

Opinnäytetyö (AMK)

Rakennustekniikka

Infratekniikka

2013

Joonas Nikkanen

# KAATOPAIKAN POHJARAKENNE JA SIVUTUOTTEIDEN KÄYTTÖ



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU  
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Turun ammattikorkeakoulu  
Tekniikka, ympäristö ja talous  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Infratekniikka  
Joonas Nikkanen

Opinnäytetyö

Kaatopaikan pohjarakenne ja sivutuotteiden käyttö

Hyväksytty

Turussa \_\_\_\_ / \_\_\_\_ 2013

Valvoja

---

DI Pirjo Oksanen

Koulutuspäällikkö

---

Tekn. lis. Esa Leinonen

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikka | Infratekniikka

Toukokuu 2013 | 42 sivua

Pirjo Oksanen, Eero Pirskanen ja Martti Noki (Maarakennusliike Lehtonen Oy)

Joonas Nikkanen

# KAATOPAIKAN POHJARAKENNE JA SIVUTUOTTEIDEN KÄYTTÖ

Kaatopaikan pohjarakenne on monikerrosrakenne, joka koostuu kuudesta eri kerroksesta. Jokaisella kerroksella on oma tarkoituksensa. Rakentamista ohjaavat tarkat asetukset ja määräykset. Pohjarakenteen eri kerroksia voidaan korvata sivutuotteilla. Tässä opinnäytetyössä selvitettiin, mitä sivutuotteita kaatopaikan pohjarakenteissa voidaan käyttää ja mitä ongelmia käyttöön mahdollisesti liittyy. Kaatopaikan pohjarakenteissa on käytetty esimerkiksi soodasakkasekoituksia ja turvetta. Työssä selvitettiin myös, mitä rakentajan tulisi ottaa huomioon tietyn sivutuotteen käytössä.

Selvitys toteutettiin tutkimalla Internetistä löytyviä ympäristölupapäätöksiä vuosilta 2004–2012. Ympäristölupapäätöksistä löytää, mitä sivutuotteita on käytetty ja mitä vaatimuksia käytölle on asetettu.

Sivutuotteen käyttö kaatopaikan pohjarakenteessa on haastavaa varsinkin pienelle tai keskisuurelle yritykselle. Tähän johtaa aikava ja työläs ympäristölupaprosessi. Sivutuotteiden käyttömahdollisuudet ovat kuitenkin varsin laajat. Sivutuotteilla rakentaminen ei myöskään eroa paljoa tavallisilla maamateriaaleilla rakentamisesta.

ASIASANAT:

sivutuote, ympäristölupa, kaatopaikka, laadunvarmistus

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Civil Engineering| Community Infrastructure Engineering

May 2013 | 42 pages

Pirjo Oksanen, Eero Pirskanen ja Martti Noki (Maarakennusliike Lehtonen Oy)

Joonas Nikkanen

## LANDFILL BASE AND USE AT BY-PRODUCTS

Landfill base is a sandwich structure which is composed of six different layers. Every layer has its own purpose. The building work is controlled by precise regulation and orders. Different layers of the base can be replaced by by-products. In this Bachelor's thesis it was studied what by-products can be used in the base structure of a landfill and what problems may be associated with the use. Soda pulp mix and peat have been used in a base structure. In this Bachelor's thesis it was also found out what builders should take into, for instance, when a certain by-product is used.

The survey was carried out by researching environmental licenses from the years 2004 to 2012 on the Internet. In the environmental licenses it is told what by-products have been used and what demands has been put on the use.

Using a by-product in the base structure of a landfill is challenging in particular for a small or medium sized enterprise. This is caused by the time-consuming and laborious process of applying for the environmental license. The possibilities of using the by-products are quite extensive. Building with by-products does not differ much from ordinary building with soil.

### KEYWORDS:

by-product, environmental license, landfill, quality assurance

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>7</b>
<b>2 KAATOPAIKKA JA POHJARAKENNE</b>	<b>8</b>
2.1 Luokittelu ja lainsäädäntö	8
2.2 Viranomaismääräykset	8
2.3 Rakenteen osat	9
2.4 Laadunvalvonta ja laatusuunnitelma	11
<b>3 RAKENTEEN OSAT JA LAADUNVARMISTUS</b>	<b>14</b>
3.1 Alusrakenne	14
3.2 Alusrakenteen laadunvarmistus	16
3.3 Mineraalinen tiivistyskerros	16
3.3.1 Ennakkokokeet ja koekenttä	18
3.3.2 Työn aikainen laadunvarmistus	21
3.4 Keinotekoinen eriste	22
3.5 Keinotekoisen eristeen laadunvarmistus	23
3.6 Suojakerros	25
3.7 Salaojakerros	26
3.8 Suodatinkerros	26
3.9 Suoja-, salaoja- ja suodatinkerroksen laadunvarmistus	27
<b>4 SIVUTUOTTEET</b>	<b>28</b>
4.1 Sivutuotteet kaatopaikan pohjarakenteissa	28
4.2 Lentotuhka	29
4.3 Soodasakkasekoitukset	29
4.4 Teräskuona- ja masuunikuonamurske	30
4.5 Turve	31
4.6 Betoni- ja tiilimurske	31
4.7 Rengasrouhe	32
<b>5 SIVUTUOTTEET KAATOPAIKAN POHJARAKENTEISSA</b>	<b>34</b>
5.1 Yleistä	34
5.2 Käytön yleisyys	35
5.3 Sivutuotteen käytön suunnittelu	36

<b>6 JOHTOPÄÄTÖKSET</b>	<b>39</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>41</b>

## **KUVAT**

Kuva 1. Kaatopaikan tiivistysrakenne.	10
Kuva 2. Koekentän malli.	20

## **TAULUKOT**

Taulukko 1. Sivutuotteet pohjarakenteissa ja mahdolliset erityisvaatimukset.	38
--	----

# 1 JOHDANTO

Kaatopaikan pohjarakenne on monikerrosrakenne, jossa eri rakennekerroksen täydentävät toistensa toimintaa. Pohjarakenne koostuu kuudesta eri kerroksesta, jotka ovat suodatin-, salaoja-, suojakerros, keinotekoinen eriste, mineraalinen tiivistyskerros ja alusrakenne. Rakennekerroksia voidaan korvata erilaisilla sivutuotteilla, kuten esimerkiksi masuunikuonamurskeella ja lentotuhkalla.

Sivutuotteiden käyttö vaatii aina ympäristöluvan, joka prosessina on pitkä ja työläs. Sivutuotteiden käyttö on yleistynyt, ja yleisintä se on sivutuotetta prosesseissaan tuottavan laitoksen omalla kaatopaikalla. Pienen tai keskisuuren yrityksen on vaikea käyttää sivutuotetta rakentamisessa, koska ympäristölupaprosessi on niin haastava.

Kaatopaikan pohjarakenteen rakentamista ohjaa tiukka lainsäädäntö. Erityisesti mineraalisen tiivistyskerroksen tiukka vedenläpäisevyysarvo aiheuttaa haasteita sivutuotteen käytölle.

Työn tavoitteena on tutkia, mitä sivutuotteita kaatopaikan pohjarakenteessa voidaan käyttää, mitä sivutuotteen käyttö mahdollisesti vaatii ja mitä tulisi huomioida rakentamisvaiheessa erilaisten sivutuotteiden kohdalla. Tietoja käytetyistä sivutuotteista ja vaatimuksista on etsitty ympäristölupapäätöksistä aluehallintoviraston ja ympäristöhallinnon verkkosivuilta. Tutkitut ympäristölupapäätökset on annettu vuosina 2004–2012 välillä. Ohjeita sivutuotteilla rakentamiseen on etsitty alan kirjallisuudesta.

## 2 KAATOPAIKKA JA POHJARAKENNE

### 2.1 Luokittelu ja lainsäädäntö

Kaatopaikat luokitellaan Suomessa kolmeen luokkaan, jotka on määritelty valtioneuvoston päätöksessä 861/97. Kaatopaikkaluokat ovat

- ongelmajätteen kaatopaikka
- tavanomaisen jätteen kaatopaikka
- pysyvän jätteen kaatopaikka. (Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista 861/97.)

Kaatopaikkaluokka määrää sen, minkälaista jätettä kaatopaikalle saa sijoittaa. Jokaisella kaatopaikkaluokalla on myös omat vaatimuksensa pohjarakenteelle. (Leppänen 2002, 47.)

Kaatopaikan sijoittamista, perustamista, käyttöä ja lopettamista varten löytyy omat kohtansa lainsäädännöstä. Kaatopaikkoihin liittyvää toimintaa ohjaavat Suomessa

- ympäristönsuojelulaki 86/2000
- ympäristönsuojeluasetus 169/2000
- laki ympäristönsuojelulainsäädännön voimaannpanosta 113/2000
- jätelaki 1072/1993
- jäteasetus 1390/1993
- jätehuoltolaki jätelain 77§ tarkoittamissa tapauksissa
- valtioneuvoston päätös kaatopaikoista 861/1997 ja sen muutos 1049/1999. (Leppänen 2002, 38.)

### 2.2 Viranomaismääräykset

Kaatopaikan pohjarakenteen viranomaismääräykset löytyvät valtioneuvoston päätöksestä kaatopaikoista 861/97. Valtioneuvoston päätös määrää seuraavaa:



Kaatopaikan maaperälle (kivennäismaa tai kallio) asetetaan seuraavat vaatimukset:

- kaatopaikan maaperän on oltava kantava ja
- kaatopaikan maaperän on täytettävä sellaiset veden kyllästämän maan vedenläpäisevyys- (K) ja paksuusvaatimukset, että niiden yhdistetty vaikutus vastaa seuraavilla kaatopaikoilla vähintään seuraavia vaatimuksia:

a) ongelmajätteen kaatopaikalla

$$K \leq 1,0 \cdot 10^{-9} \text{ m/s paksuus} \geq 5 \text{ m,}$$

b) tavanomaisen jätteen kaatopaikalla

$$K \leq 1,0 \cdot 10^{-9} \text{ m/s paksuus} \geq 1 \text{ m ja}$$

c) pysyvän jätteen kaatopaikalla

$$K \leq 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ m/s paksuus} \geq 1 \text{ m. (Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista 861/97, liite 1.)}$$

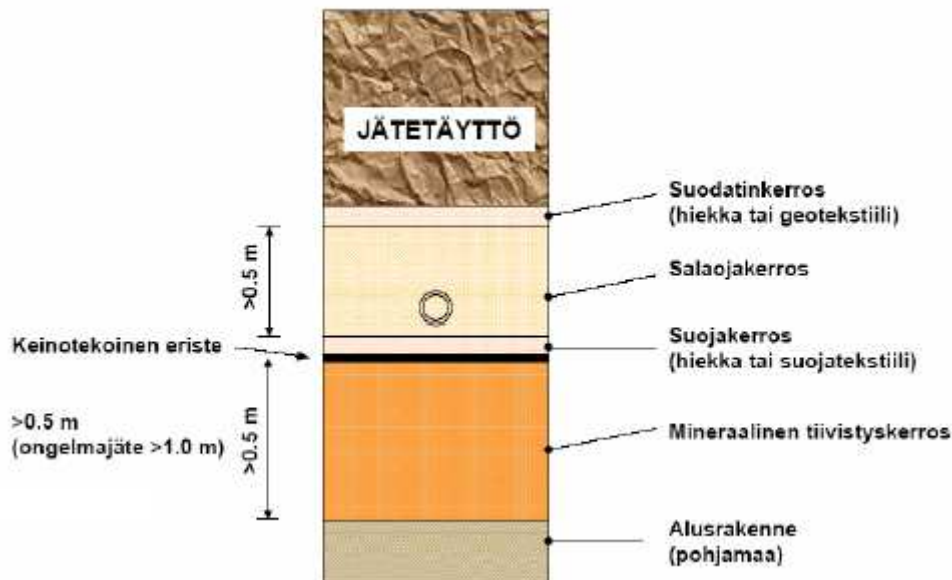
Lisäksi valtioneuvoston päätöksessä määrätään rakentamaan parannettu tiivistyskerros, mikäli pohjamaa ei luonnostaan täytä edellä mainittuja vaatimuksia. Rakennetun tiivistyskerroksen tulee vähintään olla 0,5 metriä paksu tavanomaisen jätteen kaatopaikalla. (Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista 861/97.)

Kaatopaikkaveden keräämistä varten määrätään asennettavaksi kaatopaikan tiivistämiseen tarkoitettu keinotekoinen eriste. Keinotekoisen eristeen päälle tulee tehdä salaojakerros, jonka paksuus on vähintään 0,5 m. (Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista 861/97.)

### 2.3 Rakenteen osat

Kun pohjamaa ei yksinään täytä vedenläpäisevyys- ja paksuuskerroksia, silloin tarvitaan erilliset tiivistysrakenteet. Kaatopaikan tiivistysrakenteen koostuu yleisesti kuudesta eri kerroksesta, jotka ovat alusrakenne (pohjamaa), mineraalinen

tiivistyskerros, keinotekoinen eriste, suojakerros, salaojakerros ja suodatinkerros. Kuvassa 1 on esitetty kaatopaikan pohjarakenteen tiivistysrakenne. (Hakulinen 2008, 88.)



Kuva 1. Kaatopaikan tiivistysrakenne (Hakulinen 2008, 88).

Kaatopaikalla käytettyä tiivistysrakennetta voidaan kutsua monikerrosrakenteeksi. Monikerrosrakenteen toiminta perustuu erilaisten osien yhteistoimintaan. Osa kerroksista toimii tiivistävänä rakenneosana ja toiset toimivat tiivistäviä kerroksia suojaavina kerroksina. Suojaavat kerrokset turvaavat tiivistäviä kerroksia haitallisilta kuormituksilta. (Hakulinen 2008, 88.)

Tiivistysrakenteen eri osilla on omat yleisesti käytetyt materiaalinsa. Alusrakenteena toimii tiettyyn tasoon ja muotoon tasattu pohjamaa. Mineraalinen tiivistyskerros tehdään usein luonnon maamateriaaleista, kuten savesta ja siihen sekoitettavasta bentoniitista. Keinotekoinen eriste on yleisimmin geomembraania eli muovikalvoa ja tarkemmin HDPE-kalvoa. Keinotekoista eristeen yläpuolella oleva suojaava kerros on hiekkaa tai suojatekstiiliä. Salaojakerros puolestaan tehdään salaojasorasta ja viimeinen suodatinkerros toteutetaan hiekalla tai geotekstiilillä. (Hakulinen 2008, 89.)

## 2.4 Laadunvalvonta ja laatusuunnitelma

Kaatopaikan laadunvalvonta voidaan jakaa kahteen osaan, jotka ovat materiaalin valmistuksen, ja rakentamisen aikainen laadunvarmistus. Lisäksi tiivistysrakenteen laadunvalvonta voidaan jaotella neljään osaan, jotka ovat urakoitsijan, rakennuttajan, viranomaisen ja ulkopuolisen puolueettoman tahon laadunvalvonta. (Leppänen ym. 2001, 7.)

Materiaalivalinnat tehdään suunnitelmien materiaali- ja laatuvaatimusten mukaisesti. Vaatimukset täytyy aina tarkistaa uudelleen, mikäli urakoitsija haluaa muuttaa jotakin materiaalia tai rakenneosaa. Osa materiaalien vaatimuksista luetellaan suoraan kaatopaikkoja koskevasta lainsäädännöstä, kuten pohjan vedenläpäisevyysvaatimus. Epäselvyyksien välttämiseksi suunnitelma-asiakirjoissa täytyy olla materiaalivaatimukset määrittymenettelyineen. Teollisesti valmistettujen materiaalien, kuten tiivistyskalvon (geomembraanin), bentoniittimaton, suojageotekstiilin, salaojamaton ja suodatinkankaan valinta voidaan tehdä tuotetietojen perusteella. Niitä ei tarvitse testata ennakoon. Bitumin ja bentoniitin materiaalitoimittajan laatuun myös luotetaan; tosin joitakin keskeisiä parametreja saatetaan tarkistaa, kuten esimerkiksi bentoniitin paisumiskyky kohteen suotovedellä. (Leppänen ym. 2001, 9-10.)

Kaatopaikan suunnitelmia koskevissa asiakirjoissa on laadunvalvontasuunnitelma. Siinä esitetään, mitä parametreja eri rakennusosissa seurataan, millä menetelmillä ja miten tiheästi ennakkokoevaiheessa, koekenttävaiheessa ja rakentamisen aikana. Urakoitsijan on noudatettava sitä tai laadittava itse sellainen ja hyväksyttävä se. Itse laadittu laadunvalvontasuunnitelma tulisi hyväksyttävä rakennuttajalla, riippumattomalla laadunvalvojalla ja suunnittelijalla. Urakoitsija saattaa myös tehdä muitakin kuin siinä esitettyjä laadunvalvontamittauksia oman laatujärjestelmän mukaisesti. Tämän vuoksi erillisen urakoitsijan laatusuunnitelman laatiminen olisi suotavaa. (Leppänen ym. 2001, 10.) Rakennustyön laadunvalvontasuunnitelman olisi hyvä sisältää seuraavat asiat:

- laadunvarmistusorganisaatio, johon kuuluu yleisesti urakoitsija, riippumaton valvoja, rakennuttaja ja viranomaiset

- rakennustyön valvojien vastuut ja tehtävät
- tiivistyskerrosten materiaalit ja tiivistysmenetelmät
- laadunvalvontakokeiden tyyppi ja määrä eri vaiheissa työn aikana. (Leppänen 2002, 114.)

Urakoitsijan laadunvarmistuksen varmistamiseksi on muitakin suunnitelmia, kuten työmaa-, mittaus- ja asennussuunnitelma. Työmaasuunnitelmassa esitetään eri materiaalien varastointi ja muut työmaajärjestelyt. Mittaussuunnitelmassa otetaan huomioon laadunvalvonnan vaatimukset rakenteen paksuuden ja sijainnin mukaan. Asennussuunnitelma taasen laaditaan erityisrakenteiden, kuten tiivistyskalvon asennusta varten. (Leppänen ym. 2001, 11.)

Työn aikana suoritettujen laatumittauksien tulokset toimitetaan riippumattomalle laadunvalvojalle ilman erillistä pyyntöä. Mikäli laadunvalvoja tai hänen edustajansa vierailee työmaalla säännöllisesti, voivat mittaustulokset olla vain esillä työmaan konttorissa tai vastaavassa paikassa. Työmaan laadunvalvontatulokset esitetään työmaapöytäkirjoissa tai erillisissä laadunvalvontapöytäkirjoissa. (Leppänen ym. 2001, 11.)

Viranomainen, rakennuttaja tai ulkopuolinen laadunvalvoja voi varmistaa urakoitsijan laadun neljällä tapaa:

- tekemällä satunnaiskäyntejä
- tekemällä työmaalle kohdennettuja käyntejä
- seuraamalla laboratorio- ja koetuloksia
- varmistamalla urakoitsijan laadunvalvontakokeet tekemällä rinnakkaiskokeita.

Satunnaiskäynneistä ei välttämättä tehdä ennakoilmoitusta. Niiden aikana tehdään havaintoja työmaan toiminnasta, työvaiheista ja työselityksessä olevien asioiden noudattamisesta. Niiden määrä voidaan sopia ennakkoon sitomalla aikaan tai työn etenemisnopeuteen. Mikäli työmaalla havaitaan ongelmia, voidaan niiden määrää lisätä. Toisaalta pätevällä paikallisvalvojalla voidaan ne jättää kokonaan tekemättä. Kohdennetut käynnit ajoitetaan kriittisiin työvaiheisiin sekä urakoitsijan suorittamiin laadunvalvontaan liittyviin toimenpiteisiin. Niiden määrä ja paikat voidaan sopia urakoitsijan laadunvalvontasuunnitelmassa.

Ne sijoittuvat usein katselmuksiin tai joka toiseen näytteenottoon osallistumiseen. Niiden yhteydessä huomioidaan myös materiaalien ja tarvikkeiden varastointi sekä työmaan yleinen järjestys ja siisteys. (Leppänen ym. 2001, 13.)

## 3 RAKENTEEN OSAT JA LAADUNVARMISTUS

### 3.1 Alusrakenne

Alusrakenteelta vaaditaan riittävää kantavuutta suhteessa tulevaan kuormitukseen. Luonnollinen pohjamaa voidaan myös hyödyntää sellaisenaan kaatopaikan pohjarakenteena. Silloin pohjamaan täytyy täyttää kaikki tiivistyskerrokselle asetetut vaatimukset. Sen kaltainen tilanne on todella harvinainen. Pohjamaan toimiessa vain alusrakenteena mineraaliselle tiivistyskerrokselle, sen pääasialliset vaatimukset liittyvät kantavuuteen. (Infra 15–710106.)

Mineraalisen tiivistyskerroksen alusrakenne (pohjamaa) tasataan tiettyyn tasoon, joko täyttämällä tai leikkaamalla maata pois. Alusrakennetta muotoiltaan huomioidaan tulevat suotovesien johtamista varten rakennettavat salaojajärjestelmät. Alusrakenteen täytyy olla tasainen ja oikeassa korkeusasemassa, sillä sen korkeusasema on lähtökohtana määrittäessä mineraalisen tiivistyskerroksen korkeutta. Alusrakenteen epätasaisuuksien täyttäminen mineraalisella tiivistysmateriaalilla ei ole kannattavaa. (RT 15–710106.)

Alusrakenteen kantavuus- ja tiiviysvaatimukset ovat sellaisia, että mineraalinen tiivistyskerros voitaisiin luotettavasti tiivistää sen päälle. Alusrakenteen ohjeellisia arvoina materiaalista riippuen voidaan pitää seuraavia:

- karkearakeiset maalajit  $E_2 \geq 45 \text{ MN/m}^2$
- hieno- ja sekarakeiset riippuen huokoisuudesta ja vesipitoisuudesta  $E_2 \geq 20\text{--}45 \text{ MN/m}^2$
- suhde  $E_2/E_1 \geq 2,2$ .

Alusrakenteen tasaisuudelle voidaan myös asettaa tiettyjä vaatimuksia, jotka ovat ohjeellisia. Yläpinnan mittavaatimuksina voidaan pitää yläpinnan tason yksittäisen poikkeaman suurimpana sallittuna heittona  $-100 \text{ mm} \dots 0 \text{ mm}$  eli korkeintaan  $100 \text{ mm}$  alitus. Toisena vaatimuksena voidaan pitää sitä, että pinnan

tasaisuuden tulisi olla neljän metrin oikolaudalla mitattuna +50...-50 mm. (Leppänen 2002, 54.)

### **Savikko**

Saven erityispiirteitä ovat alhainen leikkauslujuus, häiriintymisherkkyys ja kokoonpuristuvuus. Saven hyviä puolia ovat alhainen vedenläpäisevyys ja lujittuminen konsolidaation vaikutuksesta. Saven painuminen on suurimpia haittoja. Painuminen tutkitaan huolella ennen rakentamista, ja näin varmistutaan, että painumisesta ei ole haittaa suotovesien keräilyjärjestelmälle ja muulle rakenteelle. Vaikka painuminen olisi huomattavaa; se ei välttämättä ole este rakentamiselle. Osoittamalla, että kokoonpuristuminen ei haittaa vesien keräilyjärjestelmää tai vaurioita mineraalista tiivistyskerrosta, voidaan kaatopaikka rakentaa pehmeiköille. (Leppänen 2002, 44.)

### **Kitkamaa tai moreeni**

Kitkamaan ja moreenin kantavuus on yleensä hyvä, mutta vedenläpäisevyys on suurempi kuin savikoilla. Muodonmuutokset ovat pieniä ja ne tapahtuvat nopeasti täytön edistyessä. Kitkamaan ja moreenin leikkauslujuus on määritettävä, vaikka kantavuus on hyvää luokkaa. Moreenin suuri routivuus täytyy myös huomioida. (Leppänen 2002, 45.)

### **Kallio**

Kalliopohjalla kantavuus ja muodonmuutokset eivät muodostu ongelmaksi. Kallioperästä huomioidaan sen sijaan ruhjeisuus ja rakoilu, jotka aiheuttavat vedenläpäisevyyttä. Rakoilua ja ruhjeisuutta voidaan korjata injektoimalla tai rakentamalla erityinen tiivistyskerros kallion päälle. Näistä kahdesta erillisen tiivistyskerroksen rakentaminen on parempi ratkaisu, koska työn onnistumisesta voidaan olla varmempia. (Leppänen 2002, 45.) Kallion louhinalle on annettu omat laatu-

vaatimuksensa, jotta vedenläpäisevyys ei olisi ongelma. Kalliopohjan louhinnan vaatimukset määrätään infraRYL-laatuvaatimusjärjestelmässä. Vaatimukset löytyvät laatuvaatimusjärjestelmän kohdasta 17110.3 kallioavoleikkauksen tekeminen. (RT 15–710106, 3.)

### 3.2 Alusrakenteen laadunvarmistus

Tiivistysrakenteen pohjana toimii alusrakenne. Sen soveltuvuus ja painu-  
misominaisuudet selvitetään ennen mineraalisen tiivistyskerroksen rakentami-  
sen aloittamista. Kantavuus ja tiiveysominaisuuksia voidaan selvittää pudotus-  
paino- ja levykuormituskokein. Siltä vaaditaan myös tiettyä tasaisuutta, jota voi-  
daan seurata oikolaudan avulla. Lisäksi se kartoitetaan ennen mineraalisen tii-  
vistyskerroksen rakentamista. Kartoitusaineistoa tarvitaan myöhemmin, jotta  
voidaan varmistaa tiivistyskerroksen paksuus. Kartoitukseen soveltuu takymetri.  
(Leppänen 2002, 115; Penttinen 2006, 46.)

Pudotuspaino- ja levykuormituskokeita tulisi tehdä 1/500 m<sup>2</sup>:n ja 1/1000m<sup>2</sup>:n  
tarkkuudella. Tasaisuutta voidaan seurata koko ajan työn edetessä, koska se  
tapahtuu helposti ja nopeasti oikolautaa käyttäen. Kartoitus tulisi tehdä takymet-  
rillä tarkkuuteen 10 m × 10 m. (Penttinen 2008, 46.)

### 3.3 Mineraalinen tiivistyskerros

Mineraalinen tiivistyskerros rakennetaan; mikäli pohjamaa ei sellaisenaan täytä  
valtioneuvoston päätöksen 861/1997 vedenläpäisevyys- ja paksuusriteerejä  
(RT 15–710106). Mineraalisen tiivistyskerroksen pääasialliset tehtävät ovat te-  
hostaa suotovesien keräilyä sekä vähentää haitta-aineiden kulkeutumista ympä-  
ristöön. Ympäristöön pääsevien haitta-aineiden määrään vaikuttavat materiaalin  
diffuusio, suotautumisen esto ja kyky sitoa raskasmetalleja. (Hakulinen 2008,  
89.)



Mineraalinen tiivistyskerros tehdään yleisimmin luonnon kivennäismaa-aineksia ja niiden vedenläpäisevyyttä pienentäviä lisäaineita yhdistelemällä. Yleisin lisäaine on paisuva savi eli bentoniitti. Lisäaineen määrä on sidoksissa runkoaiheen rakeisuuteen ja sekoitustapaan. Mitä homogeenisempaa sekoituksella saadaan, sitä vähemmän lisäainetta tarvitaan. (Leppänen 2002, 54.)

Tiivistyskerros rakennetaan aina kerroksittain; näin päästään vaadittavaan tiiviyteen, joka määritetään laboratorikokeiden perusteella. Lopullinen kerrospaksuus ei saa missään tapauksessa alittaa suunniteltua minimipaksuutta. Suunniteltu minimipaksuus ei saa alittaa 0,5 metriä. Mikäli valmis kerros ei täytä vaatimuksia, rakennetaan kerros uudelleen. Mineraaliselle tiivistyskerrokselle saateen myös asettaa muita ohjeellisia vaatimuksia. Tällaiset vaatimukset voivat liittyä sallittuihin poikkeamiin suunnitellusta tasosta sekä leikkauslujuuteen. Esimerkiksi yksittäiselle poikkeamalle suunnitellusta tasosta voidaan määrittää  $\pm 30$  mm ja suurimmalle sallitulle epätasaisuudelle viiden metrin matkalla  $\pm 20$  mm. Kallistukset tulee tehdä suunnitelmien mukaisiin suuntiin ja leikkauslujuuden tulee olla vähintään  $50 \text{ kN/m}^2$ .

Tiivistyskerrokselle määrättävän kantavuusvaatimuksen määrittelee suunnittelija ja se riippuu materiaalista. Suunnittelija päättää kantavuusarvot laboratorikokeiden ja koetiivistyksen perusteella. Tuleva jätetyttö aiheuttaa staattista kuormitusta, joten tiivistystuloksen tasaisuus on yksi tärkeimmistä tekijöistä. (Leppänen 2002, 55.)

Kerralla tiivistettävän kerroksen paksuuden tulee olla sopiva. Liian paksulla kerrospaksuudella tiivistys ei onnistu riittävän hyvin ja vedenläpäisevyys jää liian korkeaksi. Lisäksi materiaalin tulee olla helposti käsiteltävää; tämä helpottaa rakentamista. Hyvä eroosiokestävyys on myös eduksi rakentaessa, sillä sateet saattavat aiheuttaa eroosiota kesken rakentamisen. Myös sateiden aiheuttavat kosteusolojen muutokset lisäävät rakenteen paisumista ja kutistumista. Lisäksi raekoon rajoittaminen mahdollisimman pieneksi ja pinnan riittävä tasaisuus yhdessä edesauttavat seuraavan kerroksen onnistumista. Raekoon ollessa pieni ja kerroksen riittävän tasainen ei keinotekoiseen eristeeseen pääse syntymään liian suuria pistemäisiä kuormia, jotka voisivat rikkoa sen. (Leppänen 2002, 54.)

### 3.3.1 Ennakkokokeet ja koekenttä

Mineraaliselle tiivistyskerrokselle tehtävien ennakkokokeiden määrä on suurin verrattuna muihin rakenteen osiin. Soveltuvuuskokeiden tuloksissa ennen työn aloittamista esitetään seuraavat tulokset:

- savipitoisuus
- plastisuusindeksi savelle
- raejakautuma ja maksimiraekoko
- orgaanisen aineksen määrä
- karbonaattimineraalien määrä
- kuivatilavuuspaino vesipitoisuuden funktiona ja käyrästä arvioitu optimivesipitoisuus
- suunniteltu tiivistämisvesipitoisuus
- tilavuuskutistuma suunnitelman mukaisella vesipitoisuudella
- vedenläpäisevyys vesipitoisuuden funktiona tiivistysasteen ollessa vähintään 95 % standardi Proctor-sullonnalla saavutetusta maksimikuivatilavuuspainosta
- materiaalin muodonmuutoskyky. (Leppänen 2002, 116.)

Lisäksi saatetaan tehdä muita ennakkokokeita kohteen vaatimusten mukaisesti. Yksi yleisimmistä on tiivistysmateriaalin kemiallinen kestävyys kaatopaikkajätteen laadusta riippuen. Edellä luetellut soveltuvuuskokeiden tulokset saadaan erilaisista laboratoriokokeista. Soveltuvuuskokeiden tuloksia tarvitaan koekenttä vaiheessa. (Leppänen 2002, 116.)

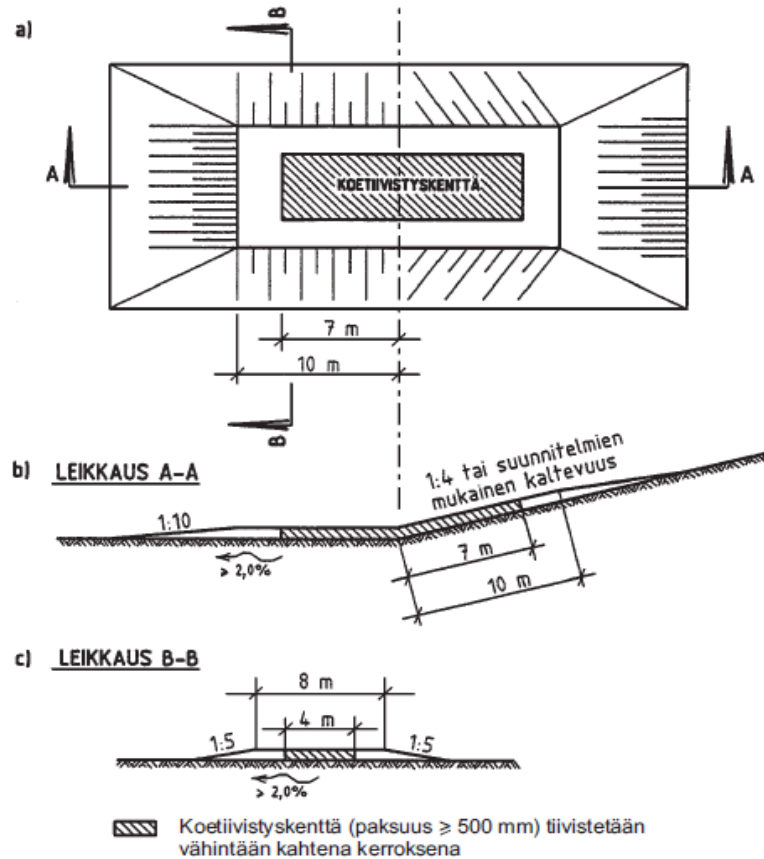
### **Koekenttä**

Mineraalisen tiivistyskerroksen laatuvaatimukset määräytyvät ennakkokokeiden lisäksi koekentän perusteella. Koekenttätiivistyksen yhteydessä varmistetaan käytettävästä materiaalista monia asioita, kuten toimivuus kenttäoloissa, kaivu-, käsittely- ja valmistusmenetelmien soveltuvuus, kerralla tiivistettävän kerroksen paksuus, ylityskertojen lukumäärä, mineraalisen tiivistyskerroksen vedenlä-

päisevyyden, vesipitoisuuden ja tiiviiden vaatimustasot kenttäolosuhteissa ja laadunvarmistusmenetelmien soveltuvuus ja vertailuarvojen luominen. (Leppänen 2002, 73.)

Koekentän suunnittelee kokenut geotekninen asiantuntija, joka myös valvoo ja arvioi koekentän valmistusta. Kenttätiivistysuunnitelmassa on näytteenotto-ohjelma. Mittausten ja havaintojen tulokset tulee kirjata ylös. Havainnot tulisi myös kuvata huolellisesti. (Leppänen 2002, 73.)

Koekenttä tulee tehdä hyvissä ajoin ennen varsinaisen tiivistyskerroksen rakentamisen aloitusta, koska silloin jää aikaa reagoida mahdollisiin ongelmiin. Koekentän alusta tulee tehdä huolella ja samalla tavalla kuin varsinaisen tiivistyskerroksen alusta tullaan tekemään. Koekenttään rakennetaan myös kohteen vaatimuksia vastaava koeluiska, mikäli se on 1:4 luiskaa jyrkempi. Tiivistyskoeksessa käytetään samoja materiaaleja eli runkoainetta ja lisäainetta kuin varsinaisessa tiivistyskerroksessa. Lisäksi tiivistyskoeksessa käytettävä kalusto, työkentelymenetelmät ja olosuhteiden täytyy olla samoja kuin varsinaisessa työssä. Mikäli etukäteen oletetaan, että materiaalissa tai laitteistossa saattaa olla eroja, tällöin rakennetaan useita koekenttiä eri materiaaleilla ja laitteistoilla, tai yksi suurempi koekenttä, joka on jaettu useisiin testialueisiin. Koekentän laajuus tulee suhteuttaa käytettävien koneiden sekä rakennettavan alueen kokoon. Lisäksi otettavien näytteiden ja kokeiden määrä huomioidaan sen koossa. Ohessa on esimerkkikuva koekentästä, josta näkee, millaiseksi se tulisi rakentaa. (Leppänen 2002, 73–74.)



Kuva 2. Koekentän malli (Leppänen 2002,74).

Koekentän alusta vaaitaan ennen työn aloittamista, näin voidaan varmistua koetiivistyskentän riittävästä paksuudesta. Tämän jälkeen merkitään muistiin alustan olosuhteet sekä dokumentoidaan valmistelevat työt. Lisäksi mittaus- ja näytteenottoa paikkojen sijainnit tulee määrittää ja merkitä muistiin. (Leppänen 2002, 74.)

Koekentän rakentamisesta sekä mittauksista pidetään työmaapäiväkirjaa. Päiväkirjaan kirjataan muistiin sääolosuhteet, jotka sisältävät lämpötilan, tuuliolosuhteet, sateet ja pilvisyyden. Koekentän jokaisesta erillisestä tiivistyskerroksesta ja lopullisesta kerroksesta merkitään muistiin sijainti, korkeus, kaltevuus ja tasaisuus. Lisäksi otetaan valokuvia kaikista rakentamisvaiheista. Muun dokumentoinnin lisäksi päiväkirjaan merkitään vielä monia muita tärkeitä asioita:

- tiivistysmateriaalin alkuperä, tyyppi ja olomuoto

- kaivamisessa, tiivistämisessä, kuljetuksissa, levittämisessä ja käsittelyssä käytetyt menetelmät
- tiivistuskoneen mitat, paino ja toimintanopeus; täryjyrän taajuus ja tärytysteho; sorkkajyrän tappien pituus, poikkileikkauspinta-ala ja järjestys, telapaine
- jyräskertojen määrä, erikseen kaikille jyrätyypeille
- maanmuokkauslaitteiden tyyppi, mitat ja ominaisarvot
- koneen kierrosnopeus ja toimintanopeus
- maapaakkujen rikkomismenetelmä, sallittu maksimi paakkukoolle ja saavutettu rikkoutumisaste
- materiaalin vesipitoisuuden määrittämismenetelmä; lisätyn veden alkuperä; aika, joka kului veden lisäyksestä tiivistykseen
- kerrospaksuus ennen ja jälkeen tiivistyksen
- bentoniitin tai muiden lisäaineiden lisäys, määrät, sekoitusmenetelmä, kierrosten määrä, sekoituksen kesto. (Leppänen 2002, 75.)

Työn aikana jokainen kerros tulee suojata sään muutoksilta peittämällä se suojakalvolla, jos sääolot vaihtelevat suuresti. Lisäksi työn loputtua saatetaan testata liikennöitävyys rakenteella. Tämän jälkeen rakenne kaivetaan auki ja tarkistetaan vielä sen homogeenisuus ja paksuus. Kaikki sellaiset epähomogeenisuudet tutkitaan, joita ei ole todettu varsinaisessa tutkimusohjelmassa. (Leppänen 2002, 75.)

### 3.3.2 Työn aikainen laadunvarmistus

Mineraalisen tiivistyskerroksen materiaalin ennakkokokeiden ja koekentän rakentamisen jälkeen päästään varsinaiseen tiivistysrakenteen rakentamiseen.

Tiivistyskerroksen materiaalin ja rakentamisen laatua tarkkaillaan koko rakentamisen ajan laadunvarmistussuunnitelman mukaisesti. Yleensä seurataan sekoitettavan tiivistysmateriaalin vesipitoisuutta, homogeenisuutta ja rakeisuutta koko rakentamistyön ajan sopivalla tiheydellä. Sekoitusparametrit kirjataan ylös osana laadunvalvontaa. Parametreihin kuuluu seos- ja lisäaineiden määrät, veden lisäys, sekoitusnopeus tai -aika. Mahdolliset työn aikaiset häiriöt kirjataan ylös, ja huonolaatuinen massa täytyy sekoittaa uudelleen. Seos voidaan varas-

toida ennen rakentamista, mutta varastointi täytyy tehdä huolella. Kasan pinta tiivistetään sadevesien imeytymisen estämiseksi ja se muotoillaan niin, ettei lajittumista pääse tapahtumaan. Tarvittaessa kasa vielä peitetään kastumisen ja pölyämisen estämiseksi. Kasan pohjalle tiivistynyt materiaali voidaan joissakin tapauksissa käyttää pienemmillä vaatimuksilla rakennettavissa kohteissa. (Leppänen 2002, 80.)

Rakenteen laadusta tarkkaillaan yleisesti tiiveysastetta, kerrospaksuutta, kosteutta, tasaisuutta ja korkeusasemaa. Tiiveysastetta ja kosteutta voidaan seurata esimerkiksi Troxler-laitteella ottamalla kokeita tiheydellä  $1/250 \text{ m}^2$  jokaista rakennettavaa kerrosta kohden. Rakenteen kerrospaksuutta ja korkeusasemaa voidaan seurata takymetrillä. Kerrospaksuutta olisi hyvä seurata ottamalla mittauksia  $1/500 \text{ m}^2$  ja korkeusasema otetaan muistiin mittatarkkuudella  $10 \times 10 \text{ m}$ , sekä luiskien taitepisteen huomioidaan ottamalla mittauksia taitepisteistä kymmenen metrin välein. Rakenteen tasaisuutta voidaan seurata koko ajan oikolautaa käyttäen. (Penttinen 2008, 54.)

### 3.4 Keinotekoinen eriste

Keinotekoisien eristeiden tarkoituksena on täydentää mineraalisen tiivistyskerroksen toimintaa pidättäen erilaisia aineita ja tehostaen suotovesien keräilyä. Erilaisiin aineisiin kuuluvat muun muassa orgaaniset yhdisteet, sillä mineraalinen tiivistyskerros ei pysty pidättämään niitä. Yleisimmin keinotekoisena eristeinä käytetään geomembraania. (Leppänen 2002, 56.) Geomembraani on ohut usein polymeereistä tai bitumista valmistettu suojaava kalvo (Antti Kortelainen 2012, 9). Yleisin kaatopaikkarakenteissa käytetty geomembraani on 2,0 mm paksu HDPE-kalvo (High Density Polyethylene), jolla on todella hyvä kemiallinen kestävyys kaatopaikan suotovesien haitta-aineita vastaan (Viapipe 2013). HDPE-kalvon lisäksi toinen käyttökelpoinen eriste on tavallinen tiiviiksi tehtävä asfaltti, joka tehdään kahdessa kerroksessa. Asfalttikerrosten saumojen täytyy sijoittua eri kohtiin. (Hakulinen 2008, 89.)

Keinotekoisien eristeiden suunnittelu ja asennus ovat vaativia tehtäviä, jotka vaativat asianosaisilta pätevyyttä ja kokemusta kyseisistä rakenteista. Suunnittelussa, materiaalivalinnoissa ja rakentamisessa huomioidaan muutamia tärkeitä asioita. Eristeen painumansietokyky täytyy huomioida, sillä pohjarakenne painuu kaatopaikan täytön eristyessä. Läpiviennit suunnitellaan tarkasti, kuten myös luiskien stabiliteetti ja kalvon ankkurointi. Materiaalin täytyy lisäksi olla kemiallista kulutusta kestävä. Mineraalisen tiivisteen pinnan epätasaisuudet huomioidaan, sillä ne aiheuttavat epätasaisia paikallisia jännityksiä eristeen pintaan. Keinotekoinen eriste vaatii suojakseen suojakerroksen, joka suojaa sitä mekaanisilta vaurioilta. (Leppänen 2002, 56.)

### 3.5 Keinotekoisien eristeiden laadunvarmistus

Mineraalisen tiivistyskerroksen jälkeen alkaa keinotekoisien eristyksen eli tiivistyskalvon asennus. Ennen tätä mineraalinen tiivistyskerros täytyy olla hyväksytty ja siinä kunnossa, että keinotekoisien tiivisteen asennus on mahdollista. Keinotekoisien eristeiden saa asentaa vain pätevästi asentaja ja asentajan käyttämän asennuslaitteiston täytyy olla tarkoitukseen valmistettu. Asennuksen jälkeen kalvon asentajan tai muun opastetun ja vastuullisen työntekijän tulee olla mukana, kun eristeiden päälle aletaan rakentaa suojakerrosta. (Leppänen 2002, 105.)

Tiivistyskalvon asennuksen laatuun vaikuttavat ympäristötekijät, alapuolinen rakenne, työmaajärjestys, materiaalin käsittely, kuljetus ja varastointi työmaalla. Ympäristötekijöihin luetaan lämpötila, sade, kosteus ja tuuli. Lämpötilan tulisi olla yli viisi astetta, mutta ei liian kuuma, sillä lämpö rasittaa kalvoa. Lämpörasituksilta voidaan suojautua peittämällä kalvo asennuksen jälkeen. Sade ja suuri kosteus estävät saumaustyön, jota ei silloin saa suorittaa. Liiallinen tuuli haittaa ja hidastaa asennusta. Tuulessa työskentelyä voidaan helpottaa käyttämällä 20 kilon hiekkasäkkejä painoina asennetun kalvon päällä. Näin kalvo pysyy paikallaan, ja saumojen hitsaus onnistuu myös tuulessa. Tiivistyskalvon alapuolisen rakenteen tulee olla vaatimusten mukaisessa kunnossa. Vaatimukset on luetel-

tu aiemmin kohdassa 3.2 mineraalinen tiivistyskerros sivulta 16 alkaen. Tiivistyskalvon asennusjärjestys suunnitellaan huolella, niin että kaikki toimijat voivat tehdä työtänsä ilman häiriöitä. Yleisesti asennuksessa käytetään aliurakoitsijaa, joka on erikoistunut kyseiseen työhön. Materiaalin käsittely, kuljetus ja varastointi tulee tehdä tavarantoimittajan ohjeiden mukaisesti. Purkamisen tehdään siihen tarkoitetulla kalustolla, niin ettei rullat pääse vahingoittumaan. Lisäksi tavaran toimittajan olisi valvottava purkua tai toteutettava se kokonaisuudessaan itse. Rullat tulee purkaa ja varastoida tasaiselle alustalle irti maasta. Varastoidut rullat tulisi suojata sateelta. (Leppänen 2002, 101–105.)

Kalvon levitys tehdään levityssuunnitelman mukaisessa järjestyksessä ja valmistajan antamien ohjeiden mukaan. Levitys toteutetaan siihen tarkoitetulla levityspuomilla. Kaivinkoneen kauhan käyttö levityksessä on kiellettyä. Kalvoa ei saa vetää maata pitkin, eikä sen päälle saa levittää mitään työntämällä levityksen yhteydessä. Suojahiekka ripotellaan varovasti kauhasta kalvon päälle. (Leppänen 2002, 103.)

Levityksen jälkeen kalvot yhdistetään toisiinsa hitsaamalla, joka on ainut luotettava menetelmä. Ennen hitsausta kalvon reunoissa oleva reunanauha poistetaan ja reuna puhdistetaan. Kalvolle suoritetaan myös koehitsaus. Koehitsauksella todistetaan hitsaustavan sopivuus kyseiselle materiaalille. Hitsaamiseen on käytössä kaksi eri saumatyyppiä, kuumakiilahitsaus eli kaksoissauma ja pursotehitsaus eli ekstruusiohitsaus. Molempien saumojen tiiveys, lujuus, muoto ja mitat tulee todeta. Kaksoissauman tiiveys todetaan paineistamalla saumojen välinen ilmanava. Pursotehitsauksella tehtyyn saumaan voidaan syöttää tekovaiheessa kuparilanka. Valmiin pursotesauman ehjyys voidaan todeta syöttämällä lankaan sähkövirtaa. Saumojen lujuus voidaan todeta kuorinta- tai vetokokeella. (Leppänen 2002, 104–106.)

Asennuksen laadunvarmistuksen tueksi laaditaan erilaisia asiakirjoja, kuten tiivistyskalvon materiaalitodistus, levityssuunnitelma- tai piirros-, asennuspäiväkirja, saumojen tiiveyden koestusraportti ja mahdollinen korjausraportti. Asiakirjat säilytetään työmaalla tilaajan tai tämän edustajan nähtävillä, ja niitä täytetään päivittäin työn edetessä. Lisäksi niihin pyydetään tarvittavat allekirjoitukset tilaa-



jalta tai tämän edustajalta. Työn valmistuttua asiakirjat luovutetaan tilaajalle tai tämän edustajalle. (Leppänen 2002, 107.)

### 3.6 Suojakerros

Suojakerros suojaa keinotekoista eristettä salaojakerroksen rakentamisvaiheen rasiuksilta sekä salaojakerroksen mahdollisesti aiheuttavilta pistemäisiltä kuormilta. Se suojaa sitä myös jätepenkereessä kehittyviltä lämmöiltä. Suojakerros voidaan tehdä mineraaliaineksesta tai neulasidotusta geotekstiilistä. Näitä voidaan myös yhdistellä tai se voidaan tehdä jostakin aivan muusta aineksesta, joka pystyy ottamaan kalvoon kohdistuvat kuormitukset. (Leppänen 2002, 56.)

Suojakerroksen täytyy kestää kemiallisia rasituksia ja stabiliteetin on oltava hyvä erityisesti luiskissa. Lisäksi sen täytyy kestää pystysuoraa painetta jäte-työstä ja sen tulisi olla mahdollisimman ohut, ettei siitä synny liiallista painetta alapuoliseen geomembraaniin. Asennuksen vaatimuksia ei myöskään saa unohtaa, kuten liikennöitävyyttä. (Leppänen 2002, 56.)

Suojakerroksen paksuuden on oltava vähintään 100 mm, jos se tehdään mineraalisesta materiaalista. Liikennöinti geomembraanin päällä voidaan aloittaa vasta, kun täyttöä on vähintään 300 mm. (Leppänen 2002, 56.) Mikäli suojakerros toteutetaan paksusta neulasidotusta geotekstiilistä; sen täytyisi vähintään olla  $1200 \text{ g/m}^2$  painoista suojakangasta. Tällaisen kankaan puhkaisulujuus on riittävällä tasolla. Suojageotekstiili valmistetaan yleensä polypropeenista tai HDPE:stä, jonka kemiallinen kestävyys on parempi. Suojageotekstiili liitetään yhteen hitsaamalla tai ompelemalla, mutta limitys on myös mahdollinen. Limitäessä limityksen täytyy olla 10 % kankaan leveydestä tai enintään 500 mm. (Leppänen 2002, 57.)

Suojakerrokseksi kelpaavia materiaaleja on myös muita, kuten bentoniitti- tai hiekkamatto. Hiekkamatossa yhdistyvät geotekstiilin sekä hiekan hyvät puolet. Kyseisiä materiaaleja käytettäessä sisäinen vahvuus rakentaessa luiskia on huomioitava. (Leppänen 2002, 57.)

### 3.7 Salaojakerros

Salaojakerroksen tehtävinä on kerätä jätetäytöstä suotautuva vesi, vähentää veden aiheuttamaa painetta tiivistysrakenteen päälle sekä mahdollistaa salaojaputkiston rakentamisen kerrokseen. Salaojituksen keräämät suotovedet pumpataan pois ja johdetaan käsittelyyn puhdistusta varten. Salaojakerros rakennetaan yleisesti salaojasorasta tai -murskeesta. (Tammirinne ym. 2004, 73; Leppänen 2002, 57.)

Kerrosmateriaalin ja salaojaputkiston täytyy kestää suotovesien aiheuttamaa kemiallista ja biologista räsitusta ilman vedenjohtavuuden liiallista heikkenemistä. Suotovesien mukana kulkeutuu myös hienoaineksia, jotka huomioidaan materiaalia valittaessa. Tämän vuoksi salaojaputkistoon asennetaan huuhtelujärjestelmä. Huuhtelujärjestelmällä putkisto voidaan tarvittaessa puhdistaa. Kerrosmateriaalin ja salaojaputkien on kestettävä työkoneiden, jätepenkereen sekä jätepenkereen rakentamisen aiheuttamaa räsitusta. (Tammirinne ym. 2004, 73; Leppänen 2002, 58.)

Valtioneuvoston päätöksessä kaatopaikoista (861/97) määrätään salaojakerroksen minimipaksuudeksi  $h \geq 0,5$  m. Salaojakerroksen vedenläpäisevyyskerroin on oltava vähintään  $10^{-3}$  m/s. (Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista 861/97.) Salaojakerroksen ohjeellisena rakeisuusalueena voidaan pitää 16...32 mm, ja se tulisi rakentaa salaojasorasta tai -murskeesta, jonka tulisi olla pyöreärakeista. Kerroksen suositeltava kaltevuus putkistoiden suuntaan on 3 % ja putkistoiden suunnassa 1 %. (Leppänen 2002, 57–58.)

### 3.8 Suodatinkerros

Suodatinkerroksen tehtäviä ovat suojata salaojakerrosta sekoittumasta yläpuoliseen jätetäyttöön, estää suotovesien mukana irtoavien kiintoainesten kulkeutuminen salaojakerrokseen ja estää salaojakerroksen tukkeutuminen. Kerros voidaan rakentaa maa-aineksesta tai suodatinkankaasta. (Tammirinne ym. 2004, 72; Leppänen 2002, 58.)

Suodatinkerrokseen kohdistuu myös erilaisia rasituksia, kuten suotovesien aiheuttama virtaus sekä jätetäytöstä irtoava hienoaines. (Tammirinne ym. 2004, 73.)

Suodatinkerrokselta edellytetyt ominaisuuksia voivat olla riittävä materiaalin suodattavuus, riittävä suodattavuus salaojakerrosta vastaan ja maakerroksen vähimmäispaksuus, joka on 0,1 m. Suodatinkankaan on oltava vähintään luokkaa kolme ja painon yli 200 g/m<sup>2</sup>. (Tammirinne ym. 2004, 73.)

### 3.9 Suoja-, salaoja- ja suodatinkerroksen laadunvarmistus

Suojakerrosta toteutettaessa täytyy varoa tiivistyskalvoa, ettei siihen pääse syntymään vaurioita. Suojakerroksen laatua tarkkaillaan seulonnoilla ja mittauksilla. Seulonnoilla tarkistetaan oikea rakeisuus. Mittauksilla, joko tasolaserilla tai takymetrillä, kerroksen oikea paksuus. Salaoja- ja suodatinkerroksen laadunvarmistuskeinot ovat samoja kuin suojakerroksella. Salaojakerroksen vedenläpäisevyys täytyy tarkistaa aina uudelleen, jos rakeisuus muuttuu alkuperäisestä. (Leppänen 2012, 117.)

## 4 SIVUTUOTTEET

Seuraavaksi esiteltävät sivutuotteet ja niitä koskevat erityisvaatimukset on kerätty ympäristölupapäätöksistä 2004–2012. Tiedot kerättiin kahdeksasta eri lupapäätöksestä.

### 4.1 Sivutuotteet kaatopaikan pohjarakenteissa

Sivutuotteilla voidaan korvata kaatopaikan pohjarakenteesta alusrakenne, mineraalinen tiivistyskerros, suojakerros, salaojakerros tai suodatinkerros. Ainoastaan keinotekoista eristettä ei voida korvata. Yleisimmin käytössä ovat olleet kivihiilen palamistuotteena syntyvät tuhkat ja metallisteollisuudessa syntyvät erilaiset kuonat. Metsäteollisuuden sivutuotteista soodasakka on ollut käytössä kaatopaikan pohjarakenteissa. Turve, betonimurske, rengasrouhe ja tiilimurske ovat myös hyödynnettävissä.

Kaatopaikan pohjarakenteen alusrakenteeksi riittää yleisesti tasoon tasattu perusmaa, mutta joissakin tapauksissa sen kantavuus ei yksinään riitä tai epätaisuuudet ovat niin suuria, että tarvitaan täytettä. Tällöin alusrakenteen rakentamiseen voitaisiin käyttää teräskuonamursketta, betonimursketta, tiilimursketta tai soodasakan ja lentotuhkan sekoitusta. Mineraalinen tiivistyskerros on haastava rakennettava sivutuotteista, sillä vedenläpäisevyys vaatimus on tiukka. Sen rakentaminen onnistuu maamateriaalin ja bentoniitin seoksen lisäksi turpeesta tai soodasakan ja lentotuhkan seoksesta. Soodasakan ja lentotuhkan seosta ei ympäristölupien 2004–2012 perusteella ole vielä käytetty varsinaisessa mineraalisessa tiivistyskerroksessa. Sekoitusta on käytetty uuden ja vanhan kaatopaikan siirtymärakenteessa, ja sen perusteella käyttö voisi olla myös mahdollista mineraalisessa tiivistyskerroksessa. Keinotekoisien eristeen suojakerroksen hiekka tai suojatekstiili on mahdollista korvata lentotuhkalla tai teräskuonalla. Salaojakerroksen sora voidaan korvata teräskuona- tai masuunikuonamurskeella, betonimurskeella tai rengasrouheella. Ylin suodatinkerros voidaan toteuttaa



umyhdisteet saadaan pestyä talteen ja soodasakka voidaan kuivata rakentamisen kannalta haluttuun kosteuteen, ennen kuin se otetaan käyttöön. (Turunen 2003, 14.)

Soodasakkaa ei yksinään voida käyttää mihinkään rakenteeseen, vaan sen kanssa täytyy sekoittaa lentotuhkaa. Soodasakan ja lentotuhkan ominaisuudet vaikuttavat siihen, millainen seos tarvitaan. Alusrakennetta rakennettaessa on käytetty seosta 30 % soodasakkaa ja 70 % tuhkaa, mutta silloin soodasakkaa ei ole kuivattu, vaan sen vesipitoisuus on ollut hyvin suuri, jopa 120 %. Siirtymärakennetta rakennettaessa on käytetty seosta, jossa on 50 % soodasakkaa ja 50 % lentotuhkaa. Lisäksi siirtymärakenteessa käytettiin bentoniittimattoa, jotta päästiin riittävään tiiveyteen.

Soodasakan ja lentotuhkan rakentamisessa oikean seossuhteen ja oikean tiivistävän sekä määrän löytäminen ovat suurimpia haasteita.

#### 4.4 Teräskuona- ja masuunikuonamurske

Kuonalajeja muodostuu metallien sulatuksen yhteydessä. Sula kuona voidaan jäähdyttää hitaasti ajamalla se penkkaan jäähtymään. Jäähtynyt kuona voidaan myöhemmin murskata haluttuun raekokoon ja seuloa lajikkeiksi. (Lillman 2009, 7.)

Kuonamurskeilla on hyvä kantavuus, ja niiden käsiteltävyys ei eroa tavallisista maamateriaaleista. Kuonamurskeilla voidaan saada jopa parempi kantavuus kuin maamateriaaleilla. (Ruukki 2013.) Helppo rakennettavuus ja murskaus mihin tahansa raekokoon mahdollistavat erilaisten kuonamurskeiden käytön hyvin monipuolisesti kaatopaikan pohjarakenteissa. Hyvien kantavuusominaisuuksien vuoksi kuonamurskeet ovat parhaimmillaan alusrakenteen rakentamisessa, mutta niitä voidaan myös käyttää suodatinkerroksen, suojakerroksen sekä sala-  
ojakerroksen rakentamiseen.

#### 4.5 Turve

Turve ei itsessään ole sivutuote, mutta se on uusiutuva luonnonvara ja sillä voidaan korvata uusiutumattomia maamateriaaleja. Pääasiassa Suomessa tuotettu turve käytetään lämpöenergian tuottamiseen. Turve syntyy kuolleista kasvin osista maatumalla hyvin kosteissa oloissa. Lähes hapettomat ja kosteat olot aiheuttavat sen, että kasvit hajoavat heikosti ja syntyy turvekerros. Suomessa on paljon soita ja olosuhteet ovat sellaiset, että turpeen tuotanto on mahdollista. (Bioenergia 2013.)

Turve on oikein tiivistettynä hyvin tiivis materiaali ja vedenläpäisevyys jää hyvin pieneksi. Turpeella on hyvä haitta-aineiden pidätyskyky. Parhaiten turve sitoo raskasmetalleja; esimerkiksi kromin sitoutuminen turpeeseen on 100-kertainen verrattuna saveen. Turpeella on myös hyvä työstettävyys, sillä kosteana se ei pölyä ja sitä voidaan työstää sekä sateisella että kuivalla ilmalla. Tarvittaessa turvekerros voidaan jättää talveksi peittämättä. Se mahdollistaa joustavammat rakennusaikataulut. (Bioenergia 2013.)

Suurin haaste rakennettaessa turpeesta tiivistyskerrosta on sen painuminen tulevista kuormista. Turve on kuitenkin joustava materiaali, joten painuminen ei aiheuta siihen haitallisia vaurioita niin helposti kuin maamateriaaleille. Tulevat kuormat arvioidaan ennen rakentamista tarkasti, ja vasta tämän jälkeen voidaan arvioida, kuinka paksu kerros turvetta tarvitaan. Rakennettava turvekerros voi olla jopa 0,5 metrin valtioneuvoston päätöksen vaatimusta paksumpi. Turpeen tiivistämiseen riittää yliajot tela-alustaisella kaivinkoneella tai puskutraktorilla. Turpeelle saadaan rakentamisvaiheessa raja-arvot ylittävä tiiviys, mutta painumisen ansiosta tiiviys vain paranee ajan kuluessa. Tämä on yksi turpeen parhaista puolista. (Länsi-Suomen ympäristölupavirasto 2006.)

#### 4.6 Betoni- ja tiilimurske

Betoni ja tiilimurske ovat keskenään hyvin samankaltaisia materiaaleja. Betonimursketta saadaan sekä betonitehtaan että purkutyömaan betoneista. Tiili-

mursketta voidaan myös tehdä tehtaalla hylkyyn menevistä tai purkutyömaalta saatavista tiilistä. Betoni- ja tiilimurske voidaan murskata haluttuun raekokoon hyvin helposti. (Rudus 2008, 6; Kauppila 2007, 45.)

Betoni- ja tiilimurskeet ovat rakennettavuudeltaan hyvin samankaltaisia kuin luonnon maa-ainekset. Niiden kuljetus, levitys ja tiivistys ei siis eroa tavallisista maa-aineksista. Betonimurskeella on taipumusta lajittua. Lajittuminen täytyy estää, mutta jos näin käy, se sekoitetaan uudelleen tai korvataan lajittunut materiaali uudella. (Rudus 2008, 8.)

Betonimurskeen tiivistystuloksesta saadaan paras mahdollinen, kun vesipitoisuus on oikea ja materiaali pidetään kosteana rakentamisen jälkeen. Paras tiivistystulos saadaan pitämällä betonimurske optimivesipitoisuudessa ja antamalla veden imeytyä murskeeseen 5-15 minuuttia. Ohjeita kosteuden ylläpitoon löytyy Kuntoliiton tai Tiehallinnon betonimurskeohjeista. (Rudus 2008, 9.)

Tiilimurskeen suurin ero betonimurskeeseen on sen kantavuus. Tiilimurskeelle ei saada niin hyvää kantavuutta, koska se ei tiivisty samalla tavalla kosteissa oloissa kuin betonimurske. (Kauppila 2007, 45.) Koska tiilimurske ei tiivisty kovaksi, se soveltuu monipuolisemmin eri pohjarakenteisiin kuin betonimurske. Betonimurske soveltuu parhaiten alusrakeeseen. Tiilimursketta voidaan käyttää myös suodatin-, salaoja ja suojakerroksen rakentamiseen.

#### 4.7 Rengasrouhe

Rengasrouhe tehdään vanhoista autojen renkaista rouhimalla 50–300 mm:n rouhetta rakeisuusvälille riippuen kohteen tarpeista. Rengasrouhe on hieman vettä painavampaa eli se on reilusti luonnon maa-aineksia kevyempää. (Aurinko 2012, 10–11.)

Rengasrouheen keveys on hyvä asia. Se ei aiheuta ongelmia kuljetusten kanssa, ja rouheen paino ei rasita kaatopaikan salaojaputkistoa niin paljon kuin maamateriaali. Materiaalin vedenjohtavuus on hyvä, mutta siinä tulee huomioida rengasrouheen suuri kokoonpuristuvuus. Kokoonpuristuvuus on 5-50 % riip-



puen päälle tulevasta kuormasta. Pohjarakenteen salaojakerroksessa kokoonpuristuvuus on lähempänä maksimiarvoa. (Aurinko 2012, 14.) Vedenjohtavuudesta johtuen rengasrouhe soveltuu käytettäväksi vain salaojakerrokseen.

Rengasrouheella rakennettaessa ei tarvita erityiskalusta. Kumipyöräinen kalusto tulee kuitenkin huomioida, sillä rengasrouheen teräslangat voivat vaurioittaa pyöriä. Rengasrouheen alkutiivistys voidaan suorittaa tarpeeksi painavalla mekaanisella jyräkalustolla. Lopullinen tiivistys tapahtuu vasta kerrosta kuormittaessa. Valmis rengasrouhekerros tarvitsee päällensä suodatinkankaan ennen suodatinkerroksen rakentamista. Muuten suodatinkerros sekoittuu helposti kuivatuskerrokseen ja vaikuttaa vedenjohtavuuteen. (Aurinko 2012, 23–24.) Kumipyöräinen kuljetuskalusto ei kuitenkaan aiheuta ongelmia, kun rakentamisjärjestys suunnitellaan niin, ettei valmiin kerroksen päällä ole tarvetta ajaa.

Rengasrouheella rakentaessa kerrospaksuudet voivat olla ohuempia, mitä valtioneuvoston päätökset kaatopaikoista 861/1997 määrää. Riittävään kerrospaksuuteen vaikuttaa tulevan jätetäytön paksuus, rakenteen tukkeutuminen ja rouhepalan koko. Oikean kerrospaksuuden voi mitoittaa seuraamalla oppaan ohjeita. Opas on nimeltään Ohje rengasrouheen käyttämisestä ja mitoittamisesta kaatopaikkarakenteissa. (Aurinko 2012, 32.) Maa-ainesta ohuempi rakennekerros säästää kuljetuskuluissa ja on nopeampi rakentaa.

## 5 SIVUTUOTTEET KAASTOPAIKAN POHJARAKENTEISSA

### 5.1 Yleistä

Kaatopaikan pohjarakenteen osia voidaan korvata erilaisilla sivutuotteilla. Sivutuotteen käyttö pohjarakenteissa ei ole yksinkertaista, sillä siihen tarvitaan aina ympäristöviranomaisen myöntämä ympäristölupa. (Wahlström ym. 2004, 15.) Ympäristöluvan hankkiminen taas kuluttaa paljon aikaa ja ennen kaikkea lisää rakentamisen kustannuksia. Jotta ympäristölupa voitaisiin myöntää sivutuotteelle, täytyy sille tehdä paljon erilaisia ennakkokokeita ja selvityksiä. Näitä ennakkokokeita ja selvityksiä varten VTT on tehnyt tutkimuksen, jossa pyrittiin luomaan selkeä ja toimiva menettelytapa teollisuuden sivutuotteiden kaatopaikkakelpoisuuden arviointiin. Tutkimuksen tuloksena syntynyt ohje on nimeltään Kaatopaikkojen tiivistysrakennemateriaaleina käytettävien teollisuuden sivutuotteiden ympäristökelpoisuus.

Sivutuotteiden käyttöä on jo helpotettu valtioneuvoston asetuksella 591/2006 tietyissä rakenteissa, joihin kaatopaikan pohjarakenteet eivät kuulu. Asetuksessa mainitaan betonimurske sekä kivihiilen, turpeen ja puuperäisen aineksen polton lentotuhkat. Listan sivutuotteiden haitta-aineksille on määriteltä rajat arvot, ja sivutuotteita saa käyttää tekemällä ympäristösuojelulain 65. §:n 1. momentin mukainen ilmoitus elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukseen. (Valtioneuvoston asetus 591/2006.) Kaatopaikat on todennäköisesti rajattu pois, koska niiden rakenteille ja erityisesti pohjarakenteille on määriteltä omat tarkat vaatimuksensa omassa asetuksessa. Erityisesti pohjarakenteen vedenläpäisevyysvaatimus on haastava, ja se erottaa kaatopaikan pohjarakenteen tavallisesta maarakentamisesta.

Valtioneuvoston asetuksen 591/2006 kaltaisen helpotuksen tulisi koskea myös kaatopaikkoja. Sivutuotteiden tuotteistaminen suoraan kaatopaikan pohja- tai pintarakenteelle helpottaisi käyttöä selvästi. Tämän lisäksi luotaisiin selvät oh-

jeet, miten sivutuotetta tulee käyttää, jotta sillä saadaan määräykset täyttävä rakenne. Tämän jälkeen pelkkä ilmoitus sivutuotteen käytöstä viranomaiselle riittäisi. Nykyinen ympäristölupakäytäntö on hidas ja työläs. Lupaprosessi on niin työläs, ettei pienemmän tai keskisuuren yrityksen ole mahdollista lähteä suunnittelemaan sivutuotteen käyttöä vaikka se olisi muuten mahdollista. Lisäksi lupaprosessi on epäselvä. Lupa-vaadittavat kokeet eivät ole selviä kaikille, ja vaadittavien ennakkokokeiden määrät vaihtelevat ympäristölupapäätösten välillä.

Yleisesti sivutuotteiden käyttö on selvästi yleisempää kaatopaikan pintarakenteissa kuin pohjarakenteissa. Tähän on muutamia helposti pääteltäviä syitä. Pohjarakenteen tulee tiukan vedenläpäisevyysvaatimuksen lisäksi kestää kemiallista räsitusta, joka johtuu kaatopaikan jätteistä suotautuvasta vedestä. Kun taas pintarakenteen vedenläpäisevyydelle ei ole määrätty tiukkaa arvoa; vain kerrospaksuudet on määrätty. (Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista 861/97.) Lisäksi pintarakenteen kemiallinen räsitus on pienempää kuin pohjarakenteen. Kaatopaikan pohjarakenne joutuu myös kovemmalle kuormitukselle. Pohjarakenne kuormittuu rakennusaikana koneista, täytön aikana koneista ja jätteistä sekä pintarakenteesta ja sen rakentamisesta. Pintarakenteelle kuormitukset tulevat rakennusaikana koneista. Tämän vuoksi kuormitukset myös aiheuttavat epävarmuustekijöitä sivutuotteiden käytölle. Näin ollen on helpompaa luottaa vanhaan tuttuun luonnon materiaaliin kuin lähteä tutkimaan ja kokeilemaan jotakin uutta ja mahdollisesti epävarmaa.

## 5.2 Käytön yleisyys

Työssä on tutkittu sivutuotteiden käyttöä pohjarakenteissa vuosilta 2004–2012 Suomessa. Selvityksessä käytettiin apuna aluehallintoviraston sivuja, josta löytyy ympäristölupapäätökset vuodesta 2010 eteenpäin. Valtion ympäristöhallinnon sivujen ympäristö.fi kautta löytyvät ympäristölupapäätökset vuosilta 2004–2010. Sellaisia ympäristölupapäätöksiä löytyi kahdeksan kappaletta, jotka käsittelevät sivutuotteiden käyttöä pohjarakenteissa. Sivutuotteiden käyttö pinta- ja

pohjarakenteissa on selvästi nousussa, sillä vuonna 2002 tehdyssä selvityksessä löytyi arviolta 20 ympäristölupaa, jotka käsittelivät sivutuotteiden käyttöä pinta- ja pohjarakenteissa. (Wahlström ym. 2004, 15.) Vuonna 2009 tehdyssä selvityksessä löytyi 54 ympäristölupapäätöstä koskien kaatopaikan pintarakenteita ja sivutuotteiden käyttöä (Ronkainen 2009, 83). Suunta on oikea, sillä kaatopaikkojen rakentaminen sivutuotteista on järkevämpää kuin niiden ajaminen sinne jätteenä.

Lupahakemuksia tutkiessa huomaa selvästi, kuinka sivutuotteiden käyttö pohjarakenteissa on selvästi yleisempää sivutuotetta prosesseissaan tuottavan laitoksen omalla kaatopaikalla kuin kaatopaikalla, joka ei sijaitse tehtaan yhteydessä. Vuosien 2004–2012 lupahakemuksissa koskien kaatopaikan pohjarakenteita löytyi vain yksi hakemus, joka ei liittynyt teollisuuslaitoksen yhteydessä olevaan kaatopaikkaan. Tämä kaatopaikka oli Heinsuon kaatopaikka Kotkassa.

### 5.3 Sivutuotteen käytön suunnittelu

Sivutuotteiden käytölle kaatopaikan pohjarakenteissa ei ole olemassa omia erillisiä asetuksia ja säädöksiä. Myöskään sivutuotteen käyttökelpoisuustestaukselle ei ole olemassa omia määräyksiään, tästä johtuen ympäristölupapäätöksissä mainitaan useasti VTT:n tekemä tutkimus kaatopaikkojen tiivistysrakennemateriaaleina käytettävien teollisuuden sivutuotteiden ympäristökelpoisuudesta. Kaatopaikkoja koskeva lainsäädäntö ja asetukset määrittelevät, millainen kaatopaikan pohjarakenteen tulee olla. Sivutuotteen tulee tietenkin täyttää kaikki nämä vaatimukset. Pohjarakenteen uusiminen on lähes mahdotonta, kun kaatopaikka on täytetty. Tämän vuoksi ympäristölupapäätöksissä määrätään paljon erilaisia soveltuvuuskokeita käytettävälle sivutuotteelle. Soveltuvuuskokeet koskevat sekä ympäristöllistä että teknistä soveltuvuutta. Kaikissa tapauksissa soveltuvuuskokeet haluttiin teettää ulkopuolisella asiantuntijalla. Kokeet vievät paljon aikaa, ja se tulee huomioida aikatauluissa ja suunnittelussa. Lisäksi koetulokset haluttiin ympäristölupapäätöksenteon tueksi useita kuukausia ennen pää-

töksen tekoa. Haluttu aika vaihteli kahden ja kuuden kuukauden välillä. Tämä aika yksinään jo aiheuttaa ongelmia tiukkojen aikataulujen kanssa.

Ympäristölupapäätöksistä löytyi useita vaatimuksia koskien sivutuotteen käyttöä. Ehdoton vaatimus kaikissa lupapäätöksissä oli, että sivutuotteen on täytettävä vähintään tavanomaisen jätteen vaatimukset, jotta sitä voidaan käyttää rakentamisessa. Muita ehdottomia vaatimuksia ei ollut, vaan vaatimukset vaihtelivat luvittain. Joissakin tapauksissa saatettiin jopa vaatia sivutuotteen täyttävän pysyvän jätteen vaatimukset. Kyseinen vaatimus tuli esiin suunniteltaessa mineraalista tiivistyskerrosta sivutuotteesta.

Soveltuvuuskokeiden perusteella saatetaan antaa kaatopaikkojen lainsäädännöstä ja asetuksista poikkeavia määräyksiä koskien sivutuotteella rakentamista. Näitä määräyksiä voivat olla mineraalisen tiivistyskerroksen vedenläpäisevyysarvon tiukentaminen, mikäli käytettävän sivutuotteen ominaisuuksien oletetaan muuttuvan vuosien saatossa. Lisäksi rakenteen osa saatetaan haluta rakennettavan valtioneuvoston päätöstä paksummaksi. Paksumpi rakenne tarkoittaa urakoitsijan kannalta suurempia massoja ja näin ollen enemmän työtä urakoitsijalle. Tämä voi johtaa pidempiin rakennusaikatauluihin. Paksumpaa rakennetta ja tiukennettua vedenläpäisevyyttä vaadittiin tiivisturpeen kohdalla. Savialueille vaadittiin 0,55 metrin kerros tiivistettyä turvetta ja hiekka-alueille 1,05 metrin kerros.

Kaatopaikkojen päästöjä tarkkaillaan aina. Päästöjen tarkkailu toteutetaan kaatopaikalta suotautuvista vesistä tai kaasuista. Sivutuotteen käyttö saattaa kuitenkin lisätä päästöjen tarkkailua. Joissakin ympäristölupapäätöksissä rakentajalta edellytettiin rakennusaikaista päästöjen tarkkailua. Tällä halutaan varmistaa se, ettei sivutuotteesta liukene ympäristöön haitallisia aineita. Ympäristölupapäätöksissä päästötarkkailua haluttiin toteuttaa kaatopaikan maaperälle, rakenteesta valuille vesille ja lähimmille pohjavesille, mikäli niitä on järkevän matkan päässä. Erityisesti päästötarkkailua haluttiin, kun sivutuotetta oli tarkoitus käyttää alusrakenteessa tai salaojakerroksessa. Päästötarkkailu hoidettiin pohjavesiputkilla. Pohjavesiputkia vaadittiin teräskuonan ja masuunikuonan käytön yhteydessä. Soodasakan ja tuhkan sekoituksen yhteydessä tarkkailu

haluttiin suorittaa kaatopaikalta valuvista pintavesistä ja tehtaan pohjavesitarkkailuohjelmaa piti tarkentaa. Toisessa tapauksessa, jossa käytettiin soodasakan ja lentotuhkan sekoitusta alusrakenteessa, ei vaadittu erillisiä päästötarkkailuja koskien sivutuotteiden käyttöä. Kaatopaikan sen hetkinen päästötarkkailu riitti yksinään.

Ympäristöluvista mainittujen seikkojen lisäksi urakoitsijan tulee huomioida sivutuotteiden kuljetusmatkat. Mikäli kaatopaikkaa laajennetaan ja vanhalle osalle tuodaan hyödynnettäväksi kelpavaa sivutuotetta, ei kuljetusmatka muodostu ongelmaksi. Monissa tapauksissa kuljetuskustannukset saattavat nousta sivutuotteen käytön esteeksi, sillä käyttökelpoista luonnon maamateriaalia on yleensä helpommin saatavilla.

Taulukossa 1 on koottuna työssä käsitellyt sivutuotteet. Erityisvaatimukset voivat vaihdella ympäristölupien välillä; vaikka kyseessä olisi lupien välillä sama sivutuote, sekä rakennekerroksen osa.

Taulukko 1. Sivutuotteet pohjarakenteissa ja mahdolliset erityisvaatimukset.

RAKENNEKERROS	SIVUTUOTE	ERITYISVAATIMUKSIA
Suodatinkerros	Lentotuhka	
	Masuunikuonamurske	
	Teräskuonamurske	
	Tiilimurske	
Salaojakerros	Masuunikuonamurske	Pohjavesiputkien lisääminen
	Rengasrouhe	
	Teräskuonamurske	Pohjavesiputkien lisääminen
	Tiilimurske	
Suojakerros	Lentotuhka	
	Teräskuonamurske	
	Tiilimurske	
Keinotekoinen eriste	-	
Mineraalinen tiivistyskerros	Soodasakan ja lentotuhkan seos	
	Turve	Paksummat rakennekerrokset ja tiukempi vedenläpäisevyys
Alusrakenne	Betonimurske	
	Soodasakan ja lentotuhkan seos	Pintavesitarkkailu ja pohjavesitarkkailun tehostaminen
	Teräskuonamurske	Pohjavesiputkien lisääminen
	Tiilimurske	

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kaatopaikan pohjarakenne on haastava rakennettava. Sivutuotteen käyttö rakenteessa ei itsessään lisää rakentamisen haastetta merkittävästi, mutta sivutuotteen ympäristölupaprosessi sen sijaan lisää. Aikaa lupaprosessiin kuluu myös reilusti. Sivutuotteesta tulee tehdä selvitys ympäristölupaa varten, jossa todistetaan sen kelpoisuus rakenteessa. Tarvittavista selvityksistä ei ole olemassa selviä määräyksiä, mikä hidastaa ja vaikeuttaa lupaprosessia hakijan kannalta. Vaadittavat selvitykset vaihtelevat jopa ympäristölupien välillä. Ympäristölupaprosessia voitaisiin helpottaa ja nopeuttaa luomalla selvät määräykset kokeista tai tekemällä valtioneuvoston asetuksen 591/2006 kaltainen ilmoituskäytäntö.

Sivutuotteiden käyttö on selvästi yleisempää kaatopaikan pinta- kuin pohjarakenteissa. Pohjarakenteen tiukka vedenläpäisevyysvaatimus, paine ja kemiallinen rasitus ajavat käyttämään varmempia ja tunnetumpia luonnon maamateriaaleja. Pohjarakenteen korjaaminen ongelmatilanteissa on todella vaikeaa, mikä lisää haasteita sivutuotteiden käytölle. Sivutuotteiden käyttö pohja- ja varsinkin pintarakenteissa on kuitenkin lisääntynyt Suomessa. Pääosin sivutuotteita käytetään teollisuuslaitosten omilla kaatopaikoilla, mikä johtuu juuri pitkästä ja haastavasta lupaprosessista. Sivutuotetta tuottava teollisuuslaitos säästää sivutuotteen käytössä helposti, koska materiaalit saadaan läheltä ja niitä ei tarvitse ajaa kauemmas muiden hallinnoimille kaatopaikoille.

Keinotekoista eristettä lukuun ottamatta kaikki pohjarakenteen osat on korvattavissa sivutuotteilla. Mineraalisen tiivistyskerroksen korvaaminen on kaikkein haastavinta sen tiukan vedenläpäisevyysarvon vuoksi. Mineraalinen tiivistyskerros on myös kovan paineen alla, mikä lisää haasteita. Turpeen käytön yhteydessä paineen vaikutus tulee tutkia erityisen tarkasti, sillä turve on herkkää muodonmuutoksille. Lupaprosessien perusteella suoja- ja suodatinkerros ovat helpoiten korvattavissa. Niiden kohdalla erityisvaatimukset ovat kaikkein vähäisimmät.

Sivutuotteilla rakennettaessa ei tarvita erityiskalusta. Materiaalien varastoinnit, työjärjestykset ja mahdolliset ylimääräiset laadunvarmistuskokeet täytyy huomioida. Lisäksi mahdollisesti pidemmät kuljetusmatkat voivat aiheuttaa lisätyötä. Erityisesti aikatauluja suunnitellessa edellä mainitut kohdat täytyy huomioida tarkasti. Hyvällä suunnittelulla ja ennakkoinnilla näistä ongelmista päästään eroon.



## LÄHTEET

Aurinko, H. 2012. Ohje rengasrouheen käyttämisestä ja mitoittamisesta kaatopaikkarakenteissa. Laatuinsinöörit Oy. Saatavissa myös [http://www.rengaskierratys.com/materials/Ohje\\_rengasrouheen\\_kayttamisesta\\_kaatopaikkarakenteissa\\_01102012.pdf](http://www.rengaskierratys.com/materials/Ohje_rengasrouheen_kayttamisesta_kaatopaikkarakenteissa_01102012.pdf).

Bioenergia ry. 2013. Tiiviturvetta kaatopaikkarakenteisiin. viitattu 14.3.2013. <http://www.turveinfo.fi/kayttotavat/turpeen-muu-kaytto/kaatopaikkarakenteet>.

Etelä-Suomen ympäristölupavirasto 2011. Lupanumero 52/2011/1, Dnro ESA-VI/699/04.08/2010. Saatavissa [http://www.avi.fi/fi/virastot/etelasuomenavi/Ymparistojavesitalousluvut/Ymparistoluvat/Documents/P%C3%A4%C3%A4t%C3%B6kset/Vuosi%202011/esavi\\_paatos\\_52\\_2011\\_1-2011-07-12.pdf](http://www.avi.fi/fi/virastot/etelasuomenavi/Ymparistojavesitalousluvut/Ymparistoluvat/Documents/P%C3%A4%C3%A4t%C3%B6kset/Vuosi%202011/esavi_paatos_52_2011_1-2011-07-12.pdf).

Etelä-Suomen ympäristölupavirasto 2012. Lupanumero 168/2012/1, Dnro ESA-VI/701/04.08/2010. Saatavissa [http://www.avi.fi/fi/virastot/etelasuomenavi/Ymparistojavesitalousluvut/Ymparistoluvat/Documents/P%C3%A4%C3%A4t%C3%B6kset/Vuosi%202012/esavi\\_paatos\\_168\\_2012\\_1-2012-10-22.pdf](http://www.avi.fi/fi/virastot/etelasuomenavi/Ymparistojavesitalousluvut/Ymparistoluvat/Documents/P%C3%A4%C3%A4t%C3%B6kset/Vuosi%202012/esavi_paatos_168_2012_1-2012-10-22.pdf).

Etelä-Suomen ympäristölupavirasto 2012. Lupanumero 230/2012/1, Dnro ESA-VI/240/04.08/2011. Saatavissa [http://www.avi.fi/fi/virastot/etelasuomenavi/Ymparistojavesitalousluvut/Ymparistoluvat/Documents/P%C3%A4%C3%A4t%C3%B6kset/Vuosi%202012/esavi\\_paatos\\_230\\_2012\\_1-2012-12-21.pdf](http://www.avi.fi/fi/virastot/etelasuomenavi/Ymparistojavesitalousluvut/Ymparistoluvat/Documents/P%C3%A4%C3%A4t%C3%B6kset/Vuosi%202012/esavi_paatos_230_2012_1-2012-12-21.pdf).

Hakulinen, M. 2008. Ympäristögeotekniikan perusteet. Suomen geoteknillinen yhdistys ry. Saatavissa myös <http://www.getunderground.fi/getfile.ashx?cid=72843&cc=3&refid=5>.

Itä-Suomen ympäristölupavirasto 2010. Lupanumero 20/10/1, Dnro ISAVI/52/04.08/2010. Saatavissa [http://www.avi.fi/fi/virastot/itasuomenavi/ymparistojavesitalousluvut/ymparistoluvat/Documents/P%C3%A4%C3%A4t%C3%B6kset/Vuosi%202010/isavi\\_paatos\\_20\\_10\\_1-2010-3-4.pdf](http://www.avi.fi/fi/virastot/itasuomenavi/ymparistojavesitalousluvut/ymparistoluvat/Documents/P%C3%A4%C3%A4t%C3%B6kset/Vuosi%202010/isavi_paatos_20_10_1-2010-3-4.pdf).

Itä-Suomen ympäristölupavirasto 2012. Lupanumero 52/2012/1, Dnro ISAVI/37/04.08/2012. Saatavissa [http://www.avi.fi/fi/virastot/itasuomenavi/ymparistojavesitalousluvut/ymparistoluvat/Documents/P%C3%A4%C3%A4t%C3%B6kset/Vuosi%202012/isavi\\_paatos\\_52\\_2012\\_1-2012-7-3.pdf](http://www.avi.fi/fi/virastot/itasuomenavi/ymparistojavesitalousluvut/ymparistoluvat/Documents/P%C3%A4%C3%A4t%C3%B6kset/Vuosi%202012/isavi_paatos_52_2012_1-2012-7-3.pdf).

Kauppila, H. 2007. Purku- ja raivausmateriaalien käsittely ja uusiokäytön luvanvaraisuus tierakentamisessa. Tiehallinto. Saatavissa myös [http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf2/4000594-vpurku\\_ja-raivausmat\\_kasitt\\_uusio.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf2/4000594-vpurku_ja-raivausmat_kasitt_uusio.pdf)

Kiviniemi, O.; Sikiö, J.; Jyrävä, H.; Ollila, S.; Autiola, M.; Ronkainen, M.; Lindroos, N.; Lahtinen, P.; Forsman, J. 2010. Tuhkarakentamisen käsikirja. Rambol. Saatavissa myös [http://energia.fi/sites/default/files/tuhkarakentamisen\\_kasikirja.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/tuhkarakentamisen_kasikirja.pdf).

Kortelainen, A. 2012. Kumibitumipohjaisien geomembraanien asentamisen laadunvalvonta. Insinööriyö. Oulun seudun ammattikorkeakoulu.

Leppänen, M. 2002. Kaatopaikan tiivistysrakenteet. Suomen ympäristökeskus. Saatavissa myös <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=12513&lan=FI>.

Leppänen, M.; Vahanne, P.; Ahonen, J. 2001. Tiivistysrakenteiden laadunvalvonta. SCC Viatek Oy. Saatavissa myös <http://www.ygoforum.fi/tiivlaat.pdf>.

Lillman, E. 2009. Tuhkat ja kuonat – nykytilanne. Etelä- ja Länsi-Suomen jätesuunnittelu. Saatavissa myös <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=99707&lan=sv>.

Länsi-Suomen ympäristölupavirasto 2006. Lupanumero 20/2006/1, Dnro LSY2006Y42. Saatavissa <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=55999>.

Länsi-Suomen ympäristölupavirasto 2009. Lupanumero 36/2009/1, Dnro LSY-2009-Y-56. Saatavissa <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=108163&lan=sv>.

Penttinen, S. 2008. Kaatopaikkarakentamisen yleisimmät laadunvalvontamittaukset. Insinööri-työ. Tampereen ammattikorkeakoulu.

Pohjois-Suomen ympäristölupavirasto 2007. Lupanumero 74/07/2, Dnro Psy-2007-y-26. Saatavissa <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=70732>.

Ronkainen, N. 2009. Teollisuuden sivutuotteiden hyötykäyttö kaatopaikkarakenteissa – kansainvälinen vertailu. Diplomityö. Oulun yliopisto.

RT 15–710106. 2013. Kaatopaikkarakenteet.

Rudus. 2008. Betoroc-murskeohje. Rudus. Saatavissa myös <http://www.rudus.fi/Download/24254/Betoroc-ohje.pdf>.

Ruukki. 2013, viitattu 13.3.2013. <http://www.ruukki.fi/Tuotteet-ja-ratkaisut/Mineraalituotteet/Maa-ja-tienrakennus>.

Tammirinne, M.; Juvankoski, M.; Laaksonen, R.; Rathmayer, H. 2004. Pohjavedensuojausrakentein käyttöikämitoitus ja tuotehyväksyntä. VTT. Saatavissa myös [http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2004/pohjaveden\\_suojausrakenteet.pdf](http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2004/pohjaveden_suojausrakenteet.pdf).

Turunen, O. 2003. Metsäteollisuuden kaatopaikkatoiminnan kehittäminen. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Wahlström, M.; Laine-Ylijoki J.; Eskola P.; Vahanne P.; Mäkelä E.; Vikman M.; Venelampi O.; Hämäläinen J.; Frilander R. 2004. Kaatopaikkojen tiivistysmateriaaleina käytettävien teollisuuden sivutuotteiden ympäristökelpoisuus. VTT. Saatavissa myös <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2004/T2246.pdf>.

Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista 861/97 ja sen muutos 1049/1999.

Viapipe. 2013. Pohjaveden suojaus. Viitattu 28.1.2013 <http://www.viapipe.fi/tuotteet/pohjaveden-suojaus>.

Ympäristönsuojeluasetus 169/2000.

Ympäristönsuojelulaki 86/2000.