

Jani Saranen

KAATOPAIKAN PINTARAKENTEEN MATERIAALIVAIHTOEHDOT

Rakennetun ympäristön tiedekunta
Diplomityö
Toukokuu 2019

TIIVISTELMÄ

Jani Saranen: Kaatopaikan pintarakenteen materiaalivaihtoehdot
Diplomityö, 136 sivua, 1 liitesivu
Tampereen yliopisto
Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Toukokuu 2019

Jätehierarkian periaatteiden mukaisesti Suomessakin on siirrytty kaatopaikkasijoittamisesta hyödyntämään jätteitä energiantuotannossa ja kierrättämään materiaaleja tehokkaammin. Suomessa on tuhansia kaatopaikkoja, joista suurin osa on suljettu. Nykylainsäädännön mukaisia kaatopaikkoja Suomessa on käytössä noin 50.

Kaatopaikkatoiminta on Suomessa hyvin säännösteltyä ja valvottua toimintaa. Kaatopaikkarakentamista ja -suunnittelua ohjaavat Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista 331/2013, ympäristöhallinnon ohjeet sekä InfraRYL 2018 luvut 14250 ja 14258 ja ohjekortti Infra 15-710194. Kun kaatopaikka suljetaan, jätetäytön päälle on rakennettava Valtioneuvoston asetuksen 331/2013 mukainen pintarakenne. Pintarakenteen tehtävänä on estää sadevesien suotautumista jätetäytön sekaan ja siten vähentää suotovesien muodostumista. Pintarakenteen toisena tehtävänä on tehostaa kaatopaikkakaasujen keräystä. Tavanomaisen jätteen kaatopaikan pintarakenne koostuu yleensä seuraavista kerroksista lueteltuna alhaalta ylöspäin: esipeittokerros, kaasunkeräyskerros, mineraalinen tiivistyskerros, kuivatuskerros, pintakerros ja sen ylin osa kasvukerros.

Työ koostuu kahdesta tutkimusosiesta, kirjallisuustutkimuksesta ja kyselytutkimuksesta. Kirjallisuustutkimuksen tavoitteena oli selvittää, millaisia kuormituksia kaatopaikan pintarakenteisiin kohdistuu sekä miten eri materiaalit soveltuvat käytettäväksi kaatopaikan pintarakenteessa ominaisuuksiensa ja rakennettavuutensa puolesta. Työssä keskitytään jätteiksi luokiteltuihin maarakennusmateriaaleihin. Kirjallisuustutkimuksessa pohdittiin lisäksi, mistä kaatopaikan pintarakenteen rakentamisen kustannukset muodostuvat ja miten niihin voidaan vaikuttaa.

Kyselytutkimuksen tavoitteena oli selvittää, mitä eri materiaaleja jätehuoltoyritykset ovat käyttäneet kaatopaikan pintarakenteen rakentamisessa ja millä perusteella kaatopaikan pintarakenteissa käytetyt materiaalit on valittu käytettäväksi. Yhtenä tavoitteena kyselyssä oli selvittää pintarakenteissa käytettyjen materiaalien rakennettavuutta sekä materiaalien käyttämisessä mahdollisesti ilmenneitä ongelmia ja haasteita. Kysely kohdistettiin kaatopaikan pitäjille eli jätehuoltoyrityksille.

Kaatopaikan pintarakenteisiin on saatavilla paljon eri materiaaleja. Käytetyillä materiaaleilla on suuri vaikutus kaatopaikan pintarakenteen rakennuskustannusten muodostumiseen. Materiaalin hankintahinnan lisäksi kustannuksia syntyy materiaalin jalostamisesta, kelpoisuuden osoittamisesta ja laadunvarmistuksesta sekä hyväksyttämistä ja kuljetuksista. Käytetty materiaali vaikuttaa suoraan myös rakentamiseen ja sen aiheuttamiin kustannuksiin. Esimerkiksi bentoniittimatolla saadaan valmista rakennetta tuhansia neliöitä yhden työvuoron aikana, kun vastaavasti esimerkiksi kuitusavirakenteen tiivistäminen on huomattavasti hitaampaa. Kaatopaikan pintarakenteen kokonaiskustannuksiin vaikuttavat käytettyjen materiaalien lisäksi suunnittelu, rakentaminen sekä pintarakenteen elinkaaren aikainen jälkihoito ja korjaustarpeet. Massojen suunnitelmallisella hankinnalla kaatopaikalle tuotavista jätteiksi luokitelluista materiaaleista mahdollistetaan merkittävät kustannussäästöt pintarakenteen rakennuskustannuksissa. Kyselytutkimukseen vastanneista jätehuoltoyrityksistä kaikki käyttivät kaatopaikalle jätteiksi tuotavia materiaaleja kaatopaikan pintarakenteen materiaaleina joko suoraan sellaisenaan tai jalostettuina. Vastaajien mukaan mineraaliseen tiivistyskerrokseen on hankala löytää soveltuvaa materiaalia.

Jos ympäristöluvassa ei ole esitetty aikamäärettä pintarakenteiden valmiiksi saattamisesta, pintarakennetta ei kannata rakentaa ennen kuin rakenteissa käytettävät massat ovat saatavilla. Pintarakenteissa käytettyjä materiaaleja voidaan tapauskohtaisesti kerätä vuosia tai jopa kymmeniä vuosia. Suunnitelmallisella massojen hallinnalla voidaan säästää merkittäviä kustannuksia monessa eri muodossa kaatopaikkatoiminnassa.

Avainsanat: Kaatopaikka, pintarakenne, materiaalitehokkuus

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Jani Saranen: Material options for landfill cappings
Master of Science Thesis, 136 pages, 1 Appendix pages
Tampere University
Master's Degree Programme in Civil Engineering
May 2019

In accordance with the principles of the waste hierarchy, also Finland has moved from landfilling to recycling of materials and promoting energy production through waste incineration. There are thousands of landfills in Finland of which most are closed. At present, there are about 50 active landfills, which are under current legislation. Landfill activities are well controlled in Finland. Landfill construction and planning is guided by Government Decree 331/2013 on Landfill, environmental management instructions and national guidelines published in InfraRYL. -General Quality Specification for Infrastructure in 2018. When a landfill is closed, a landfill capping must be built on the waste fill. The landfill capping must follow the requirements of Government Decree 331/2013. The aim of the landfill capping is to prevent seeping of the rainwater into the waste filling and thus reduce the formation of leachate. Another important aim is to improve the collection and recovery of landfill gases. The landfill capping of conventional landfills consists of the following structural layers listed from the bottom to top: foundation layer, gas drainage layer, mineral liner, drainage layer, surface layer and vegetation layer.

This research consists of two sections, a literary research and a survey. The aim of the literature research is to find out what kind of different materials can be used for landfill capping and how the properties of the materials effect the construction of the landfill capping. The research focuses on alternative materials classified as waste. In literature research, the formation of the costs of building a landfill capping affecting factors are considered. The aim of the survey is to find out what different materials the waste management companies have used for the construction of the landfill capping and on what basis the materials are chosen. In addition, one aim of the survey was to investigate the construction of materials used in capping and the problems and challenges encountered. The survey was targeted for landfill operators.

There are many different materials available for landfill capping structures. The materials used have a major impact on the construction costs of the landfill capping. Material costs are originated from price of the material, cost of material processing, checking proof of eligibility and quality assurance as well as acceptance and transportation costs. Used materials have a direct impact on construction timetable and process. For example, thousands of square meters of geosynthetic clay liner can be installed during a single shift whereas, for example, the production pace of fiber-clay structure is only a fraction of this. In addition, the total cost of landfill capping is influenced by design, construction and after-care and repair needs during the life cycle of landfill capping. Significant cost savings can be achieved by preplanning the acquiring of the masses. Every waste management company that responded to the survey answered that they use materials classified as waste in landfill capping, either as they arrive or after processing. According to the respondents, it is difficult to find a suitable alternative material for the mineral sealing layer.

If there is no time limit for completing surface cover structures in the environmental permit it is not advisable to build the landfill capping before the masses used in the structures are available. Materials used in structures can be collected over years or even decades. A systematic mass management can make significant savings in landfill operations.

Keywords: Landfill, landfill capping, material efficiency

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty opinnäytteenä osana rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkintoa Tampereen yliopistossa. Ennen kaikkea haluan kiittää Marko Tuomolaa Jokioisten Maanrakennus Oy:stä diplomityöpaikan järjestämisestä ja Mika Helkearoa, jonka ansiosta diplomityön tekeminen oli mahdollista. Iso kiitos Minna Leppäselle asiantuntevasta ja aktiivisesta ohjauksesta diplomityön ja muun opiskelun aikana.

Tampereella, 7.5.2019

Jani Saranen

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
1.1	Tutkimuksen tausta	1
1.2	Tutkimuksen tavoitteet ja rajaus	1
1.3	Tutkimuksen toteutustapa	2
1.4	Tilaaaja.....	2
2.	KAATOPAIKAN PINTARAKENTEEN SUUNNITTELU	4
2.1	Lainsäädännön vaatimukset	4
2.1.1	Jäteluokka ja pintarakenteen vaatimukset.....	4
2.1.2	Ympäristölupa	5
2.1.3	Kaatopaikkakelpoisuus	7
2.1.4	Hyötykäyttökelpoisuus.....	10
2.1.5	Jälkihoito ja tarkkailu.....	11
2.2	Pintarakenteisiin kohdistuvat kuormitukset	11
2.2.1	Fysikaaliset kuormitukset	11
2.2.2	Kemialliset kuormitukset	12
2.2.3	Biologiset kuormitukset	12
2.2.4	Ilmastolliset kuormitukset.....	13
2.2.5	Jälkikäytön asettamat vaatimukset.....	13
2.3	Pintarakenteen mitoitustarkastelut	14
2.3.1	Vesitase	14
2.3.2	Stabiliteetti	16
2.3.3	Muodonmuutoskestävyys.....	18
2.3.4	Routa	19
2.4	Pitkäaikaiskestävyys.....	21
2.5	Rakenneosien tehtävät ja vaatimukset.....	21
2.5.1	Väliaikainen peitto	22
2.5.2	Esipeitto- ja muotoilukerros.....	23
2.5.3	Kaasunkeräyskerros	23
2.5.4	Mineraalinen tiivistyskerros.....	24
2.5.5	Keinotekoinen eriste	26
2.5.6	Kuivatuskerros	29
2.5.7	Pintakerros	30
2.5.8	Kasvukerros	31
3.	KAATOPAIKAN PINTARAKENTEEN RAKENTAMISEN ERITYISPIIRTEITÄ 32	
3.1	Hankkeen osapuolet	32
3.2	Jätetäytön muotoilu	33
3.3	Jätetäyttö rakennusalueena	34
3.4	Työturvallisuus.....	35
3.5	Sään vaikutus rakentamiseen	37

3.6	Laadunvarmistus	38
3.6.1	Laadunvalvonnan osapuolet ja suunnittelu	38
3.6.2	Mineraalisen tiivistyskerroksen laadunvarmennus	39
3.6.3	Geosynteettisten tiivistysrakenteiden laadunvarmennus	46
3.6.4	Muiden materiaalien ja rakennekerrosten laadunvarmistus.....	53
4.	KAATOPAIKAN PINTARAKENTEEN RAKENNUSKUSTANNUSTEN MUODOSTUMINEN	54
4.1	Jätevero.....	54
4.2	Suunnitelmallisuus kaatopaikan pintarakenteen kokonaiskustannusten muodostumisessa	54
4.3	Materiaalikustannus	56
4.3.1	Hankintahinta ja jalostaminen.....	56
4.3.2	Kelpoisuuden osoittaminen ja laadunvarmistus.....	57
4.3.3	Hyväksyttäminen	57
4.3.4	Kuljetus	58
4.4	Suunnittelu	58
4.5	Rakentaminen.....	60
4.5.1	Aikataulu	60
4.5.2	Materiaalin valinta	60
4.5.3	Työturvallisuus.....	61
4.5.4	Erikoiskaluston tarve.....	61
4.6	Pintarakenteen linkaari	62
5.	MATERIAALIVAIHTOEHDOT	64
5.1	Pilaantuneet maat	64
5.1.1	Materiaalin kuvaus	64
5.1.2	Ominaisuudet	65
5.1.3	Rakennettavuus	66
5.1.4	Ominaisuuksien pysyvyys.....	67
5.2	Vahtolasi.....	67
5.2.1	Materiaalin kuvaus	67
5.2.2	Ominaisuudet	68
5.2.3	Rakennettavuus	69
5.2.4	Ominaisuuksien pysyvyys.....	70
5.3	Rengasleike	70
5.3.1	Materiaalin kuvaus	70
5.3.2	Ominaisuudet	71
5.3.3	Rakennettavuus	73
5.3.4	Ominaisuuksien pysyvyys.....	74
5.4	Kompostoidut tuotteet	74
5.4.1	Materiaalin kuvaus	74
5.4.2	Ominaisuudet	75
5.4.3	Rakennettavuus	75

5.4.4	Ominaisuuksien pysyvyys.....	76
5.5	Betonimurske	76
5.5.1	Materiaalin kuvaus.....	76
5.5.2	Ominaisuudet	76
5.5.3	Rakennettavuus	78
5.5.4	Ominaisuuksien pysyvyys.....	79
5.6	Rakennus- ja purkujätteen rejektit.....	79
5.6.1	Materiaalin kuvaus.....	79
5.6.2	Ominaisuudet	80
5.6.3	Rakennettavuus	81
5.6.4	Ominaisuuksien pysyvyys.....	81
5.7	Kuitusavi	81
5.7.1	Materiaalin kuvaus.....	81
5.7.2	Ominaisuudet	83
5.7.3	Rakennettavuus	85
5.7.4	Ominaisuuksien pysyvyys.....	87
5.8	Salaojamatot.....	87
5.8.1	Materiaalin kuvaus.....	87
5.8.2	Ominaisuudet	87
5.8.3	Rakennettavuus	89
5.8.4	Ominaisuuksien pysyvyys.....	89
5.9	Bentoniittimatot.....	90
5.9.1	Materiaalin kuvaus.....	90
5.9.2	Ominaisuudet	90
5.9.3	Rakennettavuus	92
5.9.4	Ominaisuuksien pysyvyys.....	94
5.10	Energiantuotannon tuhkat	95
5.10.1	Materiaalin kuvaus.....	95
5.10.2	Ominaisuudet	95
5.10.3	Rakennettavuus	98
5.10.4	Ominaisuuksien pysyvyys.....	99
5.11	Jätteenpolton pohjakuona.....	99
5.11.1	Materiaalin kuvaus.....	99
5.11.2	Ominaisuudet	99
5.11.3	Rakennettavuus	104
5.11.4	Ominaisuuksien pysyvyys.....	104
5.12	Maabentoniitti	105
5.12.1	Materiaalin kuvaus.....	105
5.12.2	Ominaisuudet	105
5.12.3	Rakennettavuus	107
5.12.4	Ominaisuuksien pysyvyys.....	108
6.	KYSELYTUTKIMUS	109

6.1	Tutkimusmenetelmän valinta ja tavoite	109
6.2	Kyselytutkimuksen toteutus	109
6.3	Tutkimustulokset.....	109
6.3.1	Pintarakenteissa käytetyt materiaalit.....	110
6.3.2	Materiaalien hyväksyttäminen ja pintarakenteiden toteuttaminen 119	
6.3.3	Työturvallisuus kaatopaikkarakentamisessa	123
6.4	Tulosten arviointi ja yhteenveto	125
7.	CASE: KIIMASSUON JÄTTEENKÄSITTELYLAITOS	127
7.1	Alueella toteutetut kaatopaikan pintarakenteet	127
7.2	Lupatilanne.....	129
7.3	Materiaalien saatavuus ja käsittelyn tarve.....	130
8.	YHTEENVETO	134
	STANDARDIT	137
	LÄHTEET	143

Liite 1: Kyselytutkimuksen kysymykset

LYHENTEET JA KÄSITTEET

- Alempi ohjearvo** Haitta-aineen pitoisuustaso, jonka ylittyessä maaperää voidaan pitää pilaantuneena muulla kuin teollisuus-, varasto- tai liikennealueena taikka muuna vastaavana alueena, esimerkiksi asuinalueella (VNa 214/2007, 4 §)
- Bentoniitti** Bentoniitti on luonnon savea, jossa on paljon paisuvahilaista montmorilloniittia, jolla on suuri ioninvaihtokapasiteetti ja joka pystyy absorboimaan moninkertaisen määrän vettä tilavuuteensa nähden ja paisuessaan täyttää huokostilan muodostaen huonosti vettä läpäisevän rakenteen.
- Geomembraani** Tiivistyskalvo; ohut synteettinen vettä ja kaasuja läpäisemätön tuote.
- Haitallisia aineita sisältävä maa-ainesjäte**
 MASA-asetusluonnoksessa määritelty maa-ainesjäte, joka sisältää haitta-aineita yli MASA-asetusluonnoksen kynnysarvon, mutta alle MASA-asetuksen raja-arvon (YM 2018)
- Helsinki-moreeni** Rakennusjätettä sisältävä maa.
- Hydraulinen gradientti**
 Kahden pisteen välinen veden pintojen korkeuseron aiheuttama paine-ero.
- Kaatopaikan jälkihoito**
 Kaatopaikan jälkihoidolla tarkoitetaan käytöstä poistettavan tai käytöstä poistetun kaatopaikan ympäristövaikutusten seuraamiseksi tai torjumiseksi toteutettavia toimia. (VNa 331/2013, 3 §)
- Kaatopaikan pitäjä**
 Kaatopaikan pitäjällä tarkoitetaan kulloinkin kaatopaikasta vastuussa olevaa luonnollista henkilöä tai oikeushenkilö. (VNa 331/2013, 3 §)
- Kaatopaikan sulkeminen**
 Jätteiden vastaanoton tilapäisestä tai pysyvästä lopettamisesta käytetään nimitystä sulkeminen.
- Kaatopaikkakaasu** Kaatopaikalle sijoitetusta jätteestä syntyvästä kaasusta käytetään nimitystä kaatopaikkakaasu. (VNa 331/2013, 3 §)

Pilaantunut maa-aines

Kaivettu maa-aines, jonka yhden tai useamman haitallisen aineen pitoisuus ylittää PIMA-asetuksessa 214/2007 säädetyn alemman ohjearvon tai joka on pilaantunut muulla esim. hajuhaitan perusteella. Pilaantuneella maa-aineksella ei tarkoiteta muita jätejakeita, jotka ovat erillisinä kerroksina tai jakeina maaperässä (YM 2007)

Riippumaton laadunvalvoja

Kaatopaikkahankkeen rakennustöiden ympäristöviranomaisen hyväksymä laadunvalvoja, jonka asiantuntemus on tunnustettu. Sopimussuhteessa rakennuttajaan.

Rejekti

Teollisen prosessin hyödytön sivutuote.

Ylempi ohjearvo

Haitta-aineen pitoisuustaso, jonka ylittyessä maaperää voidaan pitää pilaantuneena teollisuus-, varasto- tai liikennealueella taikka muualla vastaavalla alueella. (VNa 214/2007, 4 §)

Ympäristökelpoisuus

Ympäristökelpoisuudella tarkoitetaan, että materiaalin käytöstä ei aiheudu vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle.

ANC

eng. Acid Neutralizing Capacity, haponneutralointikapasiteetti, joka kuvaa materiaalin kykyä vastustaa pH:n eli happamuuden muutosta

ASTM

eng. American Society for Testing and Materials on amerikkalainen standardisoimisjärjestö

BTEX

eng. Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene; yhteisnimitys haihtuville bentseeni-, tolueeni-, etyylibentseeni- ja ksyleeniyhdisteille, joita on esimerkiksi bensiinissä

DOC

eng. Dissolved Organic Carbon; liuenneen orgaanisen hiilen määrä

EPDM

eng. Ethylene Propylene Diene Monomer Rubber; eteeni-, propeenin-, dieenimonomeerikumi

fPP

eng. Flexible polypropylene; joustava polypropeeni

HDPE

eng. High-density polyethylene; korkeatiheyksinen polyeteeni

LLDPE

eng. Linear low-density polyethylene, lineaarinen matalatiheyksinen polyeteeni

LOI	<i>eng. Loss of Ignition</i> , hehkutushäviö on osuus, joka näytteestä häviää, kun sitä hehkutetaan eli poltetaan.
PAH	<i>eng. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons</i> , polysykliset aromaattiset hiilivedyt, jotka sisältävät yhden tai useamman aromaattisen renkaan
PCB	<i>eng. PolyChlorinated Biphenyl</i> , polyklooratut bifenyylit, jotka koostuvat kahdesta aromaattisesta renkaasta ja 2-10 klooriatomista
PIMA	Pilaantunut maa
TDS	Liuenneiden aineiden kokonaismäärä
TOC	<i>eng. Total Organic Carbon</i> ; orgaanisen hiilen kokonaispitoisuus
VNa 221/2007	Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista, ns. pima-asetus.
VNa 331/2013	Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista
VNp	Valtioneuvoston päätös
VOC	<i>eng. Volatile organic compounds</i> ; haihtuvat orgaaniset yhdisteet

1. JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta

Jokainen kaatopaikka tai kaatopaikan osa suljetaan jossain vaiheessa elinkaarta. Kaatopaikan sulkemiseen voi olla useita syitä, kuten ympäristölle tai ihmisille aiheutuvien riskien vähentäminen, poliittiset syyt vähentää kaatopaikkojen määrää tai kaatopaikan jäte-tilavuuden tai lupaehdoissa määrätyn täyttökorkeuden täyttyminen. Kun kaatopaikka suljetaan, jätetäytön päälle on rakennettava Valtioneuvoston asetuksen 331/2013 mukainen pintarakenne. Pintarakenteella estetään sadevesien pääsy jätetäytön sekaan ja siten suo- tovesien muodostuminen. Pintarakenteen tehtävänä on myös tehostaa kaatopaikkakaasu- jen keräystä. (SYKE 2002, s. 58-59)

Kaatopaikkatoiminta on Suomessa nykyisin hyvin säännösteltyä ja valvottua toimintaa. Kaatopaikkarakentamista ja -suunnittelua ohjaavat lainsäädännön lisäksi ympäristöhal- linnon ohjeet, lupakäytännöt sekä Infraohjekortti Infra 15-710194 ja InfraRYL 2018 luku 14252. Suomessa on tuhansia kaatopaikkoja, joista suurin osa on poistettu käytöstä. Tällä hetkellä käytössä on noin 50 nykyisen lainsäädännön mukaista kaatopaikkaa. Jätehierar- kian periaatteiden mukaisesti Suomessakin on siirrytty kaatopaikkasijoittamisesta edistä- mään voimakkaasti kierrätystä ja jätteet ohjataan hyödynnettäväksi energiantuotantoon jätteenpolttolaitoksille.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaus

Kaatopaikan pintarakenteissa on mahdollista hyödyntää perinteisten maarakennusmate- riaalien lisäksi vaihtoehtoisia, jätteiksi luokiteltuja maarakennusmateriaaleja. Kaatopai- kan pintarakenteeseen on tarjolla paljon eri materiaalivaihtoehtoja. Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää mitä materiaaleja kaatopaikan pintarakenteisiin on teknisesti mah- dollista käyttää. Tutkimuksessa vertaillaan vaihtoehtoisia rakennusmateriaaleja, arvioi- daan niiden soveltuvuutta pintarakenteen eri rakennekerroksiin sekä selvitetään materi- aalien saatavuus, hinta ja rakennettavuus. Tutkimuksessa pyritään vastaamaan kysymyk- seen: ”*Millainen on kustannustehokas kaatopaikan pintarakenne?*”. Kaatopaikan pinta- rakenteiden tekeminen soveltuvista jäte- tai uusiomateriaaleista tai teollisuuden sivutuot- teista tukee myös kestävästä kehitystä, säästää neitseellisiä kiviaineksia ja vähentää kaato- paikoille sijoitettavan jätteen määrää.

1.3 Tutkimuksen toteutustapa

Tämä diplomityö tehdään Loimi-Hämeen Jätehuolto Oy:lle suunnittelun ohjauksen tueksi helpottamaan pintarakenteessa käytettävien materiaalien valintaa. Tutkimusta voidaan soveltaa ja hyödyntää kaikilla suljettavilla kaatopaikoilla. Täytyy kuitenkin muistaa, että jokainen kaatopaikka on ainutlaatuinen ja materiaalien soveltuvuutta täytyy aina arvioida tapauskohtaisesti.

Kirjallisuuden perusteella selvitetään kaatopaikan pintarakenteiden suunnitteluun vaikuttavia tekijöitä sekä niiltä edellytettäviä ominaisuuksia. Lisäksi kuvataan, mitä vaatimuksia lainsäädäntö asettaa kaatopaikan pintarakenteelle.

Varsinaisessa tutkimusosiossa kartoitetaan vaihtoehtoisia kaatopaikan pintarakenteeseen soveltuvia materiaaleja. Kelpoisuuden arvioimisessa käytetään hyväksi teoriaosuudessa selvitettyjä eri rakennekerroksilta vaadittavia ominaisuuksia. Tärkeimpänä näkökulmana tutkimuksessa on kustannustehokkuus. Materiaalien rakennettavuutta pyritään arvioimaan tekemällä päätelmiä kirjallisuudessa esitettyjen materiaaliominaisuuksien sekä kyselytutkimuksella kerättävän aineiston perusteella.

Kohteena tarkastellaan Kiimassuon jätteenkäsittelylaitosta, joka sijaitsee Kanta-Hämeen maakunnassa Forssan kaupungissa. Kaatopaikkarakenteissa tarvittavien massojen menekki on suuri. Iso osa kustannuksista muodostuu tarvittavien materiaalien kuljetuksista, joten kaatopaikan pintarakenteessa tarvittavien materiaalien tarkastelu on rajattu 150 kilometrin säteelle Kiimassuon jätteenkäsittelylaitoksesta, geosynteettisiä tuotteita lukuunottamatta. Muita pintarakenteen rakentamiskustannuksiin vaikuttavia tekijöitä ovat materiaalin hankintahinta, hyväksyttämisen prosessin edellyttämät toimenpiteet ja materiaalin jalostamistarve rakenteeseen soveltuvaksi. Elinkaaritarkastelu on tärkeätä tehdä arvioitaessa kaatopaikan pintarakenteen kustannuksia. Pintarakenteen jatkuva huoltaminen ja korjaaminen aiheuttavat kustannuksia pitkällä ajanjaksolla.

1.4 Tilaaja

Tämän diplomityön on tilannut Loimi-Hämeen Jätehuolto Oy. Loimi-Hämeen Jätehuolto Oy on kuntien ja kaupunkien omistama yhtiö. Loimi-Hämeen Jätehuolto Oy:n yhteyteen on kasvanut kuuden yrityksen muodostama konserni, LHJ Group.



Kuva 1. Kiimassuon jätekeskuksen toimialue (Loimi-Hämeen Jätehuolto Oy 2017)

Kiimassuon jätteenkäsittelylaitoksella toimivaan LHJ Group konserniin kuuluu Loimi-Hämeen Jätehuolto Oy:n lisäksi Suomen Elektroniikkakäsittely Oy, Suomen Erityisjäte Oy, Suomen Tietoturva Oy, Suomen Materiaalikierrätys Oy ja Cool Finland Oy. Loimi-Hämeen Jätehuolto tarjoaa yhdessä tytäryhtiöiden kanssa jätteiden vastaanottoa, käsittelyä ja hyödyntämistä, sekä erilliskeräyspalveluita, joita ovat kierrätyspisteiden ylläpito ja vaarallisen jätteen keräys ja vastaanotto.

2. KAATOPAIKAN PINTARAKENTEEN SUUNNITTELU

Pintarakenteen tehtävänä on estää sade- ja pintavesien imeytyminen jätetäyttöön sekä tehostaa jätetäytöstä muodostuvien kaatopaikkakaasujen keräystä. Sade- ja pintavesien imeytymisestä jätetäyttöön aiheutuu haitta-aineita sisältäviä suotovesiä, jotka voivat aiheuttaa ympäristön pilaantumisriskin. Suotovedet tulee kerätä ja käsitellä. Oikein suunniteltu ja toteutettu pintarakenne vähentää kaatopaikan haju-, pöly, lintu- ja maisemahaittoja. Kaatopaikan pintarakenteen on kestävä kaatopaikan jätetäytön epätasainen painuminen. Alueen suunniteltu jälkikäyttö vaikuttaa pintarakenteen vaatimuksiin. (SYKE 2002, s. 58-59)

2.1 Lainsäädännön vaatimukset

2.1.1 Jäteluokka ja pintarakenteen vaatimukset

Kaatopaikat luokitellaan sinne sijoitettavan jätteen mukaan vaarallisen jätteen, tavanomaisen jätteen tai pysyvän jätteen kaatopaikaksi. Kaatopaikalle hyväksytään lähtökohteisesti vain sen luokan mukaisia jätteitä (VNa 331/2013, 13 §). Jätteiden sijoittamisesta ei saa pitkänkään ajan kuluessa aiheutua vaaraa tai haittaa ympäristölle tai terveydelle (VNa 331/2013, 1 §).

Kun jätetäyttö on saavuttanut suunnitellun tason, suljetaan se VNa 331/2013 mukaisella pintarakenteella (VNa 331/2013, 7 §). Pintarakenne koostuu eri kerroksista, jotka on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Kaatopaikan pintarakenteen rakennekerrokset (VNa 331/2013, Liite 1)

Kerros	Kaatopaikkaluokka	
	Tavanomaisen jätteen kaatopaikka	Vaarallisen jätteen kaatopaikka
Pintakerros ≥ 1 m	Vaaditaan	Vaaditaan
Kuivatuskerros $\geq 0,5$ m	Vaaditaan	Vaaditaan
Tiivistyskerros $\geq 0,5$ m	Vaaditaan	Vaaditaan
Keinotekoinen eriste	Ei vaadita	Vaaditaan
Kaasunkeräyskerros	Vaaditaan	Tarpeen mukaan

VNa 331/2013 mukaisista vaatimuksista ja määräyksistä kaatopaikan pintarakenteelle on mahdollista poiketa, ”jos kaatopaikanpitäjä kaatopaikan terveys- ja ympäristövaikutusten kokonaisarviointin perusteella luotettavasti osoittaa, ettei kaatopaikasta ja jätteiden

sijoittamisesta sille voi aiheutua pitkänkään ajan kuluessa jätelaissa tai ympäristönsuojelulaissa tarkoitettua vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle eikä ympäristönsuojelulain 7 §:ssä tarkoitettua maaperän pilaamiskiellon tai 8 §:ssä tarkoitettua pohjaveden pilaamiskiellon rikkomista.” (VNa 331/2013, 34 §).

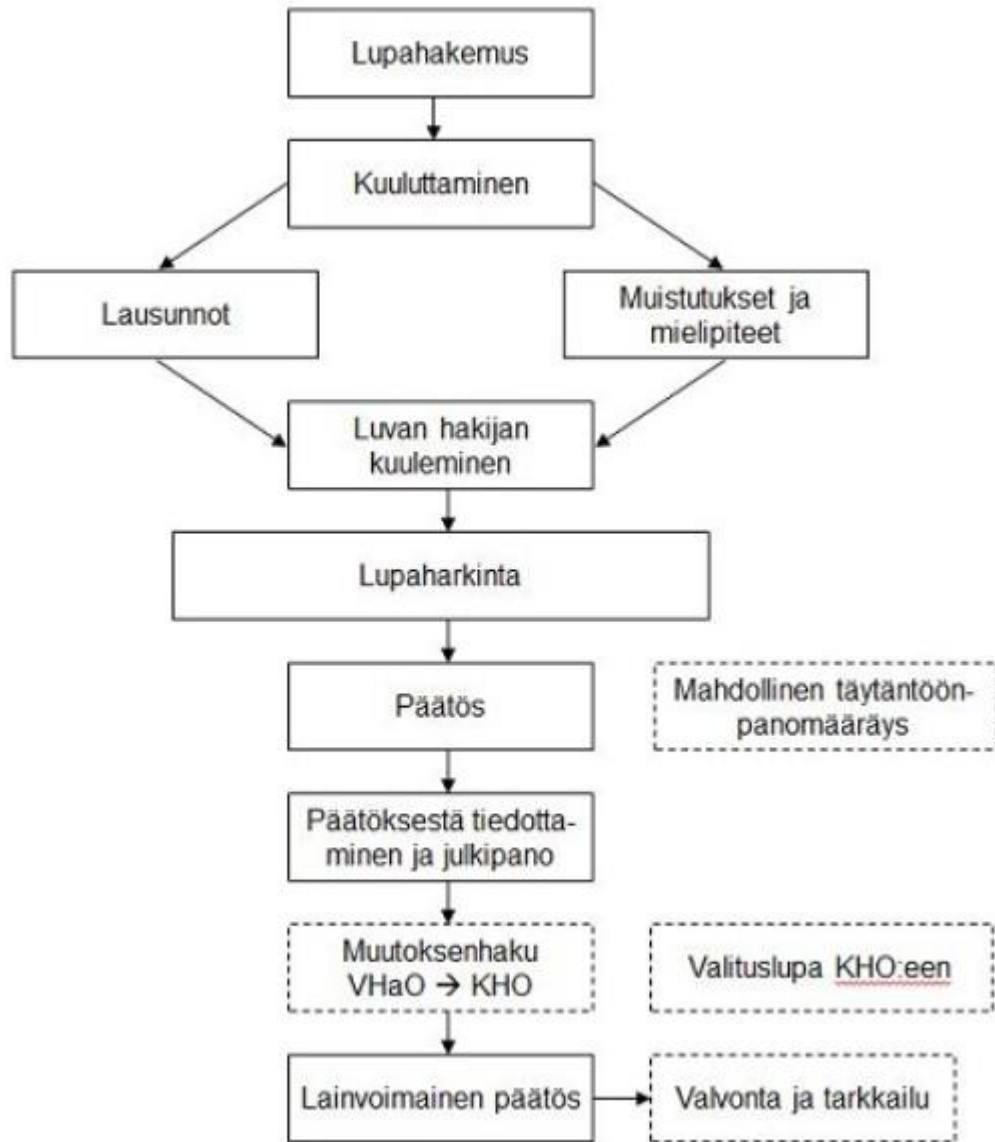
Kaatopaikkakaasut on kerättävä talteen ja mahdollisuuksien mukaan hyödynnettävä. Jos kaatopaikkakaasuja ei voida hyödyntää, ne on poltettava. Talteen kerättävän ja purkautuvan kaasun määrää on tarkkailtava. (VNa 331/2013, 8 §)

Valtioneuvoston asetuksen 331/2013 mukaan ennen kaatopaikkatoiminnan käytöstä poistamista on tehtävä perustilaselvitys. Perustilaselvitys kattaa pinta- ja pohjavesien laadun ja virtaussuuntien sekä käytössä olevan jätetäytön sisäisen veden laadun ja pinnankorkeuden, hajoamistilaa ja kaasunmuodostumista käsittävät selvitykset.

2.1.2 Ympäristölupa

Ympäristösuojelulain mukaan jätteiden ammattimainen tai laitosmainen käsittely sekä jätevesien käsittely edellyttävät ympäristölupaa. Kaatopaikkatoiminnan ympäristöluvassa on otettava huomioon kaatopaikan jälkihoito vähintään 30 vuoden ajan sulkemisen jälkeen. Ympäristölupa on haettava kaatopaikkatoiminnan aloittamista sekä toiminnan oleellista muuttamista varten. Toiminnan muuttamiseksi ei lasketa sellaista toimintaa, jonka seurauksesta ympäristöriskit- ja vaikutukset pienenevät. Kaatopaikan sulkeminen ei täten edellytä erillistä ympäristölupaa, mikäli sulkemistoimet tehdään olemassa olevan ympäristöluvan lupaehtojen mukaisesti. Pintarakenteeseen suunnitellut rakenteet ja käytettävät materiaalit esitetään käytöstäpoistamissuunnitelmassa, joka hyväksytetään ympäristöviranomaisella. (SYKE 2008, s. 18, 45, YSL 527/2014, 29 §, 60 §)

Ympäristöluvan myöntäminen edellyttää, että toiminnasta ei aiheudu lupamääräykset ja sijoituspaikka huomioiden haittaa terveydelle tai vedenhankinnalle. Toiminta ei saa aiheuttaa ympäristön, maaperän tai pohjaveden pilaantumista. Ympäristöluvassa annetaan tarkennuksia, määräyksiä ja ehtoja toiminnalle ympäristön pilaantumisen ja terveyshaittojen ehkäisemiseksi. Ympäristölupapäätöksen on perustuttava Hallintolain 434/2003 lisäksi saatuihin asiantuntijalausuntoihin, muistutuksiin ja mielipiteissä esitettyihin vaatimuksiin. (YSL 527/2014, 48 §, 49 §, 83 §) Ympäristöluvassa esitetään pintarakenteiden suojaustaso sekä käytöstä poistamisen periaatteet. Kuvassa 2 on esitetty ympäristölupahakemuksen käsittelyprosessin kulku.



Kuva 2. Ympäristöluvan käsittelyprosessi (SYKE 2018)

Kaatopaikan pitäjä laatii itse tai laadituttaa asiantuntijalla ympäristölupahakemuksen ja toimittaa sen lupaviranomaiselle käsiteltäväksi aluehallintovirastoon. Ympäristölupahakemukseen on liitettävä tarvittavat selvitykset Ympäristönsuojeluasetuksen 713/2014 mukaisesti. Ympäristölupaviranomainen tiedottaa käsittelyyn saapuneesta lupahakemuksesta vähintään 30 vuorokauden ajan. Kun asia etenee käsittelyyn, ympäristöviranomaisen pyytää lausuntoja asiantuntijoilta, kunnilta ja terveydensuojeluviranomaisilta sekä järjestää yleisötilaisuuden, jossa on mahdollista esittää mielipiteitä käsiteltävästä asiasta. Lupaharkinnan jälkeen ympäristöviranomaisen tekee päätöksen selvitysten, lausuntojen ja mielipiteiden perusteella. (YSL 527/2014, 42 §, 43 §, 44 §)

2.1.3 Kaatopaikkakelpoisuus

Jätteen kaatopaikkakelpoisuuden arvioinnista on säädetty Valtioneuvoston asetuksessa 331/2013. Jätteen jäteluokka, kokonaispitoisuudet ja liukoisuusominaisuudet on huomioidava kaatopaikkakelpoisuuden arvioinnissa. Jätteet jaetaan kolmeen luokkaan (VNa 331/2013):

- 1) pysyvä jäte
- 2) tavanomainen jäte
- 3) vaarallinen jäte.

Kaatopaikoille saa sijoittaa vain luokituksensa mukaisia jätteitä. Pysyvällä jätteellä tarkoitetaan jätettä, ”joka ei liukene, pala tai reagoi muutoin fysikaalisesti tai kemiallisesti eikä hajoa biologisesti tai reagoi muiden aineiden kanssa aiheuttaen vaaraa terveydelle tai ympäristölle.” (VNa 331/2013, 3 §). Pysyvälle jätteelle ei pitkänkään ajan kuluessa tapahdu fysikaalisia, kemiallisia tai biologisia muutoksia ja siitä liukenevien aineiden merkitys on ympäristölle olematon, eikä jäte aiheuta vaaraa pinta- tai pohjavesille. Tavanomaisella jätteellä tarkoitetaan jätettä, joka ei ole vaarallista jätettä, eikä pysyvää jätettä. (VNa 331/2013, 3 §)

Vaarallisella jätteellä tarkoitetaan jätelain mukaan sellaisia jätteitä, jotka kemiallisen tai muun ominaisuutensa vuoksi voivat aiheuttaa vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle. Vaaralliseksi luokiteltavat jätelajit on nimetty valtioneuvoston asetuksessa jätteistä (179/2012) liitteessä 4. Kyseisen luettelon mukainen luokitus perustuu EU:n jätteiden ja vaarallisten jätteiden luetteloon.

Orgaanisen jätteen kaatopaikkakielto biohajoavan ja muun orgaanisen aineksen osalta tuli voimaan 1.1.2016. Tämä tarkoittaa, että jätettyttöön sijoitettavan jätteen orgaanisen hiilen kokonaismäärä (TOC) ei saa tavanomaisen jätteen kaatopaikalla ylittää 5 % raja-arvoa. Tarvittaessa biohajoavan ja muun orgaanisen aineksen pitoisuus pitää osoittaa. Rakennus- ja purkujätteen mekaanisessa käsittelyssä syntyvän jätteen osalta asetusta sovelletaan 1.1.2020 alkaen. Orgaanisen hiilen kokonaispitoisuus (TOC) ja hehkutushäviö (LOI) rakennus- ja purkujätteillä VNa 331/2013 mukaan ei saa kuitenkaan olla suurempi kuin 15 painoprosenttia 1.1.2016 lähtien. (VNa 331/2013, 27 §, 28 §, 53 §)

Orgaanisen aineksen rajoitus ei koske kaikkia jätejakeita. Esimerkiksi energiantuotannossa tai jätteenpoltossa syntyvää lento- tai pohjatuhka, jonka DOC on alle 800 mg/kg L/S-suhteessa 10, pilaantunut maa-ainesjäte, pilaantunut ruoppausjäte sekä metsäteollisuudessa syntyvä soodasakka tai keräyspaperin siistauksessa syntyvä liete jäävät vaatimuksen ulkopuolelle (VNa 331/2013, 28 §). Orgaanisen aineksen pitoisuuden rajoituksesta on mahdollista poiketa ympäristöviranomaisen hyväksynnällä, jos myöntämisen edellytykset täyttyvät. VNa 331/2013 35 §:n mukaan ”lupaviranomainen voi päättää, että biohajoavaa ja muuta orgaanista ainesta sisältävän jätteen sijoittamista koskevaa

rajoitusta ei sovelleta 15 §:n mukaisesti esikäsiteltyyn jätteeseen, jos luotettavasti osoitetaan, että jäte ei ominaisuuksien vuoksi sovellu käsiteltäväksi muulla tavoin kuin sijoittamalla kaatopaikalle”. Lupaviranomainen voi myöntää poikkeuksen rajoituksesta vuodeksi kerrallaan (VNa 331/2013, 35 §).

Kaatopaikkakelpoisuuden arvioinnissa sovelletaan kolmiosaista menettelyä, joka koostuu jätteen perusmäärittelystä, vastaavuustestauksesta ja kaatopaikalla jätteelle tehtävälle tarkastukselle. Perusmäärittelyssä selvitetään jätteen ominaisuudet, jotta voidaan osoittaa jätteen täyttävän kyseisen luokituksen mukaiset kaatopaikkakelpoisuusvaatimukset. Asetuksessa esitetään vaatimukset asioista, jotka jätteestä perusmäärittelyssä on selvitettävä. Jätteestä selvitettäviä asioita on muun muassa jätteen synty tapa, prosessissa käytetyt raaka-aineet, kaatopaikalle sijoitettavaksi suunniteltu jätemäärä ja arvio jätteen sisältämistä haitta-aineista. (VNa 331/2013, 16-19 §)

Jätteen vastaavuustestauksella mitataan säännöllisesti syntyvästä jätteestä väliajoin lyhytkestoisilla menetelmillä perusmäärittelyssä määritetyt jätteelle tyypilliset ominaisuudet, jotta varmistetaan siitä, että jäte täyttää lupamääräykset. Kaatopaikalla tehtävällä jätteen tarkastuksella varmistetaan aistinvaraisesti tai yksinkertaisin menetelmin, että jäte vastaa asiakirjojen mukaista jätettä. (VNa 331/2013, 20-21 §)

Näytteenotto on tehtävä standardiin *SFS-EN 14899* perustuvan näytteenottosuunnitelman mukaisesti ja jätteen yleiset ominaisuudet on määritettävä Valtioneuvoston asetuksessa *331/2013* esitettyjen standardien mukaisesti. Asetuksessa on annettu kriteerit jätteiden kokonaispitoisuuksille ja liukoisuusominaisuuksille. Taulukoissa 2 ja 3 on esitetty raja-arvot jätteen kokonaispitoisuuksille ja liukoisuusominaisuuksille sekä määrityksissä sovellettavat testausstandardit. Liukoisuuskokeet tehdään läpivirtauskokeena SFS-EN 14405) tai kaksivaiheisena ravistelukokeena (SFS-EN 12457-3) (VNa 331/2013, Liite 3)

Taulukko 2. Raja-arvot jätteen kokonaispitoisuuksille kaatopaikkaluokittain (VNa 331/2013, Liite 3)

Alkuaine/muuttuja	Kaatopaikkaluokka			Testausstandardi
	Pysyvän jätteen raja-arvo, mg/kg	Tavanomaisen jätteen raja-arvo, mg/kg	Vaarallisen jätteen raja-arvo, mg/kg	
BTEX	6	-	-	SFS-EN 14039
DOC	-	800	-	SFS-EN 14429 tai SFS-EN 14997
PAH	40	-	-	SFS-EN 15527
PCB	1	-	-	SFS-EN 15308
TOC	30 000	50 000	60 000	SFS-EN 13137
Mineraaliöljy (C ₁₀ -C ₄₀)	500	-	-	SFS-EN 13656 ja SFS-EN 13657
Hekutushäviö (LOI)	-	-	10 %	SFS-EN 15169
Haponneutralointikapasiteetti (ANC)	-	Tutkittava ja arvioitava	Tutkittava ja arvioitava	CEN/TS 15364

Taulukko 3. VNa 331/2013 mukaiset raja-arvot jätteen liukoisille pitoisuuksille eri kaatopaikkaluokissa

Alkuaine/muuttuja	Kaatopaikkaluokka		
	Pysyvän jätteen raja-arvo, mg/kg (L/S = 10)	Tavanomaisen jätteen raja-arvo, mg/kg (L/S = 10)	Vaarallisen jätteen raja-arvo, mg/kg (L/S = 10)
Antimoni (Sb)	0,06	0,7	5
Arseeni (As)	0,5	2	25
Barium (Ba)	20	100	300
Elohopea (Hg)	0,01	0,2	2
Fluoridi (F ⁻)	10	150	500
Kadmium (Cd)	0,04	1	5
Kloridi (Cl ⁻)	800	15 000	25 000
Kromi (Cr)	0,5	10	70
Kupari (Cu)	2	50	100
Lyijy (Pb)	0,5	10	50
Molybdeeni (Mo)	0,5	10	30
Nikkeli (Ni)	0,4	10	40
Seleeni (Se)	0,1	0,5	7
Sinkki (Zn)	4	50	200
Sulfaatti (SO ₄ ²⁻)	1 000	20 000	50 000
DOC	500	800	1 000
TDS	4 000	60 000	100 000
Fenoli-indeksi	1	-	-

Asetettujen raja-arvojen lisäksi tavanomaisen jätteen kaatopaikalle sijoitettavan jätteen pH on oltava vähintään 6 (VNa 331/2013, Liite 3).

Valtioneuvoston asetuksessa 331/2013 säädetyistä raja-arvoista voidaan poiketa tietyin edellytyksin. Säädetyt raja-arvoja voidaan lupaviranomaisen luvalla korottaa enintään kolminkertaisiksi. Kaatopaikanpitäjän on osoitettava, että korkeammat raja-arvot eivät lisää kaatopaikkaveden ja muiden päästöjen aiheuttamaa vaaraa terveydelle tai ympäristölle. Raja-arvojen korottamiselle on säädetty myös poikkeuksia tiettyjen ominaisuuksien tai pitoisuuksien suhteen. Poikkeukset on esitetty Valtioneuvoston asetuksessa 331/2013 liitteessä 3. (VNa 331/2013, 34 §)

Pilaantuneiden maa-ainesten kaatopaikkakelpoisuuden arviointiin sovelletaan samoja ohjeita kuin muihinkin jätteisiin. Pilaantuneet maat eivät ole säännöllisessä prosessissa syntyviä jätteitä, joten jokaiselle jäte-erälle on tehtävä perusmäärittelyn mukainen luokittelu. Vastaavuustestejä ei käytetä pilaantuneiden maiden kaatopaikkakelpoisuuden arvioinnissa (SYKE 2006, s. 37). Pilaantuneiden maiden liukoisuutta voidaan tutkia esimerkiksi *SFS-EN 14405* standardin mukaisella läpivirtaustestillä tai *SFS-EN 12457-1* ja *SFS-EN 12457-3* mukaisilla ravistelutesteillä. (Tuhkanen 2012, s. 10-14)

2.1.4 Hyötykäyttökelpoisuus

Materiaalien hyötykäyttökelpoisuus perustuu tekniseen kelpoisuuteen ja ympäristökelpoisuuteen. Hyötykäytettävän materiaalin on oltava teknisesti soveltuvaa käyttökohteeseen eikä se saa aiheuttaa ympäristön pilaantumisen vaaraa.

Jätteeksi luokitellun materiaalin hyötykäyttö vaatii ympäristöluvan. Kaatopaikalla on jo ympäristölupa, joten jätteeksi luokitellun materiaalin hyödyntäminen ei vaadi erillistä ympäristölupaa. Hyötykäytön tulee kuitenkin olla suunnitelmallista, jotta jätteen sijoittamisesta kaatopaikalle ei tarvitse maksaa jäteveroa (Jäteverolaki 1126/2010, 6 §).

Materiaalin tekninen soveltuvuus ja ominaisuuksien säilyminen kaatopaikkaolosuhteissa on osoitettava. Lisäksi on syytä varmistua materiaalien kemiallisesta yhteensopivuudesta muiden rakennekerrosten materiaalien sekä kaatopaikkaveden ja –kaasun kanssa ja materiaalin mahdollisesta vaikutuksesta kaatopaikkaprosesseihin. Materiaalista voi liueta aineita, jotka vaikuttavat haitallisesti rakenteissa käytettävien materiaalien pitkäaikaiskestävyyteen, kaatopaikkaveden laatuun tai kaatopaikkakaasujen muodostumiseen. Myös materiaalin neutraalista poikkeava alkaalisuus tai happamuus voi rajoittaa käyttöä. (InfraRYL 2018)

2.1.5 Jälkihoito ja tarkkailu

Kun kaatopaikan pintarakenteet on tehty, kaatopaikka maisemoidaan jälkikäytön ja ympäristön edellyttämällä tavalla. Jälkikäytöllä tarkoitetaan kaatopaikkatoiminnan lopettamisen jälkeistä käyttöä. Kaatopaikan sulkemisen jälkeen aloitetaan kaatopaikan jälkihoito. Jälkihoidolla tarkoitetaan ”*käytöstä poistettavan tai käytöstä poistetun kaatopaikan ympäristövaikutusten seuraamiseksi tai torjumiseksi toteutettavia toimia.*” (VNa 331/2013, 3 §). Kaatopaikan pitäjä on vastuussa kaatopaikan jälkihoidosta. Kaatopaikan pitäjä järjestää suljetun kaatopaikan jälkiseurannan. Jälkiseurannan tarkoituksena on muun muassa varmistaa, että ”*kaatopaikan sisäiset prosessit etenevät tarkoitetulla tavalla, kaatopaikan ympäristönsuojelujärjestelmät toimivat täysin tarkoitetulla tavalla sekä kaatopaikkaa koskevat lupamääräykset täytetään*” (VNa 331/2013, 40 §). Kaatopaikan jälkihoidon aikana VNa 331/2013 edellyttää tarkkailemaan muun muassa kaatopaikan painumia, kaatopaikkakaasun laatua, määrää ja -käsittelyn toimivuutta sekä kaatopaikkavesien laatua, määrää ja -käsittelyn toimivuutta. (VNa 331/2013, 40-49 §)

Jälkihoitovaiheessa kaatopaikkakaasun kertymistä ja purkautumista on tarkkailtava vähintään puolivuositain sekä kaatopaikkakaasun talteenoton toimivuudesta on varmistuttava säännöllisesti. Purkautuvan kaasun laadun mittaamisen lisäksi kaatopaikan pintakerrosta voidaan tarkkailla visuaalisesti. Vauriot kasvillisuudessa voivat viitata kaasunpurkautumiseen pintarakenteen läpi. (SYKE 2008, s. 102; VNa 331/2013, 43 §)

Kaatopaikkavesien laatua ja määrää on seurattava kaikissa kohdissa, joissa kaatopaikkavesiä johdetaan kaatopaikan ulkopuolelle. Jos kaatopaikkavettä johdetaan puhdistettavaksi, on puhdistukseen menevän ja sieltä pois johdettavan veden laatua tarkkailtava säännöllisesti, jotta varmistutaan puhdistuksen tehokkuudesta. Kaatopaikalta pois johdettavan veden määrää ja sähkönjohtavuutta on seurattava viikoittain sekä sen laatua puolivuositain. Kaatopaikan pintavesien tarkkailu on järjestettävä siten, että kaatopaikan vaikutukset pintavesiin voidaan todeta mittauksin. Jälkihoitovaiheessa pintavesien mittaukset on tehtävä puolivuositain. (VNa 331/2013, 44-45 §)

2.2 Pintarakenteisiin kohdistuvat kuormitukset

Kaatopaikan pintarakenteissa käytettyjen materiaalien tulee kestää niille aiheutuvat fyysiset, kemialliset, biologiset ja termiset kuormitukset vähintään jälkihoidon ajan. Lisäksi rakenteiden tulee mahdollistaa suunniteltu jälkikäyttö.

2.2.1 Fysikaaliset kuormitukset

Kaatopaikan pintarakenteisiin kohdistuvia fysikaalisia rasituksia ovat pintaa vastaan kohtisuorat jännitykset sekä pinnansuuntaiset vetojännitykset. Pintaa vastaan kohtisuoria jännityksiä aiheuttaa yläpuolisten rakenteiden kuormat, työnaikaisten koneiden aiheuttamat kuormat sekä huollon ja käytön aikaiset liikennekuormat. Lisäksi jätetäytön epätasainen

painuminen ja kaatopaikkakaasun paine aiheuttavat pintaa vastaan kohtisuoria jännityksiä. Epätasaisia painumia aiheutuu huonosti tiivistetyn jätetäytön kokoonpuristumisesta ja orgaanisen aineksen hajoamisesta. (SYKE 2002, s. 91-92)

Kaatopaikan pintarakenteisiin kohdistuvat fysikaaliset kuormitukset vaikuttavat luiskastabiliteettiin. Luiskastabiliteetista kerrotaan lisää luvussa 2.3.2.

Rakenteeseen syntyneet vetojännitykset voivat aiheuttaa rakenteen halkeilua. Mineraalisen tiivistyskerroksen tulee kestää siihen kohdistuvat vetojännitykset. Mineraalisen tiivistyskerroksen halkeilu voi kasvattaa sen vedenläpäisevyyttä jopa 100-1000 -kertaiseksi. (SYKE 2008, s. 47)

2.2.2 Kemialliset kuormitukset

Kaatopaikan pintarakenteisiin kohdistuvat kemialliset kuormitukset aiheutuvat sade- ja pintavesien liuottamista haitta-aineista. Haitta-aineita voi liueta pintarakenteissa käytetyistä materiaaleista. Pintarakenteessa käytettyjen materiaalien tulee kestää niihin aiheutuva kemiallinen rasitus. Liuenneet aineet saattavat muodostaa saostumia, jotka voivat aiheuttaa esimerkiksi kuivatuskerroksen tukkeutumista. (SYKE 2002, s. 93)

Kaatopaikan pintarakenteiden suunnittelussa tulee huomioida materiaalien kemiallinen yhteensopivuus eli materiaalien vaikutus toisiinsa. Esimerkiksi kalsium kiihdyttää bentoniitin rapautumista. (SYKE 2008, s. 61)

Kaatopaikan pintarakenteiden tulee kestää myös kaatopaikkakaasujen aiheuttama kemiallinen rasitus. Kaatopaikkakaasu koostuu pääosin metaanista ja hiilidioksidista, mutta se sisältää myös pieniä määriä muun muassa kloori- ja fluorihilivetyjä ja rikkiyhdisteitä. Kaasun muodostumiseen sekä sen sisältämiin yhdisteisiin vaikuttavat jätteen koostumus ja kaatopaikkaolosuhteet, kuten orgaanisen aineksen määrä, sisäisen vedenpinnan korkeus, jätetäytön hoitotapa eli tiivistäminen- ja peittäminen sekä jätetäytön kosteus ja lämpötila. (Tuhkanen, s. 12-13)

2.2.3 Biologiset kuormitukset

Biologisia kuormituksia aiheuttavat mikrobit, kasvien juuret ja eläimet. Ennen pintarakenteen toteuttamista kaatopaikan pintaosissa vallitsee usein aerobiset olosuhteet. Aerobisissa olosuhteissa mikrobit hajottavat tehokkaasti jätteen sisältäviä orgaanisia yhdisteitä. Syntyvät yhdisteet voivat vaikuttaa rakenteissa käytettyjen materiaalien ominaisuuksiin. (SYKE 2002, s. 93)

Kasvillisuus voi aiheuttaa rakenteen kuivumista ja halkeilua. Kasvin juuri voi muodostaa halkeaman tunkeutuessaan alapuoliseen rakenteeseen. Maatuva juuri jättää tyhjän tilan. Myös madot aiheuttavat tunkeutuessaan reikiä. Juurien tunkeutumista voidaan ehkäistä

ennalta käyttämällä geotekstiilejä ja riittävän paksuja ravinteettomia kerroksia, raivamalla kasvillisuutta sekä kiinnittämällä huomiota kasvillisuuden valintaan. (SYKE 2002, s. 93)

Avoin jätetäyttö saattaa houkutelaa haittaeläimiä, kuten lintuja ja rottia. Eläimet voivat kasvattaa rakenteen vedenläpäisevyyttä kaivautuessaan rakenteisiin. Jos kaatopaikka-alue ei ole aidattu, alueella saattaa kulkea kettuja, jäniksiä ja muita eläimiä. Eläimien aiheuttamia vaurioita voidaan estää tiivistämällä jätetäyttö huolellisesti ja peittämällä se mahdollisimman pian sekä käyttämällä teräväsarmaisista ja karkearakeisista maalajeista rakennettuja maakerroksia. (SYKE 2002, s. 93)

2.2.4 Ilmastolliset kuormitukset

Tuuli, sade, UV-säteily, lämpötilan vaihtelut, korkea lämpötila ja routa aiheuttavat ilmastollisia tai termisiä kuormituksia kaatopaikan pintarakenteeseen. Auringon ultraviolettisäteily vanhentaa tiivistyskalvoja ja geotekstiilejä. Käytettäessä UV-säteilylle herkkiä geotekstiilejä ja tiivistyskalvoja tulee ne peittää mahdollisimman pian asennuksen jälkeen. Mikäli geotekstiilit tai tiivistyskalvot altistuvat pitkäaikaisesti UV-säteilylle rakennusaikana tai esimerkiksi luiskissa, on tuotteen UV-kestävyys varmistettava. UV-säteily ja korkea lämpötila haurastuttavat kalvoa ja heikentävät sen mekaanisia ominaisuuksia. Korkea lämpötila voi johtua myös jätetäytön hajoamisprosessien tuottamasta lämmöstä. UV-kestävyyttä parannetaan esimerkiksi lisäämällä kalvoon hiilimustaa. (SYKE 2002, s. 93-94)

Jäätymis- ja sulamissyklit ja kuivumis- ja kastumissyklit ovat erityisesti mineraalisen tiivistyskerroksen toimintaan vaikuttavia kuormitustekijöitä. Mineraalisen tiivistyskerroksen päällä tulee olla riittävän paksut rakennekerrokset, jotka suojaavat sitä jäätymiseltä ja kuivumiselta. (kts. 2.3.4)

Sade aiheuttaa kaatopaikan pinnan liettymistä ja edelleen pinnan eroosiota. Kaatopaikan valmis pinta usein nurmetetaan, jotta välttyään sateen aiheuttamalta eroosiolta ja pinnan liettymiseltä. Veden virtausnopeuteen ja eroosioriskiin voidaan vaikuttaa myös pinnan muotoilulla ja riittävän pienillä kallistuksilla. Pitkän luiskan alaosaan ja kohtiin, joihin sade- ja sulamisvesien virtaus voi keskittyä, voi olla tarpeen tehdä eroosiosuojaus karkeasta kiviaineksesta.

2.2.5 Jälkikäytön asettamat vaatimukset

Kaatopaikka-alueen jälkikäyttö asettaa pintarakenteen suunnittelulle ja materiaaleille vaatimuksia. Kaatopaikka saatetaan toiminnan loppumisen jälkeen ottaa muuhun käyttöön, jolloin kaatopaikan pintarakenteet toimivat jälkikäytön pohjamaana. Pohjamaa ei saa aiheuttaa terveydelle tai ympäristölle vaaraa. Tämä asettaa vaatimuksia pintarakenteessa käytettäville materiaaleille. Kaatopaikka-alueen jälkikäyttö saattaa myös asettaa

vaatimuksia kaatopaikka-alueen pinnanmuodoille, kuivatusjärjestelmille, kantavuudelle sekä kaasujen keräilylle. Jos suljettavan kaatopaikan jälkikäyttö tiedetään ennen sulke-
missuunnittelun käynnistämistä, otetaan se huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Kaatopai-
kan jälkikäyttö ei saa aiheuttaa vaaraa suojausrakenteiden toimivuudelle tai kaatopaikan
jälkiseurannalle. (Wahlström et al. 2004, s. 26)

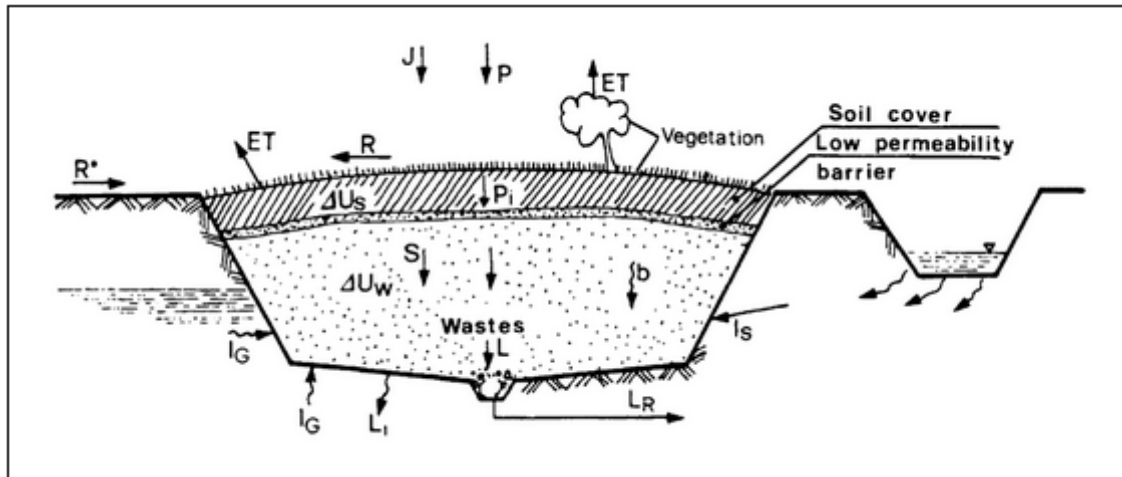
Jätetäytön painumat ja kaasunmuodostus on otettava huomioon kaikessa rakentamisessa.
Orgaanista jätettä sisältävän jätetäytön päälle ei ole suositeltavaa rakentaa rakennuksia.
Tiivistysrakennekerroksia ei saa lävistää, vaan ne pitää suojata riittävän paksuilla raken-
nekerroksilla. Syväjuurisia kasveja ei suositella. (Infra 15-710194 2018)

2.3 Pintarakenteen mitoitustarkastelut

Kaatopaikkarakenteiden suunnittelussa on kiinnitettävä erityistä huomiota vesitaseeseen,
rakenteiden liukupintakitkaan ja kokonaistabiliteettiin, muodonmuutoskestävyyteen ja
routaan.

2.3.1 Vesitase

Kaatopaikan vesitase käsittää jätetäyttöön tulevat ja sieltä poistuvat vedet. Kaatopaikka-
vesien määrään vaikuttavat veden saatavuus, pintarakenteiden ominaisuudet, jätetäytön
ominaisuudet ja kaatopaikan reuna- sekä pohjarakenteiden vedenläpäisevyys. Vesien saa-
tavuus käsittää sade- ja sulamisveden, haihdunnan sekä pintavalunnan. Kaatopaikan pin-
tarakenteen ominaisuuksista kaatopaikan pinnan kaltevuus ja kasvillisuus sekä pintara-
kenteiden vedenläpäisevyys vaikuttavat merkittävästi kaatopaikan vesitaseeseen. Jäte-
täytön ominaisuuksista vesitaseeseen vaikuttavat jätetäytön tiiviys, vedenläpäisevyys ja
veden pidätyskyky. Kaatopaikan reuna- ja pohjarakenteet vaikuttavat siihen kuinka pal-
jon vettä pääsee suotautumaan jätetäytöstä maaperään ja toisin päin. Kaatopaikan vesita-
setta havainnollistetaan kuvassa 3. (Canziani & Cossu 1989, s. 185-186)



Kuva 3. Kaatopaikan vesitase (Canziani & Cossu 1989, s. 186)

Kaatopaikan vesitasetta voidaan kuvata seuraavalla yhtälöllä (Canziani & Cossu 1989, s. 186):

$$L = P + J + R^* + I_G + I_S + S - R - ET - L_R - L_I \pm b \quad (1)$$

jossa

- L muodostuvan kaatopaikkaveden määrä
- P sadanta
- J kastelu esim. suotoveden kierrätys
- R* valunta ympäristöstä
- I_G jätetäyttöön kaatopaikan reunan tai pohjan läpi suotautuva vesi
- I_S jätetäyttöön kaatopaikan reunan tai pohjan läpi suotautuva vesi
- S jätteen mukana tuleva vesi
- R pintavalunta jätetäytöstä poispäin
- ET haihdunta
- L_R jätetäytöstä pois johdettu vesi
- L_I jätetäytöstä reunan tai pohjan läpi suotautuva kaatopaikkavesi
- b kemiallisten reaktioiden vaikutuksesta syntyvän tai hajoavan veden määrä

Vesisade on suurin yksittäinen tekijä, joka vaikuttaa kaatopaikan vesitaseeseen. Pitkäkestoinen tihkusade kasvattaa peittämättömän jätetäytön vesipitoisuutta enemmän kuin lyhytkestoinen rankkasade. Lyhytkestoinen rankkasateen vedet eivät lyhyellä aikavälillä ehdi imeytymään jätetäyttöön vaan valuvat pintavaluntana pois. (Canziani & Cossu 1989, s. 188)

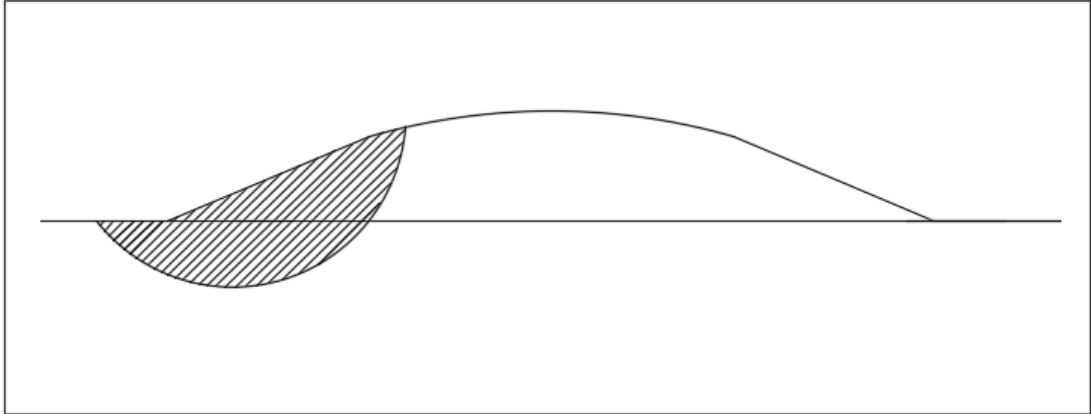
Kaatopaikan pintarakenne vaikuttaa merkittävästi siihen, kuinka suuri osa vedestä imeytyy jätetäyttöön. Nykyisin kaatopaikan pintarakenteelta edellytetään heikosti vettä läpäisevää mineraalista tiivistyskerrosta sekä tämän päällä olevaa horisontaalisesti vettä johtavaa kuivatuskerrosta. Lisäksi pinnan kaltevuudella ohjataan sade- ja sulamisvedet pintavaluntana jätetäytön ulkopuolelle ympärysojiin. Vettä läpäisemätön pohjarakenne rajoittaa vesien suotautumisen ympäristöstä jätetäyttöön ja ohjaa kuivatusjärjestelmän kautta muodostuvat suotovedet käsittelyyn. Nestemäisten jätteiden kaatopaikkasijoittaminen on kiellettyä, joten jätteiden mukana ei juurikaan tule kosteutta.

Pintarakenteen läpäisevää vesimäärää voidaan arvioida vesitaseen perusteella ottaen huomioon pintavalunta, haihdunta, pintakerroksen varastointikapasiteetti ja kuivatuskerroksen tehokkuus esimerkiksi U.S. EPAn HELP-mallinnusohjelmistolla (*Hydrologic Evaluation of Landfill Performance*). Laskenta perustuu paikallisiin ilmastotietoihin. (Infra 15-710194 2018)

2.3.2 Stabiliateetti

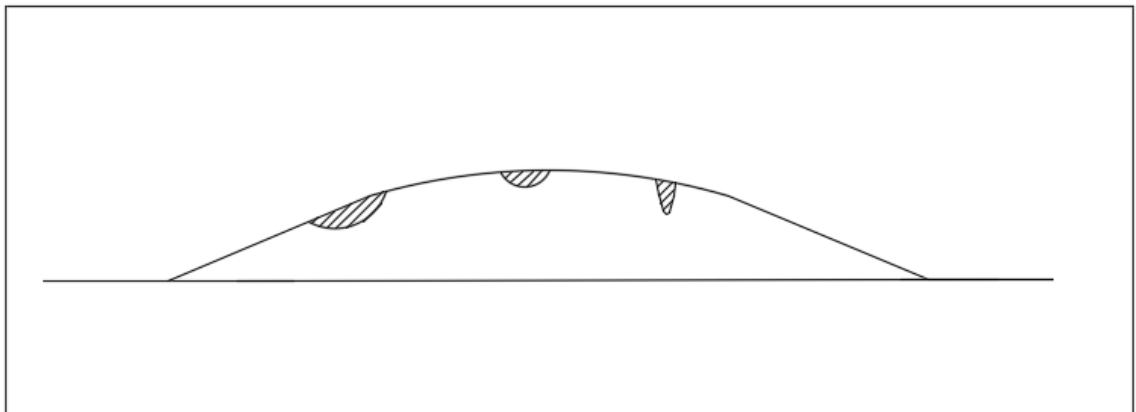
Kaatopaikan geotekniset tarkastelut tehdään rakentamisen, käytön ja jälkihoidon tilanteita vastaavasti. Kaatopaikan stabiliateettia tarkasteltaessa täytyy ottaa huomioon pohjamaan-, jätetäytön- ja luiskan stabiliateetti. Kaatopaikan kokonaisvakavuutta voidaan tarkastella liukupinta-analyyseilla. Maan murtuminen oletetaan tapahtuvan liukupintaa pitkin. Liukupinnan yläpuolella oleva maamassa liikkuu murrossa. Liukupinnan muoto voi esimerkiksi olla ympyrä, kiilamainen tai suorakulmio. Usein liukupinnan oletetaan olevan ympyränmuotoinen, mutta kaatopaikan luiskien vakavuuden tarkastelussa tulee huomioida myös muun muotoiset liukupinnat. Etenkin kaltevilla pinnoilla, kriittinen liukupinta muodostuu pintarakenteiden eri materiaalien rajapintoihin, jolloin liukupinta on suorakulmion muotoinen. Liukupinta-analyyseissa tulisi tapauskohtaisesti huomioida myös rakenteiden materiaalien rajapintojen pienet lujuusparametrien arvot. Liukupinnan muotoon vaikuttavat kerrosrajojen lisäksi maan lujuusominaisuudet, heikkousvyöhykkeet sekä maassa olevat rakenteet. Kaatopaikan penkereen pitkäaikaista stabiliateettia voidaan arvioida tasapainorajatilamenetelmillä, joissa maamassoille lasketaan jännitystila, jossa maamassat pysyvät tasapainossa.

Kaatopaikan penkereen kokonaisstabiliteettiin vaikuttavat luiskakaltevuus, täyttökorkeus ja pohjamaan kantavuus. Jos pohjamaan kantavuus ei riitä, on vaarana kokonaisstabiliteetin menetys ja luiskan sortuminen. Kokonaisstabiliteettia voidaan parantaa loiventamalla luiskaa ja/tai pienentämällä pohjamaahan aiheutuvaa kuormaa eli täyttökorkeutta.



Kuva 4. Kokonaisstabiliteetin menetys ja pohjamaan pettäminen

Paikallisia sortumia voi syntyä etenkin kaatopaikan keskialueille, missä jätetäyttö on paksuimmillaan. Sekalainen jätetäyttö tiivistyy ja painuu epätasaisesti muodostaen kuopan. Jätetäyttö painuu myös orgaanisen jätteen hajotessa. Jos orgaanista jätettä on pengerrytetty epätasaisesti kaatopaikan eri alueille, muodostaa se hajotessaan painaumuksia.

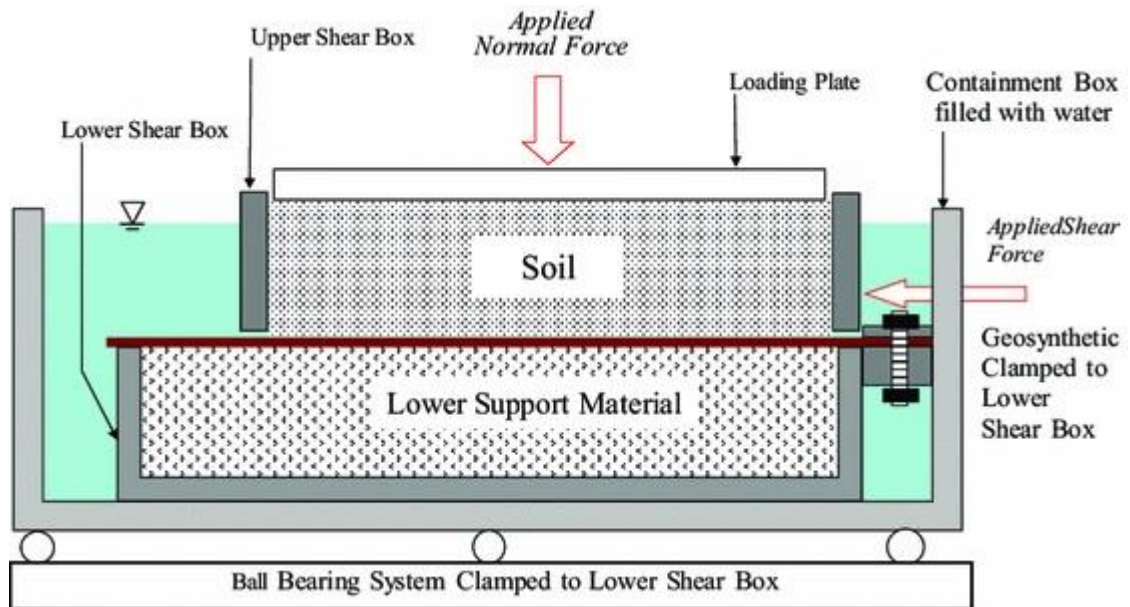


Kuva 5. Epätasaisesta painumisesta aiheutuvia painaumuksia

Liukupintakitkan tarkastelu on tehtävä kaatopaikkarakenteen luiskien eri rakennekerrosten materiaalien rajapinnoissa. Geosynteettisten tuotteiden osalta liukupintakitkan tarkastelu tehdään aina kun niitä käytetään luiskissa. Geosynteettisen tuotteen lisäksi liukupintakitkaan vaikuttavat maan ominaisuudet, kuten rakeisuus ja vesipitoisuus. Veden kääntäminen geosynteettisen tuotteen alapuolelle voi aiheuttaa stabiliteettiongelmia kaatopaikan luiskarakenteissa. (SYKE 2008, s. 54)

Alustava tarkastelu voidaan tehdä käyttäen materiaalitoimittajan ilmoittamia tai kirjallisuuteen perustuvia tyypillisiä kitkakertoimia. Pitkissä ja jyrkissä luiskissa kitkakertoimet selvitetään kohdekohtaisesti käyttäen kohteeseen valittuja materiaaleja. Geosynteettisen tuotteen ja maan välinen kitkakulma voidaan määrittää rasialeikkauksella laboratorii-

ossa (SFS EN ISO 12957-1 ja -2). Geosynteettisten tuotteiden välistä kitkakulmaa voidaan tutkia myös kallistetulla tasolla. Kuvassa 6 on esimerkki rasialeikkauskokeen periaatteesta. (Infra 15-710194 2018)



Kuva 6. Rasialeikkauskoe (Stark et al. 2015)

Pintarakenteen rakennekerrosten välinen kitka voi rajoittaa luiskan kaltevuutta. Tavallisesti vaarallisin liukupinta on geosynteettisten tuotteiden eli bentoniittimaton (tai kalvon) ja salaojamaton välissä. Kokemusten perusteella jyrkempiä kuin 1:3 luiskia ei voi toteuttaa ilman geolujitteita. Pintakerroksen rakentaminen on usein mitoittavin tilanne. (Infra 15-710194)

2.3.3 Muodonmuutoskestävyys

Kaatopaikan pintarakenteen materiaalien tulee kestää kokoonpuristuvan jätetäytön aiheuttamat muodonmuutokset. Muodonmuutoksia voi aiheuttaa pohjamaan painuminen, jätetäytön painuminen sekä riittämätön luiskastabiliteetti. Jätetäytön painuminen ja siitä aiheutuvat muodonmuutokset tulee ottaa huomioon myös riittävien kaltevuuksien säilymisessä. Jätetäyttö painuu kaatopaikan keskialueilta enemmän kuin reuna-alueilta, joten vaarana on liian pienet kaltevuudet. (SYKE 2002, s. 64)

Mineraalisesta materiaalista rakennetulla tiivistysrakenteella sallittu venymäalue on noin 0,1 – 0,4 %. Savessa muodostuu merkittäviä halkeamia, kun venymä on luokkaa 1 - 4 %. Bentoniittimatto puolestaan kestää noin 10 % venymiä ilman, että vedenläpäisevyys kasvaa. Paikallisen painuman sallittu säde voi olla mineraalisesta materiaalista rakennetulla tiivistysrakenteella noin 150 m ja bentoniittimattolla noin 20 m. Joustavalla tiivistyskalvolla vastaavat luvut ovat yli 20 % venymä ja 5 m säde. (Witt 2010)

Tiivistyskalvoja ei lähtökohtaisesti tulisi mitoittaa ottamaan vastaan kuormia, jotta niihin ei muodostuisi toimintaa heikentäviä venymiä. Jos rakenteessa on kuitenkin odotettavissa merkittäviä muodonmuutoksia, on syytä käyttää tiivistyskalvoja, joilla on suuri muodonmuutoskyky eli moniaksaalinen venymä ja jotka eivät ole alttiita jännityssäröilylle.

Muodonmuutoksia voidaan vähentää käyttämällä geovahvisteita. Geovahvisteiden tehtävänä on vastaanottaa maahan syntyviä jännityksiä, siirtää ja tasata niitä laajemmalle alueelle. Geovahvisteiden tarkoituksena on parantaa maan tai rakenteen kantavuutta sekä kasvattaa luiskastabiliteettia. (SYKE 2002, s. 64)

2.3.4 Routa

Mineraalinen tiivistyskerros on suojattava roudalta. Lämpötilan laskiessa alle 0 °C:n huokosvesi jäätyy eli maa routaantuu. Tällöin veden tilavuus kasvaa. Mikäli jäätymisrintamaan kulkeutuu vettä esimerkiksi kapillaarisesti, muodostuu jäälinsejä, jolloin maa routii. Jäälinssit aiheuttavat routanousua ja keväällä sulamispehmenemismiljöön, joka heikentää rakenteen kantavuutta. Epätasainen routanousu voi vaurioittaa yläpuolisia rakenteita. (RIL 261-2013, s. 25)

Jäätymis-sulamissyklit voivat vaurioittaa kaatopaikan pintarakenteen mineraalista tiivistyskerrosta. Käytetystä materiaalista riippuen mineraalisen tiivistyskerroksen vedenläpäisevyys voi kasvaa jopa 1000-kertaiseksi muutaman jäätymis-sulamissyklin jälkeen. Jäätymis-sulamissyklit voivat aiheuttaa materiaaliin halkeamia, jotka kasvattavat vedenläpäisevyyttä erityisesti, jos jäätymishalkeamiin valuu karkeampaa ainesta yläpuolisesta kerroksista tai materiaalilla ei ole kykyä paisua takaisin, kuten bentoniitilla voi olla. Bentonitilla rapautuminen voi heikentää kykyä palautua jäätymis-sulamissykliänsä jälkeen. Siksi mineraalisen tiivistyskerroksen suojaaminen riittävän paksuilla maakerroksilla on tarpeen pitkäaikaisen toiminnan varmistamiseksi. (SYKE 2002, s. 65)

Roudan syvyyteen vaikuttavat ilmasto-olosuhteet, maalaji, maaperän vesipitoisuus, maanpinnan kasvillisuus ja topografia sekä rakennetut rakenteet (RIL 261-2013, s. 32). Roudan syvyyteen vaikuttavia ilmastollisia tekijöitä ovat:

- vuoden keskilämpötila
- pakkasmäärä
- lumipeitteen paksuus
- ja sademäärä (RIL 261-2013, s. 15).

Pakkasmäärä määritetään ilman vuorokautisista keskilämpötiloista. Vuorokauden keskilämpötila määritetään mittaamalla ilman lämpötila kahden metrin korkeudelta kolmen tunnin välein. Vuorokauden keskilämpötila on mitattujen lämpötilojen keskiarvo. Pakkasmäärä lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$F = 24 \times \sum_s (T_f - T_{d,j}) \quad (2)$$

jossa

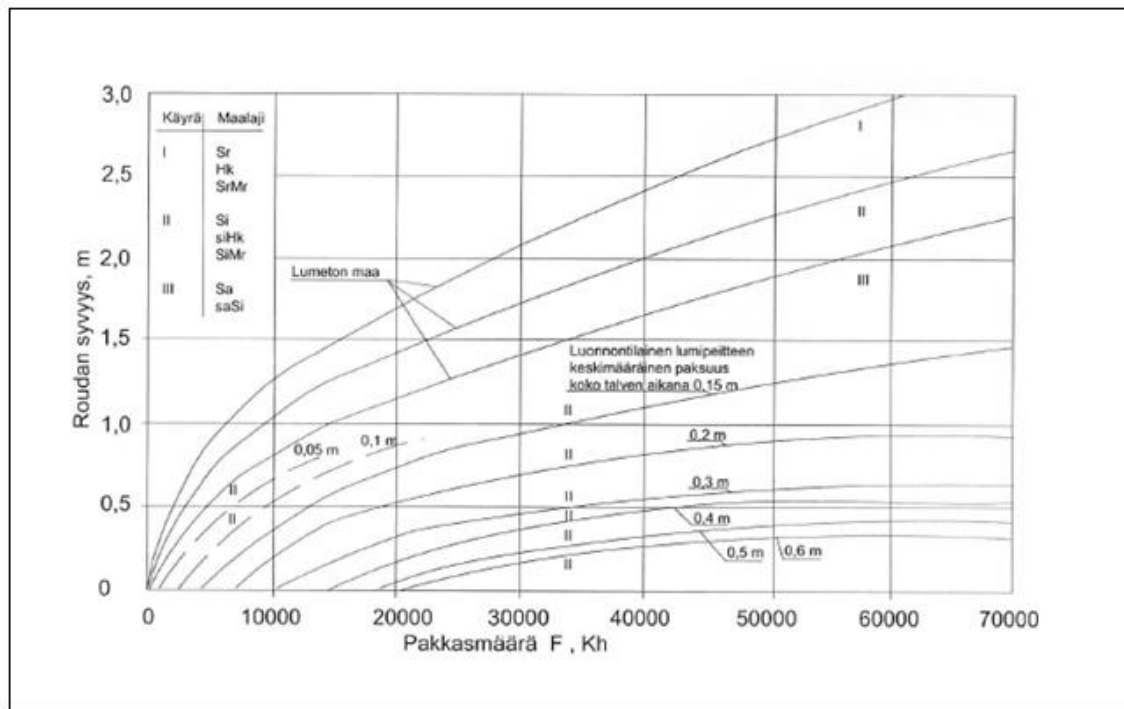
F talven pakkasmäärä, [Kh]

T_f jäätymispiste, 0 °C

$T_{d,j}$ vuorokauden keskilämpötila päivälle j [°C].

Pakkasmäärä vaihtelee merkittävästi eri vuosina. Tämän takia talo- ja infrarakentamisen routasuojauksen mitoituksessa käytetään tilastollisesti määriteltyjä pakkasmääriä F_2 , F_5 , F_{10} , F_{20} , F_{50} ja F_{100} .

Vuoden keskilämpötilalla tarkoitetaan ilmatieteen laitoksen tekemien säähavaintojen keskimääräistä vuoden lämpötilaa. Lumella on lämmöneristävä vaikutus. Lumipeitteen lämmöneristävä vaikutus voidaan ottaa huomioon kaatopaikan routamitoituksessa, koska lunta ei ole tarkoitus luoda talvikausina. (RIL 261-2013, s. 20-21) Lumipeitteen paksuuden ja pakkasmäärän vaikutusta roudan syvyyteen on kuvattu kuvassa 7.



Kuva 7. Lumipeitteen ja pakkasmäärän vaikutus roudan syvyyteen (RIL 261-2013, s. 33)

Kaatopaikka on usein pääosin kokonaan luonnontilaisen lumen peittämänä. Lumi luodaan usein vain kulkureiteiltä. Rakentamalla VNa 331/2013 mukaiset kerrospaksuudet kaatopaikan pintarakenteeseen, routa ei pääse tunkeutumaan mineraaliseen tiivistyskerrokseen. Jos kaatopaikan jälkikäyttö edellyttää, että lumipeitteen lämmöneristävää vaikutusta ei

huomioida tai jos tehdään ohuimmat rakenteet kaatopaikan pintarakenteisiin kuin *VNa 331/2013* on säädetty, tulee roudan tunkeutumissyvyyttä tarkastella tarkemmin.

Kaatopaikan pintarakenteen kuivatuskerrosta ei saa päästää jäätymään. Jos kuivatuskerros ei johda vettä riittävästi ja vesi pääsee jäätymään talvikauden aikana kuivatuskerrokseen, voi seurauksena olla sulamiskaudella stabiliteetin menetys luiskassa. Kuivatuskerroksen routamitoitukseen voidaan vaikuttaa riittävän suurilla alusrakenteen kallistuksilla ja kuivatuskerroksen päälle tulevien kerrosten paksuuksilla. (SYKE 2008, s. 55)

2.4 Pitkäaikaiskestävyys

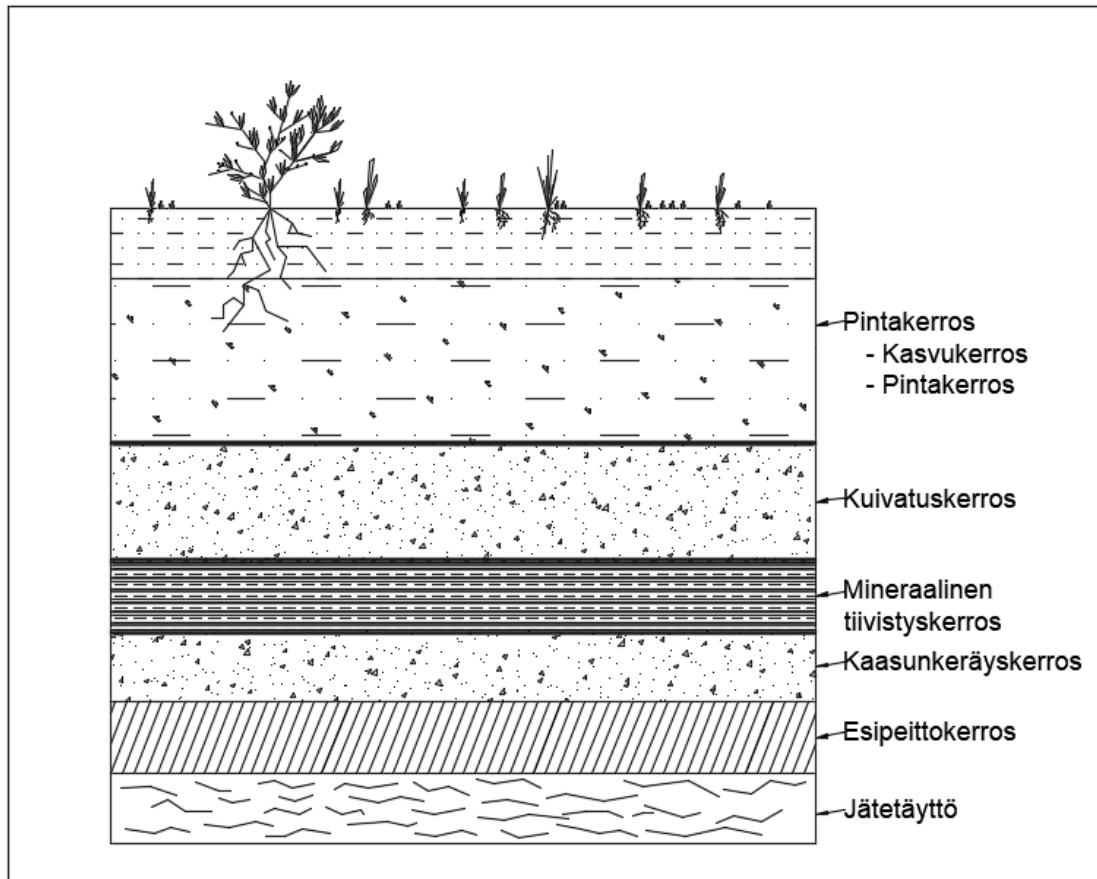
Kaatopaikan pohjarakenteilta vaaditaan lähes ikuista toimivuutta. Toimivuusvaatimus tulee siitä, että jätetäytön alapuolella olevia rakenteita on mahdoton korjata jälkikäteen. Kaatopaikan pintarakenteita voidaan korjata jälkikäteenkin ja osa vaurioista, kuten esimerkiksi eroosioauriot ja luiskasortumat, on nähtävissä.

Pintarakenteen toimivuuteen ja pitkäaikaiskestävyyteen vaikuttavat lähtökohtaisesti rakennekerroksissa käytetyt materiaalit ja suunnitteluratkaisut. Materiaalien pitkäaikaiskestävyys ja ominaisuuksien säilyminen tulee huomioida suunnitteluvaiheessa. Esimerkiksi osa kaatopaikkarakenteissa käytetyistä materiaaleista kokoonpuristuu kuorman vaikutuksesta ajan funktiona, mikä vaikuttaa materiaalin ominaisuuksiin. Esimerkiksi rengasleikkeen ja salaojamattojen vedenjohtavuus heikkenee niiden kokoonpuristuessa. Salaojamaton vedenläpäisevyyteen vaikuttavat tekijät otetaan huomioon vedenjohtavuuslaskemissa vähennyskertoimilla, jotka valitaan käyttökohteen rasiusten mukaisesti (Infra 15-710194 2018).

Kaatopaikan pintarakenteen pitkäaikaiskestävyydestä tarkastelussa tulee huomioida jälkikäytön asettamat vaatimukset. Kaatopaikan pintarakenteen pitkäaikaiskestävyyteen sekä huolto- ja korjaus-tarpeisiin vaikuttavat kuivatuskerroksen tehokkuus ja rakenteiden eroosiokestävyys. Eroosiokestävyyttä tarkastellaan tarkemmin mineraalisen tiivistysrakenteen yhteydessä luvussa 2.5.4. (SYKE 2008, s. 53)

2.5 Rakenneosien tehtävät ja vaatimukset

Kaatopaikan pintarakenteen toimivuuteen vaikuttavat sen rakennekerroksissa käytetyt materiaalit, luiskien kaltevuudet sekä kaatopaikan pinnan kasvillisuus. Kaatopaikan pintarakenteen muodostuu useasta eri kerroksesta, joista jokaisella on omat vaatimuksensa ja tehtävänsä. Pintarakennetta on kuitenkin tarkasteltava aina kokonaisuutena. Rakennekerroksissa käytettävien materiaalien on oltava keskenään yhteensopivia. (SYKE 2002, s. 59)



Kuva 8. Kaatopaikan pintarakenteen periaatteellinen rakenneleikkaus (muokattu lähteestä SYKE 2002, s. 60)

Tavanomaisen jätteen kaatopaikan pintarakenne koostuu seuraavista rakennekerroksista alhaalta ylöspäin lueteltuna: esipeitto- ja muotoilukerros, kaasunkeräyskerros, mineraalinen tiivistyskerros, kuivatuskerros ja pintakerros (kuva 8). Pintakerroksen yläosan muodostaa usein kasvukerros. Vaarallisen jätteen kaatopaikalla edellytetään mineraalisen tiivistysrakenteen lisäksi keinoitekoista eristettä. Suodatinkangas asennetaan tarvittaessa rakennekerrosten väliin estämään materiaalien sekoittumista.

2.5.1 Väliaikainen peitto

Jätteen peittämistä tehdään päivittäin kaatopaikoilla. Päivittäin tehtävällä jätteen peittämisellä suojataan jätetäyttöä eroosiolta sekä estetään lintujen ja eläinten pääsy jätetäyttöön. Peittomateriaali voidaan valita siten, että se toimii samalla osana jätetäytön suoto-veden ja kaasujen keräilyjärjestelmää. Harvoin on kuitenkaan käytettävissä riittävän karkearakeista jätetäyttöön kelpaavaa materiaalia.

Ennen lopullisen pintarakenteen toteuttamista voidaan rakentaa väliaikainen peitto. Väliaikaisen peittorakenteen vaatimukset riippuvat siitä, tavoitellaanko väliaikaisella rakenteella esimerkiksi kaasunkeräilyn tehostamista vai jätetäytön painumien nopeuttamista

Väliaikaiseen jätteen peittoon ja jätetäytön muotoiluun voidaan käyttää kaatopaikkakelpoisia materiaaleja. Käytettävän materiaalin on kuitenkin oltava teknisesti soveltuvaa. Sen on oltava helposti käsiteltävää ja pölyämätöntä, jotta kuorma voidaan purkaa ja levittää helposti käyttökohteessa eikä siitä aiheudu muita ympäristövaikutuksia. Liettyviä ja huonosti vettä johtavien materiaalien käyttöä ei suositella. Käyttämällä kantavia materiaalia voidaan samalla rakentaa liikennöitäviä väyliä. Väliaikaiseen jätteiden peittoon ja jätetäytön muotoiluun soveltuvia materiaaleja voivat olla esimerkiksi kaatopaikkakelpoiset pilaantuneet tai haitta-ainepitoiset maat, jätteenkäsittelyn alitteet ja jätejakeet. (InfraRYL 2018, luku 142521; SYKE 2008, s. 46-47)

2.5.2 Esipeitto- ja muotoilukerros

Jätetäyttö peitetään, kun se saavuttaa tavoitetason. Esipeittokerroksen tehtävänä on peittää jätetäyttö näkyvistä ja estää jätteiden leviäminen ympäristöön sekä toimia asennusalustana ylempien kerrosten rakentamiselle. Esipeittokerroksella voidaan parantaa jätetäytön kantavuutta. Esipeittokerroksen avulla muotoillaan jätetäytön pinta vedenjohtamisen, jälkikäytön ja stabiliteetin edellyttämään kaltevuuteen, joten sen paksuus voi vaihdella tarpeen mukaan. Vähimmäispaksuutena on usein 300 mm. ja vähintään kaksi kertaa käytettävän materiaalin maksimiraekoko. Yläpinnan kaltevuuden on oltava vesien johtamiseksi vähintään 1:20 kaikilla alueilla. Eroosio- ja stabiliteettikestävyyden kannalta maksimikaltevuus on tyypillisesti 1:3. (InfraRYL 2018 luku 142521; SYKE 2008, s. 46-47)

Esipeittokerrokselle ei ole esitetty Valtioneuvoston asetuksessa *331/2013* vaatimuksia. Esipeittokerroksessa voidaan käyttää kaatopaikkakelpoisuuden täyttäviä materiaaleja. Materiaalin on oltava helposti työstettävää. Se ei saa sisältää liian isoja rakeita, jotta se on muotoiltavissa oikeaan kaltevuuteen. Esipeittokerroksen materiaalivalinnassa tulee ottaa huomioon sen sopivuus kaasunkeräyskerroksen kanssa. Esipeitto- ja kaasunkeräyskerros voivat olla myös yksi ja sama kerros. Materiaali ei saisi olla vettä pidättävää, jotta se ei liety. Esipeittokerrokseen soveltuvia materiaaleja ovat esimerkiksi kaatopaikkakelpoisuuden täyttävät pilaantuneet tai haitta-ainepitoiset maat ja mineraaliset jätejakeet. (InfraRYL 2018 luku 142521; SYKE 2008, s. 46-47)

2.5.3 Kaasunkeräyskerros

Kaasunkeräyskerroksen tehtävä on kerätä kaatopaikkakaasut ja johtaa ne edelleen jatkokäsittelyä varten sekä toimia asennusalustana mineraalisen tiivistyskerroksen rakentamiselle. Kaasunkeräyskerros voi myös tasata jätetäytön painumia. Valtioneuvoston asetuksessa *331/2013* ei aseteta tarkempia vaatimuksia kaasunkeräyskerrokselle.

Suosittelun kerrospaksuus mineraalisesta materiaalista rakennetulle kaasunkeräyskerrokselle on vähintään 100 mm ja keräilyputkien kohdalla 300 mm. Kaasunkeräyskerroksessa käytetyn materiaalin tulee kestää kaatopaikkakaasun aiheuttama kemiallinen rasitus ja

olla kaasua johtavaa. Parhaiten kaasunkeräyskerrokseen soveltuvia materiaaleja ovat karkearakeiset materiaalit, joilla saavutetaan hyvä kantavuus. Käytetyn materiaalin vedenläpäisevyyden tulisi olla $k \geq 10^{-4}$ m/s. Materiaali ei saa sisältää hienoainesta ($< 0,063$ mm) yli 10 %. (InfraRYL 2018, luku 142522)

Kaasunkeräyskerroksessa voidaan käyttää esimerkiksi betonimursketta, tiilimursketta ja rakeisuudeltaan oikeanlaisia kaatopaikkakelpoisia pilaantuneita maita. Käytettyjen materiaalien tulee olla kaatopaikkakelpoisia. Kaasunkeräyskerroksessa käytetyn materiaalin ominaisuudet eivät saa muuttua pitkänkään ajan kuluessa ja sen täytyy olla yhteensopivaa muiden kerrosten materiaalien kanssa. Esimerkiksi käytettäessä bentoniittimattoa tiivistyskerroksessa asennusalustan maksimiraekoko murskatulla kiviaineksella on 16 mm ja luonnonkiviaineksella 32 mm. Jos kaasunkeräyskerros rakennetaan karkeampi-rakeisesta materiaalista, rakennetaan suojakerros bentoniittimattoa varten. (InfraRYL 2018, luku 142522)

Ennen rakentamista varmistetaan siitä, että rakenteeseen suunniteltu materiaali vastaa rakeisuudeltaan vaatimuksia. Rakeisuuden määrittäminen tehdään pesuseulonnalla standardin *SFS-EN 933-1* mukaisesti. Työn aikana rakeisuutta tarkkaillaan silmämääräisesti ja dokumentointi suoritetaan esimerkiksi valokuvaamalla. Kaasunkeräyskerroksen päällä käytetään tarvittaessa suodatinkangasta estämään mineraalisen tiivistyskerroksen materiaalin sekoittumista kaasunkeräyskerrokseen. (InfraRYL 2018, luku 142522)

Kaasunkeräyskerros rakennetaan tiivistetyn jätetäytön tai esipeittokerroksen päälle. Kaasunkeräyskerros voi toimia myös esipeittokerroksena. Ennen kaasunkeräyskerroksen rakentamista jätetäytön ja/tai esipeittokerroksen pinta mitataan ja tieto tallennetaan suunnitelma-asiakirjoihin. Valmiin kaasunkeräyskerroksen pinnan sijainti mitataan, jota vertaamalla ennen rakentamista tehtyyn vaaitukseen voidaan osoittaa toteutuneen rakenteen paksuus. Jätetäytön painumien takia paksuus on syytä varmistaa myös koekuopilla (InfraRYL 2018, luku 142522)

2.5.4 Mineraalinen tiivistyskerros

Mineraalisen tiivistyskerroksen tehtävä on estää pinta- ja sadevesien suotautuminen jätetäytön sekaan sekä estää kaasujen purkautuminen ilmakehään ja tehostaa kaasujen keräystä. Valtioneuvoston päätöksen *861/1997* tai nykyisen kaatopaikka-asetuksen vaatimustason mukaisen pohjarakenteen omaavilla kaatopaikoilla ohjeellinen vedenjohtavuus on $k \leq 10^{-9}$ m/s. *VNa 331/2013* mukaan mineraalisen tiivistyskerroksen vähimmäispaksuus on 500 mm. Tästä voidaan kuitenkin poiketa, jos luotettavasti osoitetaan ohuemman kerrospaksuuden riittävän. Tämä tulee kyseeseen lähinnä käytettäessä bentoniittimattoa. Tiivistyskerroksessa käytettävän materiaalin ominaisuudet eivät saa muuttua pitkänkään ajan kuluessa. Mineraalisen tiivistyskerroksen tulee kestää jätetäytön painumien aiheuttamat muodonmuutokset. Mineraalisessa tiivistyskerroksessa voidaan käyttää muun muassa bentoniittimattoa, moreenibentoniittia, savea tai kuitusavea. Kuitusaven

käyttöä voi rajoittaa vuonna 2016 voimaan astunut orgaanisen jätteen kaatopaikkakielto. (InfraRYL 2018, luku 142523; VNa 331/2013, Liite 1)

Mineraalisen tiivistyskerroksen on oltava epätasaisten painumien aiheuttamia muodonmuutoksia kestävä yhtenäinen rakenne. Käytettävillä materiaaleilla on oltava riittävän hyvät plastisuusomaisuudet. Käytettävän materiaalin tulee olla homogeenista. Tarvittaessa käytetty materiaali homogenisoidaan. Materiaalin maksimirakekokosuositus on 32 mm. Mineraalisessa tiivistyskerroksessa käytettävän materiaalin soveltuvuus selvitetään ennakkokokeilla ja jatkuvalla laadunvalvonnalla. (InfraRYL 2018, luku 142523; SYKE 2002, s. 66-71)

Ennen mineraalisen tiivistyskerroksen rakentamista mitataan sen alapuolisen pinnan sijainti, jotta rakentamisen jälkeen tehtävillä mittauksilla voidaan varmistua rakenteen pakkuudesta. Mittauksilla varmistetaan, että alusta täyttää kaltevuusvaatimukset. Mineraalisen tiivistyskerroksen rakentaminen aloitetaan rakentamalla koetivistysrakenne, jotta varmistutaan materiaalin vastaavan ennakkokokeiden tuloksia. Tarkemmin koetivistysrakenteesta ja mineraalisen tiivistyskerroksen laadunvarmistuksesta kerrotaan luvussa 3.6.2. (SYKE 2002, s. 73-74)

Mineraalisen tiivistysrakenteen tiivistämiseen on kiinnitettävä huomiota, sillä valmiin rakenteen vedenläpäisevyys riippuu tiivistymisen onnistumisesta. Mineraalisen tiivistysrakenteen materiaali on tiivistettävä kahdessa osassa, kun kerrospaksuus on ≥ 500 mm. Mineraalisen tiivistyskerroksen rakentamiseen vaikuttaa merkittävästi siinä käytetty materiaali. Mineraalisen tiivistyskerroksen rakentamista käsitellään materiaalikohtaisesti luvuissa 5.1-5.12.

Kaatopaikan luiskarakenteissa tulee kiinnittää erityistä huomiota mineraalisen tiivistysrakenteen eroosiokestävyyteen. Eroosiolla tarkoitetaan partikkelien kulkeutumista virtaavan veden vaikutuksesta. Eroosio voidaan jakaa kolmeen eri luokkaan:

- sisäinen eroosio: virtaava vesi kuljettaa maapartikkeleita maan sisäisiä huokosia pitkin
- ulkoinen eroosio: virtaava vesi kuljettaa maapartikkeleita maan pintaa pitkin
- kontaktieroosio: virtaava vesi kuljettaa partikkeleita kahden rakeisuudeltaan erilaisen materiaalin rajapinnassa. (SYKE 2002, s. 72-77)

Eroosiokestävyys otetaan huomioon jo suunnitteluvaiheessa materiaaleja ja luiskakaltevuuksia suunniteltaessa. Eroosiokestävyyteen voidaan vaikuttaa muun muassa materiaallivalinnoilla, luiskakaltevuuksilla ja kaatopaikan pinnan kasvillisuudella. Eroosiokestävyydellä on suora vaikutus rakenteiden pitkäaikaiskestävyyteen ja tätä kautta rakenteiden korjaus- ja huollon tarpeeseen. (SYKE 2002, s. 72-77)

2.5.5 Keinotekoinen eriste

Keinotekoisien eristeiden tehtävä on vähentää sadevesien suotautumista jätetäyttöön ja tehostaa kaasunkeräystä sekä estää kaasujen purkautuminen ilmakehään. Keinotekoinen eriste vaaditaan vaarallisen jätteen kaatopaikan pintarakenteessa, mutta tavanomaisella kaatopaikalla sitä ei edellytetä (VNa 331/2013, liite 1). Tiivistyskalvoa voidaan käyttää myös tavanomaisen jätteen kaatopaikalla esimerkiksi kaasunkeräilyn tehostamiseksi.

Valtioneuvoston asetuksen 331/2013 mukaan keinotekoinen eriste sijoitetaan kaasunkeräyskerroksen ja mineraalisen tiivistyskerroksen väliin. Tällöin keinotekoisien eristeiden tärkein tehtävä on tehostaa kaatopaikkakaasujen keräystä. Asennusjärjestystä voidaan kuitenkin muuttaa, sillä mineraalisen tiivistyskerroksen rakentaminen voi vaurioittaa kalvoa. Työn onnistumiseen vaikuttaa oleellisesti mineraalisessa tiivistyskerroksessa käytetty materiaali, joten sen valintaan tulee kiinnittää erityistä huomiota. Kalvon päällä ei saa liikkua työkoneilla ennen kuin sen päällä on riittävän paksu rakennekerros. InfraRYL (2018) ohjeistaa vähimmäiskerros-paksuudeksi 500 mm tela-alustaiselle työkoneelle ja vähintään 1000 mm pyöräalustaiselle työkoneelle tai raskaalle ajoneuvolle esimerkiksi dumpperille. Rakennettavuuden puolesta bentoniittimatto olisi järkevin vaihtoehto, mikäli mineraalinen tiivistyskerros rakennetaan keinotekoisien eristeiden päälle. Bentoniittimatto myös suojaa keinotekoista eristettä. (InfraRYL 2018, luku 142514; SYKE 2002, s. 61, 105)

Kalvon suojakerroksena voidaan käyttää myös suojageotekstiilejä. Suojageotekstiili on huopamainen materiaali, joka valmistetaan nimensä mukaisesti kalvoa suojaavaksi materiaaliksi. Kalvon suojakerros mitoitetaan kuvan 13 mukaisella sylinterikokeella standardin *SFS-EN 13257* mukaisesti. (InfraRYL 2018, luku 142514; SYKE 2002, s. 61, 105)

Keinotekoinen eriste suositellaan peitettäväksi välittömästi sen asentamisen jälkeen. Jos keinotekoista eristettä ei peitetä, on se tarpeen mukaan suojattava auringon UV-säteilyltä sekä termisiltä kuormituksilta. (SYKE 2002, s. 61-62)

Keinotekoinen eriste asennetaan tasaisen, sileän ja kallistuksiltaan oikeaan suuntaan olevan alustan päälle kaivinkoneeseen kiinnitetyn asennuspuomin avulla. Alusta ei saa sisältää irrallisia isoja tai teräväsärmäisiä rakeita, jotka voivat vaurioittaa kalvoa. Levityksen jälkeen kalvon saumat liitetään toisiinsa esimerkiksi hitsaamalla. Kuumakiilahitsausta käytetään liittämään pitkittäiset kalvot toisiinsa. Kuumakiilahitsauksessa hitsattujen kalvojen väliin jää ilmanava. (SYKE 2002, s. 100-104)



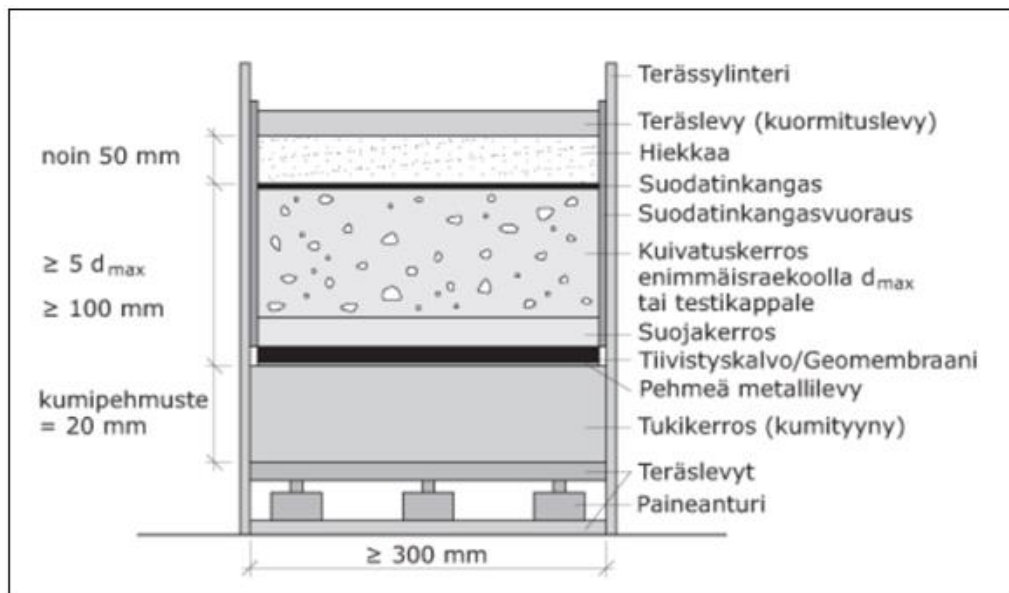
Kuva 9. Kuumakiilahitsaus (Ölly- ja biopolttoaineala ry 2016, s.29)

Kuumakiilahitsattujen saumojen tiiveys voidaan testata paineistamalla ilmakeanava. Ilmakeanava paineistetaan standardin *ASTM D5820* mukaisesti. Läpivientien kohdalla esivalmistetut läpivientielementit liitetään pursotehittamalla muuhun kalvoon.



Kuva 10. Pursotehitsauksella tehty läpiviennin sauma (Ölly- ja biopolttoaineala ry 2016, s. 30)

Pursotehitsauksella tehdyt saumat voidaan testata kipinäkokeella standardin *ASTM D6365* mukaisesti tai vakuumikuppikokeella standardin *ASTM D5641* mukaisesti. Tarkemmin tiivistyskalvojen laadunvarmistusta on käsitelty luvussa 3.6.3.



Kuva 11. Suojakerroksen mitoittamiseen käytettävän sylinterikokeen periaate (InfraRYL 2018, 142514:K1)

Kaatopaikan pintarakenteessa käytetyn keinotekoisien eristeen on kestävä epätasaisen painumisen aiheuttamat vetojännitykset ja sillä tulee olla riittävän hyvä kemiallinen kestävyys. Keinotekoisien eristeen ja muun materiaalin välisen kitkan on oltava riittävä luiskastabiliteetin kannalta. Kalvon ja maan välinen kitkakulma määritetään esimerkiksi rasialeikkauskokeella. Kalvon ja maan välisen kitkakulman tarkastelusta on kerrottu tarkemmin luvussa 2.3.2. (SYKE 2002, s. 61-62, 94)

Ennen rakenteessa käytettävän tiivistyskalvon hankintaa osoitetaan tämän kelpoisuusstandardin *SFS-EN 13493* mukaisella suoritustasoilmoituksella, CE-merkinnällä ja tuotetiedoilla. Tuotetiedoista on käytävä ilmi suunnitelma-asiakirjoissa tiivistyskalvolta vaadittavat ominaisuudet sekä kalvon valmistuksen aikaiset laadunvalvontakokeet ja niiden tulokset. Lisäksi on stabiliteettitarkasteluilla osoitettava riittävä luiskastabiliteetti rakennekerrosten rajapinnoissa myös työaikana. (InfraRYL 2018, luku 142524)

Kaatopaikan pintarakenteessa voidaan käyttää esimerkiksi LLDPE-, fPP- tai EPDM-kalvoja. Yleisemmin pintarakenteissa on käytetty kitkapinnoitettuja LLDPE-kalvoja (*linear low-density polyethylene*). LLDPE-kalvo on joustava ja se kestää hyvin jätettytön painumisesta aiheutuvia rakenteen muodonmuutoksia. LLDPE-kalvon kristallisoitumisaste on pieni verrattuna esimerkiksi kaatopaikan pohjarakenteissa yleisesti käytettyyn HDPE-kalvoon, joten se ei ole altis jännityssäröilylle. LLDPE-kalvolla on hyvä kemiallinen kestävyys useita kemikaaleja vastaan. Polyeteenikalvot ovat ei-polaarisia kalvoja ja läpäisevät diffuusion vaikutuksesta ei-polaarisia yhdisteitä. (McWatters 2010, s. 19; SYKE 2002, s. 83-87)

fPP-kalvot (*flexible polypropylene*) valmistetaan polymeroimalla eteenipropeenin ja polypropeenin. fPP-kalvolla on paljon hyviä ominaisuuksia, muun muassa hyvä UV-kestävyys, puhkaisulujuus, joustavuus sekä pieni kristallisoitumisaste. fPP-kalvot voidaan valmistaa esimerkiksi 20 metriä leveiksi kaistaleiksi ja taitella tehtaalla kuljetusta varten. Käyttämällä leveämpiä kaistaleita hitsattavien saumojen määrä vähenee, työn tehokkuus paranee ja virheiden määrä vähenee. (Scheirs 2009, s. 101-104)

EPDM- eli etyleenipropyleenidieenikumikalvot ovat erittäin joustavia ja mukautuvat helposti asennusalustaan riippumatta lämpötilasta. EPDM-kalvolla on hyvä UV-kestävyys. EPDM-kalvo ei ole kemiallisesti kestävä hiilivetyjä vastaan, joten kaatopaikkakaasujen sisältämä metaani voi vaikuttaa sen ominaisuuksiin. Mineraalisen tiivistyskerroksen päälle kalvo kuitenkin soveltuu käytettäväksi erinomaisesti. (Scheirs 2009, s. 149-150)

2.5.6 Kuivatuskerros

Kuivatuskerroksen tehtävänä on johtaa kerrokseen suotautuva sade- ja sulamisvesi pois ja alentaa siten tiivistysrakenteeseen kohdistuvaa hydraulista gradienttia eli vesipainetta sekä suojata mineraalista tiivistyskerrosta kasvien juurilta ja routimiselta. Valtioneuvoston asetuksessa *331/2013* on säädetty kuivatuskerroksen paksuudeksi vähintään 500 mm.

Suositus kuivatuskerroksen vedenläpäisevyydelle on $k \geq 10^{-3}$ m/s. Pintarakenteeseen ei kohdistu pysyvää vedenpainetta, joten pienempikin vedenläpäisevyys voi riittää. Asetuksessa säädetystä minimipaksuudesta tai vedenläpäisevyyden suosituksesta voidaan poiketa, mikäli vesitaselaskelmilla osoitetaan, että ohuemmallakin kerroksella tai heikommin vettä johtavalla materiaalilla saavutetaan riittävä kuivatus. Kuivatuskerroksen tehokkuuteen vaikuttavat materiaalin vedenjohtavuuden lisäksi pinnan kaltevuus ja yläpuolisten kerrosten vedenläpäisevyys. Kuivatuskerroksen vedenläpäisevyyden tehokkuutta tulee tarkastella aina tapauskohtaisesti. (InfraRYL 2018, luku 142525)

Kuivatuskerrokseen soveltuvia materiaaleja voivat olla esimerkiksi tiilimurske, betonimurske, kiviainekset, rengasleike ja salaojamatot. Kuivatuskerroksen päälle asennetaan tarvittaessa suodatinkangas estämään hienoaineksen sekoittumista kuivatuskerroksen materiaalin kanssa.

Kuivatuskerroksesta pois johdettavan veden laatua on tarkkailtava erityisesti, jos pintarakenteessa käytetään jätemateriaaleja. Jos pois johdettavan veden haitta-aineiden pitoisuudet edellyttävät, ohjataan vesi jatkokäsittelyyn.

2.5.7 Pintakerros

Pintakerroksen tehtävänä on suojata mineraalista tiivistyskerrosta routimiselta, kuivumiselta sekä vähentää veden suodautumista alempiin kerroksiin ja tarjota kasvillisuudelle kasvualusta. Pintakerros toteutetaan usein kahdessa osassa, joista päällimmäinen on kasvukerros. Tavallisesti kasvukerroksen eli ylemmän osan paksuus on noin 200-300 mm ja alemman osan eli niin sanotun pintakerroksen paksuus on noin 700-800 mm. Valtioneuvoston asetuksessa kaatopaikoista on säädetty pintakerroksen paksuudeksi vähintään yksi metri (331/2013). Pintakerroksen paksuudesta harvemmin voidaan poiketa, sillä muuten tiivistyskerroksen routasuojaus heikkenee, erityisesti jos kuivatuskerroksessa käytetään salaojamattoa. Jos alapuolisille rakenteille tarvitaan tehokkaampaa routasuojaa, pintakerroksen paksuutta voidaan tarpeen tullen kasvattaa. (InfraRYL 2018, luku 142526)

Stabiliteetti- ja pinnan liettymisongelmien vuoksi pintakerroksen materiaalin vedenläpäisevyys tulisi olla $k \geq 10^{-6}$ m/s ja hienoaineksen määrä ($< 0,063$ mm) alle 10 %. Materiaalin eroosiokestävyys arvioidaan rakeisuuskäyrän perusteella. Luiskissa käytettyjen materiaalien stabiliteetti tarkastellaan aina tapauskohtaisesti. (InfraRYL 2018, luku 142526)

Pintakerroksen materiaaliksi voivat soveltua esimerkiksi puhtaat ylijäämämaat ja ruoppausmassat ja erillisellä ympäristöviranomaisen hyväksynnällä haitta-ainepitoiset maat, joiden haitta-ainepitoisuudet ylittävät *VNa 221/2007:ssä* esitetyt kynnyсарvot, mutta alitavat alemmat ohjearvot ja joiden sisältämät haitta-aineet ovat niukkaliukoisia. Käytetyistä materiaaleista ei saa liueta aineita, jotka voivat vaurioittaa alapuolisia rakenteita.

Pintakerroksen materiaalien valinnassa on huomioitava alueen jälkikäytön asettamat vaatimukset. (InfraRYL 2018, luku 142526)

2.5.8 Kasvukerros

Kasvukerroksen tehtävä on muodostaa kasvualusta, joten sen tulee sisältää riittävä määrä orgaanista ainesta, jotta kasvillisuuden kasvulle on edellytykset. Kasvukerroksen paksuus riippuu alueen jälkikäytön vaatimuksista. Yleensä suositaan melko karua kasvualustaa. Materiaalin kelpoisuus kasvualustaksi voidaan osoittaa viljavuusanalyysillä. Kasvukerroksessa käytetyn materiaalin tulee olla eroosiokestävä. Kasvukerroksessa voidaan tarvittaessa käyttää eroosiosuojusmateriaaleja, kuten eroosiomattoja tai -kennostoa. Eroosiosuojusmateriaalien käyttäminen tulee kyseeseen etenkin jyrkissä ja/tai pitkissä luisissa. Kasvillisuudella on suuri vaikutus kaatopaikan pinnan eroosiokestävyyteen. Kasvillisuus myös lisää haihduntaa ja vähentää valuntaa ja maisemoi alueen. (InfraRYL 2018, luku 142527)

Kasvillisuuden valinnassa tulee kiinnittää huomiota juurien tunkeutumissyvyyteen. Kaatopaikan pintarakenteeseen on hyvä valita kasveja, joilla on pieni juurisyyvyys. Kasvillisuuden juuret eivät saa missään tapauksessa tunkeutua tiivistysrakenteeseen asti. Kasvillisuuden valintaan vaikuttaa esteettisyys ja suunniteltu jälkikäyttö. Tarvittaessa juurien tunkeutuminen estetään esimerkiksi siihen tarkoitetuilla geotekstiileillä. (InfraRYL 2018, luku 142527)

Pintavalumavesien laatua on tarvittaessa tarkkailtava. Jos pintavesien haitta-aineiden pitoisuudet edellyttävät, ohjataan vesi jatkokäsittelyyn. Jos kasvukerroksessa käytetään materiaalia, josta voi liueta ravinteita, on alkuvuosina syytä varautua korkeisiin ravinnepitoisuuksiin pintavesissä. (InfraRYL 2018, luku 142527)

3. KAATOPAIKAN PINTARAKENTEEN RAKENTAMISEN ERITYISPIIRTEITÄ

3.1 Hankkeen osapuolet

Kaatopaikan sulkemishankkeen toteutusorganisaatio koostuu rakennuttajasta, urakoitsijasta, suunnittelijasta, riippumattomasta laadunvalvojasta, lupa- ja valvontaviranomaisesta sekä mahdollisesta rakennuttajan valvojasta tai rakennuttajakonsultista. Jokaiseen hankkeeseen nimetään myös turvallisuuskoordinaattori (VNa 205/2009, 5 §). Hankkeesta riippuen organisaatiossa voi olla mukana myös kunnan ympäristöviranomainen.

Riippumaton laadunvalvoja on viranomaisen hyväksymä asiantuntija, jonka asiantuntemus on tunnustettu. Riippumaton laadunvalvoja ei yleensä saa olla kohteen suunnittelija tai toteuttaja. Riippumattoman laadunvalvojan tehtävänä on tarkistaa suunnitelmat ja materiaalit sekä valvoa urakoitsijan laadunvarmistusta ja tehdä tai teettää tarvittaessa omia laadunvarmistuskokeita. Riippumattoman laadunvalvoja tarkastaa urakoitsijan työvaihekohtaiset työsuunnitelmat ja laadunvalvontasuunnitelmat sekä loppuraportin. Riippumaton laadunvalvoja laatii urakoitsijan loppuraportin ja omien laadunvalvontatoimenpiteidensä ja havaintojensa perusteella lausunnon toteutettujen rakenteiden suunnitelmien mukaisuudesta ja ympäristöluvanmukaisuudesta. Riippumattoman laadunvalvojan vastuulla on huomauttaa urakoitsijan tekemistä työvirheistä tai puutteista sekä laadunvalvontasuunnitelman noudattamatta jättämisestä. Riippumaton laadunvalvoja on sopimussuhteessa rakennuttajaan ja raportoi valvontaviranomaiselle. (SYKE 2002, s. 112; SYKE 2008, s. 93-94)

''Rakennuttaja on luonnollinen tai juridinen henkilö, jonka lukuun rakennustyö tehdään ja joka viime kädessä vastaanottaa työntuloksen'' (RT 16-10660 1998). **Rakennuttaja** eli kaatopaikan pitäjä ja kaatopaikan ympäristöluvan haltija vastaa suunnittelusta ja rakennustöistä. Ympäristöluvan ehdoissa asetetaan usein vaatimuksia rakennekerroksien paksuuksille ja luiskakaltevuuksille. Rakennuttajan vastuulla on luvanhaltijana osoittaa, että rakenteet on toteutettu ympäristöluvan mukaisesti. Jos rakennuttaja toimittaa pintarakenteissa käytettäviä materiaaleja, hän vastaa materiaalin kelpoisuudesta ja tasalaatuisuudesta. Rakennuttajan velvollisuutena on myös omalta osaltaan huolehtia siitä, että riippumattomalla laadunvalvojalla on käytössään rakennustyönaikaisen laadunvalvontamittauksen raportit. Rakennuttaja on vastuussa kaatopaikan jälkihoidosta ja seurannasta. (SYKE 2002, s. 113; SYKE 2008, s. 93)

''Pääurakoitsija on rakennuttajaan sopimussuhteessa oleva urakoitsija, joka kaupallisissa asiakirjoissa on nimetty pääurakoitsijaksi ja jolle sopimuksenmukaisessa laajuudessa kuuluvat työmaan johtovelvollisuudet'' (RT 16-10660 1998). **Urakoitsija** toteuttaa

rakennuttajan kanssa solmitun urakkasopimuksen mukaisen urakan. Urakoitsija vastaa suunnitelmien noudattamisesta rakennuttajalle, valvontaviranomaiselle sekä riippumattomalle laadunvalvojalle. Rakennuttaja voi jakaa kaatopaikan pintarakenteiden rakentamisen useampaan sivu-urakkaan. Tällöin sivu-urakoitsijat ovat sopimussuhteessa rakennuttajaan, mutta usein alistetaan pääurakoitsijan toimivallan alle. Urakoitsija vastaa aina myös aliurakoitsijoidensa tekemistä töistä. Urakoitsija laatii suunnitelmien perusteella laatusuunnitelman, jossa kuvataan urakoitsijan organisaatio ja vastuuhenkilöt, käytettävät työtavat, materiaalit ja laadunvalvontatoimenpiteet. (SYKE 2008, s. 93)

Suunnittelija vastaa käytettävien materiaalien yhteensopivuudesta sekä toteutusasiakirjojen laatimisesta. Suunnittelija määrittelee toteutusasiakirjoissa rakennustöiden, rakenteiden ja materiaalien laatuvaatimukset sekä kelpoisuuden osoittamisessa käytettävät menetelmät. Suunnittelijan vastuulla on rakenteiden laskennallinen mitoitus. Mahdolliset työnaikaiset muutokset tulee hyväksyttää suunnittelijalla. (SYKE 2008, s. 93)

Lupaviranomainen käsittelee ympäristölupahakemuksen. Lupaviranomainen varmistaa, että edellytykset ympäristöluvan myöntämiselle täyttyvät. Kaatopaikkojen ympäristöluvat käsittelee alueellinen hallintovirasto AVI. **Valvontaviranomainen** tarkastaa ja hyväksyy suunnitelmat ja niihin liittyvät muutokset sekä käytettävät materiaalit riippumattoman laadunvalvojan hyväksynnän perusteella. Merkittävät suunnitelmamuutokset on hyväksyttävä valvontaviranomaisella. Valvontaviranomainen valvoo, että tehtävä rakennustyö on ympäristöluvan ja lainvoimainen. Valvontaviranomainen antaa käyttöönottoluvan riippumattoman laadunvalvojan laatiman lausunnon perusteella. (SYKE 2008, s. 93-94)

Kaatopaikkarakentaminen tulee tehdä ympäristölupaehtojen mukaisesti. Kelpoisuuden osoittaminen edellyttää kattavaa laadunvalvontaa, eikä lupaehtoisissa esitetystä vaatimuksesta voida tinkiä. Jos rakennustyönaikana huomataan virhe, se on korjattava vastaamaan suunnitelmia. Tavanomaiseen rakennusurakkaan verrattuna kaatopaikkarakentamisessa ei täten voida käyttää arvonalennuksia alituksia havaittaessa. (Leppänen 2018)

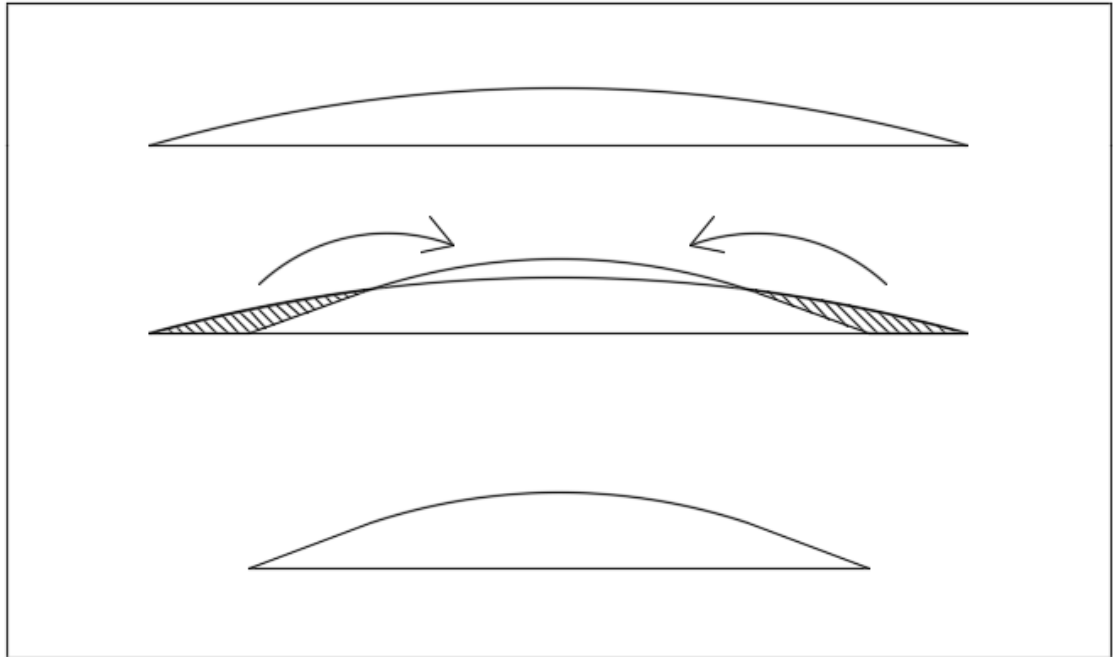
3.2 Jätetäytön muotoilu

Yhdyskuntajätteen kaatopaikan jätetäyttö on hyvin heterogeeninen ja sen koostumusta on mahdotonta tarkkaan tuntea. Pintarakenteiden rakentamisen edellyttämän tasaisen pinnan muotoilu on haastavaa, jos muotoiltava jätetäyttö on sekalaatuista ja sisältää isoja kappaleita. Jos tällaista jätetäyttöä on tarpeen muotoilla, paikoitellen kaivu voi ryöstää jätetäyttöä huomattavasti enemmänkin.

Jätetäyttö on muotoiltava siten, että pinnan kallistukset ovat riittävän suuret pintavesien poisjohtamiseksi. Toisaalta kallistusten on oltava riittävät pienet, jotta kaatopaikalla on riittävän suuri stabiliteetti. Jätetäytön muotoilussa on tärkeätä huomioida myös painumat. Koska jätettä on enemmän kaatopaikan laella, niin jätetäyttö todennäköisemmin painuu

tältä osin enemmän kuin reuna-alueilta. Luvussa 3.3 kerrotaan tarkemmin jätetäytön painumisesta ja sen seurannasta. (SYKE 2002, s. 60)

Joissain tapauksissa voi olla järkevää pienentää jätetäytön pinta-alaa esimerkiksi siirtämällä matalan jätetäytön osuus kaatopaikan laelle (kuva 12). Tällä voidaan säästää huomattavia määriä rakenteissa käytettäviä materiaaleja ja jätetäytön muotoiluun tarvittavia massoja.



Kuva 12. Rakennettavan pinta-alan optimointi

Jätetäytön muotoilussa tulee huomioida työturvallisuus ja mahdollinen hajuhaitta sekä haittaeläimet. Jätetäytön muotoilulla ei saa aiheuttaa vaaraa jätepenkereen stabiliteetille. Uusi jätetäyttö pitää tiivistää huolellisesti ja varmistua, ettei jätetäytön korkeuden kasvattaminen aiheuta stabiliteetin menetystä.

3.3 Jätetäyttö rakennus- alustana

Jätetäyttö rakennus- alustana asettaa pintarakenteen rakentamiselle haasteita. Jätetäytön epätasainen painuminen aiheuttaa yläpuoliseen rakenteeseen vetojännityksiä, jotka aiheuttavat rakenteiden halkeilua ja siirtymiä. Painumien ennustaminen on haasteellista etenkin, jos ei ole varmuutta kaatopaikalle sijoitetun jätteen laadusta tai jätetäytön käytön aikaisesta tiivistämisestä.

Epätasaisten painumien aiheuttamia vaurioita pintarakenteille voidaan vähentää vaiheistamalla pintarakenteen rakentaminen. Tällä tarkoitetaan sitä, että ei heti rakenneta val-

mista pintarakennetta jätetäytön saavuttaessa tavoitetason, vaan annetaan jätetäytön painua ja rakennetaan kohdan 2.5.1 mukainen väliaikainen peittorakenne. Jätetäytön päätyttyä on yleensä rakennettava vähintään esipeittokerros ja aloitettava mahdollinen kaasun talteenotto ja hyödyntäminen tai käsittely. (SYKE 2008, s. 89-90)

Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista edellyttää seuraamaan jätetäytön painumista täytön ja kaatopaikan jälkihoidon aikana (VNa 331/2013, 42 §). Painumia voidaan seurata esimerkiksi painumalevyillä. Painumien seuraaminen on aloitettava mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jotta arvioitaessa kokonaispainumia saadaan tarkempi kuva siitä, kuinka paljon painumasta on jäljellä. Painumien tarkastelussa on huomioitava maapohjan mahdolliset painumat sekä jätepenkereen painumat. Suunnittelija voi määrittää tavoitearvon kokonaispainumalle tai vuodessa tapahtuvalle painumalle, jonka jälkeen arvioidaan, että pintarakenteelle haitalliset painumat ovat tapahtuneet. Kun haitallisia painumia ei arvioida enää tapahtuvan, varsinaisten pintarakennekerrosten rakentaminen voidaan aloittaa. (SYKE 2008, s. 41, 89-90)

Ennen pintarakenteiden rakentamista jätetäytön pinta muotoillaan ja tarvittaessa tiivistetään raskaalla kaatopaikkajyrällä. Jätetäytön pinnan tiivistämisellä ennen pintarakenteiden rakentamista varmistutaan jätetäytön pinnan tiiviyydestä sekä parannetaan jätetäytön kantavuutta. (SYKE 2008, s. 89-90)

3.4 Työturvallisuus

Kaikissa rakennustöissä kuten myös kaatopaikkarakentamisessa noudatetaan Valtioneuvoston asetusta rakennustöiden turvallisuudesta 205/2009 sekä Työturvallisuuslakia 738/2002. Ennen rakennustöiden aloittamista rakennuttajan on laadittava turvallisuusasiakirja, jossa on *''selvitettävä ja esitettävä toteuttavan rakennushankkeen ominaisuuksista, olosuhteista ja luonteesta aiheutuvat vaara- ja haittatekijät sekä rakennushankkeen toteuttamiseen liittyvät työturvallisuutta ja työterveyttä koskevat tiedot; tällöin on selvitettävä ja tunnistettava myös vaara ja haittatekijät, jotka koskevat liitteessä 3 tarkoitettuja töitä; sekä otettava huomioon työmaahan liittyvä teollinen tai muu siihen rinnastettava toiminta''* (VNa 205/2009, 8 §).

Urakoitsija laatii työturvallisuutta koskevat kirjalliset suunnitelmat. Urakoitsijan on esitettävä suunnitelmissa, miten työt toteutetaan mahdollisimman turvallisesti siten, että niistä ei aiheudu vaaraa työntekijöille tai muille työn vaikutuspiirissä oleville. Urakoitsija laatii erilliset suunnitelmat vaarallisten töiden suorittamisesta (VNa 205/2009, 10 §, liite 2). Kaatopaikan pintarakenteiden rakentamisessa vaarallisia töitä ovat tyypillisesti:

- työt, joissa voi altistua jätetäytön ja suotoveden tai rakenteissa hyötykäytettävien jätemateriaalien haitta-aineille
- räjähdysvaaralliset työt
- nosto- ja siirtotyöt

- kaivannot
- työt luiskissa
- työt tie- ja katualueilla.

Jätetäytön kaivuutöissä on riski altistua jätetäytön ja suotovesien haitta-aineille ja kaatopaikkakaasuille. Altistuminen voi tapahtua hengityksen tai ihokosketuksen kautta. Jätetäyttöön ulottuvissa kaivannoissa voi esiintyä kaatopaikkakaasuja ja hapettomuutta. Kaikki kaatopaikkakaasut ovat ihmisen terveydelle vaarallisia tietyissä pitoisuuksissa. Metaani on hajuton, väritön ja ilmaa kevyempi kaasu, joka muodostaa ilman kanssa räjähdysherkän seoksen, mikä voi aiheuttaa vaaratilanteita. (SYKE 2008, s.134)

Jätetäytön kaivuutöissä kaatopaikkakaasujen pitoisuuksia on seurattava esimerkiksi monikaasumittareilla, jotka hälyttävät havaitessaan vaarallisia pitoisuuksia kaasuja. Ennen kaivuutöiden aloittamista urakoitsijan tulee olla tietoinen kaatopaikan tilasta, kaatopaikkakaasujen muodostumisesta ja jätetäytön laadusta. Jätetäytön turhaa käsittelyä tulee aina välttää. Jätetäyttöön tehdyissä kaivannoissa voi muodostua liian alhainen happipitoisuus, joten työtä ei saa tehdä yksin.

Jätetäytöstä voi terveydelle vaarallisten kaasujen lisäksi vapautua erilaisia mikrobeja ja toksiineja. Erityisen vaarallista terveydelle voi olla kaatopaikkapalo, joka saattaa syttyä kaivutöiden aikana. (SYKE 2008, s.13)

Työkoneiden työalueella ei saa oleskella henkilöitä vaaranalaisissa paikoissa. Vaarallisia tilanteita voivat aiheuttaa peruuttavat maarakennuskoneet sekä maanrakennuskoneiden niin sanotuissa kuolleissa kulmissa olevat henkilöt. Peruuttavien työkoneiden ja ajoneuvojen aiheuttamaa vaaraa voidaan torjua muun muassa peruutushälyttimillä tai rajaamalla vaarallinen työalue ulkopuolisilta henkilöiltä. Kun työskennellään raskailla työkoneilla luiskien läheisyydessä, on huomioitava maapohjan kantavuus sekä kaivannon tai penkeen korkeus ja stabiliteetti. Kun maarakennuskoneella tehdään nostotöitä, on varmistuttava siitä, että vaarallisella alueella ei ole henkilöitä ja käytettävät nostolaitteet ovat asianmukaisia ja tarkoitukseen sopivia. (VNa 205/2009, 35 §)

Jos luiskiin asennetaan geosynteettisiä tuotteita, työturvallisuuteen tulee kiinnittää erityistä huomiota. Geosynteettiset tuotteet on pakattu rulliin. Rullien nostaminen kuormia purettaessa ja rullia siirrettäessä tehdään materiaalitoimittajan ohjeiden mukaisesti. Rullissa kuormien purkamista varten olevien liinojen tulee olla tarkistettuja ja riittävän leveitä, etteivät aiheuta rullaan vaurioita. Monet geosynteettiset tuotteet, kuten tiivistyskalvot muodostavat liukkaan ja vaarallisen pinnan liikkuu. Työturvallisuutta voidaan parantaa käyttämällä esimerkiksi kitkapinnoitettuja geosynteettisiä tuotteita. Vapaasti luiskassa vyörymään päässyt rulla tai pyörivät kivet voivat aiheuttaa vaaratilanteita. Rullia ei saa varastoida luiskan yläosassa eikä käyttää työnaikaisina painoina luiskassa. (InfraRYL 2018, luvut 142523 ja 142524)

Jätetäyttö tai kaatopaikan esipeitossa tai pintarakenteissa käytettävät jättemateriaalit saattavat sisältää teräviä esineitä, esimerkiksi lasia ja metallia, jotka voivat viiltää aiheuttaen avohaavan. Tältä voidaan suojautua käyttämällä yleisiä rakennustyömaalla käytettäviä suojaruosteita, kuten naulaan astumiselta suojaavia turvakenkiä, viilloilta suojaavia käsiineitä ja suojalaseja.

Kaatopaikka houkuttelee kaikenlaisia ja kokoisia eläimiä. Yleisempiä vaaraa aiheuttavia tilanteita aiheuttavat käärmeet ja parveilevat linnut. Kaatopaikat tarjoavat käärmeille suotuisat olosuhteet. Peittämätön orgaaninen jäte houkuttelee lintuja ja jyrsijöitä. Kaatopaikat ovat yleensä syrjässä ja metsän ympäröiviä. Jos kaatopaikka-alue ei ole aidattu tai aitauksessa on reikä, on mahdollista, että kaatopaikalle saattaa eksyä jäniksiä, hirviä tai muita metsän eläimiä.

3.5 Sään vaikutus rakentamiseen

Vallitsevat sääolosuhteet vaikuttavat merkittävästi kaatopaikan pintarakenteen rakentamiseen. Kaatopaikan pintarakenteiden rakentaminen kannattaa ajoittaa keväälle siten, että tarvittavat työt saadaan tehtyä ennen talvikautta. Geosynteettiset tuotteet ja mineraalisen tiivistyskerroksen materiaalit ovat lähes aina sääherkkiä. Kaatopaikan pintarakenteen rakennustyöt aikataulutetaan siten, että valmis tiivistysrakenne ehditään suojata jäätymiseltä. (SYKE 2002, s. 79)

Mineraalisen tiivistyskerroksen rakentamisen aikana vallitsevan lämpötilan on oltava + 5 °C. Käsiteltävä materiaali ei saa päästä jäätymään eikä se saa sisältää lunta tai jäätä. Mineraalisessa tiivistyskerroksessa käytettävän materiaalin optimivesipitoisuus ylittyy herkästi sadekelillä. Tarvittaessa mineraalisen tiivistyskerroksen rakentaminen keskeytetään. (SYKE 2002, s. 79)

Mineraalinen tiivistyskerros on suojattava eroosiolta ja jäätymiseltä rakentamisen jälkeen. Mineraalinen tiivistyskerros ei saa kuivua liikaa. Kuivumisen seurauksesta käytetyn materiaalin vesipitoisuus pienenee, materiaali kutistuu ja muodostuu halkeilua. Kuivumista voivat aiheuttaa tuuli ja auringonpaiste. Toisaalta taas vesipitoisuuden suuri kasvu aiheuttaa tiivistyskerroksen pinnan liettymistä. Ennen tiivistyskerroksen peittämistä liettynyt pinta poistetaan ja korvataan tarvittaessa uudella materiaalilla. Jos valmista rakennetta ei voida peittää välittömästi rakentamisen jälkeen, on se suojattava esimerkiksi kevytpeitein tai pakkasmatoilla. Myös varastokasoissa säilytettävä materiaali suojataan tai vaihtoehtoisesti ennen materiaalin käyttämistä rakenteeseen vaurioitunut pinta poistetaan. (SYKE 2002, s. 79)

Bentoniittimatot on asennettava kuivana ja sateettomana aikana. Kuormittamaton bentoniittimatto suojataan kastumiselta (InfraRYL 2018, luku 142523)

Tiivistyskalvojen asentamiseen vaikuttavat merkittävästi sääolosuhteet. Kalvoa ei voida hitsata sateella, alle +5 °C asteen lämpötilassa tai voimakkaassa tuulessa. Kalvon asentaminen alle +5 °C asteen lämpötilassa edellyttää erillistä asennussuunnitelmaa (InfraRYL 2018, luku 142524). Hitsattavien saumojen tulee olla kuivia ja puhtaita. Hitsauslaitteen parametrit säädetään aina tapauskohtaisesti vallitsevan säätilan mukaan. Tuuli on tiivistyskalvojen asentamista haittaava tekijä. Tuulen aiheuttama noste pyrkii nostamaan tiivistyskalvoja ylös asennusalustasta. Voimakas tuuli lennättää myös likaa ja pölyä hitsattaviin saumoihin, mikä vaikeuttaa kalvojen asennustyötä. Levitetyn kalvon päälle tulisi laittaa painot, jotka pitävät kalvoja paikallaan. Painoiksi soveltuvat esimerkiksi hiekkasäkit. Painoina ei saa käyttää teräväreunaisia esineitä tai asioita, jotka voivat vaurioittaa kalvoa. (SYKE 2002, s. 100-108)

3.6 Laadunvarmistus

3.6.1 Laadunvalvonnan osapuolet ja suunnittelu

Kaatopaikkarakenteet ovat vaativia rakenteita, joiden suunnittelu ja rakentaminen vaativat erityisosaamista. Kaatopaikkarakenteen suunnittelun ja rakentamisen laadunvalvontaan osallistuvat kaikki toteutuksen osapuolet eli rakennuttaja, rakennuttajakonsultti ja rakennuttajan valvoja, urakoitsija ja riippumaton laadunvalvoja sekä valvova ympäristöviranomaisen. (SYKE 2002, s. 114)

Suunnittelija laatii työselostuksen, jossa esitetään rakenteiden ja käytettävien materiaalin laatuvaatimukset sallittuine vaihteluväleineen, laadunvalvontamenetelmät ja testaustiheddet sekä kuvataan käytettävä rakennustapa, jolla saavutetaan kohteen ympäristöluvan vaatimukset. Urakoitsija laatii työselostuksen ja valittujen materiaalien pohjalta työvaihekuvauksen ja rakennusvaiheen aikaisen laadunvarmistussuunnitelman, jonka riippumaton laadunvalvoja tarkastaa ja valvova ympäristöviranomaisen hyväksyy. Riippumattoman laadunvalvojan tehtävänä on valvoa, että hankkeen toteuttava osapuoli noudattaa laadunvarmistussuunnitelmaa. Laadunvarmistussuunnitelman tulee sisältää:

- rakennustöiden valvojien vastuut ja tehtävät
- rakennekerroksissa käytettävät materiaalit ja niiden hyväksyttämiseen tarvittavat tiedot, kuten vaaditut ominaisuudet ja mitoituslaskelmat
- työtapakuvaukset kuten tiivistyskerroksen tiivistysmenetelmät
- laadunvalvontakokeiden menetelmät ja mittaustiheddet materiaalien valinnassa, työn aikana ja valmiin rakenteen seurannassa
- mittaustulosten vaatimukset ja toleranssit. (SYKE 2002, s. 114)

Laadunvalvontakokeita tekevät urakoitsija ja riippumaton laadunvalvoja. Valvova viranomaisen voi vaatia myös satunnaisia tutkimuksia. Laadunvalvontakokeista vastuussa olevilla tahoilla tulee olla riittävä geotekninen pätevyys sekä kokemusta geoteknisesti vaativien kohteiden rakentamisesta. (SYKE 2002, s. 114)

Kaatopaikan pintarakenteelle ympäristöluvassa asetettuja laatuvaatimuksia ei saa alittaa. Puutteellinen rakenne on poistettava ja korvattava tai alitus on korjattava riippumattoman laadunvalvojan ja valvovan ympäristöviranomaisen hyväksymällä tavalla. Jos materiaalia todetaan olevan paikallisesti liian ohut kerros, rakennetta paksunnetaan. (SYKE 2002, s. 116)

3.6.2 Mineraalisen tiivistyskerroksen laadunvarmennus

Mineraalisen tiivistyskerroksen laadunvalvonta muodostuu kolmesta osasta:

- 1) ennakkokokeet,
- 2) koetiivistyskenttä ja
- 3) rakentamisen aikainen laadunvalvonta.

Bentoniittimatolla vastaavasti osoitetaan kelpoisuus tuotetiedoilla ja suoritustasoilmoituksella, vaatimustenmukaisuus työmaalle toimitetun erän valmistuksen aikaisilla laadunvalvontatiedoilla ja rakentamisen laatu työvaihekohtaisella aloituskatselmuksella ja rakentamisen aikaisella työsuorituksen laadunvalvonnalla (InfraRYL 2018, luku 142523)

Ennakkokokeilla määritetään rakenteeseen käytettävän materiaalin tekniset ominaisuudet ja osoitetaan sen kelpoisuus tiivistyskerrokseen. Ennakkokokeiden testitulosten ominaisuuksien vaihteluväli tulee dokumentoida ja ottaa huomioon suunnittelussa. Ne muodostavat myös pohjan työnaikaiselle laadunvalvonnalle. Ennakkokokeiden tuloksia verrataan työselostuksessa ja laadunvarmistussuunnitelmassa esitettyihin vaatimuksiin. Ennakkokokeilla tiivistyskerroksessa käytettävästä hienorakeisesta luonnon-materiaalista kuten savesta testattavat ominaisuudet ja näiden ohjeelliset arvot on esitetty taulukossa 4. (InfraRYL 2018, s. 3; SYKE 2002, s. 66-67)

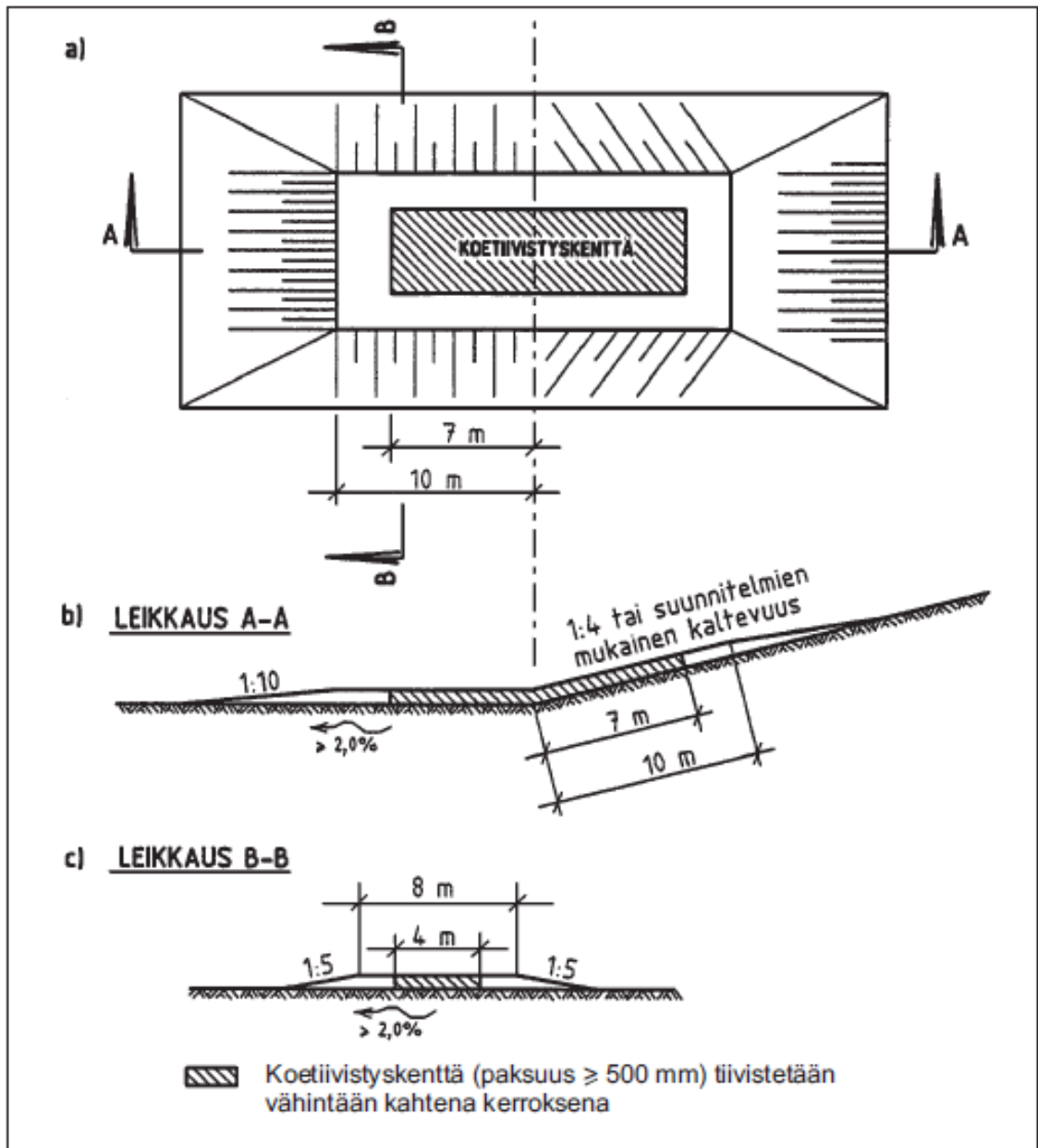
Taulukko 4. Pintarakenteen tiivistyskerroksessa käytettävän hienorakeisen luonnonmaan kelpoisuuden osoittaminen (InfraRYL, 2018, 142523:TI)

Ominaisuus	Parametri	Menetelmä	Ohjeellinen arvo
Materiaalin tasalaa-tuisuus	Rakeisuus	Pesuseulonta ja areometri <i>SFS-EN ISO 17892-4</i>	$D_{\max} < 4$ mm, jos päälle tulee tiivistyskalvo
	Hienoainespitoisuus		> 20 %
	Savipitoisuus ja sen vaihtelualue	Areometri/Sedigraph <i>SFS-EN ISO 17892-4</i>	≥ 5 %
	Vesipitoisuus ja sen vaihtelualue	Uunikuivaus <i>SFS-EN ISO 17892-1</i>	kieritysraja $\leq w <$ juoksuraja
	Humuspitoisuus	Polttomenetelmä 800 °C, <i>GLO-85</i>	< 2 %
Konsistenssirajat	Kieritysraja ja juoksuraja	Kierityskoe ja koputuskoe <i>CEN ISO/TS 17892-12</i> tai hienousluku <i>SFS-EN ISO 17892-6</i>	
Vallitsevassa vesipitoisuudessa saavutettava tilavuuspaino	Saavutettavissa oleva kuivatilavuuspaino	kierottiivistyslaite tai vakiotyömäärä esim. standardi tai parannettu Proctor-työmäärä <i>SFS-EN 13286-2</i>	
Vedenläpäisevyys vedellä kyllästettynä	Vedenläpäisevyyskerroin k	Vedenläpäisevyyskoe vakiopainekokeena kolmiaksisiaalisellissä <i>ASTM D5084, CEN ISO/TS 17892-11</i> tai vastaava, CRS-ödometrikoe	$\leq 1 \cdot 10^{-9}$ m/s (tai suunnitelma-asiakirjojen mukainen)

Taulukossa 4 mainittujen ominaisuuksien lisäksi selvitetään vesipitoisuuden vaihtelun vaikutus saavutettavaan tilavuuspainoon ja vedenläpäisevyystasoon sekä erityisesti luisissa myös materiaalin lujuus tavoitetilavuuspainoon tiivistettynä. Jos materiaalin luonnotilainen vesipitoisuus on korkea, selvitetään myös kokoonpuristumisen ja kuivumisen vaikutukset. (InfraRYL 2018, luku 142523)

Mineraalisen tiivistyskerroksen rakentaminen aloitetaan rakentamalla koetiivistysrakente, jotta varmistutaan materiaalin vastaavan ennakkokokeiden tuloksia. Koetiivistysrakenteen tarkoituksena on myös varmistaa, että valituilla työmenetelmillä ja käytävissä olevalla kalustolla saavutetaan vaadittu alhainen vedenläpäisevyys. Koetiivistysrakenteen koko määritetään tapauskohtaisesti käytettävän kaluston mukaan. Jos suljettava kaatopaikka sisältää 1:4 jyrkempiä luiskia, tulee rakentaa näitä vastaava koetiivistysra-

kenne. Koetiivistysrakenne voi olla osa varsinaista tiivistyskerrosta, mutta sitä ei kuitenkaan suositella. Esimerkki koetiivistyskentästä on esitetty kuvassa 13. (SYKE 2002, s. 73, InfraRYL 2018, luku 142523.3)



Kuva 13. Esimerkki koetiivistyskentästä (SYKE 2002, s. 74)

Taulukossa 5 on esitetty hienorakeisesta luonnonmaata rakennettavan mineraalisen tiivistyskerroksen koetiivistyskentästä tehtävät laadunvalvontamittaukset, vaatimukset ja testaustiheydet. Riippuen käytetystä materiaalista, koetiivistysrakenteelle tehdään myös materiaalikohtaisia laadunvalvontamittauksia. (SYKE 2002, s. 74)

Taulukko 5. Pintarakenteen hienorakeista luonnonmaasta rakennettavan mineraalisen tiivistyskerroksen koetiivistysrakenteesta tehtävät laadunvalvontamittaukset, vaatimukset ja testaustiheydet (InfraRYL 2018, 142523:T9)

Parametri	Menetelmä	Vaatus	Testaustiheys
Rakeisuus ja savipitoisuus	Seulonta ja/tai areometri/sedigraph SFS-EN ISO 17892-4	Hyväksyttävällä vaihtelualueella	Vähintään 3 kpl
Vesipitoisuus	Troxler tai vastaava, joka 3. varmistus uunikuivauksella SFS-EN ISO 17892-1	Hyväksyttävällä vaihtelualueella	Vähintään 3 kpl kahdelta syvyydeltä/tiivistystyömäärä
Kierityusraja	Kierityskoe CEN ISO/TS 17892-12	Ennakkokokeiden mukainen	Vähintään 3 kpl
Märkä- ja kuivatilavuuspaino	Troxler tai vastaava ja vesi- tai hiekkavolumetri	Hyväksyttävällä vaihtelualueella	Vähintään 3 kpl kahdelta syvyydeltä/tiivistystyömäärä, Vähintään 3 rinnakkaista mittausta troxlerilla ja volymetrillä
Vedenläpäisevyys	Vedenläpäisevyyskoe ASTM D5084, CEN ISO/TS 17892-11 tai vastaava	$\leq 1 \cdot 10^{-9}$ m/s tai suunnitelma-asiakirjojen mukainen	Vähintään 2 rinnakkaista koekappaletta koetiivistysrakenteessa saavutetussa kuivatilavuuspainossa
Pinnan tasaisuus	Visuaalinen tarkastus tai oikolauta	± 20 mm, ei kuoppia eikä kohoumia, ei valssin- eikä renkaan jälkiä	Jatkuva
Pinnan sijainti	Takymetri, tarkkuus-GPS	Suunnitelmien mukainen	10 m x 10 m ruutuun
Rakenteen paksuus	Takymetri, tarkkuus-GPS	≥ 500 mm tai suunnitelma-asiakirjojen mukainen	10 m x 10 m ruutuun
Kantavuus (jos edellytetään suunnitelma-asiakirjoissa)	Levykuormituskoe	Suunnitelma-asiakirjojen mukainen	Vähintään 3 kpl

Mineraalisen tiivistyskerroksen on oltava tasainen ja kaltevuudeltaan suunnitelmien mukainen. Ennen varsinaisen mineraalisen tiivistyskerroksen rakentamista muotoiltu alusrakenne mitataan, jotta rakentamisen jälkeen tehtävillä mittauksilla voidaan varmistua rakenteen paksuudesta. Sijaintimittauksilla myös osoitetaan, että alusrakenne täyttää kaltevuusvaatimukset. Alusrakenteen on oltava riittävän kantava, jotta mineraalisen tiivistyskerroksen tiivistäminen tavoiteltuun tiiveyteen onnistuu. Kantavuusvaatimukset määritetään tapauskohtaisesti käytetyn tiivistysmateriaalin mukaan.

Mineraalisen tiivistysrakenteen tulee täyttää ympäristöluvassa ja suunnitelmissa esitetyt vaatimukset. Rakenteen kelpoisuus osoitetaan todentamalla materiaalin kelpoisuus rakenteeseen ennen käyttöä sekä varmistamalla valmiin rakenteen tiiviys. Valmiin rakenteen yläpinnan sijainti mitataan, jolloin vertaamalla ennen rakenteen rakentamista tehtyyn alusrakenteen yläpinnan sijainnin mittaukseen voidaan osoittaa rakenteen paksuus sekä kaltevuus. Jätetäytön painuma voi vaikuttaa tulokseen, joten tarvittaessa tulos varmistetaan koekuopilla. Hienorakeisesta luonnonmaasta rakennetun tiivistysrakenteen rakentamisen aikaisen laadunvalvonnan mittausmenetelmät, vaatimukset sekä testaustiheydet on esitetty taulukossa 6. (InfraRYL 2018, luku 142523)

Taulukko 6. Rakentamisen aikaiset laadunvalvontamittaukset hienorakeisesta luonnonmaasta tehdylle mineraaliselle tiivistysrakenteelle, vaatimukset ja testaustiheydet (InfraRYL 2018, 142523:T12)

Parametri	Menetelmä	Vaatus	Testaustiheys
Rakeisuus ja savipitoisuus	Areometri/Sedigraph SFS-EN ISO 17892-4	Hyväksyttävällä vaihtelualueella	1/250 rtr m ³
Paakkukoko	Visuaalinen tarkastus	< 32 mm	Jatkuva
Vesipitoisuus	Troxler tai vastaava, joka 10. varmistus uunikuivauksella SFS-EN ISO 17892-1	Hyväksyttävällä vaihtelualueella	1/250 rtr m ³ kahdelta syvyydeltä/osakerros
Märkä- ja kuivatilavuuspaino	Troxler tai vastaava ja vesitai hiekkavolyometri	Vähintään tavoite-taso (kN/m ³) tai vaadittu tiiviysaste (%)	1/500 m ² kahdelta syvyydeltä/osakerros
Vedenläpäisevyys	Vedenläpäisevyyskoe ASTM D5084, CEN ISO/TS 17892-11 tai vastaava, CRS-ödometri-koe	≤ 1·10 ⁻⁹ m/s tai suunnitelma-asiakirjojen mukainen	1/5000 m ³
Ylityskertojen määrä ja tiivistettävän osakerroksen paksuus	Työtapseuranta	Koetiivistysrakenteen perusteella määritetty	Jatkuva
Alempien kerrosten karhennus	Työtapseuranta, visuaalinen tarkastus		Jatkuva
Pinnan tasaisuus	Oikolauta, visuaalinen tarkastus	± 20 mm, ei kuoppia eikä kohoumia, ei valssin- eikä renkaanjälkiä	
Pinnan sijainti	Takymetri, tarkkuus-GPS	Suunnitelma-asiakirjojen mukainen	10 m x 10 m ruutuun
Kerrospaksuus	Takymetri, tarkkuus-GPS	≥ 500 mm + konsolidatiovara tai suunnitelma-asiakirjojen mukainen	10 m x 10 m ruutuun
Kantavuus	Levykuormituskoe tai kannettava pudotuspainolaite	Suunnitelma-asiakirjojen mukainen	1/1000 m ²

Myös kuitusavirakenteen rakentaminen aloitetaan rakentamalla koetiivistysrakente, jolla varmistetaan, että käytetty materiaali vastaa ennakkokokeita ja materiaalilla saavutetaan rakennusolosuhteissa riittävän pieni vedenläpäisevyys. Kuitusavesta rakennetulle koetiivistysrakenteelle tehtävät laadunvalvontamittaukset on esitetty taulukossa 7 ja rakenteessa käytettävän kuitusaven kelpoisuusvaatimukset on esitetty taulukossa 8. (InfraRYL 2018, luku 142523)

Taulukko 7. Kuitusavesta rakennetulle koetiivistysrakenteelle tehtävät laadunvalvontamittaukset (InfraRYL 2018, 142523:T11)

Parametri	Menetelmä	Vaatimus	Testaustiheys
Vesipitoisuus	Troxler tai vastaava, joka 10. varmistus uunikuivauksella <i>SFS-EN ISO 17892-1</i>	Hyväksyttävällä vaihtelualueella	Vähintään 3 mittausta kahdelta syvyydeltä/tiivistyömäärä
Märkä- ja kuivatilavuuspaino	Troxler tai vastaava ja vesi- tai hiekkavolumetri	Hyväksyttävällä vaihtelualueella	Vähintään 3 mittausta kahdelta syvyydeltä/tiivistyömäärä; vähintään 3 rinnakkaista mittausta volymetrilla ja Troxlerilla
Vedenläpäisevyys	Vedenläpäisevyyskoe <i>ASTM D5084, CEN ISO/TS 17892-11</i> tai vastaava	$\leq 1 \cdot 10^{-9}$ m/s tai suunnitelma-asiakirjojen mukainen	Vähintään 2 rinnakkaista koe kappaletta saavutetussa kuivatilavuuspainossa
Pinnan tasaisuus	Oikolauta, visuaalinen tarkastus	± 20 mm, ei kuoppia eikä kohoumia, ei valssin- eikä renkaanjälkiä	
Pinnan sijainti	Takymetri, tarkkuus-GPS	Suunnitelmien mukainen	10 m x 10 m ruutuun
Rakenteen paksuus	Takymetri, tarkkuus-GPS	≥ 500 mm + konsolidaatiovara tai suunnitelma-asiakirjojen mukainen	10 m x 10 m ruutuun

Taulukko 8. Pintarakenteen tiivistyskerroksessa käytettävän kuitusaven kelpoisuuden osoittaminen (InfraRYL, 2018, 142523 142523:T7)

Ominaisuus	Parametri	Menetelmä	Ohjeellinen arvo
Materiaalin tasalaa-tuisuus	Vesipitoisuus	Uunikuivaus <i>SFS-EN ISO 17892-1:1</i>	< 200 %
	Vesipitoisuuden vaihtelualue		Vaihtelualueen laajuus ko. erässä ± 25 %-yksikköä
	Tuhkapitoisuus	Polttomenetelmä, <i>SFS-EN 15935 GLO-85 (550 ° C)</i>	≥ 40 %

Vallitsevassa vesipitoisuudessa saavutettavissa oleva tilavuuspaino	Saavutettavissa oleva kuivairtotiheys	Kiertotiivistyslaite/standardi tai parannettu Proctor-työmäärä <i>SFS-EN 13286-2</i>	500 kg/m ³
Vedenläpäisevyys vedellä kyllästettynä	Vedenläpäisevyyskerroin k	Vedenläpäisevyyskoe vakiopainekokeena kolmiaksisiaalisellissä <i>ASTM D5084, CEN ISO/TS 17892-11</i> tai vastaava, CRS-ödometrikoe	$\leq 1 \cdot 10^{-9}$ m/s (tai suunnitelma-asiakirjojen mukainen)

Taulukko 9. Kuitusavesta tehdyn mineraalisen tiivistysrakenteen kelpoisuuden osoittaminen (*InfraRYL 2018, 142523:T14*)

Parametri	Menetelmä	Vaatus	Testaustiheys
Tasalaatuisuus	Visuaalinen tarkastus	Paakkukoko < 32 mm, tasalaatuista	Jatkuva
Vesipitoisuus	Troxler tai vastaava, joka 10. varmistus uunikuivauksella <i>SFS-EN ISO 17892-1</i>	Hyväksyttävällä vaihtelualueella	1/500 m ² kahdelta syvyydeltä/kerros
Märkä- ja kuivatilavuuspaino	Troxler tai vastaava ja vesi- tai hiekkavolyometri	Vähintään tavoitetaso tai (kN/m ³) tai vaadittu tiiviysaste (%)	1/250 m ² kahdelta syvyydeltä/kerros
Vedenläpäisevyys	Vedenläpäisevyyskoe <i>ASTM D5084, CEN ISO/TS 17892-11</i> tai vastaava, CRS-ödometrikoe	$\leq 1 \cdot 10^{-9}$ m/s tai suunnitelma-asiakirjojen mukainen	1/5000 m ³
Ylityskertojen määrä ja tiivistettävän kerroksen paksuus	Työtapseuranta	Koekentän perusteella määritetyn mukainen	Jatkuva
Alempien kerrosten karhennus	Työtapseuranta, visuaalinen		Jatkuva
Pinnan tasaisuus	Oikolauta, visuaalinen tarkastus	± 50 mm, ei kuoppia eikä kohoumia	
Pinnan sijainti	Takymetri, tarkkuus-GPS	Suunnitelma-asiakirjojen mukainen	10 m x 10 m ruutuun
Kerrospaksuus	Takymetri, tarkkuus-GPS	≥ 500 mm + konsolidaatiovara	10 m x 10 m ruutuun

Kuitusavesta rakennetun mineraalisen tiivistyskerrokselle tehtävät laadunvalvontamittaukset, vaatimukset ja testaustiheydet on esitetty taulukossa 9. Kuitusavesta rakennetulle tiivistysrakenteelle tehtävät rakentamisen aikaiset laadunvalvontamittaukset eivät juuri poikkeaa luonnonmaasta rakennetulle mineraaliselle tiivistysrakenteelle tehtävistä

laadunvalvontamittauksista. Kuitusavi kokoonpuristuu merkittävästi kuormituksen vaikutuksesta ajan funktiona, minkä takia sen kerrospaksuudessa on huomioitava konsolidaatiovara. Kuitusaven korkea toimitusvesipitoisuus ja sen laaja vaihteluväli sekä kimmoisuus rajoittavat kuivairtoteheyden käyttämistä laadun arvioimisessa. Esimerkiksi säteilyyn perustuvalla troxler-laitteella ei saada kuitusavesta luotettavia vesipitoisuustuloksia, joten laitteen ilmoittamat kuivairtoteheystulokset ovat virheellisiä. Kimmoisuuden vuoksi kuitusavea ei saada kevyellä kalustolla tiivistettyä ohuinakaan osakerroksina, vaan se kokoonpuristuu vasta pysyvän staattisen kuormituksen alla. Kuitusavi sisältää puun kuitua ja on hitaasti biohajoavaa. (Infra 15-710194 2018)

3.6.3 Geosynteettisten tiivistysrakenteiden laadunvarmennus

Kaatopaikkarakenteissa käytettävien geosynteettisten eristeiden eli tiivistyskalvoista ja bentoniittimatoista merkitykselliset ominaisuudet eli CE-merkintää varten tutkittavat ominaisuudet tulee olla testattu standardissa *SFS-EN 13493 Geosynthetic barriers, Characteristics required for use in the construction of solid waste storage and disposal sites* esitetyillä menetelmillä. *SFS-EN 13493* standardissa geosynteettiset eristeet on jaettu kolmeen luokkaan raaka-aineesta ja tuotetyypistä riippuen:

- GBR-P (*polymeric geosynthetic barrier*) = geosynteettinen muovieriste eli geomembraani
- GBR-B (*bituminous geosynthetic barrier*) = geosynteettinen bitumigeoeriste eli bitumigeomembraani
- GBR-C (*clay geosynthetic barrier*) = geosynteettinen mineraalinen geoeriste eli bentoniittimatto

Standardin *SFS-EN 13493 Geosynthetic barriers* mukaan geosynteettisistä eristeistä testattavat ominaisuudet ja testausmenetelmät on esitetty taulukossa 10. Taulukossa merkintä A tarkoittaa, että ominaisuus on merkityksellinen kaikissa tilanteissa ja merkintä S tarkoittaa, että ominaisuus on merkityksellinen vain tietyissä tilanteissa. Jos ruutu on tyhjä, niin ominaisuutta ei ole tarpeen testata kyseisessä käyttötarkoituksessa tai ei sovellu kyseiselle tuotteelle.

Taulukko 10. Vaaditut toiminnalliset ominaisuudet ja testausmenetelmät kaatopaikkarakenteissa (*SFS-EN 13493:2018, s. 15-19*)

Ominaisuus	GBR-P	GBR-B	GBR-C	GBR-P	GBR-B	GBR-C
Paksuus	A	A	A	EN ISO 9863-1	EN 1849-1	EN ISO 9863-1
Massa pinta-alaa kohden	A	A	A	EN 1849-2	EN 1849-1	EN 14196

Vedenläpäisevyys	A	A	A	EN 14150	EN 14150	EN 16416
Kaasunläpäisevyys	A	A	A	ASTM D1434	ASTM D1434	EN ISO 10773
Paisunta-indeksi	-	-	A	-	-	ASTM D5890
Vetolujuus	A	A	A	materiaalista riippuen EN ISO 527-3 ja 4, EN-12311-2	EN 12311-1	EN ISO 10319
Venymä	A	A	A	materiaalista riippuen EN ISO 527-3 ja 4, EN-12311-3	EN 12311-1	EN ISO 10319
Staattinen puhkaisulujuus	A	A	A	EN ISO 12236	EN ISO 12236	EN ISO 12236
Puhkaisulujuus ja venymä	S	S	S	EN 14151	EN 14151	EN 14151
Repäisyjujuus	S	S	-	ISO 34-1	EN 12310-1	-
Kitka leikkauksen suuntaisesti	S	S	S	EN ISO 12957-1	EN ISO 12957-1	EN ISO 12957-1
Kitka kaltevilla tasolla	S	S	S	EN ISO 12957-2	EN ISO 12957-2	EN ISO 12957-2
Käyttäytyminen matalassa lämpötilassa	S	S	-	EN 495-5	EN 1109	-
Lämpölaajeneminen	A	-	-	ASTM D696	-	-
Säänkestävyys	A	A	S	EN 12224	EN 12224	EN 12224
Mikro-orgasmit	A	A	A	EN 12225	EN 12225	EN 12225
Hapettuminen	A	A	A	EN 14575	EN 14575	EN 14575
Jännityssäröily	A		S	EN 14576		EN 14576
Vesiliukoisuus	A	A	A	EN 14415	EN 14415	EN 14415
Kemikaalikestävyys	A	A	A	EN 14414	EN 14414	EN 14414
Kastumis-kuivumiskestävyys	--	--	S	-	-	CEN/TS 14417
Jäätymis-sulamiskestävyys	-	-	S	-	-	CEN/TS 14418
Juurien tunkeutuminen	S	S	S	CEN/TS 14416	CEN/TS 14416	CEN/TS 14416

Standardia *SFS-EN 13257 Geotextiles and geotextile-related products. Characteristics required for use in solid waste disposals (SFS-EN 13257:2016 Geotekstiilit ja vastaavat tuotteet. Kaatopaikkojen rakentamisessa käytettäviltä geotekstiileiltä ja vastaavilta tuotteilta vaadittavat ominaisuudet)* sovelletaan kaatopaikkojen rakentamisessa käytettäviin geotekstiileihin ja niihin verrattaviin tuotteisiin. Standardissa esitetään kaatopaikkarakent-

tamisessa sovellettavat ominaisuudet ja testausmenetelmät. CE-merkintää varten testattavat ominaisuudet ja testausmenetelmät riippuvat geotekstiilin käyttötarkoituksesta. Geotekstiilien käyttötarkoituksia kaatopaikkarakenteissa ovat suodattaminen, erottaminen, lujittaminen ja suojaus. Taulukossa 11 on esitetty geotekstiileistä CE-merkintää varten testattavat ominaisuudet ja käytettävät testausmenetelmät. (SFS-EN 13257, s. 5-8)

Taulukko 11. Kaatopaikkojen rakentamisessa käytettävistä geotekstiileistä testattavat ominaisuudet ja testausmenetelmät käyttötarkoituksesta riippuen (SFS-EN 13257:2016, s. 8)

Ominaisuus	Tehtävät				Testausmenetelmä
	Suodattaminen	Erottaminen	Lujittaminen	Suojaus	
Vetolujuus	A	A	A	A	EN ISO 10319
Murtovenymä	A	A	A	A	EN ISO 10319
Jäykkyys 2%:n, 5%:n ja 10 %:n kohdalla	-	-	S	-	EN ISO 10319
Saumojen ja liitosten vetolujuus	S	S	S	S	EN ISO 10321
Staattinen puhkaisu- lujuus (CBR-pu- ristuskoe)	S	A	A	-	EN ISO 12236
Dynaami- nen puh- kaisulujuus (kartiopu- dotuskoe)	A	A	A	A	EN ISO 13433
Kitka	S	S	S	S	EN ISO 12957-1 ja 2
Viruma ve- toko- keessa	-	-	S	-	EN ISO 13431
Vaurioitu- misenkes- tävyys asennuk- sen aikana toistu- vassa kuormituk- sessa	S	S	S	S	EN ISO 10722
Suojaus- ominais- suudet	-	-	-	A	EN 13719, EN 14574

Merkitsevä huokoskoko	A	A	-	-	EN ISO 12956
Vedenläpäisevyys kohtisuorassa tasoa vastaan (nopeusindeksi)	A	A	S	-	EN ISO 11058
Säilyvyys	A	A	A	A	EN 13257, liitteen B mukaisesti

Kuivatusrakenteissa käytettävien tuotteiden CE-merkintä tehdään käyttökohteesta riippumatta *EN 13252 Geotextiles and geotextile-related products. Characteristics required for use in drainage systems (SFS-EN 13252:2016 Geotekstiilit ja vastaavat tuotteet. Kuivatusjärjestelmien rakentamisessa käytettäviltä geotekstiileiltä ja vastaavilta tuotteilta vaadittavat ominaisuudet)* perusteella. Taulukossa 12 on esitetty kuivatusjärjestelmissä käytettäviltä geotekstiileiltä tutkittavat ominaisuudet

Taulukko 12. *Kuivatusjärjestelmien rakentamisessa käytettävistä geotekstiileistä ja vastaavista tuotteista testattavat ominaisuudet ja testausmenetelmät käyttötarkoituksesta riippuen (SFS-EN 13252:2016, s. 9)*

Ominaisuus	Tehtävät			Testausmenetelmä
	Suodattaminen	Erottaminen	Kuivatus	
Vetolujuus	A	A	A	EN ISO 10319
Murtovenymä	A	A	A	EN ISO 10319
Puristuslujuus kuormituksen alaisena	-	-	S	EN ISO 25619-2
Saumojen ja liitosten vetolujuus	S	S	S	EN ISO 10321
Sisäliitosten vetolujuus (geokomposiitit)	-	-	S	EN ISO 13426-2
Staattinen puhkaisulujuus (CBR-puristuskoe)	S	A	-	EN ISO 12236
Dynaaminen puhkaisulujuus (kartiopudotuskoe)	A	A	-	EN ISO 13433
Kitkaominaisuudet	S	S	S	EN ISO 12957-1 ja 2

Puristusviru- maominaisuu- det	-	-	A	<i>EN ISO 25619-1</i>
Vaurioitu- misenkestävyys asennuksen ai- kana toistu- vassa kuormi- tuksessa	S	S	S	<i>EN ISO 10722</i>
Merkitsevä huokoskoko	A	A	-	<i>EN ISO 12956</i>
Vedenlä- päisevyys koh- tisuorassa ta- soa vastaan	A	A	-	<i>EN ISO 11058</i>
Vedenjohta- vuus tuotteen tasossa (peh- meä/pehmeä)	-	-	A	<i>EN ISO 12958</i>
Vedenjohta- vuus tuotteen tasossa (peh- meä/jäykkä tai jäykkä/jäykkä)	-	-	S	<i>EN ISO 12958</i>
Säilyvyysomi- naisuudet	A	A	A	<i>Liitteen B mukai- sesti</i>

Materiaalivalmistajan tulee testata taulukoissa 10, 11 ja 12 esitetyt ominaisuudet säännöllisin standardeissa mainituin väliajoin. Materiaalivalmistaja laatii testaustuloksen tilastollisen tarkastelun perusteella suoritustasoilmoituksen (DoP) CE-merkintää varten. Materiaalin tilaajalle toimitetaan suoritustasoilmoitus ja muut tuotetiedot, joiden perusteella arvioidaan, täyttääkö kyseinen materiaali kohteen suunnitelma-asiakirjojen vaatimukset. Suodatinkankaista varmistetaan lisäksi mahdollinen NorGeoSpec-käyttöluokitus. (InfraRYL 2018, Liite 20)

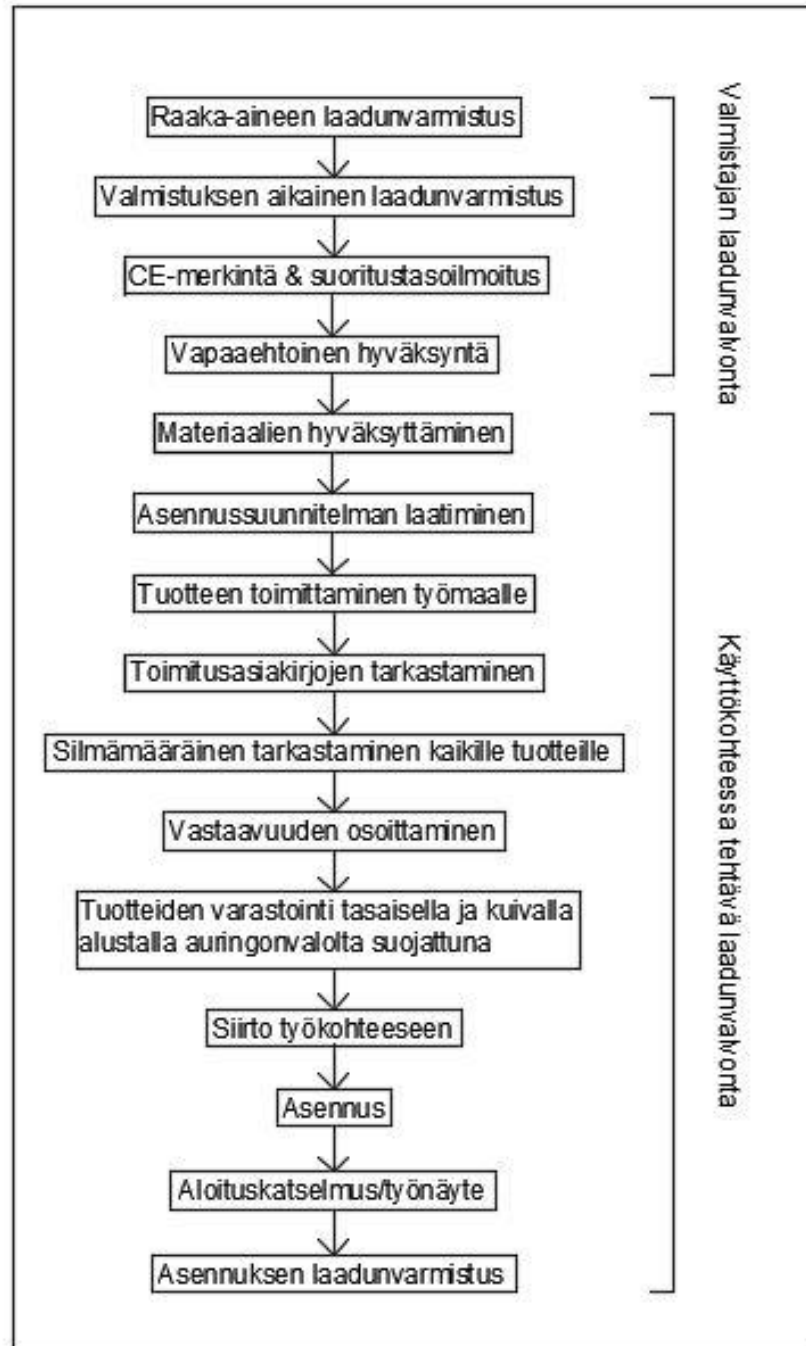
Kun materiaali vastaanotetaan työmaalla, tuotteet ja tuotteiden merkinnät tarkastetaan silmämääräisesti. Toimitetusta erästä otetaan suunnitelma-asiakirjojen mukainen määrä näytteitä, joista varmennetaan riippumattomassa laboratoriossa tuotteiden laatu. Esimerkiksi bentoniittimatoista määritetään bentoniitin paisumisindeksi ja bentoniitin määrä. Ennen materiaalien käyttämistä rakenteeseen varmistetaan, että valmistuksen aikaisten laadunvalvontakokeiden tulokset täyttävät vaatimukset. (InfraRYL 2018, luku 142523).

Rakentamisen jälkeen valmiille rakenteelle tehdään tarvittavat laadunvalvontakokeet. Tiivistyskalvojen saumauksen laatu varmistetaan työmaalla ennen rakenteen peittämistä. Tiivistyskalvojen saumojen laadunvarmistusmenetelmä riippuu sauman tyypistä. Kuu-

makiilahitsatun sauman ilmatiiviys osoitetaan paineistamalla hitsaussaumojen välinen ilmakeanava standardin *ASTM D5820:n* mukaisesti. Kuumakiilahitsatuille samoille tehdään myös veto- ja kuorintakokeita standardin *ASTM D6392:n* mukaisesti. Koepalat pyritään ottamaan mahdollisuuksien mukaan saumojen päistä, jotta vältetään turhilta paikoilta tiivistyskalvossa. Pursotehitsatut saumat testataan niin sanotulla kipinäkokeella (*ASTM D6365*) tai vakuunikuppikokeella (*ASTM D5641*). (SYKE 2002, s. 106-107; InfraRYL 2018, luku 142524)

Bentoniittimaton asennuksessa seurattavia laatuun vaikuttavia seikkoja ovat asennusalan vaatimustenmukaisuus, bentoniittimaton asennussuunta ja -järjestys, saumojen ja liitosten sijoittaminen ja riittävä limittäminen, mahdollinen ankkurointi, läpivientien toteuttaminen ja bentoniittijauheen lisäys sekä työnaikainen suojaaminen. Salaojamattoa koskevat samat seikat bentoniittijauheen lisäämistä lukuunottamatta (InfraRYL 2018, luku 142523)

Kuvassa 14 havainnollistetaan geosynteettisten tuotteiden laadunvalvonnan prosessia tuotteen valmistuksesta valmiiseen rakenteeseen.



Kuva 14. Geosynteettisen tuotteen laadunvalvonta

Kuvassa 14 mainittu ”vapaaehtoinen hyväksyntä” tarkoittaa tuotteen sertifiointimenetelyjä, jossa kolmas osapuoli tarkistaa valmistajan toiminnan ja laadunvalvonnan sekä testaa, että ilmoitetut arvot pitävät paikkansa. Geosynteettisten tuotteiden laadunvalvontaa tehdään jatkuvasti myös asennuksen aikana silmä määräisesti. Kaikki poikkeamat materiaaleissa ja asennuksessa kirjataan ylös ja raportoidaan riippumattomalle laadunvalvojalle.

3.6.4 Muiden materiaalien ja rakennekerrosten laadunvarmistus

Kaasunkeräyskerroksessa, kuivatuskerroksessa, pintakerroksessa ja geosynteettisten tuotteiden suojakerroksissa käytetyn mineraalisen materiaalien rakeisuus on merkittävä tekijä kyseisen rakenteen vaaditun ominaisuuden täyttämiseksi. Materiaalien rakeisuutta seurataan rakeisuustutkimuksilla standardin *SFS-EN 933-1* mukaisesti, materiaalista riippuen kuiva- tai pesuseulonnalla. Mineraaliselle materiaalille tehtävien rakeisuustutkimuksien testaustiheyden tulee olla vähintään 1/5000 t ja vähintään kolme näytettä rakennettavasta rakenteesta. Tutkimusten lisäksi materiaalin tasalaatuisuutta ja rakeisuutta seurataan silmämääräisesti jatkuvasti työn aikana. Ennen rakennekerroksen rakentamista mitataan sen asennusalustan sijainti ja kaltevuus, jotta voidaan määrittää rakennekerroksen paksuus ja kaltevuus. Mittaustiheytenä käytetään vähintään 10 m x 10 m ruudukkoa. (InfraRYL 2018, luvut 142522, 142424, 142526 ja 142527)

Kaatopaikan pintarakenteen kuivatuskerrokseen käytettävän materiaalin rakeisuutta on seurattava rakeisuustutkimuksin 1/1000 t välein. Muuten kaatopaikan pintarakenteen kuivatuskerroksen laadunvarmistukseen sovelletaan samoja menetelmiä kuin edellä mainittiin. (InfraRYL 2018, luku 142525)

Pintarakenteen kasvukerroksen materiaalista määritetään tarvittaessa ravinnepitoisuudet viljavuustutkimuksilla. Ravinnepitoisuuksiin voidaan soveltaa esimerkiksi InfraRYL 2018 taulukossa 23111:T1 esitettyjä ravinnepitoisuuksia.

4. KAATOPAIKAN PINTARAKENTEEN RAKEN- NUSKUSTANNUSTEN MUODOSTUMINEN

Tässä luvussa tarkastellaan kaatopaikan pintarakenteen kustannuksien muodostumista. Kaatopaikan pintarakenteen rakentamisen kokonaiskustannukset muodostuvat monista eri tekijöistä ja niihin voidaan vaikuttaa etukäteissuunnittelulla ja toteuttamalla rakenteet pitkällä aikavälillä. Suunnitelmallisuus on kaatopaikkarakentamisessa kaatopaikan pitäjän merkittävin keino vaikuttaa kustannuksiin. Toisaalta kustannuksia muodostuu myös pintarakenteen rakentamisen jälkeen, mikä täytyy ottaa huomioon, kun valitaan materiaaleja kaatopaikan pintarakenteeseen.

4.1 Jätevero

Jäteverolain 1126/2010 mukaan kaatopaikan pitäjä on velvollinen maksamaan jäteveroa kaatopaikalle toimitetusta jätteestä niin kuin jäteverolaissa säädetään. Jätevero on taloudellinen ohjauskeino, jolla ohjataan jätteitä hyötykäyttöön kaatopaikkasijoittamisen sijaan (Verohallinto 2016). Jäteveron suuruus vuonna 2018 on 70 €/t. Jäteveron toimittamisesta ja valvonnasta huolehtii tullilaitos.

Veroa maksetaan kaikesta jätteestä, joka sijoitetaan lopullisesti kaatopaikalle. Veroa ei kuitenkaan makseta jätteestä, joka hyödynnetään suunnitelmallisesti jäteverolain 6 § mukaan: *''kaatopaikalla sen perustamisen, käytön tai käytöstä poistamisen kannalta välttämättömissä rakenteissa tai rakennuksissa.''* (Jäteverolaki 1126/2010, 6 §). Jäteverovapaus ei koske ylijäämämaita, lasia eikä halkaisijaltaan yli 150 mm kokoista betonijätettä. Myöskään pilaantuneesta maasta ei makseta jäteveroa.

Jäteverolain mukaan verovelvollinen eli kaatopaikan pitäjä on velvollinen pitämään kirjanpitoa, josta ilmenee kaatopaikalle toimitetun jätteen määrä ja muut verotuksen toimitamisen kannalta ilmeiset asiat (Jäteverolaki 1126/2010, 11 §). Jäteverolain 6 § mukainen jätteen hyötykäyttö kaatopaikalla pitää olla varmaa ja suunnitelmallista. Jos veronalaista jätettä hyödynnetään kaatopaikalla ja jätteestä ei makseta veroa, sen käyttö on esitettävä suunnitelmissa ja asiakirjoissa.

4.2 Suunnitelmallisuus kaatopaikan pintarakenteen kokonais- kustannusten muodostumisessa

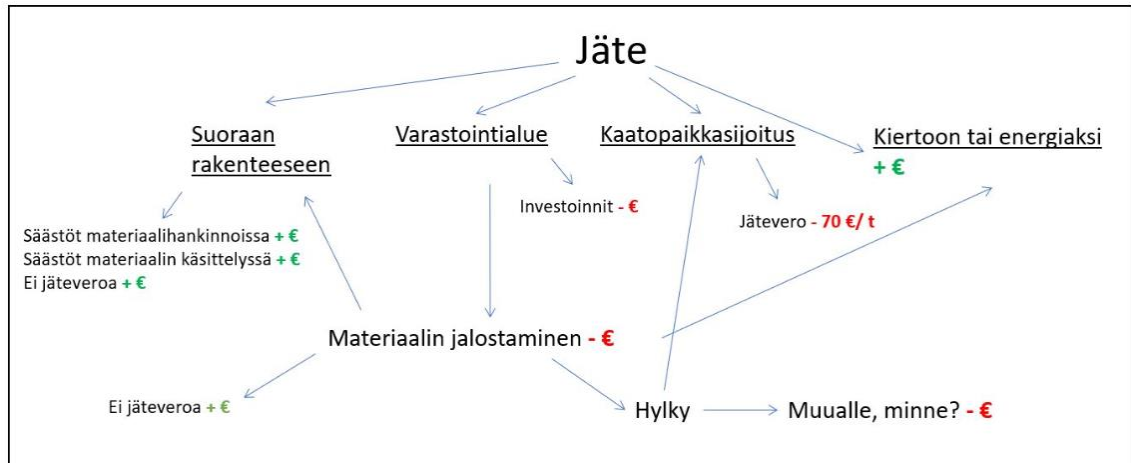
Suunnitelmallisuus kaatopaikan pintarakenteen kustannusten hallinnassa on tietoista kaatopaikalle tulevien jätevirtojen ohjaamista. Rakenteisiin soveltuvat jätejakeet voidaan ohjata omille varastoalueilleen varastointia ja/tai käsittelyä varten. Jos jätteitä varastoidaan

tai käsitellään yli kolme vuotta ennen käyttöä edellyttää se jäteluokituksen mukaisen kaatopaikan pohjarakenteiden rakentamista varastointialueelle (VNa 331/2013, 3 §). Ennen kuin jätevirtoja aletaan ohjata varastoalueille tai jatkokäsittelyyn, tulisi rakenteeseen suunnitellut materiaalit olla hyväksytyt viranomaisilla. Jäteverolta välttyminen edellyttää, että materiaalin suunnitelmallisesta käytöstä on varmuus ennen vastaanottoa.

Vaikka varastointialue sijaisi hyvien pohjaolosuhteiden omaavalla alueella, on pohjarakenteiden rakentaminen kuitenkin aina suuri investointi. Jätteen käsittely- ja varastointialueita tarvitaan jatkuvasti kuitenkin enemmän, koska kaatopaikkojen lukumäärä vähenee ja jätettä sijoitetaan jatkuvasti vähemmän jätetäyttöön. Käsitelty jäte voidaan ohjata uudelleen kiertoon tai energian tuotantoon jätteenpolttolaitoksille. Investointi jätteen käsittely- ja varastointialueisiin tukee täten myös kiertotaloutta. Kiertotalouden tavoitteena on säilyttää tuotteet kierrossa mahdollisimman pitkään hyödyntäen materiaalit ja tuotteet mahdollisimman tehokkaasti.

Kiertotalouden edistämisen lisäksi suunnitelmallisuus kaatopaikkarakentamisessa säästää kustannuksia. Pintarakenteissa tarvittavien massojen materiaalien hankintakustannus pienenee, kun rakenteissa hyödynnetään vastaanotettuja jätteitä sellaisenaan tai jalostettuna ja ostettavien massojen osuus vähenee. Materiaalien hankintahintaa nostaa toisaalta se, että vastaanotettavia materiaaleja saatetaan joutua jalostamaan enemmän kuin muuten jouduttaisiin. Jalostamisen tarve riippuu täysin vastaanotettavista materiaaleista. Materiaalien jalostamisesta rakenteisiin soveltuviksi käsitellään tarkemmin luvussa 5. Toisaalta, kun materiaali on alun perin vastaanotettu kaatopaikalle, materiaalia ei tarvitse kuljettaa pitkiä matkoja työkohteeseen eli rakennettavaan pintarakenteeseen, jolloin saadaan säästöjä kuljetuskustannuksissa.

Jäteverolain 6 §:n mukaan kaatopaikalla rakenteisiin hyödynnetty jäte säästää kaatopaikanpitäjältä jäteveron maksamisen eli 70 €/t siltä osalta, kun materiaalia ei jouduta loppusijoittamaan kaatopaikan jätetäyttöön. Kuvassa 15 on esitetty miten suunnitelmallisella jätevirtojen ohjaamisella kaatopaikan pitäjä voi pitkällä aikavälillä säästää merkittäviä kustannuksia pintarakenteen rakentamisessa.



Kuva 15. Jätevirtojen ohjaaminen kaatopaikan sisäisiin rakenteisiin, peittomateriaaliksi ja pintarakenteeseen.

Materiaalivirtojen ohjaaminen ja jätteiden hyödyntäminen kaatopaikkarakenteissa edellyttää, että rakentamisaikataulu mahdollistaa rakentamisen vaiheittain aina, kun rakenteisiin soveltuvia materiaaleja on saatavilla riittävästi ja ennen kun varastointi- ja/tai käsittelykentät täyttyvät.

Jätevirtojen suunnitelmallinen ohjaaminen rakenteisiin käynnistyy selvittämällä, kuinka paljon ja minkä laatuista massoja tarvitaan eri rakennekerroksiin. Kun tiedetään materiaalien vaatimukset ja tarvittavat määrät, voidaan selvittää mitä potentiaalisia materiaaleja kaatopaikalle vastaanotetaan ja miten niitä mahdollisesti on mahdollista jalostaa soveltuviksi.

4.3 Materiaalikustannus

4.3.1 Hankintahinta ja jalostaminen

Materiaalin hankintahinnalla tarkoitetaan materiaalin hankintakustannusta €/t tai €/m³. Materiaalin hankintahinta voi olla negatiivinen tai positiivinen. Esimerkiksi kun kaatopaikalle vastaanotetaan rakenteeseen sellaisenaan soveltuvaa materiaalia, josta peritään vastaanottomaksu, hankintahinta on positiivinen. Rakenteeseen suunniteltu materiaali ei kuitenkaan välttämättä suoraan sellaisenaan kelpaa rakenteeseen ja sitä saatetaan joutua jalostamaan rakenteeseen soveltuvaksi. Ennen materiaalin vastaanottamista täytyy tietää, kuinka iso kustannuserä materiaalin jalostaminen on ja mihin siitä syntynyt niin sanottu hylky ohjataan. Käsitteellä hylky tarkoitetaan jalostamisessa syntynyttä ns. huonolaatuista osaa, joka ei kelpaa rakenteeseen. Huonoimmassa tapauksessa syntynyt hylky joudutaan loppusijoittamaan jätetäyttöön, jolloin siitä pitää maksaa jätevero. Materiaalin jalostaminen tarvitsee aina tilan käsittelyä ja välivarastointia varten. Materiaalin jalostamista ja käsittelyä rakenteeseen kelpaavaksi voi olla muun muassa lajittelu, erottelu, homogenisointi, seulominen, murskaus, kuivaus, välppäys, seostaminen, rakeistaminen,

pelletointi ja stabilointi. Pilaantuneiden maiden osalta voi olla tarpeen alentaa niiden haitta-ainepitoisuuksia soveltuvalla puhdistusmenettelyllä ennen niiden käyttöä kaatopaikkarakenteissa.

4.3.2 Kelpoisuuden osoittaminen ja laadunvarmistus

Kaatopaikan pintarakenteeseen suunnitellut materiaalit ja rakenneratkaisut on hyväksyttävä ennen pintarakenteiden rakentamista. Hyväksyttäjän tulee luotettavasti voida osoittaa, että materiaalien tekniset ominaisuudet ja yhteensopivuus muiden materiaalien kanssa ovat suunniteltuun käyttökohteeseen soveltuvia.

Kelpoisuudenosoittamisesta syntyvät kustannukset voivat vaihdella huomattavasti riippuen materiaalista. Syntyvät kustannukset riippuvat materiaalin tasalaatuisuudesta. Valvotuissa tehdasoloissa valmistettujen materiaalien kelpoisuudenosoittamisesta käyttökohteessa syntyvä kustannus on huomattavasti pienempi kuin luonnonmateriaalien tai laadultaan vaihtelevien jättemateriaalien kelpoisuudenosoittaminen. Tehdasoloissa valmistetuille materiaaleille, kuten salaojamatoille ja bentoniittimatoille riittää materiaalitie-tojen ja valmistuksen yhteydessä tehtävien testausten lisäksi kelpoisuustestaus työmaalla tyypillisesti esimerkiksi 10 000 m² välein, kun esimerkiksi jättemateriaalin kelpoisuus saatetaan joutua osoittamaan jokaisesta rakenteeseen käytetystä erästä ja kuormasta. Esimerkiksi taulukossa 4 esitetyt luonnon tiivistysmateriaaleille tehtävät kelpoisuustestit maksavat yhdelle näytteelle Tampereen teknillisen yliopiston maa- ja pohjarakenteiden laboratoriossa tehtynä 876,00 € alv 0 % (TTY 2018). Hinta ei pidä sisällään näytteiden ottamisesta tai niiden kuljettamisesta laboratorioon aiheutuvia kustannuksia eikä tutkimusten teettävälle taholle aiheutuvia yleiskustannuksia. Jos kelpoisuustestejä joudutaan tekemään materiaaleille paljon, sillä on myös vaikutusta aikatauluun, jolla edelleen on vaikutusta muodostuviin kokonaiskustannuksiin.

Kelpoisuuden osoittaminen ja laadunvarmistus ovat osa suunnitelmallista jätevirtojen ohjaamista. Valitsemalla rakenteisiin tasalaatuisia jätėjakeita, kuten teollisuuden sivuvirtoja, saadaan säästöjä materiaalien kelpoisuuden osoittamisesta. Vaikka arvioitaisiin pienen yksittäisen jäte-erän soveltuvan esimerkiksi kuivatuskerrokseen, voi sen kelpoisuuden osoittaminen maksaa niin paljon, ettei sen käyttäminen rakenteissa ole taloudellisesti järkevää. Toisaalta tarkkaillussa kaatopaikkaympäristössä voidaan etenkin tiivistyskerroksen alapuolisissa rakenneosissa hyödyntää jakeita, joille ei muutoin löydy hyötykäytökohdetta.

4.3.3 Hyväksyttäminen

Materiaalien hyväksyttämisestä aiheutuu aina kustannuksia. Kustannuksia aiheutuu materiaalin kelpoisuusselvityksistä, lausuntojen kirjoittamisista ja viranomaisten käsittelymaksuista. Jättemateriaalit pitää hyväksyttää etukäteen ympäristöviranomaisella. Hyödyntämisen lähtökohdana on, että jättemateriaalin käyttö on huomioitu jo ympäristölupaa

haettaessa ja pintarakenteen toteutussuunnitelmia laadittaessa, jolloin ei tarvita ympäristölupamuutosta tai suunnitelmamuutoksia. Usein kuitenkin potentiaalisia pintarakennemateriaaleja tulee vastaan, kun suunnitelmat on jo tehty, esimerkiksi urakkatarjousvaiheessa. Kaatopaikanpitäjä tai urakoitsija tekee ehdotuksen materiaalista ja osoittaa sen kelpoisuuden rakenteeseen. Jollei materiaalia ole huomioitu toteutussuunnitelmia laadittaessa, laaditaan materiaali-kohtainen työtapakuvaus ja täydennetään sen osalta laadunvalvontasuunnitelmaa. Muutokset hyväksytetään yhteensopivuuden varmistamiseksi suunnittelijalla sekä riippumattomalla laadunvalvojalla ja valvovalla ympäristöviranomaisella. Selvitykset materiaalin teknisestä ja ympäristökelpoisuudesta rakenteeseen toimitetaan ympäristöviranomaisen käsittelyä varten. Ympäristöviranomaisen hyväksyy tai hylkää materiaalin ja tarvittaessa pyytää lisäselvityksiä.

Materiaalien hyväksyttäminen tulee ottaa huomioon myös aikataulussa. Esimerkiksi Loimi-Hämeen Jätehuollon voimassa olevassa ympäristöluvassa mainitaan, että selvitykset materiaalin kelpoisuudesta tulee toimittaa vähintään kolme kuukautta ennen kuin pintarakennetta aletaan rakentaa. Jos ELY-keskus ei hyväksy materiaalia käytettäväksi rakenteessa, uuden materiaalin hyväksyttäminen voi pahimmassa tapauksessa venyttää pintarakenteen rakentamista toiset kolme kuukautta tai pidempäänkin, mikäli päädytään hakemaan ympäristölupaan muutosta. (ESAVI 2015, s. 68)

4.3.4 Kuljetus

Kaatopaikkarakentamisessa massojen menekki on suuri. Massojen kuormaus ja kuljetus on merkittävä kustannuserä. Kuljetuskustannuksiin vaikuttaa kuljetusmatkan lisäksi kuljetettavan materiaalin laatu ja erikoiskaluston tarve. Joskus joudutaan myös rakentamaan työmaateitä materiaalin kuljettamista varten.

Kuljetettavan materiaalin irtotiheys (kg/m^3 *itd*) vaikuttaa siihen, kuinka paljon materiaalia voidaan kerralla kuljettaa julkisilla teillä. Kuljetusmatka ja tiestö vaikuttavat siihen, kuinka kauan materiaalin kuljettaminen kestää paikasta toiseen. Jos tiedetään kuljetusvälineen tuntihinta ($€/h$) ja kuinka paljon materiaalia voidaan kuljettaa kerralla (t) sekä matka-aika (h) eli kuinka kauan kuljetusvälineellä kestää edestakaiseen matkaan, voidaan arvioida syntyviä kuljetuskustannuksia. Lisäkustannuksia voi aiheutua kuormien peittämisestä tai erikoiskalustosta.

4.4 Suunnittelu

Kaatopaikan pintarakenteiden suunnittelutyö voidaan toteuttaa niin sanotulla perusratkaisulla tai joustavalla ratkaisulla. Perusratkaisulla tarkoitetaan sitä, että tilaaja (kaatopaikanpitäjä) tilaa pintarakenteiden suunnittelutyön kokonaishinnalla suunnittelutoimistosta. Suunnittelutoimisto suunnittelee rakenteet ja laskuttaa tehdyn työn sovitusti tilaajalta. Kun alkuperäisiin suunnitelmiin tulee muutoksia, suunnittelutoimisto laskuttaa tehdyistä lisätyötunneista erikseen. Joustavalla suunnittelumallilla puolestaan tarkoitetaan,

että suunnittelutoimisto toteuttaa kokonaisvaltaisesti kaikki tilaajan toimeksiannot ja muutokset suunnitelmiin tuntiperusteisesti esimerkiksi puitesopimuksen perusteella.

Niin sanottu perusratkaisu on helppo kilpailuttaa eri suunnittelutoimistoilla edullisimman kokonaishintaisen tarjouksen saamiseksi, tosin silloin on syytä kiinnittää huomiota tarjouspyynnössä kuvattujen työtehtävien tarkkaan kuvaamiseen, jotta tarjoukset ovat keskenään samansisältöisiä. Tilanteesta riippuen perusratkaisu ei kuitenkaan välttämättä ole kokonaisuudeltaan edullisin toteutusmalli suunnittelutyön toteuttamiseksi. Jos pintarakenteiden materiaalit ovat etukäteen tiedossa ja ne on hyväksytty jo ympäristölupavaiheessa tai muuten etukäteen ELY-keskuksella, perusratkaisu voi olla järkevä vaihtoehto kaatopaikan pintarakenteiden suunnittelutyön toteuttamiseksi, edellyttäen etteivät materiaalit tai suunnittelukohteen olosuhteet edellytä erityisosaamista. Jos materiaalit tai lähtötiedot eivät ole vielä selvillä ja suunnitelmiin tiedetään työn aikana tulevan paljon muutoksia, kohde tai materiaalit ovat tavanomaisesta poikkeavia tai tilaaja toivoo joustavuutta tai uusien ratkaisujen kehittämistä, kokonaisvaltainen joustava suunnittelumalli on toimivampi vaihtoehto. Kokonaisvaltaisen suunnittelutyön kilpailuttaminen on huomattavasti haasteellisempaa kuin perusratkaisun kilpailuttaminen. Suunnittelutoimistojen aikaisemmat referenssit, osaaminen ja asiakaslähtöinen suunnittelutyö ovat hinnan lisäksi tärkeitä suunnittelutoimiston valintaan vaikuttavia tekijöitä. Molemmissa tapauksissa suunnittelija kannattaa pitää hankkeessa mukana myös toteutusvaiheessa, jotta mahdollisiin työaikaisiin muutostarpeisiin pystytään reagoimaan nopeammin ja luotettavammin ja voidaan varmistua toteutuksen suunnitelmanmukaisuudesta. Riippumaton laadunvalvoja kannattaa ottaa mukaan jo suunnitteluvaiheessa ohjaamaan suunnittelua (Leppänen 2018).

Vaihtoehtoisten materiaalin hyväksyttäminen pintarakenteeseen edellyttää suunnittelijalta kaatopaikkarakentamisen hyvää osaamista ja materiaalituntemusta, etenkin jos jäteäyttö vielä painuu tai tarvitaan useita läpivientejä esimerkiksi kaasujen keräilyjärjestelmän takia. Vaihtoehtoisten materiaalien tehokkuus osoitetaan usein vesitaselaskelmilla. Geosynteettisten materiaalin hyväksyttämiseen kuuluu osana laskelmat, joilla osoitetaan riittävä luiskastabiliteetti ja salamatolle riittävä vedenjohtavuus. Suunnittelija tekee tavallisesti alustavat laskelmat, joilla osoittaa, että geosynteettivaihtoehto soveltuu kohteeseen. Usein materiaalitoimittaja tai valmistaja tekee tai teettää tuotekohtaiset laskelmat.

Suunnittelutyöllä voidaan vaikuttaa massatalouteen, joka on yksi merkittävä kustannustekijä kaatopaikan pintarakenteessa. Massatalouteen vaikuttavat rakennettava pinta-ala, rakennekerrosten paksuudet sekä käytettävien materiaalien ominaisuudet.

4.5 Rakentaminen

4.5.1 Aikataulu

Kaatoaikan pintarakenteet tulisi voida rakentaa yhtäjaksoisesti valmiiksi asti kuivan ja lämpöisen kauden aikana, koska tiivistysrakenteita ei voida rakentaa sateella tai kun lämpötila on alle + 5 °C. Valmista tiivistysrakennetta ei saa päästä jäätymään, joten on järkevää rakentaa myös tämän yläpuolella olevat rakenteet välittömästi, jotta saadaan tarvittava suojaava vaikutus routaa vastaan. Töiden aloitus kannattaa ajoittaa ajankohtaan, jolloin routa on sulanut ja vuorokauden lämpötila ei yölläkään mene pakkaselle. Työt kannattaa pyrkiä saamaan valmiiksi ennen syysateita. Vesisateet ja huonot sääolot aiheuttavat lisäkustannuksia ja vaikeuttavat töiden tekemistä. (SYKE 2002, s. 79; SYKE 2008, s. 66)

Mitä kauemmin rakentaminen kestää, sitä enemmän kustannuksia aiheutuu yleiskustannusten muodossa. Yleiskustannuksia ovat muun muassa toimihenkilöiden palkat, työmaatukikohdan järjestäminen ja yrityksen juoksevat kulut. Toisaalta, jos aikataulu laaditaan liian tiukaksi, ylimääräisiä kustannuksia muodostuu, kun seuraavia työvaiheita ei päästä aloittamaan ajallaan ja aikataulua joudutaan kirimään teettämällä ylitöitä. Myös työn laatu heikkenee liian tiukan aikataulun myötä. Aikatauluun vaikuttaa myös materiaalien saatavuus ja varastotilan riittävyys.

4.5.2 Materiaalin valinta

Rakenteisiin käytettävät materiaalit vaikuttavat suoraan rakennuskustannuksiin. Kaatoaikan pintarakenteisiin soveltuvilla materiaaleilla voi olla hyvinkin erilaiset ominaisuudet rakennettavuuden puolesta. Esimerkiksi, jos verrataan mineraalisen tiivistysrakenteen rakentamista bentoniittimatosta tai kuitusavesta, bentoniittimattoa voidaan yhden työvuoron aikana asentaa jopa 1000 m², kun taas kuitusavesta rakentamalla valmista rakennetta saadaan huomattavasti vähemmän (Kaikkonen 2019). Käytettävä materiaali vaikuttaa aikataulutukseen, sallittuihin luiskakaltevuuksiin, työjärjestykseen ja työmaalla tehtävien laadunvalvontakokeiden määrään ja voi rajoittaa työmaaliikennettä. Materiaalien käsittelyä tarkastellaan materiaalikohtaisesti luvussa 5. Materiaali vaikuttaa työsaavutuksen lisäksi myös työkoneiden ja henkilöstön tarpeeseen. Esimerkiksi saumattavien tiivistyskalvojen asennustyössä kriittinen tekijä on usein ammattitaitoisen saumaajan saatavuus.

Pintarakenteessa käytettävillä materiaaleilla voidaan vaikuttaa rakenteen kokonaispak-suuteen. Jos ympäristöluvassa on säädetty jätetäytön maksimikorkeus, ohuempi rakennekerros, kuten bentoniittimatto tai salaojamatto, mahdollistaa suuremman jätetäytön tai

paksummat pintarakenteen pintakerroksen osat, mistä voi olla kaatopaikan pitäjälle taloudellista hyötyä. Pintakerrokseen voi olla mahdollista löytää materiaaleja, joista vastaanottaja saa korvauksen.

4.5.3 Työturvallisuus

Työturvallisuus tulee huomioida kaikessa tekemisessä. On erityisiä tilanteita ja työvaiheita, jotka vaativat erityistä työturvallisuuden huomioimista, joka aiheuttaa kustannuksia. Kaatopaikkarakentamisessa näitä työvaiheita ovat muun muassa jätetäytön kaivutyöt, kaivannot, työskenteleminen luiskissa ja joidenkin epätavanomaisten maarakennusmateriaalien käsitteleminen. Tavanomaisesta maarakentamisesta poikkeavia työsuojelutoimenpiteitä ovat kaasuhälyttimien ja hengityssuojaimien käyttö sekä mahdolliset laajennukset työterveysseurantaan työperäisen altistuksen arvioimiseksi.

Työtapaturmien aiheuttamia kustannuksia on tutkittu paljon. Työterveyslaitos on julkaissut tapaturmalaskurin, jonka avulla voidaan arvioida työtapaturman aiheuttamia kuluja työnantajalle. Työtapaturmat aiheuttavat kustannuksia työajan menetyksen, ylimääräisen työn, aiheutuneiden kulujen ja tuotantohäiriöiden kautta. Timo Lahti tutki diplomityössään rakennusalan työtapaturmien aiheuttamia kustannuksia työnantajalle. Lahden tekemän tapaustutkimuksen tuloksena tyypillinen rakennusalan työtapaturman vuorokausikustannus on noin 400 euroa. (Lahti 2017, s. 58; TTL 2018)

4.5.4 Erikoiskaluston tarve

Kaatopaikkarakentamisessa voidaan tarvita erikoiskalustoa riippuen käsiteltävistä materiaaleista. Erikoiskalustolla tarkoitetaan kalustoa, jota ei käytetä tavanomaisessa maanrakentamisessa. Materiaaleja saatetaan joutua jalostamaan rakenteisiin soveltuviksi esimerkiksi murskaamalla, stabiloimalla tai sekoittamalla. Materiaalien valmistaminen ja homogenisointi saattavat edellyttää sekoitusasemaa seosaineiden tai veden lisäämiseen. Yli-suuret rakeet ja hienoaines poistetaan välpällä tai seulalla.

Erikoiskaluston tarve ja siitä aiheutuneet kustannukset tulee huomioida, kun valitaan rakenteissa käytettäviä materiaaleja. Erikoiskalustoa tarvitaan esimerkiksi geosynteettisten tuotteiden asennukseen ja saumaukseen sekä laadunvalvontaan. Tiivistyskalvot ja bentoniittimatto asennetaan esimerkiksi kuvan 16 mukaisella tavalla. Kalvojen saumaamisessa käytetään saumauskonetta.



Kuva 16. Bentoniittimaton asennusta (Geosynt Oy 2018)

Mineraalisessa tiivistyskerroksessa käytettävän materiaalin tulee olla tasalaatuista, minkä takia käytetty materiaali täytyy tarvittaessa homogenisoida rakenteeseen soveltuvaksi. Bentoniitti sekoitetaan runkoainekseen sekoitusasemalla, joka pystytetään yleensä kohteeseen muutaman viikon ajaksi. Ennen kuin kerroksellista luonnonsavea voidaan käyttää mineraaliseen tiivistyskerrokseen, tulee se homogenisoida esimerkiksi äestämällä ja rikkomalla savipaakut. (Infra 15-710194 2018)

Kuitusaven ja luonnonsaven tiivistäminen tapahtuu staattisella kuormituksella. Saven tiivistäminen voidaan tehdä sorkkajyrällä, kaatopaikkajyrällä tai raskaan kaivinkoneen teiloilla. Puskukone on erinomainen vaihtoehto materiaalien levittämiseen ja käsittelyyn luiskissa. Kaatopaikan pintarakenteiden rakentamisessa ei voida liikennöidä pyöräalustaisilla koneilla niistä aiheutuvien suurien pistekuormien vuoksi. (Infra 15-710194 2018)

4.6 Pintarakenteen elinkaari

Kaatopaikan pitäjä vastaa kaatopaikan jälkihoidosta ainakin 30 vuoden ajan, ellei ympäristöluvassa muuta edellytetä. Käytännössä kaatopaikat voivat vaatia hoitoa ja seurantaakin jopa satoja vuosia. Tänä aikana kaatopaikan pintarakenteita saatetaan joutua korjaamaan jätetäytön painumien, eroosioaurioiden ja sortumien takia. Jätetäyttö kokoonpuristuu

kuormituksen ja hajoamisen seurauksena, jolloin pintarakenteeseen kohdistuu jännityksiä. Painumat ja sortumat vaikuttavat myös työturvallisuuteen. Rakenteiden toimintaa ja kaatopaikan ympäristövaikutuksia tarkkaillaan vähintään jälkihoitoajan (VNa 331/2013, 40 §, 42 §).

Myös kaatopaikan jälkikäyttö ja materiaalien suunniteltu käyttöikä vaikuttavat rakenteiden korjaus- ja/tai kunnostustarpeeseen. Jälkikäyttö voi asettaa rakenteille vaatimuksia tai tavanomaisesta poikkeavia kuormituksia. Jätetäyttö rajoittaa alueen maankäytön mahdollisuuksia. Tavanomainen jälkikäyttötapa Suomessa on hyödyntää suljettua kaatopaikkaa viheralueena. Espoossa on Mankkaan vanhan kaatopaikan alue rakennettu golfkentäksi. (Kuntatekniikkalehti 2014)



Kuva 17. Mankkaan vanhan kaatopaikan alue golfkenttänä (Kuntatekniikkalehti 2014)

Kaatopaikan jälkihoidon aikana on seurattava kasvillisuuden kehittymistä ja tarvittaessa raivattava syväjuuriset kasvit, jotka voivat vaurioittaa tiivistyskerrosta tai tukkia juuristollaan kuivatuskerrosta. Kasvillisuus vähentää eroosiovaurioita, vaikuttaa positiivisesti pintarakenteen vesitaseeseen ja maisemoi alueen. (SYKE 2008, s. 33, 52)

Jos kaatopaikan pintarakenne rikkoutuu, kaatopaikkakaasuja pääsee vapautumaan ilmaan. Vuoto voi aiheuttaa kasvillisuusvaurioita, räjähdysvaaran, hajuhaittaa ja alueen käyttäjien altistumisen kaatopaikkakaasuille (SYKE 2008, s. 30). Jos kaatopaikkakaasuja hyödynnetään energiantuotannossa, vuoto heikentää kaasun tuotantoa. Kaatopaikalla tapahtuvat sortumat ja eroosiovauriot vaikuttavat korjauskustannusten lisäksi kaatopaikan pitäjän imagoon ja maineeseen.

5. MATERIAALIVAIHTOEHDOT

Tässä luvussa tarkastellaan kaatopaikan pintarakenteisiin soveltuvia materiaaleja. Materiaalien soveltavuuteen vaikuttavat teknisten ominaisuuksien lisäksi massojen saatavuus ja kuljetusetäisyys. Koska massoja tarvitaan paljon, on tarvittavia materiaaleja oltava saatavilla kohtuullisella kuljetusetäisyydellä. Tarkasteluun otettiin materiaaleja, joita saat-taisi olla saatavilla kohtuullisilla kuljetusetäisyyksillä ja ovat teknisten ominaisuuksien puolesta rakenteisiin soveltuvia. Tarkastelussa selvitetään vaihtoehtoisten materiaalien ominaisuudet, käsiteltävyys sekä materiaalien ominaisuuksien pysyvyys kaatopaikan pintarakenteessa.

5.1 Pilaantuneet maat

5.1.1 Materiaalin kuvaus

Pilaantuneita maita eli haitta-ainepitoisia ja jätteensekaisia maita toimitetaan kaatopai-koille erikokoisista kunnostuskohteista. Maiden sisältämät haitta-aineet ja pitoisuudet sekä maalaji vaihtelevat laajasti. Materiaalin soveltuvuus rakentamiseen pitää arvioida tapauskohtaisesti ottaen huomioon käytettävissä olevan erän koko ja ominaisuuksien vaihtelualue. Teknistä käyttökelpoisuutta voidaan parantaa käsittelemällä, esimerkiksi erottamalla seulonnalla karkeat tai isot kappaleet sekä poistamalla maan seassa mahdol-lisesti olevat jätejakeet. Myös puhdistettuja pilaantuneita maita voidaan hyödyntää kaa-topaikkarakentamisessa. Esimerkiksi maanpesussa käsiteltävä maa fraktioidaan eri lajit-teisiin ja terminen käsittely muuttaa maan ominaisuuksia hyödyntämisen kannalta parem-maksi.

Termisiä käsittelymenetelmiä ovat termodesorpio, jossa haitta-aine siirretään kiinteästä kaasufaasiin, ja poltto eri lämpötiloissa. Terminen käsittely soveltuu esimerkiksi öljyhii-livedyillä, PAH- ja PCB-yhdisteillä sekä erilaisilla torjunta-aineilla pilaantuneiden mai-den käsittelyyn. Termisen käsittelyn lämpötila säädetään sopivaksi riippuen siitä, minkä haitta-aineen pitoisuuteen halutaan vaikuttaa. Käsittelyssä käytetty lämpötila vaikuttaa myös maan ominaisuuksiin. Jo 100 °C lämpötila vaikuttaa maan mikrobiologiaan. Tutki-muksissa on todettu maan happamuuden kasvavan, kun termisen käsittelyn lämpötila on yli 250 °C. Terminen käsittely voi aiheuttaa muutoksia maan mineralogiaan. Korkeassa lämpötilassa saven mineraalirakenne hajoaa. Mineraalirakenteen hajoamisen jälkeen ki-demuotoiset savipartikkelit liimautuvat yhteen reaktioissa vapautuvien rauta- ja alumiinihydroksidi-ionin vaikutuksesta. Maan mineralogiasta riippuu, kuinka suuressa lämpö-tilassa mineraalirakenne hajoaa. (O'Brien et. al. 2018)

Kaatopaikan pohja- ja pintarakenteiden mineraalisten tiivistyskerrosten välissä olevissa kerroksissa käytettävien pilaantuneiden maiden tulee olla kaatopaikkakelpoisia asianomaiselle kaatopaikalle. Pilaantuneiden maiden käyttäminen muissa rakennekerroksissa edellyttää, että käytetyistä massoista ei liukene ympäristölle haitallisia aineita. Pilaantuneiden maiden kaatopaikkakelpoisuuden arviointiin sovelletaan samoja ohjeita kuin muihinkin jätteisiin. Käytettävien materiaalien vaikutus kaatopaikkaprosesseihin ja suotoveden laatuun pitää huomioida. (Wahlström et al. 2004, s. 18-26)

Pilaantuneita maita voidaan hyödyntää monipuolisesti myös kaatopaikan hoidossa esimerkiksi jätteiden päivittäisessä peittämisessä, jätetäytön sisäisissä teissä ja tukipenkeissä sekä suotovesien ja kaasujen hallintarakenteissa. Hyödynnettävien pilaantuneiden maiden tulee tällöin olla kaatopaikkakelpoisia asianomaiselle kaatopaikalle. (Mroueh et al. 2004, s. 291)

Yleisenä edellytyksenä kaikille pintarakennekerroksissa hyödynnettäville materiaaleille on, että niistä ei saa liueta haitallisia aineita, jotka voivat vaurioittaa mineraalista tiivistyskerrosta tai heikentää kuivatuskerroksen vedenjohtavuutta. Materiaalien tulee kestää myös kaatopaikkakaasujen aiheuttama kemiallinen rasitus. Pilaantuneiden maiden tulee olla suunniteltuun rakenteeseen teknisesti soveltuvia. Pilaantuneiden maiden käyttäminen kaatopaikan pintarakenteissa ei saa aiheuttaa haittaa kaatopaikan jälkikäytölle. (Infra 15-710194 2018)

Pintarakenteen mineraalisen tiivistyskerroksen yläpuolisissa rakennekerroksissa käytettävien materiaalien tulee olla luokiteltavissa pysyväksi jätteeksi. Riskiarvioinnin perusteella ympäristöviranomaisen voi sallia tapauskohtaisesti korkeampia haitta-ainepitoisuuksia sisältävien pilaantuneiden maiden hyödyntämisen tiivistysrakenteen yläpuolisissa kaatopaikan rakenteissa, jos niistä liukenevat haitta-aineet eivät aiheuta ympäristölle pilaantumisen riskiä. Jos kuivatuskerroksessa käytetystä materiaalista liukenee haitallisia aineita, voidaan vedet myös koota ja käsitellä. (Infra 15-710194 2018)

5.1.2 Ominaisuudet

Pilaantuneiden maiden käyttökelpoisuuteen vaikuttaa rakeisuus, vesipitoisuus, humuspitoisuus sekä haitta-aine ja sen pitoisuudet. Karkearakeisille materiaaleille on helpompi löytää käyttökohteita, mutta koska haitta-aineet tyypillisesti sitoutuvat hienoainekseen, ovat kaatopaikalle toimitettavat pilaantuneet maat usein savea tai silttiä. Pilaantuneiden maiden tekniset ominaisuudet vastaavat vastaavien puhtaiden maiden ominaisuuksia. Pilaantuneiden maiden sisältämät jättejakeet, kuten raudat tai kevyet muovikappaleet, voivat heikentää pilaantuneiden maiden teknistä kelpoisuutta.

Pilaantuneiden maiden puhdistamisessa käytetyt käsittelymenetelmät voivat vaikuttaa maan ominaisuuksiin. Esimerkiksi terminen käsittely korkeissa lämpötiloissa muuttaa pH-arvoa, pienentää orgaanisen aineksen määrää ja muuttaa rakeisuutta karkeammaksi.

Maanpesussa maasta erotetaan haitta-aineet sisältävä hienoaines, jolloin saadaan rakentamiseen paremmin soveltuvaa materiaalia. Kiinteyttämisellä eli stabiloinnilla voidaan tavoitella haitta-aineiden sitomisen lisäksi myös maan fysikaalisten ominaisuuksien parantamista. Biologisesti käsitelty pilaantunut maa puolestaan sisältää haitattomaksi muutunutta orgaanista ainesta. (Mroueh et al. 2004, s. 93-94, 129-130, 196)

Ennen pilaantuneiden maiden hyödyntämistä kaatopaikkarakenteissa selvitetään sen tekniset ominaisuudet. Tyypillisesti tutkitaan materiaalin rakeisuus, vesipitoisuus, humuspitoisuus ja niiden vaihtelualue sekä rakennekerroksista riippuen myös maksimikuivatuuspaino ja optimivesipitoisuus sekä vedenläpäisevyys.

Pilaantuneiden maiden teknistä kelpoisuutta arvioitaessa rakeisuus on keskeinen tekijä. Tiivistyskerrosta lukuun ottamatta aistinvarainen rakeisuuden arviointi voi olla riittävä kelpoisuuden arvioimiseksi. Kuivatuskerros ja kaasunkeräyskerros rakennetaan karkearakeisesta materiaalista. Jätetäytön sisäisissä tierakenteissa ja esipeittokerroksessa hienoaineksen osuus on oltava riittävän alhainen pölyämisen ja liettymisen välttämiseksi.

Pilaantuneiden maiden käyttö edellyttää usein homogenisointia ja varastointia. Käsitteilyllä voidaan parantaa maiden ominaisuuksia. Pilaantuneen maan rakeisuudesta riippuen sen ominaisuuksia voidaan muokata halutuiksi kivien rikotausella, seulomalla tai stabiloimalla. Esimerkiksi jos pilaantuneiden maiden joukossa on isoja kiviä, kannattaa ne seuloa erilleen ja rikkoa pienemmiksi kaivinkoneeseen kiinnitetyllä iskuvasaralla, jolloin saadaan esimerkiksi kuivatuskerrokseen soveltuvaa materiaalia. Pilaantuneet maat saattavat soveltua käytettäväksi stabiloitujen kerroksien runkoaineina tai maabentoniittiseoksen runkoaineena, jolloin seosaineet ja tiivistäminen pienentävä vedenläpäisevyyttä ja huokostilaa ja vähentävät haitta-aineiden kulkeutumista. Maabentoniitin runkoaineen vaatimukset on esitetty luvussa 5.12. Rakentamisen kannalta liian suuren vesipitoisuuden omaavia maita, kuten ruoppausmassoja tai liejuja, voidaan kuivata ennen käyttöä esimerkiksi geosäkki-menetelmällä.

5.1.3 Rakennettavuus

Pilaantuneita maita voidaan käsitellä tavanomaisella maanrakennuskalustolla. Jos maiden seassa on suuria kiviä tai betonin kappaleita, ylisuuret kappaleet poistetaan. Työsuojelussa huomioidaan haitta-aineet ja muut epäpuhtaudet.

Pilaantuneiden maiden kuljettaminen julkisilla liikenneväylillä edellyttää kuormien peittämistä. Kuormien peittäminen vaikuttaa lähinnä kaluston saatavuuteen. Kuljetettaessa pilaantuneita maita täytyy kuljettavalla ajoneuvolla olla mukana siirtoasiakirja, josta selviää kuorman laatu ja määrä sekä kuorman tuottajan yhteystiedot.

5.1.4 Ominaisuuksien pysyvyys

Pilaantuneiden maiden on oltava kemiallisesti yhteensopivia käytettyjen materiaalien kanssa. Pilaantuneista maista ei saa liueta rakenteille tai ympäristölle haitallisia aineita. Liukenevien haitta-aineiden vaikutus maan ominaisuuksien pysyvyyteen arvioidaan tapauskohtaisesti. Stabiloitu rakenne suunnitellaan siten, ettei siihen muodostu halkeamia aiheuttavia muodonmuutoksia.

5.2 Vaahtolasi

5.2.1 Materiaalin kuvaus

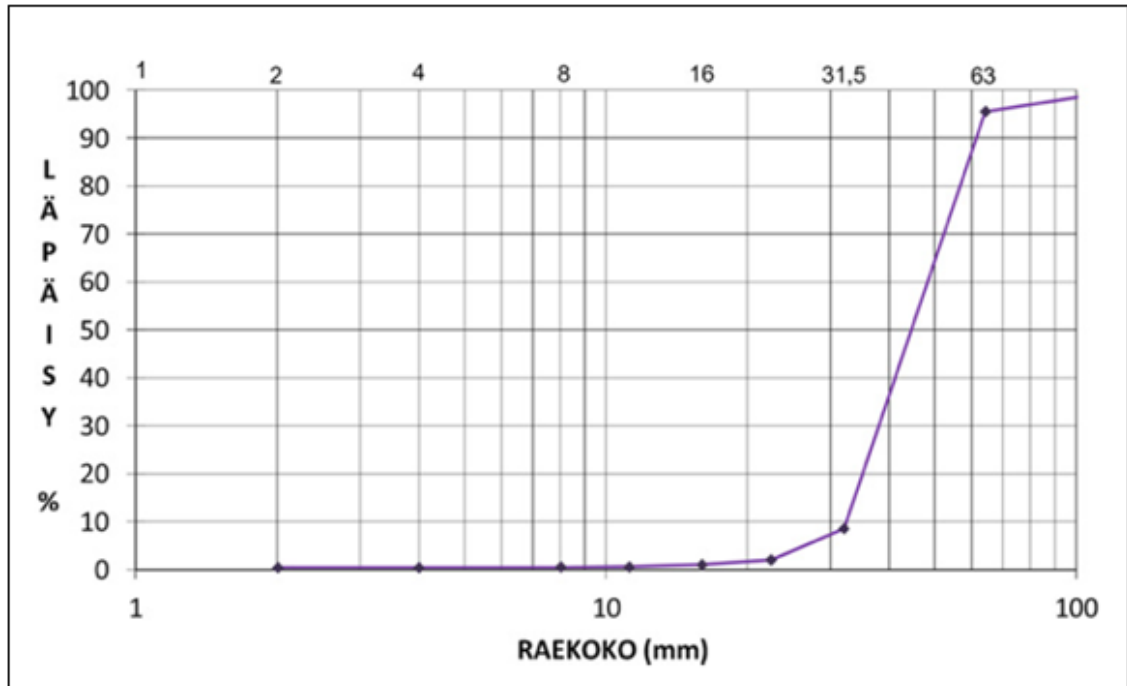
Vaahtolasi on kierrätetystä lasista valmistettu huokoinen kevytkiviaines. Kierrätyslasi jauhetaan 0,1 mm kokoiseksi jauheeksi, johon sekoitetaan vaahdotusagenttia. Jauhamisen jälkeen jauhe paisutetaan 900 °C:ssa, jolloin jauhettu massa paisuu noin viisinkertaiseksi yhtenäiseksi kappaleeksi. Kappaleen jäähtyessä se pirstoutuu pienemmiksi kappaleiksi, vaahtolasimurskeeksi. Suomessa vaahtolasimurskeelle on yksi valmistaja, Uusioaines Oy. Materiaalin rekisteröity tuotenimi on Foamit®. (Uusioaines Oy 2012)



Kuva 18. Vaahtolasimursketta (Uusioaines Oy 2012)

5.2.2 Ominaisuudet

Uusioaines Oy:n valmistamaa vaahtolasimurskettä on markkinoilla neljässä eri rakeisuudessa, 0-60 mm, 20-30 mm, 10-20 mm ja 3-10 mm. Yleisimmin käytetyn lajitteen 0-60 mm tyypillinen rakeisuuskäyrä on esitetty kuvassa 19. Vaahtolasi on tuote, jonka ominaisuudet pysyvät tietyllä alueella.



Kuva 19. FOAMIT 60 vaahtolasimurskeen tyypillinen rakeisuuskäyrä (Uusioaines Oy 2012)

Valmiin vaahtolasirakenteen tilavuuspaino on kiviaineksesta valmistettuun rakenteeseen verrattuna noin seitsemäsosa. Vaahtolasimurskeen kitkakulma on 36-45° riippuen jännitystasosta. Suurella jännitystasolla vaahtolasirakeet voivat rikkoutua ja pyöristyä, mikä pienentää kitkakulman arvoa. Foamit® vaahtolasimurskerakenteiden teknisiä ominaisuuksia valmistajien antamien tietojen mukaan on esitetty taulukossa 12.

Taulukko 12. *Foamit®* vaahtolasimurskeen teknisiä ominaisuuksia (Uusioaines Oy 2012)

Ominaisuus	Foamit® mitoitusarvo	Testausmenetelmä
Raekoko	10-60 mm	SFS-EN 933-1 / SFS-EN 13055
Kuivairtoteiheys	210 ± 15 %	SFS-EN 1097-3
Kuivairtoteiheys (tiivistetty)	220...280 kg/m ³	
Märkäirtoteiheys (pitkäaikainen tilanne)	350 kg/m ³	
Kitkakulma	36...45°	Kolmiaksaalikoe
pH-arvo	10	
Tiivistymiskerroin	1,15...1,25	Kokemusperäinen
Puristuslujuus (10 % kokoonpuristuma)	0,3...0,4 MPa	SFS-EN 13055
Puristuslujuus (20 % kokoonpuristuma)	> 0,9 MPa	SFS-EN 13055
Lämmönjohtavuus (kuiva)	0,11 W/mK	SFS-EN 12667
Lämmönjohtavuus (vesipitoisuus 25 paino-%)	0,15 W/mK	SFS-EN 12667
Vedenläpäisevyys	10 ⁻¹ m/s	Kokemusperäinen
Kapillaarinen nousukorkeus	200 mm	SFS-EN 1097-10

Vaahtolasimurskeella on hyvä lämmöneristävyys ja se on routimaton materiaali. Vaahtolasimurskeen lämmönjohtavuus on 0,10-0,23 W/mK riippuen vesipitoisuudesta. Taulukossa 13 on esitetty lämmöneristävyyden vastaavuus luonnon maa- ja kiviaineksiin valmistajan antamien tietojen mukaan. Kokemusperäisesti on todettu, että toistuvat jäätymissulamissyklit eivät huononna materiaalin mekaanisia ominaisuuksia. (Uusioaines Oy 2012)

Taulukko 13. *Laskennallisesti saman lämmöneristävyyden omaavan vaahtolasimurskerakenteen paksuus verrattuna luonnon maa- ja kiviaineksiin (Muokattu lähteestä Uusioaines Oy 2012)*

Vaahtolasimurske	Hiekka	Murske / sora	Louhe
0,2 m	0,8 m	0,9 m	1,0 m
0,25 m	1,0 m	1,1 m	1,25 m
0,3 m	1,2 m	1,3 m	1,5 m

5.2.3 Rakennettavuus

Vaahtolasimursketta voidaan käsitellä tavanomaisella maarakennuskalustolla. Vaahtolasimurske tulee mahdollisuuksien mukaan esitiivistää esimerkiksi työkoneen teloilla tai kevyellä tärylevyllä (150-200 kg). Esitiivistyksen jälkeen varsinainen tiivistys tehdään ohuen murskeesta rakennetun kerroksen päältä valssijyrällä. Tiivistäminen täryvalssijy-

rällä suoraan vaahtolasimurskekerroksen päältä ei ole suositeltavaa. Vaahtolasimurskerakenteen niin kuin kaikkien muidenkin maarakennusmateriaalien rakentamisessa tulee kiinnittää huomiota kerralla tiivistettävän kerroksen paksuuteen. Vaahtolasimurskeen turvallisuudessa käsittelyssä tulee huomioida materiaalin pölyväisyys. Materiaalin ollessa kuivaa se pölyää herkästi. Pölyävä hienoaines ei ole myrkyllistä, mutta se ärsyttää limakalvoja. Käsiteltäessä pölyävää vaahtolasimursketta, tulee käyttää P2 luokan hiukkassuodattimella varustettua hengityssuojainta sekä suojalaseja. Tarvittaessa materiaali tulee kastella ennen käsittelyä. (Uusioaines Oy 2012)

Uusioaines Oy:n valmistuslaitos sijaitsee Forssassa, joten kaikki Suomessa käytettävä vaahtolasi joudutaan kuljettamaan työkohteeseen Forssasta tai vaihtoehtoisesti tuomaan ulkomailta. Etuna vaahtolasimurskeen kuljetukseen on sen pieni tilavuuspaino. Näin ollen vaahtolasimursketta voidaan tilavuudeltaan kuljettaa moninkertainen määrä kerralla verrattuna esimerkiksi kiviaineksiin. (Uusioaines Oy 2012)

Vaahtolasimurske on hyvin vettä ja kaasua johtavaa, joten se soveltuisi erinomaisesti käytettäväksi kaatopaikan pintarakenteen kaasunkeräys- sekä kuivatuskerroksessa, mutta se ei ole kustannustehokas ratkaisu. Esimerkiksi FOAMIT 60 vaahtolasimurskeen hinta on luokkaa 40 €/m³ alv. 0 % ilman kuljetusta työkohteeseen.

5.2.4 Ominaisuuksien pysyvyys

Vaahtolasimurskeen pitkäaikaiskestävyyttä on tutkittu vasta vähän. Uusioaines Oy:n julkaiseman suunnitteluohjeen mukaan vaahtolasimurskeen *''ominaisuuksien ei tiedetä muuttuvan 50 vuoden kuluttuunaan.''* (Uusioaines Oy 2012). Vaahtolasin pH on korkea, joten se vaikuttaa bentoniittimaton ja muiden geosynteettisten tuotteiden pitkäaikaiskestävyyteen.

5.3 Rengasleike

5.3.1 Materiaalin kuvaus

Rengasleike eli entiseltä nimeltään rengasrouhe valmistetaan kierrätetyistä renkaista. Vanhat ja käytetyt renkaat leikataan 50-300 mm² palakokoon. Rengasleikkeen valmistuksessa ei pystytä poistamaan kaikkia teräsvöitä ja kuitukankaita, mikä täytyy ottaa huomioon ylä- ja alapuolisissa rakenteissa. Rengasleikettä valmistaa Suomessa Suomen Rengaskierrätys Oy ja Kuusankoski Oy. (Aurinko 2012a, s. 11)



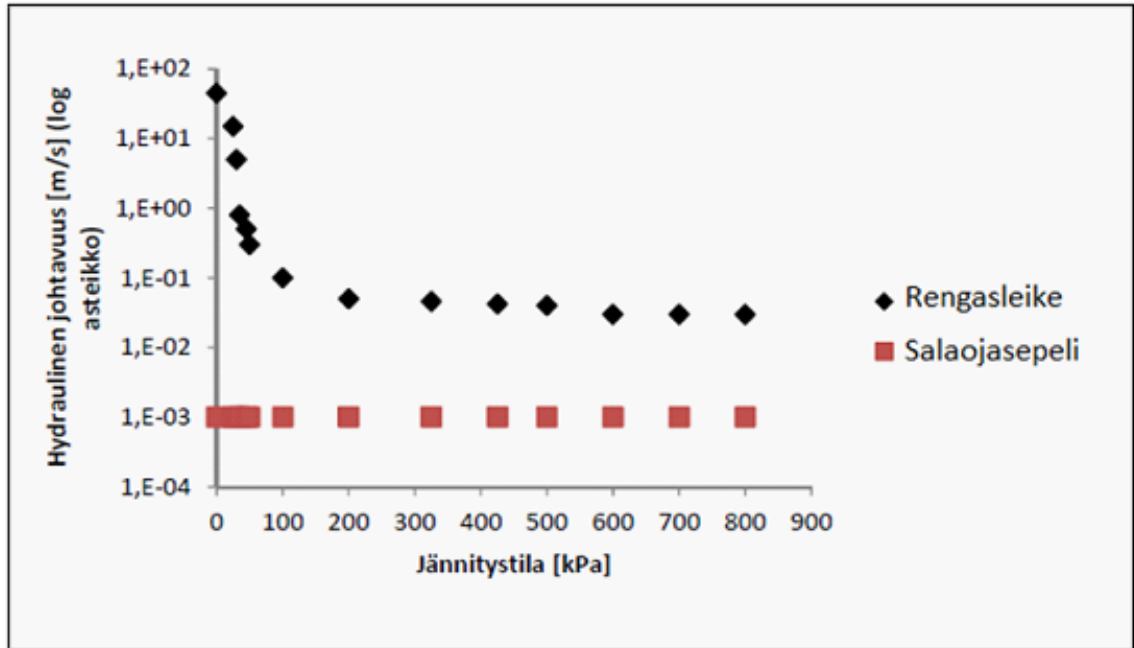
Kuva 20. Rengasleikkeestä rakennettu kaatopaikan pinnan kuivatuskerros (Aurinko 2012a, s. 30)

5.3.2 Ominaisuudet

Kierrätysrenkaista valmistettu rengasleike sisältää luonnonkumia, synteettistä kumia, polymeerejä, metalleja ja lisäaineita. Rengasleikkeen materiaaliominaisuuksia on tutkittu laboratoriossa ja koerakenteissa. Tutkimuksissa on havaittu, että vallitsevilla ulkoisilla tekijöillä on suuri vaikutus rengasleikkeen toimintaan. Rengasleikkeen ominaispaino eli kiinteän rengasleikepalan tiheys vaihtelee välillä $1020 \dots 1270 \text{ kg/m}^3$ riippuen kappaleen metallipitoisuudesta. Rengasleikkeen tilavuuspainoon vaikuttavat ominaispaino, palakoko, tiiviys ja kuormitus. Rengasleikkeen kokoonpuristuvuus on suuri, $5 \dots 50 \%$ rakenteen kerrospaksuudesta kuormituksesta, palakoosta ja tiivistäytystä riippuen. Kokoonpuristuvuus otetaan huomioon suunnittelussa. Kuormittamattoman rengasleikkeen tilavuuspaino on $2,3 \dots 4,8 \text{ kN/m}^3$ ja 400 kPa jännitystilassa olevan rengasleikkeen tilavuuspaino on $9,5 \dots 9,7 \text{ kN/m}^3$. (Aurinko 2012a, s. 25-31)

Rengasleikkeen palakokoon vaikuttaa laitteisto, jolla rengasleike tuotetaan ja leikkauskertojen lukumäärä. Ilmoitettu palakoko on nimellisarvo ja yksittäisten kappaleiden koko voi poiketa nimellisarvosta. (Aurinko 2012a, s. 27)

Rengasleikkeellä on erinomainen hydraulinen johtavuus. Rengasleikerakenteen hydraulinen johtavuus riippuu kuormituksen aiheuttamasta jännitystilasta. Kuvassa 21 on esitetty rengasleikkeen ja salaojasepelin hydraulinen johtavuus suhteessa jännitystilaan. (Aurinko 2012a, s. 29)



Kuva 21. Jännitystilan vaikutus rengasleikkeen ja salaojasepelin hydrauliseen johtavuuteen (Muokattu lähteestä: Aurinko 2012a, s. 30)

Liikenneviraston selvityksen mukaan rengasleikkeelle käytettävä kitkakulma φ on 20...40° välillä ja koheesio välillä $c = 8...10 \text{ kN/m}^2$. Rengasleikkeen lämmönjohtavuus on välillä 0,14...0,32 W/mK. Rengasleikerakenteen lämmönjohtavuus muuttuu kuormitettuna, jolloin rakenteen huokoisuus pienenee ja lämmönjohtavuus laskee. Rengasleikkeen lämmönjohtavuus on siten riippuvainen jännitystasosta. Rengasleikkeen lämmönjohtavuus on kaikissa tilanteissa maa-aineksen lämmönjohtavuutta huomattavasti pienempi. Rengasleikettä voidaan käyttää myös routaeristeenä. Rengasleikkeen tärkeimmät tekniset ominaisuudet on esitetty taulukossa 14. (Aurinko 2012a s. 26-31; Aurinko 2012b, s. 34)

Taulukko 14. Rengasleikkeen teknisiä ominaisuuksia (Aurinko 2012b, s. 23-35)

Ominaisuus	Rengasleike	Standardi
Palakoko	50...300 mm ²	ASTM C136
Ominaispaino	1020...1270 kg/m ³	
Tilavuuspaino (tiivistämätön)	2,3...4,8 kN/m ³	ASTM D4253
Tilavuuspaino (400kPa kuormitus)	9,5...9,7 kN/m ³	ASTM D4253
Kitkakulma	20...40°	ASTM D3080
Koheesio	8...10 kN/m ²	ASTM D3080
Kokoonpuristuvuus	5...50 %	
Lämmönjohtavuus	0,14 W/mK...0,32 W/mK	
Huokoisuus (tiivistämätön)	60...70 %	
Huokoisuus (tiivistetty)	45...55 %	

Teknisten ominaisuuksien perusteella rengasleike soveltuu erinomaisesti käytettäväksi kaatopaikan pintarakenteen kaasunkeräys- ja kuivatuskerroksissa. Se pystyy mukautumaan jätetäytön painumiin. Kaasunkeräyskerroksessa käytettäessä on otettava huomioon tulipaloriski.

5.3.3 Rakennettavuus

Kaatopaikkarakenteeseen suunniteltu rengasleike voidaan valmistaa työkohteessa tai kuljettaa se valmistuspaikasta rakennuskohteeseen. Rengasleikkeen pienen tilavuuspainon takia sen kuljetuskustannukset työkohteeseen ovat huomattavasti pienemmät kuin esimerkiksi kiviaineksilla, tosin löyhänä se vie paljon tilaa. Kustannustehokkaampaa kuitenkin olisi vastaanottaa ja kerätä renkaita kaatopaikka-alueelle ja valmistaa rengasleike paikan päällä. Ongelmana voi tosin olla renkaiden varastointi alueella ja saatavuus kuluttajilta tai muilta tahoilta sekä murskaukseen murskauspaikasta riippuen mahdollisesti tarvittava lupa. Varastoidut renkaat vievät tilaa ja tarvitsevat varastointi-alueen ennen rengasleikkeen valmistamista.



Kuva 22. Rengasleikkeen valmistusta (Aurinko 2012a, s. 1)

Rengasleikkeen valmistuksessa saattaa muodostua ihmiselle haitallista pölyä. Pöly sisältää pääasiallisesti hiiltä ja rikkiä. Jos pölyäminen on voimakasta, tulee pölynhallintaan kiinnittää huomiota. Renkaiden kastelu ennen leikkaamista vähentää pölyn syntymistä. (Laitinen et al. 2017, s. 34)

Rengasleikettä voidaan käsitellä tavanomaisella maarakennuskalustolla eikä sen käsittely valmistusta lukuun ottamatta vaadi erikoiskalustoa. Rengasleike sisältää kierrätysrenkaista peräisin olevia teräviä teräskappaleita, jotka voivat vaurioittaa maarakennuskaluston kumipyöriä. Tämän takia suositellaankin tela-alustaisia koneita ja laitteita. Rengasleikerakenteen kerrospaksuudessa tulee huomioida materiaalin suuri kokoonpuristuvuus. Pengerrakenteissa rengasleikerakenne tiivistetään riittävän raskaalla mekaanisella jyrällä, mutta kaatopaikkarakentamisessa tiivistäminen ei useinkaan ole tarpeen. Jyrän tarkoituksena on tehdä vain alkutiivistys. Lopullinen tiivistyminen ja kokoonpuristuminen tapahtuvat yläpuolisten kerrosten painon aiheuttamasta jännityksestä. Jotta vältetään yläpuolisen materiaalin sekoittumiselta rengasleikerakenteen kanssa, tulee rengasleikkeen pinnalle asentaa suodatinkangas. Käytetyistä materiaaleista riippuen suodatinkangas asennetaan tarpeen tullen myös rakenteen alapuolelle. (Aurinko 2012a, s. 23-24)

5.3.4 Ominaisuuksien pysyvyys

Tutkimuksissa on todettu, että osa rengasleikkeessä olevista teräksisistä langoista liukenee ajan kuluessa. Teräslangoista on todettu liukenevan lyijyä ja rautaa (Aurinko 2012, s. 21). Raudan värjäämä vesi voi olla kaatopaikan pitäjälle imagohaitta, muttei aiheuta merkittävää ympäristökuormaa.

Rengasleikkeen sisältämät teräslangat voivat vaurioittaa muita kaatopaikkarakenteita. Etenkin synteettiset materiaalit vaurioituvat helposti rengasleikkeen sisältämistä teräslangoista. Jos on riski, että rengasleikkeen kanssa kosketuksiin pääsevä materiaali voi vaurioitua, tulee rengasleike erottaa muusta rakenteesta riittävän paksulla suojakerroksella.

Rengasleikkeessä olevat teräksiset kappaleet hapettuvat eksotermisten reaktioiden tai korroosion vaikutuksesta, jolloin teräslangat kuumentuvat herkästi korkeisiin lämpötiloihin ja tulipalovaara rengasleikkeen varastokasassa kasvaa. Rengasleikkeen leimahduspiste on 322 °C. Rengasleike varastoidaan auman muotoisiin varastokasoihin. Tällä pyritään estämään lämpötilan nousua varastokasan sisällä. (Aurinko 2012a, s. 22-25)

5.4 Kompostoidut tuotteet

5.4.1 Materiaalin kuvaus

Kompostoinnilla tarkoitetaan biologista käsittelyä aerobisessa tilassa eli hapellisissa olosuhteissa. Kompostoinnissa eloperäinen aine hajoaa mikrobien vaikutuksesta. Kompostoinnin hajoamistuotteita ovat hiilidioksidi, vesihöyry ja suolat. Kompostoinnin lopputuotteesta käytetään nimitystä komposti. Kompostoinnin lopputuote riippuu kompostoitavasta materiaalista ja kompostiin lisättävistä tukiaineista. Kompostoinnissa vapautuu lämpöä. Kompostoimalla käsitellään tyypillisesti helposti hajoavia orgaanisia yhdisteitä

sisältäviä massoja, kuten yhdyskuntajätevedenpuhdistamon lietteitä, teollisuudesta peräisin olevia orgaanisia jätteitä, ruoppausmassoja tai helposti hajoavilla orgaanisilla haitta-aineilla pilaantuneita maita. Kompostointi ei sovellu materiaaleille, jotka sisältävät haihtuvia orgaanisia yhdisteitä. (Mroueh et al. 2004, s. 196)

5.4.2 Ominaisuudet

Valmiin kompostin ominaisuudet riippuvat kompostoitavasta materiaalista, kompostiin lisättävistä tukiaineista ja lisäaineista. Kaikille komposteille yhteinen ominaisuus on niiden sisältämä suuri orgaanisen aineksen määrä. Kompostien sisältämien orgaanisten aineiden vuoksi niitä voidaan kaatopaikkarakenteissa käyttää vain pintarakenteen mineraalisen tiivistyskerroksen yläpuolisissa rakenteissa. Pintakerroksissa käytetyistä komposteista ei saa liueta ympäristölle vaarallisia aineita haitallisia määriä. Tarvittaessa valumavedet kerätään talteen ja käsitellään ennen ympäristöön johtamista.

Ominaisuuksien puolesta kompostoidut materiaalit soveltuvat käytettäväksi kaatopaikan pintakerroksen kasvukerroksessa.

5.4.3 Rakennettavuus

Kompostoituja tuotteita voidaan käsitellä tavanomaisella maarakennuskalustolla. Kompostoitavan materiaalin laadusta riippuen se esikäsitellään ja homogenisoidaan ennen varsinaista kompostointia. Esikäsitelyä voi olla esimerkiksi kompostoitavan materiaalin murskaus, seulominen tai hygienisointi. Hygienisoinnilla tarkoitetaan haitallisten taudinaiheuttajien tuhoamista tai vähentämistä biologisella, kemiallisella tai termisellä käsittelyllä niin, että ne eivät ole vaaraksi ihmisen terveydelle. Esimerkiksi puhdistamolietteet on hygienisoitava ennen varsinaista kompostointia, koska ne sisältävät paljon terveydelle vaarallisia mikrobeja. (Pöyry 2007b)

Ennen kompostointia käsiteltävään materiaaliin lisätään huokoisuutta ja mikrobitoimintaa parantavia tukiaineita kuten esimerkiksi haketta, turvetta, kariketta tai puujätettä. Tukiaine ei saa sisältää materiaaleja tai aineita, jotka saattavat haitata tai rajoittaa kompostin jatkokäyttöä. Kompostoinnin onnistumiseksi seoksen kosteuspitoisuus, happipitoisuus ja pH on oltava mikrobitoiminnan edellyttämällä tasolla. Prosessin aikana kompostia on hoidettava säännöllisesti, jotta olosuhteet pysyvät kompostille edullisina. (Mroueh et al. 2004, s. 196-201)

Pilaantuneen maan kompostointi järjestetään yleensä ns. aumakompostointina. Aumakompostointi on menetelmä, jossa kompostoitavaa materiaalia varastoidaan auman muotoisissa kasoissa. Aumat voivat olla ilmastettuja tai sekoitettavia. Ilmastetuissa aumoissa kompostoitavan materiaalin sisään on asennettu putkistoja, joiden kautta käsiteltävään materiaaliin ohjataan ilmaa. Sekoitettavalla aumalla tarkoitetaan, että kasoja sekoitetaan mekaanisesti esimerkiksi pyöräkuormaajalla. (Mroueh et al. 2004, s. 196)

Kompostointiin vaikuttavat pilaantuneen maan ominaisuuksista maa-aineksen sisältävien haitta-aineiden pitoisuudet ja laatu, saven ja orgaanisen aineksen pitoisuus sekä pH ja vedenpidätyskyky. Savipartikkelit hidastavat kompostointiprosessia, koska saven kaasunläpäisevyys on pieni, jolloin mikrobitoiminnan edellyttämä happi ei kulkeudu tehokkaasti kaikkialle käsiteltävään materiaaliin. (Mroueh et al. 2004, s. 196-199)

Jätevedenpuhdistamoliete kompostoidaan sekoittamalla siihen esimerkiksi turvetta. Kompostoinnin jälkeen seokseen voidaan lisätä ravinteita tai hiekkaa parantamaan kompostin ominaisuuksia. Tarvittaessa komposti seulotaan. Lopputuotteena saadaan kasvu-alustaan sopivaa kompostimultaa tai maanparannusainetta. (Pöyry 2007b)

5.4.4 Ominaisuuksien pysyvyys

Kompostoitujen tuotteiden ravinnepitoisuus ja pH muuttuvat ajan kuluessa. Kompostoiduista tuotteista saattaa liueta geosynteettisille tuotteille haitallisia aineita tai metallien liukoisuuteen vaikuttavaa orgaanista hiiltä, joten kompostoitujen materiaalien kemiallinen yhteensopivuus muiden materiaalien kanssa tulee selvittää ennen kompostin käyttämistä rakenteisiin. Kasvualustamateriaaleista voi alkuvuosina huuhtoutua ravinteita ympäristöön. Kaatopaikoilla suositetaan karuja kasvualustoja, joten kompostiseoksia voidaan edelleen köyhdyttää sekoittamalla niihin esimerkiksi hiekkaa tai silttiä.

5.5 Betonimurske

5.5.1 Materiaalin kuvaus

Betonimurske valmistetaan murskaamalla rakennustyömailta, purkutyömailta tai rakennusteollisuudesta peräisin olevaa betonia. Suomessa betonimursketta on käytetty infrarakentamisessa vuodesta 1994 alkaen (TIEL 2000 s. 8). Betonimurskeen toimittajia Suomen markkinoille on useita, tunnetuimpana näistä Rudus Oy.

5.5.2 Ominaisuudet

Betonimurskeet jaotellaan BeM I, BeM II, BeM III ja BeM IV luokkiin raaka-aineen ja materiaaliominaisuuksien mukaan. BeM I luokan betonimurske valmistetaan puhtaasta betonista, joka on peräisin esimerkiksi betonituoteteollisuudesta. Muiden luokkien betonimurske on peräisin esimerkiksi purkutyömailta, ja voivat sisältää tiiltä ja muita epäpuhtauksia. BeM II luokan betonimurske on lujittuvaa ja sisältää tiiltä korkeintaan 10 %. BeM III luokan betonimurskeen uudelleenlujittuminen on epävarmaa. BeM IV luokan betonimurske ei lujitu, voi routia ja voi sisältää tiiltä enintään 30 paino-%. (TIEL 2000, s. 10)

Taulukko 15. *Betonimurskeen luokitus raaka-aineen mukaan (TIEL 2000, s. 10)*

Luokka	Puristuslujuus	Routivuus	E-moduuli	Tiilen max. osuus (paino-%)	Muiden materiaalien max. osuus (paino-%)
BeM I	$\geq 1,2$	Routimaton	700 MPa	0	0,5
BeM II	$\geq 0,8$	Routimaton	500 MPa	10	1
BeM III	Lujittuminen epävarmaa	Routimaton	280 MPa	10	1
BeM IV	Lujittuminen epävarmaa	Vaihtelee	≤ 200 MPa	30	1

Betonimurske on uudelleen lujittuva materiaali. Lujittuminen perustuu betonimurskeen murskauksessa muodostuvien sitoutumattomien sementin reaktiopintojen sitoutumiseen rakenteessa. Materiaalin lujittuminen on riippuvainen tiivistämistyön onnistumisesta optimivesipitoisuudessa. Lujittuminen on suurinta ensimmäisen vuoden aikana rakentamisesta. (HSY 2014, Rudus Oy 2017, TIEL 2000)

Betonimurskeelle tyypillisiä teknisiä ominaisuuksia on esitetty taulukossa 16. Taulukossa esitetyt tekniset ominaisuudet saattavat vaihdella betonimurskeen valmistajan ja betonimurskeen raaka-aineen mukaan.

Taulukko 16. *Betonimurskeen teknisiä ominaisuuksia (HSY 2014)*

Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Optimivesipitoisuus	%	8...12
Maksimikuivatilavuuspaino	kN/m ³	17,5...20,5
Minimikuivatilavuuspaino	kN/m ³	12,7...14,5
Kiintotiheys	t/m ³	2,55...2,65
Kapillaarisuus, H _c	m	0,2...0,25
Vedenläpäisevyys	m/s	10 ⁻⁴ ...10 ⁻⁵
Happamuus, pH		11...12,5
Kitkakulma	°	40

Betonimurske on kantava materiaali, jonka rakeisuus vaihtelee tavanomaisesti 0/45...0/150 mm välillä. Betonimurske voidaan murskata ja seuloa rakeisuudeltaan myös tätä pienemmäksi. (Rudus 2017)

Betonimursketta käytetään tavanomaisesti korvaamaan kiviaineksia tie- ja katu-, kenttä- sekä pohjarakenteissa. Markkinoilla olevat betonimurskeet täyttävät täten VNA 843/2017 mukaiset ympäristökelpoisuusvaatimukset. Betonimurske on emäksinen materiaali. Betonimurskeella on korkea puskurikapasiteetti eli kyky vastustaa pH olosuhteiden muutosta. Betonimurskeen kemiallinen yhteensopivuus muiden materiaalien kanssa tulee selvittää ennen rakenteeseen käyttöä. (Rudus 2017, s. 9)

Ominaisuuksien puolesta betonimurske soveltuu käytettäväksi kaatopaikan pintarakenteen esipeittokerroksessa, kaasunkeräyskerroksessa, kuivatuskerroksessa sekä kaatopaikan käytön aikaisissa jätetäytön sisäisissä ja huoltoteissa. Rakentamalla kaasunkeräyskerros betonimurskeesta saadaan kantava rakennusaluista mineraaliselle tiivistyskerrokselle. Kaatopaikkarakentamisessa kannattaa hyödyntää alempiluokkaisia betonimurskeita, sillä hyvälaatuisille betonimurskeille löytyy teknistaloudellisesti järkevämpiä käyttökohteita. Mara-asetus mahdollistaa betonimurskeen käytön ilmoitusmenettelyllä väylä- ja kenttä-rakenteissa.

Rakentamiseen käytetyiltä tuotteilta, kuten myös betonimurskeelta vaaditaan CE-merkintä. CE-merkintä ei kuitenkaan ole pakollinen, jos tuote valmistetaan omaan käyttöön tai tilauksesta tiettyyn rakennuskohteeseen. Esimerkiksi CE-merkintää ei vaadita betonimurskeen valmistamisesta kaatopaikan rakenteisiin kaatopaikalle vastaanotetuista jätteistä. CE-merkityn betonimurskeen enimmäisraekoko on 90 mm.

5.5.3 Rakennettavuus

Betonimursketta voidaan käsitellä samaan tapaan kuin kiviaineksia. Betonimurskeen kuljetus, levitys ja tiivistys tehdään kuten kiviaineksilla. Lujittunut betonimurskerakenne voidaan kaivaa auki tavanomaisella kalustolla. Betonimurske ei sovellu käytettäväksi vedenalaisissa täyöissä, sillä sen sisältämän hienoaineksen takia se liettyy helposti. Betonimurskeen lujittuminen tulee huomioida rakenteen lopullista tasausta ja muotoilua tehtäessä. Lujittuneen betonimurskeen muotoilu ja tasaaminen on hankalampaa. Jos betonimursketta käytetään kuivan hyvin vettä johtavan alusrakenteen päällä ja betonimurskeen halutaan lujittuvan, on kastelusta huolehdittava rakentamisen ja jälkihoidon aikana. (Rudus 2017, s. 9)

Ihokosketusta tulee välttää käsiteltäessä betonimursketta. Betonimurskeen sisältämä pöly saattaa ärsyttää ihoa ja aiheuttaa ihon kuivumista ja halkeilua sekä aiheuttaa silmien ja limakalvojen ärsytystä. (HSY 2014, s. 5)

Jos rakentamiseen käytettävän betonimurskeen raekoko ei ole tasalaatuinen ja se sisältää isoja kappaleita, rakennettavan rakenteen pinnan tasaaminen saattaa olla haastavaa. Jos betonimurske sisältää teräksiä, liikennöinti betonimurskerakenteen päällä aiheuttaa todennäköisesti rengasrikkoja kuljetuskalustolle tai pyöräalustaisille maarakennuskoneille.

Betonimurskeen hintaan vaikuttavat kuljetusetäisyys sekä kysynnän ja tarjonnan määrä. Pääkaupunkiseudulla valmiin betonimurskeen hinta toimitettuna työkohteeseen on tyyppillisesti 0,5...4,0 €/t ilman arvonlisäveroa. Jotta betonimurskeen käytöstä kaatopaikan rakenteissa ei tarvitse maksaa jäteveroa, se ei saa sisältää rakeisuudeltaan yli 150 mm kappaleita (Jäteverolaki 1126/2010, 6 §). Jos kaatopaikalle tuodaan riittävästi betonijätettä käsiteltäväksi voi betonimurskeen käyttäminen olla taloudellisesti järkevää kaato-

paikan pintarakenteen kuivatus- ja/tai kaasunkeräyskerroksessa. Betonijätteen vastaanottaja saa korvauksen vastaanotetusta jätebetonista. Loimi-Hämeen Jätehuolto Oy:n jätemaksu betonille, jonka särmäkokoo on 1-5 m on 29,03 €/t alv. 0 % (LHJ 2018). Riippuen murskattavasta määrästä, lopputuotteen puhtaudesta ja raekoosta pulveroinnin ja murskauksen hinta betonijätteelle on luokkaa 3-7 €/t. Jätebetonin puhtaudesta riippuen hyllynä on romumetallia ja sekalaista rakennusjätettä. Romumetallista saa aina korvauksen. Pulveroimalla ja murskaamalla jätebetoni rakenteeseen soveltuvaksi materiaalin hankintahinta jää täten positiiviseksi.

5.5.4 Ominaisuuksien pysyvyys

Betonimurskeen pitkäaikaiskestävyyttä tie- ja katurakenteissa on tutkittu yli 20 vuoden ajan. Tutkimusten perusteella betonimurskerakenteen kantavuus kehittyy ajan myötä. Betonimurskerakenteesta on 13-15 vuoden jälkeen rakentamisesta mitattu päällysteen päältä 15-25 % suurempia kantavuuksia kuin vastaavasta kiviaineksesta tehdystä rakenteesta. (Dettenborn 2013, s. 100)

Betonimurskeen mukana tulevat tiilenkappaleet voivat murskautua hienommiksi jo rakentamisen aikana. Betonimurskeen vedenläpäisevyys pienenee betonimurskeen lujittuessa. Betonimurskeesta liukenee veden mukana kalsiumia. Kalsium voi aiheuttaa saostumia salaojaputkissa ja salaojamatoissa. (HSY 2014, Rudus Oy 2017 s. 9, TIEL 2000)

5.6 Rakennus- ja purkujätteen rejektit

5.6.1 Materiaalin kuvaus

Rakennus- ja purkujätteen rejekteillä tarkoitetaan kyseisten jätteiden mekaanisen käsittelyn alitteita, jotka ovat energiantuotantoon tai muuhun hyötykäyttöön kelpaamatonta jätettä. Rakennus- ja purkujätteen rejektit ovat heterogeenista jätettä. Alkuperästä riippuen rejektit sisältävät muun muassa muovina, lasia, tiiltä, betonia, lämmöneristeitä, pahvia, kiviä, kipsilevy- ja keraamimurua sekä purua. (Laine et al. 2018, s. 18-19)



Kuva 23. Rakennus- ja purkujätteen rejektiä.

Suomessa käsitellään vuosittain noin 680 000 tonnia rakennus- ja purkujätettä. Tästä jätemäärästä syntyy rejektejä noin 130 000 t – 270 000 t eli noin 20 – 40 %. Suomen ympäristökeskuksen mukaan vuonna 2017 rakennus- ja purkujätteen rejektejä käytettiin hyödyntämistarkoituksiin 185 000 t ja sijoitettiin kaatopaikoille 25 600 t. (Laine et al. 2018, s. 19)

5.6.2 Ominaisuudet

Rakennus- ja purkujätteen rejektin sisältämä orgaaninen aines on pääosin peräisin puusta ja kipsilevyn paperista. Riippuen käsiteltävän jätteen laadusta ja käsittelyprosessin teknologiasta orgaanisen aineksen pitoisuus voi vaihdella merkittävästi. VTT:n arvion mukaan teknistaloudellisesti olisi saavutettavasti 18 % orgaanisen aineksen pitoisuus. Jos rakennus- ja purkujätteen rejektiä ei ole mahdollista hyödyntää energian tuotannossa sen liian alhaisen energiatihedyn vuoksi eikä rejekteille ole muuta teknistaloudellista hyödyntämiskohdetta, voidaan ympäristöviranomaisen luvalla rakennus- ja purkujätteen rejektejä hyödyntää kaatopaikalla tai loppusijoittaa ne kaatopaikoille. (Laine et al. 2018, s. 19, 40)

Rakennusjätteen rejektien ominaisuudet vaihtelevat käsiteltävästä rakennusjätteestä. Rakennus- ja purkujätteen rejekteille on tyypillistä pieni palakoko, hienoaines ja pölyäminen. Rejektit eivät sisällä merkittävässä määrin isoja kappaleita, koska ne on eroteltu erilliseen käsittelyprosessissa. (Laine et al. 2018, s. 18-19)

Rakennus- ja purkujätteen rejektit soveltuvat ominaisuuksiensa puolesta kaatopaikan pintarakenteen esipeittokerrokseen, jätetäytön muotoiluun ja mahdollisesti karkeammat jakeet myös kaasunkeräyskerrokseen.

5.6.3 Rakennettavuus

Rakennus- ja purkujätteen mekaanisen käsittelyn rejektejä voidaan käsitellä tavanomaisella maanrakennuskalustolla. Kaatopaikan pintarakennetta rakennettaessa materiaali levitetään esimerkiksi puskukoneella tai kaivinkoneella. Rakennettu kerros tiivistetään telalustaisella koneella tai kaatopaikkajyrällä. Riippuen rejektien hienoainespitoisuudesta materiaalin pölyäminen ja kevyiden jakeiden leviäminen tuulen mukana tulee huomioida rakentamisessa ja työsuojelussa. Rejektit ovat tyypillisesti tasarakeisia, joten niitä on helppo käsitellä ja rakennettavan kerroksen muotoilu on vaivatonta. Rakennus- ja purkujätteen rejekteillä rakennetun kerroksen kantavuus on alhainen, mikä vaikuttaa sen päälle rakennettavan kerroksen rakentamiseen.

Suuren hienoainespitoisuuden vuoksi tasattu kerros lietty helposti. Liettymistä voidaan välttää rakentamalla riittävän suuret kallistukset ja tiivistämällä rakennettava kerros huolellisesti.

5.6.4 Ominaisuuksien pysyvyys

Rakennus- ja purkujäte sisältää usein hajonneita kipsilevyjä ja niiden palasia, jotka sisältävät kalsiumsulfaattia. Tämän takia rikin kokonaispitoisuus ja liukoisuus rakennus- ja purkujätteen rejekteissä saattaa olla merkittävä. Kipsipohjainen jäte tulisi yrittää poistaa ennen jätteen murskausta, sillä murskauksen jälkeen hienontuneen kipsin poistaminen on lähes mahdotonta. (Laine et al. 2018, s. 18-19)

5.7 Kuitusavi

5.7.1 Materiaalin kuvaus

Kuitusavi on paperiteollisuuden merkittävin sivutuote. Sitä syntyy puun, paperin ja näiden massojen eri käsittelyn vaiheissa. Suomen puu- ja metsäteollisuudesta syntyy vuosittain noin miljoona tonnia kuitu- ja siistauslietteitä. Kuivatettuina sama määrä olisi noin 400 000 tonnia. Suomessa merkittävin kuitusavien tuottaja ja toimittaja on Metsä-Tissue

Oyj. Metsä-Tissue Oyj on markkinoinut kuitusavia tuotenimellä Finncao. Finncao-kuitusavet voidaan jakaa kolmeen eri ryhmään riippuen tuotantoprosessista. Kuitusaven koostumus ja ominaisuudet riippuvat tehtaan prosesseista ja raaka-aineista. Kaatopaikan pintarakenteisiin parhaiten soveltuvia kuitusavia ovat siistauslietteet eli ryhmän C kuitusavet. Siistauslietettä muodostuu keräyspaperin siistauksessa, joten ne sisältävät paljon paperin pinnoitteena käytettyä savimineraalia. Ryhmiin A ja B kuuluvien kuitusavien jalostamisessa käytetty liete erotetaan syntyprosessin jäteveden mekaanisessa esiselkeytyksessä. Ryhmään A kuuluvan kuitusaven jalostamisessa käytettäviä lietteitä syntyy mekaanisen massan raaka-aineena käytävillä paperitehtailla. Ryhmään B kuuluvan kuitusaven raaka-ainetta syntyy sellua raaka-aineena käytävillä tehtailla. (Finncao Oy 2001, s. 5-6)

Vuonna 2016 tuli voimaan orgaanisen aineen kaatopaikkasijoitusrajoitus, joka rajoittaa kuitusavien käyttöä kaatopaikan pintarakenteen mineraalisessa tiivistyskerroksessa. Metsäteollisuuden massan valmistuksessa syntyvää soodasakkaa tai keräyspaperin siistauksessa syntyvää lietettä saa sijoittaa tavanomaisen jätteen kaatopaikan tiivistyskerroksen alla olevaan jätetäyttöön tai rakenteeseen. (VNa 331/2013, 28§)



Kuva 24. Kuitusavea (Vainio 2015)

Paperin tuotantoprosessi määrittää kuitusaven koostumuksen. Kuitusaven väri voi vaihdella prosessissa käytettyjen väripigmenttien mukaan. Kuitusavet sisältävät kiinteää ainesta, huokoskaasua ja -vettä. Kiinteä aine koostuu epäorgaanisesta talkista, kaoliinista ja kalsiumkarbonaatista sekä orgaanisista kuiduista. (Finncao Oy 2001, s. 7)

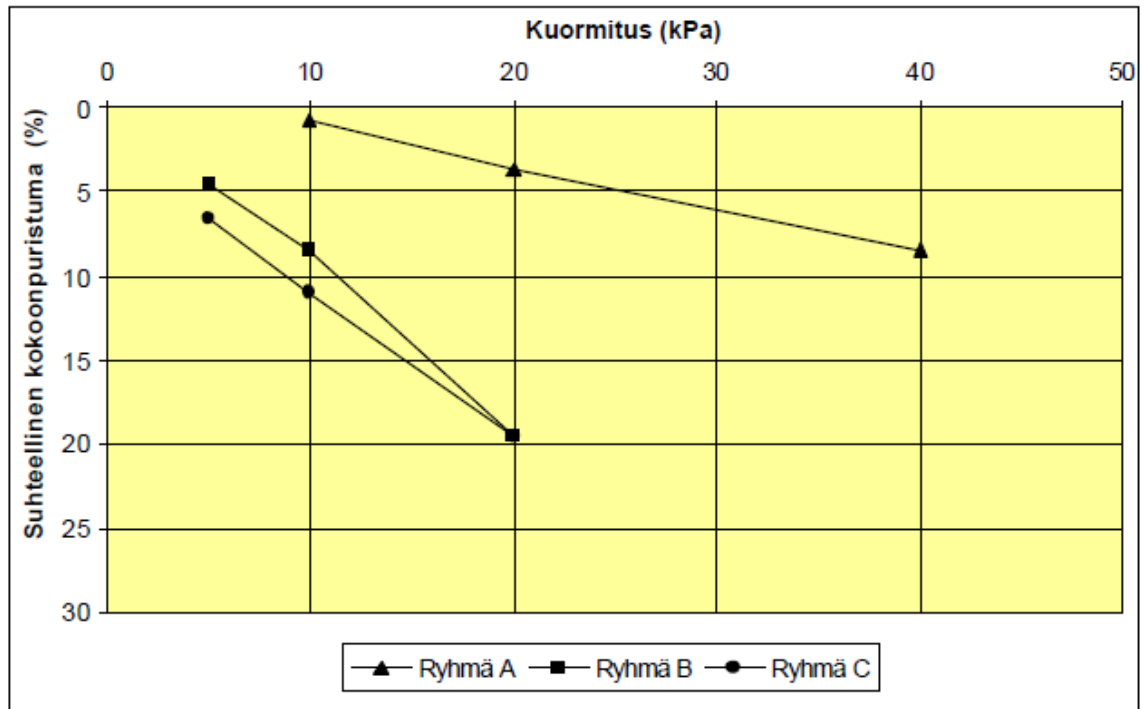
5.7.2 Ominaisuudet

Finncao-kuitusavien ympäristökelpoisuutta on arvioitu tutkimalla haitallisten aineiden kokonaispitoisuuksia ja liukoisuusominaisuuksia. VTT:n tekemässä tutkimuksessa ”*Kaatopaikkojen tiivistysrakennemateriaaleina käytettävien teollisuuden sivutuotteiden ympäristökelpoisuus*” on tutkittu kuitusaven ympäristökelpoisuutta. Kuitusaven sisältämien orgaanisten aineiden vuoksi siitä liukenee orgaanista hiiltä (DOC). Orgaanisen hiilen liukeneminen ei kuitenkaan aiheuta merkittävää muutosta sekalaatuista jätetäyttöä sisältävien kaatopaikkojen suotovesiin, sillä suotovesien DOC-pitoisuus niissä on jo ennestään korkea. Tutkitun kuitusaven DOC-pitoisuus ylitti pysyvän, tavanomaisen ja vaarallisen jätteen kaatopaikan kaatopaikkakelpoisuuden raja-arvot. Muiden haitta-aineiden liukoisuudet olivat vähäisiä. Taulukossa 17 on esitetty VTT:n tekemän liukoisuustestin tulokset L/S-suhteessa 10. pH-arvo testin lopussa oli 7,3. (Wahlström et al. 2004, s. 67-69)

Taulukko 17. Kuitusavinäytteen liukoisuustestin tulokset L/S = 10 (Wahlström 2004, s. 68)

Haitta-aine	mg/kg	Pysyvän jätteen raja-arvo	Tavanomaisen jätteen raja-arvo	Vaarallisen jätteen raja-arvo
Ba	3,9	20	100	300
Cd	< 0,02	0,04	1	5
Cr	< 0,1	0,5	10	70
Cu	< 0,1	2	50	100
Pb	< 0,2	0,5	10	50
Mo	< 0,3	0,5	10	30
Ni	< 0,1	0,4	10	40
Zn	< 0,1	4	50	200
SO ₄ ²⁻	250	1 000	20 000	50 000
Cl ⁻	46	800	15 000	25 000
DOC	15 000	500	800	1 000

Kuitusavirakenne konsolidoituu eli kokoonpuristuu kuormituksen vaikutuksesta. Kuormituksen vaikutuksesta kuitusaven huokosista poistuu ilmaa ja vettä, jolloin kuitusavi kokoonpuristuu. Kokoonpuristuminen on suoraan verrannollinen kuormituksen suuruuteen. Kuitusavirakenteen kokoonpuristuminen huomioidaan rakenteen kokonaispaksuudessa kokoonpuristumisvaralla. (Finncao Oy 2001, s. 12)



Kuva 25. Finncao-kuitusavien kokoonpuristuminen kuormituksen funktiona (Finncao Oy 2001, s. 12)

Finncao Oyn:n mitoitushojeen mukaan kuitusavien vedenläpäisevyys vedellä kyllästyneessä tilassa vaihtelee 10^{-8} m/s ... 10^{-10} m/s välillä. Kun kuitusavirakennetta kuormitetaan, kuitusavien kuivatilavuuspaino kasvaa, huokoisuus pienenee ja vastaavasti vedenläpäisevyys pienenee. (Finncao Oy 2001, s. 13)

Finncao-kuitusavien biohajoavuutta on tutkittu aerobisissa olosuhteissa. Tutkimusten perusteella on todettu Finncao-kuitusavien tilavuudenmuutoksen olevan 1,6...4,8 % riippuen materiaalista. Finncao-kuitusavirakenteessa biohajoavuus otetaan huomioon varautumalla 5 % tilavuuden pienenemiseen valmiissa rakenteessa. (Finncao Oy 2001, s. 14-15)

Kuitusavien materiaaliominaisuudet vaihtelevat syntyprosessin ja vesipitoisuuden mukaan. Kirjallisuudessa kuitusaville on esitetty hyvinkin erisuuruisia geoteknisiä materiaaliominaisuuksia. Taulukossa 18 on esitetty eräitä kuitusaville tyypillisiä ominaisuuksia.

Taulukko 18. Kuitusavelle tyypillisiä geoteknisiä ominaisuuksia (Mäkelä & Höynälä 2000)

Ominaisuus	Arvo
Kuivatilavuuspaino	360...600 kg/m ³ itd
Vesipitoisuus	100...220 %
Vedenläpäisevyys	$5 \cdot 10^{-8}$... $5 \cdot 10^{-9}$ m/s
Plastisuusraja	94...147 %
Juoksuraja	218...285 %
Lämmönjohtavuus	0,6...0,7 W/mK
Kokoonpuristuvuusindeksi C_c	1,2...1,8
Konsolidaatiokerroin C_v	4...16m ² /a
Suljettu leikkauslujuus	10...35 kPa
Koheesio c'	13...16 kPa
Kitkakulma φ	23...31 °

Kuitusavi on teknisiltä materiaaliominaisuuksiltaan erinomainen vaihtoehto orgaanista jätettä sisältävän kaatopaikan pintarakenteen mineraalisen tiivistyskerroksen materiaaliksi. Kuitusavesta tehty rakenne kestää kaatopaikan epätasaisen painumisen aiheuttamia muodonmuutoksia. Kuitusavet sisältävät kuitujakeita, joilla on vetolujuutta. Kuitujen vetolujuuden vuoksi muodonmuutoskestävyys ja kantavuus voivat olla suurempia kuin hienorakeisilla mineraalisilla maa-aineksilla (Finncao Oy 2001, s. 10). Kuitusaven käsiteltävyyttä ja tiivistettävyyttä sekä lujuutta voidaan parantaa sekoittamalla siihen esimerkiksi lentotuhkaa, tosin tällöin vedenläpäisevyys kasvaa (Infra 062-710191 2018). Kuitusavi soveltuu ominaisuuksien puolesta myös kasvukerroksessa ja pintakerroksessa käytettävien materiaalien seosaineeksi.

5.7.3 Rakennettavuus

Kuitusavia on käytetty useissa eri kohteissa kaatopaikan pintarakenteen mineraalisessa tiivistysrakenteessa. Kuitusavea on käytetty myös Kiimassuon kaatopaikan pintarakenteen mineraalisessa tiivistysrakenteessa. Esimerkiksi Metsä Tissuen Finncao-kuitusavea on käytetty noin 30 kaatopaikan pintarakenteessa. Kuitusavella rakennetun tiivistyskerroksen kustannukset muodostuvat jalostuksesta (homogenisointi, lisäaineiden lisääminen), kuormauksesta, kuljetuksesta, levityksestä, tiivistyksestä ja laadunvalvonnasta.



Kuva 26. Kuitusavesta rakennettu pintarakenteen mineraalinen tiivistyskerros (RT 38715)

Kuitusavi jalostetaan tehtaalla kaatopaikan pintarakenteeseen soveltuvaksi. Ennakkokeilla osoitetaan, että käytettävällä materiaalilla voidaan saavuttaa tavoiteltu pieni vedenläpäisevyystaso. Kuitusavien kuljettaminen työkohteeseen on edullisempaa kuin perinteisten kiviainesten, koska sen tilavuuspaino on moninkertaisesti kiviaineksia pienempi. Kuitusavea voidaan kuljettaa peittämättömänä. Kuitusavien liettyminen on kuitenkin es-tettävä kuljetusten ja varastoinnin aikana suojaamalla materiaali tarkoituksenmukaisesti.

Työkohteessa kuitusavi levitetään ja muotoillaan tela-alustaisella kaivinkoneella. Tiivistys tehdään telasullonnalla useassa osakerroksessa. Osakerrosten paksuus ja ylityskertojen määrä valitaan työn alussa tehtävän koetiivistysrakenteen laadunvalvontamittausten perusteella. Lopullinen tilavuuspaino saavutetaan vasta, kun kuitusavirakenteen päällä on staattinen kuormitus kuten yläpuolisten rakennekerrosten paino. (Infra 15-710194 2018)

Vesisade ja vesipitoisuuden kasvaminen vaikeuttavat kuitusaven tiivistämistä. Valmistu kuitusavesta rakennettua rakennetta ei saa päästää jäätyämään, sillä jäätymis-sulamissyklit aiheuttavat rakenteen halkeilua ja kasvattavat täten rakenteen vedenläpäisevyyttä. (Finn-cao Oy 2001, s. 20-22)

Ennen varsinaisen tiivistysrakenteen rakentamista, rakennetaan koetiivistysrakente, jotta varmistutaan oikeista työmenetelmistä ja optimivesipitoisuudesta. Työn edetessä laatua valvotaan esimerkiksi troxler-, hiekkavolyometri- tai vesivolyometri-kokeilla. Tehtävät laa-

dunvalvontamittaukset esitetään laadunvalvontasuunnitelmassa. Tulosten tulkinnassa tulee ottaa huomioon kuitusaven kokoonpuristumisen ja korkean vesipitoisuuden vaikutukset tulosten luotettavuuteen. Kuitusaven vesipitoisuus määritetään ennen materiaalin käyttämistä rakenteeseen. Jos koetulokset poikkeavat asetetuista raja-arvoista, kuitusavea ei saa käyttää rakenteeseen. (Infra 15-710194 2018; Finncao Oy 2001, s. 20-22)

5.7.4 Ominaisuuksien pysyvyys

Kuitusavella tehty massiivinen kaatopaikan pintarakenteen tiivistyskerros kestää hyvin jätetäytön epätasaisen painumisen vaurioitumatta. Valmis kuitusavirakenne kokoonpuristuu kuormituksen ja biohajoamisen vaikutuksesta, mikä otetaan huomioon kokoonpuristumisvaralla. Myös kuitusavien orgaanisen aineksen biohajoamisen vaikutukset ja kaasunmuodostus tulee ottaa huomioon rakennetta suunniteltaessa. (Finncao Oy 2001, s. 4, 12; Infra 15-710194 2018)

5.8 Salaojamatot

5.8.1 Materiaalin kuvaus

Kaatopaikan pintarakenteen mineraalinen kuivatuskerros voidaan korvata salaojamatolla. Salaojamatto koostuu vettä johtavasta ytimestä ja ainakin toisella puolella ydintä olevasta suodatinkankaasta. Suodatinkangas voi olla myös vettä johtavan kerroksen molemmilla puolilla. Joissain tuotteissa vettä johtavan ytimen toisella puolella on kalvo. Tunnettuja salaojamattojen tarjoajia Suomen markkinoille on esimerkiksi Geosynt Oy (entiseltä nimeltään Kaitos Oy), Oy ViaCon Ab, Meltex Oy Plastics ja Lektar Oy.

5.8.2 Ominaisuudet

Markkinoilla on monentyypisiä salaojamatot tuotteita. Vettäjohtava ydin voi olla nystyröity levy (*cusped*), yksi- tai useampitasoinen tai muu kolmiulotteinen geoverkko (*geonet* tai *geomesh*). Suodatinkankaat on kiinnitetty vettä johtavaan ytimeen termisesti tai kutomalla. (Infra 15-710194 2018)



Kuva 27. Salaojamaton vettäjohtava ydin, geomesh (Meltex Oy Plastics)

Salaojamattoja voidaan käyttää erilaisissa rakenteissa kaasujen ja vedenjohtamiseen korvaamaan mineraalisia materiaaleja. Salaojamatot mitoitetaan kaatopaikkarakenteisiin johtavuuslaskemilla. Laskemilla osoitetaan, että suunniteltu salaojamatto soveltuu käytettäväksi kohteessa vedenjohtavuuskyvyn perusteella. Salaojamaton valintaan vaikuttaa:

- yläpuolinen kuorma
- johtavuus rakennetta vastaavalla kuormituksella
- johtavuus pitkäaikaisessa kuormituksessa
- salaojamaton paksuus pitkäaikaisen kuormituksen alaisena
- tuotekohtaiset käyttökohteen olosuhteista riippuvat vedenjohtavuuden vähennyskertoimet
- luiskien pituus ja kaltevuus. (InfraRYL 2018, luku 142525)

Johtavuuslaskelmien lisäksi tarkastellaan luiskien stabiliteetti eri materiaalien rajapinnoissa sekä käytetyn materiaalien leikkauslujuuden riittävyys. Vaarallisin rajapinta on tyypillisesti kahden geosynteetin välissä, esimerkiksi bentoniittimaton ja salaojamaton rajapinnassa. Kokemusperäisesti salaojamattoja ei voida asentaa 1:3 jyrkempiin kaltevuuksiin ilman geolujitteita. (InfraRYL 2018, luku 142525 12-13; Infra 15-710194 2018)

Ominaisuuksien puolesta salaojamatot soveltuvat käytettäviksi kaatopaikan pintarakenteen kuivatus- ja/tai kaasunkeräyskerroksessa.

5.8.3 Rakennettavuus

Salaojamatot valmistetaan tehtaissa valvotuissa olosuhteissa, joten ne ovat ominaisuuksiltaan tasalaatuisia. Kaatopaikan pintarakenteessa käytettävien salaojamattojen valmistuksessa tulee noudattaa standardien *SFS-EN 13252* mukaista laadunvalvontaa. Luvussa 3.6.3 on tarkasteltu tarkemmin geosynteettisten tuotteiden laadunvalvontaa.

Salaojamattorullat kuljetetaan työkohteeseen rekalla. Yhdellä kuljetuksella saadaan salaojamatot tuhansille rakennettaville neliöille. Salaojamatot varastoidaan työkohteessa tasisen alustan päällä. Salaojamatot siirretään työmaalla asennuspaikalle nostoliinon avulla, jotta vältetään vaurioittamista salaojamattoja. Matot asennetaan miestyönä käyttäen apuna työhön soveltuvaa konetta salaojamattojen siirtämiseen. Salaojamattojen päällä ei saa liikennöidä työkoneilla. Ennen salaojamaton asentamista varmistetaan, että asennusalusta ei sisällä rakeisuudeltaan liian suuria irtonaisia kiviä tai muitakaan kappaleita, jotka voivat vaurioittaa salaojamattoa, ja että asennusalustan on kaltevuuksiltaan suunnitelmien mukainen. (Infra 15-710194 2018; InfraRYL 2018, luku 14525)

Salaojamattojen etuna on suuri työsaavutus ja vähäinen työnaikainen laadunvalvonta. Yhden työvuoron aikana saadaan moninkertainen määrä valmista rakennetta verrattuna esimerkiksi kiviaineksesta tehtyyn rakenteeseen (Kaikkonen 2019). Salaojamattoasennuksen työläin vaihe on saumaus, sillä vettä johtavat ytimet on yhdistettävä toisiinsa ja suodatinkankaat limitettävä. Asennustyö pitää suunnitella etukäteen. Työaikana saumoissa ja jatkoksissa käytetään kiinnikeitä, jotta saumakohdista ei pääse maa-ainesta tukkimaan vettä-johtavaa ydintä. (Leppänen 2018)

Salaojamattoa käyttämällä saadaan ohuempi rakenne, joka voi mahdollistaa paksumman jätetäytön tai paksumman pintakerroksen. Toisaalta salaojamatolla ei ole routasuojaavaa vaikutusta.

Rakennettavuuden puolesta salaojamatot soveltuvat kaatopaikan pintarakenteen kuivatus- ja kaasunkeräyskerrokseen erinomaisesti. Kaatopaikkarakentamisessa käytettävät salaojamatot maksavat noin 3,00 €/m² alv 0 % (Kaikkonen 2019).

5.8.4 Ominaisuuksien pysyvyys

Salaojamaton vedenläpäisevyys pienenee ajan funktiona usean eri tekijän seurauksesta. Pysyvä kuormitus aiheuttaa vettä johtavassa ytimestä hiipumaa. Salaojamattoa kuormittavan mekaanisen kuormituksen suuruus riippuu asennussyvyydestä ja salaojamattoa kuormittavan materiaalin tilavuuspainosta. Kuormituksen vaikutuksesta vettä johtava

ydin kokoonpuristuu ja vedenjohtavuus pienenee. Kemiallinen ja biologinen tukkeutuminen kaatopaikan pintarakenteissa ei ole tutkimusten mukaan merkittävää. Kemiallista tukkeutumista aiheuttavat suolojen saostuminen. Biologista tukkeutumista aiheuttavat mikrobit, sienirihmastot ja juuret. Kaatopaikan pintarakenteissa biologisen tukkeutumisen riskin aiheuttavat kasvien juuret. Salaojamattoon kohdistuva kemiallinen ja biologinen kuormitus otetaan huomioon tuote- ja kohdekohtaisilla vähennyskertoimilla. Salaojamattojen pitkäaikaiskestävyys osoitetaan standardien *SFS-EN 13252* mukaisesti. (Infra 15-710194 2018; InfraRYL 2018, luku 142525)

5.9 Bentoniittimatot

5.9.1 Materiaalin kuvaus

Bentoniittimatto on geokomposiitti, joka muodostuu kahdesta geotekstiilistä, joiden välissä on bentoniittisavea. Geotekstiilit on kiinnitetty toisiinsa tavallisesti neulasidonnalla. Bentoniittimatto ei täytä *VNa 331/2013* mukaista mineraalisen tiivistyskerroksen paksumuutusta. Bentoniittimattoa käytetään Suomessa yleisesti kaatopaikan pintarakenteen mineraalisissa tiivistyskerroksissa. Tunnettuja bentoniittimattojen tarjoajia Suomen markkinoille on esimerkiksi Geosynt Oy, Oy ViaCon Ab ja Lektar Oy.

5.9.2 Ominaisuudet

Bentoniittimaton ominaisuudet riippuvat käytetyistä geotekstiileistä, bentoniittisavesta ja sidontatekniikasta. Tavanomaisesti toinen geotekstiileistä on kudottu ja toinen neulasidottu kuitukangas. Neulasidotut kankaat venyvät helposti työnaikana, josta voi seurata kutistumia. Kutistuminen voi johtaa bentoniittimattojen saumoissa limitysten pienenemiseen. Bentoniitti voi olla jauhemaista tai rakeista. Bentoniitti voi olla luonnon natriumbentoniittia, kalsiumbentoniittia tai aktivoitua kalsiumbentoniittia, jonka ominaisuudet vastaavat valmistushetkellä natriumbentoniittia. Kaatopaikkarakenteissa käytettävät bentoniittimatot eivät saa sisältää paisumista tai vedenläpäisevyysominaisuuksia parantavia orgaanisia lisäaineita. Kaatopaikkarakenteissa käytettävän bentoniittimaton valmistuksessa käytettävän bentoniitin tulee olla natriumbentoniittia. Bentoniittimaton tuotetiedoissa on ilmoitettava valmistuksessa käytetyn bentoniitin alkuperä ja laatu. Bentoniittimatossa käytettävältä bentoniitilta vaadittavat ominaisuudet on esitetty taulukossa 19. (InfraRYL 2018, luku 142523)

Taulukko 19. Bentoniitilta vaadittavat ominaisuudet (InfraRYL 2018, 142523:T6)

Ominaisuus	Vaatus	Testaustiheys	Menetelmä
Montmorilloniittipitoisuus, mineraalien määrä	> 80 %	1 määrittäminen / bentoniittilaatu	XRD-määrittäminen (röntgendiffraktio)
Montmorilloniittipitoisuus, metyleenisinen kulutus	≥ 300 mg/g	1/5000 t	VPG P 69
Paisumiskyky, paisumisindeksi	≥ 24 ml/2 g	1 / 50 t	ASTM D5890
Kationinvaihtokyky (CEC)	> 70 meq/100 g	1 / bentoniittilaatu	ISO 11260
Kalsiumpitoisuus, kalsiumkarbonaatin määrä	< 5 %	1 / bentoniittilaatu	Esim. DIN 18129, ISO 11260
Bentoniitin laatu, bentoniitin nestehukka (<i>fluid loss</i>)	≤ 18 ml	1 / 250 t	ASTM D5891
Absorptio bentoniitille	≥ 400 %	1 / bentoniittilaatu	DIN 18132

Bentoniittimatto kestää hyvin jätetäytön painumisesta aiheutuvia muodonmuutoksia. Bentoniittimattojen muodonmuutoskestävyys on luokkaa 10 % ennen kuin bentoniittimaton ominaisuudet muuttuvat merkittävästi. Jos jätetäytön odotetaan aiheuttavan bentoniitin asennusalustaan suuria muodonmuutoksia, voidaan kohteeseen valita lujitettu bentoniittimatto, jossa toisena geotekstiilinä on lujitekangas tai vaihtoehtoisesti liitetään bentoniittimattoon kolmas geotekstiili. Bentoniittimattoon voidaan jo tehtaalla liittää geomembraanikalvo, joka parantaa bentoniittimaton kestävyyttä sekä toimii vettä eristävänä rakenteena bentoniittimaton päällä. (InfraRYL 2018, luku 142523; SYKE 2008, s. 57)

Bentoniittimattoa on kuormitettava riittävän suurella kuormituksella, jotta saavutetaan riittävän alhainen vedenläpäisevyys. Luiskien stabiliteetti eri materiaalien rajapinnoissa ja bentoniittimaton sisäisen leikkauslujuuden riittävyys on tarkistettava. Tavanomaisella tuotteella neulasidonta on sisäisen lujuuden kannalta tyyppillisesti riittävä kaltevuuksiltaan 1/3 luiskissa. (InfraRYL 2018, luku 142523; SYKE 2008, s. 57)

Teknisen ominaisuuksien puolesta bentoniittimaton käyttäminen kaatopaikan pintarakenteen mineraalisessa tiivistyskerroksessa on perusteltua, mikäli bentoniittimatto täyttää vedenläpäisevyys vaatimukset pitkälläkin aikavälillä ja siihen ei kohdistu kuivumis-, kastumis-, tai jäätymis-, sulamissyklejä, jotka heikentävät bentoniittimaton vedenläpäisevyyttä hetkellisesti.

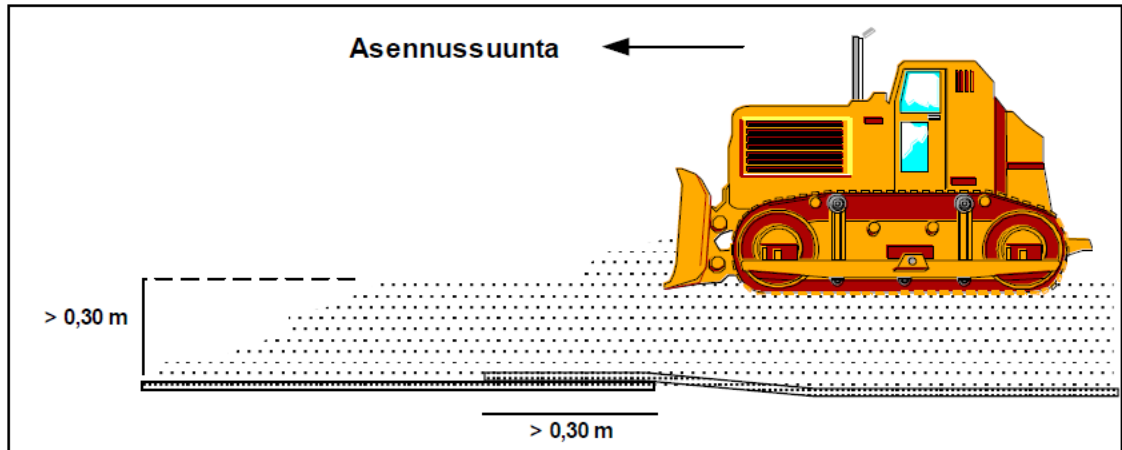
5.9.3 Rakennettavuus

Bentoniittimattorullat kuljetetaan työmaalle rahtikuljetuksilla. Yhdellä rahdilla saadaan materiaalit tuhansille neliöille valmista rakennetta. Bentoniittimatot valmistetaan tehtaissa valvotuissa olosuhteissa, joten ne ovat ominaisuuksiltaan varsin tasalaatuisia. Kaatopaikan pintarakenteessa käytettävien bentoniittimattojen valmistuksessa noudatetaan standardin *SFS-EN 13257* mukaista laadunvalvontaa. Luvussa 3.6.3 on tarkasteltu tarkemmin geosynteettisten tuotteiden laadunvalvontaa.

Bentoniittimatot varastoidaan kuivissa olosuhteissa. Bentoniittimaton asennusalustan tulee olla tasainen. Asennusalusta ei saa sisältää irtonaisia kiviä tai muita teräviä kappaleita, jotka saattavat vaurioittaa bentoniittimattoa. Bentoniittimatto levitetään kaivinkoneeseen kiinnitetyllä asennuspuomilla. (InfraRYL 2018, luku 142523)

Bentoniittimattojen asennuksessa tulee kiinnittää huomiota bentoniittimattojen limitykseen. Suunnittelija määrittelee minimilimityksen. Jos minimilimitystä ei ole määritetty, käytetään kaatopaikkarakentamisessa 0,5 metriä. Bentoniittimatot asennetaan gradientin suuntaan ns. tiilikattoperiaatteella. Päätysaumojen ja läpivientien tiivistämiseen käytetään bentoniittijauhetta. Itsesaumautuvuuden ansiosta pituussuuntaisissa limityksissä ei ole tarpeen käyttää bentoniittijauhetta. Jyrkissä ja pitkissä luiskissa bentoniittimatot ankkuroidaan erillisten suunnitelmien mukaisesti. Levitetyn bentoniittimaton päällä ei saa liikua työkoneilla, jotta ei vaurioiteta bentoniittimattoa. (InfraRYL 2018, luku 142523; SYKE 2008, s. 58; Oy Viacon Ab 2016)

Bentoniittimaton yläpuolisen materiaalin valintaan tulee kiinnittää huomiota. Materiaali ei saa olla rakeisuudeltaan liian karkeata, jottei bentoniittimatto ei vaurioitu siihen syntyvien pistekuormien vaikutuksesta. Tarvittaessa bentoniittimaton päälle rakennetaan erillinen bentoniittimattoa suojaava kerros tai käytetään suojakankaita ehkäisemään bentoniittimaton vaurioitumista. Bentoniittimaton päälle tulevan kerroksen rakentamisessa työtekniikkaan tulee kiinnittää erityistä huomiota. Täyttösuunnan tulee olla kuvan 28 mukainen, jotta varmistutaan bentoniittimaton saumojen pysyminen paikoillaan. (Oy Viacon Ab 2016)



Kuva 28. *Bentoniittimaton peittäminen (Oy ViaCon Ab 2016)*

Bentoniittimaton vedenläpäisevyys ei ole riippuvainen rakenteen tiivistämisestä, mikä tekee bentoniittimaton asentamisesta ja laadunvalvonnasta helpompaa ja yksinkertaisempaa verrattuna muihin mineraalisissa tiivistyskerroksessa käytettäviin materiaaleihin. Bentoniittimattorakenne on ohut, joten sen käyttäminen voi mahdollistaa suuremman jäätetäytön tai paksummat rakenteet bentoniittimattorakenteen päälle.

Hyviä puolia bentoniittimaton käytölle kaatopaikan mineraalisissa tiivistysrakenteessa on muun muassa materiaalin rakennettavuus, tasalaatuisuus ja käytetyn tuotteen sekä valmiin rakenteen vaivaton laadunvarmistus. Bentoniittimattorakenteen rakentamisen kustannukset muodostuvat:

- asennusalustan rakentamisesta
- bentoniittimaton asentamisesta
- erityisasioista (jyrkät luiskat, läpiviennit)
- suojakerroksen rakentamisesta.

Esipeittokerroksen ja/tai kaasunkeräyskerroksen materiaalin rakeisuuden ollessa bentoniittimaton asennusalustalle soveltuvaa, erillistä asennusalustaa ei tarvitse rakentaa. Tällöin riittää, että asennusalusta tasataan ja mahdolliset kaivinkoneiden telojen jäljet poistetaan ennen bentoniittimaton asennusta.

Bentoniittimaton asentamiseen tarvittava työryhmä koostuu tavanomaisesti kaivinkoneesta ja kahdesta asentajasta. Tavanomainen asennusteho bentoniittimatolle ja mineraaliselle suojakerrokselle on noin 800 m² yhden työvuoron aikana (Kaikkonen 2019). Levitystehossa ei ole huomioitu sateiden ja muiden tekijöiden aiheuttamia häiriöitä ja keskeytyksiä. Jos työryhmän omakustannushinta ilman yleiskuluja on noin 125 €/h alv 0 %, bentoniittimaton ja mineraalisen suojakerroksen asennuksen hinnaksi tulisi noin 1,25 €/m² alv 0 %.

Tavanomaiset kaatopaikan pintarakenteissa käytetyt bentoniittimatot maksavat noin 3,00 €/m². Asentamisen hukkaprosentti riippuu levitettävästä pinnasta ja sen tasaisuudesta. Jos on odotettavissa suuria muodonmuutoksia, niin mineraaliseen tiivistyskerrokseen voidaan valita vahvistettu bentoniittimatto, jossa vahvemmallalla tukikankaalla parannetaan bentoniittimaton vetolujuutta. Vahvistetut bentoniittimatot maksavat tavanomaisesti noin 4,00 €/m². Tavanomaisesti bentoniittimaton hukkaprosentti kaatopaikan pintarakenteissa on noin 10-15 %. (Kaikkonen 2019)

Rakennettavuuden ja saatavuuden puolesta bentoniittimatto on erinomainen vaihtoehto mineraaliseen tiivistysrakenteeseen. Bentoniittimattojen saatavuus on hyvä. Tavanomaisien bentoniittimattojen toimitusaika on noin 2-3 vk. Erikoisilla ja vähemmän käytetyillä tuotteilla toimitusaika on reilun kuukauden mittainen. (Kaikkonen 2019)

5.9.4 Ominaisuuksien pysyvyys

Kuivumis- ja kastumissyklit sekä jäätymis- ja sulamissyklit kasvattavat bentoniittimaton vedenläpäisevyyttä. Bentoniittisaven kuivussa se halkeilee, jolloin vedenläpäisevyys kasvaa. Kun bentoniittisavi kastuu uudelleen, vedenläpäisevyys palautuu nopeasti entiselleen. Tutkimuksissa on todettu, että jäätymis-, sulamissyklit eivät heikennä bentoniittimattorakenteen vedenläpäisevyysominaisuuksia pitkäaikaisesti. Sulamisen ja jäätyksen vaikutuksesta syntyneet halkeamat paisuvat umpeen. Podgorney ja Bennett mittasivat bentoniittimattojen vedenläpäisevyyttä 150:n jäätymis-, sulamissyklin jälkeen. Jäätymis-, sulamissykleillä ei ollut vaikutusta bentoniittimaton vedenläpäisevyyteen. (Podgorney & Bennet 2006)

Pitkäaikaiskestävyyden varmistamiseksi bentoniittimaton päälle on rakennettava riittävän paksu jäätymis-, sulamis-, kuivumis- ja kastumissykleiltä suojaava kerros. Jos bentoniittimattoon tulee pieni reikä asennusvaiheessa tai rakenteen elinkaaren aikana, reiät korjaantuvat itsestään bentoniitin paisuessa.

Bentoniittisaven ominaisuudet muuttuvat ajan kuluessa. Bentoniittimaton yhteensopiavuus muiden materiaalien kanssa tulee tutkia aina tapauskohtaisesti ennen materiaalien valintoja rakenteisiin. Bentoniittimattoa rapauttavat muun muassa kalsium, kloridi ja magnesium. Bentoniittimaton ylä- ja alapuolisille rakenteille tulee asettaa kemiallisia laatuvaatimuksia. Mikäli käyttökohteessa bentoniittimattoon kohdistuu merkittäviä kemiallisia rasituksia, voidaan käyttää modifioitua bentoniittia, jossa polymeerilla parannetaan bentoniitin kemiallista kestävyyttä. (SYKE 2008, s. 57-60)

5.10 Energiantuotannon tuhkat

5.10.1 Materiaalin kuvaus

Energiantuotannossa muodostuu lento- ja pohjatuhkia. Suomessa syntyy metsä- ja energiateollisuuden energiantuotannossa erilaisia tuhkamateriaaleja vuosittain yli miljoona tonnia. Muodostuvien tuhkien ominaisuudet, määrä ja koostumus riippuvat poltetusta materiaalista eli polttoaineesta, polttotekniikasta, polttolämpötilasta ja lentotuhkan erotustekniikasta. Polttoaineena käytetään tyypillisesti kivihiiltä, turvetta ja puuperäisiä polttoaineita. Orgaanisten aineiden poltosta syntyvistä tuhista käytetään nimitystä biotuhkat. Karkeampaa pohjatuhkaa muodostuu sivutuotteena arina- ja pölypolttokattiloissa ja leijupetihiekkaa leijupetikattiloissa. Syntyvien savukaasujen mukana talteen otetaan poltossa syntyvää hienorakeisempaa lentotuhkaa. (Infra 062-710191 2018, s. 1-3)

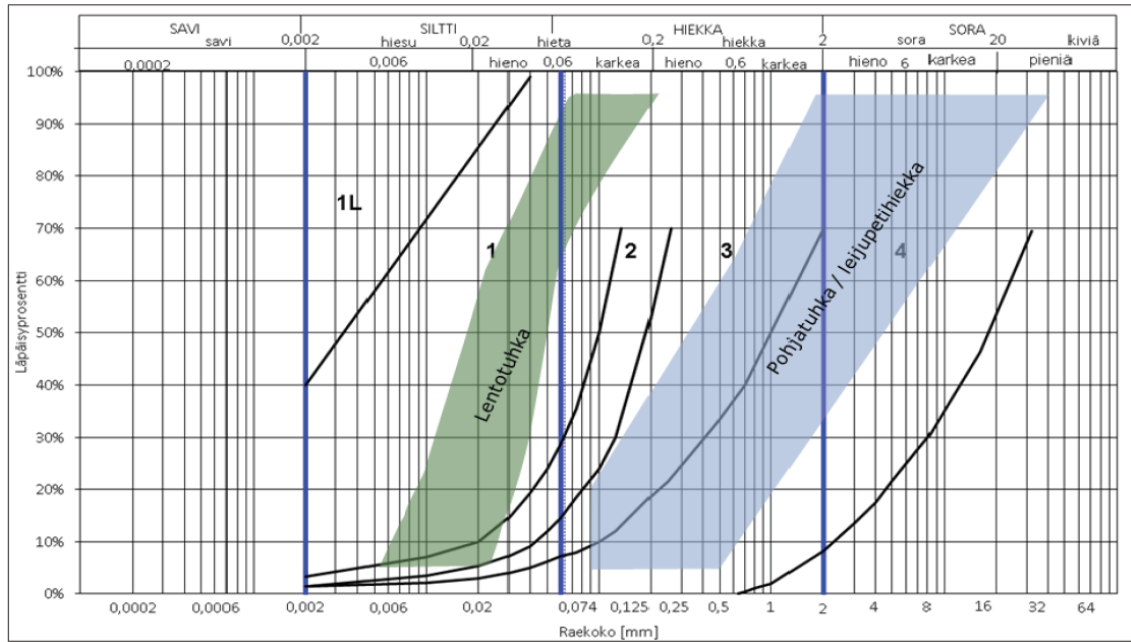
5.10.2 Ominaisuudet

Tuhkan toimittaja ilmoittaa tuhkien ominaisuudet tuotetiedoissa. Toimittaja seuraa ominaisuuksia laboratoriotutkimuksilla. Tuhkien materiaaliominaisuudet vaihtelevat ja muuttuvat tuhkan ikääntyessä, joten ominaisuuksien vaihtelua tulee seurata kuljetuksessa, varastoinnissa ja työmaalla. Tuhkien keskeinen ominaisuus on rakeisuusjakauma, jonka perusteella tuhkien geotekniset ominaisuudet pääasiassa määräytyvät. Lento- ja pohjatuhkien sekä leijupetihiekan tyypillisiä geoteknisiä ominaisuuksia on esitetty taulukossa 20. (Infra 062-710191 2018, s. 4)

Taulukko 20. Tuhkien tyypillisiä geoteknisiä ominaisuuksia (Infra 062-710191 2018)

Ominaisuus	Olosuhde	Lentotuhka	Pohjatuhka	Leijupetihiekka
Rakeisuus [mm]	rakeinen	0,002-0,1 mm	0,002-16 mm	0,063-32 mm
Optimivesipitoisuus [%]	tiivistettäessä	20-50	16-24	11-17
Maksimikuivairtotiheys [kg/m ³]	tiivistetty	1 100-1 400	1 200-1 800	1 500-1 800
Märkäirtotiheys [kg/m ³]	tiivistetty	1 300-1 600	1 300-1 800	-
Kitkakulma [°]	lujittamaton, tiivistetty	25-35	35-50	-
	lujittunut	40-50	-	-
Koheesio [kPa]	lujittamaton	10-40	10-13	-
	lujittunut	50-500	-	-
Vedenläpäisevyys [m/s]	lujittamaton	10 ⁻⁷ -10 ⁻⁶	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁵	10 ⁻³ -10 ⁻⁴
	lujittunut	10 ⁻⁸ -10 ⁻⁶	-	-
Hekkutushäviö [%]	-	1-15	0-1	-
Lämmönjohtavuus [W/mK]	sula	0,4-0,6	0,7-1,0	-
	jäätynyt	0,8	-	-
Segregaatiopotentiaali [mm ² /Kh]	lujittunut	0,05-5	-	-

Kuvassa 29 on esitetty tuhkien tyypilliset rakeisuuskäyrät. (InfraRYL 2018, luku 142523; Infra 062-710191 2018, s. 4-6). Rakeisuuden perusteella lentotuhkat, pohjatuhkat ja leijupetihiekat soveltuvat geosynteettisten materiaalien suojakerroksiksi. Ennen tuhkien käyttämistä niiden kemiallinen yhteensopivuus geosynteettisten tuotteiden kanssa tulee selvittää. Kemialliselta koostumukseltaan lentotuhkat voidaan jakaa kalkkipitoisiin ja silikaattipitoisiin tuhkiin. Kalkkipitoinen lentotuhka sisältää pääasiassa piin, alumiinin ja kalsiumin oksideita ja sulfaatteja. Silikaattipitoinen lentotuhka sisältää pääasiassa piin, alumiinin ja raudan oksideja. Esimerkiksi kalsium kiihdyttää bentoniittimaton sisältämän bentoniittisaven rapautumista, joten lentotuhka ei sovellu bentoniittimaton suojakerrokseksi. Myös tuhkan korkea pH voi vaikuttaa geosynteettien säilyvyyteen



Kuva 29. Lentotuhkan, pohjatuhan ja leijupetihiekan tyypilliset rakeisuuskäyrät (Infra 062-71019 2018, s. 5)

Tuhkien haitta-ainepitoisuudet riippuvat käytetystä polttoaineesta ja polttoprosessista. Lentotuhkissa pitoisuudet ovat tyypillisesti korkeampia kuin pohjatuhanissa, jotka saattavat täyttää jopa pysyvän jätteen raja-arvot. Osa lentotuhkista voivat olla lujittuvia ja reaktiivisia, jolloin rakenteesta muodostuu kantava ja jäykkä. Lentotuhkia on käytetty aikaisemmin mineraalisessa tiivistyskerroksessa kuitusaven seosaineena. Kuitusaven ansiosta ns. kuitutuhkaseoksen vedenläpäisevyys on melko pieni ja tuhka puolestaan parantaa kuitusaven käsiteltävyyttä ja tiivistettävyyttä sekä rakennekerroksen lujuutta, toki toisaalta kasvattaen vedenläpäisevyttä. (Infra 062-710191 2018, s. 10)

Karkearakeisemmat tuhkat saattavat soveltua kaatopaikan pintarakenteen esipeittokerrokseen ja kaasunkeräyskerrokseen. Tuhkamateriaalien tulee tällöin olla kaatopaikkakelpoisia asianomaiselle kaatopaikalle. Lentotuhkien käyttöä rajoittaa usein haitta-ainepitoisuudet tai liukoisuudet. Etenkin biotuhkia voidaan käyttää pieniä määriä kasvukerroksessa lannoitteena. Tuhkien käyttöä voi rajoittaa myös niiden saatavuus ja vuosittaiset muodostumismäärät. (Infra 062-710191 2018, s. 10)

Biotuhkia on Suomessa käytetty metsä- ja viljelylannoitukseen. Biotuhka soveltuu käytettäväksi kaatopaikan pintarakenteen kasvukerroksessa seosaineena tai lannoitteena. Ennen kuin tuhkaa käytetään lannoittamiseen, se täytyy stabiloida esimerkiksi rakeistamalla tai varastoimalla tuhkaa kasalla riittävän kauan. (Ojala 2010, s. 1)

Ennen kuin tuhkia käytetään rakenteeseen, niiden radioaktiivisuus tulee tutkia ja ilmoittaa Säteilyturvakeskukselle ohjeen *ST 12.2 Rakennusmateriaalien ja tuhkan radioaktiivisuus* mukaisesti. (Infra 062-710191 2018, s. 4)

Jos kaatopaikalle vastaanotetaan tuhkia loppusijoittamista varten ja ne pystytään suunnitelmallisesti hyödyntämään kaatopaikan rakenteissa, säästyy jäteveron eli 70 €/t.

5.10.3 Rakennettavuus

Ennen materiaalivalintoja selvitetään, minkä laatuista ja kuinka paljon tuhkamateriaaleja on saatavilla. Energiantuotannossa syntyy tuhkia eniten talvella, mutta rakentaminen tapahtuu pääsääntöisesti kesäisin. Jos tuotantolaitoksen läheisyydessä ei ole mahdollista varastoida tuhkia, tarvittavat tuhkat voidaan varastoida käyttökohteessa tai sen läheisyydessä. Tuhkien varastoiminen ja käsittely muualla kuin syntypaikalla on aina luvanvaraista. (Infra 062-710191 2018, s. 3-5)

Pohjatuhkan ja leijupetihiekan käsittely vastaa rakeisuudeltaan vastaavan luonnon materiaalin käsittelyä. Lentotuhka on erityisen sääherkkä materiaali, jonka käsittely vaatii erityistoimenpiteitä. Tuuli, pakkas, kuiva ilma ja sade vaikeuttavat lentotuhkan käsittelyä. Lentotuhka on pohjatuhkaa ja leijupetihiekkaa huomattavasti hienorakeisempaa ja pölyä herkästi kuivana. Lentotuhka kuivuu nopeasti lämpimällä ja tuulisella säällä. Sateella pinta liettyy ja erotisoituu helposti. Lentotuhkaa voidaan kuljettaa kiviaineksen kuljetukseen tarkoitetulla kalustolla, mutta kuormat tulee peittää pölyämisen välttämiseksi. Kuorman peittäminen vaikuttaa lähinnä kaluston saatavuuteen. (Infra 062-710191 2018, s. 11)

Rakentamisen helpottamiseksi sekä pölyämisen aiheuttamien terveysriskien vähentämiseksi lentotuhkaa kostutetaan ennen sen levittämistä. Rakentaminen suunnitellaan siten, että lentotuhka voidaan käyttää suoraan rakenteeseen, jolloin mahdollinen tuuli ei pääse levittämään varastokasalla olevaa lentotuhkaa. (Infra 062-710191 2018, s. 11)

Lentotuhkan pölyäminen ja korkea pH tulee huomioida työntekijöiden ja muun ympäristön turvallisuudessa. Korkea pH arvo saattaa vaurioittaa, ihoa, silmiä ja hengitysteitä. Mikäli kastelulla ei voida riittävästi estää pölyämistä, käytetään pölyltä suojaavia hengityssuojaimia. Tuhkamateriaalin toimittajan laatimasta käyttöturvallisuustiedotteesta löytyy lisätietoja ja ohjeita lentotuhkan turvallisesta käsittelystä. (Infra 062-710191 2018, s. 11)

Löyhän lentotuhka kerroksen paksuus ennen tiivistämistä on noin 1,5-kertainen verrattuna tiivistettyyn kerrokseen. Lentotuhkan tiivistäminen optimivesipitoisuudessa on erityisen tärkeää, jotta saavutetaan riittävä rakenteen tiiviys. Rakennusalan tulee olla kuiva, jotta lentotuhkan tiivistäminen on mahdollista. Sääolosuhteiden ennakoiminen ja niihin varautuminen on tärkeää. Sateella lentotuhkan käsittely on keskeytettävä ja rakenteilla olevat rakenteet ja varastokasat suojattava sateelta. Jos lentotuhka on liian kosteata, sen tiivistäminen ei onnistu ja se tulee poistaa rakenteesta. Tuhkille voidaan perinteisten maa-ainesten tapaan määrittää optimivesipitoisuus esimerkiksi Proctor-kokeella. Tuhkien optimivesipitoisuudet voivat vaihdella huomattavastikin toisistaan, joten työmaalla on

tärkeätä seurata säännöllisin väliajoin tuhkien optimivesipitoisuutta esimerkiksi paranneltulla Proctor-kokeella. Tuhkille tyypillisiä optimivesipitoisuuksia on esitetty taulukossa 20. (Infra 062-710191 2018, s. 11)

Lentotuhkien ominaisuudet saattavat muuttua materiaalin varastoinnin ja kuljetuksen aikana. Vesipitoisuuden hallinta varastoitaessa ja kuljetettaessa lentotuhkia on erityisen tärkeätä. Vesipitoisuus vaikuttaa materiaalin teknisiin ja ympäristöllisiin ominaisuuksiin sekä kuljetuksen ja rakentamisen onnistumiseen. (Infra 062-710191 2018, s. 7)

5.10.4 Ominaisuuksien pysyvyys

Tuhkien ominaisuudet voivat muuttua merkittävästi kuljetuksen, varastoinnin ja sekoittumisen aikana. Tuhkan vesipitoisuudella on suuri merkitys ominaisuuksien pysyvyyteen. Lentotuhkan kyky lujittua ja sitoutua pelkän veden vaikutuksesta heikkenee viikoissa. (Infra 062-710191 2018, s. 7)

Tuhka lujittuu rakenteessa ajan myötä. Tuhkien käyttäminen kaatopaikan pintarakenteen mineraalisessa tiivistyskerroksessa ei ole suositeltavaa, vaikka pystyttäisiin saavuttamaan riittävän pieni vedenläpäisevyys, sillä lujittunut rakenne on hauras, joka halkeilee jäte-
tätön epätasaisen painumisen seurauksesta. (Infra 062-710191 2018, s. 7)

5.11 Jätteenpolton pohjakuona

5.11.1 Materiaalin kuvaus

Jätteenpolton pohjakuonaa syntyy yhdyskuntajätteen polton sivutuotteena jätteenpolttolaitoksen kattilan arinalle noin 20-30 % poltetusta jätteestä. Suomessa syntyy vuosittain pohjakuonaa noin 300 000 tonnia. Syntynyt pohjakuona käsitellään syntypaikalla tai kuljetetaan käsiteltäväksi jätteenkäsittelylaitoksille. (Suomen Erityisjäte Oy 2018b)

5.11.2 Ominaisuudet

Käsittelemätön jätteenpolton pohjakuona on harmaata, karkearakeista ja huokoista materiaalia. Jätteenpolton pohjakuona on heterogeeninen materiaali, joka koostuu muun muassa metalleista, lasista, kivistä, betonista ja tiilistä sekä palamattomasta orgaanisesta aineksesta. Syntyvän pohjakuonan ominaisuuksiin ja määrään vaikuttaa poltettava jäte ja jätevoimalaitoksen polttokattila. (Kaartinen et al. 2010, s. 21)



Kuva 30. Käsittelemätöntä jätteenpolton pohjakuonaa (Kaartinen et al. 2010, s. 44)

Jätteenpolton pohjakuonan käsittelyllä pyritään parantamaan sen käytettävyyttä ja teknisiä ominaisuuksia sekä ottamaan talteen hyötykäytettäviä metalleja. Pohjakuonan käsittelymenetelmiä ovat kemialliset menetelmät ja fysikaaliset menetelmät eli kuivaerotustekniikat. Kuivaerotustekniikoiden etuna on, että käsittely ei tarvitse vettä ja näin vältetään käsiteltäviltä jätevesiltä. Pohjakuonan kuivaerotustekniikoita ovat raekoon pienentäminen, seulominen, tiheyserottelu sekä metallien erottaminen pohjakuonasta magneeteilla ja erityyppisillä pyörrevirtainerottimilla. Raekoon pienentämisen tarkoituksena on suurentaa kemiallisille reaktioille alttiina olevan materiaalin pinta-alaa. Seulontaa käytetään eri kokoisten rakeiden erottamiseen toisistaan tai tiettyjen jakeiden erottamiseen kuonasta. (Kaartinen et al. 2010, s. 26)

Yksi Suomen merkittävistä jätteenpolton pohjakuonan käsittelijöistä on Suomen Erityisjäte Oy, joka käsittelee kuonia vuosittain noin 100 000 tonnia (Suomen Erityisjäte Oy 2018b). Toinen merkittävä pohjakuonien käsittelijä on Fortum Oyj. Suomen Erityisjäte Oy:n käyttämä hollantilainen kuivaerotustekniikkaan perustuva ADR-käsittelymenetelmä erottelee ballistisen hienoaineserottimella kostean hienoaineksen kuonapartikkelien pinnalta, jolloin ei-magneettisia metalleja saadaan talteen enemmän kuin muilla menetelmillä. Prosessissa erotetaan pohjakuonasta magneettiset ja ei-magneettiset metallit ja seulotaan jätteenpolton pohjakuonan mineraaliaines eri rakeisuuksiin. Menetelmän lopputuotteina saadaan metalleja sekä maarakentamisessa käytettävää uusiokiviainesta. Suomen Erityisjäte Oy on lanseerannut oman CE-merkityn tuotteen Scanwas-kiviaines. (Suomen Erityisjäte Oy 2018a)

Kemiallisia menetelmiä pohjakuonan käsittelylle ovat ikäännyttäminen ja pesu. Ikäännyttämisessä pohjakuonaa varastoidaan ennen käyttöä ja/tai seulontaa. Ikäännyttämisessä kuonan ympäristöllisiä- ja teknisiä ominaisuuksia parannetaan antamalla sen reagoida ilman hiilidioksidin ja kosteuden kanssa. Ikäännyttämisessä pohjakuonan sisältämät oksidit

karbonatisoituvat hydroksidien kanssa, jolloin kuonan pH laskee. Monien metallien liukoisuus pienenee ikääntymisen ja pH:n laskun aikana. Reaktiota voidaan kiihdyttää kas-teleamalla pohjakuonaa. Pohjakuonan pesu vähentää veteen liukenevien aineiden osuutta kuonissa. Pesussa tarvitaan paljon vettä. Pesussa muodostuu jätevettä, joka vaatii käsitte-lyä. Menetelmän hintaan vaikuttavat huomattavasti raakaveden hankinnasta ja jäteveden käsittelystä aiheutuneet kustannukset. (Kaartinen et al. 2010, s. 26-27)

Suomen Erityisjäte Oy tarjoaa pohjakuonan käsittelyssä syntyneitä mineraalijakeita markkinoille jakeissa 0-2 mm, 2-5 mm, 5-12 mm ja 12-50 mm. Käsiteltyjen kuonien tek-niset ominaisuudet riippuvat syntyneiden mineraalijakeiden raakoosta. Taulukossa 21 on esitetty Suomen Erityisjäte Oy:n valmistamien mineraalijakeiden teknisiä ominaisuuksia. (Suomen Erityisjäte Oy 2018a)

Taulukko 21. Jätteenpolton pohjakuonan käsittelyssä syntyneiden mineraalijakeiden tek-nisiä ominaisuuksia (Suomen Erityisjäte Oy 2018a)

Ominaisuus	Kuonan mineraalijakeet							
	0-2 mm		2-5 mm		5-12 mm		12-50 mm	
	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014
Maksimikuivatila- vuuspaino [kN/m ³]	13,6	13,7	15,5	15,1	16,2	16,1	16,1	16,6
Optimivesipitoi- suus [%]	25	28	17,5	18	10	15	9,9	11
Vedenläpäisevyys k [m/s]	1,7·10 ⁻⁶ ... 2,8·10 ⁻⁶	2,3·10 ⁻⁶ ... 3,6·10 ⁻⁷	1,3·10 ⁻⁵ ... 1,5·10 ⁻⁵	3,6·10 ⁻⁶ ... 7,8·10 ⁻⁷	1,3·10 ⁻⁵	1,4·10 ⁻⁵ ... 9,7·10 ⁻⁶	-	-
Lämmönjohtavuus [W/mK] (T = +10°C)	0,5	0,8	0,7	0,8	0,3	0,9	-	-
Lämmönjohtavuus [W/mK] (T = -10°C)	1	1,3	1,1	1,1	0,3	0,9	-	-

Käsitelty pohjakuona muistuttaa ulkoisesti kiviaineksia. Kuvassa 31 on käsiteltyä pohja-kuonaa, joka on seulottu 0-2 mm raekokoon.



Kuva 31. *Jätteenpolton pohjakuonan mineraalijae 0-2 mm (Suomen Erityisjäte Oy 2018b)*

Kirjallisuudessa kuonamateriaaleille on esitetty vaihtelevia E-moduuliarvoja Odemarkin menetelmän mukaiseen kantavuusmitoitukseen. Suomen Erityisjäte Oy:n ohjeen mukaan tie- ja kenttärakenteissa käytetyille pohjakuonan mineraalijakeille sovelletaan suodatin-kerroksessa E-moduulia 100 MPa ja jakavan kerroksen materiaalille 150 MPa. (Suomen Erityisjäte Oy 2018a)

Pohjakuonan käsittelyssä syntyneiden mineraalijakeiden haitta-aineiden keskimääräiset liukoisuudet on esitetty taulukossa 22.

Taulukko 22. Pohjakuonan käsittelyssä syntyneiden mineraalijakeiden keskimääräiset liukoisuudet (Suomen Erityisjäte Oy 2018a)

Liukoiset pitoisuudet [mg/kg, L/S=10]	Kuonan mineraalijakeet				Pysyvän jätteen raja-arvo	Tavanomaisen jätteen raja-arvo	Vaarallisen jätteen raja-arvo
	0-2 mm	2-5 mm	5-12 mm	12-50 mm			
pH [L/S=8]	11,4	11	11	11,1	> 6	> 6	> 6
Sähkönjohtokyky [L/S=8, mS/m]	180	100	77	75	-	-	-
As	0,03	0,02	0,02	0,02	0,5	2	25
Ba	0,8	1,6	1	0,9	20	100	300
Cd	0,003	< 0,015	< 0,015	< 0,015	0,04	1	5
Cr	2	0,9	0,5	0,3	0,5	10	70
Cu	2,3	1,1	0,6	0,5	2	50	100
Mo	1,6	1	1,11	0,6	0,5	10	30
Ni	0,04	0,02	0,02	0,03	0,4	10	40
Pb	0,08	0,06	0,01	0,01	0,5	10	50
Sb	0,2	0,3	0,2	0,2	0,06	0,7	5
Se	0,03	0,03	0,02	< 0,05	0,1	0,5	7
V	0,1	0,1	0,1	0,1	-	-	-
Zn	0,6	0,5	0,3	0,3	4	50	200
Hg	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,01	0,2	2
F ⁻	4,2	< 10	< 10	5,9	10	150	500
Cl ⁻	4 600	2 800	1 800	1 700	800	15 000	25 000
SO ₄ ²⁻	3 700	3 000	2 200	2 300	1 000	20 000	50 000
DOC	240	170	100	80	500	800	1 000

Käsittelyn jätteenpolton kuonan mineraalijakeista ei liukene merkittäviä määriä haitta-aineita, jotka saattaisivat olla haitallisia kaatopaikan pintarakenteissa käytetyille materiaaleille. Pohjakuonasta liukeneva kalsium ja kloridi sekä korkea pH voivat vaikuttaa bentoniitin paisumiskykyyn (SYKE 2008, s. 62). Tutkimusten mukaan jätteenpolton pohjakuonan käyttö kaasunkeräyskerroksessa saattaa vaikuttaa purkautuvien kaatopaikkakaasujen laatuun positiivisesti. Jätteenpolton pohjakuonan on todettu puhdistavan kaatopaikkakaasuja esimerkiksi rikkivedystä ja hiilidioksidista. (ESAVI 2011, s. 12)

Vedenläpäisevyyden perusteella pohjakuonan käsittelyssä syntyneet karkearakeisimmat mineraalijakeet soveltuvat käytettäväksi kaatopaikan pinnan kaasunkeräys- ja kuivatuskerroksissa. Teknisten ominaisuuksien puolesta pohjakuonan käsittelyssä syntyneet mineraalijakeet soveltuvat käytettäväksi myös esipeittokerroksessa. Mineraalijakeille saattaa kuitenkin olla olemassa parempia käyttökohteita kuin kaatopaikan pintarakenteen esipeittokerros.

5.11.3 Rakennettavuus

Jätteenpolton pohjakuonista valmistettujen tuotteiden rakennettavuutta voidaan verrata rakeisuudeltaan vastaavien luonnon kiviainesten rakennettavuuteen. Rakentamisen aikana tulee kuitenkin huomioida materiaalille ominaiset tekijät. Osa pohjakuonan kappaleista saattaa hienontua tiivistämisen aikana. Ennen tiivistämistä materiaali kastellaan optimivesipitoisuuteen. Liiallista kastumista tulee kuitenkin välttää, jotta kuona ei liety. Seulontakäsittelystä huolimatta pohjakuona voi sisältää teräviä metallin, lasin tai keraamin kappaleita. Terävät kappaleet voivat aiheuttaa rengasrikkoja. Kuljetusten ajaksi kuormat on peitettävä. (Suomen Erityisjäte Oy 2018a)

Jätteenpolton pohjakuonan hyödyntämiseen kaatopaikan pintarakenteissa vaikuttaa niiden rajallinen saatavuus. Tällä hetkellä Suomessa on yhteensä yhdeksän käynnissä tai rakenteilla olevaa jätteenpolttolaitosta (Suomen Erityisjäte Oy 2018a).



Kuva 32. Jätteenpolttolaitosten sijainti (Suomen Erityisjäte Oy 2018a)

Suurin kustannustekijä pohjakuonan hyödyntämiselle on kuljetuskustannus. Pohjakuonan kuljetuskustannus on verrattavissa kiviaineksen kuljetuskustannuksiin.

5.11.4 Ominaisuuksien pysyvyys

Tutkimuksissa on todettu jätteenpolton pohjakuonarakenteen lujuuden ja jäykkyyden kasvavan ajan myötä. Pohjakuonan lujuusominaisuudet heikkenevät liiallisen veden vai-

kutuksesta (Suomen Erityisjäte Oy 2018a). Pohjakuonan käyttöä rajoittavat rakeiden hienoneminen korkean kuormituksen alla. Kuonien hienoainespitoisuuksien on todettu pienenevän ajan kuluessa hiukkasten sitoutuessa toisiinsa kemiallisten reaktioiden vaikutuksesta. (Sormunen & Kolisoja 2017, s. 113-115)

5.12 Maabentoniitti

5.12.1 Materiaalin kuvaus

Luonnon maamateriaalien vedenläpäisevyyttä voidaan pienentää lisäämällä bentoniittia tai muita savimineraaleja. Bentoniitti täyttää paisuessaan runkoaineen huokoisia ja lisää materiaalin plastisuutta. Bentoniitin määrä valitaan ennakkokokeiden perusteella. Taloudellisesti järkevä määrä bentoniittia on < 10 % runkoaineen kuivapainosta, joten runkoaineeksi kannattaa valita materiaali, jonka vedenläpäisevyys on jo luonnostaan tiivistetynä kohtuullisen pieni ja jonka sekoittaminen on mahdollista, kuten esimerkiksi hienoainemoreenia. Runkoaineesta seulotaan tai murskataan ylisuuret rakeet. Bentoniitti ja optimivesipitoisuuden saavuttamiseksi tarvittava vesi lisätään sekoitusasemalla.

5.12.2 Ominaisuudet

Maabentoniitin geoteknisiin ominaisuuksiin vaikuttaa käytetyn runkoaineen eli moreenin rakeisuus. Moreeni on Suomen yleisin maalaji, joka on syntynyt jäätikön kallioperästä irrottamasta kiviaineksesta. Moreeni on sekalajitteinen maalaji, joka sisältää kaikkia rae-kokoja saven ja lohkareiden väliltä Maabentoniitin runkoaineen tulee olla riittävän homogeenista, jotta valmis tiivistysrakenteessa käytettävä maabentoniitti on tasalaatuista. Tarvittaessa runkoaines murskataan ja/tai seulotaan ennen maabentoniitin valmistusta. Kuljetuksen ja varastoinnin aikana on kiinnitettävä huomiota, että materiaali ei pääse lajittumaan. Runkoaineelle tehdään ennakkokokeet ennen kuin sitä voidaan käyttää maabentoniitin valmistuksessa. Runkoaineelle tehtävät ennakkokokeet on esitetty seuraavassa taulukossa. (InfraRYL 2018, luku 142523)

Taulukko 23. Maabentoniitin runkoaineelle tehtävät ennakkokokeet (InfraRYL 2018, 142523:T3)

Ominaisuus	Mitattava parametri	Suositus	Menetelmä
Materiaalin tasalaa- tuisuus	Rakeisuus ja eni- mäisraekoko	< 32 mm, kalvon alla ≤ 4 mm)	Pesuseulonta SFS-EN ISO 17892-4
	Hienoainespitoisuus (< 0,063 mm lajite)	≥ 15 %	Pesuseulonta SFS-EN ISO 17892-4
	Savipitoisuus		Areometri/Sedigraph SFS-EN ISO 17892-4
	Vesipitoisuus	$w_{opt} + 3$ %-yksikköä	Uunikuivaus SFS-EN ISO 17892-1, SFS-EN 1097-5
	Humuspitoisuus	≤ 2 %	Polttomenetelmä GLO-85 (alle 2 mm ai- neksesta 550 °C:ssa)
Sullontaominaisuudet	Optimivesipitoisuus ja maksimikuivatila- vuuspaino (vähintään 5 eri vesipitoisuutta)		Parannettu Proctor- koe, SFS-EN 13286-2
Vedenläpäisevyys ve- dellä kyllästettynä	Vedenläpäisevyysker- roin k	$k < 10^{-7}$ m/s	Vakiopainekokeella CEN ISO/TS 17892-11, tai arvio rakeisuus- käyrän perusteella
Kiviaineksen pysyvyys (testataan tarvitta- essa)	Karbonaattimineraa- lien määrä	< 15 %	DIN 18129
	Muut liukenevat ai- neet	< 5 %	

Maabentoniitin runkoaineena voidaan käyttää esimerkiksi moreenia, pilaantuneita maa-
aineksia tai soveltuvia teollisuuden sivutuotteita. Jos runkoaineena käytetään muuta kuin
luonnonmaata tai kiviaineksia, on sen kaatopaikkakelpoisuus, yhteensopivuus bentoniitin
kanssa ja pitkäaikaiskestävyys osoitettava. Runkoaineen hienoainespitoisuus ja tiivistys-
olosuhteet vaikuttavat seoksessa tarvittavan bentoniitin määrään. Maabentoniitissa käy-
tettävän bentoniitin materiaalitoimittaja ilmoittaa bentoniitin alkuperän ja laadun. Maa-
bentoniitissa käytettävän bentoniitin tulee täyttää taulukon 24 mukaiset vaatimukset. (Inf-
raRYL 2018, luku 142523)

Taulukko 24. Maabentoniitissa käytettävän bentoniitin ominaisuuksien vaatimukset (InfraRYL 2018, 142523:T4)

Ominaisuus	Parametrit	Menetelmä	Vaatus	Testaustiheys
Montmorilloniittipitoisuus	Mineraalien määrä	<i>XRD (röntgendiffraktio)</i>	>75 %	Kerran vuodessa
	Metyleenisinikuluutus	<i>VDG P 69</i>	> 300 mg/g	1/5000 t
Paisumiskyky	Paisumisindeksi	<i>ASTM D5890</i>	≥ 24 ml/2 g	1/50 t
Kationinvaihtokyky (CEC)		<i>ISO 11260</i>	> 70 meq/100 g	Kerran vuodessa
Kalsiumpitoisuus		<i>DIN 18129, ISO 11260</i>	< 5 %	Kerran vuodessa
Vesipitoisuus		<i>Uunikuivaus SFS-EN ISO 17892-1</i>	Ilmoitettava	1/250 t
Rakeisuus		Kuivaseulonta	Ilmoitettava	1/250 t
Bentoniitin laatu (suositellaan testattavaksi)	Bentoniitin nestehukka (fluid loss)	<i>ASTM D5891</i>	≤ 18 ml	1/250 t
	Absorptio bentoniitille	<i>DIN 18132</i>	≥ 400 %	Kerran vuodessa

Maabentoniittiseoksen valmistuksessa käytettävän veden pH:n on oltava välillä 5-8 sekä sen sähkönjohtavuuden enimmäisarvon on oltava 100 mS/m. Jos maabentoniitin valmistuksessa käytetään juomavedeksi tarkoitettua vettä, happamuutta ja sähkönjohtavuutta ei vedestä tarvitse testata. (InfraRYL 2018, luku 142523)

Maabentoniitti ei sovellu käytettäväksi kaatopaikan pintarakenteessa, jos ennustettavissa on merkittäviä epätasaisia painumia. Maabentoniittiseoksesta valmistettu rakenne on jäykkä ja ei pysty epätasaisen painumien vaikutuksesta joustamaan ilman halkeilua. Jos maabentoniittirakenteeseen muodostuu riittävästi vettä johtavia huokosia tai halkeamia, voi niissä virtaava vesi kuljettaa hienoainesta mukanaan käynnistäen sisäiseksi eroosioksi kutsutun ilmiön. (SYKE 2008, s. 56-57)

5.12.3 Rakennettavuus

Maabentoniitin rakennettavuus on vastaava kuin rakeisuudeltaan vastaavan moreenin. Maabentoniittia voidaan käsitellä tavanomaisella maarakennuskalustolla. Maabentoniitti levitetään kaivinkoneella tai puskukoneella. Maabentoniitilla rakennettu mineraalinen tiivistysrakenne rakennetaan kahdessa eri osakerroksena, jotta saavutetaan rakenteen riittävä tiiviys ja riittävän pieni vedenläpäisevyys.

Maabentoniitin valmistaminen edellyttää erikoisosaamista, jatkuvaa työnaikaista seuranta sekä laboratoriokokeita. Maabentoniitti valmistetaan sekoittamalla luonnon maa-ai-

nekseen bentoniittia sekä tarvittaessa vettä. Ennen varsinaista valmistusta maan, bentoniitin ja veden suhteet määritetään ennakkokokeilla. Maabentoniitin valmistus tarvitsee erillisen sekoitusaseman. (InfraRYL 2018, luku 142523)

5.12.4 Ominaisuuksien pysyvyys

Maabentoniittien sulamis-jäätymiskestävyys on yleensä hyvä. Maabentoniitin kuivuessa sen huokoisuus kasvaa. Vaikka huokoisuus kasvaa, rakenne ei yleensä halkeile kantavan runkoaineen ansiosta. Maabentoniittirakenteessa käytettävän bentoniitin kemiallinen yhteensopivuus täytyy selvittää ennen maabentoniittiseoksen valmistusta tai käyttämistä rakenteeseen, koska maabentoniittiseoksen pitkäaikaiskestävyyden vaarantaa bentoniitin ioninvaihto. Esimerkiksi betonimurskeen sisältämä kalsium kiihdyttää bentoniitin rapautumista. (SYKE 2008, s. 56-57)

6. KYSELYTUTKIMUS

6.1 Tutkimusmenetelmän valinta ja tavoite

Kirjallisuudesta löytyy paljon tietoa kaatopaikan pintarakenteeseen soveltuvien materiaalien ominaisuuksista. Kirjallisuudesta ei kuitenkaan suoranaisesti löydy tietoa siitä, mitkä tekijät vaikuttavat pintarakennemateriaalien valintaan. Tutkimuksen tavoitteiden saavuttaminen edellyttää monipuolisia näkökulmia pintarakenteen rakentamisesta, joten tutkimusmenetelmäksi valittiin kyselytutkimus. Kyselytutkimuksen tavoitteena oli selvittää mitä materiaaleja jätehuoltoyritykset ovat käyttäneet tai aikovat käyttää kaatopaikan pintarakenteissa sekä mitä haasteita tai ongelmia eri materiaalien käsittelyssä ja hankinnassa on esiintynyt. Kyselytutkimuksen yhtenä näkökulmana oli työturvallisuus ja siitä aiheutuvat kustannukset.

6.2 Kyselytutkimuksen toteutus

Kyselytutkimus toteutettiin helmikuussa 2019. Kyselytutkimuksen kohderyhmäksi valittiin jätehuoltoyritysten edustajia. Kohderyhmän kaikki edustajat työskentelevät jätehuoltoyrityksen toimihenkilöinä ja vastaavat osaltaan kaatopaikan pintarakenteiden rakentamisesta.

Kysely sisälsi yhteensä 15 kysymystä, joista 8 oli avoimia kysymyksiä. Neljä kysymystä oli pakollisia. Ensimmäinen kysymys koski vastaajien taustatietoja. Kysymykset 2, 3, 4, 9, 10, 11 ja 12 käsittelivät kaatopaikan pintarakenteissa käytettyjä materiaaleja, niiden saatavuutta sekä rakentamisen ongelmia ja haasteita. Kysymyksen viisi tarkoitus oli selvittää, kuinka laaja osa vastaajan toimimassa jätehuoltoyrityksessä kaatopaikan osista on jo suljettu. Kysymykset 6, 7 ja 8 koskivat kaatopaikan pintarakenteissa käytettyjen materiaalien hyväksyttämistä ja pintarakenteiden toteuttamisen toimintamallia. Kysymykset 13, 14 ja 15 koskivat kaatopaikkarakentamiselle erityisiä työturvallisuusseikkoja. Kysymykset on esitetty liitteessä 1.

Kysely lähetettiin sähköpostitse Webropol-kyselytutkimustyökalun kautta yhteensä 20:lle henkilölle. Vastausaikaa kyselyyn oli ensin kaksi viikkoa, jonka jälkeen vastaamatta jättäneille henkilöille lähetettiin muistutusviesti. Muistutusviestin jälkeen vastausaikaa oli vielä yksi viikko.

6.3 Tutkimustulokset

Kyselyyn vastasi yhteensä 8 henkilöä. Kyselyn vastausprosentti oli tällöin 40 %. Vastajia oli yhteensä seitsemästä eri jätehuoltoyrityksestä:

- Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY
- Kiertokaari Oy, Oulu
- Kymenlaakson Jäte Oy, Kouvola
- Lakeuden Etappi Oy, Ilmajoki
- Pirkanmaan Jätehuolto Oy, Tampere
- Päijät-Hämeen jätehuolto Oy, Lahti
- Rosk'n Roll Oy Ab, Itä- ja Länsi-Uusimaa, Lohja ja Porvoo

Ensimmäisessä kysymyksessä pyydettiin vastaajan taustatietoja, kuten yritystä, tehtävänimikettä ja yhteystietoja. Vastaajat olivat henkilöitä, jotka osallistuvat rakennuttamiseen tai sitä koskevaan päätöksentekoon.

6.3.1 Pintarakenteissa käytetyt materiaalit

Pintarakenteessa käytettäviä materiaaleja käsiteltiin kysymyksissä 2 - 4 ja 9.

Toinen kysymys oli avoin kysymys: ”**Mitä kaatopaikkarakentamiseen mahdollisesti soveltuvia jättemateriaaleja teille tuodaan käsiteltäväksi ja kuinka paljon vuosittain?**”.

Kaikki vastasivat kysymykseen. Vastaukset ja arviot määristä:

”Jätteen polton pohjakuona 18000tn vuodessa, josta karkea 5-32 (50)mm mineraaliaines 7200 tn/a. Sekalaisen rakennusjätteen seula-alite 0-15mm (omasta toiminnasta) 9000tn vuodessa. Kompostointituotteet (oma toiminta) 5000tn vuodessa”

”Pilaantuneet maat 10-30000 t, tuhkia ja kuonia, ylijäämämaa 20-50 00 t, betonijätettä”

”Jätteenpolton kuonaa n. 30000 tn/a, lievästi pilaantuneet maat, muutamia tuhansia tonneja vuodessa. Betonimursketta muutama tuhat tonnia vuodessa.”

”Kompostoitava biojäte n. 20 000 tn/a, tiili- ja betonijäte n. 5000 tn/a, käytöstä poistetut renkaat n. 10 000 tn/a, pilaantuneet maat n. 150 000 tn/a.”

”Meille ja yhteistyökumppaneillemme tuodaan käsiteltäväksi Ruskon jätekeskukseen paperitehtaan kuitusavilietettä (OPA-sakkaa) arviolta 20 000 t vuodessa. Lisäksi yhteistyökumppanimme käsittelee jätteenpolttolaitoksen kuonaa noin 22 000 t vuodessa. Kaatopaikkarakentamisessa voi hyödyntää myös lievästi pilaantuneita maita tai käsiteltyjä pilaantuneita maita, erilaisia tuhkia ja kuonia sekä rakennusjätteen käsittelyssä syntyvää hienoainesta.”

”Kuonaa 70 000 tonnia, rakennuskiviaineksia 15 000 tonnia, maa-aineksia 50 000 - 100 000 tonnia.”

"Jätevoimalan kuona n. 60 000 t/a, Ns. Helsinkimoreeni n. 70 000 t/a, Sortti-asemien kiviainespitoinen jäte, betoni, josta tuotetaan mursketta, biojäte n. 62 000 t/a, josta tuotetaan maanparannusainetta, jätevesiliete n. 16 000 t/a, josta tuotetaan multaa"

"Kasvukerrokseen soveltuvaa haravointijätettä, joka meillä tuotetaan aumamalla mullaksi vuositasolla 3800 ton (arvio kahden jäteaseman määristä)."

Kysymys kolme oli avoin kysymys: ***"Millaisia jätemateriaaleja olette hyödyntäneet tai aiotte hyödyntää kaatopaikkarakentamisessa sellaisenaan tai jalostettuna? Missä rakenneosissa?"*** Kysymyksen tarkoituksena oli saada tarkentavia vastauksia kysymyksen 2 vastauksiin. Kysymykseen vastasivat kaikki kyselyyn osallistuneet. Kuvaan 33 on koottu vastauksissa mainitut materiaalit, joista eniten mainintoja saivat jätteenpolton kuonat, pilaantuneet maat ja betonijäte.

Yhdessä vastauksessa mainittu OPA-sakka on Stora Enso Oyj:n Oulun paperitehtaan jätevedenpuhdistamon lietettä, joka koostuu pääosin kalsiumkarbonaateista ja selluloosakuiduista. Sakkaa muodostuu vuosittain noin 30 000 tonnia. (Pöyry 2007a)

Otteita vastauksista:

"Pilaantuneet maat, kaasunkeräys, tiivis-, kuivatus- ja peittomaakerros. Tuhkat kaasunkeräyskerrokseen ja tiivistyskerrokseen. Ylijäämämaa peittokerrokseen sekä tiivistyskerrokseen (kuivakuorisavi). Betonia kuivatuskerrokseen"

"Käytetty ja aiotaan hyödyntää tiiviskerroksen alapuolisissa rakenteissa:

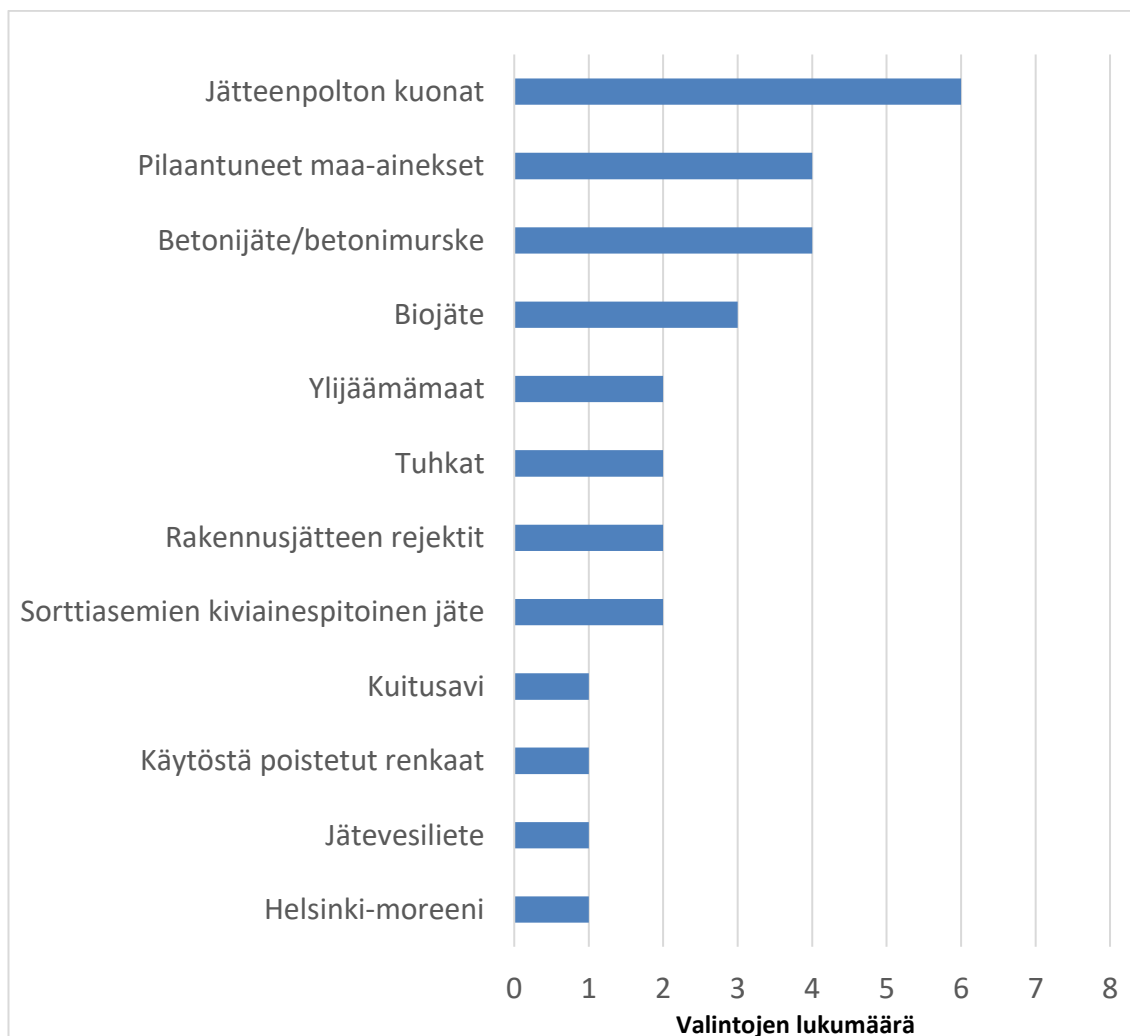
- 1. Jätteenpolton pohjakuona: seulottu 5-32 (50) mm mineraaliaines kaasunkeräyskerros*
 - 2. Seula-alite 0-15 mm jätetäytön profilointikerros*
 - 3. Ylijäämämaat pintakerroksen alaosa*
 - 4. Kompostointituotteet kasvukerros*
- Käytetty aiemmin kuitusavea tiiviskerroksessa"*

"Jätevoimalan kuona kaasunkeräyskerrokseen. Helsinki moreeni pintakerrokseen. Biojätteestä ja jätevesilietteestä tuotettu multa pintakerrokseen. Betonijäte, josta on tehty teitä. Sortti-asemien kiviainespitoinen jäte, josta on tehty kaasunkeräyskerrosta."

"Olemme hyödyntäneet kaatopaikan pintarakenteen esipeitossa ja muotoilussa mm. lievästi pilaantuneita maita, käsiteltyjä pilaantuneita maita, voimalaitosten tuhkaa sekä käsiteltyä jätteenpolttolaitoksen kuonaa ja puhtaita ylijäämäkaita. Tiivistyskerroksessa olemme käyttäneet OPA-sakkaa sekä suojakerroksessa ja kaasunkeräyskerroksessa käsiteltyä jätteenpolttolaitoksen kuonaa."

”Esipeitto ja muotoilu pilaantuneet maat. Kaasunkeräyskerros sepeli/tiili- ja betonimurske. Tiivistyskerros kuitusavi. Kuivatuskerros rengasmurske RR300. Kasvukerros tuhka/biokomposti sekoitus.”

”Rengasrouhetta kuivatuskerroksessa sekä kuitusavea tiivistyskerroksessa”



Kuva 33. Yhteenveto mainituista materiaaleista vastauksissa kysymykseen ”Millaisia jättemateriaaleja olette hyödyntäneet tai aiotte hyödyntää kaatopaikkarakentamisessa sellaisenaan tai jalostettuna?” (N=8)

Neljännessä kysymyksessä kysyttiin vastaajien mielipidettä **”Pitäisikö jättemateriaalien hyötykäyttöä kaatopaikkarakentamisessa mielestänne lisätä? Millaisia toimia se edellyttäisi?”**. Kaikki kyselyyn osallistuneet vastasivat kysymykseen. Vastaajat olivat lähes kaikki samaa mieltä siitä, että jättemateriaaleja on tällä hetkellä mahdollista hyödyntää kaatopaikkarakentamisessa varsin monipuolisesti ja kaatopaikkarakentaminen on hiipuva ala. Otteita vastauksista:

”Käsitykseni mukaan jättemateriaaleja käytetään kaatopaikkarakentamisessa varsin monipuolisesti”

”Ei tarvitse, kaatopaikkarakentaminen on hiipuva asia. Tulisi lisätä ylijäämämaiden käsittelyä ja hyödyntämistä, siellä paljon enemmän potentiaalia ja riskitöntä”

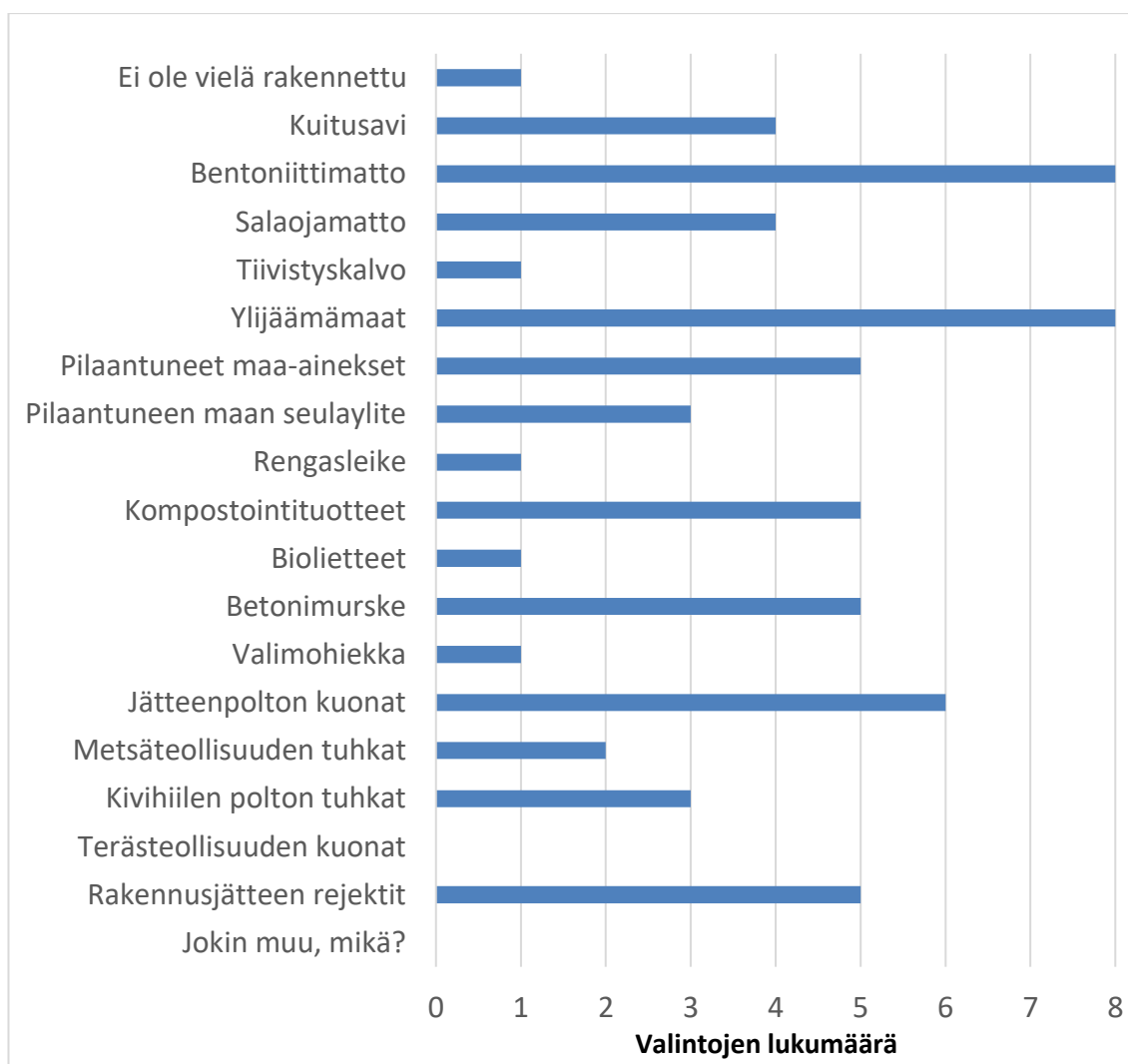
”Tällä hetkellä kaatopaikkarakentamiseen on kohtalaisen hyvin tarjolla jätemateriaaleja. Kaatopaikkojen määrä on niin radikaalisti tippunut vuosien saatossa ja varsinkaan yhdyskuntajätteelle uusien kaatopaikkojen rakentamista ei juurikaan tarvita. Muutaman vuoden kuluttua on uhka, että nyt vain kaatopaikkarakentamiseen soveltuvia jätemateriaaleja ei voi enää käyttää, kun kaatopaikkoja ei ole enää rakennettavaksi tai suljettavaksi. Tällöin nämä materiaalit uhkaavat jäädä käsiin. Eli ennemminkin näiden materiaalien hyötykäyttöä pitäisi lisätä muualla kuin kaatopaikkarakentamisessa.”

Kahden vastaajan mielestä materiaalien hyödyntämisessä kaatopaikkarakenteissa on joi-
tain epäkohtia ja materiaaleja pitäisi voida hyödyntää helpommin kaatopaikan raken-
teissa:

”Pintarakenteessa käytetty multa kelpaa nyt kaatopaikka-alueen ulkopuolella hyödynnettäväksi, mutta ei kaatopaikalle. Epäkohta, kun ympäristöluvut ovat kaatopaikalla ankarampia, kuin esim. teiden varsilla. Päästörajoja pitäisi keventää. Moreeni pitäisi olla hyödynnettävissä kaatopaikan pintarakenteessa helpommin. Hieman epäpuhtauksia sisältävää materiaalia pitäisi voida käyttää kaatopaikan pinnan alaosassa.”

*”Jättemateriaalien käyttöä pitäisi pystyä lisäämään, mutta tämän hetkisillä viran-
omaisvaatimuksilla on hankala/mahdotonta lähteä esittämään materiaaleja esim.
kaatopaikkarakenteissa.”*

Yhdeksännessä kysymyksessä kysyttiin monivalintakysymyksellä **”Mitä materiaaleja teillä on käytetty tai aiotte käyttää kaatopaikan pintarakenteissa?”**. Vastaajan oli mahdollista valita useita eri vaihtoehtoja. Kaikki kyselyyn osallistuneet vastasivat kysymykseen. Materiaaleja valittiin kaikkiaan 65. Vain terästeollisuuden kuonia ei maininnut kuukaan. Vastaukset kysymykseen on esitetty kuvassa 34.



Kuva 34. Vastaukset kysymykseen: ”Mitä materiaaleja teillä on käytetty tai aiotte käyttää kaatopaikan pintarakenteissa?” (N=8)

Kaikki vastaajat kertoivat, että he ovat käyttäneet tai aikovat käyttää kaatopaikan pintarakenteissa bentoniittimattoja ja ylijäämämaita. Kuitusavea, salaojamattoja, pilaantuneita maa-aineksia, kompostointituotteita, jätteenpolton kuonia, betonimursketta, rakennusjätteen rejektejä oli käyttänyt tai aikoo käyttää yli puolet kyselyyn vastanneista jätehuoltoyhtiöistä.

Kysymysten kolme ja yhdeksän perusteella mineraalisessa tiivistysrakenteessa yleisemmin käytetty materiaali oli bentoniittimatto. Vastauksista ei selvinnyt millä perusteella vastaajat olivat valinneet bentoniittimaton mineraalisen tiivistyskerroksen materiaaliksi. Yksi vastaaja kertoi mineraaliseen tiivistyskerrokseen soveltuvan materiaalin saatavuuden olevan haaste, mikä on todennäköisesti yksi merkittävä syy bentoniittimaton laajaan käyttöön kaatopaikan pintarakenteen mineraalisessa tiivistyskerroksessa. Bentoniittimatto on myös rakennettavuudeltaan erinomainen mineraalisen tiivistyskerroksen materiaali.

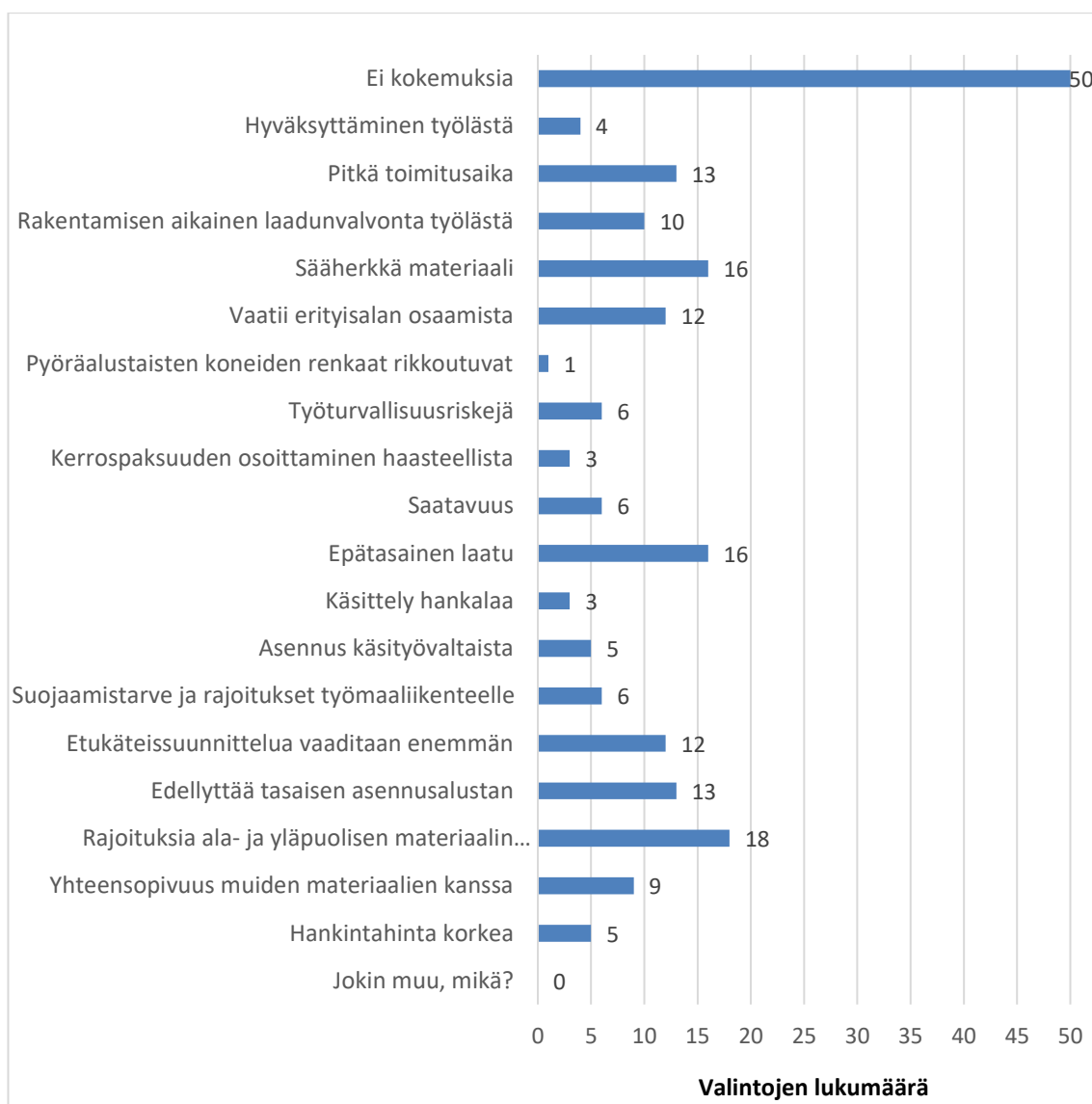
Kyselyyn vastanneista jätehuoltoyhtiöiden edustajista puolet (4/8) kertoi käyttäneensä tai aikovansa käyttää kuitusavea kaatopaikan pintarakenteen mineraalisessa tiivistyskerroksessa.

Kysymysten kaksi, kolme ja yhdeksän perusteella jätteenpolton kuonia vastaanotti ja käsittelee lähes kaikki (6/7) kyselyyn vastanneista jätehuoltoyhtiöistä, joista viisi kertoi hyödyntävänsä niitä jalostettuina kaasunkeräyskerrokseen. Muita kaasunkeräyskerroksen materiaaleja ovat pilaantuneet maat, tiilimurske, betonimurske ja sortti-asemien kiviainespitoinen jäte.

Pilaantuneita maa-aineksia kertoi hyödyntävänsä kaatopaikan pintarakenteissa viisi kyselyyn vastanneista seitsemästä jätehuoltoyhtiöistä ja heistä kolme on käyttänyt tai aikoo käyttää rakenteissa pilaantuneen maan seulaylitteitä. Karkearakeiset ja kaatopaikkakelpoiset pilaantuneen maan seulaylitteet soveltuvat käytettäväksi kaasunkeräyskerroksessa. Karkearakeisten pilaantuneiden maiden seulaylitteiden sisältämistä haitta-aineista ja niiden pitoisuuksista riippuen ne saattavat soveltua käytettäväksi myös kuivatuskerroksessa.

Neljän jätehuoltoyhtiön edustaja kertoi käyttävänsä kasvukerroksessa kompostia. Yksi jätehuoltoyhtiön edustaja kertoi sekoittavansa käytettyyn kompostiin tuhkaa. Kaikki vastaajat valmistivat käytettävän kompostinsa itse. Vastausten perusteella kaikki kyselyyn vastanneet jätehuoltoyhtiöt käyttävät pääosin materiaaleja, joita tuodaan käsiteltäväksi kaatopaikalle.

Kysymyksien 10 ja 11 tarkoituksena oli selvittää, mitä ongelmia ja haasteita on esiintynyt kaatopaikan pintarakenteissa käytettyjen materiaalien hankinnassa, käsittelyssä tai rakentamisessa. Kysymyksessä 10 kysyttiin monivalintakysymyksellä ”*Millaisia haasteita tai ongelmia on esiintynyt materiaalien hankinnassa, käsittelyssä tai rakentamisessa? Voit valita useita ja vastata vain niiden materiaalien osalta, joista teillä on kokemusta*”. Vastauksessa voitiin valita materiaalin kohdalta useita kysymyksessä mainittuja haasteita. Kyselyyn osallistuneista seitsemän vastasi kysymykseen. Vastaukset kysymykseen on esitetty kuvassa 35 ja kootusti taulukossa 25.



Kuva 35. Vastaukset kysymykseen: ”Millaisia haasteita tai ongelmia on esiintynyt materiaalien hankinnassa, käsittelyssä tai rakentamisessa?” (N=7)

Vastaajien mielestä yleisin haaste on materiaalin asettamat rajoitukset yläpuolisen ja/tai alapuolisen materiaalin laadulle (18 valintaa), mikä mainittiin erityisesti geosynteettisten tuotteiden haasteeksi. Toiseksi yleisimmiksi haasteiksi valittiin materiaalien sääherkkyys (16 valintaa), joka mainittiin erityisesti bentoniittimaton ja kuitusaven yhteydessä (4 valintaa), sekä materiaalien epätasainen laatu (16 valintaa), joka mainittiin ylijäämämaiden yhteydessä (5 valintaa).

Vastaajilla ei ollut kokemusta terästeollisuuden kuonista. Valimohiekasta oli vastausten perusteella kokemusta yhdellä vastaajista, mutta hän ei valinnut yhtään haastetta tai ongelmaa. Kaikilla vastaajista oli kokemusta ylijäämämaiden ja betonimurskeen käytöstä kaatopaikkarakentamisessa. Vastaajien mielestä ylijäämämaiden yleisin haaste on epätasainen laatu (5 valintaa). Betonimurske valittiin yhteensä vain 8 kertaa eli sen käytöllä ei vastaajien mielestä ollut erityisiä haasteita tai ongelmia. Betonimurskeen yleisin haaste

on epätasainen laatu (2 valintaa). Kuudella vastaajalla oli kokemusta kompostointituotteista, mutta sen hankinnassa, käytössä tai rakentamisessa ei vastaajien kesken ollut esiintynyt merkittäviä ongelmia (4 valintaa).

Eniten haasteita tai ongelmia vastaajien mielestä on bentoniittimatolla (27 valintaa) ja tiivistyskalvoilla (26 valintaa). Valintojen suurta määrää saattaa osaltaan selittää vastaajien hyvä kokemus ja tietämys kyseisistä materiaaleista.

Taulukko 25. Materiaalien hankinnassa, käsittelyssä tai rakentamisessa esiintyneitä haasteita tai ongelmia (kysymys 10).

Materiaali	Materiaalille tyypillisiä haasteita
Bentoniittimatto	Pitkä toimitusaika (2), sääherkkä materiaali (4), vaatii erityisosaimista (2), suojaamistarve ja rajoitukset työmaaliikenteelle (3), edellyttää tasaisen asennusalustan (5), rajoituksia ylä- ja alapuolisten materiaalien laadulle ja rakeisuudelle (3), korkea hinta (2), yhteensopivuus muiden materiaalien kanssa (2), etukäteissuunnittelua vaaditaan enemmän (1), asennus käsityövaltaista (2), saatavuus (1)
Betonimurske	Hyväksyttäminen työlästä (1), työturvallisuusriskejä (1), etukäteissuunnittelua vaaditaan enemmän (1), rajoituksia ala- ja yläpuolisen materiaalin laadulle ja rakeisuudelle (1), yhteensopivuus muiden materiaalien kanssa (1), Epätasainen laatu (2)
Biolietteet	Hyväksyttäminen työlästä (1), rakentamisen aikainen laadunvalvonta työlästä (1), sääherkkä materiaali (1), vaatii erityisalan osaamista (1)
Jätteenpolton kuonat	Pitkä toimitusaika (1), rakentamisen aikainen laadunvalvonta työlästä (1), sääherkkä materiaali (1), vaatii erityisalan osaamista (1), työturvallisuusriskejä (1), käsittely hankalaa (1), suojaamistarve ja rajoitukset työmaaliikenteelle (1), vaatii paljon etukäteissuunnittelua (2), rajoituksia ala- ja yläpuolisen materiaalin laadulle ja rakeisuudelle (2), yhteensopivuus muiden materiaalien kanssa (2)
Kivihiilen polton tuhkat	Sääherkkä materiaali (1), työturvallisuusriskejä (1), etukäteissuunnittelua vaaditaan enemmän (1), yhteensopivuus muiden materiaalien kanssa (1)
Kompostointituotteet	Pitkä toimitusaika (1), sääherkkä materiaali (1), epätasainen laatu (1), rajoituksia ala- ja yläpuolisen materiaalin laadulle ja rakeisuudelle (1)
Kuitusavi	Sääherkkä materiaali (4), pitkä toimitusaika (1), kerrospaksuuden osoittaminen haasteellista (1), saatavuus (1), epätasainen laatu (1)
Metsäteollisuuden tuhkat	Etukäteissuunnittelua vaaditaan enemmän (1), yhteensopivuus muiden materiaalien kanssa (1)
PIMA	Hyväksyttäminen työlästä (1), pitkä toimitusaika (1), rakentamisen aikainen laadunvalvonta työlästä (2), vaatii erityisalanosaamista (1), työturvallisuusriskejä (1), epätasainen laatu (2), etukäteissuunnittelua vaaditaan enemmän (1)
Pilaantuneen maan seulaylitteet	Rakentamisen aikainen laadunvalvonta työlästä (1), vaatii erityisalan osaamista (1), työturvallisuusriskejä (1), epätasainen laatu (2), etukäteissuunnittelua vaaditaan enemmän (1)

Rakennusjätteen rejektit	Pitkä toimitusaika (1), rakentamisen aikainen laadunvalvonta työlästä (1), vaatii erityisalan osaamista (1), Epätasainen laatu (2), rajoituksia ala- ja yläpuolisen materiaalin laadulle ja rakeisuudelle (1), yhteensopivuus muiden materiaalien kanssa (1)
Rengasleike	Pitkä toimitusaika (2), rakentamisen aikainen laadunvalvonta työlästä (1), pyörälustaisten koneiden renkaat rikkoutuvat (1), kerronpaksuuden osoittaminen haasteellista (1), saatavuus (1), käsittely hankalaa (1), suojaamistarve ja rajoitukset työmaaliikenteelle (1), rajoituksia ylä- ja alapuolisten materiaalien laadulle ja rakeisuudelle (1)
Salaojamatto	Edellyttää tasaisen asennusalustan (4), rajoituksia ylä- ja alapuolisten materiaalien laadulle ja rakeisuudelle (4), korkea hinta (1), pitkä toimitusaika (1), etukäteissuunnittelua vaaditaan enemmän (1)
Tiivistyskalvo	Pitkä toimitusaika (2), sääherkkä materiaali (2), vaatii erityisosaamista (4), asennus käsityövaltaista (3), vaatii paljon etukäteissuunnittelua (2), edellyttää tasaisen asennusalustan (3), rajoituksia ylä- ja alapuolisten materiaalien laadulle ja rakeisuudelle (4), työturvallisuusriskejä (1), rakentamisen aikainen laadunvalvonta työlästä (1), saatavuus (1), epätasainen laatu (1), suojaamistarve ja rajoitukset työmaaliikenteelle (1)
Vaahtolasi	Saatavuus (1), rajoitukset ala- ja yläpuolisen materiaalin laadulle ja rakeisuudelle (1), hankintahinta korkea (1)
Ylijäämämaat	Rakentamisen aikainen laadunvalvonta työlästä (2), sääherkkä materiaali (2), vaatii erityisalan osaamista (1), saatavuus (1), epätasainen laatu (5), käsittely hankalaa (1), hyväksyttäminen työlästä (1)

Kysymys 11 oli avoin kysymys, jossa vastaajan oli mahdollista tarkentaa edellisessä kysymyksessä esitettyjä haasteita ja ongelmia sekä kertoa muita materiaaleihin liittyneitä ongelmia ja haasteita: ”*Millaisia muita haasteita tai ongelmia on esiintynyt kaatopaikan pintarakenteiden materiaaleihin liittyen?*”. Suurin osa ongelmista ja haasteista materiaalien hankinnassa, käsittelyssä ja rakentamisessa vastausten perusteella liittyy materiaalien saatavuuteen, pitkään toimitusaikaan ja materiaalien epätasaiseen laatuun. Otteita vastauksista (N=6):

”Soveltuvan tiivistyskerros materiaalin (luonnonsavi) saatavuus”

”Massamäärät ovat suuria, joten jätemateriaalien riittävän määrän saanti on pitkä projekti”

”Säätöolosuhteet vaikuttavat kaikkien materiaalien käsittelyyn”

”Materiaalien käyttö sadesäällä”

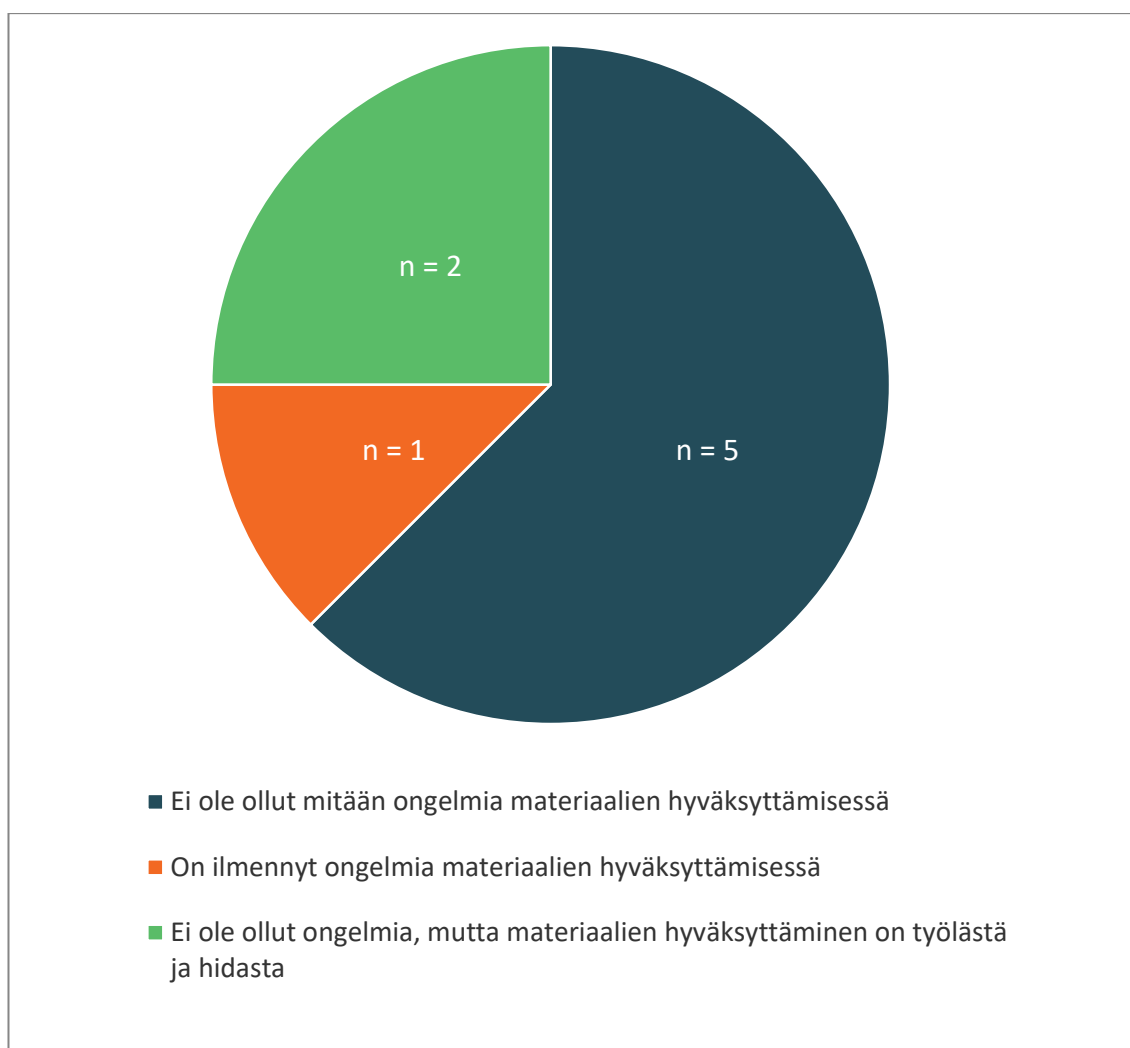
”Tiettyjen materiaalien kosteuspitoisuuden määrittäminen ja valvominen riittävän tiiveyden saavuttamiseksi.”

6.3.2 Materiaalien hyväksyttäminen ja pintarakenteiden toteuttaminen

Kysymykset 5-8 käsittelivät pintarakenteiden toteuttamisvaihetta ja rakennuttamistapaa. Viidennessä kysymyksessä kysyttiin: ”*Onko teillä jo suljettu kaatopaikan osia?*”. Kysymys oli pakollinen. Kaikki 8 vastaajaa vastasivat, että vasta osia täyttöalueesta on suljettu. Suljetun alueen laajuus vaihteli 0,6 hehtaarista Ämmässuon jätteenkäsittelyalueen 40 hehtaariin:

- 3 ha
- noin 15 ha hoidettu, 20 ha tekemättä
- 0,6 ha
- n. 30 ha
- 19 ha / 36 ha
- 40 hehtaaria

Kuudentena kysymyksenä oli avoin kysymys, jonka tarkoituksena oli selvittää jätehuoltoyritysten kokemuksia kaatopaikkarakenteissa käytettyjen materiaalien viranomaishyväksyttämisestä: ”*Onko kaatopaikkarakenteissa käytettyjen materiaalien viranomaishyväksyttäminen ollut vaivatonta? Miksi? Miksi ei?*”. Yhteenveto vastauksista kysymykseen on esitetty kuvassa 36.



Kuva 36. Vastaukset kysymykseen kuusi: ”Onko kaatopaikkarakenteissa käytettyjen materiaalien viranomaishyväksyttäminen ollut vaivatonta? Miksi? Miksi ei?” (N=8)

Yli puolella vastaajista (62 %) ei ole ollut ongelmia materiaalien hyväksyttämisen kanssa. Kaksi vastaajista kertoi prosessin olevan todella hidasta. Yksi vastaajista kertoi työnaikaisista ongelmista materiaalien hyväksyttämisessä viranomaisten kanssa. Otteita vastauksista:

”Edellinen lupaprosessi (jota kuitenkin täydensimme omasta sekä viranomaisen tahdosta moneen kertaan) kesti neljä vuotta”

”Hidasta anoa muutoksia lupaan”

”On ollut varsin vaivatonta. Lupa- ja valvontaviranomaiset ovat olleet myönteisiä hyötykäyttöön, kunhan suunnitelmat, perustelut ja taustatiedot ovat kunnossa”

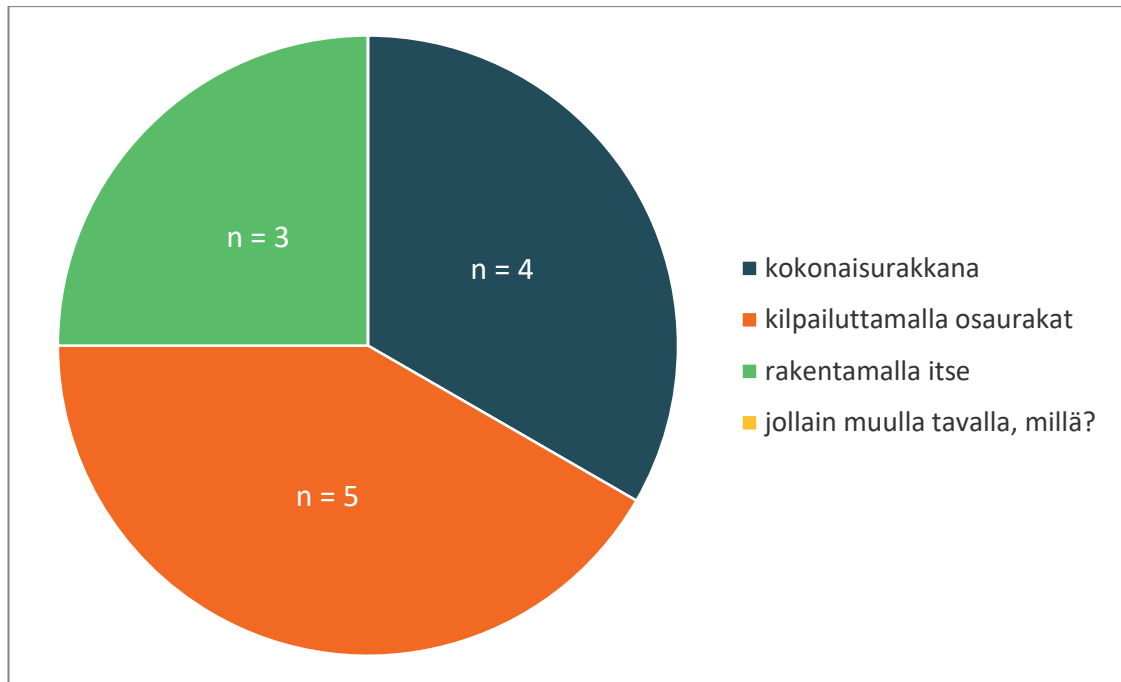
”Suunnitelmien (joissa on esitetty jo käytetyt materiaalit) ympäristöluvassa vaaditun hyväksyttämiprocessista huolimatta ilmenee samojen materiaalien hyväksyttämisesssä ongelmia työmaavaiheessa.”

Seitsemännen kysymyksen, **”Mitä kustannuksia aiheuttavia tekijöitä materiaalin hyväksyttämiprocessissa täytyy ottaa huomioon?”**, tavoitteena oli selvittää materiaalien hyväksyttämiprocessissa aiheutuneita kustannuksia. Vastausten perusteella hyväksyttämiprocessissa kustannuksia aiheuttavat:

- lupamaksut,
- hyväksyttämiprocessin aiheuttamat aikatauluviivytykset,
- suunnitelmien ja lupahakemusten laatiminen,
- materiaalien testaus laboratoriossa ja lausunnot,
- laadunvalvonta,
- oma työaika.

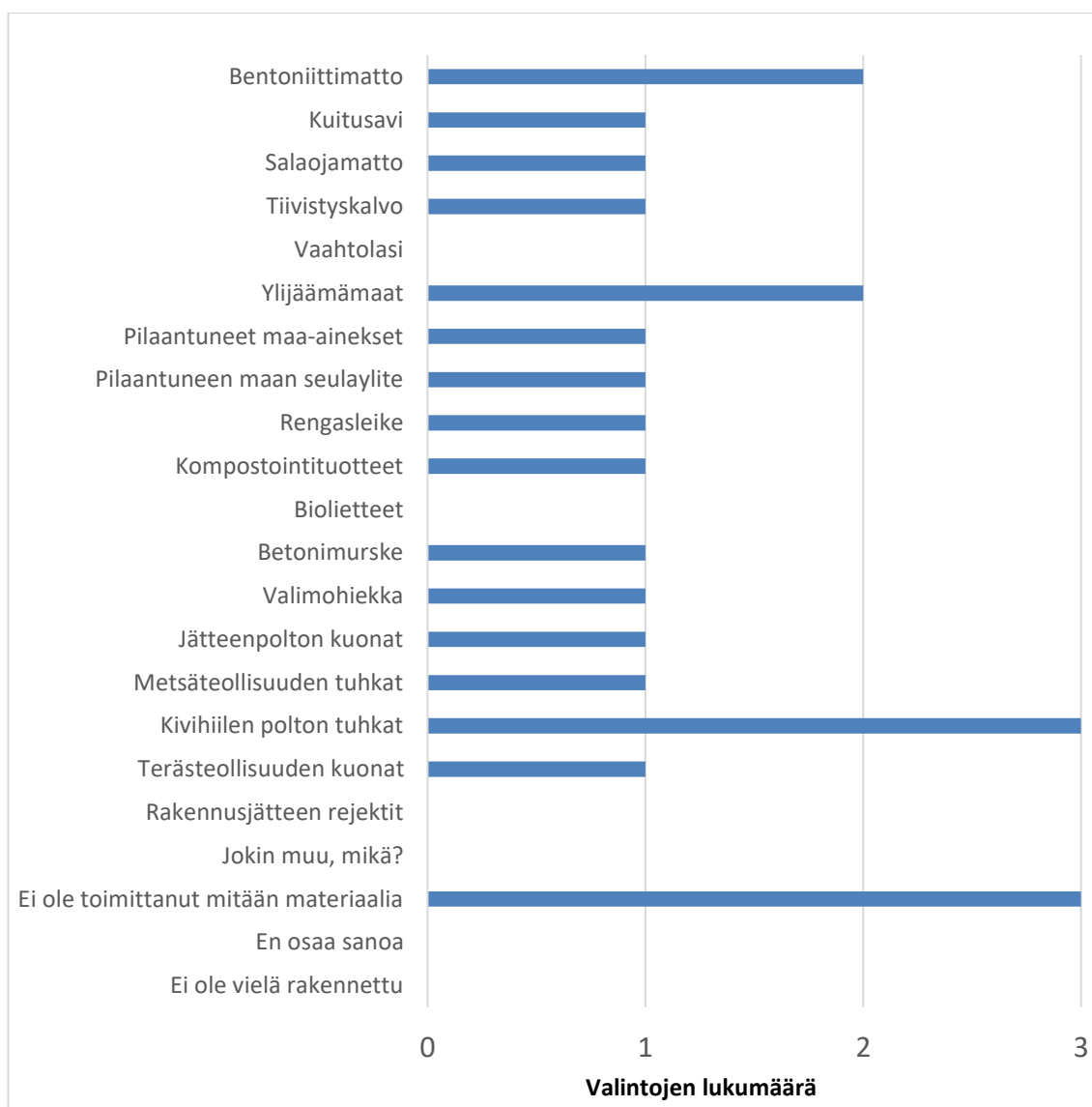
Yksi kyselyyn vastaajista arvioi, että: *”Uuden materiaalin kanssa hyväksyttämismenettely voi hukata jätemateriaalin käytöllä saavutettavan taloudellisen hyödyn”*. Jos suljettava kaatopaikka on pinta-alaltaan pieni, jolloin massojen menekki on vähäinen, uuden jätemateriaalin hyväksyttäminen voi aiheuttaa niin paljon kustannuksia, että se ei ole taloudellisesti kannattavaa.

Kahdeksas kysymys oli monivalintakysymys, jonka tarkoituksena oli selvittää millä toimintamallilla vastaajat ovat toteuttaneet tai aikovat toteuttaa kaatopaikan pintarakenteet. Vastaajan oli mahdollista valita useita vastausvaihtoehtoja. Suurin osa vastaajista toteuttaa kaatopaikan pintarakenteet jakamalla sen osaurakoihin ja kilpailuttamalla ne. Vastaajista kolme kertoi rakentavansa itse kaatopaikan pintarakenteita ja neljä kertoi toteuttavansa pintarakenteet kokonaisurakkana. Vastaukset kysymykseen on esitetty kuvassa 37.



Kuva 37. Vastaukset kysymykseen 8: ”Millä tavoilla olette toteuttaneet/aiotte toteuttaa kaatopaikan pintarakenteet?” (N=7)

Kysymys 12 oli monivalintakysymys, jossa kysyttiin, onko urakoitsija ehdottanut tai toimittanut materiaaleja kaatopaikan pintarakenteeseen. Vastaukset kysymykseen: ”**Mikä kaatopaikan pintarakenteissa käytetyistä materiaaleista on ollut urakoitsijan ehdottama ja/tai toimittama? (Voit valita useita vaihtoehtoja)**” on esitetty kuvan 38 kuvajassa.



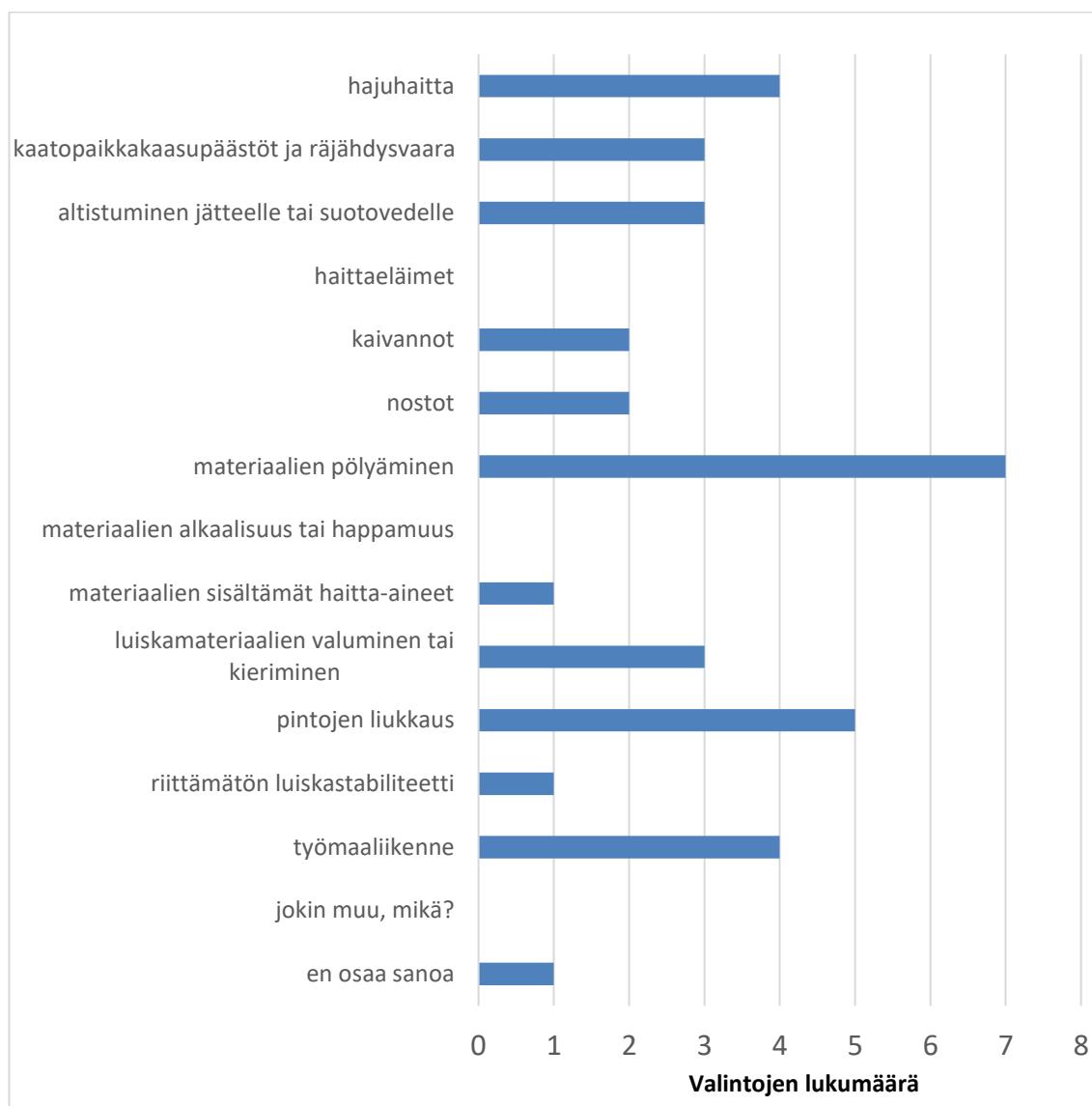
Kuva 38. Vastaukset kysymykseen 12: ”Mikä kaatopaikan pintarakenteissa käytetyistä materiaaleista on ollut urakoitsijan ehdottama ja/tai toimittamaa? (Voit valita useita vaihtoehtoja)” (N=8)

Vastausten perusteella urakoitsija on toimittanut materiaaleja kaatopaikan pintarakenteisiin vain tapauskohtaisesti. Lähes jokainen vastausvaihtoehto sai yhden tai kaksi vastausta. Kolmessa tapauksessa urakoitsija on toimittanut kivihiilen polton tuhkia kaatopaikan sulkemisarakeisiin. Kaksi jätehuoltoyhtiötä kertoi hankkivansa kaikki rakenteissa käytettävät materiaalit itse.

6.3.3 Työturvallisuus kaatopaikkarakentamisessa

Kysymykset 13-15 liittyivät työturvallisuuteen kaatopaikkarakentamisessa. Kysymys 13 oli monivalintakysymys, joka käsitteli kaatopaikkarakentamisen työturvallisuusriskejä ja läheltä piti -tilanteita. Vastaajan oli mahdollista valita useita eri vaihtoehtoja. Kysymyksen vastasivat kaikki vastaajat. Yksi vastasi ”en osaa sanoa”. Vastaukset kysymykseen

”Millaisia tavanomaisia työturvallisuusriskejä ja mahdollisia läheltä piti -tilanteita kaatopaikkarakentamisessa on esiintynyt hankkeissanne?” on esitetty kuvassa 39.



Kuva 39. Vastaukset kysymykseen 13: ”Millaisia tavanomaisia työturvallisuusriskejä ja mahdollisia läheltä piti -tilanteita kaatopaikkarakentamisessa on esiintynyt hankkeissanne?” (N=8)

Seitsemän vastaajan mielestä materiaalien pölyäminen on tyypillinen työturvallisuusriski kaatopaikkarakentamisessa. Viisi vastaajista oli sitä mieltä, että pintojen liukkaus aiheuttaa työturvallisuusriskejä tai läheltä piti -tilanteita kaatopaikkarakentamisessa. Työmaaliikenne ja hajuhaitta olivat neljän vastaajan mielestä työturvallisuusriskejä tai läheltä piti -tilanteita aiheuttava tekijä kaatopaikkarakentamisessa. Kukaan vastaajista ei kokenut työturvallisuusriskiksi haittaeläimiä tai käytettävien materiaalien poikkeavaa pH-arvoa. Vain yksi vastaaja valitsi työturvallisuusriskiksi materiaalien sisältämät haitta-aineet tai riittämättömän luiskastabiliteetin.

Kysymykset 14 ja 15 olivat avoimia kysymyksiä kaatopaikkarakentamisen työturvallisuudesta. Kysymyksessä 14 kysyttiin: ”*Vaatiiko kaatopaikkarakentaminen tavanomaista poikkeavia työturvallisuustoimenpiteitä ja aiheuttaako työsuojelu lisäkustannuksia tavanomaiseen hankkeeseen verrattuna?*” ja kysymyksessä 15 ”*Mitä työturvallisuusseikkoja pitää kokemuksiinne perusteella huomioida jätetäytön muotoilussa ja kaivussa?*”. Vastausten perusteella kaatopaikkarakentaminen ei sisällä merkittäviä määriä poikkeavia työturvallisuustoimenpiteitä verrattuna tavanomaiseen maarakennushankkeeseen. Työntekijät on perehdytettävä kaatopaikkakaasujen ja epäpuhtauksien aiheuttamiin työturvallisuusriskeihin sekä kaasumittarien käyttöön. Mahdolliset kaasumittarit työntekijöillä ja laajemmat työturvallisuusasiakirjat tavanomaiseen maarakennushankkeeseen verrattuna saattavat aiheuttaa tavanomaisesta maarakennushankkeesta poikkeavia lisäkustannuksia. Otteita vastauksista:

”Pääosin normaalia maarakentamista. Kaasuasiat käytävä läpi. Materiaalien mahdollinen pölyäminen käytävä läpi”

”Ei olennaista eroa”

”Rinteissä työskentely työkoneilla vaativaa”

”Jyrkät luiskat aiheuttavat omat ongelmansa esim. pintakerroksen suurien kivien vuoksi ja kalvorullien vierimisen vaaran vuoksi”

”Työturvallisuusasiakirjat ovat mittavia. Kaasu- ja epäpuhtaudet ovat suurin työturvallisuusriski”

6.4 Tulosten arviointi ja yhteenveto

Kysely lähetettiin 20:lle jätehuoltoyhtiön edustajalle, jotka osaltaan vastasivat kaatopaikan pintarakenteen rakennuttamisesta tai rakentamisesta edustamassaan jätehuoltoyhtiössään. Kyselyyn vastasi kahdeksan henkilöä seitsemästä eri jätehuoltoyhtiöstä eli vastausprosentti oli tällöin 40 %. Yhteistä kaikille kyselyyn osallistuneille jätehuoltoyhtiöille oli, että ne ovat kaikki kuntien omistamia.

Yleisesti ottaen kyselyn tuloksia voidaan pitää luotettavina, koska kyselyyn vastasivat jätehuoltoyhtiöiden edustajia ympäri Suomea, kohderyhmä oli tarkoin valittu ja kyselyn vastausprosentti oli kohtuullisen suuri kyselytutkimukseksi. Kyselyyn valittu kohderyhmä oli oikea, koska henkilöt vastaavat osaltaan kaatopaikan rakennuttamisesta ja päätöksenteosta edustamassaan jätehuoltoyhtiössään. Kaikki vastaajat vastasivat lähes jokaiseen kysymykseen. Kysely sisälsi yhteensä 15 kysymystä, joista neljä oli pakollisia. Yhteen kysymykseen vastasi 7 kyselyyn osallistuneista ja kahteen kysymykseen vastasi 6 kyselyyn osallistuneista. Vastausprosentin ollessa näin suuri, voidaan kyselyn kysymysten todeta koskettaneen vastaajia. Otanta oli riittävä. Jos otanta olisi ollut suurempi, yk-

sittäisen jäteyhtiön vastauksella ei olisi ollut yhtä suurta painoarvoa. Monivalintakysymysten vastauksista mikään vaihtoehto ei selkeästi erottunut muista, mutta jos otanta olisi ollut suurempi, vaihtoehtojen välillä olisi saattanut tulla enemmän eroa ja kysymysten tulokset olisivat olleet tarkempia.

Työturvallisuuden liittyvissä kysymyksissä vastaajat eivät välttämättä olleet ”oikeita” henkilöitä vastaamaan, vaikkakin vastauksissa painottuivat samat asiat. Jos työturvallisuuden liittyvät kysymykset kohdistettaisiin esimerkiksi rakentamisesta vastaaville työnohtajille tai työkoneneen kuljettajille, tulokset saattaisivat poiketa merkittävästikin tämän kyselyn tuloksista.

Vastausten perusteella yleisempiä hyödynnettäviä materiaaleja kaatopaikan pintarakenteissa ovat bentoniittimatto, ylijäämämaat, jätteenpolton kuonat, pilaantuneet maat, kompostointituotteet ja jätebetoni. Bentoniittimattoa ja ylijäämämaita kertoi hyödyntävänsä tai aikovan hyödyntää kaikki kyselyyn vastanneet. Jätteenpolton kuonia kertoi hyödyntävänsä tai aikovan hyödyntää 6/8 vastaajista. Pilaantuneet maat, kompostointituotteet, rakennusjätteen rejektit ja betonijäte saivat kaikki viisi valintaa. Muita mainittuja materiaaleja olivat kuitusavi, salaojamatto, tiivistyskalvo, pilaantuneen maan seulaylitteet, renegasleike, biolietteet, valimohiekka, metsäteollisuuden ja kivihiilen polton tuhkat.

Tulosten perusteella kaatopaikan pintarakenteissa käytettyjen materiaalien hankinnassa, käsittelyssä tai rakentamisessa esiintyneitä tyypillisimpiä haasteita tai ongelmia ovat:

- rajoitukset ala- ja yläpuolisen materiaalin laadulle,
- materiaalien epätasainen laatu,
- materiaalien sääherkkyys,
- ja pitkät toimitusajat.

Vastausten perusteella jätemateriaaleja on tällä hetkellä mahdollista hyödyntää kaatopaikkarakenteissa varsin monipuolisesti ja materiaalien hyväksyttäminen on kohtalaisen vaivatonta. Kahden vastaajan mielestä materiaaleja pitäisi voida hyödyntää helpommin kaatopaikan rakenteissa. Kyselyyn vastanneista jätehuoltoyhtiöistä kaikki hyödynsivät kaatopaikalle jätteiksi tuotavia materiaaleja kaatopaikan pintarakenteen materiaaleina suoraan sellaisenaan tai jalostettuina.

Tulosten perusteella tavanomaisimpia työturvallisuusriskejä ovat materiaalien pölyäminen, pintojen liukkaus, työmaaliikenne ja hajuhaitta. Vastaajien mielestä materiaalien poikkeava pH tai alkaalisuus ei ole työturvallisuusriski kaatopaikkarakentamisessa. Vain yksi vastaaja kertoi työturvallisuusriskiksi materiaalien sisältämät haitta-aineet tai riittämättömän luiskastabiliteetin. Tulosten perusteella kaatopaikkarakentaminen ei sisällä merkittäviä määriä poikkeavia työturvallisuustoimenpiteitä verrattuna tavanomaiseen kaatopaikkarakentamiseen.

7. CASE: KIIMASSUON JÄTTEENKÄSITTELY-LAITOS

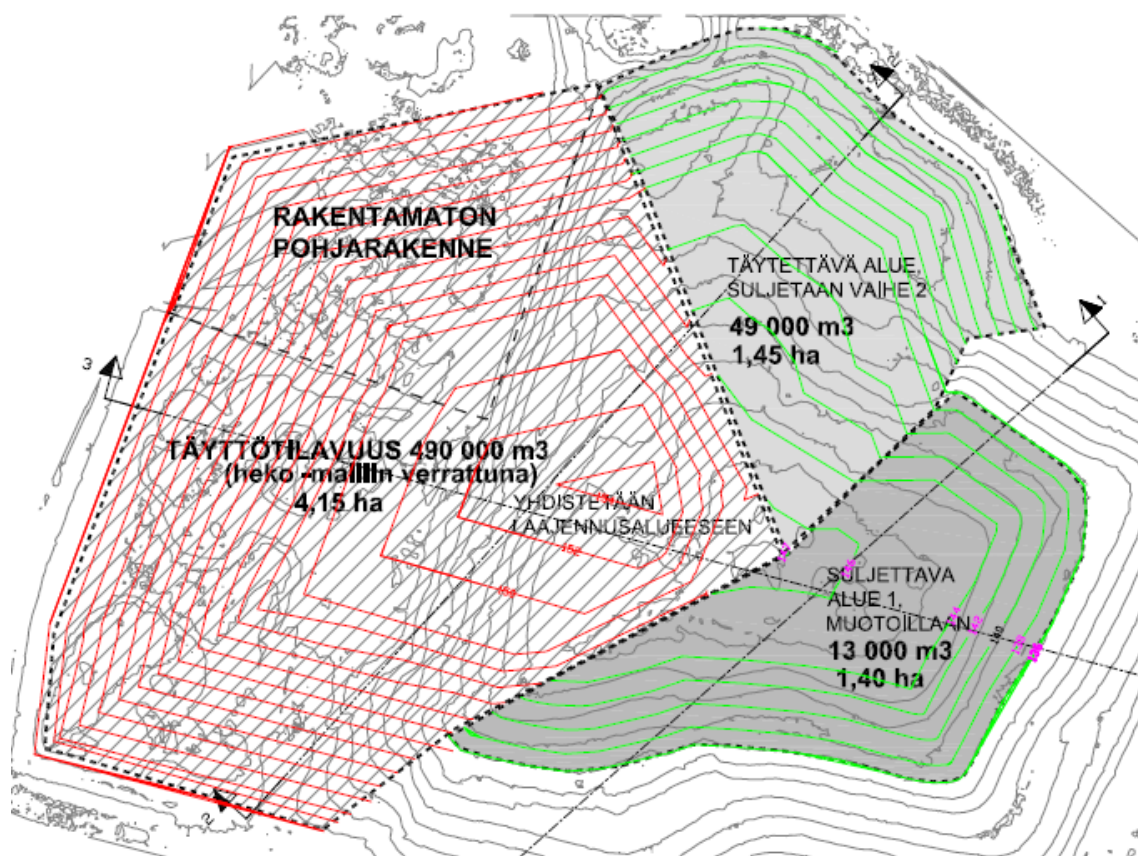
7.1 Alueella toteutetut kaatopaikan pintarakenteet

Kiimassuon jätekeskuksen tavanomaisen jätteenkaatopaikalla käytetään suljettavalla kaatopaikan osalla pintarakenteen esipeittokerrokseen ja pinnan muotoiluun enimmäkseen rakennus- ja purkujätteiden seula-alitteita eli rejektejä. Esipeittokerrokseen ja muotoiluun tarvitaan massoja yhteensä noin 13 000 m³. Esipeittokerros muotoillaan vuonna 2019 roudan sulamisen jälkeen. Vuoden 2019 tai 2020 aikana rakennetaan loput kaatopaikan pintarakenteet.



Kuva 40. Rakennus- ja purkujätteen rejekteillä muotoiltu esipeittokerros, kuva Kiimassuon jätekeskukselta vuodelta 2018

Nyt suljettavan alueen laajuus on 1,40 hehtaaria (kuva 41). Suljettavalle kaatopaikan osalle on rakennettu kaasunkeräyskaivot ja niitä yhdistävät kaasunkeräyslinjastot. Tällä hetkellä kaasua ei muodostu sellaisia määriä, että niitä olisi kannattavaa ottaa talteen ja hyödyntää energiantuotannossa. Muodostuvat kaatopaikkakaasut kerätään yhteen ja poltetaan soihdussa. (Helkearo 2018)



Kuva 41. Loimi-Hämeen jätehuollon täyttöalue (Helkearo 2018)

Kiimassuon tavanomaisen jätteen kaatopaikalla on tehty vuonna 2009 KAAPINTA-tutkimushankkeeseen liittyen kaksi koerakennetta, jossa on tutkittu erilaisia pintarakennetarkaisuja. Koerakenteen pinta-ala oli noin 1 ha. Koerakenteet toteutettiin ilman kaasunke- räyskerrosta. Jätteiden esipeittoon käytettiin puhdasta moreenia. (ESAVI 2015, s. 74-75)

Koerakenteiden rakenteet olivat seuraavat (ESAVI 2015)

1. Koerakenne

- Envor Biotech Oy:n multaravinne, 200 mm
- Envor Biotech Oy:n komposti II, 300 mm
- ylijäämämaa-aines, 500 mm

2. Koerakenne

- Envor Biotech Oy:n multaravinne, 200 mm
- Loimi-Hämeen Jätehuolto Oy:n kompostoitu REF-alite, 300 mm
- ylijäämämaa-aines, 500 mm
- suodatinkangas
- kuivatuskerros: betonimurske, 300 mm ($k > 5 \cdot 10^{-3}$ m/s)
- suodatinkangas

- tiivistyskerros: Loparex Oy:n kuitusavi, 550 mm ($k < 10^{-8}$ m/s)
- tiivistetty ja muotoiltu jätetäyttö.

Koerakenteiden tarkoituksena oli saada tietoa materiaalien käyttökelpoisuudesta ja rakenteiden toimivuudesta. Rakenteiden toimivuutta tutkittiin muun muassa seuraamalla kaatopaikan vesitasetta siten, että kuivatuskerroksen materiaalin vedenjohtavuus on tavanomaista vaatimustasoa ($k > 1 \cdot 10^{-3}$ m/s) pienempi. Koerakenteiden riippumaton laadunvalvoja on todennut raportissaan 25.3.2010, että jälkitarkkailussa ei ole havaittu puutteita rakenteiden toiminnallisuudessa. (ESAVI 2015 s. 76)

Envor Biotech Oy on Kiimassuon jätekeskuksen alueella toimiva jätehuoltoalan yritys, joka valmistaa biojätteistä kaasua teollisuuteen sekä maatalouden lannoitteita ja maanparannustuotteita ja multatuotteita maanrakennukseen ja puutarhoihin. REF-alitteella tarkoitetaan kierrätyspolttoaineen (REF) valmistuksessa syntyvää hienojakoista polttoon kelpaamatonta rejektia. REF (*eng. recovered fuel*) valmistetaan tavanomaisesti ns. energiajakeesta.

7.2 Lupatilanne

Voimassa oleva ympäristölupa on vuodelta 2015. Ympäristöluvassa on määrätty, että esi-peittokerros on saatava valmiiksi yhden vuoden kuluessa jätteen loppusijoituksen päättymisestä. Tarkkaa määräaika kaatopaikan pintarakenteiden rakentamiselle ei ole ympäristöluvassa määrätty. Ympäristöluvassa säädetään tavanomaisen ja vakaan reagoimattoman vaarallisen jätteen kaatopaikan pintarakenteesta seuraavaa:

”Pintarakenteiden on oltava seuraavat:

- *pintakerros ≥ 1 metri*
- *kuivatuskerros $\geq 0,3-0,5$ metriä tai salaojamatto*
- *tiivistyskerros $\geq 0,5$ metriä tai ohennettu tiivistysrakenne*
- *tarvittaessa kaasunkeräyskerros $\geq 0,3$ metriä.”* (ESAVI 2015 s. 293)

”Kaasunkeräyskerrokseen on käytettävä teknisiltä ominaisuuksiltaan tarkoitukseen soveltuvaa maa-ainesta tai muuta materiaalia, jolla on hyvä kaasunjohtokyky.” (ESAVI 2015, s. 294). Ympäristöluvan mukaan kaatopaikan pitäjän tulee laatia kaasunkeräyskerroksen rakentamistarpeesta erillinen selvitys, mikäli haluaa osoittaa, että kaasunkeräyskerros ei ole tarpeellinen eikä sitä aiota toteuttaa. Selvitys on toimitettava Hämeen ELY-keskukselle sekä Forssan kaupungin ja Tammelan kunnan ympäristönsuojeluviranomaisille vähintään 6 kk ennen pintarakenteiden rakentamisen aloittamista. (ESAVI 2015 s. 294)

Voimassa olevan ympäristöluvan mukaan suljettavan tavanomaisen jätteen kaatopaikan pintarakenteen mineraalisen tiivistyskerroksen on oltava paksuudeltaan vähintään 0,5 m

ja vedenläpäisevyyden on oltava $k < 1 \cdot 10^{-8} \text{m/s}$. Jos halutaan tehdä ohennettu rakenne, sen tulee täyttää 0,5 metrin paksuista ja vedenläpäisevyyttä $k < 1 \cdot 10^{-8} \text{m/s}$ vastaava suojaustaso. Mineraalisen tiivistysrakenteen materiaalina ”saa käyttää tarkoitukseen soveltuvaa luonnon maa-ainesta tai muuta tarkoitukseen soveltuvaa mineraalista materiaalia. Materiaalin tasalaatuisuus on tarkastettava säännöllisesti rakentamisen aikana.” (ESAVI 2015 s. 294). Ennen rakentamisen aloittamista on osoitettava viranomaiselle mineraalisessa tiivistyskerroksessa käytettävän materiaalin tekninen toimivuus sekä ympäristökelpoisuus ja ominaisuuksien säilyminen pitkälläkin aikavälillä. (ESAVI 2015, s. 294-295)

Voimassa olevan ympäristöluvan mukaisesti kuivatuskerroksen vedenläpäisevyyden on oltava $K \geq 1 \cdot 10^{-3} \text{m/s}$. ”Ohennetun kuivatusrakenteen vedenläpäisevyyden on täytettävä 0,5 metrin paksuista kerrosta ja vedenläpäisevyyttä $K \geq 1 \cdot 10^{-3} \text{m/s}$ vastaava taso.” (ESAVI 2015, s. 295). Jos kuivatuskerroksessa käytetään jätemateriaaleja, on luiskan alareunan rakenne toteutettava siten, että mahdollinen vesien laadun tarkkailu on mahdollista. Jos kuivatusrakenteena käytetään salaojamattoa, sen on oltava vaakatasossa kahteen suuntaan vettä johtava ja salaojamatton molemmilla puolilla on oltava suodatin kangas. Kuivatuskerrokseen valittu materiaali tulee hyväksyttävä viranomaisilla ennen rakennustöiden aloittamista. Hyväksyttämisen yhteydessä viranomaisille on esitettävä yksityiskohtaiset suunnitelmat vesien johtamisesta kuivatuskerroksesta sekä selvitys kuivatuskerroksen pitkäaikaiskestävyydestä. Hyväksyttämisen yhteydessä tulee esittää mitoitussuunnitelmat. (ESAVI 2015 s. 295)

Kaatopaikan pintarakenteissa voidaan hyödyntää ympäristölupahakemuksessa esitettyjä tavanomaiseksi luokiteltuja jätteitä. Rakennussuunnitelmat tulee toimittaa ennen materiaalien käyttämistä rakenteisiin Hämeen ELY-keskukselle hyväksyttäväksi ja Forssan kaupungin ja Tammelan kunnan ympäristöviranomaisille tiedoksi viimeistään kolme kuukautta ennen pintarakenteen rakentamisen aloittamista. (ESAVI 2015 s. 296)

Voimassa oleva ympäristölupa edellyttää, että pintarakenteiden valmistuttua suljettu kaatopaikka-alue on maisemoitava ja nurmetettava. Kaatopaikka-alueelle ei saa rakentaa rakenteita, jotka voivat vaurioittaa kaatopaikan pintarakenteita. (ESAVI 2015, s. 296)

7.3 Materiaalien saatavuus ja käsittelyn tarve

Kaatopaikan pintarakenteissa tarvitaan paljon massoja ja materiaaleista riippuen niiden saatavuus saattaa olla rajallinen. Esimerkiksi teollisuuden sivutuotteita syntyy vuosittain vain rajallinen määrä. Jos rakenteeseen jalostetaan kaatopaikalle tuotavista massoista ja jätteistä pintarakenteessa hyödynnettäviä materiaaleja, saatetaan materiaaleja joutua keräämään, läjittämään ja varastoimaan useita vuosia, jopa kymmeniä vuosia.

Koska materiaalien kuljettaminen maksaa, tulisi tarvittavat materiaalit löytyä mahdollisimman läheltä työkohdetta, kuten missä tahansa muussa maarakennusprojektissa. Kaatopaikan pintarakenteisiin soveltuvia materiaaleja kannattaa ensin yrittää etsiä kaatopaikalle tuotavista jätteeksi luokitelluista materiaaleista, joista vastaanottaja saa korvauksen.

Toiminnassa olevan kaatopaikan lopullisen jätetäytön pinnan muotoiluun ja esipeittokerrokseen kannattaa valita sellaisia jätemateriaaleja, joita kaatopaikalle tuodaan käsiteltäväksi. Käytettävästä materiaalista ja aikataulusta riippuen esipeittokerroksen rakentaminen ei välttämättä edellytä materiaalin välivarastointia. Jos aikataulu ei ole tiukka eikä materiaalia tarvitse käsitellä tai jalostaa rakenteeseen soveltuvaksi, materiaali voidaan vastaanottaa suoraan rakenteeseen, kun jätetäyttö on saavuttanut tavoitekorkeuden. Tällöin vältytään materiaalin turhalta läjittämiseltä ja siirtämiseltä.

Suomen Erityisjäte Oy vastaanottaa vuosittain noin 200 000 tonnia pilaantuneita maa-aineksia ja vaarallisiksi luokiteltuja jätteitä käsiteltäväksi (Suomen Erityisjäte Oy 2018b). Materiaalin käsittelyn tavoitteena on haitta-ainepitoisuuden laskeminen riskien pienentämiseksi ja teknisten ominaisuuksien parantamiseksi, jotta käsiteltävät massat soveltuisivat käytettäväksi esimerkiksi kaatopaikan rakenteissa.

Esipeittokerrokseen on ominaisuuksien puolesta mahdollista käyttää monipuolisesti useampia kaatopaikalle vastaanotettavia jätemateriaaleja suoraan sellaisenaan. Esipeittokerrokseen soveltuvat käytettäväksi esimerkiksi kaatopaikkakelpoiset ja teknisiltä ominaisuuksiltaan kelpoiset pilaantuneet maat sekä rakennus- ja purkujätteiden rejektit. Esipeittokerrokseen kaatopaikan pitäjän kannattaakin valita materiaali, joista saadaan suurin mahdollinen korvaus ja jolle ei ole muuta järkevää käyttökohdetta.

Vaikka kaasunkeräyskerrosta ei Kiimassuolla välttämättä ympäristöluvan mukaan vaadita, kannattaa se silti rakentaa, koska kaasunkeräyskerrokseen on mahdollista löytää materiaaleja, joista vastaanottaja saa korvauksen. Kaasunkeräyskerros muodostaa myös kantavan asennusalueen mineraalisen tiivistyskerroksen rakentamiselle. Rakentamalla kaasunkeräyskerros varmistetaan siitä, että mineraaliseen tiivistysrakenteeseen kohdistuva kaasunpaine pysyy alhaisena koko kaatopaikan pintarakenteen elinkaaren ajan. Kaasunkeräyskerrokseen kannattaa käyttää mahdollisimman kantavia ja hyvin kaasuja johtavia materiaaleja. Kaasunkeräyskerrokseen mahdollisia materiaaleja ovat esimerkiksi karkearakeiset kaatopaikkakelpoiset pilaantuneet maat, betoni- ja tiilimurske sekä jätteen polton kuonan karkeat fraktiot.

Mineraalisessa tiivistyskerroksessa on mahdollista käyttää pysyviksi jätteiksi luokiteltuja jätemateriaaleja ja pilaantuneita tai haitta-ainepitoisia maita. Käytetyistä massoista ei saa liueta ympäristölle haitallisia aineita. Riskiarvioinnin perusteella ympäristöviranomainen voi tapauskohtaisesti sallia korkeampiakin haitta-ainepitoisuuksia sisältävien pilaantuneiden maiden hyödyntämisen mineraalisessa tiivistyskerroksessa. Olennainen ominaisuus on pieni vedenjohtavuus. Käytettävien massojen vedenjohtavuuden tulee olla riittävän

pieni, jotta saavutettava rakenteen vedenläpäisevyys on pienempi kuin ympäristöluvassa säädetty. Käytettyjen pilaantuneiden maiden tulisi olla myös mahdollisimman homogeenisia, jotta säästetään laadunvalvontakokeissa. Esimerkiksi jos käytetään useista eri kunnostuskohteista peräisin olevia pilaantuneita maita, joiden laatu vaihtelee, laadunvalvontakokeita saatetaan joutua tekemään jokaisesta rakenteeseen käytetystä kuormasta, jolloin taloudellinen hyöty menetetään. Pilaantuneita maita voidaan käyttää myös maabentoniitin valmistukseen, kunhan ne ovat rakeisuudeltaan teknisesti kelpoisia sekä kemiallisesti yhteensopivia käytettävän bentoniitin kanssa.

Kiimassuon jätteenkäsittelylaitoksen lähialueilla on saatavilla maabentoniitin valmistukseen soveltuvaa moreenia. Moreenin seulominen rakeisuudeltaan runkoaineeksi soveltuvaksi maksaa noin 1,75 €/t. Moreenia ei ole saatavilla varsinaisilta rakennustyömailta, joten moreenin paljastaminen luonnosta, kaivu ja kuljetus aiheuttavat kustannuksia. Moreenista ei välttämättä kuitenkaan tarvitse maksaa mitään. (Tuomola 2019) Moreenin kaivu ja lastaus maksaa noin 4,00 €/m³ ktr eli noin 2,00 €/t. Moreenin kuljetus 8 kilometrin etäisyydeltä Kiimassuon jätekeskuksen alueelle maksaa noin 3,00 €/t. Maabentoniitin valmistuksessa käytettävän runkoaineen kokonaishinnaksi toimitettuna Kiimassuon jätekeskuksen alueelle muodostuu siten noin 6,75 €/t. Moreenin ottoalueen maisemointi tulee huomioida myös kustannuksissa. Moreenin rakeisuus vaikuttaa tarvittavaan bentoniitin määrään ja siten kustannuksiin. Sekoitusaseman tuominen ja pystyttäminen on suurin yksittäinen kustannuserä maabentoniitin valmistuksessa.

Kiimassuon jätekeskuksen lähialueilla saattaa esiintyä mineraaliseen tiivistyskerrokseen soveltuvia savia. Massojen tarve on kuitenkin suuri ja käytettävän saven tulee olla mahdollisimman tasalaatuista, joten laajojen ennakkokokeiden teettäminen ennen rakenteeseen käyttämistä on tarpeen. Rakenteeseen tarvittavan saven hankinta on pitkä prosessi. (Tuomola 2019) Ylijäämänsaven vastaanottamisesta kaatopaikan pitäjän on mahdollista saada korvaus.

Bentoniittimatto on rakennettavuuden puolesta erinomainen vaihtoehto mineraalisen tiivistyskerroksen materiaaliksi. Muiden materiaalien kemiallinen yhteensopivuus bentoniitin kanssa tulee huomioida suunniteltaessa materiaalivalintoja rakenteisiin. Bentoniittimaton asennusalustan tulee olla tasainen eikä se saa olla rakeisuudeltaan liian karkeaa. Asennusalustan materiaali voidaan seuloa kaatopaikalle tuotavista ylijäämämaista tai pilaantuneista maista. Pilaantuneiden maa-ainesten on oltava kaatopaikkakelpoisia sekä kemiallisesti yhteensopivia bentoniitin kanssa.

Jos kuivatuskerros rakennetaan salaojamatoista, erillistä suojakerrosta bentoniittimaton ja salaojamaton väliin ei tarvita. Kuivatuskerroksessa on mahdollista käyttää rengasleikettä, kunhan rakennetaan riittävän paksu suojaava kerros, jos mineraalisessa tiivistyskerroksessa käytetään bentoniittimattoa.

Pintakerroksessa voidaan käyttää esimerkiksi ylijäämämaita, pysyväksi luokiteltuja jätemateriaaleja tai ympäristöviranomaisen hyväksynnällä *haitta-ainepitoisia maita* eli pilaantuneita maita, joiden haitta-ainepitoisuudet ylittävät *VNA 221/2007* esitetyt kynnysarvot, mutta alittavat alemmat ohjearvot. Kasvukerroksessa kannattaa käyttää biojätteistä tai biolietteistä kompostoituja tuotteita tai humuspitoisia ylijäämämaita.

8. YHTEENVETO

Kaatopaikka suljetaan *VNA 331/2013* mukaisella pintarakenteella. Kaatopaikan pintarakenteiden suunnitteluun vaikuttavat lainsäädännön asettamat vaatimukset, pintarakenteisiin kohdistuvat kuormitukset, jätetäytön laatu ja muoto sekä jälkikäytön asettamat vaatimukset. Voimassa oleva ympäristölupa määrittelee ehdot, joista ei voida poiketa. Kaatopaikan pitäjän on mahdollista hakea ympäristölupa viranomaisilta muutoksia.

Kaatopaikan pintarakenteen tehtävänä on estää sade- ja pintavesien imeytyminen jätetäyttöön sekä tehostaa muodostuvien kaatopaikkakaasujen keräystä. Tavanomaisen jätteen kaatopaikan pintarakenne koostuu alhaalta ylöspäin lueteltuna seuraavista rakennekerroksista: esipeittokerros, kaasunkeräyskerros, mineraalinen tiivistyskerros, kuivatuskerros ja pintakerros.

Kaatopaikan pintarakenteisiin on mahdollista käyttää useita eri materiaaleja. Käytetyillä materiaaleilla on merkittävä vaikutus pintarakenteen kokonaiskustannusten muodostumiseen. Materiaalin hankintahinnan lisäksi kustannuksia aiheutuu materiaalin jalostamisesta, kelpoisuuden osoittamisesta ja laadunvarmistuksesta sekä hyväksyttämisestä ja kuljetuksista. Valittu materiaali vaikuttaa suoraan myös rakentamisen aiheuttamiin kustannuksiin.

Esipeittokerroksen tehtävänä on suojata jätetäyttöä eroosiolta ja estää haittaeläimien pääsy jätetäyttöön. Esipeittokerros toimii myös rakennusalustana ylemmille kerroksille. Esipeittokerroksessa kannattaa käyttää teknisesti soveltuvia ja kaatopaikkakelpoisia materiaaleja, joista vastaanottaja saa mahdollisimman suuren korvauksen. Diplomityön yhteydessä tehdyn kyselytutkimuksen perusteella jätehuoltoyhtiöt käyttivät tai olivat käyttäneet esipeittokerroksessa ylijäämämaita, pilaantuneita maa-aineksia, jätteenpolton kuonia, tuhkia ja rakennus- ja purkujätteen rejektejä.

Kaasunkeräyskerroksen tehtävänä on kerätä kaatopaikkakaasut ja johtaa ne edelleen jatkokäsittelyä varten. Kaasunkeräyskerros toimii asennusalustana mineraalisen tiivistyskerroksen rakentamiselle. Loimi-Hämeen Jätehuolto Oy:n voimassa olevassa ympäristöluvassa ei edellytetä kaasunkeräyskerrosta, mikäli se voidaan osoittaa tarpeettomaksi. Kaasunkeräyskerros kannattaa kuitenkin rakentaa, sillä siihen on mahdollista löytää materiaaleja, joista vastaanottaja saa korvauksen. Rakentamalla kaasunkeräyskerros varmistetaan myös pintarakenteen toimivuutta koko sen elinkaaren aikana. Kaasujen tehokkaalla talteen keräämisellä varmistetaan, että mineraaliseen tiivistyskerrokseen ei aiheudu kaasun aiheuttamaa painetta, jolloin mineraalisen tiivistyskerroksen korjauksen tarve vähenee. Kyselyyn vastanneista jätehuoltoyhtiöistä viisi seitsemästä kertoi hyödyntäneensä tai aikovan hyödyntää jätteenpolton kuonia jalostettuina kaasunkeräyskerroksessa. Muita

kaasunkeräyskerroksessa hyödynnettyjä materiaaleja olivat pilaantuneet maat sekä niiden seulaylitteet, betonimurske ja tiilimurske.

Mineraalisen tiivistysrakenteen tehtävänä on estää pinta- ja sadevesien suotautuminen jätetäyttöön sekä tehostaa kaatopaikkakaasujen keräystä ja estää niiden pääsy ilmakehään. Kyselyyn vastanneet jätehuoltoyhtiöiden edustajat kertoivat käyttäneensä tai aikovansa käyttää mineraalisessa tiivistyskerroksessa bentoniittimattoa tai kuitusavea. Kaikki kyselyyn vastanneet jätehuoltoyhtiöt kertoivat käyttäneensä tai aikovansa käyttää bentoniittimattoa kaatopaikan pintarakenteen mineraalisessa tiivistyskerroksessa. Bentoniittimaton käyttäminen mineraalisessa tiivistyskerroksessa asettaa vaatimuksia ylä- ja alapuolisten materiaalien rakeisuuksille. Muiden rakennekerrosten materiaalien kemiallinen yhteensopivuus bentoniittimaton kanssa tulee selvittää myös ennen materiaalivalintoja. Bentoniittimatto on helppo ja nopea asentaa, joten rakennuskustannukset ovat pienempiä kuin muilla materiaaleilla. Bentoniittimaton ja valmiin rakenteen laadunvarmistus on vaivatonta, sillä bentoniittimatot valmistetaan valvotuissa olosuhteissa tehtaissa.

Kuitusavea kertoi hyödyntäneensä tai aikovansa hyödyntää neljä seitsemästä kyselyyn vastanneista jätehuoltoyhtiöistä. Kuitusaven käsittely ja laadunvarmistus on huomattavasti hankalampaa kuin bentoniittimattojen. Kuitusaven korkea vesipitoisuus ja laatu vaihtelut vaikeuttavat tiivistystyötä. Kuitusaven käyttöä kaatopaikan mineraalisessa tiivistysrakenteessa saattaa rajoittaa 1.1.2016 voimaan astunut orgaanisen jätteen kaatopaikkakielto, joka ei koske siistausjätettä (VNa 331/2013 28 §, 53 §).

Mineraalisessa tiivistyskerroksessa on mahdollista käyttää myös savea tai maabentoniittia. Haasteena näiden materiaalien käyttämiselle on niiden saatavuus ja tasalaatuisuus. Maabentoniittia ei ole halkeiluriskin takia suositeltavaa käyttää kaatopaikan pintarakenteessa, mikäli on odotettavissa suuria epätasaisia painumia. Maabentoniittia ja savea ei ollut käyttänyt pinnan tiivistyskerroksena yksikään kyselyyn vastanneista jätehuoltoyhtiöiden edustajista.

Kuivatuskerroksen tehtävänä on alentaa tiivistysrakenteeseen kohdistuvaa hydraulista gradienttia ja johtaa kerrokseen suotautuva vesi pois. Kyselyyn vastanneet jätehuoltoyhtiöiden edustajat kertoivat käyttäneensä kuivatuskerroksessa salaojamattoa, rengasleikettä, betonimursketta tai ylijäämämaita. Kuivatuskerrokseen voi löytyä teknisesti soveltuvia jätejakeita, joista kuitenkin voi liueta etenkin alkuaikoina haitallisia aineita, mikä voi edellyttää vesien laadun tarkistamista ja käsittelyä. Salaojamatto on järkevä vaihtoehto kaatopaikan pintarakenteen kuivatuskerrokseen etenkin, jos mineraalisessa tiivistyskerroksessa käytetään bentoniittimattoa.

Pintakerroksen tehtävänä on suojata mineraalista tiivistyskerrosta routimiselta ja kuivumiselta sekä vähentää veden suotautumista alempiin kerroksiin. Pintakerroksen alaosassa jätehuoltoyhtiöiden edustajat kertoivat käyttävänsä pääosin ylijäämämaita. Ylijäämämaita-

den saatavuus on hyvä alueilla, jossa rakennetaan. Pintakerroksessa on mahdollista hyödyntää pysyviä jätemateriaaleja tai ympäristöluvan niin salliessa haitta-ainepitoisia maita eli pilaantuneita maita, joiden haitta-ainepitoisuudet ylittävät PIMA-asetuksessa (*VNA 221/2007*) esitetyt kynnsarvot, mutta alittavat alemmat ohjearvot.

Kasvukerros on osa pintakerrosta. Sen tehtävänä on toimia kasvualustana kasvillisuudelle. Kyselyyn vastanneista jätehuolto-yhtiöistä 4/7 kertoi käyttävänsä tai aikovan käyttää kasvukerroksessa jätevesilietteistä tai biojätteistä valmistettuja kompostiseoksia. Kasvukerroksessa käytettävään kompostiin voidaan tarvittaessa sekoittaa lannoitteeksi tuhkia.

Kaatopaikan pintarakenteen rakennuskustannus koostuu suunnittelusta, materiaaleista, rakentamisesta ja pintarakenteen elinkaaren aikaisista huolto- ja korjaustoimenpiteistä sekä tarkkailusta. Materiaalikustannus on iso osa kaatopaikan pintarakenteiden rakennuskustannuksista. Materiaalikustannus koostuu materiaalien hankinnasta ja jalostamisesta, kelpoisuuden osoittamisesta ja laadunvarmistuksesta, hyväksyttämisestä ja kuljetuksista. Kaatopaikan pitäjän kannattaa käyttää pintarakenteen rakennekerroksessa materiaaleja, joita hyödyntämällä saadaan suurin mahdollinen taloudellinen hyöty. Rakenteisiin käytettävien massojen hankinta on pitkäaikainen prosessi. Suunnitelmallisella massojen hallinnalla ja rakentamisen ajoittamisella voidaan vaikuttaa merkittävästi koko kaatopaikka-toiminnassa aiheutuviin kustannuksiin. Jos kaatopaikalle käsiteltäväksi tuotavia massoja voidaan hyödyntää kaatopaikan rakenteissa sellaisenaan, puhdistettuina tai jalostettuina, säästetään primäärisiä luonnonvaroja ja kustannuksia säästyy materiaalien hankinnassa ja käsittelyssä sekä jäteveron maksamisessa.

STANDARDIT

ASTM C136. (2014). Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.

ASTM D1434. (2015). Standard Test Method for Determining Gas Permeability Characteristics of Plastic Film and Sheeting

ASTM D3080. (2011). Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions.

ASTM D4253. (2016). Standard Test Methods for Maximum Index Density and Unit Weight Soils Using a Vibratory Table.

ASTM D5084. (2016). Standard Test Methods for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter.

ASTM D5641. (2016). Standard Practice for Geomembrane Seam Evaluation by Vacuum Chamber.

ASTM D5820. (2018). Standard Practice for Pressurized Air Channel Evaluation of Dual-Seamed Geomembranes.

ASTM D5890. (2018). Standard Test Method Swell Index of Clay Mineral Component of Geosynthetic Clay Liners.

ASTM D5891. (2016). Standard Test Method for Fluid Loss of Clay Component of Geosynthetic Clay Liners.

ASTM D6365. (2018). Standard Practice for Nondestructive Testing of Geomembrane Seams Using the Spark Test.

ASTM D6392. (2018). Standard Test Method for Determining the Integrity of Nonreinforced Geomembrane Seams Produced Using ThermoFusion Methods.

ASTM D696. (2016). Standard Test Method for Coefficient of Linear Thermal Expansion of Plastics Between -30°C and 30°C with a Vitreous Silica Dilatometer.

DIN 18129. (2011). Soil, investigation and testing – Determination of lime content.

DIN 18132. (2012). Soil, testing procedures and testing equipment – Determination of water absorption.

CEN/TS 14416. (2014). Geosynthetic barriers. Test method for determining the resistance to roots.

CEN/TS 14417. (2014). Geosynthetic barriers. Test method for the determination of the influence of wetting-drying cycles on the permeability of clay geosynthetic barriers.

CEN/TS 14418. (2014). Geosynthetic barriers. Test method for the determination of the influence of freezing-thawing cycles on the permeability of clay geosynthetic barriers.

CEN/TS 14429. (2015). Characterization of waste. Leaching behaviour test. Influence of pH on leaching with initial acid/base addition.

CEN/TS 15364. (2006). Characterization of waste. Leaching behaviour tests. Acid and base neutralization capacity test.

CEN ISO/TS 17891-11. (2004). Geotechnical investigation and testing. Laboratory testing of soil. Part 11: Determination of permeability by constant and falling head.

CEN ISO/TS 17892-12. (2004). Geotechnical investigation and testing. Laboratory testing of soil. Part 12: Determination of Atterberg limits.

EN ISO 9864. (2005). Geosynthetics. Test method for the determination of mass per unit area of geotextiles and geotextile-related products.

ISO 34-1. (2015). Rubber, vulcanized or thermoplastic. Determination of tear strength. Part 1: Trouser, angle and crescent test pieces.

ISO 11260. (2018). Soil quality. Determination of effective cation exchange capacity and base saturation level using barium chloride solution.

SFS-EN 933-1. (2012) Kiviainesten geometristen ominaisuuksien testaus. Osa 1: Rakeisuuden määrittäminen. Seulontamenetelmä.

SFS-EN 1097-3. (1998). Kiviainesten mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien testaus. Osa 3: Irtotiheyden ja tyhjätilan määrittäminen.

SFS-EN 1097-10. (2014). Kiviainesten mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien testaus. Osa 10: Vedenimeytymiskorkeus.

SFS-EN 1109. (2013). Flexible sheets for waterproofing. Bitumen sheets for roof waterproofing. Determination of flexibility at low temperature.

SFS-EN 12224. (2001). Geotextiles and geotextile-related products. Determination of the resistance to weathering.

SFS-EN 12225. (2001). Geotextiles and geotextile-related products. Method for determining the microbiological resistance by a soil burial test.

SFS-EN 12457-1. (2002). Characterization of waste. Leaching. Compliance test for leaching of granular waste materials and sludges. Part 1: One stage batch test at a liquid to solid ratio of 2 l/kg for materials with high solid content and with particle size below 4 mm (without or with size reduction).

SFS-EN 12457-3. (2002). Jätteiden karakterisointi. Liukoisuus. Rakeisten jättemateriaalien ja lietteiden liukoisuuden laadunvalvontatesti. Osa 3: Kaksivaiheinen ravistelutesti uuttoliuoksen ja kiinteän jätteen suhteessa 2 l/kg ja 8 l/kg materiaaleille, joiden kiintoaineksen osuus on suuri ja raekoko alle 4 mm (raekoon pienentäminen tarvittaessa).

SFS-EN 12667. (2001). Thermal performance of building materials and products. Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods. Products of high and medium thermal resistance.

SFS-EN 13055. (2016). Lightweight aggregates.

SFS-EN 13137. (2001). Characterization of waste. Determination of total organic carbon (TOC) in waste, sludges and sediments.

SFS-EN 13252. (2016). Geotekstiilit ja vastaavat tuotteet. Kuivatusjärjestelmien rakentamisessa käytettäviltä geotekstiileiltä ja vastaavilta tuotteilta vaadittavat ominaisuudet.

SFS-EN 13257. (2016). Geotekstiilit ja vastaavat tuotteet. Kaatopaikkojen rakentamisessa käytettäviltä geotekstiileiltä ja vastaavilta tuotteilta vaadittavat ominaisuudet.

SFS-EN 13286-2. (2011). Unbound and hydraulically bound mixtures. Part 2: Test methods for laboratory reference density and water content. Proctor compaction.

SFS-EN 13493. (2018). Geosynthetic barriers. Characteristics required for use in the construction of solid waste storage and disposal sites.

SFS-EN 13656. (2003). Jätteiden karakterisointi. Mikroaltohajotus fluorivetyhapon, typpihapon ja kloorivetyhapon seoksella näytteen sisältämien metallien määrittystä varten.

SFS-EN 13657. (2003). Jätteiden karakterisointi. Hajotusmenetelmä kuningasveteen liukenevien yhdisteiden määrittystä varten.

SFS-EN 13719. (2016). Geosynthetics. Determination of the long term protection efficiency of geosynthetics in contact with geosynthetic barriers.

SFS-EN 14039. (2005). Jätteiden karakterisointi. Hiilivetyjen (C10-C40). pitoisuuden kaasukromatografinen määrittäminen.

SFS-EN 14196. (2006). Geosynthetic barriers. Determination of permeability to liquids.

SFS-EN 14150. (2006). Geosynthetic barriers. Determination of permeability to liquids.

SFS-EN 14405. (2017). Characterization of waste. Leaching behaviour test. Up-flow percolation test (under specified conditions).

SFS-EN 14414. (2004). Geosynthetics. Screening test method for determining chemical resistance for landfill applications.

SFS-EN 14415. (2004). Geosynthetic barriers. Test method for determining the resistance to leaching.

SFS-EN 14574. (2015). Geosynthetics. Determination of the pyramid puncture resistance of supported geosynthetics.

SFS-EN 14575. (2005). Geosynthetic barriers. Screening test method for determining the resistance to oxidation.

SFS-EN 14576. (2005). Geosynthetics. Test method for determining the resistance of polymeric geosynthetic barriers to environmental stress cracking.

SFS-EN 14899. (2006). Jätteiden karakterisointi. Jättemateriaalien näytteiden ottaminen. Näytteenottosuunnitelman laatiminen ja soveltaminen.

SFS-EN 14997. (2015). Characterization of waste. Leaching behaviour test. Influence of pH on leaching with continuous pH control.

SFS-EN 15169. (2007). Characterization of waste. Determination of loss on ignition in waste, sludge and sediments.

SFS-EN 15308. (2016). Characterization of waste. Determination of selected polychlorinated biphenyls (PCB) in solid waste by gas chromatography with electron capture or mass spectrometric detection.

SFS-EN 15527. (2008). Characterization of waste. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in waste using gas chromatography mass spectrometry (GC/MS).

SFS-EN 16192. (2012). Characterization of waste. Analysis of eluates.

SFS-EN 16416. (2013). Geosynthetic clay barriers. Determination of water flux index. Flexible wall permeameter method at constant head.

SFS-EN 1849-1. (1999). Flexible sheets for waterproofing. Determination of thickness and mass per unit area. Part 1: Bitumen sheets for roof waterproofing.

SFS-EN 1849-2. (2010). Flexible sheets for waterproofing. Determination of thickness and mass per unit area. Part 2: Plastic and rubber sheets.

SFS-EN 495-5. (2013). Flexible sheets for waterproofing. Determination of foldability at low temperature. Part 5: Plastic and rubber sheets for roof waterproofing.

SFS-EN 527-3. (2018). Plastics. Determination of tensile properties. Part 3: Test conditions for films and sheets.

SFS-EN ISO 10319. (2015). Geosynthetics. Wide-width tensile test.

SFS-EN ISO 10320. (2002). Geotekstiilit ja vastaavat tuotteet. Tunnistaminen työmaalla.

SFS-EN ISO 10321. (2008). Geosynthetics. Tensile test for joints/seams by wide-width strip method.

SFS-EN ISO 10722. (2007). Geosynthetics. Index test procedure for the evaluation of mechanical damage under repeated loading. Damage caused by granular material.

SFS-EN ISO 10773. (2011). Clay geosynthetic barriers. Determination of permeability to gases.

SFS-EN ISO 11058. (2010). Geotextiles and geotextile-related products. Determination of water permeability characteristics normal to the plane, without load.

SFS-EN ISO 12236. (2006). Geosynthetics. Static puncture test (CBR test).

SFS-EN ISO 12310-1. (2002). Flexible sheets for waterproofing. Part 1: Bitumen sheets for waterproofing. Determination of resistance to tearing (nail shank).

SFS-EN ISO 12311-2. (2013). Flexible sheets for waterproofing. Determination of tensile properties. Part 2: Plastic and rubber sheets for roof waterproofing.

SFS-EN ISO 12956. (1999). Wallcoverings in roll form. Determination of dimensions, straightness, spongeability and washability

SFS-EN ISO 12957-1. (2019). Geosynthetics. Determination of friction characteristics. Part 1: Direct shear test.

SFS EN ISO 12957-2. (2005). Geosynthetics. Determination of friction characteristics. Part 2: Inclined plane test.

SFS-EN ISO 13433. (2006). Geosynthetics. Dynamic perforation test (cone drop test).

SFS-EN ISO 14151. (2010). Geosynthetics. Determination of burst strength.

SFS-EN ISO 17892-1 (2015). Geotechnical investigation and testing. Laboratory testing of soil. Part 1: Determination of water content.

SFS-EN ISO 17892-4. (2016). Geotechnical investigation and testing. Laboratory testing of soil. Part 4: Determination of particle size distribution.

SFS-EN ISO 17892-6. (2017). Geotechnical investigation and testing. Laboratory testing of soil. Part 6: Fall cone test.

SFS-EN ISO 9863-1. (2016). Geosynthetics. Determination of thickness at specified pressures. Part 1: Single layers.

LÄHTEET

- Aurinko H. (2012a) Ohje rengasrouheen käyttämisestä ja mitoittamisesta kaatopaikkarakenteissa. Laatuinsinöörit Oy. Saatavissa: https://www.rengaskierratys.com/files/60/Ohje_rengasrouheen_kayttamisesta_kaatopaikkarakenteissa_01102012.pdf
- Aurinko H. (2012b). Selvitys rengasrouheen käyttömahdollisuuksista rata- ja tierakenteissa. Liikennevirasto. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 42/2012. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lts_2012-42_selvitys_rengasrouheen_web.pdf
- Canziani, R. & Cossu, R. (1989). Landfill hydrology and leachate production.
- Dettenborn. T. (2013). Betonimurskerakenteiden pitkäaikaistoimivuus. Diplomityö. Aalto yliopisto. Saatavissa: <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/30175>
- ESAVI. Etelä-Suomen aluehallintovirasto. (2011). Ympäristölupapäätös. Dnro ESAVI/520/04.08/2010.
- ESAVI. Etelä-Suomen aluehallintovirasto. (2015). Ympäristölupapäätös. Dnro ESAVI/92/04.08.2011.
- Finncao Oy. (2001). Finncao-kuitusavet pintarakenteiden tiivistekerroksissa. Suunnittelu- ja mitoitusohje. Saatavissa: <https://www.metsatissue.com/en/AboutUs/Operations-in-Finland/Suomi/tuotannon-sivutuotteet/Documents/Suunnittelu-%20ja%20mitoitus-ohje%20pintarakenteiden%20tiiviskerrokset.pdf>
- Foamit. (2012). Foamit Vaahtolasi, Suunnittelu ja rakennusohje. Saatavissa: www.foamit.fi/wp-content/uploads/2016/10/Suunnittelu-ja_Rakennusohje.pdf
- Geosynt Oy. Yrityksen kotisivut. Viitattu: 29.4.2019. Saatavissa: <https://www.geosynt.fi/>
- Hallintolaki (434/2003). Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2003/20030434>
- Helkearo M. (2018). Henkilökohtainen tiedonanto. 8.2.2018.
- HSY. (2014). Betonimurske Käyttöohje suunnitteluun, rakentamiseen ja ylläpitoon. HSY:n vesihuolto. Saatavissa: http://www.uusiomaarakentaminen.fi/sites/default/files/2014--HSY_Betonimurskeohje.pdf
- InfraRYL. (2018). Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Maa-, pohja- ja kalliorakenteet. 14250 Maaperän eristerakenteet
- Infra 062-710191. (2018). Tuhkien käyttö maarakentamisessa. Metsä- ja energiateollisuuden tuhkamateriaalit. Ohjekortti. Rakennustieto. 21 s.

Infra 15-710194. (2018). Kaatopaikkarakenteet. Ohjekortti. Rakennustieto. 19 s.

Jätelaki (646/2011). Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20110646>

Jäteverolaki (1126/2010). Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2010/20101126>

Kaartinen T., Laine-Ylijoki J. & Wahlström M. (2007). Jätteen termisen käsittelyn tuhkien ja kuonien käsittely- ja sijoitusmahdollisuudet. VTT tiedotteita 2411. Helsinki. ISBN 978-951-38-6966-3. Saatavissa: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2007/T2411.pdf>

Kaartinen T., Laine-Ylijoki J., Koivuhuhta A., Korhonen T., Luukkanen S., Mörsky P., Neitola R., Punkkinen H & Wahlström M. (2010). Pohjakuonan jalostus uusiomateriaaliksi. VTT Tiedotteita 2567. ISBN 978-951-38-7679-1. Saatavissa: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2010/T2567.pdf>

Kaikkonen S. (2019). Haastattelu. 6.3.2019.

Kuntatekniikkalehti (2014). Suljetut kaatopaikat versovat uutta elämää. Viitattu 23.12.2018. Saatavissa: <https://kuntatekniikka.fi/2014/06/02/suljetut-kaatopaikat-versovat-uutta-elamaa/>

Kuusela-Lahtinen A., Tarvainen T., Backman B., Hänninen P., Reinikainen J. & Niskala K. (2012). Metalleilla pilaantuneiden maa-ainesten liukoisuusselvitykset. Tutkimusraportti VTT-R-06935-12. Espoo. Saatavissa: <https://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2012/VTT-R-06935-12.pdf>

Lahti T. (2017). Talonrakentamisen työtaturmien kustannukset. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto.

Laine-Ylijoki J., Castell-Rüdenhausen M., Kaartinen T., Kärki J., Pellikka T., Punkkinen H., Saastamoinen H., Wahlström M. & Pohjakallio M. (2018). Selvitys eräiden jätteiden ja rejektien käsittelykapasiteetin sekä muutaman jäteperäisen materiaalin markkinan tilanteesta Suomessa. Ympäristöministeriön raportteja 21/2018. Ympäristöministeriö Helsinki. ISBN 978-952-11-4812-5. Saatavissa: <http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161095>

Laitinen S., Rissanen R. & Santonen T. (2017). Kiertotalouden työperäiset altistumisriskit. Työterveyslaitos Helsinki. ISBN 978-952-261-770-5. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN 978-952-261-770-5> (PDF)

Leppänen M. (2018). Henkilökohtainen tiedonanto, keskustelu. 12.12.2018.

Loimi-Hämeen Jätehuolto Oy (2017). Vuosikertomus. Saatavissa: <http://www.lhj.fi/client/lhj/userfiles/lhj-vuosiraportti-2017-v4.pdf>

Loimi-Hämeen Jätehuolto Oy (2018). Hinnasto. Viitattu 16.12.2018. Saatavissa: <http://www.lhj.fi/client/lhj/userfiles/jatetaksa-2018.pdf>.

Meltex Oy Plastics. Yrityksen kotisivut. Viitattu 7.2.2019. Saatavissa: <http://www.meltex.fi/tuotteet/infra-maa-ja-vesirakentaminen/suodatinkankaat-geotekstiilit/salaojajamatto.html>

Mroueh, U-M., Vahanne, P., Eskola, P., Pasanen, A. Wahlström, M., Mäkelä, E. & Laaksonen, R. (2004). Pilaantuneiden maiden kunnostushankkeiden hallinta. VTT Tiedotteita 2245. ISBN 951-38-6468-5. Saatavissa: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2004/t2245.pdf>

Mäkelä H. ja Höynälä H. (2000). Sivutuotteet ja uusiomateriaalit maarakentamisessa, materiaalit ja käyttökohteet. Teknologia katsaus 91/2000. Helsinki.

Ojala E. (2010). Selvitys puu- ja turvetuhkan lannoite- sekä muusta hyötykäytöstä. Saatavissa: https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/pictures/selvitys_puu-ja_turvetuhkan_lannoite_seka_muusta_hyotykyaytosta_energiateollisuus_2010.pdf

Oy ViaCon Ab. Internetsivut. Viitattu 14.6.2018. Saatavissa: <https://www.viacon.fi/tuote/bentoniittimatto/>

Oy ViaCon Ab. (2016). Bentofix NSP asennusohje. Saatavissa: http://www.viacon.fi/wp-content/uploads/2016/01/Bentofix-NSP-asennusohje_itsesaumautuva_2016.pdf

O'Brien P. L., DeSutter T. M., Casey F.X.M., Khan E., Wick. A.F. (2018) Thermal remediation alters soil properties – a review. *Journal of Environmental Management*. Volume 206, January 2018, pp. 826-835

Podgorney R.K. & Bennet J.E. (2006). Evaluating the Long-Term Performance of Geosynthetic Clay Liners Exposed to Freeze-Thaw. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 132, Issue 2 (February 2006)

Pöyry. (2007a). Laanilan Voima Oy, Stora Enso Oyj ja Oulun Energia. Voimalaitostuhkien Loppusijoittaminen. YVA-selostus. Pöyry Environment Oy. 20.3.2007 saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BF01717BF-8BCC-4C15-B4AA-73BDC5D10D78%7D/94160>

Pöyry. (2007b). Lietteenkäsittelyn nykytila Suomessa ja käsittelymenetelmien kilpailukyky -selvitys. ISBN 978-951-563-597-6. Saatavissa: <https://media.sitra.fi/2017/02/27172733/LietteenkC3A4sittely-2.pdf>

RIL 261-2013. (2013). Routasuojaus – rakennukset ja infrarakenteet. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry. 257 s. ISBN 978-951-758-547-7.

RT 16-10660. (1998). Rakennusurakan yleiset sopimusehdot YSE 1998. Rakennustietosäätiö.

RT 38715. (2015) Finncao-kuitusavi. Metsä Tissue Oyj. RT tuotetieto. Rakennustietosäätiö. 2 s. Saatavissa: https://www.rttuotetieto.fi/pub/media/resources/37749_RT-tuotekortti_38715.pdf

Rudus Oy (2017). Betoroc® -murskeohje. Käyttöohje rakentamiseen ja suunnitteluun. Saatavissa: <https://www.rudus.fi/Download/24032/Betoroc-murske%20ohje.pdf>Scheirs J. (2009). Guide to Polymeric Geomembranes: A Practical Approach.

Sormunen L. A., Kolisoja P. (2017). Construction of an interim storage field using recovered municipal solid waste incineration bottom ash: field performance study. Waste Management, 2017, Vol. 64, pp. 107-116

Stark, T. D., Niazi, F. S., & Keuscher, T. C. (2015). Strength envelopes from single and multi geosynthetic interface tests. Geotechnical and Geological Engineering, 33(5), pp. 1351-1367

Suomen Erityisjäte Oy. (2018a). Jätteenpolton pohjakuona. Ohje materiaalin hyödyntämiseen maarakentamisessa. 2. painos.

Suomen Erityisjäte Oy. (2018b). Yrityksen kotisivut. Viitattu 10.2.2019. Saatavissa: <http://www.erityisjate.fi/>

Suomen Ympäristökeskus (SYKE). (2002). Kaatopaikan tiivistysrakenteet. Toim. Lepänen M. Ympäristö opas 36. Helsinki. ISBN 952-11-0232-2.

Suomen Ympäristökeskus (SYKE). (2008). Kaatopaikkojen käytöstä poistaminen ja jälkihoito. Ympäristöhallinnon ohjeita 1/2008. Helsinki. ISBN 978-952-11-3151-6.

Suomen Ympäristökeskus (SYKE). (2018). Suomen ympäristökeskuksen verkkosivut. Viitattu 23.11.2018. Saatavissa: http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Luvat_ilmoitukset_ja_rekisterointi/Ymparistolupa

Tielaitos (TIEL). (2000). betonimurskeen käyttö tien päällysrakennekerroksissa. Mitoitus- ja työohjeet. Tielaitoksen selvityksiä 5/2000, TIEL 3200594. Helsinki. ISBN 951-726-603-0. Saatavissa: <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/138927/4128tie.pdf?sequence=1>

TTY. (2018) Maa- ja pohjarakenteiden laboratorio. Laboratoriotutkimusten hinnasto. Viitattu: 21.7.2018. Saatavissa: http://www.tut.fi/cs/groups/public_news/@1102/@web/@p/documents/liit/x265021.pdf.

Tuhkanen, S. (2002). Jätehuollon merkitys Suomen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä. Kaatopaikkojen metaanipäästöt ja niiden talteenotto. VTT Tiedotteita 2142. ISBN 951-38-5895-2. Saatavissa: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2002/T2142.pdf>

Tuomola M. (2019). Henkilökohtainen tiedonanto, keskustelu. 5.3.2019.

Työterveyslaitos (TTL). (2018). Työtaturman kustannuslaskuri. Internet-sivut. Saatavissa: <http://piku.ttl.fi>. Viitattu: 23.7.2018.

Työturvallisuuslaki (738/2002). Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2002/20020738>

Uusioaines Oy (2012). Suunnitteluohje infrarakentamiseen. Saatavissa: <https://www.foamit.fi/wp-content/uploads/2018/01/Foamit-suunnitteluohje-infra-ID-8897.pdf>.

Vainio J. (2015) Uusiomateriaaleja maarakentamiseen – tuottajan näkökulma SCA, Nokian tehdas, Jenni Vainio. UUMA2 Pirkanmaan alueseminaari 29.10.2015. Viitattu 3.3.2019. Saatavissa: http://www.uusiomaarakentaminen.fi/sites/default/files/Jenni%20Vainio%20-%20Tuottajan%20n%C3%A4k%C3%B6kulma_2.pdf

Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista (331/2013). Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/smur/2013/20130331>

Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista (221/2007). Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2007/20070214>

Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta (205/2009). Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2009/20090205>

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa (843/2017). Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170843>

Verohallinto (2016). Jätevero. Viitattu: 18.6.2018. Saatavissa: <https://www.vero.fi/yritykset-ja-yhteisot/tietoa-yritysverotuksesta/valmisteverotus/valmisteverolajit/jatevero/>

Wahlström, M., Laine-Ylijoki, J., Eskola, P., Vahanne, P., Mäkelä, E., Vikman, M., Venelampi, O., Hämäläinen, J. & Frilander, R. (2004). Kaatopaikkojen tiivistysrakennemateriaaleina käytettävien teollisuuden sivutuotteiden ympäristökelpoisuus. VTT Tiedotteita 2246. ISBN 951-38-6470-7. Saatavissa: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2004/T2246.pdf>

Wahlström M., Laine-Ylijoki J., Vestola E., Vaajasaari K., Joutti A. (2006). Jätteiden kaatopaikkakelpoisuuden toteaminen. Ympäristöhallinnon ohjeita 2/2006. Ympäristöministeriö. Helsinki. ISBN 952-11-2334-6.

Witt K.J. (2010) Mineral barriers in landfill capping systems – Conditions of durability. In Construction for a Sustainable Environment. Eds. Sarsby & Maggyes. Proceedings of the International Conference of Construction for a Sustainable Environment, Vilnius, Lithuania, 1-4 July, 2008. pp. 3-21

Ympäristöministeriö (YM). (2007). Ympäristöhallinnon ohjeita 2/2007. Maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointi. ISBN 978-952-11-2726-7

Ympäristöministeriö (YM). (2017). MARA-asetuksen perustelumuistio 28.11.2017. Ehdotus valtioneuvoston asetukseksi eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa. Saatavissa: <https://www.ym.fi/download/noname/%7B94093D0C-8BCE-47A4-AC91-6B5E3EBD115A%7D/133239>

Ympäristöministeriö (YM). (2018). MASA-asetusluonnos.

Ympäristönsuojelulaki (YSL). (527/2014). Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140527>

Öljy- ja biopolttoaineala ry (2016). Ympäristörakentamisen laadunvarmistus jakeluasemilla, 4. sähköinen julkaisu. Saatavissa: http://www.oil.fi/sites/default/files/ymparistorakentamisen_laadunvarmistus_jakeluasemilla_4painos_2016_0.pdf

LIITE 1: KYSELYTUTKIMUKSEN KYSYMYKSET

- 1. Vastaajan taustatiedot**
- 2. Mitä kaatopaikkarakentamiseen mahdollisesti soveltuvia jättemateriaaleja teille tuodaan käsiteltäväksi ja kuinka paljon vuosittain?**
- 3. Millaisia jättemateriaaleja olette hyödyntäneet tai aiotte hyödyntää kaatopaikkarakentamisessa sellaisenaan tai jalostettuna? Missä rakenneosissa?**
- 4. Pitäisikö jättemateriaalin hyötykäyttöä kaatopaikkarakentamisessa mielestänne lisätä? Millaisia toimia se edellyttäisi?**
- 5. Onko teillä jo suljettu kaatopaikan osia?**
- 6. Onko kaatopaikkarakenteissa käytettyjen materiaalien viranomaishyväksyttäminen ollut vaivatonta? Miksi? Miksi ei?**
- 7. Mitä kustannuksia aiheuttavia tekijöitä materiaalin hyväksyttämisen prosessissa täytyy ottaa huomioon?**
- 8. Millä toimintamallilla olette toteuttaneet/aiotte toteuttaa kaatopaikan pintarakenteet?**
- 9. Mitä materiaaleja teillä on käytetty tai aiotte käyttää kaatopaikan pintarakenteissa?**
- 10. Millaisia haasteita tai ongelmia on esiintynyt materiaalien hankinnassa, käsittelyssä tai rakentamisessa? Voit valita useita ja vastata vain niiden materiaalien osalta, joista teillä on kokemusta**
- 11. Millaisia muita haasteita tai ongelmia on esiintynyt kaatopaikan pintarakenteiden materiaaleihin liittyen?**
- 12. Mikä kaatopaikan pintarakenteissa käytetyistä materiaaleista on ollut urakoitsijan ehdottama ja/tai toimittamaa (Voit valita useita vaihtoehtoja)**
- 13. Millaisia tavanomaisia työturvallisuusriskejä ja mahdollisia läheltä piti -tilanteita kaatopaikkarakentamisessa on esiintynyt hankkeissanne?**
- 14. Vaatiiko kaatopaikkarakentaminen tavanomaista poikkeavia työturvallisuustoimenpiteitä ja aiheuttaako työsuojelu lisäkustannuksia tavanomaiseen hankkeeseen verrattuna?**
- 15. Mitä työturvallisuusseikkoja pitää kokemuksienne perusteella huomioida jätetäytön muotoilussa ja kaivussa?**