekä betonimurskeessa. Ohjeessa esitellään näiden materiaalien ominaisuuksia ja soveltumista eri rakennusosiin. Lisäksi ohjeessa kerrotaan, mitä pitää ottaa huomioon suunnittelussa-, varastoinnissa ja kuljetuksessa- sekä materiaaleilla rakennettaessa. Edellä luetellun ohjeistuksen lisäksi ohjeessa kerrotaan materiaalien hyödyntämiseen vaadittavista lupamenettelyistä. Yleisimmin käytettävät lupamenettelyt jätteiden hyödyntämisessä ovat ympäristölupa ja MARA-asetuksen mukainen hyödyntäminen. Ohjeessa haluttiin keskittyä MARA-asetuksella tapahtuvaan hyödyntämiseen, sillä ympäristölupaprosessi on usein niin pitkä, että siitä koituu este hankkeen toteuttamiselle uusiomateriaaleilla.

## 5 KOERAKENTEET KUOPION JÄTEKESKUKSELLA

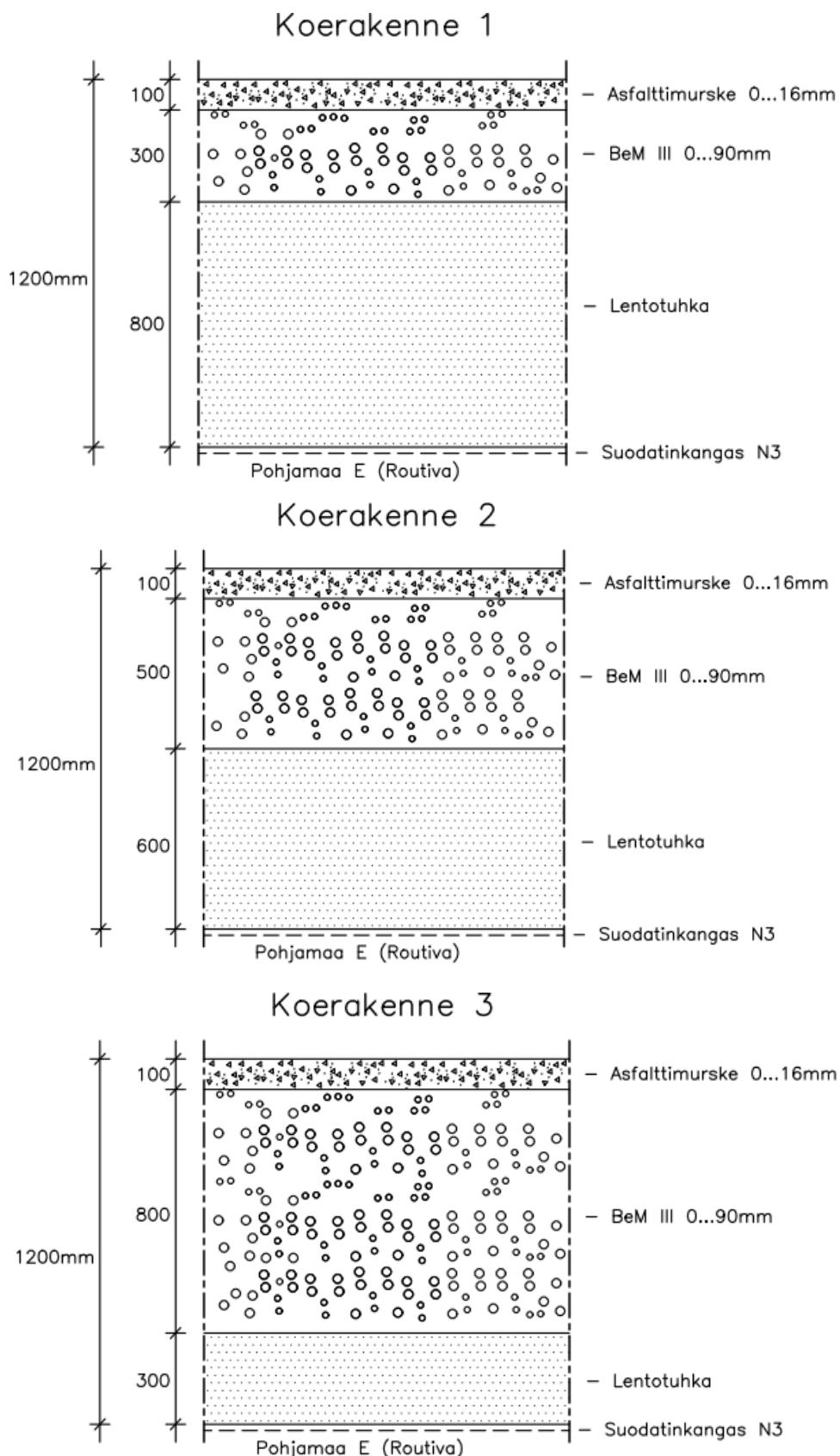
Opinnäytetyöprosessin alussa tutkittiin mahdollisuutta tuhka- ja betonimurskekoerakenteiden tekemiseen. Koerakenteiden tekeminen olisi oiva tapa tutustua materiaaleilla rakentamiseen käytännössä ja se tukisi työtapohjeen kirjoittamista. Mahdolliset koerakenteet voitaisiin toteuttaa esimerkiksi Kuopion jätekeskuksen alueella. Jätekeskuksen toiminnasta vastaa Jätekuikko Oy, jolle opinnäytetyössä tehtävä ohje toimitetaan. Vierailimme Jätekuikolla yhdessä Sami Pailamon kanssa ja ilmeni, että heillä olisi alkamassa rakennuskohde, jonka yhteydessä koerakenteet voitaisiin toteuttaa. Kohde rakennettiin huoltopiha alueelle tulevaa kaasusäiliötä varten. Pihan rakennekerroksissa oli tarkoitus hyödyntää Jätekuikolla olevaa betonimurskettä kuvassa 5.1 esitetyllä tavalla. Pihan kulutuskerrokseen käytettäisiin asfalttimurskettä, joka tuhkien ja betonimurskeiden tapaan on myös hyödynnettäväksi kelpaavaa jätettä.



KUVA 5.1. Rakenneleikkaus huoltopihan rakennekerroksista (Tuunainen 2019-03-08)

### 5.1 Suunnitellut koerakenteet

Huoltopihasta tehtyjen rakennussuunnitelmien pohjalta laadittiin kolme erilaista koerakennetta. Koska varsinaisiin pihan rakennekerroksiin käytettiin betonimurskettä, haluttiin koerakenteissa käyttää lisäksi lentotuhkaa, jolloin nähtäisiin myös lentotuhkalla rakentamista. Lentotuhkakerrokset toteutettiin eri paksuuksissa, jotta voitaisiin nähdä kerrospaksuuksien vaikutukset rakentamiseen ja rakenteen lopulliseen kantavuuteen. Lentotuhkan kantavuusmoduuli on huomattavasti pienempi kuin betonimurskeen. Tästä syystä koerakenteet toteutettiin huoltopihan reunalle, jossa liikenteestä aiheutuva kuorma on pienempi. Kuvassa 5.2 on esitetty koerakenteiden rakenneleikkaukset.



KUVA 5.2. Koerakenteiden rakennelikkaukset (Tuunainen 2019-03-08)

Niin huoltopihan normaalista rakenteesta kuin jokaisesta koerakenteesta laskettiin kantavuudet odesmarkin kaavaan pohjautuvalla laskentataulukolla. Laskentatuloksia verrattaisiin koerakenteiden leikkauspohjasta ja jokaisen materiaalikerroksen päältä mitattaviin kantavuuksiin. Laskennassa käytettiin seuraavia kantavuusmoduuleja:

Pohjamaa:	35 MPa
Lentotuhka:	50 MPa
BeM III	300 MPa
Asfalttimurske	500 MPa.

Edellä esitetyillä kantavuusmoduuleilla mitoituskantavuudeksi asfalttimurskekerroksen päältä saatiin seuraavaa:

Huoltopiha:	309 MPa
Rakenne 1:	169 MPa
Rakenne 2:	226 MPa
Rakenne 3:	285 MPa.

## 5.2 Rakenteiden toteutus ja kantavuuden mittaus

Koerakenteiden tekeminen aloitettiin maaleikkauksella, jonka jälkeen jatkettiin lentotuhkakerroksien rakentamiseen. Lentotuhkan kuljetusmatka varastokasalta työmaalle oli lyhyt, sillä molemmat sijaitivat jätekeskuksen alueella. Tuhka levitettiin kaivinkoneella ja se tiivistettiin kerroksittain 30 cm paksuisina kerroksina, paitsi 1. koerakenteen viimeinen kerros, joka tiivistettiin 20 cm paksuisena (kuva 5.3). Tiivistämiseen käytettiin 500 kg ja 90 kg tärylevyjä niin, että kolme ensimmäistä ylityskertaa ajettiin painavammalla tärylevyllä ja viimeinen ylityskerta kevyemmällä. Viimeisen ylityskerran tarkoitus oli tiivistää löyhäksi jäänyt pintakerros.



KUVA 5.3. 3. koerakenteen lentotuhkakerros tiivistettynä (Tuunainen 2018-11-14)

Tuhkakerrosten rakentamisen jälkeen siirryttiin betonimurskekerrosten rakentamiseen. Betonimurskekerrokset rakennettiin niin, että 3. koerakenteen pinta tasattiin samaan tasoon 2. koerakenteen tuhkakerroksen pinnan kanssa, jolloin ensimmäisen tiivistyskerroksen paksuus oli 30 cm. Seuraavat betonimurskekerrokset tasattiin ja tiivistettiin tavoitteena olevien lopullisten betonimurskekerrosten pintaan, jolloin 3. ja 2. koerakenteessa kerralla tiivistettävä paksuus oli 50 cm ja 1. koerakenteessa 30 cm. Kerrosten tiivistämiseen käytetty kalusto ja tiivistystapa oli sama kuin tuhkalla rakennettaessa. Betonimurskekerroksen rakentamisen jälkeen rakennettiin pihan kulutuskerros asfalttimurskeesta. Kun koerakenteiden sekä huoltopihan rakennekerrokset olivat valmiit, tiivistettiin koko huoltopihan alue mukaan lukien koerakenteet vielä valssijyrällä.

Koerakenteiden jokaisen rakennekerroksen pinnasta mitattiin kantavuuksia Loadman II-kevytpudotuspainolaitteella (kuva 5.4), joka on yleisesti sitomattomien- sekä ohuiden sidottujen rakennekerrosten laadunvalvonnassa käytettävä mittalaite (PANK Ry 2002, 1). Kevyt pudotuspainolaite soveltuu pieniin rakennuskohteisiin sekä kohteisiin, joihin ei pääse muilla käytössä olevilla mittalaitteilla niiden koon asettaman rajoituksen vuoksi (AL-Engineering Oy 2015, 1). Laitteen periaatteena on pudottaa vapaasti putoava paino (massa 10 kg) jäykälle kuormituslevylle, ja mitata pudotuksen aiheuttamaa painumaa laitteessa olevalla kiihtyvyyssanturilla. Painuman perusteella laite määrittää kantavuusmoduulin  $E_2$ , joka on samasta mittauspisteestä saatava toinen mittaustulos, sekä useamman mittauksen perusteella tiiviyssuhteen  $E_{max}/E_1$ , jossa:

$E_{max}$  on samasta mittauspisteestä mitattujen kantavuusmoduulien maksimiarvo (MPa)  
 $E_1$  on mittauspisteen ensimmäinen mittaustulos (MPa). (PANK Ry 2002, 1 - 2.)



KUVA 5.4. Kantavuusmittauksissa käytetty kevytpudotuspainolaite Loadman II (Tuunainen 2019-04-17)

Jotta tiiviyssuhteen laskemiseen vaadittava kantavuusmoduulin maksimiarvo saavutettaisiin, tulee tutkittavasta pisteestä suorittaa mittauksia niin kauan, kunnes kantavuusmoduuli vakioituu. (AL-Engineering Oy 2015, 10). Mittauksen syvyysvaikutus määräytyy käytettävän kuormituslevyn perusteella. Mitä isompi käytettävä kuormituslevy on, sitä syvemmälle laitteen vaikutus ulottuu. Toisin sanoen käyttämällä isompaa kuormituslevyä laitteella pystytään mittaamaan paksumpia kerroksia. Koerakenteiden kantavuuksien mittauksessa käytössä oli laitepohjassa kiinteänä oleva kuormituslevy, jonka halkaisija on 132 mm. Kiinteän kuormituslevyn syvyysvaikutus on n. 20 - 30 cm, kun se esimerkiksi halkaisijaltaan 300 mm lisälevyllä olisi n. 40 - 60 cm. Loadmanin pienen syvyysvaikutuksen takia laitetta ei voida käyttää rakenteen kokonaiskantavuuden mittaukseen. (AL-Engineering Oy 2015, 1.)

Kantavuuden mittaukset aloitettiin leikkauspohjan kantavuuden mittauksilla, jotta laskennassa käytettyä kantavuusmoduulia voidaan verrata todelliseen kantavuusmoduuliin. Rakennekerroksista kantavuusmittauksia suoritettiin vähintään kolmesta pisteestä, jotta mittaustulokset kuvaisivat paremmin koko rakennekerroksen tuloksia. Kuitenkin ensimmäisen koerakenteen betonimurskekerroksen 3. mittapisteen sekä asfalttimurskekerroksen 1. pisteen tiedot puuttuvat. Lisäksi osa mittauksista on keskeytynyt ennen E-moduulin vakioitumista pudotuspainon irrottua ennenaikaisesti. Mittaustuloksia esitellään ja analysoidaan seuraavassa luvussa. Kokonaisuudessaan mittaustulokset on esitetty liitteessä 1.

### 5.3 Mittaustulokset ja niiden analysointi

1. ja 2. koerakenteen leikkauspohjasta mitattujen kantavuuksien keskiarvo vastasi hyvin laskennassa käytettyä 35 MPa:n arvoa, mutta 2. koerakenteen pohjasta mitattu kantavuuden keskiarvo poikkesi laskennassa käytetystä arvosta 11,5 MPa:lla. Koerakenteiden leikkauspohjasta mitatut kantavuudet on esitetty taulukossa 5.1, jossa on esitetty myös todellisilla pohjamaan kantavuuksilla korjatut laskennalliset mitoituskantavuudet kunkin rakennekerroksen yläpinnasta.

TAULUKKO 5.1. Todellisilla pohjamaan kantavuuksilla korjatut koerakenteiden mitoituskantavuudet

	Koerakenne 1	Koerakenne 2	Koerakenne 3
Pohjamaa (mitattu)	37 MPa	23,5 MPa	30 MPa
Lentotuhkakerros (korjattu)	49 MPa	44 MPa	41 MPa
Betonimurskekerros (korjattu)	130 MPa	181 MPa	244 MPa
Asfalttimurskekerros (korjattu)	170 MPa	221 MPa	282 MPa

Seuraavat mittaukset suoritettiin aina valmiin rakennekerroksen pinnasta. Maarakennustöissä rakenteen onnistumista voidaan arvioida tiiviyssuhteella ja rakenteista mitatuilla kantavuuden arvoilla, joita verrataan suunnittelun aikana laskettuihin mitoituskantavuuksiin sekä hankekohtaisiin ja yleisiin laatuvaatimuksiin. Pudotuspainolaitemittauksessa mittauspisteestä suoritettu toinen mittaustulos ( $E_2$ ) kertoo rakenteen kantavuuden ja kantavuusmoduulin maksimiarvon suhde ensimmäiseen mittaustulokseen ( $E_{max}/E_1$ ) kertoo rakenteen tiiviyssuhteen. Taulukkoon 5.2 on koostettu liitteessä 1 - esitetyt mittaustulokset.

TAULUKKO 5.2. Kooste kantavuusmittauksien tuloksista.

Koerakenteen numero ja rakennekerros	Kantavuusmoduulin (E2) keskiarvo (MPa)	Tiiviyssuhteen keskiarvo	Suurin mitattu tiiviyssuhde
1. Tuhkakerros	44,7	1,23	1,26
1. Betonimurskekerros	97	1,46	1,49
1. Asfalttimurskekerros	104,5	2,17	2,29
2. Tuhkakerros	46,7	1,47	1,67
2. Betonimurskekerros	88	1,45	1,59
2. Asfalttimurskekerros	99,3	1,48	1,64
3. Tuhkakerros	41	1,46	1,52
3. Betonimurskekerros	86,7	1,77	2,12
3. Asfalttimurskekerros	91,3	1,85	1,94

Verrataan taulukon 5.2 mittaustuloksia taulukossa 5.1 esitettyihin mitoituskantavuuksiin. Tuhkakerroksesta mitattujen kantavuusmoduulien voidaan sanoa vastaavan mitoituskantavuuksia, sillä mitatut arvot eroavat mitoituskantavuuksista korkeintaan muutamalla megapascalilla. Betonimurskekerroksien jälkeen mitatut arvot kuitenkin alkavat poiketa merkittävästi mitoituskantavuuksista. Esimerkiksi koerakenteella kolme, jolla vielä tuhkakerroksen jälkeen oltiin täsmälleen mitoituskantavuudessa, betonimurskekerroksesta mitattu arvo on lähes kolme kertaa pienempi kuin tavoitteena oleva kantavuus. Betonimurskekerroksen huono kantavuus näkyy luonnollisesti myös asfalttimurskekerroksen päältä mitatusta kantavuudesta.

Verrataan mittaustuloksia vielä yleisiin- ja kohdekohtaisiin laatuvaatimuksiin. Yleisissä laatuvaatimuksissa (InfraRyl) todetaan, että rakennekerroskohtaisen kantavuusvaatimuksen tulee olla suunnitelma-asiakirjoissa esitetyn mukainen. Suunnitelma-asiakirjoissa ei kuitenkaan erikseen annettu kantavuusvaatimusta rakennekerroksille, vaan kantavuusvaatimus oli annettu valmiin rakenteen pinnasta mitattavalle kantavuuden arvolle. Kantavuusvaatimus on esitetty taulukossa 5.3, jossa on esitetty myös InfraRYLin mukaiset tiiveyssuhdevaatimukset. Suunnitelma-asiakirjoissa esitetty tiiviyssuhteen vaatimus rakenteen valmiille pinnalle oli 2,2 levykuormituskokeella mitattuna, joka InfraRYL taulukoiden 21310:T4 ja 21310:T5 perusteella vastaa pudotuspainolaitteella mitattua tiiviyssuhdetta 1,9 (Rakennustieto, 46; Pöyry 2018, 7). Edellä luetellut vaatimukset on koostettu taulukkoon 5.3.

TAULUKKO 5.3. Yleiset sekä kohdekohtaiset tiiveys ja kantavuusvaatimukset (Rakennustieto, 20 ja 46; Pöyry 2018, 7)

Suodatinkerroksen tiiviyssuhdevaatimus, <sup>(1)</sup> ka./suurin mitattu	Kantavan kerroksen tiiviyssuhdevaatimus, <sup>(2)</sup> suurin mitattu	Hankekohtainen tiiviyssuhtevaatus huoltopihan pinnasta	Hankekohtainen kantavuusvaatimus huoltopihan pinnasta
$\leq 3,0 / \leq 2,8$	$\leq 1,7$	$\leq 1,9$	$\geq 160$ (MPa)

<sup>(1)</sup> arvot johdettu liitteessä 2 esitetyn taulukon mukaan.

<sup>(2)</sup> oletetaan, että arvo on annettu kevytpudotuspainolaitteelle.



Mittaustuloksista nähdään, että tiiviyssuhdevaatimukset ovat lähestulkoon yleisten laatuvaatimusten mukaiset. 3. koerakenteen betonimurskekerroksen osalta tiiviyssuhdevaatimus ylittyy. Hankekohtaiset tiivisuhteen vaatimukset täyttyvät kaikkien muiden rakenteiden osalta, paitsi 1. koerakenteen. Myös kolmannessa koerakenteessa suurin mitattu tiiviyssuhteen arvo ylittää niukasti hankekohtaisen vaatimuksen, mutta hankekohtaisissa suunnitelma-asiakirjoissa ei erikseen määritetty tarkoitetaan vaatimuksella suurinta mitattua tiiviyssuhdetta, vai niiden keskiarvoa. Betonimurskekerroksen huonon kantavuuden takia mikään koerakenteista ei täyttänyt hankekohtaista pihan pinnasta mitattavaa kantavuusvaatimusta, ainakaan vielä tässä vaiheessa. Näiden mittausten jälkeen huolto-piha-aluetta koerakenteineen tiivistettiin vielä valssijyrällä. Lopullisia mittaustuloksia ei kuitenkaan saatu, sillä pakkasten alkaessa rakenteet ennättivät jäätyä ennen mittausten suorittamista.

Betonimurskekerroksen huonolle kantavuudelle voidaan löytää muutama selkeä syy. Ensinnäkin rakentamisessa tehtiin virheitä. Kerralla tiivistettävä betonimurskekerros oli reilusti yli ohjearvojen. InfraRYLissä annetaan seuraavat ohjearvot kerralla tiivistettävän kerroksen paksuudelle sekä ylityskertamäärille tiivistettäessä yli 400 kg:n tärylevyllä (Rakennustieto, 245):

Suodatinkerros:	0,25 m/ 3 ylityskertaa
Kantava kerros:	0,20 m/ 4 ylityskertaa

Betonimurskekerros tiivistettiin joko 0,3 m tai 0,5 m paksuisena, eli pahimmillaan kerrospaksuus oli yli kaksi kertaa niin suuri kuin ohjearvo. Lisäksi kolme ylityskertaa ei täytä ohjearvoa. Vähemmän merkittäviä virheitä olivat ne, että betonimurskeen tiivistämisessä ei käytetty vettä, eikä betonimurskeen optimivesipitoisuutta tiedetty ennen rakentamista. Veden käyttö tiivistystyössä vähentäisi rakeiden välistä kitkaa parantaen murskeen tiivistymistä. Optimivesipitoisuuden tietäminen maarakentamisessa on taasen tärkeää siksi, koska tiivistettäessä materiaalia lähellä optimivesipitoisuutta päästään parhaaseen tiivistystulokseen. Optimivesipitoisuus selvitetään laboratoriotutkimuksin.

Betonimurskekerrokselle asetetut tiiviyssuhdevaatimukset täyttyivät yhtä mittauspistettä lukuun ottamatta. Kantavuuden arvot olivat kuitenkin kaukana tavoitteena olevasta, jolloin herää kysymys käytetyn betonimurskeen suunnitelmanmukaisuudesta. Lähtökohtaisesti materiaalin toimittajalla on vastuu materiaalille asetettujen laatuvaatimusten täyttymisestä, mutta materiaalia vastaanotettaessa tulisi sen kelpoisuutta arvioida silmämääräisesti. Tässä tapauksessa materiaalin laadunmukaisuuteen luotettiin liikaa, sillä rakentaminen tapahtui materiaalin toimittajan alueella ja toimittajan voimassa olevan ympäristöluvan puitteissa. Työmaalta otettujen valokuvien perusteella voidaan kuitenkin todeta, ettei materiaali ollut suunnitelmien mukaista. Kuvista nähdään ainakin, että betonimurskeessa oli liikaa kelluvia epäpuhtauksia ja että tiilen suhteellinen osuus oli todennäköisesti liian suuri. Rakeisuudelle asetettujen vaatimusten täyttymistä on myös syytä epäillä. Lisäksi mittaustulokset tukevat päätelmää, ettei materiaali ollut suunnitelmien mukaista.

Myös suodatinkerroksena toimineen tuhkerakroksen rakentamisessa tehtiin virheitä. Tuhkerakroksen osalta suositus ylityskertamäärästä täyttyi, mutta kerralla tiivistettävä kerrospaksuus (0,3 m) oli hiukan suurempi kuin ohjearvo. Lisäksi osa rakentamiseen käytetystä lentotuhkasta oli liian märkää,

joka näkyi tuhkan sisältämän veden nousemisena pintaan tiivistyksen aikana. Muutoin tuhka vaikutti olevan suunnitelmien mukaista. Virheistä huolimatta tuhkerrosta voidaan pitää onnistuneena, koska sen kantavuus vastaa mitoituskantavuutta ja lisäksi se täyttää suodatinkerrokselle asetetun tiiviyssuhdevaatimuksen.

#### 5.4 Loppupäätelmät

Rakentamisen aikana tehtiin selkeitä virheitä, jotka vaikuttivat rakenteen kantavuuteen. Rakenteen kantavuus olisi ollut parempi, jos se olisi tiivistetty ohjearvoja noudattaen, jolloin myös kaikki tiiviyssuhteiden vaatimukset olisivat täyttyneet. Uskoisin, että tässä tapauksessa huolellinen tiivistystyökään ei olisi riittänyt kantavuusvaatimuksen täyttymiseen, sillä pohjimmainen syy rakenteen huonolle kantavuudelle oli betonimurskeen huonossa laadussa. Yleisesti ottaen rakentamiseen käytettävän materiaalin kelpoisuudesta tulisi aina olla varmuus. Tekninen kelpoisuus määritellään yleisissä ja kohdekohtaisissa laatuvaatimuksissa. Sitomattomaan kantavaan- ja/tai jakavaan kerrokseen käytettävän betonimurskeen tulee lisäksi täyttää *InfraRYL päällys ja pintarakenteet* -julkaisun liitteessä T18 esitetyt vaatimukset. Uusiomateriaalien tulee myös täyttää niiden hyödyntämiseen liittyvät ympäristökelpoisuusvaatimukset.

Koerakenteiden pohjimmainen tarkoitus oli tutustua tuhalla ja betonimurskeella rakentamiseen. Tämä tavoite toteutui, vaikkakin koerakenteet olisi voinut toteuttaa paremmin. Kohde ei kuitenkaan kuvaa tavanomaista uusiomateriaaleilla rakentamista siinä mielessä, että rakennuskohde sijaitsi materiaalitoimittajan alueella ja alueella toimittiin aiemmin haetun ympäristöluvan puitteissa. Tällainen rakentaminen on kuitenkin tyypillistä jätekeskuksilla, jotka luonnollisesti hyödyntävät hallussa pitämäänsä ja rakentamiseen kelpaavia jätteitä omiin rakenteisiinsa. Muissa kohteissa jätteiden hyödyntäminen tapahtuu koekohteita lukuun ottamatta joko valtioneuvoston asetuksen (843/2017) mukaisella ilmoitusmenettelyllä tai rakennuskohteeseen erikseen haettavalla ympäristöluvalla.

## 6 POHDINTA

Energia- ja metsäteollisuuden tuhkamateriaalit ja betonimurskeet ovat oikein käytettynä hyviä materiaaleja korvaamaan luonnosta hankittavia neitseellisiä maarakennusmateriaaleja. Vaikka tuhkat ja betonimurskeet onkin tunnettu maanrakennuskäytössä pitkään, ei niiden hyödyntäminen ole lähtenyt käyntiin sellaisella volyyminä, mitä voisi olettaa. Tuhkat ja betonimurskeet syntyvät usein kasvukeskusten lähetyillä, jossa myös kiviainesten tarve on suurin. Materiaalien kuljetusmatkan ei siis pitäisi olla ongelma.

Käytön vähyyteen yhtenä syynä lienee materiaalien käyttöön vaadittavat luvat. Vaikka uudella MARA-asetuksella onkin helpotettu uusiomateriaalien hyödyntämistä, on niiden hyödyntäminen silti työläämpää kuin perinteinen rakentaminen. Myös urakoitsijoiden aikaisemmat mahdolliset huonot kokemukset materiaaleista voivat haitata materiaalien käyttöä, sillä yhden huonon kokemuksen uusiomateriaalista saatuaan urakoitsija ei välttämättä enää mielellään halua käyttää materiaalia uudelleen. Huonot kokemukset voivat olla syntyneet esimerkiksi materiaalien käyttöön liittyvästä puutteellisesta ohjeistuksesta, tai rakentamiseen käytetyn materiaalin suunniteltua heikommasta laadusta. Jotkin uusiomateriaalit, kuten lentotuhka, ovat myös luonnonmateriaaleja haasteellisempia materiaaleja käyttää. Tämä vähentää myös halukkuutta materiaaleilla rakentamiseen. Jotkut uusiomateriaaleista voivat myös painua voimakkaasti vielä tiivistämisen jälkeenkin, mikä luo ylimääräisen riskin rakentamiseen. Riskejä pitää pystyä jakamaan niin, etteivät ne jää pelkästään urakoitsijan vastuulle.

Opinnäytetyön tavoitteena oli laatia ohje energia- ja metsäteollisuuden tuhkien sekä betonimurskeiden hyödyntämiseen maarakentamisessa. Ohjeen tarkoituksena on lisätä näiden materiaalien hyödyntämistä, joka ainakin ohjeen avulla pitäisi olla helpompaa. Jotta uusiomateriaalien hyötykäyttöä saataisiin todella lisättyä, pitää materiaalin olla rakentamiseen soveltuva ja materiaalin tuottajan laadunvalvonnan olla ehdottomasti kunnossa. Tämä voidaan todeta koerakenteiden tuloksistakin, jossa betonimurskeen huono laatu johti alhaisiin kantavuuksiin. Paras tapa käytön lisäämiseen ovat positiiviset kokemukset uusiomateriaaleista, ja niitä on hankala saada, jos käytettävä materiaali ei ole asianmukaista. Kun käytettävän materiaalin laatu on kunnossa ja käytettävän materiaalin ominaisuudet karakterisoitu, materiaaleilla suunnittelu ja rakentaminen onnistuu. Materiaalien käsitteilyyn ja varastointiin on myös kiinnitettävä huomiota niin, etteivät ne vaikuta materiaalien ominaisuuksiin haitallisesti.

Mikäli energia- ja metsäteollisuuden tuhkamateriaaleja, betonimurskeita tai uusiomateriaaleja ylipäättään halutaan hyödyntää hankkeessa, vaatii se huolellista perehtymistä asiaan. Uusiomateriaaleilla rakentamisesta mahdollisesti koituvat riskit pitää jakaa kaikkien hankkeen osapuolten kesken. Kun materiaalien hyödyntäminen toteutetaan huolella, ei uusiomateriaalien käyttö ole ongelma. Hyödyntämisestä saatavien käyttökokemusten lisääntyessä uusiomateriaalien hyödyntämisestä koituvat riskit osataan jatkossa ottaa paremmin huomioon. Tämä johtaa uusiomateriaalien hyödyntämisen lisääntymiseen tulevaisuudessa. Myös luonnonmateriaalien saatavuuden heikkeneminen ja jäteveron nouseminen ajaa väistämättä uusiomateriaalien hyödyntämisen lisääntymiseen.

Opinnäytetyölle esitetyt tavoitteet täyttyivät, sillä ohje tuhkamateriaalien ja betonimurskeiden hyödyntämiseen valmistui. Alun perin työtapohjeen oli tarkoitus olla valmis vuoden 2018 loppuun mennessä, mutta tähän tavoitteeseen ei päästy. Suurin syy aikataulun pettämiseksi oli työtapohjeen tekemiseen kuluvan ajan arvioiminen väärin. Opinnäytetyön työsuunnitelmassa olin arvioinut ohjeen tekemiseen n. 150h:n työmäärän, mutta todellisuudessa aikaa kului liki kaksi kertaa sen verran. Uusiomateriaalit eivät olleet minulle entuudestaan kovin tuttuja, joten tästä syystä ohjeen tekemiseen kului yllättävän paljon aikaa ja energiaa. Koin myös tekstin tuottamisen vaikeana. Pidän ohjetta kuitenkin onnistuneena, sillä se vastaa sille asetettuihin tavoitteisiin. Opinnäytetyön aikana oli tarkoitus toteuttaa myös laboratoriotutkimuksia Kuopion energian pohja- ja lentotuhilla sekä Jätekukon betonimurskeella, mutta niistä täytyi luopua ajanpuutteen takia. Vaikka näiden kyseisten materiaalien ominaisuuksia onkin selvitetty, materiaalien laatu ei välttämättä pysy samana, joten laboratoriotutkimusten tekeminen on aiheellista. Tutkimusten tekeminen olisi hyvä jatkotutkimusaihe, sillä niistä itsestään riittäisi jo opinnäytetyön aiheeksi.

## LÄHTEET

- AL-ENGINEERING OY. 2015. Käyttöohje; Loadman II; Kannettava pudotuspainolaite muistilla. [viitattu 2019-03-14]. Saatavissa:  
<https://www.al-engineering.fi/downloads/loadman2-k%C3%A4ytt%C3%B6ohje.pdf>
- EC.EUROPA.EU. 2018. Waste Framework Directive. End-of-waste criteria [verkkoaineisto]. [viitattu 2019-03-19]. Saatavissa:  
[http://ec.europa.eu/environment/waste/framework/end\\_of\\_waste.htm](http://ec.europa.eu/environment/waste/framework/end_of_waste.htm)
- ECOLAN.FI. fill-R suunnittelu ja mitoitusohje tie-, katu- ja maarakenteissa. [viitattu 2019-03-22]. Saatavissa:  
[https://www.ecolan.fi/userfiles/image/articles/fill-R\\_ohje.pdf](https://www.ecolan.fi/userfiles/image/articles/fill-R_ohje.pdf)
- FINNCAO OY. 2005. Metsäteollisuuden lentotuhkien käyttö tie-, katu-, ja kenttärakenteissa; Suunnittelu ja mitoitusohje. Jyväskylä.
- HELSINGIN, ESPOON JA VANTAAN KAUPUNKI. 2015. Betonimurskeen hyödyntäminen infrarakentamisessa pääkaupunkiseudulla, ohje. [viitattu 2019-03-25]. Saatavissa:  
<https://www.hel.fi/static/hkr/julkaisut/ohjeet/betonimurske.pdf>
- INFRA 062-710191; Tuhkien käyttö maarakentamisessa. Metsä- ja energiateollisuuden tuhkamateriaalit; © Rakennustietosäätiö RTS 2018.
- JÄTELAKI 2011/646 [verkkoaineisto]. Saatavissa:  
<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20110646>
- JÄÄSKELÄINEN, Raimo. 2009. Geotekniikan perusteet. Tampere: Tammertekniikka / Amk-Kustannus Oy.
- KORPILAHTI, Antti. 2003. Tuhkan esikäsittely metsäkäyttöä varten; Metsätehon raportti 143. Helsinki: Metsäteho Oy. [viitattu 2019-03-22]. Saatavissa:  
[http://metsate1.asiakkaat.sigmatic.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon\\_raportti\\_143.pdf](http://metsate1.asiakkaat.sigmatic.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_raportti_143.pdf)
- LIIKENNEVIRASTO. 2014. Uusiomateriaaliopas; uusiomateriaalien käytön kehittäminen UUMA2-ohjelman väylähankkeilla; LUONNOS 28.2.2014. Helsinki. [viitattu 2019-03-27]. Saatavissa:  
[https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lr\\_2014\\_uusiomateriaaliopas\\_luonnos\\_28.2.2014\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lr_2014_uusiomateriaaliopas_luonnos_28.2.2014_web.pdf)
- LUKE.FI. Biomassa-atlas-biomassat-tuhka [verkkoaineisto]. [viitattu 2019-03-22]. Saatavissa:  
<https://www.luke.fi/biomassa-atlas/biomassojen-kuvaukset/tuhka/>
- PAILAMO, Sami 2018-04-17. Johtava konsultti. [luento]. Kuopio.
- PANK RY. 2002. PANK-9001; Kantavuuden mittausta, Loadman. [viitattu 2019-03-14]. Saatavissa:  
[http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ahUKEwiwg5qymfzgAhVqs4sKHxf-DIoQFjABegQICRAC&url=http%3A%2F%2Fpank.fi%2Ffile%2F414%2F281\\_pank9001.pdf&usq=AOv-Vaw0250q3pB4PrAApYMfB7Azg](http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ahUKEwiwg5qymfzgAhVqs4sKHxf-DIoQFjABegQICRAC&url=http%3A%2F%2Fpank.fi%2Ffile%2F414%2F281_pank9001.pdf&usq=AOv-Vaw0250q3pB4PrAApYMfB7Azg)
- PÖYRY. 2018. Työtapaohje; Jätekuukko Oy Kuopion jätekeskus; Kaasunpuhdistusyksikön perustukset- rakennusurakka.
- RAKENNUSTIETO; InfraRYL; © Rakennustietosäätiö RTS 2017.
- RAMBOLL. 2012. Tuhkarakentamisen käsikirja. [verkkajulkaisu]. Luopioinen. Saatavissa:  
[https://energia.fi/files/1137/tuhkarakentamisen\\_kasikirja.pdf](https://energia.fi/files/1137/tuhkarakentamisen_kasikirja.pdf)
- RUDUS OY. 2017. Betoroc-murske ohje, Käyttöohje rakentamiseen ja suunnitteluun. Helsinki. [viitattu 2019-03-25]. Saatavissa:  
<https://www.rudus.fi/tuotteet/kierratys/betonimurske>
- TIEHALLINTO. 2007. Sivutuotteiden käyttö tierakenteissa. Helsinki.

- TIETEENTERMIPANKKI.FI. 2014. Ympäristötieteet: uusiomateriaali [verkkoaineisto]. [viitattu 2019-03-18]. Saatavissa:  
<http://tieteentermipankki.fi/wiki/Ymp%C3%A4rist%C3%B6tieteet:uusiomateriaali>
- TUUNAINEN, Juha 2019-04-17. Kantavuusmittauksissa käytetty kevytpudotuspainolaite Loadman II [digikuva]. Sijainti: Kuopio: Tekijän sähköiset kokoelmat.
- TUUNAINEN, Juha 2019-03-08. Koerakenteiden rakenneleikkaukset [kuvakaappaus]. Sijainti: Kuopio: Tekijän sähköiset kokoelmat.
- TUUNAINEN, Juha 2019-03-08. Rakenneleikkaus huoltopihan rakennekerroksista [kuvakaappaus]. Sijainti: Kuopio: Tekijän sähköiset kokoelmat.
- TUUNAINEN, Juha 2018-11-14. 3. koerakenteen lentotuhkerakos tiivistettynä [digikuva]. Sijainti: Kuopio: Tekijän sähköiset kokoelmat.
- UUSIOMAARAKENTAMINEN.FI. 2018a. Kymmenien miljoonien säästöt saavutettavissa uusiomateriaaleja maarakentamisessa hyödyntämällä [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-10-14]. Saatavissa:  
<http://www.uusiomaarakentaminen.fi/kymmenien-miljoonien-s%C3%A4%C3%A4st%C3%B6t-saavutettavissa-uusiomateriaaleja-maarakentamisessa-hy%C3%B6dynt%C3%A4m%C3%A4ll%C3%A4>
- UUSIOMAARAKENTAMINEN.FI. 2018b. Uuma-käsikirjasto – Johdanto [verkkoaineisto]. [viitattu 2019-03-18]. Saatavissa:  
<http://www.uusiomaarakentaminen.fi/johdanto-0>
- UUSIOMAARAKENTAMINEN.FI. 2018c. Uuma-käsikirjasto - Ympäristö ja lupaprosessi [verkkoaineisto]. [viitattu 2019-03-18]. Saatavissa:  
<http://www.uusiomaarakentaminen.fi/ymp%C3%A4rist%C3%B6-ja-lupaprosessi-0#Kirjallisuus>
- UUSIOMAARAKENTAMINEN.FI. 2018d. Uuma-käsikirjasto – Tuotteistaminen [verkkoaineisto]. [viitattu 2019-03-19]. Saatavissa:  
<http://www.uusiomaarakentaminen.fi/tuotteistaminen>
- VAKKURI, Riikka. 2011. Purkubetoni hyödynnetään, mutta vielä yksipuolisesti. Betoni 2/2011. [viitattu 2019-03-20]. Saatavissa:  
<https://betoni.com/betonilehti/22011/>
- YM.FI. 2018. Ympäristö – Lainsäädäntö ja ohjeet – Ympäristönsuojelun valmisteilla oleva lainsäädäntö [verkkoaineisto]. [viitattu 2019-03-19]. Saatavissa:  
[https://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Ymparistonsuojelun\\_valmisteilla\\_oleva\\_lainsaadanto/Jatteiden\\_hyodyntaminen\\_maarakentamisessa](https://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Ymparistonsuojelun_valmisteilla_oleva_lainsaadanto/Jatteiden_hyodyntaminen_maarakentamisessa)
- YMPÄRISTÖMINISTERIÖ. 2018. Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa. Soveltamisohje (luonnos 1.3.2018).
- YMPÄRISTÖNSUOJELULAKI 2014/527 [verkkoaineisto]. Saatavissa:  
<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140527>

## LIITE 1 KOOSTE KANTAVUUSMITTAUKSISTA

1. Koerakenteen mittaustulokset				2. Koerakenteen mittaustulokset				3. Koerakenteen mittaustulokset															
Tuhkakerros	1. Piste		2. Piste		3. Piste		Tuhkakerros	1. Piste		2. Piste		3. Piste											
	E (MPa)	s (mm)	E (MPa)	s (mm)	E (MPa)	s (mm)		E (MPa)	s (mm)	E (MPa)	s (mm)	E (MPa)	s (mm)										
Mittauskerta	1	42	3,83	38	4,16	31	5,08	1	30	5,35	35	4,51	39	4,11	1	32	5,01	34	4,76	29	5,45		
	2	51	3,12	45	3,56	38	4,17	2	45	3,56	45	3,55	50	3,23	2	41	3,91	41	3,89	41	3,88		
	3	53	3,04	45	3,52	40	3,98	3	48	3,32	46	3,49	51	3,12	3	43	3,71			40	4,02		
	4	53	3,01	44	3,6	40	4,05	4	49	3,29	46	3,46	52	3,08	4	44	3,66			44	3,64		
	5	53	3,01	46	3,51	40	3,98	5	48	3,32	46	3,48	52	3,06	5	45	3,59						
	6	53	3,01	46	3,49			6	49	3,24	47	3,41	53	3,03	6	45	3,54						
	7							7	50	3,21	47	3,42	55	2,93	7	41	3,92						
	8							8			47	3,41	54	2,95	8	37	4,27						
	9							9					55	2,92	9								
	10							10					55	2,91	10								
	11							11							11								
Tiivisyysuhde Emax/E1		1,26		1,21		1,21		Tiivisyysuhde Emax/E1		1,67		1,34		1,41		Tiivisyysuhde Emax/E1		1,41		1,21		1,52	
Betonimurskekerros	1. Piste		2. Piste		3. Piste		Betonimurskekerros		1. Piste		2. Piste		3. Piste		Betonimurskekerros		1. Piste		2. Piste		3. Piste		
Mittauskerta	E (MPa)	s (mm)	E (MPa)	s (mm)	E (MPa)	s (mm)	E (MPa)	s (mm)	E (MPa)	s (mm)	E (MPa)	s (mm)	E (MPa)	s (mm)	E (MPa)	s (mm)	E (MPa)	s (mm)	E (MPa)	s (mm)	E (MPa)	s (mm)	
1	68	2,37	68	2,37			1	80	2,01	59	2,72	74	2,15	1	87	1,84	57					72	2,23
2	97	1,65	97	1,65			2	89	1,8	83	1,92	92	1,74	2	106	1,51	68	2,37				86	1,86
3	95	1,69	101	1,58			3	100	1,6	89	1,8	98	1,64	3	96	1,66	90	1,77				93	1,72
4							4	101	1,58	94	1,71	99	1,61	4	112	1,43	105	1,52				97	1,65
5							5	111	1,44					5			108	1,48				95	1,68
6							6	111	1,44					6			110	1,45				101	1,59
7							7	112	1,43					7			110	1,45				100	1,6
8							8	113	1,41					8			121	1,32				102	1,57
9							9	112	1,43					9			118	1,36				99	1,61
10							10	113	1,41					10									
11							11							11									
Tiivisyysuhde Emax/E1		1,43		1,49				Tiivisyysuhde Emax/E1		1,41		1,59		1,34		Tiivisyysuhde Emax/E1		1,29		2,12			1,42
Asfalttimurskekerros	1. Piste		2. Piste		3. Piste		Asfalttimurskekerros		1. Piste		2. Piste		3. Piste		Asfalttimurskekerros		1. Piste		2. Piste		3. Piste		
Mittauskerta	E (MPa)	s (mm)	E (MPa)	s (mm)	E (MPa)	s (mm)	E (MPa)	s (mm)	E (MPa)	s (mm)	E (MPa)	s (mm)	E (MPa)	s (mm)	E (MPa)	s (mm)	E (MPa)	s (mm)	E (MPa)	s (mm)	E (MPa)	s (mm)	
1			81	1,98	56	2,87	1	80	2,01	66	2,44	85	1,89	1	70	2,3	52	3,1				66	2,41
2			115	1,39	94	1,7	2	101	1,58	90	1,78	107	1,5	2	107	1,5	79	2,03				88	1,81
3			139	1,15	107	1,49	3	116	1,38	89	1,79	122	1,31	3	124	1,29	99	1,62					
4			148	1,08	113	1,41	4	114	1,4	84	1,9	132	1,21	4	117	1,37	101	1,59					
5			150	1,07	117	1,37	5					139	1,15	5									
6			154	1,04	119	1,34	6					139	1,15	6									
7			160	1,00	124	1,29	7							7									
8			160	1,00	126	1,27	8							8									
9			162	0,99	127	1,26	9							9									
10			165	0,97	128	1,25	10							10									
11			160	1,00			11							11									
Tiivisyysuhde Emax/E1			2,04		2,29			Tiivisyysuhde Emax/E1		1,45		1,36		1,64		Tiivisyysuhde Emax/E1		1,77		1,94			1,33

## LIITE 2 LOADMAN-TULOSTEN VERTAILU TIIVIYSPROSENTTIIN

Loadmanilla mitattu tiivistyssuhde		Tiiviysprosentti
Pohjalevy 132	300 mm	
2.8	1.9	92
2.5	1.7	95
2.2	1.6	97
1.0	1.0	100

Lähde:

AL-ENGINEERING OY. 2015. Käyttöohje; Loadman II; Kannettava pudotuspainolaite muistilla, s.17.  
[viitattu 2019-03-14].

Saatavissa: <https://www.al-engineering.fi/downloads/loadman2-k%C3%A4ytt%C3%B6ohje.pdf>