



Ulla-Maija Mroueh, Pasi Vahanne, Paula Eskola,  
Antti Pasanen, Margareta Wahlström, Esa Mäkelä &  
Rainer Laaksonen

## Pilaantuneiden maiden kunnostushankkeiden hallinta

Yleinen Teollisuusliitto YTL  
Ympäristöyritysten Liitto ry  
VTT



# **Pilaantuneiden maiden kunnostushankkeiden hallinta**

Ulla-Maija Mroueh, Pasi Vahanne, Paula Eskola, Antti Pasanen,  
Margareta Wahlström & Esa Mäkelä

VTT Prosessit

Rainer Laaksonen

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka



ISBN 951-38-6468-5 (nid.)

ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 951-38-6469-3 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)

ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)

Copyright © VTT 2004

#### JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT

puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 4374

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT

tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland

phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4374

VTT Prosessit, Biologinkuja 7, PL 1602, 02044 VTT

puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 7026

VTT Processer, Biologgränden 7, PB 1602, 02044 VTT

tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 7026

VTT Processes, Biologinkuja 7, P.O.Box 1602, FIN-02044 VTT, Finland

phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 7026

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Lämpömiehenkuja 2, PL 1800, 02044 VTT

puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 463 251

VTT Bygg och transport, Värmemansgränden 2, PB 1800, 02044 VTT

tel. växel (09) 4561, fax (09) 463 251

VTT Building and Transport, Lämpömiehenkuja 2, P.O.Box 1800, FIN-02044 VTT, Finland

phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 463 251

Mroueh, Ulla-Maija, Vahanne, Pasi, Eskola, Paula, Pasanen, Antti, Wahlström, Margareta, Mäkelä, Esa & Laakosonen, Rainer. Pilaantuneiden maiden kunnostushankkeiden hallinta [Quality management of contaminated soil remediation project]. Espoo 2004. VTT Tiedotteita – Research Notes 2245. 317 s. + liitt. 44 s.

**Avainsanat** contaminated soil, remediation, quality control, safety, excavation, transport, stabilizing, thermal desorption, purification, composting

## Tiivistelmä

Tämän raportin tavoitteena on toimia perusohjeena hyvästä käsittely- ja puhdistuskäytännöstä tavanomaisimmille pilaantuneiden maiden kunnostusmenetelmille. Hyvän kunnostuskäytännön tunnusmerkkejä ovat mm. seuraavat:

- Kunnostushanke toteutetaan hallitusti siten, että päästään vaadittuun lupaehtojen ja tehtyjen sopimusten mukaiseen laatuun.
- Käsitellyt maa-ainekset täyttävät tulevan sijoituskohteen asettamat vaatimukset.
- Käsittelyprosessi ei aiheuta haittaa ympäristölle, mikä tarkoittaa, että 1) haitta-aineiden leviäminen estetään, 2) päästöt ilmaan, jätevedet ja jätteet käsitellään ja sijoitetaan hallitusti ja 3) työntekijöiden terveys turvataan.
- Käytetään parasta käyttökelpoista tekniikkaa (BAT) ja otetaan käsittelymenetelmän valinnassa huomioon jätelainsäädännön periaatteiden mukainen jätehierarkia sekä kokonaisvaikutukset ympäristöön.

Ohje kattaa seuraavat menetelmät: huokoskaasukäsittely, kompostointi, termodesorptio, pesu, stabilointi ja eristäminen. Lisäksi erillisessä osassa käsitellään kunnostuksiin liittyviä yleisiä toimintaperiaatteita, kuten lainsäädännön vaatimukset, osapuolten tehtävät ja pätevyysvaatimukset, näytteenotto- ja analyysimenetelmät sekä suunnitteluasiakirjat ja raportointi. Myös kunnostuksille yhteisiä työvaiheita, joita ovat kaivu, kuljetukset, välivarastointi, hyötykäyttö ja kaatopaikkasijoitus, kuvataan erikseen.

Menetelmien soveltuvuuden arvioimiseksi kuvataan menetelmäkohtaisesti merkittävimmät erityyppisten haitta-aineiden ja maa-ainesten käsittelyssä huomioon otettavat seikat, menetelmien rajoitukset ja soveltuvimmat ennakkotutkimusmenetelmät. Raportissa käsitellään myös tarvittavia ympäristövaikutusten hallintatoimenpiteitä sekä mahdollisia työturvallisuusriskejä ja niiden hallintakeinoja.

Kunnostustyönaikaisen laadunvalvonnan helpottamiseksi esitetään tarkistuslistoja työmaalla seurattavista ominaisuuksista sekä suosituksia laadunvalvonnan koemenetelmistä, valvottavista ominaisuuksista, näytteenottotiheydestä, näytteenottomenetelmistä ja laadunvalvontatulosten dokumentoinnista. Lisäksi kuvataan lopputuloksen arvioinnissa huomioon otettavat ja raportoitavat seikat sekä esitetään suosituksia lopputuloksen hyväksyttävyyden arvioinnin periaatteista.

Mroueh, Ulla-Maija, Vahanne, Pasi, Eskola, Paula, Pasanen, Antti, Wahlström, Margareta, Mäkelä, Esa & Laakosonen, Rainer. Pilaantuneiden maiden kunnostushankkeiden hallinta [Quality management of contaminated soil remediation project]. Espoo 2004. VTT Tiedotteita – Research Notes 2245. 317 p. + app. 44 p.

**Keywords** contaminated soil, remediation, quality control, safety, excavation, transport, stabilizing, thermal desorption, purification, composting

## Abstract

This report presents guidance on good treatment practices for the most common contaminated soil remediation methods. Good remedial practice is characterized by:

- Controlled implementation of the remedial project to achieve the quality standard defined by permit conditions and contracts.
- Treated soil will be in accordance with the requirements of the selected disposal/utilization site.
- The treatment process will not harm the environment, which means that 1) the spreading of harmful substances is prevented; 2) the controlled treatment of waste, waste water and emissions to air, and 3) the health of the workers will be safeguarded.
- Best available technology (BAT) is used, and the waste hierarchy of waste legislation and integrated environmental impacts are taken into consideration.

The following treatment methods are covered by the guidance: Soil vapour extraction, bioremediation by composting, soil washing, thermal desorption, solidification/ stabilization, and isolation/containment. In addition, matters common to all remediation projects, such as legislative requirements, responsibilities and qualifications of operators, sampling and analysis methods as well as the design documents and project submittals are dealt with in a separate part of the report. The requirements for operational stages, which are common to several treatment methods, such as excavation, transport, intermediate storage, utilization and disposal, are described in a separate part.

The most significant matters to be considered in controlled remediation of different harmful compounds and soil types are presented for treatment feasibility assessment. The limitations of different remediation techniques and the most feasible methods for treatability studies are described. In addition, the measures needed for controlling environmental effects as well as potential occupational health risks and measures for risk management are covered.

For facilitation of the quality control during remediation operations, check lists for performance control and monitoring are presented. Recommendations are also made about quality control procedures and testing methods, the characteristics to be controlled, sampling methods, monitoring frequency and documentation of the data gathered. In addition, the factors to be considered when interpreting and reporting the treatment data in the final report are described, and recommendations about the principles for evaluation of the acceptability of the treatment results are made.

## Alkusanat

Pilaantuneiden maiden kunnostustoiminnan laajeneminen ja uusien tekniikoiden käyttöönotto on parantanut edellytyksiä valita kuhunkin kohteeseen soveltuva, kokonaisedullinen kunnostusmenetelmä. Myös kunnostuksia koskevan tiedon taso on parantunut. Toisaalta on pelätty, että lisääntynyt kilpailu voi johtaa kunnostuskustannusten yksipuoliseen painottamiseen laatutekijöiden jäädessä vähemmälle huomiolle. Siksi kunnostusten osapuolet ovat toivoneet nykytiedon tason mukaista ohjeistusta hyvästä käsittely- ja puhdistuskäytännöstä. Tämän hankkeen tavoitteena oli laatia tavanomaisimmille kunnostustekniikoille perusohje siitä, miten kunnostusprosessi pystytään hallitusti toteuttamaan.

Hankkeen alullepanijana ja käytännön toteuttajana on toiminut Ympäristöyritysten Liitto ry. Hankkeen vastuuyksikkö ja koordinaattori oli Yleinen Teollisuusliitto YTL. Hanketta ovat rahoittaneet ympäristöministeriö, Ekokem-Palvelu Oy, Helsingin kaupungin rakennusvirasto, Lemminkäinen Oy, Lohja Rudus Ympäristöteknologia Oy Ab, Niska & Nyysönen Oy ja tieliikelaitos. Tutkimuksen johtoryhmään kuuluivat seuraavat henkilöt:

Tapio Salo, Uudenmaan ympäristökeskus, puheenjohtaja  
Ari Seppänen, ympäristöministeriö  
Anna-Maija Pajukallio, ympäristöministeriö; 1.1.2003 alkaen  
Satu Järvinen, Helsingin kaupunki  
Kari Haapaniemi, Helsingin kaupunki, 1.1.2003 alkaen  
Martti Keppo, Lohja Rudus Ympäristöteknologia Oy Ab  
Pertti Koskelainen, Yleinen Teollisuusliitto YTL, 31.12.2002 asti  
Lassi Räsänen, Yleinen Teollisuusliitto YTL, 1.1.2003 alkaen  
Leena Manni-Rantanen, Lemminkäinen Oy  
Anton Palolahti, Niska & Nyysönen Oy  
Jukka Saarenpää, Tieliikelaitos  
Tapio Strandberg, Ekokem-Palvelut Oy  
Esa Mäkelä, VTT Prosesstit.

Tutkimuksen vastuullisena johtajana toimi vuoden 2002 loppuun asiamies Pertti Koskelainen, ja vuoden 2003 alusta alkaen asiamies Lassi Räsänen. Hanke tilattiin tutkimusryhmältä, jonka koordinaattorina toimi ryhmäpäällikkö Esa Mäkelä VTT Prosesseista ja projektipäällikkönä erikoistutkija Ulla-Maija Mroueh VTT Prosesseista. Tutkimusryhmässä olivat mukana lisäksi tutkija Paula Eskola, erikoistutkija Pasi Vahanne ja tutkija Antti Pasanen VTT Prosesseista sekä tutkija Rainer Laaksonen VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikasta. Lisäksi raportin osakokonaisuuksien valmistelua tukemaan ja ohjaamaan perustettiin viisi asiantuntijaryhmää, joihin osallistuivat edellä mainittujen johtoryhmän ja tutkimusryhmän jäsenten lisäksi seuraavat henkilöt: Antti Kaartokallio, Timo Kantola, Ville Yrjänä ja Jan Österbacka, Ekokem-Palvelut Oy; Olli Hurme,

Tieliikelaitos, John Molander ja Kalevi Kääriä, Lohja Rudus Ympäristöteknologia Oy Ab; Aino Moisio, Soilrem; Olli Valo, Hämeen ympäristökeskus; Esa Wihlman, Lounais-Suomen ympäristökeskus sekä Terhi Kling ja Margareta Wahlström, VTT.

Tutkimusryhmä kiittää johtoryhmää, työryhmien jäseniä sekä hanketta käynnistettäessä haastateltuja eri osapuolien edustajia.



# Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	3
Abstract.....	4
Alkusanat.....	5
Symboliluettelo.....	15
1. Yleinen osa.....	17
1.1 Taustaa ja tavoitteet.....	17
1.1.1 Hankkeen tavoite.....	17
1.1.2 Ohjeen sisältö.....	19
1.2 Lainsäädännön vaatimukset.....	19
1.2.1 Vastuu puhdistuksesta.....	21
1.2.2 Ympäristölupa vai ilmoitus.....	21
1.2.3 Pilaantuneisuuden ja sijoitettavuuden arviointi.....	22
1.2.4 Ilmoitukset ja asiakirjat.....	23
1.2.5 Ympäristövaikutusten arviointi (YVA).....	24
1.3 Hankkeen toteutustavat ja -vaiheet.....	25
1.3.1 Hankkeen toteutusvaiheet.....	25
1.3.2 Kunnostuskohteessa tapahtuvat käsittelyt.....	26
1.3.3 Laitoskäsittelyt ja pysyvät käsittelypaikat.....	28
1.4 Hankkeen osapuolet ja näiden tehtävät.....	28
1.4.1 Kunnostuskohteessa tapahtuvat käsittelyt.....	29
1.4.2 Laitoskäsittely.....	34
1.5 Työn suoritukseen osallistuvien pätevyys.....	36
1.6 Toteutuksen laadunhallinta.....	38
1.6.1 Näytteenotto ja analytiikka.....	38
1.6.2 Ympäristökuormitusten hallinta.....	45
1.6.3 Suunnitelma-asiakirjat.....	51
1.6.4 Urakoitsijan laadunvalvonta.....	54
1.6.5 Riippumaton laadunvalvonta.....	55
1.6.6 Projektin osapuolten välinen tiedonvälitys.....	56
1.6.7 Työsuojelu ja turvallisuus.....	57
1.7 Lopputuloksen hyväksyttävyyden arviointi.....	59
1.7.1 Työmaatarkastukset.....	59
1.7.2 Raportointi.....	60
1.7.3 Tulosten hyväksyttävyyden arviointi.....	60

2.	Kaivu /massanvaihto, kuljetukset ja välivarastointi.....	62
2.1	Yleistä.....	62
2.2	Menetelmien soveltuvuuden arviointi .....	63
2.2.1	Kaivu/massanvaihto ja kuljetukset.....	63
2.2.2	Välivarastointi.....	64
2.3	Ympäristövaikutusten hallinta.....	65
2.3.1	Kaivu/massanvaihto ja kuljetukset.....	65
2.3.2	Välivarastointi.....	68
2.3.3	Riskien ja epävarmuuksien hallinta .....	71
2.4	Kunnostustyön valmistelu .....	72
2.4.1	Luvat ja suunnitelmat.....	72
2.4.2	Kaivutyön ja kuljetusten valmistelu.....	73
2.4.3	Välivarastoinnin valmistelu .....	76
2.5	Kunnostustyön laadunhallinta .....	77
2.5.1	Kaivu/massanvaihto ja kuljetukset.....	78
2.5.2	Välivarastointi .....	85
2.6	Hyväksymiskriteerit ja toimenpiderajat .....	86
2.6.1	Kaivu/massanvaihto .....	86
2.6.2	Välivarastointi ja massojen siirrot työmaalla.....	87
2.6.3	Jälkiseuranta.....	87
2.6.4	Raportointi.....	88
2.7	Työsuojelu ja turvallisuus.....	88
3.	Stabilointi.....	93
3.1	Yleistä.....	93
3.1.1	Määritelmät .....	93
3.1.2	Menetelmäkuvaus .....	94
3.2	Menetelmän soveltuvuuden arviointi .....	95
3.2.1	Stabiloinnin soveltuvuuteen vaikuttavat tekijät .....	97
3.2.2	Ennakkotutkimukset.....	101
3.3	Ympäristövaikutusten hallinta.....	108
3.3.1	Massojen sijoitus .....	108
3.3.2	Vesien keräily.....	110
3.3.3	Päästöjen hallinta .....	110
3.3.4	Melu .....	111
3.3.5	Riskien ja epävarmuuksien hallinta .....	112
3.4	Kunnostustyön valmistelu .....	112
3.4.1	Suunnitelma-asiakirjat.....	112
3.4.2	Työmaan esivalmistelut .....	113
3.4.3	Käsiteltävien maa-ainesten vastaanotto ja varastointi.....	114
3.4.4	Massojen esikäsitteleminen .....	115
3.4.5	Reseptin soveltuvuuden varmistaminen.....	116

3.5	Kunnostustyön aikainen laadunhallinta.....	116
3.5.1	Laadunvarmistussuunnitelma.....	117
3.5.2	Stabiloinnin käynnistäminen.....	117
3.5.3	Työnaikainen laadunvalvonta.....	118
3.5.4	Riippumaton laadunvalvonta.....	122
3.5.5	Tiedonhallinta.....	123
3.6	Hyväksymiskriteerit ja toimenpiderajat.....	123
3.6.1	Lujuuskokeet.....	123
3.6.2	Liukoisuustutkimukset.....	124
3.6.3	Vedenläpäisevyys ja pakkaskokeet.....	125
3.6.4	Toiminta laatu poikkeamatilanteissa.....	125
3.6.5	Loppuraportti.....	125
3.7	Työsuojelu ja turvallisuus.....	127
4.	Termodesorptio.....	129
4.1	Yleistä.....	129
4.2	Menetelmän soveltuvuuden arviointi.....	131
4.2.1	Laitetekniikka.....	131
4.2.2	Maa-ainesten soveltuvuus käsiteltäväksi.....	134
4.2.3	Haitta-aineiden soveltuvuus käsiteltäväksi.....	134
4.2.4	Ennakkotutkimukset.....	135
4.2.5	Käsiteltyjen maa-ainesten sijoituskelpoisuus ja jatkokäsittelytarve ..	136
4.3	Ympäristövaikutusten hallinta.....	137
4.3.1	Maaperän suojaaminen.....	137
4.3.2	Vesien keräily ja käsittely.....	139
4.3.3	Kaasujen keräily ja käsittely.....	139
4.3.4	Pölyämisen estäminen ja pölymittaukset.....	140
4.3.5	Kuljetukset.....	140
4.3.6	Melu.....	141
4.3.7	Jätteiden käsittely.....	141
4.3.8	Riskien ja epävarmuuksien hallinta.....	142
4.4	Kunnostustyön valmistelu.....	143
4.4.1	Luvat ja suunnitelma-asiakirjat.....	143
4.4.2	Työmaa-alueen valmistelu.....	144
4.4.3	Käsiteltävien massojen vastaanotto, varastointi ja ohjaus käsittelyyn	144
4.4.4	Massojen esikäsittely.....	146
4.5	Kunnostustyön aikainen laadunhallinta.....	147
4.5.1	Termisen käsittelyn toteutuksen päävaiheet ja vastuut.....	147
4.5.2	Työnaikainen laadunvalvonta, laadunvalvonnan koemenetelmät ja näytteenotto.....	147
4.5.3	Dokumentointi.....	155
4.5.4	Riippumaton laadunvalvonta.....	155

4.6	Hyväksymiskriteerit ja toimenpiderajat .....	156
4.6.1	Käsiteltyjen maa-ainesten sijoituskelpoisuus.....	156
4.6.2	Jälkiseuranta.....	157
4.6.3	Raportointi.....	158
4.7	Työsuojelu ja turvallisuus.....	159
5.	Pesu.....	163
5.1	Yleistä.....	163
5.2	Menetelmän soveltuvuuden arviointi .....	165
5.2.1	Yleistä .....	165
5.2.2	Ennakkokokeet ja niiden tulosten arviointi.....	167
5.2.3	Käsiteltyjen maa-ainesten sijoituskelpoisuus ja jatkokäsittelytarve ..	170
5.3	Ympäristövaikutusten hallinta.....	171
5.3.1	Maaperän suojaus.....	171
5.3.2	Vesien keräily ja käsittely .....	173
5.3.3	Kaasujen käsittely .....	173
5.3.4	Pölyämisen estäminen ja pölymittaukset .....	174
5.3.5	Kuljetukset .....	174
5.3.6	Melu .....	175
5.3.7	Jätteiden käsittely .....	175
5.3.8	Riskien ja epävarmuuksien hallinta .....	176
5.4	Kunnostustyön valmistelu .....	177
5.4.1	Luvat ja suunnitelma-asiakirjat.....	177
5.4.2	Työmaa-alueen valmistelu .....	178
5.4.3	Käsiteltävien massojen vastaanotto, varastointi ja ohjaus käsittelyyn	179
5.4.4	Massojen esikäsittely .....	180
5.4.5	Käsiteltävyysskokeet (menetelmän soveltuvuuden varmistaminen)...	181
5.5	Kunnostustyön laadunhallinta .....	181
5.5.1	Pesuprosessin toteutuksen päävaiheet ja vastuut .....	181
5.5.2	Työnaikainen laadunvalvonta, laadunvalvonnan koemenetelmät ja näytteenotto .....	181
5.5.3	Riippumaton laadunvalvonta .....	187
5.5.4	Dokumentointi.....	188
5.6	Hyväksymiskriteerit ja toimenpiderajat .....	189
5.6.1	Käsiteltyjen maa-ainesten ja syntyneiden jätevirtojen sijoituskelpoisuus .....	190
5.6.2	Jälkitarkkailu.....	191
5.6.3	Raportointi.....	191
5.7	Työsuojelu ja turvallisuus.....	192
6.	Kompostointi.....	196
6.1	Yleistä.....	196

6.2	MENETELMÄN SOVELTUVUUDEN ARVIOINTI .....	197
6.2.1	Maa-ainesten soveltuvuus käsiteltäväksi .....	198
6.2.2	Haitta-aineiden käsiteltävyys .....	198
6.2.3	Ennakkotutkimukset .....	200
6.2.4	Kompostoinnin lisä- ja tukiaineet .....	201
6.3	Ympäristövaikutusten hallinta .....	201
6.3.1	Maaperän sekä pohja- ja pintavesien suojaus .....	201
6.3.2	Päästöjen hallinta .....	203
6.3.3	Riskien ja epävarmuuksien hallinta .....	205
6.3.4	Jätteiden käsittely .....	205
6.4	Kunnostustyön valmistelu .....	206
6.4.1	Kompostointisuunnitelma .....	206
6.4.2	Työmaan esivalmistelut .....	207
6.4.3	Kompostoitavien maa-ainesten vastaanotto .....	207
6.5	Kunnostustyön aikainen laadunhallinta .....	208
6.5.1	Kompostoinnin käynnistäminen .....	208
6.5.2	Tarkkailu ja valvonta toiminnan aikana .....	208
6.5.3	Riippumaton laadunvalvonta .....	212
6.5.4	Dokumentointi .....	212
6.6	Hyväksymiskriteerit ja toimenpiderajat .....	213
6.6.1	Käsiteltyjen maa-ainesten sijoituskelpoisuus .....	213
6.6.2	Raportointi .....	214
6.7	Jälkiseuranta .....	215
6.8	Työsuojelu ja turvallisuus .....	215
7.	Huokoskaasukäsittely .....	217
7.1	Yleistä .....	217
7.2	Menetelmän soveltuvuuden arviointi .....	218
7.2.1	Käsittelyn soveltuvuuteen vaikuttavia tekijöitä .....	218
7.2.2	Kunnostuksen tavoitetaso .....	220
7.2.3	Tutkimus- ja arviointimenetelmät .....	221
7.3	Ympäristövaikutusten hallinta .....	223
7.3.1	Päästöjen hallinta .....	224
7.3.2	Vesien käsittely .....	225
7.3.3	Jätteiden käsittely .....	226
7.3.4	Materiaalien ja kemikaalien varastointi ja käsittelyalueen siisteys .....	226
7.3.5	Melun hallinta .....	226
7.3.6	Riskien ja epävarmuuksien hallinta .....	226
7.4	Kunnostustyön valmistelu .....	227
7.4.1	Suunnitelma-asiakirjat .....	227
7.4.2	Työmaan esivalmistelut .....	228
7.5	Kunnostustyön aikainen laadunhallinta .....	229

7.5.1	Laadunvarmistussuunnitelma.....	230
7.5.2	Huokoskaasukäsittelyn käynnistäminen .....	231
7.5.3	Tarkkailu ja valvonta käsittelyn aikana.....	232
7.5.4	Näytteenotto- ja tutkimusmenetelmät .....	236
7.5.5	Dokumentointi.....	237
7.5.6	Riippumaton laadunvalvonta .....	237
7.6	Lopputuloksen arviointi ja puhdistuneisuuskriteerit .....	238
7.6.1	Raportointi.....	239
7.6.2	Jälkitarkkailu .....	240
7.7	Työsuojelu ja turvallisuus.....	240
8.	Tiivistysrakenteet.....	244
8.1	Yleistä.....	244
8.2	Tiivistysrakenteet ja niiden soveltuvuuden arviointi.....	245
8.2.1	Yleistä .....	245
8.2.2	Tiivistysrakennemateriaalit .....	246
8.2.3	Maa-ainesten sisältämät haitta-aineet .....	247
8.2.4	Tiivistysrakennemateriaalien kemiallinen kestävyys.....	248
8.2.5	Rakennuspaikan sijainti ja pohjasuhteet .....	251
8.2.6	Ennakkokokeet ja koetiivistyskenttä.....	251
8.3	Esimerkkirakenteita.....	252
8.3.1	Välivarastointialue .....	252
8.3.2	Kompostikenttä .....	253
8.3.3	Suotovesiallas.....	254
8.4	Ympäristövaikutusten hallinta.....	255
8.4.1	Ympäristöpäästöjen hallinta.....	255
8.4.2	Riskien ja epävarmuuksien hallinta .....	255
8.5	Rakennus- ja kunnostustyöntyön valmistelu .....	256
8.5.1	Luvat ja suunnitelma-asiakirjat .....	256
8.5.2	Työmaa-alueen esivalmistelu.....	257
8.6	Rakennustyön aikainen laadunhallinta .....	257
8.6.1	Laadunvalvonnan sisältö.....	258
8.6.2	Riippumaton laadunvalvonta .....	259
8.6.3	Dokumentointi.....	260
8.7	Hyväksymiskriteerit ja toimenpiderajat .....	261
8.7.1	Rakennemateriaalit.....	261
8.7.2	Rakenteet.....	261
8.7.3	Jälkiseuranta .....	262
8.7.4	Raportointi.....	262
8.8	Työsuojelu ja turvallisuus.....	262

9.	Sijoittaminen kaatopaikalle.....	265
9.1	Yleistä.....	265
9.2	Menetelmän soveltuvuuden arviointi .....	267
9.2.1	Soveltuvuusarvioinnin periaatteet.....	267
9.2.2	Kaatopaikkakäsittelyn erityispiirteet.....	269
9.3	Jätteen kaatopaikkakelpoisuuden tutkiminen .....	272
9.3.1	Kelpoisuusarvioinnin periaatteet.....	272
9.3.2	Jätteen luokittelu .....	275
9.3.3	Kaatopaikkakelpoisuuden tutkiminen .....	276
9.4	Kaatopaikan ympäristövaikutusten hallinta .....	277
9.4.1	Maaperän sekä pohja- ja pintavesien suojaus .....	277
9.4.2	Vesien keräily ja käsittely .....	277
9.4.3	Kaasut.....	278
9.4.4	Pöly .....	279
9.4.5	Riskien ja epävarmuuksien hallinta .....	279
9.5	Valmistelutoimenpiteet.....	279
9.6	Laadunhallintatoimenpiteet .....	280
9.7	Hyväksymiskriteerit ja toimenpiderajat .....	285
9.7.1	Maa-ainesten sijoituskelpoisuus.....	285
9.7.2	Jälkiseuranta.....	286
9.8	<b>TYÖSUOJELU JA TURVALLISUUS</b> .....	286
10.	Hyötykäyttö.....	290
10.1	Yleistä.....	290
10.2	Menetelmän soveltuvuuden arviointi .....	291
10.2.1	Soveltuvuusarvioinnin periaatteet.....	291
10.2.2	Hyötykäytön erityispiirteet.....	294
10.3	Hyötykäyttökelpoisuuden tutkiminen .....	296
10.4	Hyötykäyttökohteen ympäristövaikutusten hallinta .....	300
10.4.1	Maaperän sekä pohja- ja pintavesien suojaus .....	300
10.4.2	Vesien keräily ja käsittely .....	300
10.4.3	Kaasut.....	300
10.4.4	Pöly .....	300
10.4.5	Riskien ja epävarmuuksien hallinta .....	301
10.5	Valmistelutoimenpiteet.....	301
10.6	Laadunhallintatoimenpiteet .....	302
10.7	Hyväksymiskriteerit ja toimenpiderajat .....	303
10.7.1	Maa-ainesten sijoituskelpoisuus.....	303
10.7.2	Jälkiseuranta.....	304
10.8	Työsuojelu ja turvallisuus.....	305

Kirjallisuus .....	308
Lainsäädäntö ja standardit .....	316
LIITE 1: Eri toimialoilla yleisesti käytettyjä haitta-aineita.....	1
LIITE 2: Pilaantuneen maan siirtoasiakirjat.....	1
LIITE 3: Esimerkki näytteenoton seurantalomakkeesta .....	1
LIITE 4: Kenttämittalaitteiden käyttö .....	1
LIITE 5: Esimerkkejä kenttämittauslaitteiden laadunvarmistusmenettelyistä sekä laitteiden käytössä ja huollossa huomioon otettavista asioista.....	1
LIITE 6: Mittaustulosten luotettavuuden arviointi.....	1
LIITE 7: Stabiloidin koemenetelmät.....	1
LIITE 8: Ehdotuksia stabiloituna sijoitettavien maa-ainesten pitoisuus- ja liukoisuusraja-arvoiksi .....	1
LIITE 9: Pilaantuneiden maa-ainesten stabiloidin ennakkotutkimukset eri maissa annettujen ohjeiden mukaan .....	1
LIITE 10: Esimerkki termodesorptiolaitoksen lupavaatimuksista Tanskassa .....	1
LIITE 11: Esimerkki urakoitsijan omasta laadunvalvonnasta termodesorptiolaitoksessa.....	1
LIITE 12: Kompostinäytteenottoon esitettyjä menettelytapoja .....	1
LIITE 13: Talousveden laadulle asetettuja raja-arvoja .....	1
LIITE 14: Huokoskaasukäsittelyn laadunvalvonnan tarkistuslista .....	1
LIITE 15: Esimerkki laadunvalvontaraportin sisällysluettelosta .....	1
LIITE 16: Pilaantuneen maa-aineksen kaatopaikkakelpoisuuden arviointi .....	1
LIITE 17: Kaatopaikan pohja- ja pintarakenteiden ympäristökelpoisuus.....	1
LIITE 18: Kaatopaikkaveden erillis/esikäsitellyssä huomioitavat tekijät.....	1
LIITE 19: Käsitelymenetelmien soveltuvuus kaatopaikkavesille.....	1
Liitteiden kirjallisuus.....	1



# Symboliluettelo

ADR	European Agreement concerning the international carriage of Dangerous goods by Road, sopimus vaarallisten aineiden kansainvälisistä tiekuljetuksista (Suomessa käytetty myös termiä VAK, jonka voidaan katsoa tarkoittavan yleisesti vaarallisten aineiden kuljetuksia)
ABT	Tiivis asfalttibetoni
ASA-rekisteri	Ammatissaan syöpäsairauden vaaraa aiheuttaville aineille altistuvien rekisteri
BAT	Paras käyttökelpoinen tekniikka (Best Available Technology)
BTEX	Bentseeni, tolueeni, etyylibentseeni ja ksyleeni
EPA	Environmental Protection Agency, lyhennettä käytetään yleisimmin Yhdysvaltojen ympäristönsuojeluvirastosta (U.S. EPA)
DOC	Liennut orgaaninen hiili (Dissolved Organic Carbon)
HCH	Heksakloorisykloheksaani (hexachlorocyclohexane)
HDPE	High Density Polyethylene
HTP-arvo	Työilman haitalliseksi tunnettu pitoisuus; pienin ilman epäpuhtauden pitoisuus, jonka työministeriö tulkitsee voivan vahingoittaa työntekijää
KBVA	Kumibitumivaluasfaltti
MTBE	Metyylitertbutyylietteri
In-situ	Kohteessa tapahtuva käsittely, jossa maata ei kaiveta
NTP-olosuhteet	Normaaliolosuhteet: paine $p = 101,3 \text{ kPa}$ , lämpötila $t = 0 \text{ oC}$ .
Off-site	Pilaantuneiden maamassojen käsittely muualla kuin kohteessa

On-site Kohteessa tapahtuva käsittely, jossa pilaantuneet maamassat kaivetaan ylös ja käsitellään

POP-yhdisteet

Pysyvät orgaaniset yhdisteet (Persistent Organic Pollutants), mm. DDT, HCH, PCDD/PCDF, PCB

PCB Polyklooratut bifenyylit

PCDD/PCDF

Polyklooratut dibentsodioksiinit ja -furaanit

PCE Tetrakloorieteeni (= perkloorieteeni, perchloroethylene)

TCE Trikloorieteeni

VNa Valtioneuvoston asetus

VNp Valtioneuvoston päätös

VOC Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (Volatile Organic Compounds)

# 1. Yleinen osa

## 1.1 Taustaa ja tavoitteet

Pilaantuneiden maa-alueiden kunnostustoiminta on Suomessa käynnistynyt laajemmassa mittakaavassa 90-luvun puolivälin jälkeen. Nykyisin vuosittain kunnostettavien maa-alueiden lukumäärä on jo 300–400. Myös käytettävissä olevien vaihtoehtoisten kunnostustekniikoiden määrä on kasvanut. Edellytykset kuhunkin kohteeseen soveltuvan, kustannukset, laadun, riskitason ja teknisen toimivuuden huomioon ottaen kokonaisedullisen kunnostusmenetelmän valitsemiseksi ovat kokemuksen ja vaihtoehtojen määrän kasvaessa parantuneet.

Kokemuksen kasvaessa myös edellytykset arvioida, miten kunnostushankkeissa päästään teknisesti ja ympäristön kannalta riittävän hyvään lopputulokseen, ovat huomattavasti paremmat kuin muutamia vuosia sitten. Toisaalta lisääntynyt kilpailu voi johtaa kunnostuskustannusten yksipuoliseen painottamiseen muiden lopputuloksen laatuun vaikuttavien tekijöiden jäädessä vähemmälle huomiolle. Tämän välttämiseksi ja parhaan käyttökelpoisen tekniikan (BAT) valitsemiseksi tarvitaan käytännönläheistä tietoa siitä, miten kunnostusprosessi pystytään hallitusti toteuttamaan, mitkä tekijät kunnostuksen suunnittelussa ja toteutuksessa on otettava huomioon ja miten tehdyt valinnat vaikuttavat hankkeen lopputulokseen. Tiedon tarvetta lisää se, että monille tilaajille tai muille asianosaisille kunnostushankkeet ovat erityistapauksia, jolloin niihin osallistuminen rajoittuu yhteen tai hyvin harvoihin hankkeisiin.

### 1.1.1 Hankkeen tavoite

Tämän raportin tavoitteena on toimia tavanomaisimmille pilaantuneiden maiden kunnostusmenetelmille perusohjeena hyvästä käsittely- ja puhdistuskäytännöstä. Hyvän kunnostuskäytännön tunnusmerkkejä ovat mm. seuraavat:

- Kunnostushanke toteutetaan hallitusti siten, että päästään vaadittuun laatutasoon. Vaaditun laatutason määrittävät käsittelylaitoksen lupaehdot ja pilaantuneen alueen puhdistamista koskeva päätös sekä tehdyt sopimukset.
- Käsitellyt maa-ainekset täyttävät tulevan sijoituskohteen asettamat vaatimukset. Tärkeimmät sijoitustavat ovat 1) hyötykäyttö tai sijoitus kohteeseen ja 2) kaatopaikkasijoitus tai käyttö kaatopaikkojen rakennemateriaalina

Käsittelyprosessi ei aiheuta haittaa ympäristölle, mikä tarkoittaa että 1) haitta-aineiden leviäminen estetään, 2) päästöt ilmaan, jätevedet ja jätteet käsitellään ja sijoitetaan halli-

tusti ja 3) työntekijöiden terveys suojataan. Toimenpiteiden on oltava pitkäaikaiskestäviä eivätkä ne saa merkitä ongelmien siirtoa tuleville sukupolville.

Käsittelymenetelmän valinnassa tulisi ottaa huomioon kokonaisvaikutukset ympäristöön, mikä kattaa mm:

- käsittelyprosessin energiankulutuksen ja päästöt
- kuljetusten energiankulutuksen ja päästöt
- mahdollisesti käytettävien lisä- ja apuaineiden valmistuksen ja kuljetuksen energiankulutuksen ja päästöt
- luonnonmateriaalien kulutuksen (esim. korvaavat maa-ainekset).

**Tarkistetun valtakunnallisen jätesuunnitelman (astunut voimaan 1.9.2002) mukaan pilaantuneet maamassat esikäsitellään, käsitellään tai loppusijoitetaan siten, ettei niistä aiheudu haittaa tai vaaraa terveydelle tai ympäristölle. Maamassojen puhdistaminen toteutetaan seuraavin periaattein:**

- suositaan menetelmiä, joissa pilaantuneita massoja ei kaiveta alueelta tai toteutetaan maamassan esikäsitely ja puhdistaminen pilaantuneella alueella
- parannetaan pilaantuneiden maamassaerien jatkokäsittelyedellytyksiä niiden yhteisellä välivarastoinnilla ja käsittelyllä
- käytetään lievästi pilaantuneet tavanomaisiksi jätteiksi katsottavat maamassat sellaisinaan tai esikäsiteltyinä toissijaisiin käyttötarkoituksiin, kuten kaatopaikkojen peittämiseen
- käytetään voimakkaasti pilaantuneiden maamassojen esikäsitelyyn ja käsittelyyn kehittyneitä ja korkeatasoisia menetelmiä
- luodaan koko maahan riittävä pilaantuneiden maamassojen siirrettävien tai kiinteiden alueellisten käsittelyasemien verkko.

Edellä mainittujen periaatteiden mukaan pilaantuneet maamassat tulee ensisijaisesti käsitellä siten, että niitä ei tarvitse poistaa kohteesta. Mikäli tämä ei ole mahdollista, käsitellään pilaantuneet maamassat hyötykäyttöön soveltuviksi.

### 1.1.2 Ohjeen sisältö

Ohje koostuu yleisestä osasta, johon on koottu yleiset kaikkiin kunnostushankkeisiin liittyvät ohjeet ja suositukset. Kunnostusmenetelmiä koskevat ohjeet on laadittu siten, että ne toimivat periaatteessa erillisinä kokonaisuuksina. Toiston välttämiseksi on menetelmille yhteisissä osioissa käytetty viittauksia muihin osiin.

Ohjeessa käsitellyt kunnostusmenetelmät ovat kompostointi, termodesorptio, pesu, huokoskaasukäsittely, stabilointi sekä tiivistysrakenteet ja eristäminen. Lisäksi erillisessä osassa ”Kaivu/massanvaihto, kuljetukset ja välivarastointi” on tarkasteltu edellä mainittuja työvaiheita, jotka liittyvät useimpiin kunnostusprosesseihin ja ovat riippumattomia käytettävästä kunnostusmenetelmästä. Hyötykäyttöä ja loppusijoitusta on myös tarkasteltu omana erillisenä osanaan.

Ohjeessa kuvataan menetelmäkohtaisesti:

- toteutuksen vähimmäislaatu
- tekijät, joita kunnostusprosessin eri vaiheissa on otettava huomioon
- miten näitä tekijöitä on valvottava tai seurattava, jotta kunnostuksissa päästään tavoitteiden mukaiseen laatuun.

Hankekohtaisissa sovelluksissa painotetaan hankkeen toteutuksen kannalta merkittäviä tekijöitä. Pienissä, rutiininomaisissa hankkeissa toteutus on yksinkertaisempi kuin suurissa tai muuten ominaisuuksiensa takia vaikeissa tai hankalissa hankkeissa.

## 1.2 Lainsäädännön vaatimukset

Kaikkiin uusiin 1.1.1994 jälkeisiin pilaantumistapauksiin sovelletaan ympäristönsuojelulain (86/2000) pilaantumista koskevia säännöksiä. Ennen 1.1.1994 sattuneisiin pilaantumistapauksiin sovelletaan asian käsittelyn ja menettelyn osalta ympäristönsuojelulakia. Vastuiden määrittelyssä sovelletaan edelleen jätelakia edeltänyttä lainsäädäntöä.

Pilaantuneiden alueiden kunnostamista koskevaa lainsäädäntöä on käsitelty yksityiskohtaisesti Ruuskan (2001) julkaisussa.

**Pilaantuneen maan käsittelyä ja pilaantuneen alueen puhdistamista koskevia hankkeen suunnittelussa ja toteutuksessa huomioon otettavia lakeja ja asiaa koskevia EU-säädöksiä ovat mm.**

- **ympäristönsuojelulaki (86/2000) ja ympäristönsuojeluasetus (169/2000): puhdistusvastuun määrittely, lupa- tai ilmoitusvelvollisuus, lupamenettely**
- **jätelaki (1072/1993) ja jäteasetus (1390/1993)**
- **ympäristöministeriön asetus yleisimpien jätteiden ja ongelmajätteiden luettelosta (1129/2001), valtioneuvoston asetus jäteasetuksen liitteen 4 muuttamisesta (1128/2001): jätteiden luokittelu, jätteiden sijoitettavuuden arviointi ja käsittelylle asetettavat vaatimukset**
- **valtioneuvoston päätös ongelmajätteistä annettavista tiedoista sekä ongelmajätteiden pakkaamisesta ja merkitsemisestä (659/1996)**
- **valtioneuvoston päätös kaatopaikoista (861/1997, muutos 1049/1999), EU:n kaatopaikkakelpoisuuskaatopaikoille ja niille sijoitettavalle pilaantuneelle maalle ja käsittelyprosesseissa syntyville jätteille asetettavat vaatimukset**
- **valtioneuvoston asetus eräistä pysyvistä orgaanisista aineista (735/2002)**
- **laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä (468/1994), asetus ympäristövaikutusten arviointimenettelystä (268/1999)**
- **valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta (362/2003): termiset laitokset**
- **työterveys- ja -turvallisuuslainsäädäntö, esim. valtioneuvoston päätös rakennustyön turvallisuudesta (629/1994), terveydensuojelulaki (763/1994)**
- **laki eräistä naapuruussuhteista (26/1920).**

Euroopan yhteisössä valmistellaan parhaillaan pysyviä orgaanisia yhdisteitä (POP-yhdisteitä, kuten PCB, DDT, PCDD/PDFC ja HCH) koskevaa lainsäädäntöä Tukholman sopimuksen ([http://www.pops.int/documents/convtext/convtext\\_en.pdf](http://www.pops.int/documents/convtext/convtext_en.pdf)) ratifioimiseksi. Komission asetusehdotuksen (KOM(2003)333) mukaan POP-yhdisteitä sisältävä jäte on käsiteltävä siten, että POP-yhdisteet tuhotaan tai muunnetaan palautumattomasti. Jätteet voidaan kuitenkin käsitellä muulla asianmukaisella tavalla, kun mainittujen aineiden pitoisuus jätteessä alittaa asetuksessa annetut pitoisuusrajat. Pitoisuusraja-arvot lisätään asetukseen myöhemmin. Ne vaikuttanevat erityisesti POP-yhdisteillä pilaantuneiden maiden kunnostusmenetelmien valintaan. Suomessa POP-yhdisteitä koskevat veloitteet on sisällytetty kansalliseen lainsäädäntöön valtioneuvoston asetuksella 735/2002, joka on tarkoitus kumota EU-säädösten tultua voimaan.

### 1.2.1 Vastuu puhdistuksesta

Ympäristönsuojelulaissa kielletään jätteen tai muun aineen päästäminen maahan siten, että seurauksena on sellainen maaperän laadun huononeminen, josta voi aiheutua vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle tai viihtyisyyden vähenemistä. Alueellinen ympäristökeskus voi velvoittaa puhdistamaan pilaantuneen alueen.

Pilaantuneen alueen tutkimus- ja puhdistusvastuu määräytyy ympäristönsuojelulain mukaan seuraavasti:

- 1) Pilaantumisen aiheuttajalla on velvollisuus ilmoittaa pilaantumisesta valvontaviranomaiselle, selvittää puhdistustarve ja tarvittaessa huolehtia puhdistuksesta.
- 2) Jos pilaantumisen aiheuttajaa ei löydetä tai tätä ei saada täyttämään puhdistusvelvollisuuttaan, vastuu siirtyy alueen haltijalle edellyttäen, että haltija on ollut tietoinen pilaantumisesta.
- 3) Jos puhdistaminen on kohtuutonta alueen haltijalle, siirtyy puhdistusvastuu kunnalle.

Maaperän puhdistamiseen liittyviä vastuuperusteita on käsitelty kuntien näkökulmasta tarkemmin Suomen Kuntaliiton (2001) laatimassa esiselvityksessä, joka on saatavissa Suomen Kuntaliiton www-sivuilta <http://www.kuntaliitto.fi/pimasa/esiselvitys.htm>

### 1.2.2 Ympäristölupa vai ilmoitus

Pilaantuneiden maiden käsittelylaitokset ja loppusijoituspaikat ovat ympäristöluvanvaraisia. Pilaantuneiden alueiden puhdistukseen voidaan tietyillä ehdoilla ryhtyä tekemällä siitä ilmoitus alueelliselle ympäristökeskukselle (YSL 78 §).

Ilmoitusmenettelyä voidaan käyttää, jos

- 1) pilaantuneen alueen laajuus ja puhdistustarve on riittävästi selvitetty,
- 2) puhdistamisessa käytetään yleisesti hyväksyttyä menetelmää ja
- 3) puhdistaminen ei aiheuta ympäristön pilaantumista.

Lupahakemukset ja ilmoitukset toimitetaan alueelliselle ympäristökeskukselle, jolla on mahdollisuus harkita, täytyvätkö ilmoitusmenettelyn ehdot. Helsingissä puhdistusilmoitusten käsittelyn toimivalta on ympäristöministeriön päätöksellä siirretty kaupungin ympäristönsuojeluviranomaiselle ajaksi 1.6.2001–31.5.2006.

Lupa- ja ilmoituslomakkeet ja ohjeita ympäristöluvan hakumenettelystä on saatavissa ympäristökeskuksista tai Suomen ympäristökeskuksen www-sivuilta <http://www.ymparisto.fi/palvelut/yritys/luvut/ilmoitus.htm>.

Ilmoitus on tehtävä 30 vuorokautta ennen puhdistamisen kannalta olennaisen vaiheen aloittamista. Luvanvarainen puhdistus voidaan aloittaa lupaviranomaisen hyväksymiä poikkeuksia lukuun ottamatta vasta, kun lupapäätös on tehty. Myös ilmoituksista tehdään päätös, jossa käsittelevä viranomainen antaa määräyksiä puhdistustasosta, toiminnan järjestämisestä ja valvonnasta sekä ympäristöhaittojen ehkäisemisestä.

### 1.2.3 Pilaantuneisuuden ja sijoitettavuuden arviointi

Pilaantuneiden alueiden kunnostustarpeen ja kunnostustavoitetasojen määrittelyssä on ohjeistuksena yleisesti käytetty ympäristöministeriön muistiossa 5 (Ympäristöministeriö 1994), ns. Samase-raportin liitteissä 1a ja 1b esitettyjä ohje- ja raja-arvoja. Valmisteilla olevassa valtioneuvoston asetuksessa maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista kunnostustarpeen arvioinnin lähtökohtana ovat haitta-aineista aiheutuvat riskit. Asetuksessa esitetään kuitenkin myös ohjearvot, joita voidaan käyttää kunnostustarpeen arvioinnissa.

Ympäristöministeriön asetus yleisimpien jätteiden ja ongelmajätteiden luettelosta (1129/2001) korvasi vanhan jäteluettelon vuoden 2002 alussa. Valtioneuvoston asetuksessa jäteasetuksen liitteen 4 muuttamisesta (1128/2001) on lueteltu ominaisuudet, joiden perusteella jätteet luokitellaan ongelmajätteiksi, ja ominaisuuksien tulkinnassa sovellettavat raja-arvot. Jäteluettelossa maa-ainekset (pilaantuneilta alueilta kaivetut maa-ainekset mukaan luettuina) jaetaan kahteen ryhmään:

- maa- ja kiviainekset, jotka sisältävät vaarallisia aineita (= ongelmajäte)
- muut kuin edellä mainitut maa- ja kiviainekset (= jäte).

Pilaantuneelta alueelta kaivetun maa-aineksen ongelmajäteluonne arvioidaan tarvittaessa sen sisältämien vaarallisten aineiden pitoisuuksien ja niistä aiheutuvien vaaraominaisuuksien perusteella (Dahlbo 2002). Jos poistettavat maa-ainekset ohjataan käsittelylaitokseen, ei maa-aineksen ongelmajäteluonteella yleensä ole merkitystä. Vaaraominaisuuksien arvioinnissa noudatetaan kemikaalilainsäädännön mukaisia aineiden ja valmisteiden luokittelussa sovellettavia sääntöjä ja menetelmiä, jotka on esitetty sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa kemikaalien luokitusperusteista (807/2001) ja sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa vaarallisten aineiden luettelosta (624/2001). Stabiloitujen ja kiinteytettyjen maa-ainesten luokitus määräytyy käsittelytavan ja stabilointivaikutuksen perusteella.



Jätteiden kuljetuksissa ja käsittelyssä on noudatettava ongelmajätteille säädettyjä velvoitteita. Maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnissa käytetään riskinarviointia ja ohjearvoja.

Pilaantuneiden maiden ja niiden käsittelyssä syntyvien jätteiden kaatopaikkakelpoisuuden arvioinnissa merkittävin säädös on valtioneuvoston päätös kaatopaikoista (861/1997; muutos 1049/1999). Sen liitteessä 2 esitetään mm. kaatopaikkakelpoisuuden arvioinnin periaatteet ja menettelyt. Sijoitettavuuteen vaikuttaa myös kaatopaikan ympäristölupa, joka tulee tarkistaa kaatopaikkakohtaisesti.

VNp kaatopaikoista (861/1997, muutos 1049/1999) mukaan kaatopaikoille saa sijoittaa ainoastaan esikäsiteltyä jätettä. Esikäsitelyvaatimus ei kuitenkaan koske jätteitä, jos esikäsitelyllä ei pystytä vähentämään jätteen määrää tai jätteiden sijoittamisesta terveydelle tai ympäristölle aiheutuvaa vaaraa tai haittaa. Valtioneuvoston asetuksessa (552/2001) on säädetty kansallisen tason vaatimuksena, että esikäsitelyvaatimus astuu voimaan 1.1.2002 käytössä olleiden kaatopaikkojen osalta 1.1.2005.

Suomessa ei ole tähän mennessä rajoitettu DOC-pitoisen (orgaanista ainesta sisältävän) jätteen sijoitusta kaatopaikalle. Rungas orgaanisen aineksen määrä voi kuitenkin edistää haitallisten metallien liukenemistä, mikä on huomioitava sijoitusmahdollisuuksia arvioitaessa.

#### **1.2.4 Ilmoitukset ja asiakirjat**

Vesien käsittelyn ja ilmaan joutuvien päästöjen (hiukkaset, VOC-yhdisteet, NO<sub>x</sub>, jne.) osalta sovelletaan ympäristönsuojelulakia ja asetusta. Termisten käsittelymenetelmien päästöjen hallinnassa noudatetaan VNa jätteenpolttamisesta (362/2003) asettamia vaatimuksia.

##### **Ilmoitus työsuojeluviranomaiselle**

Kunnostushankkeissa tehdään työsuojelusuunnitelma, joka toimitetaan työsuojeluviranomaisten hyväksyttäväksi.

##### **Kuljetukset**

Siirtoasiakirja vaaditaan, kun vaarallisia aineita, joihin lasketaan mm. ongelmajätteet, kuljetetaan yleisellä tiellä tai niiden haltija muuten vaihtuu (VNp ongelmajätteistä annettavista tiedoista sekä ongelmajätteiden pakkaamisesta ja merkitsemisestä 659/1996). Siirtoasiakirja toimii todisteena jätteen asianmukaisesta luovuttamisesta ja vastaanottamisesta. Asiakirjan tekee jätteen haltija, ja siinä esitetään jätteen haltijan ja kuljettajan nimi ja yhteystiedot, jätteen syntypaikka, haitta-ainepitoisuudet, muut vaaraominaisuu-

det ja määrä sekä siirtopäivämäärä ja määränpää. Siirtoasiakirja on allekirjoitettava ja päivättävä. Siirtoasiakirjaa (kuormakirjaa) tulee käyttää pilaantuneita maita kuljettaessa silloinkin, kun niitä ei luokitella ongelmajätteiksi, ja sitä vaaditaan nykyisin usein lupa- ja ilmoituspäätöksissä. Siirtoasiakirjan malli on esitetty liitteessä 1.

### **Ilmoitus palo- ja pelastusviranomaisille**

Kemikaalien vähäisestä käsittelystä tulee tehdä ilmoitus palopäällikölle tai kemikaalivalvontaviranomaiselle. Helposti syttyviä ja syttyviä palavia nesteitä, joiden leimahduspiste < 55 °C (benssiini, haihtuvat liuotteet), saa säilyttää ilmoitusta tekemättä enintään 100 litraa ja palavia nesteitä, joiden leimahduspiste > 55 °C (esim. öljyt), saa säilyttää enintään 200 litraa. Haihtuvia orgaanisia yhdisteitä sisältävien maiden käsittelystä (haihtuvien poltto, talteenotto, tms.) on ilmoitettava palopäällikölle. Rakennuttajan on varmistettava, että ilmoitus pelastusviranomaisille on tehty.

### **1.2.5 Ympäristövaikutusten arviointi (YVA)**

Ympäristövaikutusten arviointi (YVA) -menettelyssä arvioidaan toiminnan aiheuttamia vaikutuksia ihmisiin, luontoon, yhdyskuntarakenteeseen, maisemaan, kulttuuriperintöön ja luonnonvarojen hyödyntämiseen. Tavoitteena on ehkäistä haitallisia ympäristövaikutuksia sekä parantaa kansalaisten mahdollisuuksia osallistua ja vaikuttaa suunnitteluun.

Laitokset, joita ympäristövaikutusten arviointivelvollisuus koskee, on esitetty YVA-asetuksessa (268/1999). Ympäristöministeriö voi tarvittaessa päättää, että menettelyä sovelletaan yksittäistapauksissa myös muihin hankkeisiin tai jo toteutetun hankkeen olennaisiin muutoksiin, jos niistä todennäköisesti aiheutuu merkittäviä haitallisia ympäristövaikutuksia (YVAL 4§). Siksi pilaantuneen maan käsittelylaitosta tai -laitteistoa suunniteltaessa on aina syytä selvittää ympäristöviranomaisilta, onko laitos YVA-velvollinen. YVA-asetuksen hankeluettelossa on arviointivelvollisiksi määritelty mm. seuraavat laitostyyppit:

- kaikki ongelmajätteiden käsittelylaitokset, joissa ongelmajätettä poltetaan, käsitellään fysikaalis-kemiallisesti tai sijoitetaan kaatopaikalle
- yli 5 000 t vuotuiselle jätemäärälle mitoitettut ongelmajätteen biologiset käsittelylaitokset
- yli 100 t/d jätettä käsittelemään mitoitettut muiden kuin ongelmajätteiden polttolaitokset ja fysikaalis-kemialliset käsittelylaitokset
- yli 20 000 t vuotuiselle jätemäärälle mitoitettut yhdyskuntajätteen kaatopaikat ja yli 50 000 t vuotuiselle jätemäärälle mitoitettut muut kuin ongelmajätteen kaatopaikat

- yli 20 000 t vuotuiselle jätemäärälle mitoitettut muut kuin ongelmajätteiden biologiset käsittelylaitokset.

Ympäristövaikutusten arviointi on paikkakohtainen, eli siirrettäville käsittelylaitteistoille on tehtävä ympäristövaikutusten arviointi kussakin käsittelypaikassa erikseen.

## 1.3 Hankkeen toteutustavat ja -vaiheet

### 1.3.1 Hankkeen toteutusvaiheet

Pilaantuneen maaperän kunnostushankkeen päävaiheet on esitetty kuvassa 1.1. Kuvassa on myös esitetty kunkin vaiheen kohdalla ensisijainen vastuutaho ja muut vastuussa olevat osapuolet. Vastuun siirto osatehtävistä on mahdollista sopimuksen perusteella. Taulukossa 1.1 on esitetty vastuiden jakautumista erilaisissa kunnostusvaihtoehdoissa.

*Taulukko 1.1 Tilaajan ja urakoitsijan / massojen vastaanottajan välinen vastuunjako (Anon. 1997d, Anon. 2002a).*

Työvaihe	Vastuu		
	<i>In-situ -kunnostus</i>	<i>On-site -kunnostus</i>	<i>Off-site -kunnostus</i>
Ympäristöluvan hakeminen	Tilaaja	Tilaaja	Tilaaja Massojen vastaanottaja <sup>3</sup>
Kunnostettavan alueen rajaus	Tilaaja <sup>1</sup> Urakoitsija	Tilaaja	Tilaaja
Haitta-aineiden pitoisuudet ja laatu	Tilaaja	Tilaaja	Tilaaja
Kohteen geologia ja hydrogeologia	Tilaaja	Tilaaja	Tilaaja
Soveltuvan kunnostusmenetelmän valinta	Tilaaja Urakoitsija	Tilaaja Urakoitsija	Tilaaja Massojen vastaanottaja
Töiden oikea-aikainen aloittaminen ja aikataulutaminen	Tilaaja Urakoitsija	Tilaaja Urakoitsija	Tilaaja Massojen vastaanottaja
Massojen kuljettaminen	-	Urakoitsija	Tilaaja
Kunnostaminen (työtavat ja laitteistojen toimivuus)	Urakoitsija	Urakoitsija	Massojen vastaanottaja
Työn valvonta	Tilaaja Urakoitsija	Tilaaja Urakoitsija	Massojen vastaanottaja Tilaaja <sup>4</sup>
Lopputuloksen laatu: kaivumassat	-	Urakoitsija	Massojen vastaanottaja
Lopputuloksen laatu: kunnostettava alue	Urakoitsija Tilaaja <sup>2</sup>	Tilaaja	Tilaaja

<sup>1</sup>Päävastuu

<sup>2</sup>Jos kyseessä KVR-urakka, vain urakoitsija

<sup>3</sup>Laitoksella tai kaatopaikalla oltava oma ympäristölupa

<sup>4</sup>Kaivun osalta

**IN-SITU = kohteessa tapahtuva käsittely, jossa maata ei kaiveta (esim. huokosilmamamenetelmä)**

**ON-SITE = kohteessa tapahtuva käsittely, jossa pilaantuneet maamassat kaivetaan ylös ja käsitellään esim. termodesorptiolla, stabiloimalla tms.**

**OFF-SITE = kaivetut pilaantuneet maamassat kuljetetaan muualle käsiteltäväksi tai sijoitettavaksi (esim. kaatopaikka, pilaantuneiden maiden käsittelylaitos)**

### **1.3.2 Kunnostuskohteessa tapahtuvat käsittelyt**

Kunnostuskohteessa tapahtuvilla käsittelyillä tarkoitetaan kertaluontoisia on-site- ja in-situ -käsittelyjä, jotka toteutetaan siirrettäviä laitteita ja laitteistoja käyttäen. Käsittelylle ominaisia piirteitä ovat seuraavat:

- Toteutus suunnitellaan ja luvitetaan jokaiselle kohteelle erikseen. (YVA-menettely on tarpeen myös siirrettäville käsittelylaitoksille, joiden käsittelykapasiteetti on yli 100 t/d.)
- Käsiteltäviä maa-aineksia ei yleensä ole kaivettu toteutusta suunniteltaessa. Suunnittelu, ennakkokoenäytteenotto ja ennakkotutkimukset joudutaan toteuttamaan kohdetutkimuksista saatavan tiedon perusteella. Tiedot massamääristä ja massojen laadusta voivat kunnostusvaiheessa muuttua huomattavasti.
- Ympäristöolosuhteet vaihtelevat kohteesta toiseen eikä niitä tunneta yhtä hyvin kuin pysyvissä laitoksissa.
- Käsittelypaikan rakenteet ja suojatoimet eivät kustannussyistä voi olla yhtä perusteellisia kuin pysyvissä laitoksissa.
- Vastuu pilaantuneiden maiden käsittelystä ja loppusijoituksesta on ensisijaisesti puhdistamisesta vastuussa olevalla (pilaantumisen aiheuttaja / kiinteistön omistaja).
- Tilaaja voi käyttää käsittelyn laadunvalvonnassa riippumatonta laadunvalvojaa (tapauskohtainen harkinta, esim. stabiloinnin yhteydessä, suurissa tai erityistä asiantuntemusta vaativissa hankkeissa tai jos tilaajalla ei ole kokemusta pilaantuneiden maiden kunnostuttamisesta).



<sup>1</sup>Tilaajan sijalla voi olla myös tilaajan edustajakseen nimittämä taho

<sup>2</sup>Riippumattoman laadunvalvojan tarve ja tehtävät määritetään tapauskohtaisesti§§

<sup>3</sup>Tiedottaminen viranomaisille mahdollisimman aikaisessa vaiheessa

<sup>4</sup>Maamassojen kaivu, sen vaatimat luvat ja toimenpiteet eivät ole mukana tässä taulukossa

<sup>5</sup>Urakoitsija ja riippumaton laadunvalvoja raportoivat tilaajalle, tilaaja raportoi viranomaiselle

Kuva 1.1 Kunnostushankkeen toteutuksen periaatteelliset päävaiheet (vaihtelee tapauskohtaisesti) ja eri osapuolten vastuut eri vaiheissa.

### **1.3.3 Laitoskäsittelyt ja pysyvät käsittelypaikat**

Käsittelylaitoksilla ja muilla pysyvillä käsittely- ja sijoituspaikoilla on lupa käsitellä tietynlaisia, luvassa määriteltyjä maa-aineksia luvassa määritellyillä menetelmillä. Kohdassa 1.2.5 mainittujen käsittelymäärien ylittyessä laitoksille tai sijoituspaikoille on tehtävä myös ympäristövaikutusten arviointi (YVA-menettely). Käsittelylle ominaista on, että

- laitokselle vastaanotettu materiaali siirtyy vastaanottotarkastuksen jälkeen laitoksen vastuulle. Laitos vastaa käsittelystä ja loppusijoituksesta.
- laitoksen ympäristöolosuhteita ja toiminnan vaikutuksia ympäristöön selvitetään laajasti YVA- ja lupamenettelyn yhteydessä.
- laitos ottaa vastaan materiaalia useista kohteista. Käsiteltävän materiaalin laatuvaihtelut ovat usein suurempia kuin kohdekohtaisissa toteutuksissa.
- koska toiminta on pysyvää, rakenteet ja suojavaikutukset voidaan toteuttaa korkeatasoisesti.
- laadunvarmistus on osa laitoksen laatujärjestelmää.

### **1.4 Hankkeen osapuolet ja näiden tehtävät**

Kunnostuskohteessa tapahtuvan hankkeen pääosapuolet ovat tilaaja, urakoitsija, riippumaton laadunvalvoja ja viranomainen. Tilaajalla tarkoitetaan tässä puhdistuksesta vastuussa olevaa tahoa.

Ympäristönsuojelulain mukainen vastuu pilaantuneen alueen puhdistamisesta on aina aiheuttajalla/kiinteistönomistajalla. Tilaaja voi halutessaan siirtää joko koko projektivastuun tai vastuun osatehtävistä valitsemalleen edustajalle. Tilaajan on varmistettava valitun edustajan pätevyys tehtäväänsä sekä kokonaisuuden hallinta tapauksissa, joissa vastuu joistakin osatehtävistä siirretään muille. Vastuiden siirrosta ja osapuolten tehtävistä on oltava selkeät sopimukset.

Pääosapuolten lisäksi projektiin yleensä osallistuu muita osapuolia. Sekä tilaaja, urakoitsija että rajoitetusti myös riippumaton laadunvalvoja voivat käyttää alihankkijoita. Viranomainen osallistuu sekä projektin luvitukseen että valvontaan, jossa ovat mukana alueellisen ympäristökeskuksen ja paikallisen viranomaisen edustajat. Projektin valvonnan mukana ovat myös työsuojeluviranomaiset.

### 1.4.1 Kunnostuskohteessa tapahtuvat käsittelyt

Seuraavassa on lyhyesti kuvattu osapuolten tärkeimmät tehtävät pilaantuneiden maiden kunnostuskohteessa toteutettavissa puhdistus- ja kunnostushankkeissa.

#### Tilaajan tehtävät

Tilaaja vastaa siitä, että kohteessa tarvittavat luvat on haettu. Urakkatarjouspyyntö tehdään pääsääntöisesti vasta, kun lupapäätöksessä kunnostukselle asetettavat ehdot tiedetään. Urakkatarjouspyynnössä tilaaja määrittelee ja esittää työlle asetettavat vaatimukset, mm. puhdistetuille massoille ja massojen sijoitukselle asetettavat vaatimukset, lupapäätöksessä kunnostukselle asetetut ehdot, toteutusaikataulun, urakkatarjoukseen liitettävät asiakirjat, urakkamuodon ja urakoitsijan valintakriteerit. Urakoitsija valitaan tarjousten kokonaistaloudellisen arvioinnin perusteella. Tarjousten vertailuun sisällytetään hinnan lisäksi laatutekijöitä, kuten toimintasuunnitelma, urakoitsijan laaduntuottokyky, kokemus ja toimitusvarmuus (mm. referenssit, työhön esitetyt henkilö- ja laiteresurssit, toteutustapa ja aikataulu, urakoitsijan laadunvarmistus). Toimintakuvauksen painoarvon tulee olla riittävä ( $\geq 40\%$ ). Vain pienehköissä ja vaativuusasteeltaan helpoissa töissä urakoitsija voidaan valita pelkästään hinnan perusteella. Esimerkki urakoitsijan laatuarvioinnista ja valintamenettelystä on esitetty jäljempänä olevassa laatikossa.

**Urakkasopimus voidaan laatia Rakennusurakan yleisiin sopimusehtoihin YSE 1998 (RT 16-10660) perustuvan asiakirjamallin ”Rakennusurakkasopimuksen laatiminen. Saastuneiden maiden kunnostustyö YSE 1998 (2000)” ja sitä vastaavan lomakkeen RT 80260 pohjalta.**

Toimintapisteille voidaan asettaa minimiarvo, jonka alittaneet tarjoukset hylätään. Lisäksi voidaan vaatia, että tullakseen hyväksytyksi tarjouksen on saatava pisteitä kaikissa arvioitavissa osioissa. Hylkäysrajoilla varmistetaan urakoitsijan laadukkuus ja ne on ilmoitettava etukäteen tarjouspyyntöasiakirjoissa. Tarjousmenettelyssä sovelletaan ”kahden kuoren” menetelmää, jossa hintatarjous toimitetaan erillisessä kuoressa. Toimintapisteytys on tehtävä ennen hintakuoren avaamista, jotta hintatieto ei vaikuta tarjousten laadulliseen arviointiin (Nevala 2002).

Urakkatarjouspyyntöön on liitettävä riittävät tiedot kunnostuksen toteutettavuuden arvioimiseksi. Tätä varten tilaaja arvioi mm. aikaisemmin tehtyjen kohdetutkimusten riittävyyden ja teettää tarvittaessa lisätutkimuksia maa-ainesten laadun selvittämiseksi. Jos ennakkokokeet ovat tarpeen tilaaja vastaa, että kaikille urakoitsijoille toimitetaan samanlaiset, riittävän suuret ja edustavat näytteet.

**ESIMERKKI URAKOITSIJAN LAATUARVIOINNISTA JA VALINTAMENETTELYSTÄ** (mukailtu Helsingin kaupungin rakennusviraston ympäristötuotannon laatiman laatuarviointitaulukon pohjalta)

**LAATUTEKIJÄT JA -PISTEET** (toimintatekijät)

Referenssit vastaavista töistä

- Tarjouksessa esitetty referenssejä
- Referenssejä kuvattu
- Referenssien painoarvo

**PISTEET (0–4)**

Henkilö- ja koneresurssit

- Henkilöt nimetty
- Henkilöarvio
- Kalusto yksilöity
- Kalustoarvio

**PISTEET (0–4)**

Toteutusedellytykset ja aikataulu

- Yleisarvio urakoitsijasta
- Kuvaus työn suorituksesta
- Alustava aikataulu
- Alustava työsuunnitelma
- Työsuojelun huomioonotto

**PISTEET (0–4)**

Urakoitsijan laadunvarmistus

- Laadunvarmistussuunnitelma
- Laadunvarmistussuunnitelman laatu
- Suoritteiden mittausmenetelmä esitetty
- Sertifioitu laatujärjestelmä (esitetty tarjouksessa)

**PISTEET (0–4)**

**LAATUPISTEET (keskiarvo) maks. 4**

**KUSTANNUSTEKIJÄT JA -PISTEET**

Kustannuspisteiden laskennassa alimman hyväksytyyn tarjoukseen antanut urakoitsija saa 6 pistettä ja muut urakoitsijat alimmantarjoushinnan ja urakoitsijan antaman tarjoushinnan mukaan suhteutetun vastaavan pistemäärän.

**HINTAPISTEET maks. 6**

**VALINTAMENETTELY**

Tarjouspyynnössä esitettyjen valintakriteerien mukaisesti urakoitsijan valinta suoritetaan kokonaistaloudellisin perustein siten, että kustannustekijöiden arvo on 60 % (0–6 pistettä) ja laatutekijöiden arvo 40 % (laatutekijöiden keskiarvo, 0–4 pistettä). Urakoitsijan pitää saada vähintään 2,8 laatupistettä (keskiarvo), jotta tarjous voidaan hyväksyä. Pisteitä on myös saatava kaikissa arvioitavissa osioissa.

**PISTEET yht. maks. 10**



Lupapäätöksen saamisen jälkeen tilaaja valitsee riippumattoman laadunvalvojan tarjouspyyntöjen perusteella. Myös riippumaton laadunvalvoja valitaan sekä toimintakuvauksen (sisältää laatutekijät) että hintavertailun avulla. Toimintakuvauksen painoarvon tulee olla suurempi kuin urakoitsijaa valittaessa (60 %).

Ennen kunnostustyön aloittamista tilaaja tekee viranomaisille aloitusilmoituksen, jossa määritellään selkeästi vastuuhenkilöt ja heidän vastuualueensa. Yhteenveto tilaajan tehtävistä on seuraavassa taulukossa 1.2.

*Taulukko 1.2 Tilaajan tehtävät kohteessa toteutettavissa kunnostushankkeissa.*

<b>Työvaihe</b>	<b>Tehtävä</b>
Kaikki työvaiheet	Projektikononaisuuden hallinta
Kunnostuksen suunnittelu	Lupahakemusten tekeminen, viranomaisyhteydet
Hankinta	Kunnostustyölle sekä tekijöille (urakoitsija(t), riippumaton laadunvalvoja, tilaajan edustajana toimivat tahot) asetettavien vaatimusten määrittely luvassa tai ilmoituksesta annetussa päätöksessä esitetyt ehdot huomioidaan ottaen.
Hankinta	Riittävät ennakkotutkimukset käsiteltävien maa-ainesten sisältämien haitta-aineiden laadun ja pitoisuuksien (pitoisuusjakauma) sekä maa-ainesten laadun määrittelemiseksi ja ennakkokoenäytteenoton suunnittelemiseksi
Hankinta	Ennakkokokeita vaativissa kohteissa edustavien ja laadultaan toisiaan vastaavien ennakkokoenäytteiden otto urakoitsijalle toimitettavaksi, Näytteenoton laadunvarmistus (riippumattoman laadunvalvojan mukanaolo suositeltavaa).
Hankinta	Riippumattoman laadunvalvojan ja urakoitsijan valintakriteerien määrittely (kustannukset, laatu, eri tekijöiden painoarvot) Tilaajan ja lupien asettamat vaatimukset täyttävän riippumattoman laadunvalvojan ja urakoitsijan valinta. Urakoitsijoiden työ-, laadunvarmistus-, työturvallisuus- ym. suunnitelmien arviointi yhteistyössä riippumattoman laadunvalvojan kanssa
Hankinta	Urakkasopimuksen teko
Kunnostuksen valmistelu	Massojen vastaanotto ja varastointi vaatimusten mukaisesti
	Aloitusilmoitus viranomaisille ja aloituskokouksen järjestäminen
Kunnostuksen toteutus	Työnaikainen valvonta (työmaakokoukset, tarkastukset; työmaavalvoja voi hoitaa)
Kunnostuksen hyväksyntä	Lopputuloksen hyväksyttävyyden arviointi (urakkasopimuksessa asetettujen kriteerien perusteella)
	Urakoitsijan ja riippumattoman laadunvalvojan raporttien tarkastus
	Lopputarkastus kentällä
	Tarvittaessa sopimus lisä- ja korjaustoimista
	Loppuraportointi viranomaisille
Jälkiseuranta	Jälkiseurannan toteutus ja valvonta, jälkiseurantatulosten arviointi ja raportointi viranomaisille, toimenpidetarpeen arviointi

## Urakoitsijan tehtävät

Urakoitsija vastaa kunnostuksen käytännön toteutuksesta, tarjouspyynnön mukaisen tarjouksen valmistelusta ja kunnostuksen raportoinnista tilaajalle. Urakoitsijan tulee osaltaan pyrkiä vaikuttamaan siihen, että tilaajan tarjouspyynnön yhteydessä toimittama materiaali ja ennakkokokokeisiin toimitettavat maa-ainekset ovat riittäviä ja riittävän edustavia työn toteutuksen suunnittelun pohjaksi. Yhteenvedo urakoitsijan tehtävistä on seuraavassa taulukossa 1.3:

*Taulukko 1.3 Urakoitsijan tehtävät kohteessa toteutettavissa kunnostushankkeissa.*

Työvaihe	Tehtävä
Tarjouksen valmistelu	Tilaajan tarjouspyynnön yhteydessä toimittaman aineiston riittävyyden arviointi
	Tarjousta varten tarvittavien ennakkokokokeiden suunnittelu ja toteutus
	Laatu-, näytteenotto-, työturvallisuus- ja analyysisuunnitelmien laadinta
	Henkilökunnalle ja aliurakoitsijoille asetettavien pätevyysvaatimusten määrittely
	Henkilökunnan ja aliurakoitsijoiden pätevyyden varmistaminen
Kunnostustyön valmistelu	Työn toteutusta koskevien ehtojen, määräysten ja ohjeiden läpikäynti
	Varmistus, että kentällä on käytettävissä kaikki tarvittava aineisto (laatuohjeet, työohjeet, raportointilomakkeet, laitteiden käyttö- ja kalibrointiohjeet, työsuojaohjeet, ym.)
	Varmistus, että käsittelypaikalla on tehty tarvittavat ennakkotoimet, lisätoimet hyvätasoisien kunnostuksen toteutusedellytysten varmistamiseksi
	Varmistus, että kaikki laitteet ja mittausvälineet on tarkastettu, kalibroitu ja hyväksytty
	Tarvittavat maa-ainesten esikäsittelytoimet
	Henkilökunnan ja aliurakoitsijoiden tehtävien ja vastuiden määrittely
	Henkilökunnan ja alihankkijoiden tutustuttaminen työmaahan, riittävä ohjaus työn laatuvaatimusten mukaisen toteutuksen varmistamiseksi
Varmistus, että riittävät toimet työntekijöiden ja ympäristön suojaamiseksi on tehty	
Kunnostustyön käynnistäminen	Käsittelymenetelmän toimivuuden varmistaminen koe-erästä ennen työn käynnistämistä
Kunnostustyön toteutus	Toteutus ja toteutuksen laadunvarmistus, suunnitelman mukaiset laatu- tarkastukset ja laadunvalvontatutkimukset ja mittaukset sekä työpäiväkirjojen ja raportointilomakkeiden täyttäminen
Kunnostuksen hyväksyntä	Työn raportointi tilaajalle
	Korjaustoimet tarvittaessa

## Kunnostuksen valvojan tehtävät

Kunnostuksen valvoja toimii työmaalla ympäristötekniisena asiantuntijana ja rakennuttajan edustajana. Ympäristötekniiseltä asiantuntijalta edellytetään vahvaa ympäristö- ja maarakennusalan osaamista sekä soveltuvaa koulutustaustaa (mm. sertifioitu ympäristönäytteenottaja). Valvojan tehtäviin voivat kuulua esim.:

- näytteenotto, kenttämittaukset ja -havainnot
- massamäärien kirjanpito
- kaivun, maamassojen sijoituksen tms. ohjaus ja valvonta
- kaivutyömailla poiskuljetettavan pilaantuneen maa-aineksen sijoituskohteiden osoittaminen ja siirtoasiakirjojen laadinta
- yhteydenpito ympäristöviranomaisiin
- yhteyshenkilönä toimiminen (naapurit, muut asianosaiset).

## Riippumattoman laadunvalvojan tehtävät

Kunnostushankkeen toteutusketjussa (kuva 1.1) riippumattoman laadunvalvojan osuus alkaa urakkatarjouspyyntöasiakirjojen valmisteluvaiheessa ja päättyy riippumattoman laadunvalvonnan loppuraportin luovuttamiseen tilaajalle kunnostustyön valmistuttua. Seuraavassa taulukossa 1.4 on esitetty riippumattoman laadunvalvojan päätehtävät kunnostustyön eri vaiheissa.

*Taulukko 1.4 Riippumattoman laadunvalvojan tehtävät.*

<b>Työvaihe</b>	<b>Tehtävät/tarkastettavat asiat</b>
Yleissuunnittelu	Yleissuunnitelman arviointi soveltuvin osin
Rakennussuunnitelma	Osallistuminen laadunvalvontasuunnitelman laadintaan ja laatuvaatimusten määrittelyyn
Urakkatarjouspyyntö	Osallistuminen urakoitsijan valintakriteerien määrittelyyn
Urakoitsijan valinta	Tarjousten teknisen tason arviointi, Urakoitsijoiden laatujärjestelmien arviointi, Osallistuminen urakkasopimuksessa määritettävien työn hyväksymiskriteerien laadintaan
Urakoitsijan laadunvarmistussuunnitelma	Urakoitsijan laatu-, näytteenotto, työturvallisuus- ja analyysisuunnitelmien tarkastaminen
Ennakkokokeet, koekentän rakentaminen	Osallistuminen näytteenoton suunnitteluun, Näytteenoton laadunvarmistus ja näytteiden edustavuuden arviointi, Kokeiden ja koetulosten seuranta, Rakentamisen valvonta, Laadunvalvonnan vertailuarvojen määrittäminen

Kunnostustyön laadunvalvonta	Suunnitellun laatutason noudattamisen valvonta, Laadunvalvonnan toteutuminen laadunvarmennussuunnitelman mukaisesti, Urakoitsijan laadunvalvontakokeiden tulosten varmentaminen rinnakkaisnäytteistä tehtävillä kokeilla, Kunnostus- tai rakennustyön eteneminen suunnitelmien ja työselitysten mukaisesti, Työmaakokouksiin osallistuminen ja yhteydenpito tilaajaan, Tiedottaminen tilaajalle ja urakoitsijalle kunnostustyön laatutasosta
Raportointi ja jälkikorjaustoimenpiteet	Laadunvalvontamittausten tulosten kokoaminen yhtenäiseen raporttiin, Yhteenveto tutkimusten tuloksista ja suunnitellun laatutason toteutumisesta, Jälkikorjaustoimenpiteiden valvonta ja raportointi

### Viranomaisten tehtävät

Viranomaisen asettaa kunnostuspäätöksessä vaatimukset kunnostuksen toteutukselle sekä ohjaa ja valvoo kunnostusta hankkeen eri vaiheissa. Lupa- ja valvontatehtäviin tulee varata ja osoittaa riittävästi henkilöstöä, jolla on kyseisten tehtävien edellyttämä koulutus ja kokemus. Viranomaisen tärkeimmät tehtävät on esitetty taulukossa 1.5.

*Taulukko 1.5 Viranomaisen tehtävät kohteissa toteutettavissa kunnostuksissa.*

Työvaihe	Tehtävät
Kunnostuksen suunnittelu	Ohjaus ja neuvottelu
Kunnostuksen valmistelu	Lupahakemuksen tai ilmoituksen käsittely ja arviointi
Kunnostuksen valmistelu	Toteutukselle asetettavien vaatimusten asettaminen lupapäätöksessä tai ilmoituksesta tehtävässä päätöksessä
Kunnostuksen toteutus	Toteutuksen viranomaisvalvonta ja ohjaus työn aikana, valitusten käsittely, toimenpidevaatimukset
Kunnostuksen hyväksyminen	Lopputuloksen hyväksyminen tai hyväksymiselle asetettavien ehtojen määrittäminen tilaajan toimittaman raportin pohjalta
Jälkiseuranta	Jälkitarkkailuvaatimusten asettaminen ja tarkkailun valvonta tarkkailutulosten ja asetettujen vaatimusten perusteella

### 1.4.2 Laitoskäsittely

#### Maa-aineksen haltijan tehtävät

Maa-aineksia laitokseen toimittava vastaa siitä, että maa-aineksista on tutkittu kaikkien niissä todennäköisesti esiintyvien haitta-ainesten pitoisuudet (esimerkkejä kunnostuskohteissa tavallisimmin esiintyvistä haitta-aineista on esitetty liitteessä 1) ja muut lai-

toksen vastaanottoehdoissa ilmoitetut ominaisuudet. Lisäksi toimittaja vastaa, että maa-aineskuorman mukana on siirtoasiakirja.

Jos laitoksella tehtävässä tarkastuksessa havaitaan, että toimitettu materiaali ei ole vastaanottoehtojen tai siirtoasiakirjan mukaista, toimittaja vastaa tutkimuskustannuksista sekä maa-aineksen varastoinnista, poissiirtämisestä tai lisäkäsittelytarpeesta aiheutuvista kustannuksista. Tämä edellyttää, että laitos on ottanut materiaalista edustavat näytteet. Vastuukysymykset on täsmennettävä sopimuksissa.

### **Laitoksen tehtävät**

Laitoksen lupaehdoissa on määritelty, millaisia maa-aineksia laitos saa ottaa vastaan, yleensä mm. hyväksyttävät haitta-aineet ja korkeimmat hyväksyttävät haitta-ainepitoisuudet. Laitos määrittelee vastaanottoehdoissaan riittävän tarkasti, mitä maa-aineksia laitokseen saa toimittaa ja mitä tietoja niistä edellytetään.

Vastaanotettavien maiden laatua seurataan tarkastamalla kunkin maa-aineskuorman mukana tuleva siirtoasiakirja tai kuormakirja sekä tarkastamalla kuormat silmämääräisesti.

Lisätutkimuksia kuormasta tai kentälle erikseen sijoitetuista varastokasoista tehdään ainakin seuraavissa tapauksissa:

- analyysit on tehty pelkästään kenttänäytteenottomenetelmällä
- kaikkia maa-aineksessa todennäköisesti esiintyviä haitta-aineita tai muita laitoksen vastaanottoehdoissa ilmoittamia ominaisuuksia ole tutkittu
- vastaanottajalla on aistinvaraisen tutkimuksen (haju, väri, öljyisyys, käsiteltäväksi soveltumattomat jätteet, ym.) perusteella syytä olettaa, että varmistustutkimukset ovat tarpeen.

Lisäksi suositellaan, että laitos seuraa vastaanotettavan materiaalin laatua pistokokein. Seurannan taso päätetään tapauskohtaisesti. Lisätutkimuksia tehtäessä on kiinnitettävä huomiota näytteenoton edustavuuteen. Jos näytteet otetaan kuormasta, tutkimus tehdään kokoomanäytteestä, joka koostuu 5–10 osanäytteestä (kaatopaikkasijoituksessa viisi osanäytettä). Erityisesti, jos epäillään, että kuormat eivät täytä laitoksen vastaanottoehtoja, tutkimukset tehdään erän koon mukaan määräytyen useammista kuormista. Näytteenotossa noudatetaan standardin SFS-EN 932-1 vaatimuksia. Varastokasasta näytteet otetaan kohdassa 1.6.1, sivulla 43 esitetyn näytteenotto-ohjeen mukaan. Laitoksella tulee olla näytteenotto-ohje vastaanottotarkastuksia varten. Maa-ainekset varastoidaan erikseen, kunnes analyysitulokset ovat valmiit.

Vastaanottoehdoissa voidaan määrittää, milloin laitoksella on oikeus veloittaa lisätutkimusten kustannukset maa-ainesten toimittajalta.

Vastaanotetuiksi hyväksytyt maa-ainekset siirtyvät laitoksen vastuulle. Laitoksen tehtävänä on huolehtia, että maa-ainekset varastoidaan ja käsitellään lupaehtojen ja hyvän kunnostuskäytännön mukaisesti ja että ne loppusijoitetaan asianmukaisen luvan saaneeseen kohteeseen.

Kun käsitellyt jätteet sijoitetaan loppusijoitusalueelle tai muuhun sijoituskohteeseen, vastuu materiaalista siirtyy loppusijoitusalueen vastaavalle haltijalle siinä vaiheessa, kun tämä on hyväksynyt jätteen vastaanotetuksi. Loppusijoitusalueesta vastaava vastaa tarvittaessa myös sijoitukseen liittyvästä jälkiseurannasta. Myös loppusijoitusalueesta vastaavan tulee vaatia riittävät tiedot vastaanotetusta materiaalista ja vastaanottovaiheessa tarkastaa, että materiaali on sopimusten ja vastaanottoehtojen mukaista.

Käsittely- tai loppusijoitusalueen pitäjä vastaa toimintansa ympäristövaikutuksista ja toiminnasta mahdollisesti aiheutuneiden vaurioiden korjaamisesta myös silloin, jos alueen pitäjä ei ole maanomistaja.

## **1.5 Työn suoritukseen osallistuvien pätevyys**

### **Tilaja**

Tilajalla on oltava kokemusta maarakennusurakoiden ja pilaantuneiden maiden kunnostusurakoiden tilauksesta ja valvonnasta. Jos tilajalla ei ole riittävää aiempaa kokemusta, on suositeltavaa, että tilaaja nimittää tehtävään sopivan edustajan.

### **Urakoitsija**

Urakoitsijan tulee esittää todisteet siitä, että pystyy toteuttamaan kyseisen urakan ja täyttämään asetetut laatuvaatimukset. Urakoitsijan pätevyyttä voidaan arvioida mm. seuraavien kriteerien perusteella:

- kokemukset aikaisemmista vastaavista töistä
- vastuuhenkilöiden pätevyys tehtäväänsä, koulutus ja aikaisempi kokemus maarakentamiseen ja pilaantuneiden maiden kunnostuksiin liittyvistä tehtävistä, yhteenveto myös alihankkijoiden vastuuhenkilöiden kokemuksesta
- laitteisto- ja koneresurssit
- laatujärjestelmä tai muu tapa osoittaa, että urakoitsija pystyy toteuttamaan hankkeen laatuvaatimusten mukaisesti

- työ- ja laadunvalvontasuunnitelmien taso
- laadunvalvontalaboratorio (oma laatujärjestelmä, vertailukokeet)
- yhteiskuntavelvoitteet (vero ja vakuutukset).

### **Alihankkijat**

Alihankkijoiden pitää periaatteessa täyttää samat tehtävän mukaiset kriteerit kuin urakoitsijan. Urakoitsija vastaa siitä, että alihankkijat täyttävät tehtävän asettamat vaatimukset.

### **Suunnittelijat ja konsultit**

Suunnittelijoiden ja konsulttien valinnassa tulee painottaa tapauskohtaisesti tarkemmin määrittellen maarakennus- ja ympäristöalan koulutusta ja kokemusta. Erityiskysymyksissä voidaan käyttää eri alojen erityisasiantuntijoita. Paitsi yksittäisiin henkilöihin kohdistuvia vaatimuksia, myös käytettävissä oleviin henkilö- ja laitteistoresursseihin on syytä kiinnittää huomiota. Suunnittelijoiden ja konsulttien edustamilla yrityksillä ja laitoksilla tulee olla laatujärjestelmä tai niiden on tarvittaessa pystyttävä todistamaan edellytyksensä toimeksiannon laadukkaaseen toteuttamiseen. Yritysten yhteiskuntavelvoitteiden pitää olla moitteettomasti hoidettu.

### **Tutkimus- ja testauslaboratoriot**

Testauslaboratorioilta tulee edellyttää kokemusta vastaavista testauksista sekä osallistumista vertailututkimuksiin. Kokemuksen ja vertailutietojen kautta laboratorion tulosten luotettavuus paranee eikä tutkimuksissa käytetä soveltumattomia testejä tai säilytys- ja esikäsittelymenetelmiä. Laboratoriolla on oltava asianmukainen laadunvarmennusjärjestelmä.

### **Riippumaton laadunvalvoja**

Koska Suomessa ei toistaiseksi ole olemassa riippumattomien laadunvalvojien sertifiointijärjestelmää, todetaan riippumattoman laadunvalvojan pätevyys tapauskohtaisesti. Laadunvalvojaa valittaessa on syytä kiinnittää erityistä huomiota seuraaviin seikkoihin:

#### **Koulutus**

Maarakentamiseen liittyvä koulutus,  
asiantuntemuksen laaja-alaisuus,  
laatujärjestelmien tuntemus.

<b>Kokemus</b>	Käytännössä osoitettu kokemus maarakentamiseen liittyvistä työtehtävistä mieluiten koko toimintaketjun osalta (suunnittelu, laboratoriotyöskentely, kenttäkokeet, työmaakokemus), urakkasopimusten ja yleisten sopimusehtojen tuntemus (soveltuvin osin).
<b>Referenssit</b>	Aikaisempaa kokemusta toimimisesta urakoitsijan tai rakennuttajan laadunvalvojana tai kokeneemman laadunvalvojan ohjauksen alaisena työskentelemisestä.
<b>Taustaorganisaatio</b>	Mahdollisuus saada taustatukea muilta asiantuntijoilta. Käytettävillä laboratorioilla laatuja järjestelmä ja referenssein osoitettu kokemus ko. kokeiden suorittamisesta.
<b>Riippumattomuus</b>	Ei riippuvuussuhdetta urakoitsijoihin, materiaalitoimittajiin tai kohteen suunnittelijoihin.

## 1.6 Toteutuksen laadunhallinta

**Varmistettava, että mittaus- ja analyysimenetelmät valitaan ja mittaukset ja analyysit toteutetaan siten, että päästään työn tavoitteiden mukaiseen laatu-tasoon.**

Kunnostushankkeelle asetettujen laatuvaatimusten toteutumisen varmistamista varten urakoitsija laatii työmaan laatusuunnitelman, joka perustuu usein urakoitsijan omaan laatuja järjestelmään. Työmaan laatusuunnitelman tarkoituksena on tarkentaa sopimuksessa esitettyjä asioita ja varmistaa yhteistoiminnan sujuvuus ja lopputuloksen laatu. Sen sisällöstä ja laadinnasta sovitaan tilaajan kanssa sopimuksenteon yhteydessä. Laatusuunnitelma laaditaan työmaakohtaisesti ottaen huomioon kunkin työmaan olosuhteet ja jaetaan kaikille projektin osapuolille tarkistamista varten. Mahdollisten muutosten ja korjausten jälkeen tilaaja hyväksyy suunnitelman.

### 1.6.1 Näytteenotto ja analytiikka

Laadunvarmistusmittausten tavoitteena on

- 1) ohjata kunnostusta ja varmistaa, että kunnostus toimii, kuten on suunniteltu
- 2) antaa mahdollisuus korjata suunnitelmia tarvittaessa



- 3) varmistaa, että kunnostus toteutetaan siten, että päästään kunnostussuunnitelmassa asetettuihin tavoitteisiin
- 4) varmistaa, että kunnostuksen aikana ei aiheudu haittaa ihmisille tai ympäristölle
- 5) varmistaa, että kunnostustulos on pysyvä.

### **Näytteenottosuunnitelma**

Kunnostussuunnitelmaan sisällytetään näytteenottosuunnitelma. Näytteenottosuunnitelmassa esitetään:

- tunnistetiedot (hankkeen nimi ja hankkeesta vastaava, työn tilaaja)
- näytteenoton tavoite
- näytteenottokohteet ja näytteenottopaikat
- näytteenottoajankohdat
- näytteenottomenetelmät
- näytteiden käsittely
- tutkimus- ja analyysimenetelmät
- näytteenoton laadunvarmistus
- tulosten käsittely
- raportointi

Suunnitelmaan liitetään tarvittavat menetelmä- ja menettelytapaohjeet tai tiedot, mistä ohjeet ovat saatavilla.

### **Näytteenotto**

Maaperänäytteenotto tehdään seuraavien ohjeiden ja oppaiden mukaisesti:

- Assmuth, T., Strandberg, T., Joutti, A. & Kalevi, K. Kemiallisesti saastuneen maaperän tutkimusmenetelmät, Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja –sarja A 97, 1992.
- Mroueh, U-M., Järvinen, H-L. & Lehto, O. Saastuneiden maiden tutkiminen ja kunnostus. Teknologiakatsaus 47/96, 1996.
- Nikulainen, V. & Kalevi, K. Saastuneen maa-alueen tutkimuksen ja kunnostuksen työsuojeluopas. Suomen ympäristökeskus, Ympäristöopas 17, 1997.
- Sarkkila, J. et al. Pilaantuneen maan kunnostuksen laadunvarmennusopas. Suomen ympäristökeskus, Ympäristöopas 110, 2004.

- Suomen Geoteknillinen Yhdistys r.y. Ympäristögeotekninen näytteenotto-opas, maa-, huokoskaasu ja pohjavesinäytteet, 2002.

Jos näytteenoton tavoitteena on maa-ainesten hyötykäyttökelpoisuuden varmistaminen tai kaatopaikkasijoitus, on näytteenoton suunnitteluun ja toteutukseen kiinnitettävä erityistä huomiota, kts. myös luvut 9 ja 10.

Näytteenotossa noudatetaan yleisesti hyväksyttäviä periaatteita ja laatukriteereitä.

- Näytteiden on edustettava mahdollisimman hyvin käsiteltävää maamassaa, yleensä näytteet kannattaa ottaa paikoista, joissa pitoisuudet ovat jonkin verran alueen keskiarvopitoisuuksien yläpuolella.
- Näytteitä otetaan riittävästi testeihin, vertailukokeisiin ja laadunvarmistuskokeisiin.

Kohteen ja menetelmän mukaan harkitaan:

- käytetäänkö yhdistettyjä näytteitä
- tiedetäänkö kohteen maaperän ja huokoskaasun haitta-ainepitoisuuksista ja jakaumasta sekä maaperän laadusta riittävästi edustavien näytteiden ottamiseksi
- miten heterogeenista maa-ainesta ja haitta-aineiden esiintyminen on
- tarvitaanko ”pahimman tapauksen” näytteitä.

Haihtuvia aineita sisältäviä näytteitä otettaessa on kiinnitettävä erityistä huomiota laadunvarmistukseen: diffuusiosuojattujen näytepussien käyttö, ei pintanäytteitä, säilytys kylmässä ja pimeässä, nopea toimitus laboratorioon. Haihtuvia aineita sisältäviä osanäytteitä ei suositella yhdistettäväksi kenttäolosuhteissa.

Näytteenotto varastokasasta

Hollantilaisessa pilaantuneiden maa-ainesten hyötykäytön tehostamiseen tähtäävässä tutkimusprojektissa on selvitetty kaivetun ja varastokasaan siirretyn maa-aineksen sekä in-situ -olevan maa-aineksen haitta-ainepitoisuuksissa todettuja eroja (Honders, T. et al. 2003). Tutkimuksessa tehdyt päähuomiot olivat seuraavat:

- Haitta-aineiden keskiarvopitoisuudet olivat yleensä pienempiä varastokasoissa kuin saman maa-aineksen ollessa in-situ.
- Yksittäisissä kunnostusprojekteissa todettiin huomattavia vaihteluja in-situ -tutkimusten ja varastokasatutkimusten tulosten välillä.

Edellä esitetyt erot johtuvat pääasiassa:

- laimentumisefektistä (kaivun yhteydessä on yleensä poistettu myös puhtaita maamassoja)
- varastokasojen ja pilaantuneiden maa-alueiden tutkimusten erilaisista tavoitteista (pilaantuneilla maa-alueilla tavoitteena on yleensä paikallisten hot spotien löytäminen, varastokasojen tutkimuksissa tavoitteena on yleensä haitta-aineiden keskiarvopitoisuuksien selville saaminen).

Hollantilaisten kokemusten perusteella (Honders & Gadella 2003) on todettavissa, että haitta-aineet esiintyvät heterogeenisesti varastokasoissa. Heterogeenisuuden suuruutta ei tiedetä edeltä käsin, joten käytettävä näytteenottostrategia on päätettävä tutkimuksen tavoitteen mukaan. Näytteenotossa on kaksi lähestymistapaa:

- 1) Otetaan ja analysoidaan suuri määrä yksittäisiä näytteitä. Tulosten perusteella varastokasa voidaan määritellä laadullisesti käyttäen apuna tilastollisia parametreja, kuten keskiarvoa, mediaania tai 95 % persentiiliä. Haittapuolena ovat suuret kustannukset. Etuna voidaan pitää haitta-ainepitoisuuksien heterogeenisuudesta saatavaa tietoa.
- 2) Otetaan tietty määrä osanäytteitä, joista muodostetaan kokoomanäyte (periaatteessa varastokasan heterogeenisuus siirretään kokoomanäytteeseen). Edellyttää kokoomanäytteen homogenisointia ja asianmukaista näytteenjakamista varsinaista analyysiä varten. Saatu tulos edustaa varastokasan keskiarvopitoisuutta (kts. kuva 1.2). Menetelmän etuna on edullisuus verrattuna yksittäisten näytteiden analysointiin. Haittapuolista mainittakoon haitta-ainepitoisuuksien heterogeenisuudesta saatavan tiedon niukkuus.

Varastokasoista tehtävään näytteenottoon suositellaan edellä kohdassa 2 esitettyä tapaa silloin, kun tarkoituksena on selvittää haitta-ainepitoisuudet maa-aineksen jatkokäsittelyä varten (esim. stabilointi, pesu). Jos tarkoituksena on sijoittaa maa-aines hyötykäyttökohteeseen tai loppusijoittaa kaatopaikalle, ei tätä strategiaa suositella käytettäväksi.

Osanäytteisiin perustuva näytteenottostrategia edellyttää aina erittäin huolellista näytteiden esikäsittelyä (homogenisointia ja jakamista pienempiin osiin). Esikäsittelyssä on noudatettava standardia SFS-EN 932-1. Kokoomanäytteitä muodostetaan kaksi kappaletta, osanäytteiden määrän vaihdellessa seuraavasti (taulukko 1.6):

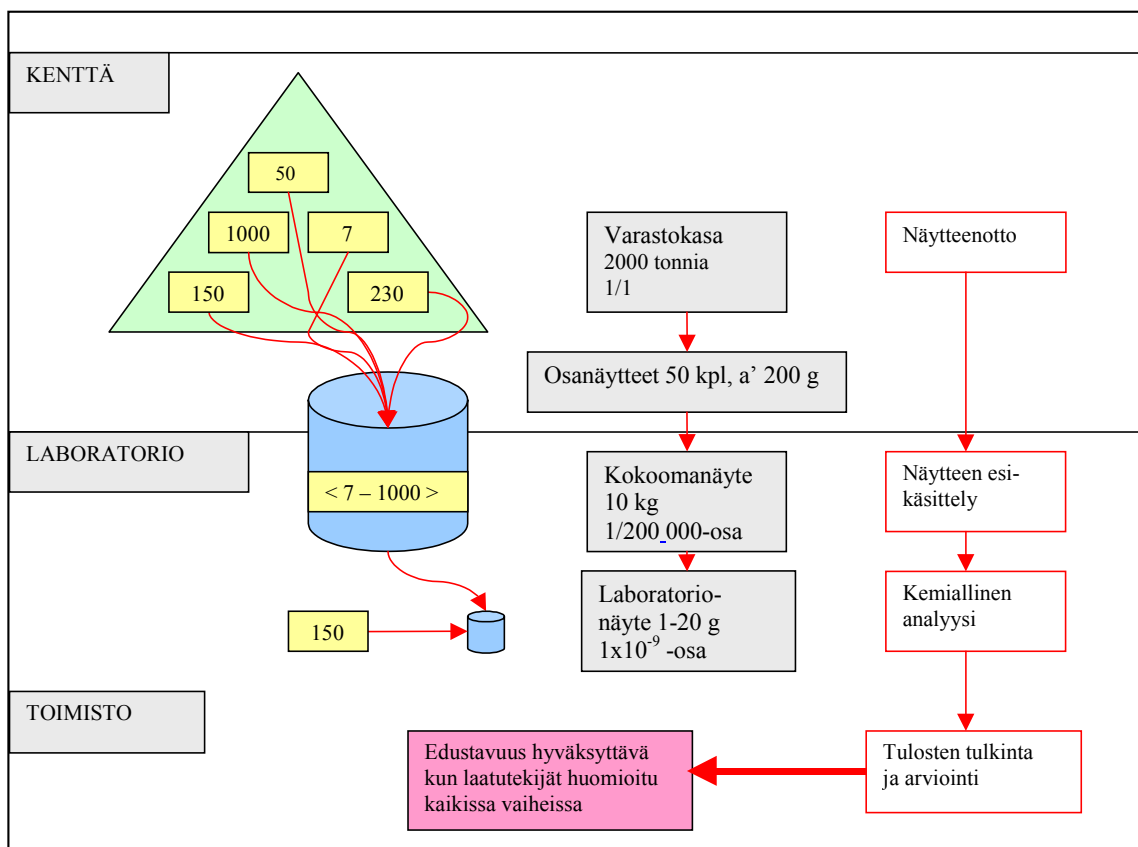
Taulukko 1.6 Osa- ja kokoomanäytteiden määrä näytteenotossa varastokasoista.

Varastokasan koko (tonnia)*	Osanäytteiden määrä	Kokoomanäytteitä (kpl)
< 100	20	2
100–2 000	50	2
> 2 000	määritettävä erikseen	määritettävä erikseen

\* Huom! Mikäli samaan varastokasaan on yhdistetty eri kohteista peräisin olevia maamassoja, näytteenot-strategian perusteet voivat muuttua. Tällöin on syytä tarkistaa tarvittavien osanäytteiden määrä.

Yksittäisen osanäytteen paino on noin 200 g. Kun analysoidaan kaksi kokoomanäytettä, saadaan lisätietoa haitta-ainepitoisuuksien heterogeenisuudesta ja mahdollisista virheistä näytteenotossa, näytteiden esikäsitelyssä tai analyysissä.

Hollantilaisen tutkimuksen (Honders & Gadella 2003) mukaan edellä kuvatulla tavalla saadaan luotettava arvio varastokasan sisältämien haitta-aineiden keskiarvopitoisuuksista jopa 97–98 %:ssa tutkituista kasoista, mikäli kyseessä ovat epäorgaaniset haitta-aineet. Orgaanisten haitta-aineiden kohdalla luotettava tulos saavutetaan noin 75–82 %:ssa tutkituista kasoista.



150 haitta-ainekonsentraatio varastokasassa, kokooma- tai laboratorionäytteessä

Kuva 1.2 Näytteenotto varastokasasta (Honders & Gadella 2003, mukailtu).

Sen jälkeen kun varastokasan sisältämien haitta-aineiden keskiarvopitoisuudet on selvitetty, kasaa ei saa vapaasti jakaa osiin esim. toimitettavaksi eri käsittelypaikkoihin. Seuraavia sääntöjä on noudatettava (Honders, A. et al. 2003):

- < 500 tonnin varastokasat; ei saa jakaa osiin
- 500–2 000 tonnin varastokasat; jakaminen sallittua, kunkin erän oltava kuitenkin vähintään 500 tonnin suuruinen
- 2 000–50 000 tonnia; jakaminen edellyttää erityissuunnittelua.

### **Näytteiden merkintä**

Näytteet merkitään siten, että näytteet ja näytetulokset ovat jäljitettävissä kaikissa toimintaketjun vaiheissa.

Näytteenottoa varten laaditaan seurantalomakkeet, joihin merkitään näytteiden tunnistamisen ja seurannan kannalta tärkeät tiedot. Seurantalomakkeen sisältö voi olla esimerkiksi liitteen 3 esimerkin mukainen.

Seurantalomakkeesta otetaan kopio itselle, ja jos näytteet lähetetään edelleen, näytteen mukaan liitetään kopio lomakkeesta. Seurantalomake voi tällöin sisältää myös muita lisätietoja, kuten näytteen kuljetusketjun seuranta, kunkin luovuttavan ja vastaanottavan käsittelijän allekirjoitukset, päivämäärät, kellonajat ym.

### **Näytteenottaja**

Ympäristögeoteknisen näytteenoton suorittaa aina sertifioitu ympäristönäytteenottaja. Näytteenoton käytännön toteuttamista on käsitelty yksityiskohtaisesti Suomen Geoteknillisen Yhdistyksen julkaisemassa oppaassa Ympäristögeotekninen näytteenotto-opas; Maa-, huokoskaasu- ja pohjavesinäytteet.

### **Analyysi- ja mittausmenetelmien valinta**

Tarvittava tiedon laatutaso määritellään ennen tutkimuksen alkamista. Esimerkiksi menetelmän toimivuutta seurattaessa ei tarvita yhtä tarkkoja mittauksia kuin lopputuloksen hyväksyttävyyden arvioinnissa. Oikean tiedon tason valinta säästää aikaa ja rahaa ja auttaa keskittymään oleellisiin kysymyksiin. Valitun tiedontason selkeä kirjaaminen sekä näytteenottosuunnitelmiin että seuranta- ja työraportteihin ehkäisee tulosten väärää tulkintoja tulevaisuudessa.

Tutkimuksissa käytetään ensisijaisesti standardoituja menetelmiä. Maaperän laadun tutkimusmenetelmiä standardoi ISO (ISO/TC 190 Soil Quality). Menetelmäsuosituksia antavat mm. pohjoismainen Nordtest ja yhdysvaltalainen EPA.

### **Analyysilaboratorio**

Tutkimuksissa käytetään laboratorioita, jotka pystyvät osoittamaan, että laadunvarmistus on asianmukaista. Laboratoriolla tulee olla luotettava ja riittävästi dokumentoitu laatujärjestelmä, ja laboratorion tulee käyttää akkreditoituja taikka muutoin luotettaviksi osoitettuja menetelmiä. Jos analysoivaa laboratoriota ei ole akkreditoitu tai sillä ei ole kaikkia tutkittavia aineita tai parametrejä kattavaa laatujärjestelmää, on näille aineille tai parametreille oltava kyseisille menetelmille soveltuva laadunvarmistus.

### **Kenttämittaukset**

Kenttämittausmenetelmät soveltuvat parhaiten käytettäväksi silloin, kun tutkittavien haitta-aineiden lukumäärä on pieni ja pitoisuudet suuria tai kun seurataan vain yhtä parametria, kuten esimerkiksi orgaanisten aineiden kokonaismäärää. Kaivutöiden aikana kenttämittausten tuloksia voidaan välittömästi käyttää rajaamaan aluetta ja ohjaamaan työn etenemistä.

Kenttämittalaitteita käytettäessä otetaan huomioon mm. seuraavat seikat (liitteet 4 ja 5):

- 1) Näytteenottoa suunniteltaessa varmistetaan, että mittalaitteen määrittämissä raja-arvoissa on riittävä käyttökohteeseen ja kaikille tutkittaville haitta-aineille.
- 2) Laitteelle laaditaan käyttöohje.
- 3) Laitteen kalibrointi- ja huolto-ohjeet ovat käyttäjien saatavissa ja niitä noudatetaan laitetta käytettäessä. Monet kenttämittalaitteet on kalibroitava päivittäin sekä työtä aloitettaessa että työn päättyessä.
- 4) Mittalaitteen käyttöpäiväkirja pidetään aina laitteen mukana.
- 5) Laitteen käyttäjällä on riittävästi kokemusta ko. menetelmästä ja laitteesta, niin että menetelmän rajoitukset ja häiriötekijät pystytään ottamaan huomioon näytteenotossa ja tulosten tulkinnassa.
- 6) Kenttämittalaitteen käytössä ja kalibroinnissa otetaan huomioon sääolosuhteiden vaikutukset.
- 7) Kenttämittalaite osoittaa vain näytteenottokohdan/sondin sijaintikohdan haitta-ainepitoisuuden.

- 8) Kenttänäytteiden laadun varmistamiseksi ja vertailutulosten saamiseksi tutkitaan riittävä määrä rinnakkaisnäytteitä laboratoriossa. Kenttä- ja laboratoriotulosten vertailussa tulee ottaa huomioon, että menetelmät eivät aina vastaa täysin toisiaan.

Lisätietoja kenttämittalaitteista ja niiden käytöstä löytyy mm. seuraavista julkaisuista:

- Laakso, K. 1999. Saastuneiden maiden tutkimiseen soveltuvia kenttämittareita - Helsinki : Suomen ympäristökeskus Ympäristöopas ; 60 . 90 s.
- Naturvårdsverket 1996. Fältanalyser av förorenad mark. Översikt och jämförelse mellan konventionella metoder. Naturvårdsverket Förlag. 61 s + liitt. 6.

## 1.6.2 Ympäristökuormitusten hallinta

### Vesipäästöjen hallinta

**Kunnostettavalla alueella sekä pilaantuneiden maamassojen käsittely- ja loppusijoituspaikoilla muodostuvat pinta- ja suotovedet sekä alueilta mahdollisesti pumpattava pohjavesi on pääsääntöisesti koottava ja johdettava keräysaltaaseen, -kaivoon tai puhdistukseen.**

**Vesi on aina tutkittava ennen sen johtamista luontoon tai viemäriin, haitta-ainepitoisuudet määräävät veden johtamispaikan ja puhdistustarpeen. Haitta-aineita sisältävät vedet johdetaan mieluummin viemäriin kuin ojaan. Johtamisesta ei kuitenkaan saa aiheutua haittaa viemäriverkossa eikä puhdistamalla.**

Vesipäästöjen hallintaa varten vesien tutkimisesta ja pilaantuneen veden käsittelystä on tehtävä suunnitelma, jossa esitetään:

- analysoitavat haitta-aineet
- näytteenottoajankohdat ja -paikat
- muut tutkittavat ominaisuudet perusteluineen
- näytteenotto- ja näytteiden analysointimenetelmät
- näytteenoton ja analyysitulosten dokumentointi ja tulosten jakelu
- käytettävä veden puhdistusmenetelmä tai muu käsittelytapa
- vesihuoltolaitoksen antamat ohjeet vesien johtamisesta viemäriin (tarvittaessa)
- vesien käsittelyn dokumentointi.

Kunnostettavan alueen tai pilaantuneiden maamassojen käsittelypaikkojen ohitse ohjattavat pintavedet voidaan johtaa sade- tai jätevesiviemäriin tai suoraan pintavesistöön vastaavalla tavalla kuin ympäristön muut pintavedet. Samoin voidaan tehdä kunnostettavalta alueelta ja maamassojen käsittelypaikoilta kerättäville tai pois pumpattaville pintavesille, jos ne on analyysillä todettu puhtaaksi. Vesien laatua on tarkkailtava säännöllisesti. Jos vedessä todetaan haitta-aineita, menetellään kuten jäljempänä on esitetty pilaantuneen pohjaveden käsittelystä. Kerättäviin vesiin ei saisi jäädä kiintoainesta, sillä esim. aktiivihiihluodatin tukkeutuu helposti kiintoaineksen vaikutuksesta. Vedet voidaan johtaa esim. laskeutusaltaan kautta jatkokäsittelyyn.

Pohjaveden pinnan alentamisen yhteydessä pumpattava pohjavesi voidaan yleensä johtaa sade- tai jätevesiviemäriin tai suoraan pintavesistöön. Jos pohjavesi täyttää talousveden laatuvaatimukset, tulevat kaikki em. vaihtoehdot kyseeseen. Jos pohjavesi sisältää haitta-aineita, riippuu pohjaveden käsittelytarve ja mahdollinen johtamistapa haitta-aineiden laadusta ja pitoisuuksista sekä veden määrästä. Niin puhtaan kuin pilaantuneenkin veden johtaminen jätevesiviemäriin edellyttää aina paikallisen vesihuoltolaitoksen kanssa asiasta sopimista, sillä puhdistamon toiminnalle ja viemäriverkostolle ei saa aiheutua haittaa. Tarvittaessa puhdistamolle kelpaamaton vesi voidaan puhdistaa paikanpäällä viemäröintikelpoiseksi tai pumpata imuautoon ja kuljettaa käsiteltäväksi asianmukaisen luvan omaavaan käsittelypaikkaan. Pohjaveden käsittelytarpeesta päättää lupaviranomainen. On myös huomattava, että eräiden aineiden päästäminen vesiin tai yleiseen viemäriin on ympäristöluvanvaraista toimintaa (Ympäristönsuojeluasetus 2000). Lisäksi ns. mustassa listassa mainittujen aineiden päästäminen viemäriin tai vesistöön on kokonaan kiellettyä (VNp 363/94). Näitä aineita ovat esim. triklooribentseeni ja hiilitetrakloridi sekä 1,2-dikloorietaani ja trikloorietyleeni. Ympäristöministeriön julkaisussa (1992) ”Asumisjätevesistä poikkeavien jätevesien johtaminen viemäriin” on esitetty raja-arvoja eräille haitta-aineille

Pilaantunut vesi voidaan johtaa luontoon vain, jos veden sisältämät haitta-aineet ovat laadultaan, pitoisuuksiltaan ja kokonaismääriltään sellaiset, että ne eivät aiheuta haittaa ympäristölle. Haitattomuus on aina todettava paikkakohtaisen tarkastelun perusteella.

Mikäli joudutaan käsittelemään pilaantunutta pohja- tai pintavettä, on huolehdittava siitä, että käytettävissä on riittävästi veden varastokapasiteettia. Varastokapasiteetin tarve riippuu puhdistusmenetelmän tehosta. Jos vesiä puhdistetaan paikan päällä, puhdistuslaitteisto mitoitetaan maksimivesimäärän perusteella (huomioitava varastokapasiteetti ja sateiden vaikutus). Aktiivihiihluodatinta käytettäessä on laitteistoon liitettävä kaksi peräkkäistä suodatinta. Näytteet otetaan vesivirrasta suodatinten väliltä riittävän usein. Liitteissä 18 ja 19 on esitetty vesien puhdistuksessa huomioitavia tekijöitä ja puhdistusmenetelmien soveltuvuus eri haitta-aineille.



## Ilmaan joutuvien päästöjen hallinta

Pilaantuneiden maiden käsittelyssä voi syntyä päästöjä ilmaan monissa eri työvaiheissa. Maa-aineksia kaivettaessa, kuljettaessa ja sekoitettaessa tärkeimmät päästötyypit ovat haihtuvat yhdisteet ja haitta-ainepitoiset pölyt. Haihtuvien aineiden päästöt voivat aiheuttaa myös ympäristöä häiritsevää hajua.

Varsinaisissa käsittelyprosesseissa ilmaan voi päästä haitta-aineita sekä käsiteltävistä maa-aineksista että käsittelyprosessissa käytettävistä lisäaineista. Käsittelyssä voi myös syntyä reaktiotuotteita, jotka joutuvat ilmaan. Esimerkiksi termisten käsittelyprosessien päästöt sisältävät polttoaineesta ja käsitellyn maa-aineksen laadusta riippuen typen oksideita, hiilidioksidia ja -monoksidia, rikkidioksidia, vetykloridia ja muita klooriyhdisteitä, haitta-ainepitoisia hiukkasia ym.

Ilmapäästöjen hallintasuunnitelmassa esitetään mm. arvio päästömääristä ja päästöjen koostumuksesta, päästöjen hallintatoimet eri työvaiheissa, näytteenotto- ja mittausohjelma sekä toimenpiderajat.

Maa-ainesten kaivun, siirtojen ja käsittelyn yhteydessä pölyämistä ja haihtumista pyritään rajoittamaan kaikissa työvaiheissa toiminnallisilla keinoilla. Niitä ovat mm.

- varastokasojen peittäminen suojapeitteellä tai säilytys katetuissa tiloissa
- maamassojen kostutus kuljetusten, kuormausten ja siirtojen ajaksi sekä silloin, jos massoja tilapäisesti varastoidaan peittämättöminä
- korkeareunaisten ja peitettyjen lavojen käyttö, ylikuormausten välttäminen
- haihtuvia haitta-aineita sisältävien maa-ainesten siirtojen ja kääntöjen minimointi ja käsittely mahdollisuuksien mukaan paikassa, jossa kaasut voidaan kerätä
- varastokasoja ja aumoja rakennettaessa voidaan haihtumista ja pölyämistä vähentää pitämällä maa-ainesten pudotuskorkeus mahdollisimman pienenä ja kuormaamalla maa-ainekset kasan suojanpuoleiseen osaan
- käsittelyalueiden siisteydestä huolehtiminen, ajoneuvojen renkaiden puhdistus ym. toimenpiteet pilaantuneiden maiden leviämisen estämiseksi.

Kunnostettavalla alueella tai pilaantuneiden maamassojen käsittely- ja varastointipaikalla mahdollisesti syntyvien haihtuvien kaasujen ja pölyjen keräys- ja käsittelytarve on aina arvioitava. Talteen kerättävät kaasumaiset päästöt on tarvittaessa käsiteltävä esim. aktiivihiilisuodattimella, polttamalla katalyyttisesti tai biologisilla käsittelymenetelmillä. Pölypäästöjen käsittelyssä käytetään yleensä erilaisia suodattimia. Kaasunpuhdistusmenetelmän soveltuvuus ja puhdistustehon riittävyys kyseisille kaasuille on varmistettava. Kaasunkäsittelytarve liittyy aina huokoskaasukäsittelyyn ja termodesorptioon,

jossa noudatetaan valtioneuvoston asetuksessa (362/2003) jätteen polttamisesta annettuja vaatimuksia, sekä tapauskohtaisesti myös muihin kunnostusmenetelmiin.

*Tapauksissa, joissa päästöt ilmaan ovat pienehköjä, voidaan kaasunkäsittelytarpeen arvioinnissa käyttää kvalitatiivista arviointia, jossa otetaan huomioon:*

- haitta-aineiden haihtuvuus ja haitallisuus terveydelle (myös työntekijät) ja ympäristölle
- hajuhaitat ja etäisyys hajulle altistuviin kohteisiin
- altistuvat kohteet ja niiden etäisyys päästölähteestä (mahdollisuus päästä sisäilmaan erityinen riski)
- haihtuvien aineiden läsnä ollessa niiden kokonaismäärä ja arvioitu pitoisuus maa-aineksessa
- haihtumattomien haitta-aineiden pitoisuus maa-aineksessa
- käsittelemättömän kaasun haitta-ainepitoisuudet
- kaasun pitoisuuden kehittyminen käsittelyajan funktiona, jos kaasut käsiteltäisiin
- kaasujen käsittelyn ympäristövaikutukset. Kokonaisvaikutusten arvioimiseksi käsittelyllä saavutettavaa hyötyä verrataan käsittelyn kokonaisympäristövaikutuksiin. Tällöin otetaan huomioon, mm. käsittelyn polttoaineiden kulutus, syntyvät hiilidioksid- ja typpioksidipäästöt, muut päästöt ilmaan, raaka-aineiden ja kemikaalien ym. kulutus sekä syntyvien jätteiden määrä ja haitallisuus.

### **Orgaanisia haitta-aineita sisältävien kaasujen käsittelymenetelmät ja niiden soveltuvuuden arviointi**

*Aktiivihiihiadsorptio* on yleisin haihtuvien kaasujen käsittelymenetelmä. Se soveltuu maa-aineksista haihtuvien tai pumpattavien VOC-yhdisteiden käsittelyyn tapauksissa, joissa kaasut pystytään keräämään. Menetelmän soveltuvuutta rajoittavia tekijöitä, jotka on otettava huomioon puhdistustekniikkaa valittaessa ja laitteistoa suunniteltaessa, on esitetty taulukossa 1.7.

*Taulukko 1.7 Aktiivihiiliadsorptiossa huomioon otettavia, laitteiston toimintaan vaikuttavia tekijöitä ja niiden vaikutuksia (Mroueh 1990).*

<b>Tekijä</b>	<b>Riski</b>	<b>Huomioitavaa</b>
Pienimolekyyliset hiilivedyt, kuten metanoli ja eteeni, vinyylikloridi, formaldehydi, sykloheksanoni	Heikosti adsorboituvia, vaikeasti käsiteltäviä	
Sykloheksanoni ja metyylietyyliketoni	Hajoavat tavallisessa hiilessä eksotermisesti, palovaara	Kuituhiili soveltuu paremmin
Liuteseokset	Kevyimmät komponentit alkavat syrjäytyä raskaammilla ja poistuvat	Vähintään kaksi peräkkäistä suodatinta
Käsiteltävän ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus	Adsorptiotehon heikkeneminen lämpötilan noustessa ja suhteellisen kosteuden kasvaessa	

Aktiivihiiltä käytettäessä varmistetaan suodatuskapasiteetin riittävyys käyttämällä kahta perättäistä suodatinta. Suodattimien välisestä kaasuvirrasta otetaan näytteitä kaasujen läpäisyn tutkimiseksi ja ensimmäinen suodatin vaihdetaan takimmaiseen, kun haitta-ainepitoisuudet suodattimien välissä ylittävät hyväksyttävän pitoisuuden.

Käytetty aktiivihiili on herkästi syttyvä ongelmajäte. Siksi se on kuljetettava ongelmajätettä koskevien määräysten mukaisesti. Se voidaan käsitellä vain laitoksessa, jolla on ympäristönsuojelulain 28 §:n mukainen lupa ottaa vastaan aktiivihiilijätettä.

*Katalyyttinen poltto* soveltuu alhaisia pitoisuuksia orgaanisia haitta-aineita sisältävien kaasuvirtojen käsittelyyn termistä polttoa paremmin, koska haitta-aineiden hajotusreaktiot tapahtuvat matalammissa lämpötiloissa ja siten polttoaineiden kulutus on pienempi (Tengvall 2000). Katalyytin herkkyys joillekin haitta-aineille on kuitenkin otettava huomioon käsittelyä suunniteltaessa (Taulukko 1.8).

Taulukko 1.8 Katalyyttipoltossa huomioon otettavia tekijöitä ja niiden vaikutuksia.

Tekijä	Riski	Huomioitavaa
Halogeeni- ja rikkiyhdisteet	Haitallisten yhdisteiden syntymismahdollisuus, mm. dioksiinit kloorattuja yhdisteitä käsiteltäessä	Ennakkotutkimusten yhteydessä tehtävä seulonta-analyysit kloorattujen yhdisteiden havaitsemiseksi, esim. GC-MS-kartoitus Jos käsitellään kloorattuja yhdisteitä, poistokaasujen klooriyhdistepitoisuuksia on seurattava.
Korkeat orgaanisten aineiden pitoisuudet	Katalyytin vahingoittumisriski lämpötilan noustessa 600–800 °C:een, räjähdysvaara	Pitoisuus < 25 % LEL Soveltuva pitoisuusalue 100–2000 ppm
Suuret pitoisuusvaihtelut	Katalyytin vahingoittumisvaara	
Pb, As, Sb, P	Nopeita palautumattomia katalyyttimykkijä, katalyytin vahingoittumisvaara	
Hiukkaset	Katalyytin tukkeutuminen	Poistettava suodattamalla ennen katalyyttia
Lisäenergian kulutus		

Käsittelylaitteistoa suunniteltaessa tehdään suunnitelmat kaasujen käsittelyyn liittyvien riskien, esim. räjähdysvaara, haitallisten reaktiotuotteiden syntyminen ja kaasujen läpäisy, hallitsemiseksi.

### Hiukkaspäästöjen hallinta

Hiukkasmaisten päästöjen käsittelyyn voidaan käyttää erilaisia pölysuodattimia. *Pölylle altistumista* voidaan suuntaa-antavasti arvioida maanäytteiden analyysitulosten perusteella. Olettamalla, että maa-ainesta ja haitta-ainetta nousee maasta ilmaan analyysin mukaisessa koostumussuhteessa, voidaan laskea ylittyykö haitta-aineen HTP-arvo ennen kuin epäorgaanisen pölyn HTP-arvo ylittyy. Jos epäorgaanisen pölyn HTP-arvo ylittyy selvästi ennen haitta-aineen HTP-arvoa, ei kyseinen aine ole merkittävä riski, kun epäorgaanisen pölyn pitoisuus pidetään alle oman HTP-arvonsa. Tämän lähestymistavan etuna on, että altistuminen voidaan selvittää edullisilla kokonaispölymittauksilla. Erikoismäärittelyä tehdään vain varmistustarkoituksessa (Ahonen et al. 1998).

### Päästöjen tarkkailu

Kaasunkäsittelylaitteiston toimintaa seurataan tarkkailemalla poistokaasuvirtausta, painetta ja haitta-ainepitoisuuksia sekä tarvittaessa kullekin käsittelymenetelmälle ominaisia seurantaparametreja (lämpötila, happipitoisuus ym.). Haitta-aineille asetettavat pitoisuusrajat ja haitta-ainepitoisuuksien tarkkailuvaatimukset on yleensä määritetty kohteen luvassa.

## **Haju ja melu**

Hajuhaittojen vähentämiseen voidaan käyttää soveltuvin osin samoja toimenpiteitä kuin kaasupäästöjen vähentämiseen. Meluhaittoja pyritään minimoimaan käyttämällä asianmukaisilla äänenvaimentimilla varustettuja työkoneita ja -laitteita sekä kuljetuskalustoa. Asutuksen, sairaaloiden ja muiden häiriintymisherkkien kohteiden läheisyydessä voidaan joutua rajoittamaan työskentelyaikoja. Kuljetuksista aiheutuvia meluhaittoja voidaan minimoida huolellisella reittisuunnittelulla.

Liikenteen ja melun osalta työmaalla toimitaan järjestyslain (612/2003) ja muiden säädösten mukaisesti.

## **Jätteet**

Pilaantuneen maan kunnostuksen yhteydessä syntyvät jätteet on varastoitava, kuljetettava ja käsiteltävä jätteen laadun vaatimalla tavalla. Käsitelyä suunniteltaessa on varmistettava, että jätteiden varastointia varten on asianmukaiset tilat, tarvittaessa suljetut säiliöt. Jätelaadut, -määrät ja jätteen sijoituskohteet raportoidaan kohteen loppuraportissa.

### **1.6.3 Suunnitelma-asiakirjat**

#### **Työsuunnitelma**

Työsuunnitelma liitetään urakkasopimukseen. Työsuunnitelma sisältää mm. työpiirustukset ja työselityksen, jotka ovat niin yksityiskohtaiset, että hanke pystytään toteuttamaan niiden pohjalta. Työsuunnitelmaan sisällytetään tapauksesta riippuen seuraavia seikkoja:

- 1) Lyhyt kuvaus koko työstä
- 2) Työmaan yhteystiedot
- 3) Lupien ja päätösten hankkeelle asettamat vaatimukset
- 4) Aikataulu, johon sisällytetään kaikkien työvaiheiden aikataulut, päivittäiset toiminta- tai työajat ja rutiinihuoltotoimenpiteiden toteutusajat
- 5) Hankkeen organisaatiokaavio, henkilöstö ja resurssisuunnitelma. Organisaatiokaavio sisältää myös alihankkijat ja sisältää kaikkien avainhenkilöistä ainakin seuraavat tiedot: nimi, vastuualue, koulutus ja työkokemus. Avainhenkilöstöön sisällytetään ainakin työnjohto, työmaavalvojat, laatuhenkilöstö (myös näytteenotto, mittaukset ja tulosten käsittely) ja käyttöhenkilöstö.
- 6) Tiedottaminen (julkinen tiedotus, työmaan ympäristö, työmaa)
- 7) Työmaasuunnitelma (sisältö esitetty jäljempänä)
- 8) Geotekninen suunnitelma (sisältää tarvittaessa tuentasuunnitelman)

- 9) Laitteistojen ja niiden toiminnan kuvaus, laitteistojen käyttöön mahdollisesti liittyvät riskit
- 10) Prosessin huolto- ja valvontatoimet
- 11) Katselmukset, työmaakokoukset
- 12) Valvontanäytteiden ottopaikat ja -ajankohdat
- 13) Työpiirustukset
- 14) Työkuvaukset työvaiheittain
- 15) Työturvallisuussuunnitelma (sisältö esitetty jäljempänä)
- 16) Päästöjen, jätevesien, hajun ja melun hallinta ja valvonta sisältäen myös jätteiden ja jätevesien käsittelysuunnitelmat
- 17) Lopputuloksen hyväksyttävyyden arviointimenettely ja hyväksyttävyyden arviointia varten tarvittavat näytteet ja tutkimukset
- 18) Arkistointi

### **Työmaan laatusuunnitelma**

Urakoitsijan laatusuunnitelmaa laadittaessa ja tarkastettaessa on varmistettava, että seurataan kaikkia viranomaisvaatimusten mukaisia ominaisuuksia sekä oleellisesti työn lopputuloksen laatuun vaikuttavia ominaisuuksia.

Laatusuunnitelman sisältö (U.S. EPA):

- 1) Projektin tunnistetiedot
- 2) Kohde, projektista vastaava organisaatio, laadunvarmistusorganisaatio ja vastuut
- 3) Työvaihe, johon laadunvarmistussuunnitelma liittyy, työvaiheen jaottelu osatehtäviin
- 4) Tutkimusten tavoitteet
- 5) Laatutasotavoitteet
- 6) Näytteenotto-, näytteiden säilytys- ja tutkimusmenetelmät, mittalaitteiden kalibroinnit, toimenpideaikataulut
- 7) Tulostietojen käsittely ja raportointi, seurantapöytäkirjat ja raportointilomakkeet
- 8) Laadunvalvontatarkastukset, ulkopuoliset
- 9) Sisäiset laatutarkastukset
- 10) Toimenpiteitä edellyttävät tasot ja korjaustoimet poikkeamatapauksissa
- 11) Laadunvalvonnan raportointi

Työn päätyttyä laaditaan laaturaportti, jossa esitetään vähintään seuraavat asiat:

- laadunvarmistussuunnitelmaan kuuluneet toimenpiteet

- tulosten soveltuvuusrajoitukset
- laadunvarmistuksen toimivuus ja korjaustoimet
- laadunvarmistustarkastusten tulokset
- tulosten laatutason arviointi (laatutasotavoitteiden mukaisuus)

## **Työmaasuunnitelma**

Työmaasuunnitelmassa on esitetty karttojen avulla työmaalla toteutettavat toiminnot, niiden sijoituspaikat ja toimintojen toteuttamiseksi vaadittavat rakenteet. Työmaasuunnitelmassa esitetään mm. (Nikulainen & Kalevi 1997):

- 1) Kunnostettavan alueen rajaus
- 2) Eriasteisesti pilaantuneet ja eri tavalla kunnostettavat alueet
- 3) Työmaatoimisto
- 4) Sosiaalitulat
- 5) Palavien ja myrkyllisten aineiden sekä räjähdysaineiden varastot
- 6) Ensiapuvälineiden ja paarien sijainti
- 7) Sammutusvälineiden sijainti
- 8) Puhdasvesipisteiden sijainti
- 9) Räjähdys- ja terveysvaaraa osoittavien mittalaitteiden sijainti
- 10) Työmaan aitaukset, tiedotus-, opastus- ja varoituskilvet
- 11) Materiaalien ja tarvikkeiden varastointialueet
- 12) Puhdistuksessa syntyvien jätteiden varastointi ja käsittely
- 13) Jäte- ja suotovesien keräily ja käsittely
- 14) Maamassojen välivarastointi-, läjitys- ja kompostointialueet
- 15) Pilaantuneen maan, huokosilman ja pohjaveden kunnostus- ja käsittelylaitteistot, koneasemat
- 16) Koneiden ja laitteiden puhdistus- ja pesupaikat
- 17) Koneiden ja laitteiden korjaus- ja huoltoalueet
- 18) Työmaatiet ja liikennejärjestelyt, kulkutiet, käytävät, pysäköintialueet
- 19) Maanalaiset kaapelit ja putkistot
- 20) Työmaan sähköistys (sähkökeskukset, johtolinjat, kulutuspisteet ym.) ja valaistus
- 21) Työnaikaiset vesi- ja viemäriasennukset
- 22) Muut asennukset (ilmastointijärjestelyt yms.)
- 23) Alueella olevat suojeltavat ja purettavat rakennukset ja rakenteet
- 24) Suojeltavat puut ja pensaat

## **Työturvallisuussuunnitelma**

Ennen kunnostustyön aloittamista kunnostustyöpaikan päätoteuttaja (pääurakoitsija) laatii kirjallisen turvallisuussuunnitelman, jossa esitetään työmaan turvallisuuden ja työsuojelun kannalta tarpeelliset asiat (kts. myös luku 1.6.7 Työsuojelu). Työturvallisuussuunnitelmassa esitetään mm. seuraavat asiat:

- 1) Kohdetiedot
- 2) Organisaatiot, vastuut
- 3) Hälytysnumerot
- 4) Yleinen työmaajärjestys työturvallisuuden kannalta
- 5) Sosiaalitilat
- 6) Varastopaikat
- 7) Pysäköintipaikat
- 8) Siivouksen ja jätehuollon järjestäminen
- 9) Ensiavun järjestäminen
- 10) Sammutuskalusto
- 11) Työluvat
- 12) Työterveyshuolto
- 13) Työsuojelutarkastukset
- 14) Vahinkojen ehkäisy
- 15) Perehdyttäminen
- 16) Suojautumisvälineet
- 17) Työmaalla esiintyvät haitta-aineet
- 18) Toimenpiteet vahinkojen sattuessa

### **1.6.4 Urakoitsijan laadunvalvonta**

Urakoitsijan laadunvalvonta perustuu urakoitsijan omaan laatujärjestelmään, josta tehdään aina työmaakohtainen sovellus. Suunnitelma-asiakirjoissa on esitetty alustava laadunvalvontasuunnitelma, jossa esitetään laadunvalvonnan pääperiaatteet. Urakoitsijan tulee huomioida tämä suunnitelma myös omassa laatusuunnitelmassaan. Urakoitsija tekee usein oman laatujärjestelmänsä perusteella muitakin kuin laadunvalvontasuunnitelmassa esitettyjä laadunvalvontamittauksia.



### 1.6.5 Riippumaton laadunvalvonta

Riippumaton laadunvalvonta etenee urakoitsijan laatiman ja toteuttaman kunnostustyön aikataulun mukaisesti. Työselitys ja työmaan laatusuunnitelma tarkistetaan välittömästi niiden valmistuttua. Jos urakkaan sisältyy koekentän rakentaminen, sen toteuttamista seurataan tiiviisti koko rakentamisen ajan. Urakoitsijan laadunvalvontatyötä ja työtapoja voidaan seurata neljällä tavalla: 1) työmaalle tehtävillä satunnaiskäynneillä, 2) työmaalle tehtävillä kohdennetuilla käynneillä, 3) laboratoriotutkimusten ja koetulosten seurannalla sekä 4) urakoitsijan laadunvalvontakokeiden varmistamisella rinnakkaisnäytteillä tehtävillä kokeilla. Käytännössä toteutettavan riippumattoman laadunvalvonnan sisältö ja tarve määräytyy tapauskohtaisesti mm. käytettävän kunnostusmenetelmän perusteella.

Työmaalle tehtävistä satunnaiskäynneistä ei ilmoiteta etukäteen urakoitsijan edustajalle. Käyntien yhteydessä tehdään havaintoja työmaan toiminnasta, työvaiheista ja työselityksessä esitettyjen asioiden noudattamisesta. Riippumattoman laadunvalvojan tekemien satunnaiskäyntien määrä voidaan sijoittaa joko aikaan (esim. 2 käyntiä viikossa) tai työn etenemisnopeuteen.

Kohdennetut käynnit pyritään ajoittamaan kriittisiin työvaiheisiin sekä urakoitsijan työmaalla suoritettuihin laadunvalvontaan liittyviin toimiin (esim. näytteenotto). Käyntien määrä voidaan sijoittaa urakoitsijan laadunvalvontasuunnitelmassa esitettyihin toimenpiteisiin (esim. joka toiseen näytteenottoon osallistuminen).

Laboratoriokokeiden suorittamista seurataan tekemällä esim. 1–2 satunnaista käyntiä laboratorioon. Laadunvalvontakokeiden tulosten seuranta (työmaapöytäkirja ja laadunvalvontapöytäkirja) tapahtuu säännöllisesti joko työmaakäyntien yhteydessä tai muulla erikseen sovitulla tavalla. Pöytäkirjoihin merkitään arvio tuloksista ja se varmennetaan allekirjoituksella.

Urakoitsijan laadunvalvontakokeiden oikeellisuuden varmistamiseksi riippumaton laadunvalvoja suorittaa urakoitsijan koeohjelmaa vastaavan laboratoriokoesarjan erikseen määriteltävin väliajoin. Kokeita varten otetaan rinnakkaisnäytteet samassa yhteydessä kun urakoitsija ottaa näytteitä omia kokeitaan varten. Riippumaton laadunvalvoja osallistuu aina rinnakkaisnäytteiden ottoon. Suoritettavien rinnakkaiskoesarjojen määrä sidotaan urakoitsijan laatusuunnitelmassa esitettyihin koemääriin.

Kaikista havaituista poikkeamista ilmoitetaan välittömästi sekä tilaajan edustajalle että urakoitsijan edustajalle. Kaikki laadunvalvontatyöhön liittyvät toimet (esim. työmaakäynnit, suunnitelmien tarkistaminen) kirjataan ylös ja liitetään loppuraporttiin soveltuvin osin. Kaikista havaituista laatuvaatimusten alituksista tai työmaalla havaituista virheellisistä työtavoista ym. ilmoitetaan välittömästi sekä tilaajan että urakoitsijan edustajalle. Tarvittaessa laaditaan poikkeamaraportti, jos työ ei etene suunnitelmien mukaisesti.

Riippumaton laadunvalvoja osallistuu työmaakokouksiin ja raportoi lisäksi kirjallisesti tilaajalle erikseen sovittavin väliajoin.

Riippumattoman laadunvalvonnan tarve riippuu kunnostushankkeen laadusta ja suuruudesta, ja sen tarve harkitaan aina tapauskohtaisesti.

### **1.6.6 Projektin osapuolten välinen tiedonvälitys**

Tilaaajan on varmistettava, että kaikille osapuolille tiedotetaan riittävästi projektista (mm. lupavaatimukset ja muut keskeiset vaatimukset oltava kaikkien tiedossa). Työn kuluessa pidetään työmaatarkastuksia ja -kokouksia, joihin hankkeen eri osapuolet osallistuvat. Tarkastukset ja kokoukset liittyvät eri työvaiheiden hyväksymiseen ja projektin etenemisen seurantaan, mutta niitä voidaan hyödyntää myös tiedonvälityksessä.

#### **Kunnostustyömaan tiedonhallinta**

Työmaan laatusuunnitelman osana esitetään tiedonhallinta- tai viestintäsuunnitelma. Siinä esitetään mm. miten varmistetaan, että seurantalokset menevät heti tiedoksi kaikille kyseistä tietoa tarvitseville henkilöille ja esitetään tavanomaisimmat poikkeamatilanteet, kuten arvot, joiden ylittyessä tai alittuessa on ryhdyttävä toimenpiteisiin. Laatusuunnitelmaan kirjataan myös henkilöt tai osapuolet, joille on tiedotettava sekä toimenpiteistä vastaavat henkilöt. Myös tilanteet, joista on ilmoitettava viranomaisille, kirjataan tiedonhallintasuunnitelmaan.

#### **Työpäiväkirjat ja raportit**

Työpäiväkirjoihin kirjataan laadunvarmistusnäytteenotot, muut laadunvalvontatoimet, käyttöhäiriöt ja havainnot poikkeamista, esim. syötettävän materiaalin koostumuksessa havaitut poikkeamat.

Kaikki työn aikaisten mittausten tekoajat, näytteenottopaikat, otettujen näytteiden numerot, mittaustulokset ja näytteenottajan tunnistetiedot kirjataan työpäiväkirjoihin tai seurantalomakkeisiin. Raportointi on tehtävä siten, että pystytään jäljittämään, minne kulloistenkin mittausten mukaiset massat on sijoitettu. Lisäksi on varmistettava, että mittaustulokset menevät välittömästi tiedoksi henkilöille, joiden tehtävänä on ohjata työtä ja tehdä päätöksiä mittaustulosten perusteella.

Työnaikaisista raporteista kootaan yhteenveto kunnostustyön laaturaporttiin.

#### **Työmaakokoukset**

Hankkeen osapuolten yhteydenpito varmistetaan pitämällä työmaakokouksia, joihin kutsutaan kaikkien pääosapuolten edustajat. Tilaaajan ja urakoitsijan edustajien lisäksi näihin kuuluvat mm. alueellisen ja paikallisen viranomaisen edustajat, riippumaton laadunvalvoja ja työsuojeluviranomaisen edustaja. Tarvittaessa kokouksiin voi osallistua myös suunnittelijoita ja muita asiantuntijoita. Kokouksista laaditaan aina pöytäkirja.

Työn käynnistysvaiheessa pidetään aloituskokous ja sen jälkeen kokoonnutaan työn keston mukaan määräytyvin säännöllisin väliajoin (esimerkiksi joka toinen viikko).

Kokoukset mahdollistavat kaikkien osapuolten ajan tasalla pysymisen ja avoimien tai epäselvien kysymysten yhteisen käsittelyn. Kokousten vastuuhenkilö urakoitsijan puolelta on yleensä työmaapäällikkö.

*Aloituskokouksessa* tilaajan kanssa käsitellään esim. seuraavia asioita:

- Rakennuttajan ja urakoitsijan työmaaorganisaatiot ja aliurakoitsijat
- Rakennusaikainen vakuus ja muut vakuudet sekä laskutus- ja maksujärjestelyt
- Urakka-aika ja urakan yleisaikataulu, eri työvaiheiden suoritusajankohdat, työvuorot ja työvoimavahvuudet
- Työsuunnitelman valmistuminen
- Työssä käytettävät koneet, laitteet ja laadunvarmistusvälineet
- Työnantajavelvoitteiden suorittamisesta todistukset
- Työturvallisuus- ja ympäristönsuojeluasiat
- Pöytäkirjojen ja ilmoitusten lähettäminen
- Tiedottaminen
- Työmaakokousten pitomenettely, aikavälit, koollekutsuja
- Katselmusten pidot

*Työmaakokouksissa* käsitellään ainakin seuraavat asiat:

- Työmaan tilanne, vahvuus ja työaikataulu
- Rakennuttajan ja urakoitsijan kokoukseen tuomat asiat
- Maksuerät
- Työsuojeluasiat
- Muutos- ja lisätyöt

### **1.6.7 Työsuojelu ja turvallisuus**

Pilaantuneiden maa-alueiden kunnostuspaikka on työpaikka, jossa työskentelevien henkilöiden turvallisuuden varmistamiseksi tarvittavat vähimmäisvaatimukset on kirjattu valtioneuvoston päätökseen (629/1994) rakennustyön turvallisuudesta. Rakennuttajan tai muun tahon, joka ohjaa tai valvoo kunnostustyöhanketta, on turvallisuusmääräyksen mukaan laadittava menettelytavat siitä, miten kunnostustyön eri vaiheissa turvallisuusasiat otetaan huomioon. Kunnostustyöpaikalla päätoteuttaja (pääurakoitsija) huolehtii turvallisuuden ja terveyden kannalta tarpeellisesta

yleisjohdosta ja osapuolten välisestä yhteistoiminnasta sekä työmaa-alueen yleisestä siisteydestä ja järjestyksestä. Päättöteuttajan vastuulle kuuluu kirjallisen turvallisuussuunnitelman laatiminen ja turvallisuuskoulutuksen antaminen.. Turvallisuussuunnitelman sisältöä sekä turvallisuus- ja työsuojeluasioiden periaatteita on käsitelty yksityiskohtaisesti mm. Saastuneen maa-alueen tutkimuksen ja kunnostuksen työsuojeluoppaassa (Nikulainen & Kalevi 1997). Käytännön ohjeita työsuojelusta on esitetty mm. Ympäristögeoteknisessä näytteenotto-oppaassa (Suomen Geoteknillinen Yhdistys 2002). Kunnostusmenetelmäkohtaisia työsuojelu- ja turvallisuusasioita on käsitelty lisäksi tämän raportin muissa osioissa. Työsuojeluviranomaiset opastavat turvallisuussuunnitelman laadinnassa ja valvovat sen noudattamista.

Pilaantuneiden maiden kunnostuksiin osallistuvilla henkilöillä järjestetään säännöllisiä terveystarkastuksia. Terveystarkastuksia pidetään ainakin ennen työskentelyn aloittamista ja sen loputtua. Esimerkiksi kaivettaessa lyijyllä pilaantuneita maita on työntekijöiden veren lyijypitoisuutta seurattava. Työntekijöiden ilmoittamista ASA-rekisteriin tulee myös harkita.

Työntekijöille on syytä järjestää myös yksilöityä työsuojelukoulutusta, koska pilaantuneiden maiden kunnostamiseen liittyvät vaaratekijät poikkeavat selvästi normaaliin maarakentamiseen liittyvistä vaaratekijöistä.

Turvallisuussuunnitelman laadinnassa ja työsuojelun käytännön toteuttamisessa huomioon otettavia asioita ovat mm. seuraavat (Alanko & Järvinen 2001):

#### *Työntekijöiden terveys*

- alueella työskenteleville henkilöille järjestetään perehdyttämistilaisuus (mahdolliset terveysvaikutukset ja suojaustoimenpiteet)
- työturvallisuustiedotteen jakaminen työntekijöille (annetaan kuittausta vastaan)
- terveystarkastus kaikille työntekijöille (työterveyshuoltolain 743/1978 mukainen)
- työntekijöiden altistusmittaukset
- erityiset työturvallisuushaitat (esim. altistuminen lyijypölylle)
- työntekeä rajoittavat, terveyteen liittyvät tekijät (esim. tietyn haitta-ainepitoisuuden löytyminen verestä)

#### *Suojavarustus*

- työmaalla käytettävät henkilökohtaiset suojavarusteet
- tarvittaessa haitallisten pitoisuuksien havaitsemiseen käytettävät, hälyttimellä varustetut henkilökohtaiset kaasumittarit
- työkonelkohtaiset suojavarusteet (esim. sisäilman suodattimet)
- suojavarusteiden ehjyyden ja toimivuuden tarkistaminen ja vaihtaminen

### *Työmaaolosuhteet*

- tarpeettoman liikkumisen sekä syömisen, juomisen ja tupakoinnin kieltäminen työmaa-alueella
- sosiaalitilojen järjestäminen (pesu-, pukeutumis- ja ruokailutilat)
- työturvallisuussuunnitelman, hälytysnumeroiden ja työmaan vastuuhenkilöiden yhteystietojen asettaminen työmaan ilmoitustaululle
- alueella olevien ja kunnostuksen aikana syntyvien jätteiden käsittely

### *Urakoitsijat*

- urakoitsija laatii kirjallisen työturvallisuussuunnitelman (toimitetaan työsuojeluviranomaisille)
- ennakoilmoitus työmaasta, jos työmaa on tarkoitettu kestämaan yli kuukauden ja sillä työskentelee yhteensä yli 10 työntekijää (laki työsuojelun valvonnasta 131/1973)
- suunnitelmassa todetaan työsuojelusta aiheutuvat lisäkustannukset

### *Yleiset asiat*

- työsuojelussa otetaan huomioon normaalit työmaatoimintaan kuuluvat työsuojeluasiat, jotka liittyvät mm. kaivamiseen, kuljetuksiin ja meluun. Erityisesti on huomioitava vaaralliset kaivannot ja maanalaiset rakenteet.
- suunnitelmassa kuvataan olosuhteet, jolloin kunnostustöitä ei saa suorittaa (esim. kova tuuli, voimakas sade)

## **1.7 Lopputuloksen hyväksyttävyyden arviointi**

### **1.7.1 Työmaatarkastukset**

Työmaatarkastusten ajankohdat sovitaan yleensä etukäteen, mutta viranomaiset, kuten myös riippumaton laadunvalvoja, voivat tehdä tarkastuksia myös etukäteen ilmoittamatta. Normaalin valvontaviranomaisten suorittaman työmaatarkastuksen kulku on seuraava (Salo 2003):

- tutustuminen työmaahan
- neuvottelu
- lupaehtojen läpikäynti tarkastuspöytäkirjan teon yhteydessä
- poikkeukset lupamääräyksiin (huomautukset, vaatimukset, työn keskeytys)
- neuvonta
- neuvottelu luvankäsittelijän kanssa
- erikoisesti tarkastettavat kohteet (titorakenteet, eristeet, huomiorakenteet)

## 1.7.2 Raportointi

Maaperän kunnostustyöstä on laadittava kirjallinen **loppuraportti**, joka toimitetaan viranomaisille. Loppuraportissa esitetään mm. kunnostustyön vaiheet, pilaantuneiden maiden loppusijoitusmenettely ja jäännöspitoisuudet. Loppuraportti on tarkoitettu dokumentiksi paitsi viranomaisille myös ilmoituksen tekijälle, kiinteistön omistajalle ja tuleville maankäyttäjille siitä, mitä alueella on tehty ja millaisia tuloksia on saavutettu (Wihlman 2003).

Loppuraportin merkitys puhdistustyön lopputuloksen arvioinnissa on erittäin tärkeä. Raportin perusteella päätetään voidaanko kunnostustyö hyväksyä vai onko tarvetta jatkotoimenpiteille.

Loppuraporttiin sisällytettäviä asiakokonaisuuksia ovat (Alanko & Järvinen 2001, Anon 1997b):

- tunnistetiedot
- työn vastuuhenkilöt
- muut puhdistushankkeeseen osallistuneet tahot
- yhteenveto työmaapöytäkirjoista
- laadunvarmistusmenetelmät
- käsiteltyjen massojen määrä ja haitta-ainepitoisuus
- kohteeseen jäävän massan laatu ja sijainti
- kunnostuksen toteutus ja aikataulu
- maa-ainesten, vesien ja kaasujen käsittelytiedot
- loppusijoituskohteen kuvaus
- mahdolliset käyttörajoitukset
- jälkiseurannan tarve ja toteutus
- arvio tavoitteiden toteutumisesta
- kokonaiskustannukset
- asiakirjojen säilytys
- kartta ja tarvittavat leikkaukset kunnostetuista alueista, myös sähköisessä muodossa.

## 1.7.3 Tulosten hyväksyttävyyden arviointi

Laadunvalvonnassa ja lopputulosten hyväksyttävyyden arvioinnissa hyväksyttävien poikkeamien taso ja toimenpiteet näiden tasojen ylittyessä määritellään sopimusasiakirjoissa.

Hyväksyttävän tason arvioinnissa voidaan käyttää jotakin seuraavista menettelyistä tai menettelytapojen yhdistelmää (Anon. 1997c):

- Tuloksia verrataan hyväksyttävään tasoon, poikkeamia hyväksyttävästä tasosta ei sallita. Tämä voi monissa tapauksissa johtaa tarpeettomaan ”yliläatuun”, koska myöskään tilapäisiä ja kokonaisuuden kannalta merkityksettömiä poikkeamia ei voida hyväksyä.
- Määritellään, että tietyn osuuden tuloksista (esim. 5 tai 10 %) ei tarvitse täyttää hyväksyttävää tasoa (maksimipoikkeama hyväksyttävästä tasosta sovitaan ennalta).
- Verrataan keskiarvoa hyväksyttävään tasoon tietyllä luottamusvälillä (esim. 95 tai 98 %).
- Määritellään yläraja, jota enempää hyväksyttävästä tasosta ei saa poiketa.
- Muut menettelytavat, esimerkiksi kaivukohteissa maaperän kerrosrakenteen tai luonnollisten esteiden huomioonottaminen.

Poikkeamien hyväksyntämenettely voidaan määritellä esimerkiksi seuraavasti:

N mittauksen keskiarvon pitää täyttää hyväksyttävä taso 95 %:n luottamusvälillä..

Useimmissa kohteissa suositeltavin menettely lopputuloksen hyväksyttävyyden arvioimiseksi on verrata keskiarvoa hyväksyttävään tasoon tietyllä luottamusvälillä.

Näytteenoton, mittauksien ja analyysien mittausepävarmuuden merkitystä on tarkasteltu liitteessä 6.

## 2. Kaivu /massanvaihto, kuljetukset ja välivarastointi

### 2.1 Yleistä

Kaivu eli pilaantuneiden maamassojen poistaminen ja siirtäminen joko välivarastoon, käsiteltäväksi, loppusijoituspaikalle tai hyötykäyttöön, on yleisimmin käytössä oleva kunnostustoimenpide. Jos kaivettujen maa-ainesten tilalle tuodaan korvaavia maa-aineksia, on kyseessä massanvaihto. Kaivu tai massanvaihto ei poista haitta-aineita kaivetuista massoista, joten kaivamista tai massanvaihtoa yksinään ei voida nimittää kunnostusmenetelmäksi. Kaivu liittyy kuitenkin moniin kunnostusmenetelmiin yhtenä osavaiheena kunnostusprosessissa. Kaivamista jatketaan, kunnes kaivannon pohjan ja sivujen haitta-ainepitoisuudet ovat alle määritetyn puhdistustavoitteen (DEPA 2002). Kaivamiseen liittyy pääsääntöisesti myös maamassojen kuljetus välivarastoon, loppusijoituspaikalle tai käsiteltäväksi. Välivarastointia käytetään, jos massoja ei voida suoraan kuljettaa käsiteltäväksi tai loppusijoituspaikalle esim. riittämättömän käsittelykapasiteetin tai sääolosuhteiden vuoksi. Työmaalla tapahtuvaa väliaikaista maamassojen varastointia (kuormakasat) ja työmaalla, käsittelypaikalla tai loppusijoituspaikalla tapahtuvaa, laadunvarmistukseen liittyvää varastointia ei tässä yhteydessä lueta välivarastoinniksi.

Kunnostuksen päävaiheet ovat seuraavat (toteutuvat vaiheet vaihtelevat tapauskohtaisesti):

- pilaantuneiden maamassojen kaivu (ja korvaaminen puhtailla maa-aineksilla)
- maamassojen esikäsittely (esim. seulonta)
- välivarastointi kunnostuskohteessa
- kuljetus
- välivarastointi käsittelypaikalla tai muulla tarkoitukseen sopivalla paikalla
- käsittely
- loppusijoitus tai hyötykäyttö

*Kaivu/massanvaihto ja kuljetukset* toteutetaan yleensä normaalilla maarakennuskalustolla (pyörä- ja tela-alustaiset kaivinkoneet, traktorikaivurit, pyöräkuormaajat, maansiirtoautot). Pilaantuneiden maiden maansiirtourakointi poikkeaa normaalista maarakennusurakoinnista mm. työturvallisuusmääräysten osalta. Siirrettävä maa voi sisältää huomattavia määriä ympäristölle ja terveydelle vaarallisia aineita, joten työntekijöiden sekä lähialueella asuvien ja liikkuvien suojaamiseen ja haitallisten aineiden leviämisen estämiseen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Suojaustoimet kasvattavat kustannuksia ja hidastavat usein työn etenemistä.



Kaivun/massanvaihdon etuja ja haittoja:

+	-
Nopea	Ympäristövaikutukset
Yksinkertainen	Maamassat jatkokäsiteltävä tai loppusijoitettava pilaantuneisuuden mukaan
Paljon kokemuksia	Poistettavat maa-ainekset korvattava yleensä puhtailla massoilla
Laaja soveltavuus	Työvoimavaltainen menetelmä

*Välivarastointi* on kestoltaan rajoitettu vaihe kunnostusprosessissa. Välivarastointi katsotaan tilapäisluonteiseksi toiminnaksi ja siten siihen ei sovelleta kaatopaikkamääräyksiä sellaisenaan. Jotta pilaantuneiden maamassojen välivarastointia ei katsottaisi kaatopaikkatoiminnaksi, on jommankumman seuraavista ehdoista täytyttävä (VNp N:o 1049/1999):

- kyse on alle kolmen vuoden pituisesta jätteen varastoinnista ennen sen hyödyntämistä tai esikäsitteilyä
- kyse on alle vuoden pituisesta jätteen varastoinnista ennen sen käsittelyä.

Pilaantuneen maan välivarastointiin muualla kuin kunnostettavan kiinteistön alueella vaaditaan ympäristö lupa.

## 2.2 Menetelmien soveltavuuden arviointi

### 2.2.1 Kaivu/massanvaihto ja kuljetukset

Kaivu/massanvaihto ja kuljetukset soveltuvat periaatteessa kaikille maalajeille ja haitta-aineille (Anon. 2002a, FRTR 2002). Mikäli kaivusyvyys ulottuu pohjaveden pinnan alapuolelle, kaivaminen edellyttää usein pohjaveden pinnan alentamista, jotta vältetään haitta-aineiden leviämistä ja märkien massojen kuljetuksen yhteydessä tapahtuvalta ympäristön likaantumiselta.

Kaivun/massanvaihdon ja off-site -loppusijoituksen soveltuvuutta rajoittavat seuraavat tekijät:

- kyseessä ovat erittäin suuret maamassat ja kuljetusmatkat ovat pitkät (kustannustehokkuus kärsii, kuljetusten ympäristövaikutukset)
- kohteessa on erittäin räjähdysherkkiä materiaaleja tai aineita (turvallisuusnäkökohdat) (EPA 1997).

Muita kaivamista ja kuljetuksia rajoittavia tekijöitä :

- haihtuvat yhdisteet voivat aiheuttaa ongelmia

- kaivusyvyydet ja kaivettavan materiaalin laatu
- kaivannon reunaluiskat tontin rajoilla ja rakennusten lähistöllä (luiskiinkin voi jäädä pilaantunutta maa-ainesta)
- ympäristötekijät (esim. sijainti suojellussa kohteessa)
- kuljetukset asuttujen alueiden läpi voivat aiheuttaa asukkaissa vastustusta.

**Jos kunnostettavassa kohteessa esiintyy haihtuvia yhdisteitä siinä määrin, että on epäiltävissä niiden aiheuttavan ympäristö- tai terveysriskejä, suositellaan ennen kaivua maaperän huokoskaasukäsittelyä.**

Kaivuolosuhteisiin vaikuttavia ja kaivamista osin rajoittavia tekijöitä ovat maa-aineksen kaivettavuus, kaivusyvyydet, pohjaveden pinnan taso, alueella olevat rakennukset ja rakenteet sekä geotekniset erityiskysymykset (kaivannon stabiliteetti, tukemistarve) (Sarkkila et al. 2002). Lisäksi hydrologiset ja geohydrologiset olosuhteet vaikuttavat kaivumahdollisuuksiin (pintavedet ja niiden hallinta, pohjaveden virtauskuva, orsivesi).

Maalajien kaivettavuutta voidaan arvioida esim. maalajien kaivuluokituksen avulla (Korhonen & Gardemeister 1975).

### 2.2.2 Välivarastointi

Välivarastointi soveltuu kaikkentyyppisille maalajeille. Maalajiominaisuudet on huomioitava suunnitteluvaiheessa siten, että vältetään stabiliteettiongelmilta ja maamassojen epätasaisista painumista aiheutuvista tiivistekerrosten rikkoutumisilta.

Helposti haihtuvia haitta-aineita sisältäviä maamassoja ei tulisi varastoida kuormien purku-, läjitys- ja uudelleen kuormausvaiheisiin liittyvän haihtumisvaaran vuoksi. Haihtuvia aineita sisältävien kasojen eristäminen tehokkaasti on myös vaikeaa, sillä monet haihtuvat aineet läpäisevät helposti yleisesti käytettäviä eristemateriaaleja. Seuraavassa on esitetty joitakin esimerkkejä helposti haihtuvista tai eristemateriaalien läpi helposti kulkeutuvista haitta-aineista:

- kevyet öljyhiilivedyt
- keveimmät aromaattiset yhdisteet
- eräät klooratut alifaattiset hiilivedyt (esim. PCE, TCE, dikloorieteeni)

Jos haihtuvia aineita sisältäviä maamassoja joudutaan kuitenkin välivarastoimaan, on se tehtävä alipaineistetussa hallissa. Myös erittäin haitallisilla aineilla, kuten dioksiini- ja furaaniyhdisteillä pilaantuneen maa-aineksen välivarastointi on toteutettava katetussa hallissa.

## 2.3 Ympäristövaikutusten hallinta

**Työmaan ympäristökuva viestii työmaan hyvästä tai huonosta hoidosta niin ulkopuolisille, rakennuttajalle kuin omalle henkilökunnalle. Ympäristökuva sisältää työmaan siisteyden ja järjestyksen sekä liikennejärjestelyt (Tuhola 1997).**

### 2.3.1 Kaivu/massanvaihto ja kuljetukset

Kaivun ja kuljetusten sekä mahdollisen työmaalla tehtävän massojen esikäsittelyn yhteydessä ympäristöön saattaa levitä haitta-aineita sisältävää pölyä ja vettä sekä haihtuvia yhdisteitä. Haitallisille aineille altistumisen lisäksi haihtuvista aineista voi aiheutua hajuhaittoja. Seuraavien tekijöiden vaikutus potentiaalisten päästöjen kokonaismäärään on huomattava:

- riittämättömät kohdetutkimukset (maaperän laatu, haitta-aineiden koostumus ja pitoisuudet) voivat aiheuttaa välivarastointitarpeen ennakoimattoman kasvun
- ajoneuvojen ja työkonien aiheuttama pölyäminen on huomioitava kohteen esivalmistelun (esim. puuston poisto, raivaus), vesien johtamistöiden, kaivun ja kuljetusten aikana
- pölyämisen lisäksi haihtuvien aineiden (VOC) haihtuminen voi lisääntyä kaivun yhteydessä
- työtapojen merkitys syntyvien ilmapäästöjen määrään on suuri
- haitta-aineet voivat levitä puhtaille alueille etenkin työmaan käynnistämisvaiheessa ja siirretäessä koneita työmaalle tai sieltä pois
- kuuma ja kuiva ilma sekä kova tuuli lisää pölyämistä ja haihtumista
- rankkasateet voivat aiheuttaa hallitsematonta haitta-aineiden leviämistä ympäristöön
- suojaamattomista varastokasoista ja kaivannoista voi liueta haitta-aineita pohjaveteen, pinta-vesiin tai maaperään
- pinta- ja kuivatusvesien puutteellinen käsittely voi aiheuttaa pilaantumisen leviämistä puhtaille alueille

**Terveydelle vaarallisten kaasupitoisuuksien muodostumista edistävät korkea lämpötila, tyyni ilma, matalapaine ja sijainti syvänteessä.**

Tarpeetonta altistumista haitta-aineille voidaan vähentää seuraavilla toimenpiteillä:

- ulkopuolisten pääsy työmaa-alueelle estetään tarpeettoman altistuksen välttämiseksi ja haitta-aineiden leviämisen estämiseksi
- vältetään tarpeetonta oleskelua pilaantuneella alueella

- jos tarpeen, rakennetaan tilapäiset puhdistus-/peseytymistilat jo ennen varsinaisen kaivun käynnistymistä
- maanpäälliset ja -alaiset haitta-aineiden päästölähteet (esim. säiliöt) tunnistetaan ja paikallistetaan ennen kaivutyön aloittamista
- kunnostettavan alueen ulkopuolelta tulevat pintavedet ohjataan muualle esim. maavallien tai niska- ja kokoomaajien avulla
- kaivu, kuljetukset ja esikäsitely keskeytetään kovan tuulen ja rankkasateiden ajaksi
- ajoreitit suunnitellaan mahdollisimman vähän haittaa aiheuttaviksi
- kuorma-autojen liikennöinti alueella järjestetään siten, että autot eivät aja pilaantuneella alueella (työmaatiet)
- esikäsitelyyn liittyvät toiminnot sijoitetaan alueelle, jossa ympäristöpäästöt ovat mahdollisimman hyvin hallittavissa.

**Kaivantoja ei saa jättää suunnittelemattomasti pitkäksi aikaa avoimeksi kunnostuksen jälkeen, vaan niiden täyttötarve ja -tapa tulee olla suunniteltu alueen tulevan käyttötarkoituksen mukaisesti joko erikseen laadittujen pohjarakennussuunnitelmien mukaisilla rakennekerroksilla tai muilla täyttömailla.**

Maarakennushankkeiden ympäristöhaittojen vähentämiseen ja ympäristöystävällisen toteutustavan edistämiseen tähtääviä rakennussuunnittelua ja toteutusta koskevia ohjeita ja suosituksia on käsitelty myös julkaisussa Tuhola 1997.

### **Vesipäästöjen hallinta**

**Kunnostettavalla alueella muodostuvat pinta- ja suotovedet sekä kaivannosta mahdollisesti pumpattava pohjavesi on pääsääntöisesti koottava ja johdettava keräysaltaaseen, -kaivoon tai puhdistukseen. Puhtaat ja haitta-aineita sisältävät vedet on pyrittävä pitämään erillään.**

**Vesi on aina tutkittava ennen sen johtamista luontoon tai viemäriin, haitta-ainepitoisuudet määräävät paikan ja puhdistustarpeen. Haitta-aineita sisältävät vedet johdetaan mielummin viemäriin kuin ojaan. Johtamiseen on saatava viemäriverkoston omistajan lupa.**

Vesipäästöjen suunnitelmallista hallintaa varten vesien tutkimisesta ja haitta-aineita sisältävän veden käsittelystä on tarpeen vaatiessa tehtävä suunnitelma. Suunnitelman sisältöä sekä pinta- ja pohjavesien johtamistapaa ja käsittelytarvetta on käsitelty Yleisen osan luvussa 1.6.2.

Pohjaveden laatua ja pinnan tasoja voidaan seurata kaivannon ympäristöön asennettavien pohjaveden havaintoputkien avulla. Tarvittava havaintoputkien lukumäärä päätetään olosuhteiden perusteella tapauskohtaisesti.

Mahdollisten varastokasojen suotovedet on tarvittaessa kerättävä varastoaltaaseen. Ajoneuvojen pyörien pesupaikalla syntyvät jätevedet kerätään aina talteen. Kaikki vedet analysoidaan haitta-aineiden varalta. Vesien jatkokäsittely riippuu mahdollisesta pilaantuneisuudesta.

Kuljetusten yhteydessä on kiinnitettävä erityistä huomiota kuljetettavien maamassojen vesipitoisuuteen. Mikäli massat sisältävät vettä niin paljon, että on vaarana veden valuminen tielle kuljetuksen aikana, on massojen annettava kuivua varastokasoissa ennen kuljetusta tai käytettävä vesitiiviitä lavoja.

### **Päästöt ilmaan**

Haihtuvien haitta-aineiden päästöjen (VOC) suhteellinen osuus eri työvaiheissa on arvioitu seuraavanlaiseksi (EPA 1997):

- kaivu	5 %
- kuormaus	11 %
- kuljetus	31 %
- kuorman purku	50 %
- paljaana oleva maa	3 %
- yht.	100 %

Pöly- ja VOC-päästöjä voidaan vähentää ja niiden leviämistä rajoittaa seuraavilla toimenpiteillä:

- ajoneuvojen nopeusrajoitukset
- suuritehoisen kaluston käyttö (esim. kauhakon suuretessa paljaana olevan kaivumassan pinnan suhde tilavuuteen muuttuu edullisempaan suuntaan)
- kuormauksen ja massojen läjityksen yhteydessä pudotuskorkeuden pienentäminen vähentää päästöjä
- kuorma-autojen kuormakoon vähennys (ei kukkuraisia kuormia)
- pölyämisen rajoittaminen peittämällä pölyävät kohteet ja paljaana oleva maa tilapäisesti
- kaivannon peittäminen viikonloppujen ja muiden pitempien taukojen ajaksi, peitteiden alle järjestetty imu ja imuilman käsittely
- maanpinnan kastelu (jäähdyttää maanpinnan lämpötilaa ja vähentää huokoskaasulla täyttyneiden huokosten tilavuutta) vähentää VOC-päästöjä sekä pölyämistä (EPA 1997)
- kaivun suorittaminen alipaineistetussa teltassa
- kaivun keskeyttäminen kovalla tuulella

- tuulen nopeuden alentaminen erilaisilla rakenteilla (wind screens)
- vain tarkoitukseen soveltuvien kuorma-autojen käyttö kuljetuksissa (mekaaniset kuormanpeittosysteemit)
- kuljetuksen aikana kuormat on peitettävä huolellisesti pölyämisen ja haitallisten aineiden haihtumisen (VOC-yhdisteet) estämiseksi
- työmaa-alueen aitaaminen esim. kuitukankaalla
- työmaa-alueelta lähtevien ajoneuvojen renkaiden ja alustan pesu tarkoitukseen suunnitellulla pesupaikalla (pesuvesien talteenotto järjestetty, pesupaikan jälkeisen ajoreitin oltava puhdas) tai renkaiden puhdistus murskepedillä

Myös ilmapäästöihin liittyen on tarvittaessa laadittava päästöjen hallintasuunnitelma, jossa on esitettävä mm. näytteenotto- ja mittausohjelma sekä toimenpiderajat. Pöly- ja kaasupäästöjen hallintaa on tarkemmin käsitelty Yleisen osan luvussa 1.6.2.

### **Haju ja melu**

Hajuhaittojen vähentämiseen voidaan käyttää soveltuvien osin samoja toimenpiteitä kuin kaasupäästöjen vähentämiseen. Meluhaittoja on pyrittävä minimoimaan käyttämällä asianmukaisilla äänenvaimentimilla varustettuja työkoneita ja kuljetuskalustoa. Asutuksen, sairaaloiden ja muiden häiriintymisherkkien kohteiden läheisyydessä voidaan joutua rajoittamaan työskentelyaikoja. Kuljetuksista aiheutuvien meluhaittoja voidaan minimoida huolellisella reittisuunnittelulla.

Liikenteen ja melun osalta työmaalla toimitaan järjestyksellään ja muiden säädösten mukaisesti.

### **Jätteet ja jätevedet**

Pilaantuneen maan kunnostusprojektin yhteydessä syntyvät jätteet ja jätevedet on varastoitava, kuljetettava ja käsiteltävä jätteen laadun vaatimalla tavalla. Käsittelyä suunniteltaessa on varmistettava, että jätteiden varastointia varten on asianmukaiset tilat, tarvittaessa suljetut säiliöt tms.

Jätelaadut, -määrät ja jätteen sijoituskohteet raportoidaan kohteen loppuraportissa. Työmaan loppusiivouksesta huolehtiminen kuuluu laadukkaaseen urakointiin.

## **2.3.2 Välivarastointi**

Myös välivarastoinnin yhteydessä saattaa ympäristöön levitä haitallisia päästöjä. Välivarastointipaikalle sijoitettavista maamassoista ei saa kuitenkaan aiheutua haittaa ympäristölle. Haittojen syntymistä voidaan estää valitsemalla varastointiin käytettävä alue huolella ja suojaamalla maamassat siten, ettei niistä pääse haitallisia aineita ympäristöön. Suojauksen tarve ja sille asetettavat vaatimukset riippuvat maa-ainesten laadusta ja niissä olevista haitta-aineista. Mitä pitkäaikaisempaa välivarastointi on, sitä enemmän on kiinnitettävä huomiota pohja- ja pintaeristeiden

laatuun ja niille asetettaviin vaatimuksiin. Seuraavat tekijät on huomioitava suojaustarvetta arvioidessa:

- sade- ja pintavesien pääsy kasoihin
- suotovedet (yhteydet pinta- ja pohjavesiin)
- pölyäminen
- haitta-aineiden haihtuminen
- hienoaineksen kulkeutuminen veden mukana ympäristöön
- haitta-aineiden laatu ja pitoisuudet

### Vesipäästöjen hallinta

**Väliavarastoiduista maamassoista tulevat suotovedet on tarvittaessa koottava ja kerättävä keräysaltaaseen tai -säiliöön.**

Varastokasoihin imeytyvän veden ja samalla myös suotovesien määrää voidaan vähentää peittämällä kasat pintaeristeellä, esim. geomembraanilla tai muovilla. Samalla saadaan estettyä myös pölyäminen. Pintaeristeet suunnitellaan tapauskohtaisesti.

Jos väliavarastoitavista maamassoista syntyy suotovesiä, on niiden keräily järjestettävä, mikäli on epäiltävissä suotovesien aiheuttavan ympäristön pilaantumista. Yleensä suotovesien kerääminen edellyttää pohjatiivistyskerroksen rakentamista siihen sisältyvine kuivatuskerroksineen. Sijoi- tuspaikasta riippuen pohjaeristeinä voidaan joissain tapauksissa (ei sovellu ongelmajätteille) käyttää pelkästään keinotekoisia eristettä, jonka paksuus ja materiaali (HDPE-muovi, tiivis asfalttibetoni ABT, kumibitumivaluasfaltti KBVA) valitaan tapauskohtaisesti. Tällöin rakenteeseen ei saa kohdistua jatkuvaa vedenpainetta (Asfalttiset tiivistysrakenteet 2002). Jos pohjamaa on hyvin tai kohtalaisesti vettä läpäisevää, jos rakenteeseen saattaa kohdistua pysyvää vedenpainetta tai jos kyseessä on ongelmajätteiden varastointi, on pohjatiivisteenä käytettävä keinotekoisien eristeen lisäksi mineraalista tiivistettä (yhdistelmä rakenne). Mineraalisena tiivisteenä voidaan käyttää esim. huonosti vettä johtavaa luonnonmaata, polymeeribentoniittia tai bentoniit- timaata. Käytettävien materiaalien tulee aina kestää varastoitavien maamassojen sisältämien haitta-aineiden vaikutukset. Jos eristysrakenne toteutetaan ilman suojakerroksia, kaikkien rakennekomponenttien tulee olla roudan- ja pakkasenkestäviä

Väliavarastoinnin luonteesta johtuen ympäristön suojaamiseen tarkoitettujen rakenteiden lisäksi alueelle on rakennettava kulutuskerros työkonien ja kuorma-autojen aiheuttamaa rasi- tusta vastaan. Kulutuskerros voidaan suunnitella myös toimimaan pintavesivaluntaa ohjaavana pinta- na käyttämällä riittäviä kallistuksia (vähintään 2 %) ja soveltuvaa materiaalia (esim. ABT).

Seuraavassa on esitetty esimerkki väliavarastointialueen kenttärakenteesta (Lohja Rudus Oy 2002):

- asfalttibetoni AB
- kantava kerros esim. murske (mitoitetaan kentän toiminnan mukaisesti)
- salaojakerros (sora tai murske)
- suojageotekstiili
- keinotekoinen eriste
- 90 mm polymeeribentoniitti
- kantava kerros (mikäli pohjamaan kantavuus ei riitä)
- suodatinkangas (tarvittaessa)
- pohjamaa

Suotovesien keräilyallas tai -säiliö pitää mitoitaa riittävän suureksi. Keräilyallas toteutetaan yhdistelmä rakenteena. Altaan eristemateriaalina voidaan käyttää esim. kumibitumivaluasfalttia. Rakenne voi olla esim. seuraavanlainen (Asfalttiset tiivistysrakenteet 2002):

- 30 mm kumibitumivaluasfaltti, KBVA 11 (luiskissa esim. KBVA 8)
- 40 mm tiivis asfalttibetoni, ABT 16 (tyhjätila < 3 %)
- 60 mm tiivis asfalttibetoni, ABT 16 (tyhjätila < 5 %)
- 370 mm mineraalieriste (kantava)
- kantava alusrakenne

Allas- ja kenttärakenteiden lopulliset kerrospaksuudet, käytettävät materiaalit ja tiiveysvaatimukset määräytyvät aina kohteen ympäristöluvassa. Sekä pohjatiivisterakenteen materiaalien että suotovesien keräilyaltaan tai -säiliön materiaalien osalta on aina tarkistettava, että käytetyt materiaalit kestävät kyseistä suotovettä. Roudan vaikutus on myös huomioitava. Suotovesialtaat rakennetaan aina kantavalle pohjalle. Altaiden pakkasenkestävyyttä voidaan parantaa käyttämällä pintakerroksena kumibitumivaluasfalttia.

Suotovesien laatua seurataan säännöllisellä näytteenotolla ja näytteiden analysoinnilla. Suotovesien käsittelytarpeen ja johtamistavan määräytymistä on käsitelty Yleisen osan luvussa 1.6.2. Suotovesialtaaseen ei saa johtaa alueelta kerättäviä puhtaita pintavesiä (haitta-aineita sisältävän veden laimentaminen on kiellettyä).

### **Päästöt ilmaan**

Välivarastoinnista aiheutuvia pöly- ja VOC-päästöjä voidaan vähentää seuraavilla toimenpiteillä:

- varastokasojen sijoittelun ja koon/muodon suunnittelu (sijoitus mahdollisimman suojaiseen paikkaan kantavalle, tiiviille ja kuivalle alustalle, kasojen muotoilu pinta-alan minimoimiseksi)
- massojen läjityksen yhteydessä pudotuskorkeuden pienentäminen vähentää päästöjä



- massojen purku tuulensuojasivulla
- pölyämistä rajoitetaan kastelemalla maata tarvittaessa tai peittämällä pölyävät kohteet ja paljaana oleva maa tilapäisesti
- tuulen nopeuden alentaminen erilaisilla rakenteilla (wind screens)
- kasojen peittäminen läjityksen loputtua (suojapeitteen alle ei saa jäädä vapaata tilaa, johon haihtuvat aineet voivat kerääntyä)
- massojen sijoitus halliin tai katokseen

Suojapeitteitä käytettäessä peitemateriaalin laatu ja mahdollisten suojakerrosten tarve määräytyy tapauksittain mm. välivarastoinnin keston ja maa-ainesten sisältämien haitta-aineiden perusteella. Suojapeitteenä on käytetty esim. UV-suojattua PE-muovia.

Ilmapäästöjä ja niiden hallintaa on käsitelty myös Yleisen osan luvussa 1.6.2.

### **Haju ja melu**

Haju- ja meluhaittojen vähentämiseen voidaan soveltaa edellä kaivun ja kuljetusten yhteydessä esitettyjä keinoja (kts. myös Yleinen osa, luku 1.6.2.).

### **Jätteet ja jätevedet**

Jätteistä ja jätevesistä huolehditaan kuten edellä on esitetty kaivun ja kuljetusten yhteydessä. Tärkeää on muistaa myös välivarastointialueen loppusiivous käytön päätyttyä.

## **2.3.3 Riskien ja epävarmuuksien hallinta**

Ympäristövaikutusten hallintaan liittyvät epävarmuudet ja riskit käydään läpi ja tehdään riskitarkastelut toimintaohjeineen näiden epävarmuuksien hallitsemiseksi. Tällaisia epävarmuustekijöitä voivat olla esim.

- poikkeukselliset sääolosuhteet
- rankkasateiden aiheuttamat tulvat
- massamäärien kasvu ennalta arvioituun määrään nähden
- pohjaveden pinnan oletettua suuremmat vaihtelut
- pohjaveden virtaussuunnan kääntyminen pohjaveden pinnan tason muuttuessa
- vesien tai kaasujen oletettua korkeammat haitta-ainepitoisuudet; luvassa tai viemärlaitoksen sopimuksessa asetettujen pitoisuuksien ylittyminen, räjähdysvaaran ilmeneminen
- välivarastointikentän rakenteiden rikkoutuminen

## 2.4 Kunnostustyön valmistelu

### 2.4.1 Luvat ja suunnitelmat

Pilaantuneiden maiden kunnostaminen on ympäristöluvanvaraista tai ilmoituksen edellyttävää toimintaa. Lupa on haettava hyvissä ajoin ennen työmaan aloittamista. Rakennus- ja kunnostustyön valmistelun aikana huolehditaan työmaahan liittyvien tarpeellisten lupien hankkimisesta ja ilmoitusten tekemisestä. Toteutettavien töiden luonteesta riippuen voidaan tarvita esim. työlupaa tai kaivulupaa. Mikäli alueella puretaan rakennuksia, on haettava lisäksi purkulupa. Häiritsevää melusta on tarvittaessa tehtävä ilmoitus kunnan ympäristöviranomaisille. Jos tie- tai katualueita joudutaan ottamaan työmaakäyttöön, on asiasta tehtävä hakemus kunnan asianomaiselle viranomaiselle.

Kunnostustyömaalle on laadittava *työmaasuunnitelma*, joka toimitetaan tarkastettavaksi ympäristöviranomaisille. Työmaasuunnitelmassa esitetään mm. työmaan ajojärjestelyt ja työmaan yleiseen toimintaan liittyvät seikat. Suunnitelmaan on liitettävä työsuojeluviranomaisille tiedoksi saatettu *työturvallisuussuunnitelma* sekä erillinen *kaivusuunnitelma*. Ennen kaivutöiden aloittamista on oltava valmiina myös työmaakohtainen *laatusuunnitelma*. Välivarastointiin liittyy aina *läjityssuunnitelman* laadinta. Läjityssuunnitelmassa huomioidaan kasojen sijoittelu, läjitystavat ja geotekninen suunnittelu. Osa suunnitelmista voi sisältyä jo kunnostussuunnitelmaan, etenkin pienten työmaiden osalta. Ympäristölupakäytäntöä sekä työmaa-, turvallisuus- ja laatusuunnitelmien sisältöä on tarkemmin käsitelty Yleisessä osassa luvuissa 1.2.2 ja 1.6.3. Maarakennustyömaahan liittyviä käytännön järjestelyjä on käsitelty myös julkaisussa Tuhola 1997.

Kaivusuunnitelma laaditaan geoteknisten pohjatutkimusten sekä kohteen kunnostussuunnitelmassa esitettyjen, tehtyjen pilaantuneisuusselvitysten yhteydessä määritettyjen, haitta-aineiden pitoisuuksien ja esiintymisen perusteella. Suunnitelmassa esitetään mm.

- kaivutasot, -syvyudet ja -alueen laajuus kullakin tasolla
- kaivualan kokonaislaajuus (DEPA 2002)
- kartta, johon on merkitty kiinteistöjen (tonttien) rajat
- eri luokkiin sijoitettavien maamassojen rajaukset kaivukerroksittain (luokittelu voidaan joutua tekemään haitta-aineiden laadun ja pitoisuuksien lisäksi myös maalajien suhteen, esim. mikäli maamassat aiotaan käsitellä stabiloimalla)
- stabiliteettitarkastelu
- tarvittaessa tuentasuunnitelma
- pohja- ja orsiveden pinnan tasot ja alentamissuunnitelma tarvittaessa (alentaminen voi johtaa pilaantuneen pohjaveden käsittelytarpeeseen)
- vesien keräily- ja käsittelysuunnitelma (sisältää näytteenottosuunnitelman)
- ilmapäästöjen hallintasuunnitelma (kaasut, pöly)

- vesi-, viemäri- ja kaapelilinjojen sekä muiden maanalaisten rakenteiden sijainti
- kaivannon täyttösuunnitelma (rakennekerrokset, täyttömateriaalit) tai muut alueen jatkokäyttöön liittyvät rakennustoimenpiteet.

Kaivusuunnitelmaa laadittaessa urakoitsijan ja kohteen suunnittelijan on syytä toimia läheisessä yhteistyössä. Jos kohteessa joudutaan alentamaan pohjaveden pintaa tai alueella on muuten mahdollisesti ongelmia aiheuttavat pohjavesiolosuhteet, on suositeltavaa ottaa jo hankkeen suunnitteluvaiheessa pohjavesiasiantuntija mukaan valmistelutyöhön.

Myös odottamattomiin tilanteisiin on syytä varautua laatimalla toimenpidesuunnitelma, jolla pyritään ehkäisemään terveys- ja ympäristöhaitat sekä varmistamaan kunnostuksen eteneminen poikkeamatilanteissa. Tällaisia tilanteita ovat esim. yllättävä vedenkäsittelytarve, uudenlaisten haitta-aineiden löytyminen sekä massamäärien huomattava poikkeaminen ennalta arvioiduista määristä (Alanko & Järvinen 2001). Suomen olosuhteissa on syytä varautua myös huonoihin sääolosuhteisiin ja niistä aiheutuviin viivästyksiin ja ongelmiin laatutavoitteisiin pääsemisessä. Odottamattomiin tilanteisiin voidaan varautua mm. seuraavilla tavoilla:

- varataan keräyslaitteisto ja säiliö mahdollisille jätevesille
- varmistetaan käsittelylaitosten tai sijoituspaikkojen kapasiteetti massamäärien ylitysten varalta
- suunnitellaan maaperästä löytyvien säiliöiden tai muiden isojen kiinteiden jätteiden käsittely
- jos alueelta löytyy merkittäviä määriä uusia haitta-aineita, keskeytetään kunnostus ja ilmoitetaan asiasta viranomaisille.

## 2.4.2 Kaivutyön ja kuljetusten valmistelu

**Kunnostustyön oikea-aikainen aloittaminen ja aikatauluttaminen vaikuttaa oleellisesti saavutettavaan lopputulokseen. Huonoihin sääolosuhteisiin ja massamäärien kasvuun on syytä varautua.**

### Työmaan esivalmistelut

- työmaateiden rakentaminen, liikennemerkkien ja opasteiden asennus
- työmaan aitaaminen ja kunnostustyöstä ilmoittavien varoituskylttien kiinnittäminen aitaan
- puiden ja poistettavien rakenteiden raivaus
- sähkö-, vesi ja viemäriliittymät
- kaivualueiden rajaaminen ja merkitseminen

- sähkö- ja puhelinkaapelien, vesi- ja viemärijohtojen, kaasuputkien ja maanalaisten rakenteiden merkitseminen maastoon
- alueen pintavesien kuivatuksen ja ohjauksen suunnittelu
- rakenteiden ja rakennusten vaurioitumisriskitarkastelu (painumat, siirtymät)
- työmaakoppien ja sosiaalisten tilojen (pesumahdollisuus) rakentaminen
- ilman laadun (pöly, VOC) monitoroinnin järjestäminen (pölypäästöihin jatkuvatoiminen keräävä mittari) (EPA 1997)
- vertailutietojen hankkiminen ympäristöstä, esim. melumittaukset, hiilivetypäästöt, pohja- ja pintavesien laatu
- pohjaveden tarkkailuputkien asentaminen tarvittaessa
- lähiympäristön kaivojen kartoitus, jos kohteessa pohjaveden pinnan alennus
- vartioinnin järjestäminen tarvittaessa

**Kunnostustyön aloittamisesta on tiedotettava kirjallisesti lupa- ja valvontaviranomaisille ja muille asianosaisille (esim. alueen ja lähiympäristön asukkaat sekä kunnan rakennusvalvonta) viimeistään viikkoa ennen töiden aloittamista.**

### **Kaivun esivalmistelut**

- maanpäällisten ja maanalaisten haitta-ainelähteiden tyhjentäminen ja poistaminen (tankit, säiliöt yms.)
- jännitteen katkaiseminen johdoista, putkistot kaasuvapautetaan
- rakenteiden ja rakennusten suojaaminen, tarvittaessa olemassa olevien rakenneaurioiden dokumentointi valokuvaamalla ja piirroksin (vauriokatselmus, huom. rakennusten omistajan tai hänen valtuuttamansa henkilön läsnä ollessa, pöytäkirjan allekirjoittavat kummankin osapuolen edustajat), muista myös teiden kuntokatselmukset (päällysteiden kunto, rummut jne.)
- rajapyykkien siirrot tarvittaessa (sovittava omistajan kanssa)
- alueen ulkopuolisten pintavesien ohjaaminen tarvittaessa pois työmaa-alueelta
- alueen sisäpuolisten pintavesien keräyksen järjestäminen tarvittaessa
- tärinämittauksiin varautuminen tarvittaessa
- tarkemittauksia varten oltava toisiinsa sidottuja kiintopisteitä minimissään 2–3 kpl kaivannon lähellä
- pölyämisen esto- ja VOC-yhdisteiden haihtumisenestotoimenpiteiden suunnittelu etenkin, jos kohteessa seulotaan, välpätään, murskataan tai lajitellaan kaivumassoja

Myös kaivetun maan esi- ja jatkokäsittelylle on oltava ohjeet laadittuina ja materiaalien vastaanotto on oltava sovittuna ennen kaivutyön aloittamista (koskee sekä pilaantunutta että puhdasta maata). Valvoja ja urakoitsija käyvät yhdessä läpi kaivusuunnitelman ja huolehtivat työhön opastamisesta kaikkien työntekijöiden osalta.

Kaivukalustoa valittaessa tulee ottaa huomioon mm. seuraavat seikat:

- pohjan kantavuus (tela- vai pyöräalustainen kone)
- maaperän laatu
- kaivussyvyys, puomin pituus
- kaivukaluston koko tai määrä
- telttakaivussa konevaatimukset erilaiset kuin ulkona
- kaluston omat suojarusteet ja koneiden yleinen kunto (ei öljyvuotoja, ikkunat ja ovet ehjät jne.)
- henkilökunnan ammattitaito ja kokemus.

Jos kaivantoa täytetään uusilla täyttömailla ja rakennekerroksilla, on kiinnitettävä huomiota myös tiivistyskaluston laatuun. Kaluston on oltava riittävän tehokasta suunnitelmissa esitetyn tiiveysasteen saavuttamiseksi.

Rakennusten läheisyydessä kaivutöitä tehtäessä on kiinnitettävä erityistä huomiota rakenteiden stabiliteettiin. Mikäli työkohteessa ei ole käytetty geoteknistä suunnittelijaa, on rakenteiden vakavuutta syytä tarkastella erityiskysymyksenä. Suurin mahdollisuus rakenteiden vaurioitumiselle liittyy seuraaviin työvaiheisiin:

- kaivu kellarittoman rakennuksen vieressä, tukematon kaivanto
- pohjaveden pinnan alentaminen, etenkin hiekkamailla
- perustusten tuentatyöt

Rakenteiden läheisyydessä tehtävät kaivutyöt on aina tehtävä pohjaveden pinnan yläpuolella.

Riskialttiissa kohteissa kaivaminen voidaan toteuttaa lohkoittain, jolloin vain pieni osa rakenteista on kerrallaan alttiina vaurioitumiselle. Tällöinkin riski vaurioitumiselle on olemassa ja sen pienentämiseksi on noudatettava seuraavia sääntöjä:

- urakoitsijan on noudatettava kaivusuunnitelmassa esitettyjä ehtoja ja määräyksiä
- kaivusuunnitelmassa on otettava huomioon rakenteiden vaurioitumisriskit ja riskien pienentämiseksi tehtävät toimenpiteet
- suunnitelmassa esitetään sallittu kaivannon leveys ja kaivussyvyys kaivulohkoittain
- lohkoittain kaivettaessa on esitettävä, mitkä lohkot voivat olla samanaikaisesti kaivettavina
- kaivun on tapahduttava pohjaveden pinnan yläpuolella

- pohjaveden pinnan alentaminen on syytä toteuttaa turvallisen etäisyyden päässä rakenteista, pumppaustoimenpiteitä ei siten suositella tehtäväksi kaivannossa (pintavedet poikkeus)
- ympäristön pintavedet ohjattava kaivannon ohitse
- kaivannon ja rakenteiden tukirakenteet on mitoitettava käyttäen riittävää varmuuskerrointa.

Ongelmajätteiksi luokiteltuja pilaantuneita maamassoja on käsiteltävä ongelmajätteitä koskevien määräysten mukaisesti, mikä on huomioitava mm. kuljetusten yhteydessä (liite 2, siirtoasiakirjat).

### **Kuljetusten esivalmistelut**

Kuljetuskalustoa työmaalle varattaessa on kiinnitettävä huomiota seuraaviin asioihin:

- maaperän kantavuus työskentelyalueella, vaatiiko erityisiä maansiirtoautoja
- ajomatkan pituus, ajokaluston määrä
- kasettiautokaluston käyttömahdollisuus (suositeltavaa käyttää aina kun kuljetusmatkat ovat pitkiä)
- kuormapeitot ja lavojen vesitiiveys tarvittaessa
- kaluston yleinen kunto (ei öljyvuotoja)
- ovatko kuljetukset ADR-säännösten alaisia

Käytettäessä julkista tieverkkoa kuljetuksiin tulee rakennuttajan sopia siitä mahdollisesti aiheutuvista järjestelyistä (esim. liittymien rakentaminen) viranomaisten kanssa (mm. tiehallinto, poliisi, kunnan viranomaiset). Tarvittaessa on varauduttava kuljetusreittien siivoamiseen keräävää harjalaitetta käyttäen.

Ongelmajätteiksi luokiteltuja pilaantuneita maita kuljetettaessa edellytetään siirtoasiakirjojen (VNp ongelmajätteistä annettavista tiedoista sekä ongelmajätteiden pakkaamisesta ja merkitsemisestä 659/1996) käyttöä ja ongelmajätetasoista kuljetustoimintaa. Myös lievemmin pilaantuneiden maiden kuljetuksissa edellytetään kuormakirjojen käyttämistä. Jätteet kootaan ja kuljetaan kiinteistöiltä siten, että niistä ei aiheudu haittaa ympäristölle (jäteasetus 1390/1993). Liitteessä 1 on esitetty esimerkki siirtoasiakirjalomakkeesta. Pilaantuneen maa-alueen kunnostusurakoitsija on osaltaan vastuussa määräysten toteutumisesta. Asiaan on kiinnitettävä erityistä huomiota etenkin, jos hankkeessa käytetään kuljetuksiin aliurakoitsijoita.

### **2.4.3 Välivarastoinnin valmistelu**

#### **Välivarastointipaikalle asetettavat vaatimukset**

Välivarastointipaikalle sijoitettavista maamassoista ei saa aiheutua haittaa ympäristölle. Haittojen syntymistä voidaan estää suojaamalla massat siten, ettei niistä pääse haitallisia aineita ympä-

ristöön. Suojaamistoimenpiteistä huolimatta myös varastointiin käytettävälle paikalle on asetettava vaatimuksia.

Väliavarastointipaikka on aina sijoitettava kantavalle ja mahdollisimman tiiviille (huonosti vettä läpäisevälle) pohjalle. Paikan pitää myös olla pinta- ja pohjavesien suhteen helposti hallittavissa. Kosteikot, notkelmat, soistuneet alueet, pohjavesialueet ja vedenjakajat eivät sovellu väliavarastointipaikoiksi. Varastointipaikan tulee täyttää myös tasaisuutensa puolesta varastoalueelle asetettavat vaatimukset.

Väliavarastointialueita ei saa sijoittaa ekologisesti herkille alueille. Asutuksen läheisyyttä on vältettävä mahdollisuuksien mukaan. Suositeltavinta on sijoittaa kaivetut maamassat väliavarastoon käsittelypaikan tai kunnostettavan kohteen välittömään läheisyyteen, teollisuusalueille tai muuhun vastaavaan paikkaan. Myös kuljetusmatkojen minimointiin ja vähiten ympäristöhaittoja aiheuttavien ajoreittien valintaan on pyrittävä.

### **Väliavarastointipaikan valmistelu**

Ennen väliavarastoinnin aloittamista tehdään seuraavia valmistelutöitä:

- näytteenotto- ja valvontatoimien suunnittelu (suotovedet, valumavedet, kaasut, pöly)
- alueen ulkopuolisten pintavesien kuivatuksen ja ohjauksen suunnittelu
- alueen sisäpuolisten pintavesien keräyksen suunnittelu ja järjestäminen
- alueen aitaaminen ja pilaantuneen maa-aineksen varastoinnista ilmoittavien varoituskylttien kiinnittäminen aitaan
- työmaateiden rakentaminen
- tiivistysrakenteiden suunnittelu ja toteutus (ks. luku 8.2.1)
- kuormien vastaanottoon tarvittavan kaluston hankinta (kaivinkone, pyöräkuormaaja)

## **2.5 Kunnostustyön laadunhallinta**

**Puhtaat materiaalit ja maa-ainekset sekä lievästi ja voimakkaasti pilaantuneet maa-ainekset on pidettävä erillään kaivun, lastaamisen, kuljetusten ja väliavarastoinnin aikana. Maa-ainesten laimentaminen sekoittamalla pilaantuneita ja puhtaita maa-aineksia keskenään on kiellettyä.**

**Näytteenottoon suositellaan sertifioitua ympäristönäytteenottajaa.**

## 2.5.1 Kaivu/massanvaihto ja kuljetukset

### Työmaavalvonta

Pilaantuneen maan kaivutyömailla pitää työmaalle asettaa valvojaksi ympäristötekniinen asiantuntija, joka toimii samalla rakennuttajan edustajana. Ympäristötekniiseltä asiantuntijalta edellytetään vahvaa osaamista ympäristö- ja maarakennusosalta sekä soveltuvaa koulutustaustaa (mm. sertifioitu ympäristönäytteenottaja). Valvojan tehtäviin voivat kuulua esim.:

- näytteenotto
- kenttämittaukset ja -havainnot
- massamäärien kirjanpito
- kaivun ohjaus
- poiskuljetettavan pilaantuneen maa-aineksen sijoituskohteiden osoittaminen
- siirtoasiakirjojen laadinta
- kaivantoon tuotavien korvaavien maa-ainesten puhtauden valvonta
- yhteydenpito ympäristöviranomaisiin
- yhteyshenkilönä toimiminen (naapurit, muut asianosaiset)

**Kaivutyön aikana dokumentoidaan myös maaperän laatua koskevat havainnot, esim. tiiviit välikerrokset, joita ei aina havaita ennakkotutkimusten yhteydessä. Tiedot voivat osoittautua hyödylliseksi mahdollisiin jatkotoimenpiteisiin jouduttaessa, esim. kunnostuksen jälkeisessä riskinarvioinnissa.**

Kaivusuunnitelmien laadinnassa tai hyväksymisessä on syytä käyttää geoteknistä asiantuntijaa. Etenkin geoteknisesti vaativissa kohteissa myös työmaalla pitää olla käytettävissä geotekninen suunnittelija, joka vastaa mm. kaivannon stabiliteetista. Geoteknistä asiantuntijaa voidaan tarvita myös, jos kaivantoa täytetään kaivun jälkeen uusilla rakennekerroksilla. Ympäristötekniinen asiantuntija voi samalla toimia geoteknisenä asiantuntijana, mikäli hänellä on riittävä koulutus ja ympäristö- ja maarakennusalan kokemus.

Urakoitsijan on asetettava työmaalle työmaamestari, jonka vastuulla ovat työmaatoiminnot. Lisäksi rakennuttaja voi asettaa työmaalle työmaavalvojan, jonka tehtäviin kuuluvat maarakennustöiden valvonta sekä mahdollisista lisä- ja muutostöistä sopiminen. Riippumattoman laadunvalvojan osuutta on käsitelty jäljempänä tässä luvussa.

Työmaalla toimivien henkilöiden osalta vastuukysymykset ja tarkat toimenkuvat (vastuumatriisi) on syytä sopia kirjallisesti ennen työmaan aloittamista.



Etenkin suurempien hankkeiden osalta on syytä tiedottaa myös pelastusviranomaisille töiden aloittamisesta, tehtävien töiden luonteesta ja kuljetettavien kuormien sisällöstä.

### **Kaivutyön aikainen maanäytteenotto ja kenttäkokeet**

**Ohjearvon ylittäviä haitta-ainepitoisuuksia sisältäviä maa-aineksia voidaan jättää kohteeseen riskinarvioinnin ja ympäristöviranomaisten päätöksien perusteella. Kaivettu, raja-arvopitoisuuden ylittävä maa-aines on toimitettava käsiteltäväksi tai loppusijoitettavaksi: sitä ei saa käyttää täyttömaana edes samalla työmaalla.**

Kunnostussuunnitelmaan sisältyy näytteenottosuunnitelma, joka liitetään sellaisenaan tai täydennettynä myös kaivusuunnitelmaan. Kaivusuunnitelmassa esitetään kaivun etenemisen, laajuuden ja tasojen lisäksi myös kutakin kaivutasoa koskeva näytteenottosuunnitelma työnaikaista evaluointia varten (näytteiden ottopaikat / käytettävä näytteenottoverkko, näytteenottotiheys, näytteiden kokonaismäärä, näytteistä tutkittavat aineet, kenttäanalyysointoreilla tehtävät määritykset ja laboratoriossa tehtävät määritykset sekä tulosten raportointi ja jakelu). Lisäksi suunnitelmaan voidaan sisällyttää näytteenotto väliavarastokasasta tai maiden vastaanottopaikalla. Kaivettujen maamassojen käsittelytapa riippuu osin niiden sisältämien haitta-aineiden laadusta ja pitoisuuksista. Tästä syystä kaivumassojen laatua on seurattava näytteitä ottamalla ja analysoimalla.

Maanäytteenotossa on noudatettava yleisesti hyväksyttäviä periaatteita ja laatukriteereitä, kts. esim. Mroueh et al. 1996, Suomen Geoteknillinen Yhdistys 2002. Haihtuvia aineita sisältäviä näytteitä otettaessa on kiinnitettävä erityistä huomiota laadunvarmistukseen: diffuusiosuojattujen näytepussien käyttö, ei pintanäytteitä, säilytys kylmässä ja pimeässä, nopea toimitus laboratorioon. Haihtuvia aineita sisältäviä osanäytteitä ei suositella yhdistettäväksi kenttäolosuhteissa.

Näytteenotossa suositellaan käytettäväksi sertifioitua ympäristönäytteenottajaa. Analysoitavat haitta-aineet ja käytettävät analyysimenetelmät valitaan tapauskohtaisesti. Analyysimenetelmien määritysrajana pidetään yleissääntönä 1/10 vaadittavasta puhdistustavoitteesta ja tarkkuusvaatimuksena enintään 10–20 %:n keskihajontaa (DEPA 2002).

Työn arviointi tapahtuu samanaikaisesti kaivun etenemisen kanssa ja sen tavoitteena on saada riittävästi tietoa haitta-aineiden laadusta ja pitoisuuksista, jotta kaivamista pystytään ohjaamaan ja kaivettu maa-aines lajittelemaan ennalta asetettujen luokkien mukaisesti. Lisäksi tarkoituksena on jäännöspitoisuuksien seuranta kaivannon reunoista ja pohjalta. Myös kaivantoon tuotavien täyttömassojen puhtauden varmistaminen kuuluu osana kaivutyön arviointiin. Kaikki arviointiin liittyvät tavoitteet ja ohjeet on selkeästi määritettävä ennen kaivutyön aloittamista.

Kaivutyön arviointiin liittyy siis neljänlaisia tehtäviä:

- kaivun ohjaus
- kaivettujen maamassojen seuranta

- jäännöspitoisuuksien seuranta
- kaivantoon tuotavien täyttömassojen puhtauden varmistaminen

#### *Kaivutyön ohjaus ja kaivettujen maamassojen seuranta*

Kaivutyön aikana on aina otettava maanäytteitä pilaantuneen alueen laajuuden, kaivussyvyyden ja kaivettavan maa-aineksen haitta-ainepitoisuuksien tarkistamiseksi. Tulosten perusteella voidaan lisäksi ohjata käytännön kaivutyötä. Näytteitä suositellaan otettavaksi kaivannosta vähintään yksi kokoomanäyte jokaista alkavaa 100 m<sup>2</sup>:n aluetta kohti (tapauskohtainen harkinta), kuitenkin vähintään kaksi näytettä kultakin kaivualueelta. Olosuhteista riippuen suositeltava näytteenottotiheys voi olla jopa yksi näyte kutakin alkavaa 50 m<sup>2</sup>:n aluetta kohden, esim. rakennusten vierustoilla. Jos tutkimuksissa käytetään kenttämittauslaitteita, on mittaukset varmistettava laboratorioanalyysillä (laboratorioanalyysien määrä voidaan sijoittaa esim. massamääriin tai pinta-alaan). Lisäksi kaivutyön ohjauksessa käytettävä laite on kalibroitava ja mittaustulosten hajonta huomioitava tuloksia tulkittaessa (ks. liite 6).

Näytteenottopisteiden sijainti on aina mitattava (x-, y- ja z-koordinaatit) ja mittauspöytäkirjat allekirjoitettava. Myös kaivannon tarkemittaukset on pidettävä ajan tasalla. Takymetrikalusto on käytännössä nopea ja tarkka käytettäväksi mittauksiin.

Kaivettujen ja kuormattujen maamassojen tilavuus arvioidaan kuormakohtaisesti. Kuormat punnitaan, jos se on mahdollista.

Kaivettujen maamassojen keskimääräiset haitta-ainepitoisuudet voidaan arvioida laskennallisesti painottaen maaperästä ennen kaivamista otettujen näytteiden pitoisuuksia kaivumassojen suhteessa (Dahlbo 2002). Suositeltavinta kuitenkin on varmistaa kaivumassojen haitta-ainepitoisuudet kaivannosta otetuilla näytteillä tai kaivetuista massoista tehtävillä mittauksilla.

Kaivettujen maamassojen haitta-ainepitoisuuksia seurataan pikatesteillä, kenttämittareilla ja analysointilaitteilla, mikäli ne soveltuvat ko. haitta-aineille ja maalajeille. Kenttämittareita ja niiden soveltuvuutta on käsitelty yksityiskohtaisemmin Suomen ympäristökeskuksen ympäristöoppaassa (Laakso 1999). Esimerkkejä kenttämittauslaitteiden käyttöön liittyvästä laadunvarmistusmenettelystä on esitetty liitteissä 4 ja 5. Mittausmenetelmän tarkkuudella on huomattava vaikutus; virheellinen pitoisuus voi aiheuttaa vastaanottopisteessä ongelmia, esimerkiksi lupaehtojen suhteen. Mittaustulosten tulkinnassa otetaan huomioon menetelmän epävarmuus. Jos hyväksyttävä pitoisuus maaperässä on a mg/kg, mitatun arvon mahdollisine virheineen on oltava pienempi tai yhtä suuri kuin a. Varmistus- ja kalibrointinäytteet analysoidaan aina laboratoriossa (kalibrointinäytteet mahdollisimman aikaisessa vaiheessa). Laboratoriossa analysoitavien näytteiden lukumäärään vaikuttavia tekijöitä on lukuisia:

- haitta-aineiden pitoisuusjakaumien homogeenisuus
- haitta-aineiden laatu (soveltuvatko kenttäanalysointilaitteet tai pikatestit käytettäväksi)

- maamassojen käsittelymenetelmien lukumäärä (onko tarvetta jakaa maat pitoisuuksien mukaan eri luokkiin)
- maamassojen käsittelymenetelmien asettamat vaatimukset (esim. loppusijoitus kaatopaikalle voi edellyttää useampia näytteitä kuin maan käsitteleminen tietyllä puhdistusmenetelmällä)
- massojen ja haitta-aineiden kokonaismäärä
- tehtyjen kohdetutkimusten määrä (miten hyvin pilaantuneisuus tunnetaan kohteessa)

Näytteenottotiheys sidotaan yleensä kaivetun maan massaan (kpl/t). Jos haitta-aineiden pitoisuudet vaihtelevat runsaasti, on monesti taloudellisesti järkevää ottaa normaalia runsaammin näytteitä, jotta kaivettu maa-aines voidaan jakaa pilaantuneisuusluokkiin. Näissä tapauksissa on syytä käyttää taloudellista optimointia näytemäärän määrittelyssä. Näytteiden lukumäärä päätetään tapauskohtaisesti. Suunnitelmassa on huomioitava myös, että eri tahojen asettamat vaatimukset saattavat olla hyvin vaihtelevia erilaisten lähtökohtien mukaan (viranomaiset, kunnostustyön tilaaja, maamassat vastaanottavan laitoksen vaatimukset).

Kaivumassoista otettavat näytteet otetaan kokoomanäytteinä. Tulosten tulkinnassa on huomioitava osanäytteiden määrä. Näytteet varastokasoista otetaan luvun 1 kappaleessa 1.6.1, sivulta 43 alkaen esitetyn näytteenotto-ohjeen mukaisesti. Kuorma-auton lavalta näytteet otetaan kohdassa 1.4.2 sivulla 38 esitetyn mukaisesti. Kaivettujen maamassojen loppusijoitus kaatopaikalle tai niiden hyötykäyttö maarakentamisessa edellyttää suurempaa varmuutta massojen laadusta (suurempi näytemäärä) kuin muuhun käsittelyyn vietävien maa-ainesten kohdalla. Näytteiden määrään vaikuttavat mm. maamassojen määrä ja homogeenisuus, haitta-aineiden laatu, loppusijoituspaikka ja sille ympäristöluvassa asetetut vaatimukset.

Kunnostuskohteesta kaivettavien puhtaaksi luokiteltavien maa-ainesten vienti ja sijoittaminen muualle edellyttää puhtauden huolellista varmentamista (kuormakohtainen näytteenotto).

#### *Jäännöspitoisuuksien arviointi*

Kaivutyö voidaan keskeyttää tilapäisesti silloin, kun arvioidaan, että työn alussa määritettyjen kaivukriteerien mukainen pitoisuustaso on saavutettu. Vaatimusten täytyminen on varmennettava ja dokumentoitava ottamalla riittävä määrä näytteitä kaivannon pohjalta ja reunoista laboratorioanalyysjä varten. Lisäksi voidaan tehdä päätöksenteon tukemiseksi kenttämittauksia. Jäännöspitoisuuksien arviointia varten otettavien näytteiden määrä määritellään etukäteen näytteenottosuunnitelmassa ja sovitaan työtä valvovien tahojen edustajien kanssa. Näytepisteiden paikat sijoitetaan ns. kriittisen tarkastelun perusteella. Mikäli kunnostustyö toteutetaan hengitysilmän ja maaperän kautta tapahtuvan ihmisten altistuksen vähentämiseksi, on painopiste näytteenotossa kohdistettava kaivannon luiskien yläosiin (lähelle maanpintaa). Mikäli suurimmat jäännösriskit kohdistuvat pohjaveteen, on näytteenotto keskitettävä kaivannon pohjaosiin.

Näytteenottotiheys määräytyy myös pilaantuneisuuden luonteen perusteella (haitta-aineiden laatu, maaperän ja haitta-aineiden pitoisuuden heterogeenisuus, kenttäanalysointien soveltuvuus kohteeseen).

Etukäteen määritetyissä hyväksyttävyysskriteereissä ilmoitetaan vaadittava näytteiden lukumäärä sekä näytemäärä pinta-alayksikköä kohden. Yleissääntönä näytteitä pitää aina ottaa kaivannon kaikilta reunoilta sekä pohjalta. Kaivannon pohjalta on yleensä otettava näytteitä vähintään yksi jokaista 100 m<sup>2</sup> aluetta kohti, kuitenkin vähintään kaksi näytettä kultakin kaivualueelta. Niissä tapauksissa, joissa haitta-aineiden esiintyminen on heterogeenista esim. maaperän heterogeenisuuden takia, on näytemäärää kasvatettava. Jäännöspitoisuuksien määrittämiseen otettavat maanäytteet voidaan ottaa kokoomanäytteinä. Osanäytteiden koon tulee olla riittävän suuri, jotta ne voidaan jakaa kahdeksi rinnakkaisnäytteeksi ennen kokoomanäytteen tekemistä mahdollista myöhempää analyysia varten. Tulosten tulkinnassa on huomioitava osanäytteiden määrä.

**Jäännöspitoisuuksien määrittämisessä laboratorioanalyysijä ei voida korvata kenttämittauksilla.**

#### *Kaivantoon tuotavien täyttömassojen puhtauden varmistaminen*

Mikäli kaivantoa täytetään kaivutyön aikana tai sen päätteeksi, on varmistuttava siitä, että täyttöön tai erilaisiin rakennekerroksiin käytettävät maamassat eivät sisällä haitta-aineita. Varmistukseksi voi riittää pelkästään materiaalin lähtöpaikan selvittäminen, esim. jos kyseessä on aikaisemmin käyttämätön luonnonkiviaines. Jos materiaali on uudelleen hyödynnettävää maainesta tai on epäiltävissä, että maa-aines voi sisältää haitta-aineita, on puhtauden varmistamiseen kiinnitettävä enemmän huomiota. Tarvittaessa täyttömateriaaleista otetaan kokoomanäytteitä, jotka analysoidaan laboratoriossa.

#### **Massojen siirrot työmaalla**

Kaivutyömailla ei aina voida kuormata pilaantuneita maa-aineksia suoraan kuorma-autoihin poiskuljetettavaksi esim. kunnostuskohteessa tapahtuvan esikäsitteilyn vuoksi. Tällöin maamassat läjitetään työmaalla tilapäisiin kuormakasoihin odottamaan esikäsitteilyä ja/tai kuljetusta. Lyhytaikaista varastointia ei katsota varsinaiseksi välivarastoinniksi, mutta myös sen yhteydessä on syytä varmistua, ettei aiheuteta ympäristöpäästöjä eikä ongelmia mahdolliselle jatkokäsitteilylle. Kasat on aina läjitettävä mahdollisimman tiiviille ja kantavalle pohjalle. Jos kuormakasat sijoitetaan pilaantuneeksi todetulle, vielä kunnostamattomalle alueelle, on kiinnitettävä erityistä huomiota siihen, että ajoneuvojen liikkumisesta ei aiheudu haitta-aineiden leviämistä ympäristöön. Tilapäisten työmaateiden rakentaminen on tällöin yleensä välttämätöntä. Jos kuormakasa sijoitetaan puhtaalle tai jo puhdistetulle alueelle, on varauduttava joko eristerakenteen käyttämiseen kasan alla tai varmistettava maaperän puhtaus kasan sijaintipaikalla näytteenotolla maamassojen poisviennin jälkeen. Tarvittaessa kasat on peitettävä pölyämisen sekä pintavalunnan ja suotoveden mahdollisesti aiheuttaman haitta-aineiden leviämisen estämiseksi.

Varastoitaessa on tarvittaessa noudatettava kerroksittaista varastointitapaa (ks. luku 2.5.2), mikäli maa-aineksen lajittumista ei saa tapahtua.

Maa-aineksia joudutaan sijoittamaan tilapäisiin kuormakasoihin myös kaivettujen maamassojen haitta-ainepitoisuuksien evaluoinnin johdosta. Kuormat, joista on otettu maanäytteitä laboratoriotutkimuksia varten, on varastoitava erillään joko työmaalla, käsittely- tai loppusijoituspaikalla, kunnes tutkimustulokset on saatu ja käsitelty. Edellä esitetyt vaatimukset koskevat myös näitä varastokasoja.

### **Maa-ainesten esikäsittely kunnostuskohteessa**

Käytettävän kunnostusmenetelmän mukaisesti voidaan kaivumassoja joutua esikäsittelemään jo kunnostettavassa kohteessa, vaikka massat kuljetettaisiinkin muualle varsinaiseen käsittelyyn. Yleisimmät esikäsitteilytoimenpiteet ovat seulonta, välppäys ja murskaus. Murskattua materiaalia käsitellään kuten muutakin pilaantunutta maa-ainesta, mikäli sen joukossa on pilaantunutta maa-ainesta.

Jos kyseessä on seulonnasta tai välppäyksestä jäänyt ylitte, seurataan tavanomaisen tai epäorgaanisen jätteen kaatopaikalle sijoitettaessa ylitteen laatua ja sijoitusehtojen mukaisuutta (hienoainepitoisuus, saastuneisuus) käsittelyn aikana aistinvaraisesti. Jos seulaylitte sisältää runsaasti haitta-ainepitoista hienoainesta tai muuta mahdollisesti likaantunutta ainesta, materiaali seulotaan uudelleen tai käsitellään muulla tavoin sijoituspaikkaan soveltuvaksi.

Jos seulaylitte halutaan hyötykäyttää tai sijoittaa puhtaiden ylijäämämassojen kaatopaikalle, puhtaus on todettava ottamalla ylitteestä näytteitä, joiden hienoainepitoisuus sekä mahdollinen muun sijoitettavaksi soveltumattoman aineksen pitoisuus tutkitaan pesuseulonnalla. Näytteet otetaan standardin SFS-EN 932-1 mukaisesti, mieluummin hihnakuljettimelta vapaasti putoavasta näytteestä. Näytteenottokertojen vähimmäismäärä on kaksi. Jos seulottavan materiaalin määrä on yli 15 000 t, näytteenottokertoja on vähintään kolme (näytteenottokertojen määrä voidaan suhteuttaa syntyvän ylitteen määrään). Kullakin näytteenottokerralla otetaan kolme osanäytettä vähintään puolen tunnin välein. Niistä valitaan satunnaisotannalla yksi tutkittavaksi. Jos näytteiden hienoainepitoisuus (< 2 mm fraktio) on yli 1 painoprosenttia ja hienoaineksen haitta-ainepitoisuudet ylittävät kyseisessä kohteessa hyväksyttävät pitoisuudet, materiaali ei sovellu sijoitettavaksi ilman jatko- tai uudelleenkäsittelyä. Jos seulaylitettä hyötykäytetään kaatopaikkaolosuhteissa (tavanomaisen jätteen kaatopaikka), voidaan hyväksyä enintään 3 painoprosentin hienoainepitoisuus.

### **Riippumaton laadunvalvonta**

Riippumattoman laadunvalvonnan tarve määräytyy seuraavien tekijöiden perusteella:

- kaivutyömaan koko
- haitta-aineiden ympäristövaarallisuus, pitoisuudet ja pitoisuusjakaumat alueella

- haitta-aineista aiheutuvat ympäristöriskit, etenkin jäännösriskin suuruus
- tarve kaivettujen massojen jakamiseen eri luokkiin ja jatkokäsittelytoimenpiteet

Riippumaton laadunvalvonta kohdistetaan lähinnä jäännöspitoisuuksien valvontaan sekä tarvittaessa kaivettujen maamassojen laadunvalvontaan, oikean luokittelun ja eteenpäinohjauksen varmentamiseen. Laadunvalvontasuunnitelma laaditaan tapauskohtaisesti ja siihen tulee sisältyä ainakin otettavien näytteiden lukumäärä ja näytteenottosuunnitelma sekä analyysiohjelma. Näytteiden lukumäärä arvioidaan urakoitsijan laadunvalvontasuunnitelman pohjalta ja sidotaan kaivumassojen määrään sekä kaivannon pinta-alaan ja syvyyteen, esim. yksi näyte 100 tn kaivumassaa kohden, 1 näyte 500 m<sup>2</sup> kaivualuetta ja 0,5 m kerrosta kohti.

Riippumattoman laadunvalvojan tehtäviin kuuluu myös varmistaa, että kaivantoon tuotavat täytömassat ovat puhtaita. Varmistus toteutetaan seuraamalla urakoitsijan näytteenottoa ja analyysijä sekä tarvittaessa ottamalla omia seurantanäytteitä.

Analysoitavat haitta-aineet ja käytettävät analyysimenetelmät ovat samat kuin urakoitsijan/rakennuttajan laadunvalvonnassa. Laadunvalvontanäytteet analysoidaan aina laboratoriossa. Riippumaton laadunvalvonta ei saa perustua kenttäanalyysointien, mittareiden tai pikatestien käyttöön. Niitä voidaan käyttää ainoastaan päätöksenteon tukemiseen.

Riippumattomalle laadunvalvojalle asetettavia vaatimuksia ja laadunvalvonnan yleistä sisältöä on käsitelty luvuissa 1.3, 1.4, 1.5 ja 1.6.5.

## **Dokumentointi**

Työsuorituksen seuranta ja laadunvarmistus perustuvat suoritettujen työn dokumentointiin. Dokumentoinnin kannalta on tärkeintä tehdä tarkepiirustukset kaivetuista massoista sekä paikantaa näytteenotto tarkasti. Poistettujen maamassojen alkuperäinen sijainti, haitta-ainepitoisuudet ja jäännöspitoisuudet tulee dokumentoida tarkasti sen vuoksi, että kunnostustoimenpiteitä voidaan jatkaa, mikäli se osoittautuu myöhemmin tarpeelliseksi. Samoin voidaan seurata mahdollisia muutoksia kunnostetulla alueella, esim. luonnollista puhdistumista (Sarkkila et al. 2002).

Tehtyjen kenttätutkimusten ja analyysien tulokset esitetään karttapohjalla kaivukerroksittain. Kaikki mittaustulokset tallennetaan mahdollisuuksien mukaan digitaalisessa muodossa (Sarkkila et al. 2002). Näytteenottopisteiden sijainti on aina mitattava (x-, y- ja z-koordinaatit) ja dokumentoitava huolellisesti.

Pilaantuneiden maiden siirtokuljetukset ovat säänneltyä toimintaa. Ongelmajätteiksi luokiteltujen pilaantuneiden maamassojen siirroista on aina laadittava siirtoasiakirja (VNp 659/1996), jonka kaksoiskappale palautuu kaivutyömaalle maamassojen vastaanottoaikan edustajan allekirjoituksella varustettuna. Poisvietävistä pilaantuneista massoista on kirjattava niiden määrä, haitta-ainepitoisuudet ja muut laatuominaisuudet, vientiajankohta ja -kohde, viejä sekä vastaanottoaika. Siirtoasiakirja on aina allekirjoitettava ja päivättävä. Asiakirjat on säilytettävä vähin-

tään kolmen vuoden ajan. Myös muiden kuin ongelmajätteiksi luokiteltujen pilaantuneiden maiden siirroista on laadittava kuormakirja. Liitteessä 1 esitettyä siirtoasiakirjamallia voidaan käyttää myös kuormakirjana.

## 2.5.2 Välivarastointi

### Varastointi ja kuormaus

Joidenkin kunnostusmenetelmien yhteydessä (esim. kiinteytys ja pesu) joudutaan kiinnittämään erityistä huomiota välivarastointivaiheessa massojen läjitystapaan eli varastokasan rakenteeseen sekä uudelleen kuormauksen toteuttamistapaan. Maa-aineksia varastoitaessa ja uudelleen kuormattaessa ei saa päästä tapahtumaan lajittumista rakeisuuden tai haitta-aineiden pitoisuusjakaumien suhteen. Toisin sanoen jatkokäsittelyyn toimitettavan maa-aineksen pitää olla mahdollisimman homogeenista sekä fysikaalisten että kemiallisten ominaisuuksien suhteen. Mikäli pilaantuneet maa-ainekset viedään välivarastosta suoraan loppusijoitukseen, ei mahdollisella lajittumisella ole merkitystä.

Eri lailla pilaantuneiden, ongelmajätteiksi luokiteltujen maamassojen sekoittaminen keskenään on jätelaissa (1072/1993) esitettyjen edellytysten mukaan kielletty.

Maa-aineksia varastoitaessa voidaan soveltaa kiviaineksen varastointiin laadittuja ohjeita. Suomen Betoniyhdistyksen (2001) julkaiseman betonin kiviaineksia käsittelevän ohjeen mukaan *hienorakeiset* kiviainekset on lajittumisen estämiseksi kesällä varastoitava kerroksittain siten, että eri kerrosten reunaan jää vähintään 0,5 metrin levyinen kaista. Kerrosten paksuus on noin 1 metri. Kasan reunan yli kippaaminen tai varastoiminen päätypenkereeseen on kielletty. Paras tulos saavutetaan, jos kiviainekset voidaan varastoida vetämällä ne matoksi ristikkäin. Talvella varastointi voidaan tehdä päätypenkkana. Lajittumista saattaa lisätä myös liian korkea varastokasa, jos sen purkamisen yhteydessä ei tehdä erillistä kuormattavan materiaalin kasa ylhäältä putoavan materiaalin homogenisoimiseksi muuhun ainekseen. *Karkearakeiset* kiviainekset varastoidaan päätypenkkana. Jos karkeat kiviainekset varastoidaan kerroksittain, paranee ainesten tasalaatuisuus, mutta toisaalta kiviaines saattaa ajoväylien kohdalta hienontua. Sekoittuneet ja hienontuneet osuudet on tarvittaessa sekoitettava muun materiaalin joukkoon ennen jatkokäsittelyyn toimittamista.

Maa-ainesten tasalaatuisuutta voidaan tarvittaessa parantaa tekemällä kuormausta varten erillinen ”toimituskasa”, johon otetaan maa-ainesta laajalta alalta avatusta varastokasasta. Maamassat voidaan vielä sekoittaa huolellisesti ennen kuormaamista. ”Toimituskasan” tulee olla usean autokuorman kokoinen. Uudelleen kuormattaessa varastokasasta tulee ottaa kuormaajalla ”siivu” läpi koko kasan, ei siis pelkästään kauhallinen kerrallaan kasan reunasta.

Huomattavaa on, että kerroksittain tapahtuva varastointi aiheuttaa jossain määrin myös läjitettävän maa-aineksen tiivistymistä, mikä saattaa vaikeuttaa eräisiin kunnostusmenetelmiin liittyvää jatkokäsittelyä.

## **Dokumentointi**

Välivarastoitaessa pilaantuneita maamassoja on niiden läjitys suunniteltava kuormakohtaisesti kunkin kuorman tulevan jatkokäsittelyn perusteella siten, että eri luokkiin jaotellut massat eivät pääse sekoittumaan varastoinnin aikana. Välivarastoinnin yhteydessä on tärkeää huolellisesti ja yksiselitteisesti dokumentoida maalajeiltaan erityyppisten sekä eri haitta-aineita ja haitta-ainepitoisuuksia sisältävien maamassojen sijainti ja massamäärät alueen varastokasoissa.

Välivarastointialuetta koskevat ympäristöpäästöjen mittaus- ja analyysitulokset dokumentoidaan. Asiakirjoista on käytävä ilmi mm. näytteenottoajankohdat, näytteenotto- ja analyysimenetelmät sekä analyysitulokset.

## **2.6 Hyväksymiskriteerit ja toimenpiderajat**

**Kaikkia analyysituloksia tarkasteltaessa tulee ottaa huomioon sekä näytteenotto- että analyysimenetelmästä johtuvat epävarmuustekijät.**

### **2.6.1 Kaivu/massanvaihto**

Kaivutyö keskeytetään kun on arvioitu, että työn alussa määritettyjen kaivukriteerien mukainen pitoisuustaso on saavutettu. Vaatimusten täytyminen on varmennettava ja dokumentoitava otamalla riittävä määrä näytteitä kaivannon pohjalta ja reunoista laboratorioanalyysijä varten.

Lopputuloksen hyväksyttävyyden arviointi perustuu kunnostuksen ympäristöluvassa esitettyihin haitta-ainepitoisuuksien tavoitearvoihin. Luvassa vaaditut tavoitearvot voivat olla sidottuja myös kaivusyvyyteen siten, että tietyn kaivutason alapuolella sallitaan suurempia jäännöspitoisuuksia. Tällöin hyväksyttävään lopputulokseen pääsemiseen yleensä riittää se, että pilaantuneet maamassat poistetaan ko. kaivutason yläpuolelta. Kaivutason saavuttaminen varmennetaan vaaitsemalla.

Laadunvalvontatulosten hyväksymiskriteereinä voidaan käyttää seuraavaa vaatimusta, mikäli ympäristöluvassa ei toisin ilmoiteta:

**Jäännöspitoisuuksien määrittämistä varten otettujen kokoomanäytteiden haitta-ainepitoisuudet (osanäytteiden lukumäärä huomioituna) eivät saa ylittää ympäristöluvassa tai ilmoituspäätöksessä sallittuja pitoisuuksia minkään haitta-aineen osalta.**



Mikäli kokoomanäytteen haitta-ainepitoisuus ylittää sallitun pitoisuuden yhden tai useamman haitta-aineen osalta, voidaan ko. näytteen osanäytteet analysoida erikseen. Tällöin voidaan tarkentavat jatkotutkimukset tai -toimenpiteet kohdistaa pienemmälle alueelle. Lisäkaivua ei kuitenkaan suositella tehtäväksi kovin hajautetusti; on parempi kaivaa esim. 0,5 m pois systemaattisesti hieman laajemmalla alueella kuin pari kauhallista näytteenottopisteen kohdalta.

Hyväksymiskriteerien lieventämistä voidaan harkita, jos kunnostettava kohde ei sijaitse riskialtiilla alueella eivätkä alueen tulevat toiminnot edellytä pitäytymistä normaalin käytännön mukaisissa vaatimuksissa. Huomaa kuitenkin vastuukysymykset mahdollisten omistajanmuutosten yhteydessä.

Mikäli hyväksymiskriteerit eivät täyty kaikilta osin, on kaivutyötä jatkettava.

Jos haitta-aineita sisältäviä maamassoja ei saada poistettua kokonaisuudessaan esim. rakennusten alta, on jäännöspitoisuuksista aiheutuvat riskit arvioitava erillisen riskinarvioinnin avulla (DEPA 2002).

Massanvaihdon yhteydessä poistettujen maamassojen tilalle tuodaan puhtaita maa-aineksia. Käytettävien massojen tekniset vaatimukset määräytyvät massojen käyttötarkoituksen mukaan. Mikäli hyödynnetään samalta työmaalta kaivettuja maa-aineksia, on niiden puhtauden varmistamiseen kiinnitettävä erityistä huomiota. Ympäristöluvassa esitettyjä jäännöspitoisuuksia suurempia haitta-ainepitoisuuksia ei tule hyväksyä. Massojen hyödyntämistä saattavat rajoittaa myös muut tekijät kuten sijainti päiväkodin tai koulun pihalla. Aihetta on käsitelty tarkemmin luvussa 1.2.3. Muualta tuotavien maa-ainesten on oltava puhtaita. Puhtaus on varmennettava, jos on epäiltävissä, että maa-ainekset voivat sisältää haitta-aineita.

## **2.6.2 Välivarastointi ja massojen siirrot työmaalla**

Koska välivarastointi on tilapäistä toimintaa, ei sille ole asetettu hyväksymiskriteerejä tai toimenpiderajoja. Välivarastoinnin päätyttyä alueelle ei saa jäädä pilaantuneita maa-aineksia, haitta-aineita sisältävää suoto- ja pintavettä tai jätteitä. Tarvittaessa varastoalueelta on otettava maa- ja vesinäytteitä, mikäli pilaantumista epäillään. Samat vaatimukset koskevat myös työmailla tehtäviä massojen siirtoja (kuormakasat) ja työmaalla, käsittelypaikassa tai loppusijoituspaikassa tapahtuvaa, laadunvarmistukseen liittyvää väliaikaista varastointia.

## **2.6.3 Jälkiseuranta**

Mikäli pilaantuneita maa-aineksia sisältänyt alue on kunnostettu kaivamalla pilaantuneet maamassat pois ja sijoittamalla ne muualle, on kohteen jälkiseurannan tarve ja laatu (seuranta-aika, -ohjelma) määritettävä tapauskohtaisesti. Jälkiseurannan laadun ja keston määrää lupaviranomainen. Periaatteessa jälkiseurannan tarve määräytyy haitta-aineiden laadun, jäännöspitoisuuksien

ja mahdollisen pohjaveden pilaantumisen lisäksi alueen sijainnin ja maankäytön perusteella. Useimmissa tapauksissa seuranta kohdistuu alueen pinta- ja pohjavesien laatuun. Vertailukelpoisen tiedon saamista varten kohteesta otetaan vesinäytteet myös ennen kunnostustöiden aloittamista.

Jälkiseurannan tavoitteena on

- tuottaa tietoa lupaehtojen täyttämisestä
- tuottaa tietoa mahdollisista päästöistä ja niiden leviämisestä
- varmistaa kunnostustoimien laatu (toimivuus).

#### **2.6.4 Raportointi**

Kaivun/massanvaihdon, kuljetusten ja väliavarastoinnin toteutuksen arvioimista varten laaditaan kunnostustyön loppuraportti. Loppuraportin liitteenä esitetään mm. laadunvalvontaraportit. Kaikkia mittaus- ja analyysituloksia ei ole aiheellista liittää kunnostuksen loppuraporttiin.

Loppuraportissa esitetään kuitenkin aina jäännöspitoisuuksien osalta pistekohtaiset analyysitulokset havainnollisessa ja yksiselitteisessä muodossa esim. karttojen avulla. Loppuraportin sisältöä on tarkemmin käsitelty luvussa 1.7.2.

### **2.7 Työsuojelu ja turvallisuus**

Ennen kunnostuksen aloittamista jokaiselle työmaalle laaditaan kohdekohtainen turvallisuus-suunnitelma, joka sisältää myös työsuojeluun liittyvät asiat. Suunnitelma on hyväksyttävä työsuojelupiirissä. Työsuojelusta vastaavien henkilöiden nimet ilmoitetaan ennen töiden aloittamista työsuojeluviranomaisille. Turvallisuussuunnitelman sisältöä on tarkemmin käsitelty luvussa 1.6.7.

Kaivutyöhön, kuljetuksiin ja väliavarastointiin liittyy seuraavia riskitekijöitä (mukailtu FRTR 2002 perusteella): fyysiset riskit, kemialliset ja säteilyriskit sekä biologiset riskit.

#### **Fyysiset riskit**

- 1) Kaivutyömailla kaivinkoneet ja kuorma-autot aiheuttavat merkittävän vaaratekijän työntekijöille. Työtaturmariskin lisäksi työkoneet voivat aiheuttaa huomattavaa melua.

*Torjunta:*

- Liikkuvien työkoneiden ja kuorma-autojen varustaminen peruutushälyttimillä

- Koneita pitää lähestyä aina edestä päin siten, että koneen kuljettaja näkee lähestyvän henkilön (silmäkontakti)
- Kuulosuojainten käyttö
- Heijastusliivien käyttö pimeällä
- Kulkuväylien merkitseminen

2) Kaivettaessa räjähteitä tai helposti syttyviä tai palavia aineita sisältäviä maita työkoneet voivat aiheuttaa kipinöintiä. Työkoneet voivat myös katkaista tai vahingoittaa sähkökaapeleita ja kaasuputkia aiheuttaen räjähdys- ja palovaaran.

*Torjunta:*

- Kipinäsuojatut työkoneet
- Työskentelyalueen kastelu tai vaahdotus
- Kaasupitoisuuksien monitorointi
- Alkusammutuskaluston hankinta työmaalle

3) Sähkökaapelien vahingoittuminen ja siitä aiheutuva sähköiskun vaara.

*Torjunta:*

- Kaapelikartoitus ennen kaivutyön aloittamista kaapelikarttojen ja kaapelipeilaajien avulla
- Alueen historian tuntevien haastattelut
- Käsinkaivu epäiltäessä kaapelin läheisyyttä

4) Varastosäiliöiden poisto työmaa-alueella.

- Todistus kaasunvapautuksesta (päiväys tarkistettava)
- Kaasumittaukset (räjähdysvaara)
- Maadoituksen poistaminen viimeisenä toimenpiteenä ennen nostoa
- Liitosten irrottaminen asianmukaisilla työkaluilla (ei kulmahiomakoneella)
- Nostoraksien ja vaijerien tarkistaminen

5) Työskentely kuopassa; altistuminen hengittämisen kautta kaasumaisessa muodossa oleville haitta-aineille ja pölylle, hapenpuute sekä kuopan sortumis- ja tulvimismahdollisuus.

*Torjunta:*

- Sallittujen maksimipitoisuuksien määrittäminen
- Happipitoisuusmittarien tai haitta-ainespesifisten mittareiden käyttö

- Kaivantojen tuuletuksen järjestäminen
- Paineilmalaitteiden käyttö
- Kaivannon luiskien ja seinämien viistäminen ja tukeminen
- Työskentely pareittain siten, että vain yksi työntekijä on kerrallaan kaivannossa
- Tulvimisvaaran huomioiminen toteutettavien turvallisuustoimenpiteiden yhteydessä
- Näytteenotossa käytetään pitkävartisia näytteenottimia

6) Terävien esineiden aiheuttamat pisto- ja viiltohaavat.

*Torjunta:*

- Suojavarusteiden käyttö (turvajalkineet, käsineet)
- Terävien esineiden poistaminen kaivumassoista

7) Putoamiset, kompastumiset ja liukastumiset työmaa-alueella.

*Torjunta:*

- Suojakaiteiden asennus kaivantojen ympärille
- Työmaiden pitäminen siistinä
- Pintavesien poisjohtaminen lammikoitumisen välttämiseksi ja työmaan pitämiseksi mahdollisimman kuivana
- Liukastumisvaaran aiheuttavien maamateriaalien siivous liikkumisalueilta (savi, lieju)
- Kulkureittien sorastus tai erillisten jalankulkuväylien rakentaminen
- Riittävä valaistus

8) Työskentely epästabiililla alueella tai alustalla.

*Torjunta:*

- Vakavuus- ja painumatarkastelut geoteknisten laskelmien avulla
- Tukirakenteet ja kaiteet työskentelyalueella
- Kuorma-autojen ajo liian lähelle kaivannon reunaa estetään puomeilla, pimeällä käytettävä vilkkuvia varoitusvaloja

9) Kuumasta ilmasta aiheutuva auringonpistoksen, nestehukan ja lämpöhalvauksen vaara.

*Torjunta:*

- Riittävä nesteiden nauttiminen
- Suojautuminen auringolta

- Lepotauot

10) Kylmästä ilmasta aiheutuvat riskit.

*Torjunta:*

- Asianmukainen vaatetus
- Töiden jaksottaminen (riittävästi taukoja)
- Lämmittelytilan järjestäminen

11) Sähköiskun vaara ilmakaapelien alueella.

*Torjunta:*

- Ilmajohtojen huomioon ottaminen suunnitteluvaiheessa
- Suojaetäisyyksien määrittäminen
- Tarvittaessa virran katkaisu työskentelyn ajaksi

12) Liikenneonnettomuudet.

*Torjunta:*

- Työmaasta varoittavat liikennemerkkit
- Työmaaliikenteen suunnittelu
- Peruutushälyttimien käyttäminen

## **Kemialliset ja säteilyriskit**

1) Altistuminen haitta-aineille (kaasut, pöly)

*Torjunta:*

- Henkilökohtaisten suojainten käyttö (haitta-ainekohtaiset suodattimet, haalarit, käsineet, saappaat)
- Työkoneiden ohjaamoiden tuloilman suodatus, ohjaamoiden ylipaineistus
- Työntekijöiden koulutus ja perehdyttäminen työmaakohtaisesti turvallisuusnäkökohtiin
- Jalkineiden ja työvälineiden pesumahdollisuuksien järjestäminen
- Peseytymismahdollisuuksien järjestäminen
- Kertakäyttösuojainten käyttäminen
- Ruokailun ja tupakoinnin kieltäminen työmaa-alueella
- Pölynvähentämistoimenpiteet (kastelu, maamassojen peittäminen, pölynsidonta)

- Työmaaparakkijärjestelyt (likaiset vaatteet, pesutilat, pukuhuoneet, toimisto- ja taukotilat)

## 2) Altistuminen radioaktiivisille aineille

*Torjunta:*

- Pölynvähentämistoimenpiteet
- Henkilökohtaisten suojainten käyttö

### **Biologiset riskit**

## 1) Altistuminen mikro-organismeille

*Torjunta:*

- Hengityssuojainten käyttö
- Ruokailun, juomisen ja tupakoinnin kieltäminen ennen suojavaatteiden poistoa ja peseytymistä
- Pölynvähentämistoimenpiteet
- Kertakäyttöisten suojavaatteiden käyttö
- Työntekijöiden koulutus ja perehdyttäminen työmaakohtaisesti turvallisuusnäkökohtiin

Turvallisuus- ja työsuojeluasioiden periaatteita on käsitelty myös luvussa 1.6.7 Työsuojelu. Yksityiskohtaisemmin asiaa on esitelty mm. Saastuneen maa-alueen tutkimuksen ja kunnostuksen työsuojeluoppaassa (Nikulainen & Kalevi 1997). Käytännön ohjeita työsuojelusta on esitetty mm. Ympäristögeoteknisessä näytteenotto-oppaassa (Suomen Geoteknillinen Yhdistys 2002).

## 3. Stabilointi

### 3.1 Yleistä

Stabiloinnissa pilaantuneeseen maa-ainekseen sekoitetaan epäorgaanisia tai orgaanisia sideaineita siten, että haitta-aineiden liikkuvuus ja liukoisuus vähenevät. Stabiloinnin soveltuvuus varmistetaan esitutkimuksin. Käsitellyt maa-ainekset voidaan sijoittaa hyötykäyttörakenteisiin tai soveltuvalla kaatopaikalle. Sijoituskelpoisuuden arvioinnissa otetaan huomioon haitta-aineiden pitoisuudet, liukoisuudet ja geotekninen soveltuvuus.

#### 3.1.1 Määritelmät

Ympäristöministeriön asetuksessa yleisimpien jätteiden ja ongelmajätteiden luettelosta (1129/2001) stabilointi ja kiinteytys määritellään seuraavasti:

<b>Stabilointi</b>	Stabilointiprosessit muuttavat jätteen vaarallisuutta muuttaen siten vaarallisen jätteen vaarattomaksi jätteeksi.
<b>Kiinteytys</b>	Kiinteytysprosessit muuttavat ainoastaan jätteen fysikaalista olomuotoa lisäaineiden avulla (esimerkiksi nesteestä kiinteäksi) muuttamatta jätteen kemiallisia ominaisuuksia.
<b>Osittain stabiloitu jäte</b>	Jätettä pidetään osittain stabiloituna, jos vaarallisia aineosia, jotka eivät ole täysin muuttuneet vaarattomiksi, voi stabilointiprosessin jälkeen joutua ympäristöön lyhyen, keskipitkän tai pitkän ajan kuluessa.

Siitä, miten edellä mainittuja määritelmiä tulkitaan, ei ole saavutettu täyttä yksimielisyyttä. Epäorgaanisia sideaineita käytettäessä haitta-aineiden sitoutuminen perustuu sekä sideaineen ja haitta-aineiden välisiin reaktioihin että fysikaaliseen sitoutumiseen. Bitumisilla sideaineilla tärkein stabilointimekanismi on maa-ainesten kapseloituminen bitumimatriisiin. Suomen ympäristökeskuksen ympäristöoppaan liitteen 10 mukaan kemiallisen stabiloituneisuuden mittana voidaan käyttää massan liukoisuusominaisuuksia (Dahlbo 2002). Stabiloituneisuutta kuvaavia fysikaalisia muuttujia on paljon ja niiden merkitys voi vaihdella tapauskohtaisesti mm. sijoituskohteen ominaisuuksien ja ilmaston mukaan.

Koska yksiselitteistä määritelmää stabiloinnille ja kiinteytykselle ei ohjetta kirjoitettaessa ole ollut käytävissä, tässä ohjeessa ei oteta kantaa siihen, milloin kyseessä on stabilointi ja milloin kiinteytys. Menetelmät jaotellaan tarvittaessa sideaineen perusteella. Menetelmän soveltuvuus ja käsitellyn materiaalin sijoituskelpoisuus arvioidaan liukoisuuskäyttäytymistä ja geoteknisiä ominaisuuksia mittaavien testien avulla. Määritelmien käyttöä on syytä harkita uudelleen

siinä vaiheessa, kun niiden tarkemmat perusteet on yksimielisesti sovittu esimerkiksi CENin standardointityöryhmissä.

### 3.1.2 Menetelmäkuvaus

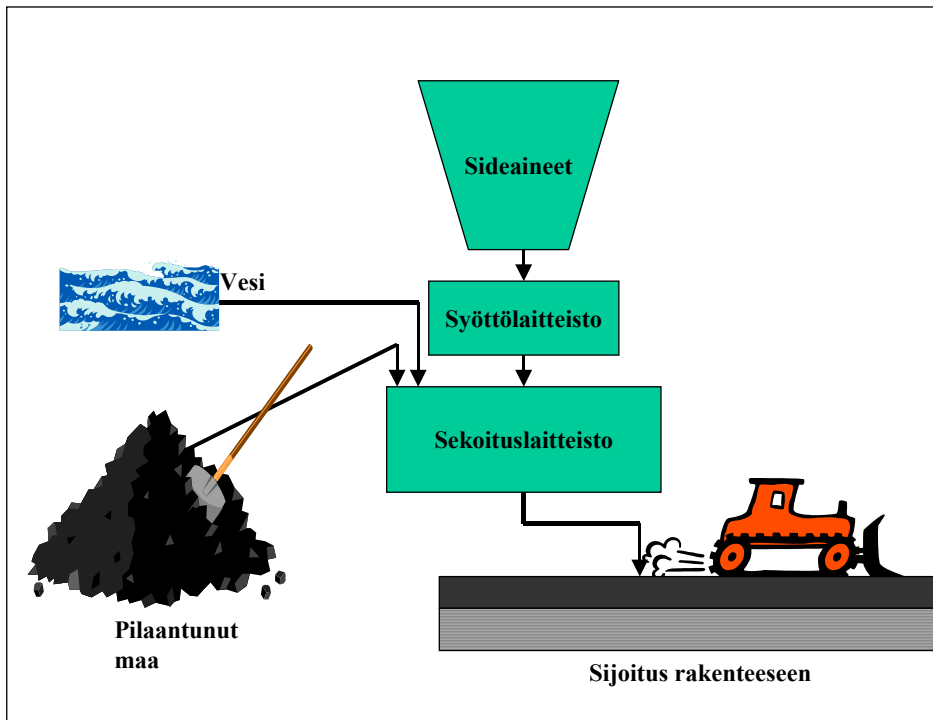
Tässä raportissa stabiloinnilla tarkoitetaan menetelmiä, joissa pilaantuneen maan haitta-aineet sidotaan joko epäorgaanisia tai orgaanisia sideaineita käyttäen siten, että epäpuhtauksien liikkuvuus ja liukoisuus pienenevät jätemäärityksen edellyttämällä tavalla vaarattomaan muotoon. Menetelmien tavoitteena on muuttaa haitta-aineet vähemmän liukenevaan muotoon, pienentää pinta-alaa, jonka kautta haitta-aineet voivat liueta ja parantaa jätteen käsiteltävyyttä ja fysikaalisia ominaisuuksia. Raportti kattaa sekä kaivua edellyttävät kentällä tehtävät on-site -stabiloinnit että laitoksissa toteutettavan stabiloinnin. Sen sijaan tässä raportissa ei käsitellä maa-ainesten kaivamatta tehtävää paikalleenstabilointia eli ns. in-situ -stabilointia. Sideaineiden osalta käsittely on pääosin rajattu silikaattipohjaisiin sideaineisiin ja bitumisideaineisiin.

Stabilointiin voidaan käyttää epäorgaanisia ja orgaanisia sideaineita tai niiden seoksia. Epäorgaaniset sideaineet ovat yleensä silikaattipohjaisia, pozzolaanisia materiaaleja, kuten sementtiä, kalkkia, lentotuhkaa, silikaattikuonia tai näiden seoksia. Orgaanisista sideaineista yleisin on bitumi, mutta myös mm. polyeteeniä ja ”rikkipolymeerisementtiä” on käytetty.

Sideainevalinta ja käsiteltävien maa-ainesten laatu vaikuttavat stabiloinnin soveltuvuuteen. Epäorgaaniset sideaineet soveltuvat pääasiassa metallien käsittelyyn. Orgaanisilla sideaineilla voidaan sitoa myös joitakin orgaanisia haitta-aineita, kuten raskaita öljyjakeita. Orgaanisten sideaineiden soveltuvuus metallien käsittelyyn on arvioitava metallikohtaisesti. Kumpikaan menetelmä ei sovellu haihtuvien tai helposti kulkeutuvien haitta-aineiden käsittelyyn.

Stabilointiprosessin päävaiheet ovat käsiteltävien maa-ainesten karakterisointi, esitutkimukset soveltuvimman seoskoostumuksen valitsemiseksi, käsiteltävien maa-ainesten homogenisointi, sekoitusprosessi sekä stabiloidun massan loppusijoitus (kuva 3.1). Riittävän korkealaatuinen lopputulos edellyttää koko prosessin kattavaa laadunhallintaa. Sekoitukseen voidaan käyttää erilaisia panos- tai jatkuvatoimisia sekoituslaitteistoja. Tasalaatuisen massan tuottamiseksi syötettävää maa-ainesmäärää, side- ja lisäaineiden määriä ja sekoitusaikaa on pystyttävä seuraamaan.





Kuva 3.1 Stabiloinnin toimintaperiaate.

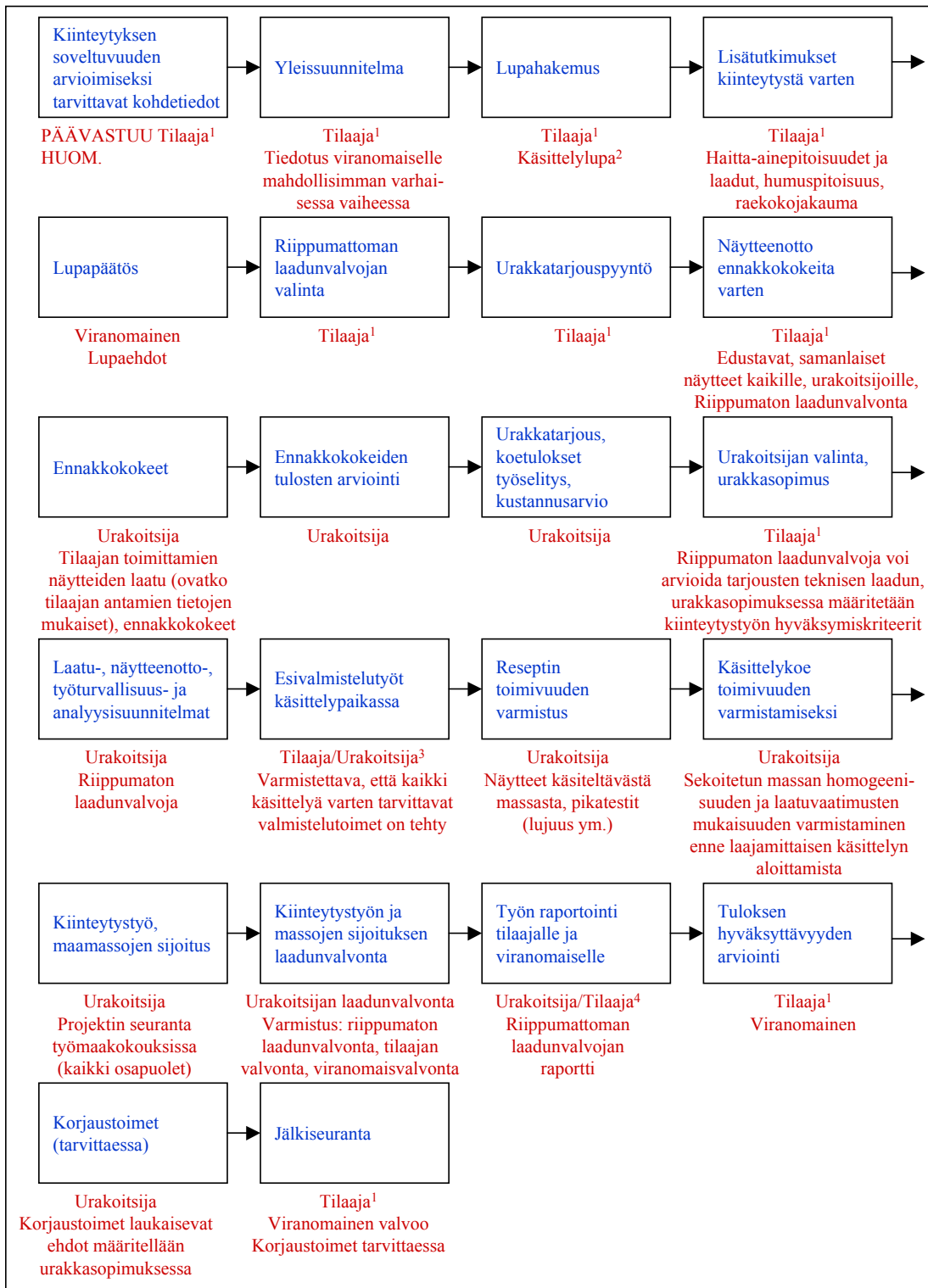
### 3.2 Menetelmän soveltuvuuden arviointi

Stabilointiprosessin toteutuksen päävaiheet ja vastuut on esitetty kuvassa 3.2. Tärkeimmät stabiloinnin soveltuvuuteen vaikuttavat seikat ovat käsiteltävien maa-ainesten sisältämät haitta-aineet ja maa-ainesten fysikaalinen koostumus, käytettävä sideaine ja käsitellyn massan sijoituskohte.

Stabiloinnin soveltuvuuden arvioimiseksi on yleissuunnitelmavaiheessa selvitettävä ainakin seuraavat käsiteltävien massojen ja sijoituskohteen ominaisuudet:

- kaikkien epäorgaanisten ja orgaanisten haitta-aineiden laatu ja pitoisuudet (keskiarvo, min, max) käsiteltävissä maa-aineksissa
- maalajit, humus- ja savespitoisuudet käsiteltävissä maa-aineksissa
- rakennekokonaisuus

Lisäksi selvitetään mahdollisimman hyvin loppusijoituskohteen vaatimat tavoitetasot ja tekniset ominaisuudet.



<sup>1</sup> Tilaajan sijalla voi olla myös tilaajan edustajakseen nimittämä taho.

<sup>2</sup> Maamassojen kaivu, sen vaatimat luvat ja toimenpiteet eivät ole mukana tässä taulukossa.

<sup>3</sup> Sijoituskohteesta tai käsittelypaikasta vastaava, joka voi sopimuksen mukaan olla urakoitsija, tilaaja tai muu taho vastaa, että käsiteltävien massojen varastoinnin vaatimat kenttärakenteet, vesien keräily- ja käsittelyjärjestelyt ym. toimet on tehty. Urakoitsija varmistaa, että kaikki tarvittavat valmistelut on tehty ennen käsittelyn aloittamista.

<sup>4</sup> Urakoitsija ja laadunvalvoja raportoivat tilaajalle, tilaaja raportoi viranomaiselle

Kuva 3.2 Stabilointiprosessin toteutuksen päävaiheet ja vastuut.

### 3.2.1 Stabiloinnin soveltuvuuteen vaikuttavat tekijät

#### Sideaineiden soveltuvuus haitta-aineiden sitomiseen

Sementti ja muut silikaattipohjaiset sideaineet soveltuvat parhaiten metallien ja käyttäytymiseltään metalleja muistuttavien epäorgaanisten aineiden sekä joidenkin haihtumattomien ja kulkeutumattomien orgaanisten aineiden käsittelyyn. Alkalisten sideaineiden aiheuttama pH:n nousu parantaa niiden metallien sitoutumista, joiden liukoisuus on pienimmillään pH-alueella 8–12. pH:n lisäksi mm. haitta-aineiden sitoutumismuoto vaikuttaa metallien liukenemiseen, josta ei pelkästään pitoisuuden perusteella voi tehdä yksiselitteisiä päätelmiä. Lisätietoa silikaattisideaineiden soveltuvuudesta löytyy mm. Monolith-tietokannasta <http://www.concrete.cv.ic.ac.uk/iscowaa/nnapics/intro.html>.

Bitumipohjaiset sideaineet soveltuvat erityisesti raskaiden öljyjakeiden ja matalahkojen metallipitoisuuksien käsittelyyn sekä rajoitetusti PAH-yhdisteiden ja muiden heikosti haihtuvien orgaanisten aineiden käsittelyyn. Korkeimmat bitumiin sidottavaksi soveltuvat metallipitoisuudet vaihtelevat metallikohtaisesti. Orgaanisia aineita käsiteltäessä on erityisesti kuumabitumoinnissa varmistettava, että haitta-aineet eivät haihdu käsittelylämpötiloissa. Myös työntekijöiden riittävään suojaamiseen on kiinnitettävä huomioita.

Kaikki haitta-aineet eivät sovi stabiloitaviksi, koska ne eivät sitoudu matriisiin riittävän hyvin tai koska ne heikentävät stabilointituotteen ominaisuuksia (taulukko 3.1). Orgaaniset yhdisteet tulisi ensisijaisesti poistaa maa-aineksista ja stabiloida ainoastaan, jos haitta-aineiden poisto ei ole kohtuullisin kustannuksin teknisesti mahdollista. Lisäksi on aina oltava osoitettu, että käsiteltävän maa-aineksen sisältämät haitta-aineet ja kyseessä olevat pitoisuudet pystytään sitomaan käytettävällä menetelmällä pitkäaikaisesti.

Taulukko 3.1 Haitta-aineiden soveltuvuus silikaatti- ja bitumipohjaisilla sideaineilla käsiteltäväksi sekä haitta-aineiden mahdolliset vaikutukset stabilointitulokseen (Barnard et al. 2003, EPA 1993b, Jones 1989, Lfu 1995). Karkea arvio menetelmän soveltuvuudesta on esitetty seuraavalla asteikolla:

- +++ Hyvin soveltuva  
 ++ Soveltuu, jos otetaan huomioon tietyt haitta-ainekohtaiset rajoitukset, esim. korkeat pitoisuudet voivat haitata stabilointia tai olla heikosti stabiloituvia  
 + Soveltuu heikosti tai vain erikoistapauksissa, esim. pienille pitoisuuksille. Orgaanisten aineiden korkeimpien pitoisuuksien on oltava alle taulukossa 3.4 ja alla kohdassa ”Haitta-aineet” esitettyjen pitoisuusrajojen.  
 - Ei sovellu.

Haitta-aine tai aineryhmä	Sementti/ silikaattipohjaiset sideaineet	Bitumisideaineet
Raskasmetallit, As, Se	<b>Soveltuvuus +++</b> - Liukoisuuden pH-riippuvuus otettava huomioon (As, Sb, Se, Mo, V, Cu) - Mm. kupari-, sinkki- ja lyijysuolat voivat hidastaa kovettumista	<b>Soveltuvuus ++</b> - Käsiteltäviksi soveltuvat pitoisuudet arvioitava metallikohtaisesti
Elohopea	<b>Soveltuvuus -/ (+)</b> - <i>ainoastaan erikoistapauksissa</i> , jolloin soveltuvuus on osoitettava erikseen (sitominen vaatii kemiallisen reaktion)	<b>Soveltuvuus -</b> - voi haihtua lämmitettäessä
Suolat, mm. halidit, sulfaattit, sulfidit, nitraatit, syanidit, fluoridit	<b>Soveltuvuus +</b> - Halidit liukenevat helposti, voivat hidastaa tai kiihdyttää sementin kovettumista - Sulfaattit ja sulfidit voivat hidastaa sementin kovettumista - Sulfaattit voivat suurina pitoisuuksina muodostaa paisumista aiheuttavaa ettringiittiä. - Sulfidit voivat ajan kuluessa hapettua sulfaateiksi, mikä aiheuttaa materiaalin halkeilua - Fluoridit vaikuttavat kovettumiseen ja lujuuden kehittymiseen - Syanidien liukoisuus kasvaa emäksisissä olosuhteissa	<b>Soveltuvuus +</b> - Sulfaattit ja halidit voivat rehydrotuitua tai dehydrotuitua ja aiheuttaa paisumista tai halkeilua - Rauta- ja alumiinisulfaatit voivat aiheuttaa liian nopeaa kovettumista
Metallinen alumiini	<b>Soveltuvuus ++</b> - Aiheuttaa vedyn muodostumista ja vaahtoamista	-

Raskaat öljyjakeet	<b>Soveltuvuus +</b> - Rajoitetusti haihtumattomille yhdisteille, soveltuvuus osoitettava erikseen	<b>Soveltuvuus +++ raskaille öljyjakeille</b>
Muut ei-polaariset orgaaniset aineet, kuten öljyt, rasvat, aromaattiset ja halogenoidut hiilivedyt, PCB:t	- Voivat hidastaa kovettumista ja lujuuden kehitystä - Voivat heikentää pitkäaikaiskestävyyttä - VOC-yhdisteet voivat haihtua sekoitettaessa tai massan lämmetessä hydraatioreaktioissa, käsittelytarve arvioitava	<b>Soveltuvuus + muille haihtumattomille yhdisteille</b> - Soveltuvuus arvioitava yhdistekohtaisesti - Haihtuvuus lämmitettäessä tai kuumennettaessa arvioitava ja käsittelytarve selvittävä - Liuottimet voivat liuottaa sideainetta
Polaariset orgaaniset aineet, kuten alkoholit, fenolit, orgaaniset hapot, glykolit	<b>Soveltuvuus +</b> - Heikentävät pitkäaikaiskestävyyttä - Fenolit hidastavat huomattavasti kovettumista ja heikentävät kestävyyttä	<b>Soveltuvuus +</b> - Haihtuvuus lämmitettäessä tai kuumennettaessa arvioitava ja käsittelytarve selvittävä
Muovit, hartsit	<b>Soveltuvuus ++</b> - Voivat lisätä kestävyyttä	<b>Soveltuvuus ++</b> - Voivat toimia sideaineena
Hapettavat yhdisteet, kaliumpermanganaatti, kaliumdikromaatti, ym.	<b>Soveltuvuus +</b>	<b>Soveltuvuus -</b> - Voivat aiheuttaa matriisin hajoamista - Palovaara

### **Haitta-aineet**

Helposti haihtuvia orgaanisia yhdisteitä sisältävät maa-ainekset (VOC) eivät sovellu stabiloitaviksi. Jos haihtuvien aineiden pitoisuudet kiinteytettävissä massoissa ylittävät maaperän ohjearvon, stabilointi edellyttää erillistä riskitarkastelua ja poistokaasujen käsittelyä. Terveydelle ja ympäristölle vaarallisia ja herkästi kulkeutuvia haihtuvia yhdisteitä (klooratut alifaattiset yhdisteet, BTEX, MTBE, kloorifenolit) sisältävien maamassojen stabilointi ei ole suositeltavaa, jos haitta-aineiden pitoisuudet ylittävät maaperän ohjearvon. Lievästi haihtuvia yhdisteitä (semi-VOC) sisältävien maamassojen stabilointia suunniteltaessa suositellaan riskitarkastelua, jos haitta-ainepitoisuudet ylittävät raja-arvon. Haihtuvien ja helposti kulkeutuvien yhdisteiden osuus otetaan huomioon myös PAH-yhdisteitä sekä poltto- ja dieselöljyä sisältävien maiden käsittelyssä.

Runsaasti (yli raja-arvon) dioksiineja, torjunta-aineita, elohopeaa, syanideja tai muita erittäin haitallisia yhdisteitä sisältävien maamassojen stabilointia suositellaan vain, jos riskinarvioinnilla on osoitettu soveltuvuus sijoituskohteeseen. Työntekijöiden ja ympäristön suojaamiseksi on työsuojelutoimiin tällöin kiinnitettävä erityistä huomiota. Tukholman sopimuksen ([http://www.pops.int/documents/convtext/convtext\\_en.pdf](http://www.pops.int/documents/convtext/convtext_en.pdf)) voi-

maantullessa on otettava huomioon myös sopimuksen aiheuttamat rajoitukset POP (Persistent Organic Pollutants) -yhdisteiden<sup>1</sup> käsittelylle (ks. luku 1, kohta 1.2).

### Muut soveltavuuteen vaikuttavat tekijät

Taulukossa 3.2 on esitetty yhteenvedona muita stabiloinnin ja sekoitustekniikan soveltavuuden arvioinnissa huomioon otettavia tekijöitä.

*Taulukko 3.2 Stabiloinnin, stabiloinnissa käytettävien laitteistojen ja stabilointiaineiden soveltavuuden arvioinnissa huomioon otettavia tekijöitä.*

Ominaisuus	Silikaattipohjainen stabilointi	Bitumistabilointi
Maa-ainesten laatu	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yli 10 % humusta sisältävät massat eivät yleensä sovellu stabiloitaviksi</li> <li>• Runsaasti hienojakoista ainesta sisältävät maa-ainekset ovat heikoimmin stabiloituvia, saattavat kasvattaa sideainemenekkiä</li> <li>• Lisättäessä massan laadun parantamiseksi puhtaita kivi-aineksia, on otettava huomioon, että massan pilaantuneisuus-luokitus ei muutu stabiloitaessa. Massamäärät on aina minimoitava.</li> <li>• Hyötykäyttökohteissa massaan voidaan sekoittaa mursketta, kalkkia, kipsiä tai teollisuuden sivutuotteita sen verran kuin massan teknisen laadun parantamiseksi on välttämätöntä. Laimentaminen ei ole sallittua.</li> <li>• Kaatopaikalle sijoitettaessa massan laadun parantamiseen voidaan käyttää enintään muutamia prosentteja mursketta, kalkkia, kipsiä tai teollisuuden sivutuotteita.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Runsaasti hienojakoista tai yli 10 % orgaanista ainesta sisältävät maa-ainekset eivät sovellu sellaisenaan käsiteltäviksi.</li> <li>• Lisättäessä massan laadun parantamiseksi puhtaita kiviaineksia on otettava huomioon, että massan pilaantuneisuusluokitus ei muutu stabiloitaessa. Massamäärät on aina minimoitava.</li> <li>• Hyötykäyttökohteissa massaan voidaan sekoittaa mursketta, kalkkia, kipsiä tai teollisuuden sivutuotteita sen verran kuin massan teknisen laadun parantamiseksi on välttämätöntä. Laimentaminen ei ole sallittua.</li> <li>• Kaatopaikalle sijoitettaessa massan laadun parantamiseen voidaan käyttää enintään muutamia prosentteja mursketta, kalkkia, kipsiä tai teollisuuden sivutuotteita.</li> <li>• Kosteus haittaa stabilointia (kalkkia voidaan käyttää kosteuden pienentämiseen).</li> </ul>
Maa-ainesten laatu vaihtelu	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Heterogeenisuus otettava huomioon esikäsitelyssä.</li> <li>• Homogenisoitava riittävän tasalaatuiseksi</li> <li>• Huomattavan korkeat pitoisuudet poistettava ja käsiteltävä erikseen, käsiteltävää massamäärää ei tule kasvattaa pelkästään hait-</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Heterogeenisuus otettava huomioon esikäsitelyssä</li> <li>• Homogenisoitava riittävän tasalaatuiseksi</li> <li>• Huomattavan korkeat pitoisuudet poistettava ja käsiteltävä erikseen, käsiteltävää massamäärää ei tule kasvattaa pelkästään hait-</li> </ul>

<sup>1</sup> Alkuvaiheessa sopimukseen sisältyvät seuraavat pysyvät orgaaniset yhdisteet: aldrini, dieldriini, endriini, DDT, heptakloori, klordaani, mirex, toksafeeni, heksaklooribentseeni, PCB sekä dioksiinit ja furaanit

	ta-ainepitoisuuksien laimentamiseksi hyväksyttävään tasoon	ta-ainepitoisuuksien laimentamiseksi hyväksyttävään tasoon
Sekoitustekniikka (massan tasalaatuisuus)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Riittävä annostarkkuus ja sekoitustehokkuus varmistettava</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Riittävä annostarkkuus ja sekoitustehokkuus varmistettava</li> </ul>
Side- ja lisäaineiden vaikutus työntekijöiden terveyteen ja massan ympäristökelpoisuuteen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Työturvallisuuden varmistamiseksi side- ja lisäaineista on oltava käyttöturvallisuustiedotteet</li> <li>Sideaineiden haitta-ainepitoisuudet tunnettava</li> </ul>	
Suunnittelun ja ennakkotutkimusten vaatima aika	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erityisesti on-site toteutuksissa varattava riittävästi aikaa seoskoostumusten kehittelyyn ja ennakkotutkimuksiin (n. 5 kk).</li> <li>Tarjouspyynnöt toteutusta edeltävänä syksynä.</li> </ul>	
Sijoiuskohte ja rakennekokonaisuus	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sijoiuskohteen soveltuvuus (kaavoitus, rakenteen pysyvyys)</li> <li>Sijoiuskohteessa hyväksyttävät pitoisuudet ja liukoisuudet</li> <li>Sijoiuskohteen vaatimat tekniset ominaisuudet</li> <li>Rakenteen suojaustarve</li> <li>Mahdollisuus poistaa massa tarvittaessa</li> </ul>	

Selvitykset stabiloinnin suunnittelua varten on aloitettava riittävän ajoissa, koska ennakkokokeisiin tulee varata 4–5 kk aikaa. Näiden lisäksi tulee varata aikaa tarjousten valmisteluun ja käsittelyyn (1–2 kk). Suunnittelu tulee aloittaa niin ajoissa, että kiinteytystä varten tarvittavat näytteet pystytään ottamaan ja tarjouspyynnöt toimittamaan urakoitsijoille jo toteutusta edeltävänä syksynä.

Sekoitus tehdään asemasekoittimilla, koska ne ovat parhaiten kontrolloitavissa ja niillä on helpointa päästä tasalaatuisen lopputulokseen. Muita sekoitustekniikoita (seulamurskaimet, jyrsimet) voidaan käyttää ainoastaan erikoistapauksissa, ja silloin sekoituksen onnistuminen ja sekoitustuloksen tasalaatuisuus on testattava työn alkuvaiheessa useammista sekoituseristä.

### 3.2.2 Ennakkotutkimukset

Stabiloinnin soveltuvuus käsittelymenetelmäksi arvioidaan yleissuunnitteluvaiheessa maamassojen laatua ja koostumusta koskevien tutkimusten perusteella. Ennakkotutkimuksia ja ennakkotutkimusnäytteiden ottoa varten tarvitaan usein lisätietoa maan aineksen ominaisuuksista. Tutkimussuunnitelma ennakkokokeita varten tarvittavalle näytteenotolle laaditaan aikaisempien kohdetutkimusten tulosten perusteella. Näytteenottosuunnitelman lisäksi tutkimussuunnitelma sisältää ohjeet tarvittavista laboratorioanalyysistä ja -kokeista. Myös laadunvarmistusta koskevat seikat on syytä sisällyttää näytteenottosuunnitelmaan.

Ennen stabilointireseptin soveltuvuuden arviointia varten tarvittavien näytteiden ottoa tulee käsittelyerästä tuntee:

- kaikkien epäorgaanisten ja orgaanisten haitta-aineiden laatu ja pitoisuudet (keskiarvo ja jakauma maa-aineksessa)
- humuspitoisuus (keskiarvo ja jakauma maa-aineksessa)
- rakeisuus.

Haitta-aineiden pitoisuusmäärittämisessä kiinnitetään erityistä huomiota sitoutumista haittaavien tai sideaineiden toimintaan vaikuttavien aineiden pitoisuuksiin sekä haihtuvien aineiden tai mahdollisesti stabilointireaktioissa haihtuvia reaktiotuotteita muodostavien aineiden läsnäoloon.

Jos massoja ei ole vielä kaivettu, kohteesta vastaavan tulee selvittää myös erityyppisten massojen sijainti siten, että stabilointikokeisiin pystytään ottamaan mahdollisimman edustavat näyte-erät.

### **Näytteenotto stabilointikokeisiin**

Stabilointikoenäytteiden otto tehdään kohteen tilanteen ja käsittelytavan perusteella joko kunnostuskohteen maaperästä tai varastokasasta. Näytteenotto suoritetaan aina kokeneen ja asianmukaisen näytteenottokoulutuksen saaneen henkilön johdolla. Näytteenottajalla pitää olla voimassa oleva ympäristönäytteenottajan sertifikaatti tai hänen tulee toimia sertifioidun näytteenottajan valvonnassa.

Maaperänäytteenotto tehdään yleisesti käytössä olevien ohjeiden ja oppaiden (mm. Mroueh et al.1996, Suomen Geoteknillinen Yhdistys r.y. 2002) mukaisesti. Näytteet otetaan siten, että ne edustavat ominaisuuksiltaan sekä haitta-aineiden laadun ja pitoisuuksien suhteen mahdollisimman hyvin käsiteltävää maa-ainesta. Tärkeimmät tarkasteltavat ominaisuudet ovat humuspitoisuus, vesipitoisuus ja raekokojakauma (Anon. 1995). Stabilointireseptien kehittämistä varten otettavien näytteiden on oltava riittävän suuria. Jos tilaaja ottaa näytteet, tarvittava näytemäärä varmistetaan urakoitsijalta. Näytemäärän tulee kuitenkin aina olla vähintään 100 kg. Tutkimuksia varten näytteet homogenoidaan ja niistä poistetaan suuret kappaleet.

Koska stabiloitavan maa-aineksen laatu useimmiten vaihtelee selvästi, tehdään ennakkokokeita useammalle eri näyte-erälle (2–3 kpl). Näin on tehtävä ainakin, jos materiaali tulee useammasta kohteesta tai jos sen laatu muista syistä on erittäin vaihtelevaa. Vähimmäismäärä on yksi sarja jokaista maa-aineksen ottopaikkaa kohden. Näin varmistetaan se, että resepti toimii sekä mekaanisten ominaisuuksien että liukoisuusominaisuuksien osalta kaikilla lähtömateriaaleilla.



## **On-site -kohteet**

On-site -toteutuksissa tilaaja vastaa maa-ainesten laadun selvittämisestä ja urakoitsijoille toimitettavien stabilointireseptin kehittämistä varten tarvittavien ennakkokoenäytteiden otosta. Urakoitsijoille toimitettavat näytteet otetaan seuraavasti:

- otetaan 2–3 vähintään kahdestakymmenestä osanäytteestä koostuvaa näyte-erää. Jokaisen näyte-erän on oltava riittävän suuri kaikille urakoitsijoille jaettavaksi.
- näyte-erät homogenoidaan
- kustakin näyte-erästä tutkitaan haitta-ainepitoisuudet, humuspitoisuus ja rakeisuus
- näyte-erät jaetaan urakoitsijoille toimitettaviin osiin.

Riippumattoman laadunvalvojan mukanaoloa jo stabilointikoenäytteiden ottovaiheessa suositellaan, jos tilaaja vastaa näytteenotosta.

Tilaajan on toimitettava urakoitsijalle käsiteltävistä maa-aineksista ainakin kaikkien epäorgaanisten ja orgaanisten haitta-aineiden laatu- ja pitoisuustiedot, humuspitoisuus ja rakeisuustiedot (keskiarvo, min, max). Sopimuksen mukaan näytteenotto voidaan toteuttaa myös siten, että tilaaja osoittaa urakoitsijoille paikat näytteenottoa varten.

Jos tilaaja on toimittanut näytteet urakoitsijalle, urakoitsijan tulee ainakin aistinvaraisesti arvioida, vastaavatko näytteet tilaajan toimittamia tietoja sekä tarvittaessa pyytää lisätietoja tai uusia näytteitä tilaajalta.

## **Laituskäsittelyt**

Jos stabilointi toteutetaan laitoskäsittelynä, kohteesta vastaavan on huolehdittava, että käsittelyyn toimitettavien maa-ainesten laatu on selvitetty ja laitokselle toimitetaan kaikki laitoksen vastaanottoehdoissa vaaditut tiedot. Laitos tarkastaa silmämääräisesti kaikki vastaanotettavat maa-ainekuormat ja niiden mukana tulevat siirtoasiakirjat ja tekee tarvittaessa lisätutkimuksia maa-ainesten laadun varmistamiseksi. Laitos vastaa stabilointireseptin soveltuvuuden arvioimiseksi tarvittavasta näytteenotosta.

## **Stabilointikokeet**

Stabiloinnille asetettavien haitta-aineiden liukoisuuden vähennystavoitteiden sekä jätteen käsiteltävyyden parantamistavoitteiden toteutumisen selvittämiseksi mitattavia ominaisuuksia ja suositeltavat koemenetelmät on esitetty taulukossa 3.3. Taulukossa 3.4 sekä liitteessä 8 on esitetty esimerkkejä menetelmän soveltuvuuden arviointiin ja laadunvalvontaan soveltuvista ympäristöominaisuuksien minimitasoista ja taulukossa 3.5 vastaavista teknisten ominaisuuksien minimitasoista. Hyväksyttäviä tasoja arvioitaessa otetaan aina huomioon myös sijoituskohteen ominaisuudet.

Taulukko 3.3 Stabiloinnin soveltuvuuden arvioimiseksi tutkittavia ominaisuuksia ja stabiloitinkokeisiin sekä stabiloinnin laadunvalvontaan soveltuvat koemenetelmät.

Tutkittava ominaisuus	Tutkimuksen tavoite	Koemenetelmä	Huomautukset
<b>Stabiloitavat maa-ainekset</b>			
Haitta-ainepitoisuudet	Soveltuvuus stabiloitavaksi ja hyötykäyttäväksi/loppusijoitettavaksi	Haitta-aineiden mukaiset määritysmenetelmät	
Rakeisuus	Soveltuvuus stabiloitavaksi	SFS-EN 993-1/-2	Rakeisuusalue 0-64 mm tai pienempi
Humuspitoisuus	Soveltuvuus stabiloitavaksi	GLO-85	Polttomenetelmä
Liukoisuus stabiloitavista maa-aineksista tai stabiloidusta murskattusta massasta	Hyötykäyttökelpoisuus	NEN 7343 ja pH-staattinen testi	
<b>Stabiloitu massa</b>			
Liukoisuus stabiloiduista näytteistä	Haitta-aineiden liukoisuus rakenteesta pitkän ajan kuluessa	NEN 7345	Bitumilla sidotuille näytteille modifioitu testi
Puristuslujuus (hydraulisesti sidotut massat)	Massan koossapysyvyys rakenteessa veden, kuormien ja jäätymis-sulamis-sykliden rasittamana	ASTM D 1633-96 SFS-EN 13286-41	Siirtymä-/voimaohjaus
Halkaisuveto-lujuus (bitumilla sidotut massat)		PANK-4202	
Tarttuvuusluku (bitumilla sidotut massat)	Massan vedenkestävyys	PANK 4301	
Vedenläpäisevyys	Varmistaa, että massan vedenläpäisevyys alittaa eri rakenteille määritetyt rajat	ASTM D 5084-97	
Pakkasenkestävyys	Massan koossapysyvyys rakenteessa veden ja jäätymis-sulamis -sykliden rasittamana	ASTM D 560-96	Yksinkertaistettuna
Toistuvan kastumisen ja kuivumisen kesto	Massan koossapysyvyys rakenteessa kosteus-kuivumisvaihtelujen rasittamana	ASTM D 4843-88 (1999)	
Indeksikokeet:	Stabiloidun massan tiivistymisen ja tiiveyden määrittäminen		
Maksimikuiva-irtotiheys, optimivesi-pitoisuus		Proctor /GLO- 85	Tulossa EN-standardi, prEN 13286-2
Indeksitiiveys		ICT	Vaatii koejärjestelyn kuvauksen
Tiivistyvyys		Proctor ICT / PANK-4115	Vaatii koejärjestelyn kuvauksen

Ympäristökelpoisuuden arviointiin suositellaan seuraavaa menettelyä:

- 1) Maa-ainesten haitta-ainepitoisuudet tutkitaan ja otetaan arvioinnissa huomioon ta-pauskohtaisesti (arviointiperusteina maa-ainesten laatu, stabilointimenetelmä, haitta-aineiden ominaisuudet, rakenne ja sijoituskohde). Taulukossa on esitetty ohjeellisia korkeimpia hyväksyttäviä pitoisuuksia joillekin orgaanisille haitta-aineille. Näistä pitoisuusarvoista on mahdollista poiketa osoittamalla stabiloituminen ja haittattomuus ympäristölle.
- 2) Liukoisuustutkimukset (kolonnitesti ja pH-staattinen testi) tehdään joko a) ennen stabilointia käsittelemättömistä maa-aineksista tai b) stabiloinnin jälkeen murskattusta massasta.

Haitta-aineiden liukoisuuksien on oltava  $< 3 \times$  pysyvän jätteen kaatopaikoille hyväksyttävää jätettä koskevat raja-arvot (EU Neuvoston päätös 2003/33/EY) tai sijoitettaessa valvottuihin hyötykäyttökohteisiin, kuten esimerkiksi kaatopaikka-alueelle  $<$  tavanomaisen jätteen kaatopaikoille hyväksyttävää jätettä koskevat raja-arvot.

- 3) Lisäksi stabiloidusta massasta tehdään diffuusioliukoisuustesti, jossa haitta-aineiden liukoisuuksien on oltava alle liitteen 8 raja-arvojen tai mahdollisten stabiloitujen massojen kaatopaikkasijoitukselle myöhemmin esitettävien raja-arvojen.

Taulukko 3.4 Esimerkkejä ympäristöminaisuuksista ja laatusoista, joita voidaan käyttää lähtökohdana stabiloidun massan sijoituskelpoisuuden arvioinnissa ja massan laadunvalvonnassa.

Tutkittava ominaisuus ja testisuositus	Sijoituskelpoisuuden arviointi	
	Hyötykäyttökohteet	Tavanomaisen (epäorg.) jätteen kaatopaikka*
<b>Haitta-aineiden pitoisuudet maa-aineksessa:</b>		
Haitta-aineiden kokonaispitoisuudet maa-aineksessa tunnettava ja otettava huomioon arvioinnissa		
Haihtuvat haitta-aineet (VOC)	< maaperän ohjearvo tai osoitettava soveltuvuus riskitarkastelun perusteella	
Puolihaihtuvat haitta-aineet (Semi-VOC)	< maaperän raja-arvo tai riskitarkastelu	
PAH <sub>16</sub>	< 75 mg/kg / 200 mg/kg**	
PCB (7 kongeneerin summa)	< 5 mg/kg	
<b>Liukoisuus:</b>		
Diffuusioliukoisuus (NEN 7345 tai vastaava, myös laadunvalvonnassa)	Liukoisuudet alle hollantilaisen sijoitusluokan 1 B ohjearvojen PAH < 4 mg/kg PCB < 0,05 mg/kg	Liukoisuudet alle hollantilaisen sijoitusluokan 1B ohjearvojen tai jatkossa hyväksyttävien kaatopaikkakelpoisuusraja-arvojen
Hyötykäyttökohteissa vaihtoehtoisesti a) tai b):		-
a) ennen stabilointia: Kolonnitesti prEN 14405 pH-staattinen testi	a) Pysyvän jätteen/tavanomaisen jätteen kaatopaikkakelpoisuus-kriteerit***	
b) stabiloidusta murskatusta materiaalista: Kolonnitesti prEN 14405 (myös laadunvalvonnassa) pH-staattinen testi	b) Pysyvän jätteen/tavanomaisen jätteen kaatopaikkakelpoisuus-kriteerit****	
<b>Pintasuojaus</b>	ABT tai muu vastaavan suojan antava tiivistekerros	

\* Toistaiseksi, kunnes materiaaleille esitetään kaatopaikkakelpoisuuden ohjearvot. Koskee ainoastaan kaatopaikkasijoitusta alueille, joilla on kyseisen kaatopaikkaluokan mukaiset pohjarakenteet.

\*\* Silikaattistabilointi 75 mg/kg, bitumistabilointi 200 mg/kg: haihtuvimpien yhdisteiden (naftaleeni, fenantreeni, antraseeni) pitoisuudet < 2 x kyseisen haitta-aineen ohjearvo

\*\*\*Tavanomaisissa hyötykäyttökohteissa alitettava lievennetyt pysyvän jätteen kaatopaikkakelpoisuus-kriteerit, valvotuilla alueilla, kuten kaatopaikka-alueet, tavanomaisen jätteen kaatopaikkakelpoisuus-kriteerit

Taulukko 3.5 Esimerkkejä teknisistä ominaisuuksista ja laatuosoista, joita voidaan käyttää lähtökohdana stabiloidun massan sijoituskelpoisuuden arvioinnissa ja massan laadunvalvonnassa.

Tutkittava ominaisuus ja testisuositus	Sijoituskelpoisuuden arviointi	
	Hyötykäyttökohteet	Tavanomaisen (epäorg.) jätteen kaatopaikka *
<b>Tekniset ominaisuudet:</b>		
Puristuslujuus (silikaattisidaineilla sidotut materiaalit)	Lujuus $\geq 5$ MPa ( $\geq 3,5$ MPa erityistapauksissa)****	Lujuus $\geq 2,5$ MPa
Halkaisuvetolujuus (bitumilla sidotut materiaalit)	$> 100$ kPa (+10 °C)	$> 100$ kPa /s
Tarttuvuusluku (bitumilla sidotut materiaalit)	$\geq 50$ %	$\geq 50$ %
Vedenläpäisevyys	$\leq 10^{-9}$ m/s	$\leq 10^{-8}$ m/s
Pakkasenkestävyys ASTM D560-96 tai vastaava**	Kriteeri: Massahäviö 12 sykliä $\leq 5$ %	Ei rajoituksia, jos on suojattu jäätymiseltä
Pakkasenkestävyys ASTM D560-96 tai vastaava***	Kriteeri: Lujuushäviö Lujuus kokeen jälkeen $> 65$ % vertailulujuudesta	Ei rajoituksia, jos on suojattu jäätymiseltä
<b>Pintasuojaus</b>	ABT tai muu vastaavan suojan antava tiivistekerros	

\* Toistaiseksi, kunnes materiaaleille esitetään kaatopaikkakelpoisuuden ohjeet. Koskee ainoastaan kaatopaikkasijoitusta alueille, joilla on kyseisen kaatopaikkaluokan mukaiset pohjarakenteet.

\*\* Toistaiseksi, kunnes tarkoitusta varten löytyy yksinkertaisempi menettely.

\*\*\* Lujuuden pysyvyyden kautta määritetty. Esimerkiksi jäädytys-sulatuskokeen jälkeen puristuslujuuden (tai halkaisuvetolujuuden) oltava  $\geq 65$  % vertailuarvosta. Halkaisuvetolujuus on suositeltavampi kuin puristuslujuus, koska puristuslujuuden herkkyys säröilylle, halkeamille, tms. on huomionpiiri.

\*\*\*\* Erityistapauksissa, edellyttää kohdekohtaista riskitarkastelua ja teknisen soveltuvuuden arviointia.

Lujuusmäärittäminen suositellaan puristuskoetta, jos muut syyt (kuten vanha vertailuaineisto toimivista rakenteista) eivät edellytä muun koetyypin käyttöä. Menetelmävalintaa tärkeämpää on varmistaa, että kaikki kokeet ennakkokokeista laadunvalvontakokeisiin asti tehdään samalla menetelmällä. Jos on syytä olettaa, että erilaiset koemenetelmät haittaavat urakoitsijan valintaa tai laadunvalvontatyötä, tarjouspyynnön tekijän on esitettävä käytettävä menetelmä jo tarjouspyynnössä. Samalla on esitettävä myös vaaditut raja-arvot kullekin koetyypille. Kaikki ennakkokokeet tehdään sijoituspaikalla käytettävässä kosteus- ja tiiviyssasteessa. Liitteessä 7 esitetään lisäohjeita koemenetelmistä.

## 3.3 Ympäristövaikutusten hallinta

### 3.3.1 Massojen sijoitus

Stabiloitujen maa-ainesten mahdollisia sijoituskohteita ovat hyötykäyttö alkuperäisessä kohteessa, tie- ja kenttärakenteissa tai kaatopaikka-alueilla sekä sijoitus kaatopaikalle. Ensisijaisesti suositellaan kohteita, joissa mahdolliset päästöt ympäristöön ovat hallittavissa.

#### Sijoitus hyötykäyttörakenteisiin

Stabiloitujen massojen hyötykäyttökohteille esitetään seuraavia yleisiä suosituksia:

- Sijoituskohde ei sijaitse pohjavesiluokituksen (Britschgi & Gustafsson 1996) kuuluvalla alueella.
- Materiaali sijoitetaan vähintään 0,5 m korkeimman pohjavesitason yläpuolelle siten, että se ei joudu kosketuksiin pohjaveden kanssa.
- Sijoitusta hyvin vettä johtaville sora- ja hiekkavaltaisille alueille sekä karkeainesmoreenialueille vältetään.
- Ei sijoitusta rakenteisiin, joita ei pystytä helposti korjaamaan tai purkamaan
- Sijoitus mieluummin rakenteisiin, joissa saadaan suurempia määriä rajatulle alueelle rakenteen sallimissa rajoissa
- Maankäyttö otettava huomioon, ei sijoitusta herkkiin kohteisiin.

Haitta-aineita sisältävät massat tulee sijoittaa rakenteeseen siten, että haitta-aineiden kulkeutuminen rakenteesta minimoidaan (taulukko 3.6). Kenttärakenteissa stabiloidun materiaalin pintasuojauksen tulee olla sellainen, että se ei joudu alttiiksi suotovesille tai muille rakennetta mahdollisesti heikentäville vesille. Lisäksi hyötykäyttökohteet on suunniteltava siten, että rakennetta ei jouduta rikkomaan. Rakenteessa on oltava valmiit kaivannot putkille ja muille tarvittaville rakenteille.

Rakenne suojataan tiiviillä asfaltilla tai muulla vähintään vastaavasti veden kulkeutumista rakenteeseen rajoittavalla tiivisteellä. Tämän päälle tehdään rakenteen käyttötarkoituksen mukaan joko kulutuskerros, kasvukerros tai muu suojaava kerros. Stabiloitua materiaalia ei koskaan tule sijoittaa kokonaan peittämättä eikä alttiiksi nastarengas- tai muulle kulutukselle, jolloin rakenteesta voi kulkeutua ympäristöön haitta-aineita sisältävää pölyä. Lisäksi rakenteen kuormituskestävyyden on oltava riittävä kyseiseen käyttötarkoitukseen.

Stabiloidun rakenteen alapuolelle rakennetaan salaojakerros, josta vedet johdetaan keräilykaivoon siten, että vesistä voidaan ottaa näytteitä ja ne pystytään tarvittaessa johta-

maan käsiteltäviksi. Salaojakerroksen alle tehdään tiivistyskerros, jonka vedenläpäisevyys on  $< 1 \times 10^{-8}$ . Pohjamaa tasataan ja tiivistetään siten, että painumat eivät aiheuta stabiloidun kerroksen halkeilua. Jos hyötykäyttörakenne rakennetaan kaatopaikka-alueelle tai muulle alueelle, jolla on jo tiivistysrakenne, voidaan pohjan tiivistyskerros korvata olemassa olevalla rakenteella.

*Taulukko 3.6 Stabiloidun materiaalin sijoitus hyötykäyttörakenteisiin.*

<b>Rakennekerros</b>	<b>Kerrosmateriaali</b>
Kulutuskerros tai muu pintakerros	Rakenteen käyttötavan mukaan esim. asfaltti tai kasvu-kerros
Pinnan tiivistekerros	Tiivis asfaltti (ABT, tyhjätila alle 3 %) tai muu vastaavan suojan antava tiivistekerros
Stabiloitu rakennekerros	Rakennepaksuus käyttötarkoituksen vaatimusten mukainen
Kuivatuskerros salaojaputkineen	Salaojitussora, hiekka, sora tai murske 260–300 mm. (Putken halkaisija on 110 mm, putken päällä tarvitaan >150 mm täyttömateriaalia, jotta putki kestää tiivistyksen.)
Tiivistyskerros	Käyttökohteen mukaan joko tiivis mineraalimaa, hiekkabentoniitti, mekaanisesti suojattu HDPE-kalvo tai niiden yhdistelmä
Tasattu ja tiivistetty pohjamaa	

### **Sijoitus kaatopaikalle**

Sijoitettaessa stabiloituja maa-aineksia kaatopaikalle (tarkoittaa ainoastaan alueita, joilla on kyseisen kaatopaikkaluokan mukaiset pohjarakenteet) noudatetaan toimintaa koskevan ympäristöluvan sijoitusehtoja. Kaatopaikat on Suomessa jaettu valtioneuvoston päätöksen VNp 861/1997 perusteella kolmeen luokkaan: *pysyvän jätteen kaatopaikka*, *tavanomaisen jätteen kaatopaikka* ja *ongelmajätteen kaatopaikka*. Stabiloituja massoja voidaan sijoittaa ensisijaisesti kaatopaikoille, joilla on vain epäorgaanista jätettä. Stabiloidun massan sijoitus sellaisille tavanomaisen jätteen kaatopaikoille, joissa se joutuu kosketuksiin orgaanista ainesta tai stabiloituun materiaaliin haitallisesti vaikuttavia yhdisteitä sisältävän suotoveden kanssa ei ole suositeltavaa.

Kaatopaikkasijoituksissa rakenteet ja ympäristön suojaustoimet toteutetaan kyseisen kaatopaikkaluokan yleisten vaatimusten mukaisesti (ks. myös luku 9 ”Sijoittaminen kaatopaikalle”). Stabiloidun jätteen erilliskaatopaikan perustaminen edellyttää ympäristöluvan lisäksi ympäristövaikutusten arviointimenettelyä.

### 3.3.2 Vesien keräily

Rakenteen ympäristö muotoillaan siten, että ympäristön vedet eivät pääse virtaamaan rakenteeseen. Pintavesien pääsy rakenteeseen estetään reunusojien avulla.

Valumavedet johdetaan rakenteen pinnalta kallistuksin reunaojiin ja tarvittaessa (esim. maa-ainesten käsittelykentät) edelleen käsittelyyn. Käsittelyä vaativat vedet johdetaan hiekanerotuskaivojen ja tarvittaessa (esimerkiksi kompostointi- tai varastokentät) öljynerotuskaivojen kautta. Öljynerotuskaivot varustetaan hälyttimillä. Kaivot huolletaan ja tarkastetaan vähintään kerran vuodessa.

Rakenteen alapuolisesta salaojituserroksista tulevat vedet johdetaan tarkkailukaivoon, joka rakennetaan siten, että vedestä pystytään ottamaan näytteitä. Vedet on tarvittaessa pystyttävä johtamaan käsiteltäviksi tai sopimuksen mukaan kunnalliseen viemäriverkostoon. Viemäriin johdettaville vesille noudatetaan vesilaitoksen asettamia ehtoja ja pitoisuusrajoja. Vesien käsittelyä on tarkemmin kuvattu luvussa 1.6.2.

### 3.3.3 Päästöjen hallinta

#### Varastointi

Välivarastoinnin ympäristövaikutusten hallinnalle asetettavia vaatimuksia harkittaessa otetaan huomioon varastoinnin kesto. Varastointiin käytettävällä alueella on oltava riittävä pohjaeristys ja suotovesien keräily (ks. luku 2 ”Kaivu/massanvaihto, kuljetukset, välivarastointi”). Jos varastointi on pitempiaikaista, varastokasat peitetään suojapeitteellä pölyämisen ja suotovesien syntymisen minimoimiseksi sekä kasojen kosteustason pitämiseksi mahdollisimman tasaisena. Ainoastaan hyvin lyhytaikaisessa varastoinnissa kasat voidaan jättää peittämättä.

Stabiloinnin side- ja lisäaineet säilytetään suljetuissa säiliöissä, muovisäkeissä, katetuissa tiloissa tms. siten, että ne eivät joudu kosketuksiin sadeveden kanssa. Öljyt ja kemikaalit säilytetään kemikaalien varastoinnille asetettujen vaatimusten mukaisesti (mm. Chemas 2000).

Työmaalla syntyville jätteille on järjestettävä jätteen laadun mukaiset varastointialueet tai -tilat. Ongelmajätteet varastoidaan suljetuissa tiloissa tai säiliöissä ja vettä läpäisemättömällä reunakorokkein varustetulla alustalla.

Kaikki varastoitavat materiaalit merkitään selvästi. Merkintätarroissa tai -tauluissa on oltava myös tarvittavat turvamerkinnot.



## **Kuljetukset, siirrot ja käännöt**

Pölyämisen ja haihtumisen rajoittamiseksi kuivat maa-ainekset kostutetaan kuljetusten, kuormausten ja siirtojen ajaksi. Kuljetettaessa käytetään korkeareunaisia ja peitettyjä lavoja. Jos maa-ainekset ovat märkiä, on käytettävä vedenpitäviä lavoja. Varastokasoja ja aumoja rakennettaessa voidaan haihtumista ja pölyämistä vähentää pitämällä maa-ainesten pudotuskorkeus mahdollisimman pienenä ja kuormaamalla maa-ainekset kasan suojanpuoleiseen osaan.

## **Stabilointiprosessi**

Käsittelyalueesta vastaavan on huolehdittava alueen yleisestä kunnosta ja siisteydestä, mm.

- varmistamalla, että alueella on sijoituspaikat jätteille sekä työmaalla käytettäville aineille ja tarvikkeille
- antamalla työntekijöille riittävät ohjeet työmaan siisteyden hallinnasta
- ottamalla alueen siisteys yhdeksi työmaalla tehtävien säännöllisten tarkastuksen kohteeksi.

Laitteistojen tulee olla mahdollisimman suljettuja materiaalien pölyämisen vähentämiseksi. Jos käsitellään käsittelylämpötilassa haihtuvia aineita, päästöjen käsittelytarve on aina arvioitava ja tarvittaessa kerättävä kaasut käsittelyyn.

### **3.3.4 Melu**

Maamassojen käsittelystä, siirtelystä ja kuljetuksista sekä itse kunnostusprosessista aiheutuva meluhaitta tulee pyrkiä minimoimaan sijoittamalla ja ajoittamalla toimintotien, että haittaa aiheutuu mahdollisimman vähän. Toimintaa saa yleensä harjoittaa maanantaista perjantaihin klo. 7.00–20.00 (pois lukien arkipyhät), mikäli urakkasopimuksessa tai lupaehdoissa ei ole toisin määrätty. Toiminnasta aiheutuva melu ei saa tällöin lähimmässä häiriintyvässä kohteessa ylittää ekvivalenttimelutasoa 55 dB ( $L_{Aeq}$ ).

Jatkuvatoimisten käsittelylaitosten meluhaittojen torjumiseen on kiinnitettävä erityistä huomiota.

### **3.3.5 Riskien ja epävarmuuksien hallinta**

Ympäristövaikutusten hallintaan liittyvät epävarmuudet ja riskit käydään läpi ja tehdään suunnitelmat sekä toimintaohjeet näiden epävarmuuksien hallitsemiseksi. Epävarmuustekijöitä voivat olla esim.

- käsittelyä hankaloittavat sääolosuhteet, esimerkiksi pitkään jatkuvat sateet tai odotettua aikaisemmat pakkaset
- stabilointiprosessin häiriöt
- maa-ainesten ennalta tunnistamattomat laatuvariaatiot
- kaasujen oletettua korkeammat haitta-ainepitoisuudet.

## **3.4 Kunnostustyön valmistelu**

### **3.4.1 Suunnitelma-asiakirjat**

Stabiloinnin työsuunnitelma on hankkeen yleissuunnitelmaa yksityiskohtaisempi toteutussuunnitelma, joka laaditaan lupavaiheen jälkeen ja liitetään urakkasopimukseen. Suunnitelma laaditaan työmaakohtaisesti ottaen huomioon työmaan erityispiirteet, kuten käsiteltävän massan laatu, tavoitepitoisuudet, kohteen erityisominaisuudet jne.

Työsuunnitelmassa esitetään:

- työmaan yhteystiedot
- lyhyt kuvaus työstä
- hankkeen organisaatio ja vastuuhenkilöt mukaan lukien myös alihankkijat
- lupien ja päätösten hankkeelle asettamat vaatimukset
- maa-aineksen lähtötiedot
- tavoitepitoisuudet
- aikataulu sekä toimenpiteet, jos tavoitteeseen ei päästä aikataulun mukaisesti
- tiedottaminen (työmaan sisäinen, tiedotus viranomaisille ym., julkinen tiedotus)
- katselmukset, työmaakokoukset
- työmaasuunnitelma
- laitteistojen ja niiden toiminnan kuvaus, laitteistojen käyttöön mahdollisesti liittyvät riskit
- side- ja lisäaineiden, kemikaalien ja jätteiden varastointi

- työpiirustukset
- työkuvaukset työvaiheittain
- maa-ainesten esikäsittely
- massojen loppusijoitus (tarvittaessa alueen suunnitelmat, rakentaminen jne.)
- prosessin huolto- ja valvontatoimet
- kaasu- ja vesipäästöjen hallinta
- näytteenotto- ja valvontatoimet ja niiden ajoitus
- toimenpiteitä edellyttävät poikkeamatilanteet
- toimenpiteet poikkeamatilanteissa
- lopputuloksen hyväksyttävyyden arvioimiseksi tarvittavat toimenpiteet
- arkistointi

Työsuunnitelman lisäksi tai liitteiksi laaditaan laadunvarmistussuunnitelma ja työsuojeluviranomaisen tarkastama työsuojelu- ja turvallisuussuunnitelma sekä tarvittavat näytteenotto- ja analyysisuunnitelmat.

### **3.4.2 Työmaan esivalmistelut**

Esivalmisteluvaiheessa tehdään stabiloinnin ja tarvittaessa maa-ainesten loppusijoituskohteen vaatimat rakenteet sekä muut työmaan käynnistämisen vaatimat toimet ja hankitaan tarvittavat lisätiedot alueen ympäristön tilasta. Toimenpiteitä ovat mm.:

- työmaateiden rakentaminen, liikennemerkkien ja opasteiden asennus
- työmaan aitaaminen ja kunnostustyöstä ilmoittavien varoituskylttien kiinnittäminen aitaan
- puiden ja poistettavien rakenteiden raivaus
- tarkistetaan, onko alueella maanalaisia rakenteita, kuten sähkö- ja puhelinkaapeleita, vesi- ja viemärijohtoja, kaasuputkia tms.
- tarvittavien pohjarakenteiden (varastointikentät, käsittelylaitteiston sijoituspaikka, loppusijoitusalue ym.) rakentaminen
- varastoitavien massojen suojausjärjestelyn suunnittelu
- sähkö-, vesi ja viemärioliittymät
- suotovesien keräilyjärjestelmän rakentaminen
- alueen pintavesien kuivatuksen ja ohjauksen suunnittelu

- työmaakoppien ja sosiaalisten tilojen rakentaminen
- ajoneuvojen renkaiden puhdistusmahdollisuuksien järjestäminen
- ilman laadun (pöly, VOC) monitoroinnin järjestäminen (pölypäästöihin jatkuvatoiminen keräävä mittari) (EPA 1997)
- vertailutietojen hankkiminen ympäristöstä, esim. melumittaukset, ilman laatu, pohja- ja pintavesien laatu
- pohjaveden tarkkailuputkien asentaminen tarvittaessa
- vartioinnin järjestäminen tarvittaessa
- käsittelyalueen tarkastaminen.

Välivarastointipaikalle asetettavia vaatimuksia ja välivarastoinnin esivalmistelua käsitellään luvussa 2 ”Kaivu/massanvaihto, kuljetus ja välivarastointi”. Loppusijoituspaikan vaatimuksia ja rakenteita käsitellään kohdassa 3.3.1 sekä luvussa 8 ”Tiivistysrakenteet”. Loppusijoituspaikan vaatimusten mukaisuus on tarkastettava esivalmistelutöiden yhteydessä.

### 3.4.3 Käsiteltävien maa-ainesten vastaanotto ja varastointi

Käsiteltävistä maa-aineksista sekä side- ja lisäaineista on tunnettava ainakin luvussa 3.2 ”Menetelmän soveltuvuuden arviointi” esitetyt tiedot. Vastaanotettavien maa-ainesten laatua seurataan tarkastamalla kunkin maa-ainekuorman mukana tuleva siirtoasiakirja tai kuormakirja sekä tarkastamalla kuormat silmämääräisesti. Lisäksi suositellaan, että vastaanottaja tekee pistokoeluonteisesti tarkempia tutkimuksia.

Jos kaikkia tarvittavia haitta-aineita ja ominaisuuksia ei ole tutkittu tai jos vastaanottajalla on aistinvaraisen tutkimuksen perusteella syytä olettaa, että varmistustutkimukset ovat tarpeen tai jos muista syistä halutaan varmistaa erän sopimuksenmukaisuus, tehdään lisätutkimukset kuormasta tai kentälle erikseen sijoitetuista varastokasoista otettavista kokoomanäytteistä. Näytteet otetaan luvun 1 kohdassa 1.4.2 esitettyjen ohjeiden mukaisesti. Sopimuksissa tai vastaanottoehdoissa voidaan määrittää, milloin vastaanottaja voi laskuttaa lisätutkimusten kustannukset toimittajalta.

Jos kohteeseen otetaan vastaan erilaisia ja eri tavoin tutkittuja maa-aineseriä, ne varastoidaan siten, että erät eivät sekoitu. Maa-aineserät, joista tehdään lisätutkimuksia, varastoidaan erikseen, kunnes analyysitulokset ovat valmiit.

Stabiloitavien massojen välivarastoinnissa varastokasan rakenteeseen sekä uudelleen kuormaukseen kiinnitetään erityistä huomiota, jotta varastoitaessa ei tapahdu lajittumis-

ta. Varastointiin voidaan soveltaa kiviaineksen varastointiin laadittuja ohjeita (Suomen Betoniyhdistys, 2001).

Hienorakeiset kiviainekset varastoidaan kesällä kerroksittain siten, että eri kerrosten reunaan jää vähintään 0,5 metrin levyinen kaista. Kerrosten paksuus on noin 1 metri. Kasan reunan yli kippaaminen tai varastoiminen päätypenkereeseen on kielletty. Paras tulos saavutetaan, jos kiviainekset voidaan varastoida vetämällä ne matoksi ristikkäin. Talvella varastointi voidaan tehdä päätypenkkana. Karkearakeiset kiviainekset varastoidaan päätypenkkana. Jos karkeat kiviainekset varastoidaan kerroksittain, paranee aineiden tasalaatuisuus, mutta toisaalta kiviaines saattaa ajoväylien kohdalta hienontua. Sekoittuneet ja hienontuneet osuudet on tarvittaessa sekoitettava muun materiaalin joukkoon ennen jatkokäsittelyyn toimittamista.

Maa-ainesten tasalaatuisuutta voidaan tarvittaessa parantaa tekemällä kuormausta varten erillinen ”toimituskasa”, johon otetaan maa-ainesta laajalta alalta avatusta varastokasasta. Maamassat voidaan vielä sekoittaa ennen kuormaamista. ”Toimituskasan” tulee olla usean autokuorman kokoinen. Uudelleen kuormattaessa varastokasasta otetaan kuormaajalla ”siivu” läpi koko kasan, ei pelkästään kauhallinen kerrallaan kasan reunasta.

#### **3.4.4 Massojen esikäsittely**

Ennen käsittelyä maamassat esikäsitellään seulomalla stabiloitavaksi soveltumattomat kappaleet pois. Samalla massat homogenoidaan. Seulaylitteen välivarastointia varten on varattava pohjaeristetty varastoalue.

Seulonnan aikana seurataan maa-aineksen kosteutta ja pölyämistä ja tarvittaessa maa-aines kastellaan pölyämisen estämiseksi. Jos maa-ainekset sisältävät terveydelle erityisen haitallisia yhdisteitä (keskiarvopitoisuus > raja-arvo) tai jos vaikutusalueella on asuinalueita tai muita herkkiä kohteita, tehdään seulonnan käynnistyttyä sekä tarvittaessa myöhemmin työn aikana pölymittaukset työntekijöiden ja/tai mahdollisten lähialueilla olevien kohteiden suojelemiseksi.

Seulaylite sijoitetaan viranomaisten hyväksymälle sijoituspaikalle tai käsitellään muulla etukäteen sovitulla tavalla. Tavanomaisen tai epäorgaanisen jätteen kaatopaikalle sijoitettavan seulaylitteen laatua ja sijoitusehtojen mukaisuutta (hienoainespitoisuus, saastuneisuus) seurataan käsittelyn aikana aistinvaraisesti. Jos seulaylite sisältää runsaasti haitta-ainepitoista hienoainesta tai muuta mahdollisesti likaantunutta ainesta, materiaali seulotaan uudelleen tai käsitellään muulla tavoin sijoituspaikkaan soveltuvaksi.

Jos seulaylite halutaan hyötykäyttää tai sijoittaa puhtaiden ylijäämämassojen kaatopaikalle, puhtaus on todettava ottamalla ylitteestä näytteitä, joiden hienoainespitoisuus sekä mahdollinen muun sijoitettavaksi soveltumattoman aineksen pitoisuus tutkitaan pesuseulonnalla. Näytteet otetaan standardin SFS-EN 932-1 mukaisesti, mieluummin hihnakuljettimelta vapaasti putoavasta näytteestä. Näytteenottokertojen vähimmäismäärä on kaksi. Jos seulottavan materiaalin määrä on yli 15 000 t, näytteenottokertoja on vähintään kolme (näytteenottokertojen määrä voidaan suhteuttaa syntyvän ylitteen määrään). Kullakin näytteenottokerralla otetaan kolme osanäytettä vähintään puolen tunnin välein. Niistä valitaan satunnaisotannalla yksi tutkittavaksi. Jos näytteiden hienoainespitoisuus (< 2 mm fraktio) on yli 1 painoprosenttia ja hienoaineksen haitta-ainepitoisuudet ylittävät kyseisessä kohteessa hyväksyttävät pitoisuudet, materiaali ei sovellu sijoitettavaksi ilman jatko- tai uudelleenkäsittelyä. Jos seulaylitettä hyötykäytetään kaatopaikkaolosuhteissa (tavanomaisen jätteen kaatopaikka), voidaan hyväksyä enintään 3 painoprosentin hienoainespitoisuus.

### **3.4.5 Reseptin soveltuvuuden varmistaminen**

Maamassojen epähomogeenisuuden ja näytteenottoon liittyvien epävarmuuksien vuoksi reseptin toimivuus varmistetaan työn suunnitteluvaiheessa esikäsitellyistä maaaineksista otetuista näytteistä. Näytteenotossa seurataan standardin SFS-EN-932-1 vaatimuksia.

Näytteistä tutkitaan ainakin rakeisuus, humuspitoisuus ja kosteus sekä valmistetaan koekappaleita lujuuden sekä tarpeen mukaan muiden stabiloitumista osoittavien ominaisuuksien tutkimista varten. Koekappaleiden valmistuksessa ja testauksessa käytetään kaikissa tutkimusvaiheissa samoja menetelmiä.

Jos koetulokset eivät ole urakkasopimuksessa tai laadunvalvontasuunnitelmassa esitettyjen hyväksymisrajojen sisällä, on reseptiä muutettava siten, että päästään hyväksytyyn tulokseen.

## **3.5 Kunnostustyön aikainen laadunhallinta**

Kunnostuksen aikaisen laadunvalvonnan tavoitteena on varmistaa, että kunnostuksessa päästään asetettuihin tavoitteisiin. Kunnostustavoitteet on asetettu stabilointityömaan tai käsittelylaitoksen sekä massojen sijoituskohteen ympäristölupapäätöksessä.

Työmaan laadunvalvontatoimet, niiden aikataulut, laadunvalvonnan tavoitetasot ja sallitut poikkeamat, toimenpiteet poikkeamatapauksissa ja laadunvalvonnan vastuuhenkilöt

määritetään laadunvalvontasuunnitelmassa, joka on-site -kohteissa tehdään kohdekohtaisena (katso myös luku 1.6.3).

### **3.5.1 Laadunvarmistussuunnitelma**

Urakoitsijan laadunvarmistussuunnitelmaa laadittaessa ja tarkastettaessa on varmistettava, että seurataan kaikkia viranomaisvaatimusten mukaisia ominaisuuksia sekä oleellisesti työn lopputuloksen laatuun vaikuttavia ominaisuuksia.

Laadunvarmistussuunnitelmaan kirjataan työvaiheittaiset näytteenotto- ja analyysivaatimukset (käytettävät näytteenotto- ja analyysimenetelmät, näytteenotto-ohjeet, näytteiden säilytys, näytteenoton ja analyysien laadunvarmistus), seossuhteiden ja sekoitusajan tarkkailu, käytettävät seurantapöytäkirjat ja raportointilomakkeet, mittalaitteiden kalibrointi, mittausten tulosten käsittely ja ohjeet toiminnasta poikkeustapauksissa sekä raportointivaatimukset. Suunnitelmaan kirjataan myös laadunvarmistuksen vastuuhenkilö ja eri tehtävien vastuuhenkilöt.

### **3.5.2 Stabiloinnin käynnistäminen**

Stabiloinnin käynnistysvaiheessa tehdään käsittelyalueen ja käytettävien laitteistojen silmämääräinen tarkastus ja käytettävien laitteistojen toimivuuden testaus. Stabiloinnin käynnistysvaiheen tarkistuslista on esitetty taulukossa 3.7. Kaikki tehdyt toimenpiteet raportoidaan käynnistysraporttiin tai lomakkeille.

Sekoitusannoksen koko, syötettävien materiaalien määrät ja annostelujärjestys sekä sekoitusaika määritetään reseptin ja maamassan ominaisuustietojen perusteella. Stabilointityötä aloitettaessa tehdään sekoituksen toimivuuden ja syntyvän massan homogeenisuuden varmistamiseksi kustakin materiaalityypistä täysimittakaavainen sekoitus- ja sijoitustesti sekä luvussa 3.5.3 esitettävät laadunvalvontakokeet (Anon. 1995). Samalla varmistetaan tarvittaessa myös kaasunkäsittelylaitteistojen ja mahdollisten muiden oheislaitteistojen toimivuus.

Taulukko 3.7 Stabiloinnin käynnistysvaiheen tarkistuslista (on-site -kohteet) (BCA 2003 mukailtuna).

Tarkistuksen tekijä ja ajan-kohta	Tarkistettava kohde
	Onko maa-aineksen sekä side- ja lisäaineiden laatua koskevat tiedot dokumentoitu asianmukaisesti
	Onko maa-aineksista sekä muista materiaaleista kaikki tarvittavat tiedot
	Onko kohteen ympäristöstä tarvittavat tiedot
	Kenttärakenteen/-rakenteiden tarkastus
	Keräilyojien ja -altaiden tarkastus
	Varastotilojen ja muiden työmaatilojen tarkastus
	Loppusijoitusalueen tarkastus
	Sekoituslaitteiston tarkastus
	Sähkölaitteistojen tarkastus
	Näytteenotto- ja mittausvälineistön tarkastus ja kalibrointi
	Turvavälineistön tarkastus
	Työmaa-aitojen, renkaiden pesupaikkojen ym. ympäristönsuojatoimien tarkastus

### 3.5.3 Työnaikainen laadunvalvonta

Stabilointityömaan laadunvalvonta perustuu ensisijaisesti kenttälaboratoriossa määritettyihin vesipitoisuuteen ja tiivistyvyyteen sekä silmämääräisiin havaintoihin massan väristä ja rakeisuudesta. Näiden havaintojen ja kokeiden perusteella työmaan toiminnasta vastaavan on pystyttävä tekemään päätökset veden ja sideaineen määrästä sekä toiminnan keskeyttämisestä tarvittaessa.

Työnaikaisen laadunvalvonnan tärkeimmät tehtävät ovat:

- materiaalin laatu- ja vesipitoisuusvaihtelujen huomioiminen
- tavoitteen mukaisen tiiveysasteen saavuttaminen
- massan valmistuksen ja työn ohjaaminen tilanteen mukaisesti, riittävän nopea toiminta tilanteiden muuttuessa
- massan valmistuksen, sideainemäärän ja vesipitoisuuden säätely tarpeen mukaan
- päätökset vesipitoisuusylitysten aiheuttamista toimenpiteistä (päätoöksistä vastaavan oltava määritetty)
- tiiveysmittaukset – volymetri ja Troxler (tarpeen tiiveyden ja lujuuden välisen selvän vuorovaikutussuhteen takia)
- tiivistystyön seuranta dynaamisen tiivistystyön seurantalaitteilla.



## Laadunvalvonnan koemenetelmät ja näytteenotto

Taulukossa 3.8 on esitetty laadunvalvonnan koemenetelmät ja liitteessä 7 on esitetty yksityiskohtaisemmat suositukset kokeiden toteutuksesta. Yhtenäisten laadunvalvontamenetelmien käyttö varmistaa eri osapuolten tuottamien tulosten vertailukelpoisuuden ja helpottaa tulosten vertailua asetettuihin tavoitetasoihin.

*Taulukko 3.8 Stabilointityömaan laatusuranta (Finergy 2000). Ominaisuuksien seurantavälien määrittelyssä voidaan soveltuvien osin ottaa huomioon työmaan koko ja massan homogeenisuus.*

Ominaisuus	Seurantaväli	Toimenpiteet
Vesipitoisuus	Noin 1/50 t (sidottava massan epähomogeenisuuteen, olosuhteisiin, työvuoron tuotantoon ja urakan kokoon). Tavoitteena on 3–5 mittaus- ta per työvuoro.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Massan valmistuksen vesimäärää säädetään, jos massan vesipitoisuus poikkeaa ennakkokokeiden mukaisesta optimista yli <math>\pm 2\%</math></li> <li>• Jos rakenteeseen lähtevän materiaalin vesipitoisuus poikkeaa optimivesipitoisuudesta yli <math>\pm 5\%</math>, ei massaa saa käyttää ennen työmaan laadusta vastaavan henkilön lupaa</li> </ul>
Tiivistyvyys	1/250 t (suurissa kohteissa alussa 250 t ja myöhemmin esim. 500 t). Tavoitteena on 3–5 mittaus- ta per työvuoro.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vertailuarvot määritetään esikokeissa (2–3 sarjaa)</li> <li>• Laatuvaihtelujen seuranta tiivistyvyys-tarkkailulla (vaihtelut maksimikuivairto-tiheydessä, optimivesipitoisuudessa, referenssi ICT -kokeen tuloksessa) – vaikuttaa vertailuarvoja muuttavasti</li> </ul>
Tiiveysaste	1/100 t pienissä kohteissa (suurissa kohteissa alussa 1/100 t ja myöhemmin 1/200 t). Troxler –mittauksia 5 / työvuoro, volymetrimittauksia 3–5 / työvuoro.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seuranta tiiveysmittauksilla (volymetri, Troxler, Loadman, DCC)</li> <li>• Rinnakkaisilla mittausmenetelmiä käyttämällä (Loadman, DCC) voidaan tiiveysasteen suoria mittauksia (volymetri, Troxler) vähentää</li> </ul>
Kerros-paksuus		Kerralla tiivistettävän kerroksen paksuus korkeintaan 25 cm
Rakeisuus, vesipitoisuus, lujuus, pakkasen-kestävyys, vedenläpäisevyys, liukoisuus.	Näytesarja/200 t, kuitenkin vähintään 2 sarjaa/työvuoro, jokaisessa sarjassa N näytettä Vedenläpäisevyys-, liukoisuus- ja pakkasenkestävyyskoenäytteet: Esim. näytesarja/1 000 t (vähintään 2 näytesarjaa/stabiloitava erä)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Massanäytteet otetaan rakenteeseen kuljetetusta ja tiivistämättömästä massasta. Näytteet on valmistettava tietyn (massasta ja sideaineesta riippuvan) ajan kuluessa massanäytteenotosta.</li> <li>• Näytemäärät vaihtelevat tarpeen mukaan: urakoitsijan näytteet, riippumattoman laadunvalvonnan näytteet, varanäytteet (katso taulukko 3.9).</li> <li>• Näytteet tehdään vakiotyömäärällä (Proctor, ICT)</li> </ul>

Massojen sekoituksen valvonta	Sekoituslaitteiston, seos-suhteen, sekoitusnopeuden ja sekoitusajan valvonta.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Maamassojen sekä seos- ja lisäaineiden syötön seuranta paino-, virtaus- tai tilavuusmittauksin. Ainesmenekkien ja seos-suhteiden oikean tason tarkastus vähintään kerran työvuorossa.</li> <li>Mittalaitteiden kalibroinnin tarkastus vähintään kerran viikossa.</li> <li>Vaakojen ja muiden syötön valvonnassa käytettävien laitteiden tarkkuus vähintään <math>\pm 2\%</math> mitattavasta määrästä maa-ainekselle ja <math>\pm 0,5</math> side- ja lisäaineille</li> </ul>
Syötettävän materiaalin laadun valvonta		<ul style="list-style-type: none"> <li>Maa-aineksen koostumuksen seuranta aistinvaraisesti. Jos massan väri, haju tai fysikaalinen koostumus muuttuu, arvioitava lisätutkimusten tarve.</li> <li>Seos- ja lisäaineista varanäytteet, jotka säilytetään ja tutkitaan tarvittaessa. Urakoitsijalla oltava käytettävien seos- ja lisäaineiden koostumustiedot.</li> </ul>

Massasta otetaan näytteitä urakoitsijan laadunvalvontakokeita varten laadunvarmistussuunnitelmassa määritettävien väliajoin. Massanäytteet otetaan esimerkiksi 100 tonnin välein, kuitenkin vähintään 0,5–1 näyte-erä/d ja vähintään 5 kertaa kiinteytystyön aikana. Maksimikuivatiheys, optimivesipitoisuus ja lujuus määritetään kaikista näyte-eristä. Vedenläpäisevyyttä, pakkasenkestävyyttä ja liukoisuutta seurataan vain osasta näytteitä ja näytteenotto tiheys suhteutetaan stabiloitavaan kokonaismäärään (esim. 1/500 t tai 1/1000 t). Kaikissa kohteissa tehdään kuitenkin vähintään kaksi määritystä.

Laadunvarmistuskoenäytteiden valmistuksessa voidaan käyttää kiertotiivistyslaitetta, täryvasaraa tai parannettua Proctor-menetelmää. Näytteiden valmistuksessa huomioon otettavia seikkoja on esitetty liitteessä 7. Näytteitä valmistetaan kerralla riittävä määrä siten, että tarvittaessa voidaan tehdä rinnakkaiskokeet. Tällöin laajaa koesarjaa (kaikki kokeet) varten valmistetaan 16–20 näytettä ja muita koesarjoja varten 8–10 näytettä (taulukko 3.9).

*Taulukko 3.9 Suositus laadunvalvonnan koenäytteiden lukumäärästä/näytteenottokerta.*

Tutkimus	Näytemäärä	Huom!
Puristuskokeet/halkaisu- vetokokeet	2 * 3	Lisäksi riippumattoman laadunvalvojan näytteet samasta erästä (vähintään kaksi kertaa toteutuksen aikana)
Vedenläpäisevyyskoe	2 * 1	
Pakkasenkestävyyskoe	2 * 2	
Liukoisuuskoe	2 * 2	
Muut kokeet (sideainepitoisuudet, ym.)	N näytettä	Tarvittaessa, erikseen määritettäviä

Massasta otetut laadunvarmistusnäytteet ja massojen sijoituspaikat kirjataan siten, että testattavia näytteitä vastaavien massojen sijoituspaikat pystytään jäljittämään. Samoin kirjataan myös käyttöhäiriöt ja havainnot poikkeamista, esim. syötettävän materiaalin koostumuksessa havaitut poikkeamat.

### Liukoisuustutkimukset

Liukoisuustutkimusnäytteet valmistetaan samanaikaisesti kuin teknisiin määräyksiin tarvittavat näytteet. Kullakin näytteenotokerralla otetusta massasta valmistetaan samanaikaisesti vähintään kaksi rinnakkaisnäytekappaletta. Näytekappaleen tulee olla lieriö tai prisma, jonka pinta-ala voidaan laskea perinteisillä matemaattisilla kaavoilla. Näytteet säilytetään liitteen 7 ohjeen mukaan vähintään 28 vrk (sementtipohjaiset) ja vähintään 14 vrk (bitumistabiloidut massat).

Tutkittavat näytteet valitaan rinnakkaisnäytteistä satunnaisesti alla olevan taulukon 3.10 mukaisesti. Muut näytteet säilytetään mahdollisia jatkotutkimuksia varten tai kunnes laadunvalvontanäytteen tulos on hyväksyttävä.

*Taulukko 3.10 Liukoisuustutkimuksien näytemäärät laadunvalvonnassa.*

Käsiteltävä massa määrä	Valmistettavien näytteiden lukumäärä	Laadunvalvontatutkimus
alle 10 000 t	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 näytteenotokerta / alkavaa 2 500 t massaa, vähintään 2 näytteenotokertaa</li> <li>Jokaisena näytteenotokertana valmistetaan 3 erillistä rinnakkaisnäytettä</li> </ul>	<p>Valitaan satunnaisesti diffuusiotestillä NEN 7345 tutkittavaksi 1 näyte jokaista näytteenotokertaa kohti.</p> <p>Jos materiaalin stabiloituvuus on osoitettu murskatusta materiaalista tehdyllä prEN 14405 testillä, tutkitaan myös vähintään 2 satunnaisesti valittua näytettä eri näytteenotokerroilta murskatusta näytteestä prEN 14405 testillä.</p>
yli 10 000 t/v	<ul style="list-style-type: none"> <li>10 000 t asti 1 näytteenotokerta / 2 500 t massaa, minkä jälkeen 1 näytteenotokerta / alkavaa 5 000 t massaa</li> <li>Jokaisena näytteenotokertana valmistetaan 3 erillistä rinnakkaisnäytettä (esimerkki: näytteenotokertoja 6, kun massamäärä 16 000 t)</li> </ul>	<p>Valitaan satunnaisesti diffuusiotestiin 3 näytettä ensimmäistä tuhatta tonnia kohti, sen jälkeen vähintään 1 näyte/10 000 t</p> <p>Jos materiaalin stabiloituvuus on osoitettu murskatusta materiaalista tehdyllä prEN 14405 testillä, tutkitaan myös vähintään 1 näyte/10 000 t murskatusta näytteestä tehdyllä prEN 14405 testillä.</p>

Kahden peräkkäisen näytteenotokerran ajankohdat valitaan siten, että ne eivät ole ajallisesti liian lähekkäin. Näytteenotokertojen välillä tulee käsitellä vähintään 1 000 t massaa. Jos käsiteltävät massamäärät ovat pieniä, näytteenottoväliä tiheennetään niin, että kustakin käsittelyerästä tutkitaan vähintään kaksi eri aikoina otettua näytettä. Laadun-

valvontatutkimuksessa käytetään hollantilaista 64 vrk diffuusiotestiä tai orgaanisille haitta-aineille liitteen 7 ohjeen mukaisesti modifioitua testiä. Jos minkään haitta-aineen liukoisuus ei ylitä 30 % lupaehtojissa sallitusta liukoisuusrajasta, testin voi keskeyttää 16 vrk kuluttua.

### 3.5.4 Riippumaton laadunvalvonta

Riippumaton laadunvalvonta etenee urakoitsijan laatiman ja toteuttaman rakennusaika-  
taulun mukaisesti. Työselitys ja työmaan laatusuunnitelma tarkistetaan välittömästi niiden valmistuttua. Jos urakkaan sisältyy koekentän rakentaminen, sen toteuttamista seurataan koko rakentamisen ajan. Urakoitsijan laadunvalvontatyötä ja työtapoja seurataan 1) työmaalle tehtävillä satunnaiskäynneillä, 2) työmaalle tehtävillä kohdennetuilla käynneillä, 3) laboratoriotutkimusten ja koetulosten seurannalla sekä 4) urakoitsijan laadunvalvontakokeiden varmistamisella rinnakkaisnäytteillä tehtävillä kokeilla.

Työmaalle tehtävistä satunnaiskäynneistä ei ilmoiteta etukäteen urakoitsijan edustajalle. Käyntien yhteydessä tehdään havaintoja työmaan toiminnasta, työvaiheista ja työselityksessä esitettyjen asioiden noudattamisesta. Käyntien määrä voidaan sijoittaa joko aikaan (esim. 2 käyntiä viikossa) tai työn etenemisnopeuteen (esim. 1 käynti / 500 t kiinteä massaa).

Kohdennetut käynnit pyritään ajoittamaan kriittisiin työvaiheisiin sekä urakoitsijan työmaalla suorittamiin laadunvalvontaan liittyviin toimiin (esim. näytteenotto, tiiveyskokeet). Käyntien määrä voidaan sijoittaa urakoitsijan laadunvalvontasuunnitelmassa esitettyihin toimenpiteisiin (esim. joka toiseen näytteenottoon osallistuminen).

Laboratoriokokeiden suorittamista seurataan tekemällä 1–2 satunnaista käyntiä laboratorioon. Laadunvalvontakokeiden tuloksia seurataan (työmaapöytäkirja ja laadunvalvontapöytäkirja) säännöllisesti työmaakäyntien yhteydessä tai muulla erikseen sovitulla tavalla. Pöytäkirjoihin merkitään arvio tuloksista ja se varmennetaan allekirjoituksella.

Riippumaton laadunvalvoja suorittaa urakoitsijan koeohjelmaa vastaavan laboratorio-  
koesarjan erikseen määriteltävin väliajoin. Kokeita varten otetaan rinnakkaisnäytteet samalla, kun urakoitsija ottaa näytteitä omia kokeitaan varten. Riippumaton laadunvalvoja osallistuu aina rinnakkaisnäytteiden ottoon. Suoritettavien rinnakkaiskoesarjojen määrä sidotaan urakoitsijan laatusuunnitelmassa esitettyihin koemääriin.

Kaikista havaituista poikkeamista ilmoitetaan välittömästi sekä tilaajan edustajalle että urakoitsijan edustajalle. Kaikki laadunvalvontatyöhön liittyvät toimet (esim. työmaakäynnit, suunnitelmien tarkistaminen) kirjataan ylös ja liitetään loppuraporttiin soveltuvin osin. Riippumaton laadunvalvoja osallistuu työmaakokouksiin ja raportoi lisäksi kirjallisesti tilaajalle erikseen sovittavin väliajoin.

### 3.5.5 Tiedonhallinta

#### Kunnostustyömaan tiedonhallinta

Stabilointihankkeessa on oleellisen tärkeää, että laadunvalvonnan koetulokset ja havainnot massan laadusta menevät heti tiedoksi prosessista vastaavalle henkilölle tai henkilölle, jonka vastuulla on päättää toimenpiteistä. Vastuut ja henkilöt, joille tuloksista tiedotetaan, määritetään laatusuunnitelmassa. Työmaan laatusuunnitelmassa esitetään myös tavanomaisimmat poikkeamatilanteet ja laadunvalvontatulosten arvot, joiden ylityessä tai alittuessa on ryhdyttävä toimenpiteisiin (toimenpiderajat). Myös tilanteet, joista on ilmoitettava viranomaisille, määritellään.

#### Työpäiväkirjat ja raportit

Kaikki työn aikaisten mittausten tekoajat, näytteenottoaikat, otettujen näytteiden numerot, mittaustulokset ja näytteenottajan tunnistetiedot kirjataan työpäiväkirjoihin tai seurantalomakkeisiin. Massasta otetut laadunvarmistusnäytteet ja massojen sijoituspaikat kirjataan siten, että testattavia näytteitä vastaavien massojen sijoituspaikat pystytään jäljittämään. Samoin kirjataan myös käyttöhäiriöt ja havainnot poikkeamista, esim. syötettävän materiaalin koostumuksessa havaitut poikkeamat.

## 3.6 Hyväksymiskriteerit ja toimenpiderajat

Stabilointihankkeen tulosten hyväksyttävyys arvioidaan vertaamalla laadunvalvontatutkimusten tuloksia hyväksyttäviin tasoihin. Kaikille mittausmenetelmille esitetään arvio menetelmän epätarkkuudesta. Tuloksia arvioitaessa voidaan teknisille ominaisuuksille sallia tietty määrä vähäisiä poikkeamia hyväksyttävistä tasoista. Sallittu laatupoikkeamien määrä tulisi määritellä kohteen laadunvarmistussuunnitelmassa (urakkasopimuksissa).

Koetulosten vertailun lisäksi esitetään arvio hyväksyttävät tasot alittavien massojen määrästä ja niiden sijainnista rakenteessa.

### 3.6.1 Lujuuskokeet

Puristuslujuuskokeen tuloksille esitetään hyväksymiskriteereitä monissa ohjeissa. Tyyppillisin tapa on esittää vaatimus keskiarvolle ja hajonnalle sekä täydentävät kokeet laukaisevalle poikkeamalle.

Puristuslujuuden osalta ehdotetaan käytettävän soveltaen standardissa SFS 5213 "Betoniharkot, näytteenotto, testaus ja hyväksymissäännöt" kuvattua menettelyä. Standardin mukaan lujuuskokeiden keskiarvon on täytettävä vaadittu raja-arvo eikä yksikään yksittäinen koetulos saa alittaa vaadittua lujuustasoa enempää kuin 20 % .

Hyväksymismenettely on esitetty taulukossa 3.11. Koska edellä mainittu poikkeamavaatimus 20 % on annettu talonrakennuksen kantavalle elementille, niin sitä voidaan säätää vastaamaan kiinteytetylle maalle asetettavia lujuuden suhteen vähäisempiä vaatimuksia. Kiinteytetylle pilaantuneelle maalle voidaan käyttää alituksen arvoa 30 %.

Vastaavaa menettelytapaa voidaan kehittää myös muille laadunvalvonnan nopeille koetyypeille. Menettelyn tulee kuitenkin olla toteutettavissa samanaikaisesti valmistetuilla näytteillä, jotta aikataulujen kanssa ei tule vaikeuksia. Vedenläpäisevyys-, pakkasenkestävyys- ja liukoisuuskokeiden osalta kokeiden toisto ei käytännössä useinkaan tule ajan puutteen takia kyseeseen.

*Taulukko 3.11 Näytteenottoerän puristuslujuuden hyväksymisvaihtoehdot.*

Vaihtoehdot	Näytemäärä	Koesarjan tulos	Kommentti
1	3	- - -	Keskiarvovaatimus ei täytynyt – vaatimuksesta poikkeava tulos
2	3	+ + +	Keskiarvovaatimus täyttyi, eikä alituksia – hyväksytty tulos
3	3	+ + *	Keskiarvo täyttyi, yksi alitus kolmesta, testataan lisänäytteet
	3 lisänäytettä	+ + +	Lisänäytteiden jälkeen keskiarvo täyttyi ja edelleen vain yksi alitus – hyväksytty tulos.
	3	+ + *	Keskiarvo täyttyi, yksi alitus kolmesta, testataan lisänäytteet.
	3 lisänäytettä	+ + *	Lisänäytteiden jälkeen keskiarvo täyttyi, mutta kaksi alitusta – vaatimuksesta poikkeava tulos.

- Kokeen tulos alle vaatimuksen

+ Keskiarvovaatimus täyttyy, yksittäisten kokeiden tulosten poikkeama vaaditusta lujuustasosta < 30%

\* Yksittäinen koe alittaa vaaditun lujuustason  $\geq 30\%$

### 3.6.2 Liukoisuustutkimukset

Jos tutkitun näytekappaleen liukoisuusarvot ylittävät ympäristöluvassa tai urakkasopimuksessa määritetyt liukoisuusraja-arvot, tutkitaan kyseisellä näytteenottokerralla otetut rinnakkaisnäytteet. Mikäli myös rinnakkaisnäytteissä todetaan arvojen ylityksiä, tuloksia ei voida pitää hyväksyttävänä.

### **3.6.3 Vedenläpäisevyys ja pakkaskokeet**

Kokeiden keskiarvon on täytettävä vaadittu raja-arvo eikä yksikään yksittäinen koetulos saa ylittää vaadittua raja-arvoa yli 30 %.

### **3.6.4 Toiminta laatupoikkeamatilanteissa**

Laatupoikkeamatilanteisiin varaudutaan jo urakkasopimuksissa. Poikkeamien hyväksyntämenettely ja esitys toimintamallista laatupoikkeamatilanteissa liitetään osaksi laatu suunnitelmaa, joka toimitetaan myös ympäristöviranomaiselle hyväksyttäväksi.

Jos kohteessa todetaan sopimusten mukaiset hyväksyttävät poikkeamat ylittäviä laatupoikkeamia, ehdotetaan toimittavaksi seuraavasti:

- 1) Tehdään riskinarviointi, jonka perusteella määritellään lisätoimenpiteiden tarve. Riskinarvioinnissa otetaan huomioon poikkeaman taso ja laajuus, vaikutus rakenteen ominaisuuksiin, sijoitusympäristö ja vaikutus ympäristöriskeihin.
- 2) Jos poikkeaman todetaan riskiarvioinnin perusteella aiheuttavan rakenteen pitkäaikaiskestävyyden heikkenemisestä tai muista syistä aiheutuvaa ympäristökuormitusten kasvuriskiä, voidaan vaikutusten tasosta riippuen toimia seuraavasti:
  - tiukennetaan rakenteen seuranta vaatimuksia ja pidennetään seuranta-aikaa (ympäristöriskien todennäköisyys on pieni, mutta ei poissuljettu)
  - parannetaan rakenteen suojausta
  - käsitellään heikkolaatuiset massat uudelleen.
- 3) Riskinarviointi ja sen perusteella tarvittaessa tehty ehdotus lisätoimenpiteistä toimitetaan ympäristöviranomaiselle, joka päättää voidaanko ehdotus hyväksyä.

### **3.6.5 Loppuraportti**

Stabilointihankkeen (on-site -kohteet) lopputuloksen hyväksyttävyyden arvioimiseksi raportoidaan ainakin taulukossa 3.12 esitetyt tiedot. Loppuraportin liitteenä esitetään mm. laadunvalvontaraportti, työsuojeluraportti ja riippumattoman laadunvalvojan raportti. Laitoskäsittelyissä tehdään laitosten lupaehtojen mukainen vuosiraportointi valvontaviranomaiselle. Jos stabiloitu materiaali sijoitetaan hyötykäyttökohteisiin, osoitetaan, että kaikki hyötykäyttökelpoisuuden edellytykset täyttyvät.

Taulukko 3.12 Kunnostuksen loppuraportissa esitettävät tiedot.

Raportoitavat tiedot	Esimerkki tulosten esittämistavasta
Kohteen nimi ja sijainti, kohteesta vastaava	
Hankkeen toteutusaika, toiminta- ja seisokkiajat	
Käsiteltyjen massojen määrät ja käsiteltyjen maa-aineserien laatu	Massamäärät Näytteistä tutkitut ominaisuudet, näytteenotto ja analyysimenetelmät ja haitta-aine-pitoisuudet
Kohteen ympäristön seurantatulokset	Seurantanäytteet (ilma, maaperä, vesi) taulukkomuodossa, näytteenottoaikat kartalla, näytteenotto- ja analyysimenetelmät
Käsittelyn ja sijoituksen aikainen laadunvalvonta	Yhteenveto tarkkailu- ja näytteenottoajankohdista Yhteenveto laaduntarkkailutuloksista taulukkomuodossa Vertailu tavoitetasoihin
Jätevedet	Laatu, määrä ja sijoitus, laaduntarkkailumenetelmät
Syntyneet jätteet	Laatu, määrä ja sijoituskohteet, laaduntarkkailumenetelmät
Tarvittaessa: Kaasujen käsittelylaitteiston tarkkailutulokset ja vertailu puhdistustavoitteisiin	Käsittelytapa Seurantatulokset taulukkomuodossa, näytteenotto- ja analyysimenetelmät Mahdolliset käyttöhäiriöt ja korjaustoimet
Massojen sijoituskohteen sijainti ja rakenteet sekä rakentamisen laadunvalvonta	
Massojen sijainti loppusijoituskohteessa, mahdollisesti vaaditun laatu-tason alittavien massojen sijoituskohtat	Havainnekuva
Kunnostuksen aikaiset poikkeustilanteet ja niiden korjaustoimet	
Riippumattoman laadunvalvonnan raportti	
Mahdollisten laatu-poikkeamien aiheuttaman riskin arviointi ja poikkeamista aiheutuvat toimenpiteet	
Kohteen jälkiseurantaohjelma	Tarkkailu ja näytteenotto: ajankohdat, näytteenottoaikat, näytemäärät, näytteistä tutkittavat ominaisuudet, esitys jälkiseurannan kestosta

Jälkitarkkailun laajuus määritellään sijoituskohteen ja arvioidun riskitason perusteella. Kohteen suoto- tai pohjavesien tarkkailua suositellaan vähintään kolmen vuoden ajan. Sen jälkeen tarkkailutarve voidaan arvioida uudelleen.

Lisäksi on tarkkailtava rakenteiden teknistä kuntoa ja ryhdyttävä korjaustoimenpiteisiin, jos rakenteissa havaitaan vaurioita.



### 3.7 Työsuojelu ja turvallisuus

Stabilointiin liittyviä työturvallisuusriskejä aiheuttavia tekijöitä ja keinoja riskien hallitsemiseksi ovat mm. seuraavat (mukailtu FRTR 2002 perusteella):

#### Fyysiset riskit

- 1) Työmaalla liikkuvien kaivinkoneiden ja kuorma-autojen aiheuttamat työtaturma-riskit.

Näitä riskejä voidaan rajoittaa a) varustamalla liikkuvat työkonet ja kuorma-autot peruutushälyttimillä, b) käyttämällä pysyviä, merkittyjä kulkuväyliä ja c) käyttämällä heijastusliivejä pimeällä. Lisäksi koneita pitäisi lähestyä aina edestäpäin siten, että koneen kuljettaja näkee lähestyvän henkilön (silmäkontakti).

- 2) Suojaamattomat sekoituslaitteiston liikkuvat osat voivat aiheuttaa työntekijöille taakertumis- ja loukkaantumisvaaran.

Torjuntakeinoja ovat a) sekoituslaitteiston kaikkien liikkuvien osien suojaus ja laitteiston käyttö ainoastaan, kun suojat ovat paikoillaan ja b) soveltuvan työvaatetuksen käyttö, ei väljiä vaatteita ja pitkät hiukset kiinni sidottuina.

- 3) Laitteiston painepesu voi altistaa silmävaurioille ja liukastumisille.

Torjuntakeinoja ovat suojalasien, suojakäsineiden ja luistamattomien jalkineiden käyttö.

- 4) Altistuminen kvartsipölylle (riippuen käsiteltävien maa-ainesten laadusta) tai sementtipölylle mahdollista.

Torjuntakeinoja ovat a) hengityssuojaimet tarvittaessa, b) suojakäsineiden käyttö ja c) maa-ainesten kostutus tarvittaessa.

- 5) Kuumasta ilmasta aiheutuva auringonpistoksen, nestehukan ja lämpöhalvauksen vaara.

Torjuntakeinoja ovat riittävä nesteiden nauttiminen ja suojautuminen auringolta.

- 6) Putoamiset, kompastumiset ja liukastumiset työmaa-alueella.

Torjuntakeinoja ovat a) työmaiden pitäminen siistinä ja mahdollisimman kuivana, b) pintavesien poisjohtaminen lammikoitumisen välttämiseksi, c) liukastumisvaaraa aiheuttavien maamateriaalien (savi, lieju) siivous liikkumisalueilta, d) kulkureittien so-rastus tai erillisten jalankulkuväylien rakentaminen ja e) riittävä valaistus.

## 7) Sähköiskun vaara ilmakaapelien alueella.

Torjuntakeinoja ovat a) ilmajohtojen huomioiminen suunnitteluvaiheessa, b) suojaetäisyyksien määrittäminen ja c) tarvittaessa virran katkaisu työskentelyn ajaksi.

## 8) Liikenneonnettomuudet

Torjuntakeinoja ovat työmaasta varoittavat liikennemerkit, peruutushälyttimien käyttäminen ja työmaaliikenteen suunnittelu.

## **Kemialliset ja säteilyriskit**

### 1) Altistuminen haitta-aineille (kaasut, pöly)

Torjuntakeinoja ovat a) henkilökohtaisten suojainten käyttö (haitta-ainekohtaiset suodattimet, haalarit, käsineet, saappaat), b) työkoneiden ohjaamoiden tuloilman suodatus, ohjaamoiden ylipaineistus, c) työntekijöiden koulutus ja perehdyttäminen työmaakohtaisesti turvallisuusnäkökohtiin, d) jalkineiden ja työvälineiden pesumahdollisuuksien sekä peseytymismahdollisuuksien järjestäminen, e) kertakäyttösuojainten käyttäminen, f) ruokailun ja tupakoinnin kieltäminen työmaa-alueella, g) pölynvähentämistoimenpiteet (kastelu, maamassojen peittäminen, pölynsidonta) ja h) työmaaparakkijärjestelyt (likaiset vaatteet, pesutilat, pukuhuoneet, toimisto- ja taukotilat).

### 2) Altistuminen radioaktiivisille aineille

Torjuntakeinoja ovat pölynvähentämistoimet ja henkilökohtaisten suojainten käyttö.

## **Biologiset riskit**

### 1) Altistuminen mikro-organismeille

Torjuntakeinoja ovat a) hengityssuojainten ja kertakäyttöisten suojavaatteiden käyttö, b) ruokailun, juomisen ja tupakoinnin kieltäminen ennen suojavaatteiden poistoa ja peseytymistä, c) pölynvähentämistoimet ja d) työntekijöiden koulutus ja perehdyttäminen työmaakohtaisesti turvallisuusnäkökohtiin

Turvallisuus- ja työsuojeluasioiden periaatteita on käsitelty myös luvussa 1.6.7 ”Työsuojelu”. Yksityiskohtaisemmin asiaa on esitelty mm. Saastuneen maa-alueen tutkimuksen ja kunnostuksen työsuojeluoppaassa (Nikulainen & Kalevi 1997). Käytännön ohjeita työsuojelusta on esitetty mm. Ympäristögeoteknisessä näytteenotto-oppaassa (Suomen Geoteknillinen Yhdistys 2002).

## 4. Termodesorptio

### 4.1 Yleistä

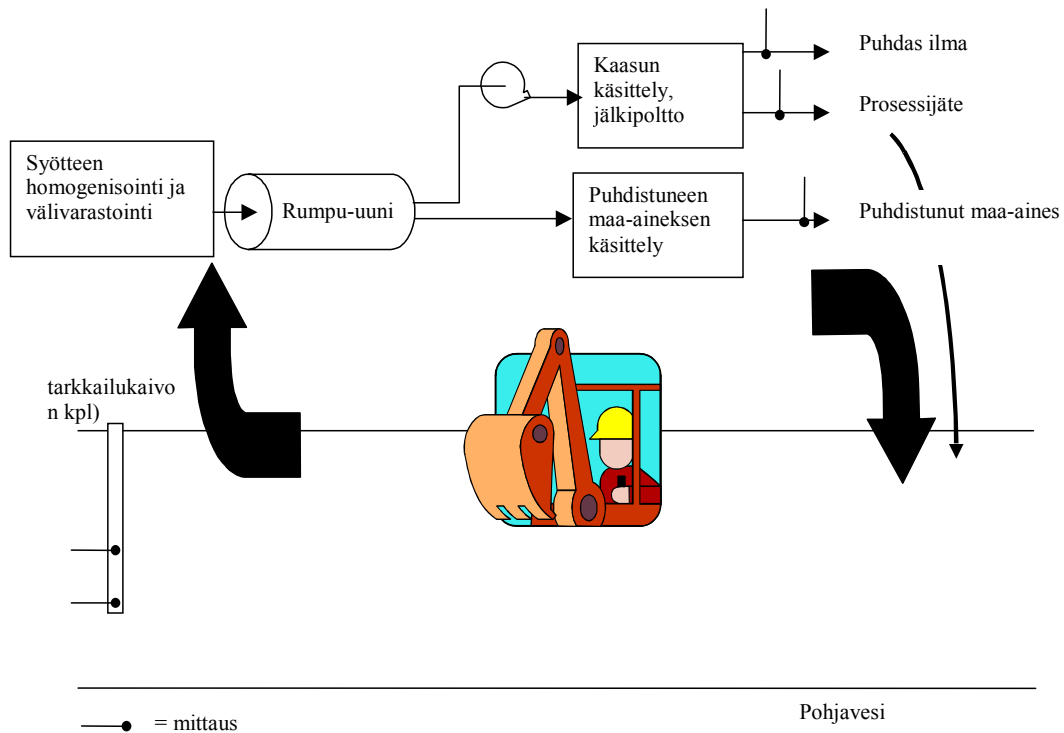
**Termodesorptio on fysikaalinen erotusmenetelmä, jossa haitta-aineet poistetaan maa-aineksesta haihduttamalla riittävän korkeassa lämpötilassa. Sitä ei ole suunniteltu haitta-aineiden tuhoamiseen tai muuttamiseen haitattomaan muotoon, vaan kaasuvirtaan siirretyt epäpuhtaudet käsitellään haihduttamisen jälkeen polttamalla jälkipolttimessa tai muulla soveltuvalla kaasunpuhdistusmenetelmällä. Terminen desorptio on siten luonteeltaan esikäsitelymenetelmä, joka edellyttää aina maa-aineksesta poistettujen haitta-aineiden jatkokäsittelyä.**

Tässä ohjeessa termodesorptiolla tarkoitetaan joko siirrettävässä tai kiinteässä laitoksessa tehtävää maa-ainesten käsittelyä, jossa haitta-aineet poistetaan pilaantuneesta maa-aineksesta haihduttamalla. Tekniikkaan yhdistetään kaasujen käsittely (kuva 4.1).

Termodesorptiomenetelmä voidaan jakaa laitetekniikaltaan vaativampaan korkealämpötiladesorptioon ja helposti haihtuville yhdisteille soveltuvaan matalalämpötiladesorptioon. Korkealämpödesorptiossa käsiteltävät maa-ainekset kuumennetaan 320...800 °C lämpötilaan. Matalalämpödesorptiossa käytettävä lämpötila on 90...320 °C. Matalalämpötilakäsittelyssä maa-ainesten fysikaaliset ominaisuudet pysyvät lähes ennallaan. Mikäli lämpötila pysyy suhteellisen alhaisena, myös maa-ainesten orgaaniset ainekset säilyvät vahingoittumattomina (FRTR 2002). Käsiteltävien maa-ainesten viipymäaika rummussa on yleensä 20 min–1 tunti.

Termistä desorptiota voidaan toteuttaa kolmella erityyppisellä laitteistolla (ITRC 1998, Penttinen 2001, FRTR 2002):

- Suora poltto
  - haitta-aineita sisältävä maamassa on suorassa kontaktissa avoliekin kanssa
  - pääasiallinen tarkoitus on irrottaa haitta-aineet maaperästä
  - osa haitta-aineista voi hapettua



Kuva 4.1. Yksinkertaistettu kaaviokuva termodesorptioprosessista.

- Epäsuora poltto
  - a) suorälämmitteinen rumpukuivain
    - lämmitetty ilmavirta johdetaan käsiteltävään materiaaliin
    - vesi ja orgaaniset haitta-aineet irtoavat
  - b) höyrykehitin
    - vesi tulistetaan höyryksi
    - tulistettu höyry johdetaan käsiteltävään materiaaliin
    - vesi ja orgaaniset haitta-aineet irtoavat
- Epäsuoralämmitteinen
  - ulkopuolelta lämmitettävä rumpukuivain haihduttaa vettä ja orgaanisia yhdisteitä käsiteltävästä materiaalista inerttiin kantajakaasuun
  - haitta-aineita sisältävä kaasu puhdistetaan

Epäsuorissa tekniikoissa haitta-aineiden talteenotto ja käsittely on teknisesti helpompaa kuin suorapolttomenetelmässä, koska lämmittämisestä syntyvät polttoaasut eivät sekoitu haitta-aineita sisältäviin kaasuihin. Epäsuorien menetelmien etuina ovat myös happi-

pitoisuuden helppo säätelymahdollisuus ja monesti parempi kustannustehokkuus (ITRC 1998).

Poistokaasut käsitellään kaikissa menetelmissä hiukkas- ja haitta-ainepäästöjen kontrolloimiseksi. Hiukkaspäästöt puhdistetaan normaaleilla hiukkassuodattimilla tai pesureilla. Haitta-aineet poistetaan joko kondensoimalla ja aktiivihiilikäsittelmällä kaasut, tuhoamalla ne jälkipolttolaitteistossa tai hapettamalla ne katalyyttisesti (Penttinen 2001, FRTR 2002). Kaasujen käsittelymenetelmä valitaan käsiteltävien haitta-aineiden, sallitujen päästörajojen sekä käsittelyssä mahdollisesti syntyvien haitallisten yhdisteiden perusteella.

Termodesorptiomenetelmään suoraan liittyviä tai sitä sivuavia määräyksiä on esitetty mm. seuraavissa asiakirjoissa:

- Valtioneuvoston päätös yhdyskuntajätettä polttavien laitosten aiheuttaman ilman pilaantumisen ehkäisemisestä (626/1994)
- Valtioneuvoston päätös ongelmajätteiden poltosta (842/1997)
- Valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta (362/2003)
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi jätteenpoltosta (2000/76/EY).

Valtioneuvoston päätöksiä 626/1994 ja 842/1997 sovelletaan niiden soveltamisalaan kuuluviin *käytössä oleviin* poltto- tai rinnakkaispolttolaitoksiin 28 päivään joulukuuta 2005 saakka. Tästä eteenpäin sovelletaan valtioneuvoston asetusta 362/2003. *Uusiin* poltto- ja rinnakkaispolttolaitoksiin sovelletaan asetusta 362/2003.

## **4.2 Menetelmän soveltuvuuden arviointi**

### **4.2.1 Laitetekniikka**

Termiseen käsittelyyn käytettävän laitteiston tulee pystyä kaikissa käyttöolosuhteissa pitämään puhdistuksen edellyttämä lämpötila. Lisäksi laitteiston rakenteiden tulee kestää käsittelyn aiheuttamat kuormitukset ko. lämpötilassa. Taulukkoon 4.1 on koottu termodesorptioprosessin soveltuvuuteen vaikuttavia tekijöitä ja niiden vaikutuksia.

Taulukko 4.1 Termodesorptioprosessin soveltuvuuteen vaikuttavia tekijöitä.

	<b>Tekijä</b>	<b>Vaikutus</b>
Laitteisto	Saavutettava lämpötila maa-aineksessa	Puhdistusteho
	Viipymäaika	Puhdistusteho
Maa-aines	Raekokojakauma, savipitoisuus, karkean aineksen määrä	Hienojakoisten maiden paakkuuntuminen ja pölyäminen vaikeuttaa käsittelyä ja haitta-aineiden poistoa Haitta-aineet voivat adsorboitua hienoainekseen, mikä myös vaikeuttaa desorptiota Karkea aines yleensä seulottava tai murskattava prosessin toimivuuden parantamiseksi
	Kosteus	Hienoainespitoisten maiden kosteuspitoisuuden oltava plastisuusrajan alapuolella käsittelyn helpottamiseksi Tarvittaessa esikäsittelyä hienoainespitoisen maan sekoittaminen karkeampaan materiaaliin tai kuivaus Suuri kosteuspitoisuus pidentää käsittelyaikaa ja lisää energiantarvetta
	Humuspitoisuus	Haitta-aineiden adsorptio humukseen voi hankaloittaa desorptiota Korkea humuspitoisuus voi häiritä poistokaasujen analyysejä
	pH	Korkea tai matala pH voi aiheuttaa laitteistokorroosiota
Haitta-aineet	Käsiteltävien haitta-aineiden haihtuvuus	Höyrynpaine Kiehumispiste
	Korkeat VOC-pitoisuudet	Räjähdyksivaara VOC-pitoisuuden ylittäessä 2-3 % <sup>1</sup>
	Jäteöljyt	PCB:n ja muiden kloorattujen yhdisteiden pitoisuudet tarkistettava (voivat aiheuttaa dioksiinien muodostumista)
	Raskasmetallit	Ei pystytä poistamaan termodesorptiolla, korkealämpötiladesorptiossa mm. As, Pb, Cd voivat osittain haihtua etenkin, jos läsnä myös kloorattuja yhdisteitä Varmistettava savukaasujen käsittelykapasiteetin riittävyys ja käsiteltyjen maa-ainesten sijoituskelppoisuus
	Kaasujen puhdistusta vaikeuttavat aineet, esim. kloori, rikki, elohopea, raskasmetallit	Dioksiinien ja furaanien syntymismahdollisuus kloorattujen yhdisteiden läsnä ollessa, dioksiinien syntymistä edistävät metallien läsnäolo ja pitkä viipymäaika 350–400 °C lämpötiloissa Happamien savukaasujen syntyminen kloorin ja rikin läsnä ollessa Elohopean läsnä ollessa erityisvaatimukset kaasujen käsittelylle (esim. yhdistelmä suodattimia, pesuri ja hiilikäsittely) ja katalyyttimyrkkyjen käsittelylle, jälkipoltinta ei saa käyttää Kloori, rikki ja vanadiini alentavat katalyyttisen hapettimen tehoa

	Öljyhiilivedyt	Suuret pitoisuudet voivat aiheuttaa merkittävän ylimääräisen lämpökuorman syntymisen, laitteiden vaurioitumisriski ja päästöjen syntyminen Liian korkeat pitoisuudet voivat alentaa kaasunkäsittelyn tehoa
	Orgaaniset aineet, eräät metallit (esim. lyijy, kromi)	Etenkin suoralämmitteisessä käsittelyssä voivat hapettua; parantaa käsittelytehoa orgaanisilla aineilla, epäorgaaniset voivat muodostaa toksisia yhdisteitä, epäorgaanisten aineiden liikkuvuus voi kasvaa

<sup>1</sup>Pitoisuusraja turvalliselle käsittelylle vaihtelee laitostyypeittäin

### Prosessivaatimukset

- toimitaan prosessia käynnistettäessä määritettyjen parametrien mukaisesti
- pyritään optimointiin myös ajon aikana (lämpötila<sub>min</sub>, viipymä<sub>min</sub>, ilman virtausnopeus)
- usein tarvitaan eri ajoparametrit käsiteltävän materiaalin raekoosta riippuen
- poistoilman käsittely (poltto tai suodatus) pakollinen
- prosessiolosuhteet (lämpötila<sub>min</sub>, viipymä<sub>min</sub>, ilman virtausnopeus<sub>min, max</sub>) määritetään prosessia käynnistettäessä (voivat perustua aiempiin kokemuksiin tunnettujen materiaalien ja haitta-aineiden osalta)
- automaattiseen alasajoon johtavat olosuhteet (alajasajoaika suluissa): häiriö pääpolttimessa (välittömästi), ulostulevan maa-aineksen lämpötila alle asetusarvon (10 min viiveellä), jälkipolttimen lämpötila alle asetusarvon (30 sek–2 min viiveellä), puhallinhäiriö tai alipaineen häviäminen kammioista (välittömästi), letkusuotimen painehäviön kasvu (välittömästi), CO-pitoisuus yli asetusarvon (10 min viiveellä), syöttönopeus ylittyy (10 min viiveellä), käsiteltävän kaasun virtausnopeus poikkeaa asetusarvosta merkittävästi (10 min viiveellä)
- laitteistossa oltava haihtuvien päästöjen takia vähintään heikko alipaine
- jälkipolttimen lämpötila, esim.: dioksiinit T<sub>min</sub> 1100 °C, PCB T<sub>min</sub> 1100 °C, yleensä T<sub>min</sub> 1100 °C riittävä useimmille yhdisteille (ITRC 1998). VNp 842/1997 ja VNa 362/2003 mukaan polttolämpötilan on oltava vähintään 850 °C ja happipitoisuuden vähintään 6 %. Jos poltettavan jätteen sisältämien halogenoitujen orgaanisten aineiden pitoisuus on suurempi kuin 1 % kloorina ilmaistuna, lämpötilan on oltava vähintään 1100 °C.
- mittausaika ja viipymä jälkipolttimessa vähintään 2 sekuntia
- kukin polttolinja on varustettava vähintään yhdellä lisäpolttimella, joka kytkeytyy päälle automaattisesti, jos palamiskaasujen lämpötila laskee alle vaaditun polttolämpötilan (850 tai 1100 °C)

- päästöjen raja-arvot savukaasuissa (VNp 626/194 ja 842/1997, VNa 362/2003 tai 2000/76/EY -direktiivi) eivät ylity
- polttolaitoksissa on oltava automaattinen järjestelmä, joka estää jätteen syötön aina, jos vaadittu polttolämpötila alittuu (käynnistysvaiheessa tai prosessin aikana) tai jokin päästörajoista ylittyy

#### 4.2.2 Maa-ainesten soveltuvuus käsiteltäväksi

Terminen desorptio soveltuu periaatteessa kaikille maalajeille. Parhaiten matalalämpötiladesorptiolle soveltuvat maalajit ovat hiekka ja sora, vaikeimpia maalajeja ovat hienoainespitoiset savet ja siltit. Maa-aineksen kosteus nostaa noustessaan menetelmän kustannuksia kasvavan lämpöenergiatarpeen vuoksi. Menetelmään sisällytetään yleensä esikäsitteilyjä kuten seulonta, kokkareiden rikkominen, karkeamman materiaalin sekoittaminen saveen tai vesipitoisuuden alentaminen. Maa-aineksen homogenisointi helpottaa myös laitoksen tasaista käyttöä (Sarkkila et al. 2002).

Termodesorption soveltuvuutta rajoittavia maa-ainesten ominaisuuksia ovat hienoainespitoisuus, plastisuus, karkean aineksen määrä, vesipitoisuus ja humuspitoisuus. Karkea aines joudutaan seulomaan pois tai murskaamaan muun materiaalin joukkoon. Savesta muodostuvat paakut hajoavat yleensä rummussa käsittelyn aikana. Runsaasti hienoainesta sisältävä maa-aines voidaan joutua kuivaamaan tai sekoittamaan karkeampaan materiaaliin käsiteltävyyden parantamiseksi. Ylimääräisen veden poistotarve täytyy arvioida, jos vesipitoisuus on yli 20 % (optimi on 10 %:n molemmin puolin). Vesipitoisuuden pitää olla plastisuusrajan alapuolella, jotta vältytään maa-aineksen paakkuuntumiselta ja takertumiselta rakenteisiin. Plastisten maa-ainesten korkea hienoainepitoisuus lisää niiden sorptiokykyä ja voi sitoa orgaaniset aineet tiukasti. Plastisten maa-ainesten käsittely edellyttää yleensä myös korkeampia lämpötiloja, koska ne sisältävät usein runsaasti vettä ja niiden lämmönsiirto-ominaisuudet ovat heikot (ITRC 1998, FRTR 2002, Sarkkila et al. 2002). Myös humus sitoo monia orgaanisia yhdisteitä, mikä vaikeuttaa niiden desorptiota alhaisissa lämpötiloissa.

#### 4.2.3 Haitta-aineiden soveltuvuus käsiteltäväksi

Taulukossa 4.2 on esitetty termodesorptiokäsittelyyn soveltuvia haitta-aineita.

*Taulukko 4.2 Termisen desorption periaatteellinen soveltuvuus eri haitta-aineille (EPA 1992, Penttinen 2001, Jørgensen & Kalevi 2002).*

<b>Haitta-aine</b>	<b>Matalalämpödesorptio</b>	<b>Korkealämpödesorptio</b>
Puolihaittavat orgaaniset yhdisteet	soveltuu, alentunut käsitteilyteho	soveltuu
PAH	ei sovellu	soveltuu tapauskohtaisesti
PCB	ei sovellu	soveltuu tapauskohtaisesti
Torjunta-aineet	ei sovellu	soveltuu tapauskohtaisesti
VOC	soveltuu	soveltuu, kust.tehokkuus alhainen



Öljyhiilivedyt	soveltuu	soveltuu, kust.tehokkuus alhainen
Kloorifenolit	ei sovellu	soveltuu <sup>1</sup>
PCDD/F <sup>2</sup>	ei sovellu	soveltuu <sup>1</sup>
Syanidit	ei sovellu	soveltuu, mikäli lämpötila on riittävä.
Haihtuvat metallit (esim. Hg)	ei sovellu	soveltuu <sup>4</sup>
Raskasmetallit <sup>3</sup>	ei sovellu	ei sovellu

<sup>1</sup>Edellyttää jälkipoltoa (vähintään 1100 °C)

<sup>2</sup>Polyklooratut dibentso-p-dioksiinit ja dibentsofuraanit

<sup>3</sup>Yleensä ei sovellu, poikkeus Hg

<sup>4</sup>Soveltuvuus riippuu Hg:n esiintymismuodosta, näytteenottoon kiinnitettävä erityistä huomiota

Haitta-aineiden kiehumapisteet ja höyrynpaineet vaikuttavat tarvittavaan käsittelylämpötilaan ja käsittelyaikaan. Desorptiota vaikeuttavia tekijöitä ovat (Sarkkila et al. 2002):

- haitta-aineiden korkea oktanoli/vesi-jakautumakerroin
- korkea molekyylipaino
- huono vesiliukoisuus.

Termodesorptioprosessin toimivuuden kannalta on tärkeää, että haitta-aineiden pitoisuudet eivät vaihtele kovin paljon syötettävässä massassa. Suuret pitoisuusvaihtelut voivat vaikuttaa puhdistuksen tehokkuuteen, lopputulokseen ja kaasupäästöihin. Haitta-aineiden maksimipitoisuudelle ei ole yleisesti määrättyjä rajoja. Käsittely ei kuitenkaan saa aiheuttaa työturvallisuus- ja ympäristöriskiä.

#### 4.2.4 Ennakkotutkimukset

Käsiteltävästä maa-aineksesta vaaditaan yleensä seuraavat ennakkotiedot (EPA 1992, FRTR 2002):

- haitta-aineet ja niiden pitoisuudet
- orgaanisen aineksen määrä
- maa-aineksen vesipitoisuus
- maa-aineksen rakeisuus

Jos kyseessä ovat tunnetut maa-ainekset ja haitta-aineet, joista on jo aikaisempaa kokemusta, ei varsinaisia käsittelyvyyskokeita tarvita. Poikkeuksellisissa tapauksissa voidaan käsittelykoe tehdä, mutta sen suorittaminen liittyy enemmän laitoksen omaan prosessihallintaan kuin varsinaiseen kunnostushankkeen hallintaan. Käsittelyvyyskokeilla voidaan varmistaa halutun lopputuloksen saavutettavuus ja testata prosessin mittaus- ja seurantamenetelmiä sekä kaasujen ja muiden jätteiden käsittelytapojen tehokkuutta. Käsittelykokeen avulla voidaan määrittää myös käsittelylämpötila ja käsittelyn kesto ja arvioida sitä kautta menetelmän kustannustehokkuutta. Käsittelyvyyskokeisiin käytettävän maa-aineksen valinta on suoritettava erityisellä huolella, jotta se vastaa ominaisuuksiltaan varsinaisia maamassoja mahdollisimman hyvin.

**Desorptioon vaadittava lämpötila voi olla selvästi haitta-aineen kiehumispistettä korkeampi, mikäli haitta-aine on voimakkaasti sitoutunut maa-ainekseen.**

#### **4.2.5 Käsiteltyjen maa-ainesten sijoituskelpoisuus ja jatkokäsittelytarve**

Termisten menetelmien käyttö on järkevää lähinnä silloin, kun puhdistettu fraktio voidaan joko sijoittaa takaisin kohteeseen tai hyötykäyttää muulla tavoin. Terminen käsittely muuttaa maan fysikaalisia (korkealämpötiladesorptio) ja jossain määrin myös biologisia ominaisuuksia, mikä on otettava huomioon hyötykäyttömahdollisuuksia arvioitaessa. Esimerkiksi maan käyttö kasvualustana voi edellyttää maa-ainesten ominaisuuksien parantamista lisäämällä biologisesti aktiivista, orgaanista ainesta, sekä palauttamalla maan pH ja ravinnetilanne ennalleen (Mroueh et al. 1996).

#### **Hyötykäyttö**

Jos käsitellyt maa-ainekset halutaan hyötykäyttää, prosessin laadunvalvonnan on oltava perusteellisempaa kuin kaatopaikkasijoituksessa. Tällöin edellytetään mm., että:

- puhdistettavista/vastaanotettavista maa-aineksista on tutkittu kaikkien mahdollisesti läsnä olevien haitta-aineiden pitoisuudet
- vastaanotettavien maiden alkuperä ja laatu osoitetaan siirtoasiakirjalla
- laitoksella tai kohteessa on vastaanottotarkastus
- laitoksella/urakoitsijalla on laadunvalvontasuunnitelma, jonka mukaisesti käsittelyn laadunhallinta toteutetaan.
- lopputuloksen laatu (haitta-ainepitoisuudet, pH, vesipitoisuus) osoitetaan riittävän näytteenoton perusteella (ks. näytteenotto-ohje)
- varastointi toteutetaan siten, että puhtaiden ja likaantuneiden maa-ainesten sekoitusvaaraa ei ole
- riippumaton laadunvalvonta tai ulkopuolisen tahon laatutarkastukset tietyin väliajoin
- vastaanotetut ja tuotetut määrät, laadunalitukset ja toiminta laadunalitustapauksissa, analyysitulokset ym. kirjataan ja raportoidaan.

Lievästi pilaantuneiden ja käsiteltyjen maa-ainesten hyötykäyttö- ja sijoituskriteereitä pohditaan Suomen ympäristökeskuksessa käynnissä olevassa projektissa. Projektissa on valmistunut raporttiluonnos (Bäckman 2001).

Käsitellyt maa-ainekset voidaan sijoittaa takaisin alkuperäiseen paikkaansa tai hyödyntää mm. tie- ja maarakentamisessa tai maisemoinnissa, mikäli ne täyttävät seuraavat vaatimukset (ks. tarkemmin osa 10 ”Hyötykäyttö”):

- 1) Sijoitus takaisin kohteeseen
  - kohteessa vaadittavat tekniset ominaisuudet täyttyvät
  - jäännöspitoisuudet alle Samase-ohjearvon
  - ei pohjavesialue tai muu herkkä alue
  - haitta-ainepitoisuudet alittavat kyseiselle kohdetyypille hyväksytyn ohjearvotason (Bäckman 2001) tai riskinarvioinnin perusteella
  - jäännöspitoisuudet varmennetaan riippumattoman laadunvalvojan toimesta
- 2) Hyötykäyttö muussa kohteessa

Käsiteltyjen maa-ainesten hyötykäyttökelpoisuus arvioidaan ympäristökelpoisuusksriterien mukaisesti, ks. osa 10 ”Hyötykäyttö” luku 10.3.

### **Jatkokäsittelytarve**

Mikäli termisellä käsittelyllä ei päästä riittävän alhaisiin haitta-ainepitoisuuksiin tai maa-aines sisältää termiselle käsittelylle soveltumattomia haitta-aineita, on maa-ainekset jatkokäsiteltävä ennen niiden hyötykäyttöä tai loppusijoitusta. Jatkokäsittelymenetelmä valitaan tapauskohtaisesti.

### **Sijoitus kaatopaikalle**

Mikäli käsiteltyjä maamassoja ei voida hyötykäyttää, on viimeisenä vaihtoehtona sijoitus kaatopaikalle. Tällöin koko menetelmän käytön järkevyyden on kyseenalainen. Käsiteltyjen maa-ainesten sijoituskelpoisuus kaatopaikalle arvioidaan kaatopaikkakelpoisuusksriterien mukaisesti, ks. osa 9 ”Sijoittaminen kaatopaikalle” luku 9.3.

## **4.3 Ympäristövaikutusten hallinta**

Käsittely tulee toteuttaa siten, ettei siinä synnytetä ympäristölle haitallisempia aineita, kuten helpommin kulkeutuvia, vesiliukoisia, tai biosaatavia aineita, eikä sellaisia aineksia, joiden käsitteleminen tai loppusijoittaminen on vaikeampaa kuin alkuperäisten käsiteltävien massojen. Myös päästöjen vaikutus tulee ottaa huomioon.

### **4.3.1 Maaperän suojaaminen**

Maa-ainesten käsittelyyn käytettävien laitteistojen sijaintialueiden ja niihin välittömästi liittyvien työskentelyalueiden sekä maamassojen varastointialueiden pohjat tulee tiivistää ja muotoilla siten, että suoto- ja valumavedet saadaan kerättyä talteen ja haitta-aineiden pääsy maaperään estettyä. Kiinteälle käsittelylaitokselle voidaan asettaa tiukemmat mää-

räykset kuin siirrettävälle laitokselle, jonka käyttöaika on lyhyempi. Työskentelykentän pohjarakennemateriaalien (kulutuskerros ja tiivistekerros) on oltava käsiteltäviä haitta-aineita kestäviä. Kulutuskerroksen materiaalin on kestävä myös käytettävien työkoneiden pyöräkuormitus. Pohjarakenteen pinnan kallistuksen on oltava sellainen, että vesi ei kerääny rakenteen pinnalle, aina vähintään 2 %.

*Pysyväksi tarkoitettu työskentelykenttä* on perustettava routimattomalle ja painumattomalle alueelle. Ainakin epätasaiset painumat eli rakenteiden rikkoutuminen on estettävä, eivätkä kentän kaadot saa muuttua. Kuormaimet ja muut laitteisto aiheuttamat (epätasaiset) kuormat eivät saa rikkoa tiivisterakenteita, salaojitusta tai kulutuskerrosta. Toimivat rakennekerrokset voidaan toteuttaa eri tavoin. Tavanomainen ratkaisu sisältää taulukossa 4.3 esitetyt kerrokset.

*Taulukko 4.3 Yhdistelmä rakenne.*

<b>Rakennekerros</b>	<b>Kerrosmateriaali</b>
Pinnan tiivistekerros	Kaksikerroksinen tiivisasfalttirakenne (tiivis asfaltti ABT, tyhjätila alle 3%) tai betonilaatta + asfaltista (AB) rakennettu kulutuskerros
Jakava ja kantava kerros	Kallio- tai soramurske
Kuivatuskerros mahdollisine salaojaputkineen	Salaojitussora 260–300 mm
Tiivistyskerros	Tiivis mineraalimaa, murskebetoniitti ja/tai mekaanisesti suojattu HDPE-kalvo
Tasattu pohjamaa	

*Väliaikaiselle kentälle* (käyttöaika 1–3 vuotta) on asetettu periaatteessa samat toiminnalliset vaatimukset kuin pysyvälle kentälle. Rakenteissa voidaan kuitenkin tinkiä rakennekerrosten paksuuksista, materiaaleista ja materiaalien pitkäaikaiskestävyydestä, mikäli pystytään osoittamaan, että minimivaatimustasoa ei aliteta. Pohjamaan osalta vaatimukset ovat samat kuin pysyvällä kentällä: painumattomuus, routimattomuus ja kaatojen toimivuus. Siirrettävien laitteistojen yhteydessä voidaan sijoituspaikasta riippuen käyttää pohjaeristeenä joissain tapauksissa (ei ongelmajäte, ei jatkuvaa vedenpainetta) pelkästään keinotekoisista eristettä, jonka paksuus ja materiaali (esim. tiivis asfalttibetoni ABT, kumibitumivaluasfaltti KBVA) valitaan tapauskohtaisesti. Mikäli olosuhteiden takia tarvitaan parempaa suojausta, voidaan pohjaeristeenä käyttää yhdistelmä rakennetta (mineraalinen tiiviste + keinotekoinen eriste). Em. kerrosten lisäksi tarvitaan yleensä myös kulutuskerros ja salaojakerros. Pohjaeristeille asetettavia vaatimuksia on käsitelty tarkemmin Tiivistysrakenteet –osuudessa (luku 8) ja Kaivu, kuljetukset ja väliavarastointi –osuudessa (luku 2). Jälkimmäisessä osuudessa on myös käsitelty suotovesialtaan rakenteelle asetettuja vaatimuksia sekä väliavarastoinnille yleisesti asetettuja vaatimuksia.

Väliaikaisen kentän käytön loputtua on maaperän puhtaus todettava rakenteiden purkamisen jälkeen tapahtuvalla maanäytteenotolla ja laboratoriossa tehtävillä analyyseillä.

Mikäli maaperän todetaan olevan pilaantuneen, on vastuu puhdistamisesta yleensä urakoitsijalla.

### **4.3.2 Vesien keräily ja käsittely**

Kunnostukseen käytettävän laitteiston ja siihen välittömästi liittyvien työskentelyalueiden ympäristö muotoillaan tai ojitetaan siten, että ympäristön puhtaat valumavedet eivät pääse työskentelyalueelle. Käsittelyalueella muodostuvat ja talteen kerättävät valuma- ja suotovedet johdetaan keräilykaivoon tai -altaaseen. Kaivot ja altaat on mitoitettava maksimisademäärälle riittäviksi. Niitä käytetään myös vesien laadun tarkkailuun.

Varastokasojen osalta vesien keräily- ja käsittelytarpeen määrittämiseen voidaan soveltaa Kaivu, kuljetukset ja välivarastointi -osiossa (luku 2) esitettyjä periaatteita.

Vesi on aina tutkittava ennen sen johtamista luontoon tai viemäriin. Haitta-ainepitoisuudet määräävät veden sijoituspaikan ja puhdistustarpeen. Veden johtaminen luontoon on mahdollista vain, jos veden sisältämät haitta-aineet ovat laadultaan, pitoisuuksiltaan ja kokonaismääriltään sellaiset, että ne eivät aiheuta haittaa ympäristölle. Haitattomuus todetaan paikkakohtaisen riskitarkastelun perusteella. Herkissä kohteissa tai toksisimmille haitta-aineille hyväksyttävän pitoisuuden rajana voidaan pitää talousvedessä hyväksyttävää pitoisuutta. Vesien laskemisesta suoraan luontoon on aina sovittava sekä kunnan ympäristöviranomaisten että alueellisen ympäristökeskuksen kanssa.

Valuma- ja suotovesien johtaminen jätevesiviemäriin edellyttää aina neuvottelua paikallisen viemärlaitoksen kanssa. Mikäli sopimukseen päästään, voidaan vedet johtaa kunnalliseen viemäriverkostoon (ks. myös luku 1.6.2.). Viemäriin johdettavien vesien osalta noudatetaan vesilaitoksen asettamia ehtoja ja pitoisuusrajoja. Viemäroitävät vedet on johdettava hälyttimellä varustetun öljynerotuskaivon kautta. Öljynerotuskaivo huolletaan ja tarkastetaan vähintään kerran vuodessa.

Viemäriin johdettavan veden mukana ei saa olla kiinteitä aineita, joten vedet on johdettava hiekanerotuskaivon kautta. Jäteveden laimentaminen hyväksyttäviin arvoihin pääsemiseksi ei ole hyväksyttävää. Mikäli kerättävää vettä ei voida johtaa viemäriin eikä veden puhdistusta toteuteta paikan päällä, on huolehdittava varastointikapasiteetin riittävydestä. Haitta-aineita sisältävä vesi kuljetetaan suljetuissa säiliöissä puhdistamolle tai muuhun asianmukaisen luvan omaavaan käsittelypaikkaan.

### **4.3.3 Kaasujen keräily ja käsittely**

Mikäli maamassat sisältävät haihtuvia aineita (kuten kevyet hiilivedyt tai hajua aiheuttavat yhdisteet), tulee maa-ainesten käsittely toteuttaa siten, ettei näitä yhdisteitä pääse

vapautumaan ilmaan. Maamassojen siirtelyä ja sekoittamista tulee välttää mahdollisuuksien mukaan ja maamassat on varastoitava tiiviisti peitettyinä. Tarvittaessa kaasut on kerättävä talteen ja käsiteltävä. Kaasunkäsittelyvelvollisuudesta voidaan poiketa vain, jos haihtuvien aineiden pitoisuudet ja käsiteltävät massamäärät ovat pieniä (korkeintaan 20–40 t) eikä käsiteltävässä maamassassa ole kloorattuja yhdisteitä tai korkeita BTEX-pitoisuuksia (Mroueh et al. 1996).

Haitta-aineiden haihtuminen tulee ottaa huomioon myös työsuojelutoimia suunniteltaessa (terveysriskit, räjähdysvaara).

#### **4.3.4 Pölyämisen estäminen ja pölymittaukset**

Massojen kuljetukset ja käsittely tulee hoitaa siten, ettei ympäristölle aiheudu pölyhaittoja. Maan kaivu, seulonta, homogenisointi ja syöttö ovat hyvin pölyäviä työvaiheita ja ne tulee suorittaa sisätiloissa/suljetussa tilassa/ peitteen alla tms., mikäli mahdollista. Tarvittaessa pölyäminen tulee estää kastelulla tai muulla pölyämistä tehokkaasti estävällä tavalla. Työntekijöiden tulee suojautua tarvittaessa hengityssuojaimin. Sisätiloista ulos johdettava ilma tulee johtaa pölynerottimen kautta (EPA 1997).

Maa-ainesten varastoinnin aikainen pölyäminen tulee estää joko peittämällä tai kastelemalla. Kuljetusten ja varastoinnin aikaisen pölyämisen estämistä on käsitelty tarkemmin Kaivu, kuljetukset ja väliavarastointi –osuudessa (luku 2). Pölymittauksissa voidaan käyttää esimerkiksi tiehallinnon ohjeita asfalttiasemien ja murskaamojen pölymittausten suorittamiseksi (Tielaitos 1994 ja 1995).

#### **4.3.5 Kuljetukset**

Maamassojen kuljettamisessa tulee käyttää asianmukaista kuljetuskalustoa. Vastaanotettavien massojen kuljetuksissa tulee käyttää kontteja tai tiiviitä lavarakenteita, joissa massat peitetään ja tarvittaessa kostutetaan.

Kuljetuskaluston puhdistuksesta on huolehdittava kuormien purkamisen jälkeen siten, että ajoneuvojen pyörien ja lava- tai muiden rakenteiden mukana ei leviä pölyä tai muita epäpuhtauksia ympäristöön. Kuljetuskaluston ja puhdistuspaikan pesuvedet sekä muut puhdistusjätteet tulee toimittaa asianmukaiseen käsittelyyn. Kuljetukselle asetettavia vaatimuksia on käsitelty tarkemmin luvussa 2 ”Kaivu/massanvaihto, kuljetukset ja väliavarastointi”.

### 4.3.6 Melu

Maamassojen käsittelystä, siirtelystä ja kuljetuksista sekä itse kunnostusprosessista aiheutuva meluhaitta tulee pyrkiä minimoimaan sijoittamalla ja ajoittamalla toiminnot siten, että haittaa aiheutuu mahdollisimman vähän. Toiminnalle voidaan asettaa tarvittaessa aikarajoituksia, mikäli lähellä sijaitsee häiriintyviä kohteita, kuten asutusta. Rajoitukset voivat olla esim. seuraavanlaiset: toimintaa saa harjoittaa maanantaista perjantaihin klo. 7.00–20.00 (pois lukien arkipyhät). Toiminnasta aiheutuva melu ei saa tällöin lähimmässä häiriintyvässä kohteessa ylittää ekvivalenttimelutasoa 55 dB ( $L_{Aeq}$ ).

Melumittauksissa voidaan käyttää esimerkiksi tiehallinnon ohjeita asfalttiasemien ja murskaamojen melumittausten suorittamiseksi (Tielaitos 1994 ja 1995).

Jatkuvatoimisissa puhdistuslaitoksissa, joita termodesorptiolaitokset pääsääntöisesti ovat, on kiinnitettävä erityistä huomiota meluhaittojen torjumiseen. Rajoitusten tarpeellisuutta arvioitaessa tulee kuitenkin ottaa huomioon, että joissakin tapauksissa prosessin käyttö ympäri vuorokauden voi olla parempi ratkaisu prosessin toiminnan tasaisuuden ja laadun kannalta kuin prosessin pysäyttäminen yöksi ja uudelleen käynnistys aamulla.

### 4.3.7 Jätteiden käsittely

Jätteiden laatu selvitetään (esim. hiekanerotuskaivojen kiintoaineksen raskasmetallipitoisuudet, mahdollisen seulontajätteen laatu, suodatinpölyjen haitta-ainepitoisuudet) ja jätteet toimitetaan käsiteltäväksi asianmukaiseen laitokseen tai viranomaisten hyväksymään sijoituskohteeseen. Jätteiden kuljetuksissa käytetään asianmukaista kuljettajaa ja kuljetuskalustoa.

#### **Seulonnan ja esihomogoinnin jätteet**

Jätteet käsitellään kuten luvussa 10 ”Hyötykäyttö” on esitetty. Tavanomaisen tai epäorgaanisen jätteen kaatopaikalle sijoitettavan seulaylitteen laatua ja sijoitusehtojen mukaisuutta (hienoainepitoisuus, pilaantuneisuus) seurataan käsittelyn aikana aistinvaraisesti sekä tarvittaessa pesuseulonnalla ja laboratorioanalyysin. Jos seulaylite sisältää runsaasti haitta-ainepitoista hienoainesta tai muuta mahdollisesti likaantunutta ainesta, materiaali seulotaan uudelleen tai käsitellään muulla tavoin sijoituspaikkaan soveltuvaksi tai toimitetaan ongelmajätteen käsittelyluvan omaavaan sijoituspaikkaan.

Jos seulaylite halutaan hyötykäyttää tai sijoittaa puhtaiden ylijäämämassojen kaatopaikalle, puhtaus on todettava ottamalla ylitteestä näytteitä, joiden hienoainepitoisuus sekä hienoaineksen sisältämien haitta-aineiden pitoisuudet tutkitaan (ks. tarkemmin osa 10 ”Hyötykäyttö” luku 10.2.1.).

## **Muut jätteet**

Maa-ainesten käsittelyn yhteydessä syntyville jätteille (kaasunkäsittelyn suodatinpölyt ja aktiivihiilijätteet, vedenkäsittelyn lietteet, hiekanerotushiekat ym.) on järjestettävä jätteen laadun mukaiset varastointialueet tai -tilat. Ongelmajätteet varastoidaan suljetuissa tiloissa tai säiliöissä ja vettä läpäisemättömällä reunakorokkein varustetulla alustalla.

- Valumavesien tasausaltaan hiekan haitta-ainepitoisuudet tutkitaan ja se toimitetaan hyötykäyttöön, kaatopaikalle tai asianmukaisen luvan omaavalle ongelmajätteiden vastaanottajalle (riippuen haitta-ainepitoisuuksista) tai ohjataan takaisin prosessiin.
- Jäteöljy toimitetaan asianmukaisen luvan omaavalle ongelmajätteiden vastaanottajalle
- Aktiivihiili toimitetaan asianmukaisen luvan omaavalle ongelmajätteiden vastaanottajalle
- Tyhjät tynnyrit toimitetaan asianmukaisen luvan omaavalle ongelmajätteiden vastaanottajalle
- Paperi- ja pahvijäte toimitetaan hyötykäyttöön.

### **4.3.8 Riskien ja epävarmuuksien hallinta**

Ympäristövaikutusten hallintaan liittyvät epävarmuudet ja riskit kartoitetaan riskitarkastelun avulla, joka sisältää suunnitelman näiden epävarmuuksien hallitsemiseksi. Tällaisia epävarmuustekijöitä voivat olla esim.

- rankkasateiden tai suurten lumimäärien aiheuttamat tulvat
- ympäristöojien jäätyminen
- vesien tai kaasujen oletettua korkeammat haitta-ainepitoisuudet, luvassa tai viemärlaitoksen sopimuksessa asetettujen pitoisuuksien ylittyminen
- kenttärakenteen vuodot
- prosessin häiriöt.

Epävarmuuksien hallintaa varten laitoksella tulee olla päivitetyt toimintaohjeet häiriötilanteiden varalta. Lisäksi laitteistoihin on liitettävä automaattiset pysäytysmekanismit, joilla estetään prosessihäiriöistä johtuvat päästöt ja vaaratilanteet (ks. tarkemmin luku 4.2.1).



## **4.4 Kunnostustyön valmistelu**

### **4.4.1 Luvat ja suunnitelma-asiakirjat**

Kunnostustyön valmistelun aikana huolehditaan kunnostukseen liittyvien lupien hakemisesta. Ympäristöluvan tai muun viranomaispäätöksen lisäksi kysymykseen voi tulla esim. toimenpidelupa. Tarpeen vaatiessa tehdään myös meluilmoitus.

Ennen massojen vastaanoton ja käsittelyn aloittamista on laadittava seuraavat suunnitelma-asiakirjat:

#### **Työsuunnitelma**

Työsuunnitelma liitetään urakkasopimukseen. Työsuunnitelma sisältää mm. työpiirustukset ja työselityksen, jotka ovat niin yksityiskohtaiset, että hanke pystytään toteuttamaan niiden pohjalta. (luvussa 1.6.3. on esitetty tarkemmin työsuunnitelman sisältöä).

#### **Työmaan laatusuunnitelma**

Urakoitsijan laatusuunnitelmaa laadittaessa ja tarkastettaessa on varmistettava, että seurataan kaikkia viranomaisvaatimusten mukaisia ominaisuuksia sekä oleellisesti työn lopputuloksen laatuun vaikuttavia ominaisuuksia. Se sisältää mm. laaduntarkkailuohjelman, sekä tiedonhallinta- tai viestintäsuunnitelman (luvussa 1.6.3. on esitetty tarkemmin laatusuunnitelman sisältöä).

#### **Työmaasuunnitelma**

Työmaasuunnitelmassa on esitetty karttojen avulla työmaalla toteutettavat toiminnot, niiden sijoituspaikat ja toimintojen toteuttamiseksi vaadittavat rakenteet. (luvussa 1.6.3. on esitetty tarkemmin työmaasuunnitelman sisältöä).

#### **Työturvallisuussuunnitelma**

Ennen kunnostustyön aloittamista kunnostustyöpaikan päätoteuttaja (pääurakoitsija) laatii kirjallisen turvallisuussuunnitelman, jossa esitetään työmaan turvallisuuden ja työsuojelun kannalta tarpeelliset asiat (ks. myös luku 4.7 Työsuojelu). (luvussa 1.6.3. on esitetty tarkemmin työturvallisuussuunnitelman sisältöä).

Muita kunnostushankkeen yhteydessä tarvittavia asiakirjoja ovat mm. siirtoasiakirjat (kuljetuksissa).

## 4.4.2 Työmaa-alueen valmistelu

### Siirrettävät laitteet

Esivalmisteluvaiheessa tehdään käsittelyn vaatimat rakenteet sekä muut työmaan käynnistämisen vaatimat toimet ja hankitaan tarvittavat lisätiedot alueen ympäristön tilasta. Toimenpiteitä ovat mm.:

- työmaateiden rakentaminen, liikennemerkkien ja opasteiden asennus
- työmaan aitaaminen ja kunnostustyöstä ilmoittavien varoituskylttien kiinnittäminen aitaan
- puiden ja poistettavien rakenteiden raivaus
- tarkistetaan, onko alueella maanalaisia rakenteita, kuten sähkö- ja puhelinkaapeleita, vesi- ja viemärijohtoja, kaasuputkia, tms.
- tarvittavien pohjarakenteiden rakentaminen
- suotovesien ja muiden mahdollisesti haitta-aineita sisältävien pintavesien keräilyn suunnittelu ja toteutus
- sähkö-, vesi ja viemäriliittymät
- alueen pintavesien kuivatuksen ja ohjauksen suunnittelu ja toteutus
- työmaakoppien ja sosiaalisten tilojen rakentaminen
- ilman laadun (pöly, VOC) monitoroinnin järjestäminen (pölypäästöihin jatkuvatoiminen keräävä mittari)
- vertailutietojen hankkiminen ympäristöstä, esim. melumittaukset, hiilivety päästöt, pohja- ja pintavesien laatu
- pohjaveden tarkkailuputkien asentaminen tarvittaessa
- vartioinnin järjestäminen tarvittaessa.

**Maaperän ja pohjaveden suojaamiseksi tehtävät rakenteet on tarkastutettava/hyväksytettävä ympäristöviranomaisilla ennen toiminnan aloittamista.**

Välivarastointipaikalle asetettavia vaatimuksia ja välivarastoinnin esivalmistelua käsitellään Kaivu, kuljetukset ja välivarastointi -osiossa (luku 2). Vastaanotettavien maa-ainesten laatua valvotaan kohdan 4.5.2 mukaisesti.

### 4.4.3 Käsiteltävien massojen vastaanotto, varastointi ja ohjaus käsittelyyn

Käsiteltävistä maa-aineksista on tunnettava ainakin luvussa 4.2 ”Menetelmän soveltuvuuden arviointi” esitetyt tiedot. Massojen soveltuvuus termiseen käsittelyyn on varmis-

tettava etukäteen. Vastaanotettavat massat on tutkittava ennalta riittävän hyvin kaikkien käsittelyn kannalta merkittävien haitta-aineiden ja yhdisteiden selvittämiseksi. Massojen tuojan on esitettävä vastaanottajalle tarpeelliset asiakirjat, kuten siirtoasiakirja ja analyysitulokset, joista ilmenee maamassojen sisältämät haitta-aineet ja niiden pitoisuudet sekä raekokojakauma. Lisäksi tarvittaessa on esitettävä ympäristölupa.

Jos kemialliset analyysit on tehty pelkästään kenttämittareilla ja -analyyseillä, jos kaikkia tarvittavia haitta-aineita ja ominaisuuksia ei ole tutkittu tai jos vastaanottajalla on aistinvaraisen tutkimuksen perusteella syytä olettaa, että varmistustutkimukset ovat tarpeen, tai jos muista syistä halutaan varmistaa erän sopimuksenmukaisuus, tehdään lisätutkimukset kuormasta otettavista kokoomanäytteistä tai kentälle erikseen sijoitetuista varastokasoista. Näytteenoton edustavuuteen on kiinnitettävä huomiota. Sopimuksissa tai vastaanottoehdoissa voidaan määrittää, milloin vastaanottaja voi laskuttaa lisätutkimusten kustannukset toimittajalta.

Massojen vastaanottajan on tarkastettava tulevat kuormat ja niitä koskevat asiakirjat, sekä osoitettava massoille sijoituspaikka. Vastaanottajan tulee myös antaa tuojalle kirjallinen todistus jokaisesta vastaanotetusta kuormasta. Vastaanottovaiheessa todetuista poikkeamista sekä toimenpiteistä poikkeamatapauksissa pidetään kirjaa.

Ainetaseiden hallintaa varten on vastaanotettavat massat sekä käsittelyn jälkeen pois vietävät massat (puhdistettu maa-aines ja talteen otetut jätefraktiot) punnittava.

Urakoitsijan on ennen käsittelyn käynnistämistä varmistettava, että käsittelypaikka ja massojen sijoitusalue ovat työn vaatimassa kunnossa. Massojen varastointi on toteutettava siten, ettei siitä aiheudu maaperän tai pinta- ja pohjaveden pilaantumista, pölyhaittoja, ympäristön roskaantumista, epäsiisteyttä tai maiseman rumentumista. Loppusijoituspaikan vaatimusten mukaisuus on tarkastettava esivalmistelutöiden yhteydessä.

Toiminnassa syntyvät ongelmajätteet on varastoitava suljetuissa ja asiallisesti merkityissä astioissa. Nestemäisessä muodossa olevat ongelmajätteet on varastoitava tiiviillä ja reunakorokkein varustetulla alustalla siten, ettei niistä aiheudu haittaa ympäristölle.

Laitoskäsittelyssä massoja joudutaan yleensä välivarastoimaan ennen käsittelyä vaihtelevia aikoja. Viranomaiset voivat asettaa varastoinnille laitoskohtaisia maksimiaikoja, joita on noudatettava.

Käsittelypaikasta vastaavan on varmistettava, että

- käsittelyalueella on maamassojen varastointiin soveltuvat, pohjaeristetyt välivarastointikentät (on-site -käsittelyssä pohjaeristeille on annettu lievemmat vaatimukset)
- varastointikenttien suotovedet ja muut käsittelyssä syntyvät vedet kerätään ja johdetaan hyväksytyyn käsittelyyn

- maamassat varastoidaan siten, ettei pölyämistä pääse tapahtumaan (esim. peittäminen tai kostutus, peittäminen suositeltavampaa, jotta vesipitoisuus saadaan pysymään mahdollisimman alhaisena)
- maamassat varastoidaan siten, että erityyppiset massat eivät sekoitu
- maa-aineserät, joista tehdään lisätutkimuksia varastoidaan erikseen, kunnes analyysitulokset ovat valmiit
- laituskäsittelyssä massojen kuljetuksista aiheutuvat ympäristöhaitat minimoidaan (pölyämisen esto kostuttamalla tarvittaessa, reittivalinnat, renkaiden pesu, työajat, jos lähellä on häiriintyviä kohteita)
- muut tarvittavat toimet ympäristön suojaamiseksi on tehty

#### 4.4.4 Massojen esikäsittely

Käsiteltävät maa-ainekset on tarvittaessa esikäsiteltävä niiden fysikaalisten ominaisuuksien sekä haitta-aineiden laadun ja määrän mukaan. Esikäsitelyssä seulotaan ylisuuret (> 50 mm) kappaleet (kivet, metallit ja puu) pois ja samalla massat homogeenoidaan sekoittamalla. Seulaylitteen välivarastointia varten on varattava pohjaeristetty varastoalue. Ilmapäästöjen minimoimiseksi runsaasti helposti haihtuvia yhdisteitä sisältäviä maa-aineksia ei suositella esikäsiteltäviksi ennen kuin VOC-yhdisteiden määrää on vähennetty esim. huokoskaasukäsittelyllä. Mikäli massojen vesipitoisuutta joudutaan alentamaan ennen varsinaista käsittelyä on kiinnitettävä erityistä huomiota haihtuvien yhdisteiden talteenottoon.

Seulaylitteen laatua ja sijoitusehtojen mukaisuutta (hienoainespitoisuus, pilaantuneisuus) seurataan käsittelyn aikana aistinvaraisesti. Seulaylite sijoitetaan viranomaisten hyväksymälle sijoituspaikalle tai käsitellään muulla etukäteen sovitulla tavalla. Jos seulaylite sisältää runsaasti hienoainesta tai muuta mahdollisesti likaantunutta ainesta, on varmistettava, että se soveltuu suunniteltuun sijoituspaikkaan. Tarvittaessa materiaali seulotaan uudelleen tai käsitellään muulla tavoin sijoituspaikkaan soveltuvaksi. Seulaylitteen käsittely on kuvattu tarkemmin luvussa 4.3.7 ja osissa ”Hyötykäyttö” (luku 10) ja ”Sijoittaminen kaatopaikalle” (luku 9).

#### On-site -käsittely

Massojen esikäsitely tehdään kaivupaikalla. Seulonnan aikana seurataan maa-aineksen kosteutta ja pölyämistä ja tarvittaessa maa-aines kastellaan pölyämisen estämiseksi. Jos maa-ainekset sisältävät terveydelle erityisen haitallisia yhdisteitä tai jos vaikutusalueella on asuinalueita tai muita herkkiä kohteita, tehdään seulonnan käynnistyttyä sekä tarvittaessa myöhemmin työn aikana pölymittaukset ja työhygieeniset mittaukset työntekijöiden ja/tai mahdollisten lähialueilla olevien kohteiden suojelemiseksi. Työntekijöiden suojeleminen on otettava huomioon työturvallisuussuunnitelmassa.

## Laitoskäsittely

Massojen esikäsittely tehdään laitoksessa. Tällöin esikäsittelyä koskevat vaatimukset on esitetty laitoksen ympäristöluvassa. Vaatimukset ovat samankaltaiset kuin on-site - käsittelyssä.

## 4.5 Kunnostustyön aikainen laadunhallinta

### 4.5.1 Termisen käsittelyn toteutuksen päävaiheet ja vastuut

Kuvassa 4.2 on kuvattu kohteessa toteutettavan on-site -termodesorptioprosessin päävaiheet sekä osapuolten tärkeimmät tehtävät ja vastuut maaperän kunnostusprojektissa.

### 4.5.2 Työnaikainen laadunvalvonta, laadunvalvonnan koemenetelmät ja näytteenotto

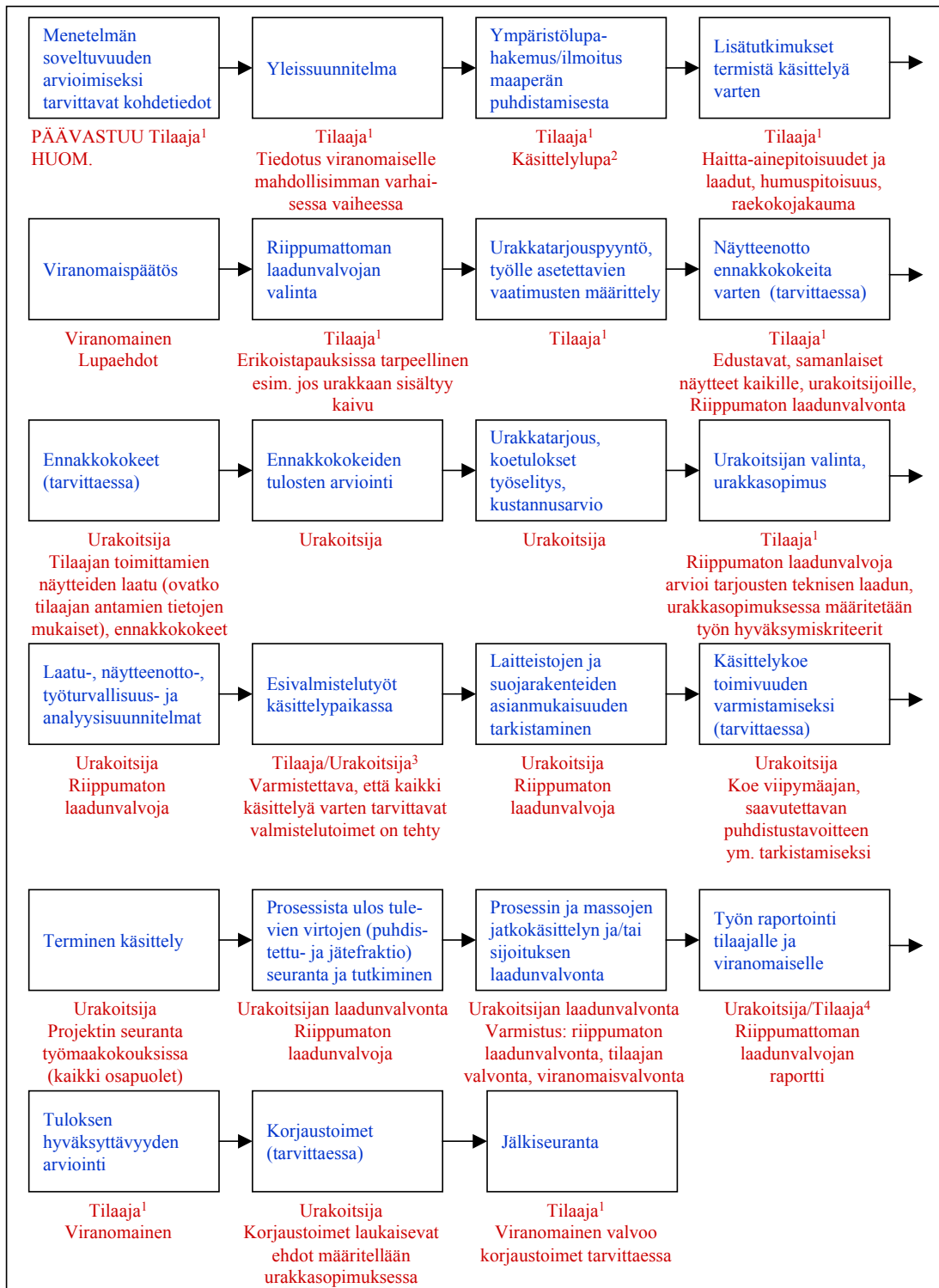
Kunnostusprosessin ja sen aikaisten ympäristökuormitusten hallinnan keinoja ovat rakenteiden, varastokasojen ja laitteistojen kunnan seuranta säännöllisin tarkastuksin (taulukko 4.4), prosessin seuranta ja laadunvalvonta sekä poistovirtojen määrän ja laadun seuranta käsittelylaitteistojen toiminnan ja käsittelystä aiheutuvien ympäristökuormitusten arvioimiseksi (taulukot 4.5 ja 4.6). Käynnistysvaiheessa ja maa-ainesten laadun muuttuessa käsittelyn toimivuus varmistetaan seuraamalla ja valvomalla prosessia tavallista tarkemmin esim. ensimmäisen työvuoron ajan. Varsinainen kunnostustyö voidaan käynnistää vasta, kun toimivuustestin tarkkailutulokset ovat valmiit ja käsittelyn toimivuus varmistettu (Sarkkila et al. 2003).

Työmaan laadunvalvonta perustuu näytteenottoon kaikista massavirroista.. Termodesorptioprosessin toiminnan seuraamiseksi ja sen laadun varmistamiseksi otetaan säännöllisesti näytteitä sekä syötettävästä maamassasta että kaikista poistovirroista. Käsiteltävien ja puhdistettujen massojen sekä poistovirtojen analyysit tehdään samoilla menetelmillä. Maa-aineserät säilytetään erillään kunnes analyysitulokset on saatu. Mikäli vaadittua puhdistustulosta ei ole saavutettu, erä on käsiteltävä uudelleen (Mroueh et al. 1996).

*Taulukko 4.4 Toiminnan hallitsemiseksi tehtävät tarkastukset prosessialueella (kaikki tarkastukset ja huomiot dokumentoidaan).*

<b>Tarkastettavat kohteet</b>	<b>Tarkastustiheys</b>
Alueen yleinen siisteys	Jatkuvaa
Varastokasat, suojapeitteiden kunto ja kiinnitykset ym.	Jatkuvaa
Kenttärakenteiden kunto	1–4 viikon välein
Reunaojien kunto (tukkeutuminen)	1–2 viikon välein

Salaojien toimivuus	Noin kerran kuukaudessa
Vesien keräilyaltaat	Noin kerran kuukaudessa
Suotoveden tarkkailukaivo	Noin kerran kuukaudessa
Vesien käsittelylaitteiston kunto	Noin kerran kuukaudessa
Kaasujen käsittelylaitteiston kunto	Jatkuvaa
Öljynerotuskaivon toiminta ja öljynerottimen täytyminen	Noin kerran kuukaudessa
Öljynerottimen hälyttimen tarkastus	Noin kerran kuukaudessa
Kemikaalien ja jätteiden varastointi: - tilojen ja/tai säiliöiden kunto - säilytystapa	Noin kerran kuukaudessa
Sammutusvälineiden kunto ja öljynimeytysaineen saatavuus	Noin kerran kuukaudessa
Aidat, varoituskyltit, ym.	Jatkuvaa
Pölypitoisuus (leijumamittaukset, SFS 3863 mukaisesti: keräysaika 2 h, leijuman enimmäissuositus 0,4 mg/m <sup>3</sup> )	Säännöllisesti (arvioidaan tapauskohtaisesti käsiteltävän massan pölyävyyden, sään ym. tekijöiden perusteella)
Melu (standardin SFS 2881 (IEC179) mukaisilla mittausvälineillä ja standardin SFS ISO-1996-2 mukaisella mittausmenetelmällä)	Säännöllisesti
Haju (aistinvarainen)	Jatkuvaa



- 1 Tilaajan sijalla voi olla myös tilaajan edustajakseen nimittävä taho.
- 2 Maamassojen kaivu, sen vaatimat luvat ja toimenpiteet eivät ole mukana tässä taulukossa.
- 3 Sijoituskohteesta tai käsittelypaikasta vastaava, joka voi sopimuksen mukaan olla urakoitsija, tilaaja tai muu taho vastaa, että käsiteltävien massojen varastoinnin vaatimat kenttä rakenteet, veden keräily- ja käsittelyjärjestelyt ym. toimet on tehty. Urakoitsija varmistaa, että kaikki tarvittavat valmistelut on tehty ennen käsittelyn aloittamista.
- 4 Urakoitsija ja laadunvalvoja raportoivat tilaajalle, tilaaja raportoi viranomaiselle.

Kuva 4.2 On-site -termodesorptioprosessin toteutuksen päävaiheet ja vastuut.

Urakoitsija laatii kohdekohtaisen työmaan laatusuunnitelman. Laatusuunnitelmassa tarkennetaan urakkasopimuksessa esitettyjä asioita osapuolten yhteistoiminnan sujuvuuden ja lopputuloksen laadun varmistamiseksi. Laatusuunnitelmassa kuvataan kaikki työnäikaisen laadunvalvonnan tärkeimmät tehtävät, joita ovat:

- materiaalin laatu- ja haitta-ainepitoisuusvaihtelujen huomioiminen
- syötettävän maa-aineksen laadunvalvonta
- prosessin valvonta
- puhdistustuloksen valvonta, käsitelty maa-aines (tavoiterajojen alittuminen)
- käsittelyssä syntyvien poistovirtojen tarkkailu
- käsittelyn lopettamisen valvonta ja hyväksyminen.

Kaikista työmaalla toteutetuista toimenpiteistä, käsitellyistä massamääristä, suoritetuista mittauksista ja tutkimuksista tehdään merkintä työmaapäiväkirjaan päivittäin. Työpäiväkirjoihin kirjataan myös laadunvarmistusnäytteenotot, muut laadunvalvontatoimet, käyttöhäiriöt ja havainnot poikkeamista. Lisäksi kaikki työn aikaisten mittausten tekoajat, näytteenottopaikat, otettujen näytteiden numerot, mittaustulokset ja näytteenottajan tunnistetiedot kirjataan. Työn valmistuttua puhdistusprosessin laaduntarkkailusta on laadittava loppuraportti (katso luku 4.5.3 Dokumentointi).

### **Syötettävän maa-aineksen laadun valvonta**

Yleisen periaatteen mukaan pilaantuneen maan toimittaja vastaa käsiteltävän maa-aineksen laadun selvittämisestä ja tietojen oikeellisuudesta (haitta-aineet ja pitoisuudet). Mikäli pitoisuustiedot ovat selvästi puutteelliset, urakoitsija voi edellyttää lisätietoja massojen toimittajalta. Vastaanotettavan maa-aineksen kemiallista laatua voidaan lisäksi valvoa esim. pistokokein, vaikka sitä ei edellytettäisikään ympäristöluvassa. Erityistä huomiota tulee aina kiinnittää VOC-pitoisuuteen räjähdysvaaran vuoksi. Prosessin toimivuuden kannalta syötettävän massan laadun valvonnassa seurataan lähinnä massan fysikaalisia tasalaatuisuustekijöitä (savipitoisuus, vesipitoisuus).

Tarvittaessa (jos maa-ainesten laatua ei tunneta riittävän hyvin) prosessin toiminnan seuraamiseksi syötettävästä massasta otetaan näytteitä, esim. näyte/100 t (Mroueh et al. 1996). Analyysit on teetettävä yleisin, tarkoitukseen sopivin menetelmin laboratoriossa, jolla on asianmukainen laadunvarmistusjärjestelmä.

### **Prosessin valvonta**

Prosessin valvonnan tarkka sisältö riippuu käytettävästä laitteistosta. Seuraavassa on esitetty yleensä seurattavia parametrejä:

- desorptiolämpötilan seuranta massasta (ei ilmasta) ja poistokaasuista



- kammiopaine
- jälkipolttimen lämpötilan ja paineen seuranta
- syöttönopeus ja viipymäaika
- letkusuodatuskammion painehäviö
- laitteiston visuaalinen tarkastus päivittäin, perusteellisempi tarkastus viikoittain (vuodot, vauriot)
- hiilimonoksidipitoisuus kuvastaa käsittelyn tehokkuutta: < 100 ppm, yleensä tehokas käsittely (happipitoisuuden seuranta myös tärkeää)
- savukaasun lämpötila, happipitoisuus, paine ja vesihöyrysisältö

### **Käsiteltyjen maa-ainesten laadun valvonta**

Käsitellyn maa-aineksen laadun seurantatiheys riippuu mm. massojen sisältämistä haitta-aineista, käsiteltävästä maamateriaalista, puhdistetun maa-aineksen sijoituspaikasta (sijoituspaikan vaatimukset, maankäyttö) ja massamäärästä. Seuranta toteutetaan seuraavien periaatteiden mukaan:

- haitta-ainepitoisuuksien analysointi laboratoriossa (samat aineet kuin syötettävästä massasta), kenttämittauksia voidaan käyttää suuntaa-antavana menetelmänä
- hajoamis- ja muuntumistuotteiden analysointi (jos epäiltävissä)
- esim. hyötykäytettäessä kunnostettuja massoja: 1 kokoomanäyte / 150–200 tonnia käsiteltyä maata menetelmällä ASTM C702-87, koostuu 5 osanäytteestä, vaihtoehtoisesti koostumus varmistetaan 5 erillisellä näytteellä / 150–200 t käsiteltyä maata
- esim. kaatopaikalle vietäessä kuten edellä, mutta näytetiheys 1/500 t
- käsittelyprosessin edetessä voidaan harkita näytteenottotiheyden harventamista (esim. 1 kokoomanäyte/ 250–300 t maata).

Yhteenveto kutakin käsittelyerää koskevista analyysituloksista on liitettävä massojen sijoittamista koskeviin ympäristölupahakemuksiin ja toimitettava vuosiraportin yhteydessä alueelliseen ympäristökeskukseen.

### **Käsittelyssä syntyvien jätevirtojen tarkkailu**

Prosessi- ja jätevedet

Vedenpuhdistamolle johdettavien vesien tarkkailu toteutetaan jätevedenkäsittelijän vaatimusten mukaisesti. Prosessi- ja jätevesien tarkkailusta on esitetty yhteenveto taulukossa 4.5. Taulukossa on myös esitetty kohteen ympäristön pinta- ja pohjavesien laadun tarkkailuun liittyviä vaatimuksia.

Taulukko 4.5 Vesien tarkkailu.

Näytteenottokohte	Tutkittavat ominaisuudet	Näytteenottiheys	Toimenpiteet ylitystapauksissa
Prosessivedet (kondenssivesi)	pH, puhdistettavassa maassa olleet orgaaniset ja/ tai epäorgaaniset haitta-aineet, veden määrä	Tarvittaessa, esim. prosessin keskeytys/lopetus tai prosessihäiriö	Prosessin keskeytys tms.
Viemäriin tai muuhun käsittelyyn johdettavien vesien laaduntarkkailu (vesienkeruullas tai -säiliö)	pH, puhdistettavassa maassa olleet orgaaniset ja/ tai epäorgaaniset haitta-aineet, veden määrä (jätevedenkäsittelijän vaatimusten mukaisesti)	Esim. 4 x a	Uusintänäytteenotto, ylityksen syyn selvittäminen, käsittelyn tehostaminen viimeistään kolmen peräkkäisen ylityksen jälkeen
Suotoveden laaduntarkkailu	pH, puhdistettavassa maassa olleet orgaaniset ja/ tai epäorgaaniset haitta-aineet, veden määrä	3–4 x a, jos kaivossa on vettä	Kenttärakenteen kunnan tarkastus
Ympäristöön johdettavan käsitellyn tai käsittelemättömän veden laaduntarkkailu	pH, puhdistettavassa maassa olleet orgaaniset ja/ tai epäorgaaniset haitta-aineet, veden määrä	4 x a	Uusintänäytteenotto, ylityksen syyn selvittäminen, käsittelyn tehostaminen viimeistään kolmen peräkkäisen ylityksen jälkeen
Ympäristön pinta- ja pohjaveden laatu	pH, puhdistettavassa maassa olleet orgaaniset ja/ tai epäorgaaniset haitta-aineet	3–4 x a	Uusintamittaus, ylityksen syyn selvittäminen

#### Poistokaasujen käsittely ja tarkkailu

Poistokaasut on aina käsiteltävä. Jos kaasujen talteenottolaitteiston toiminta perustuu alipaineeseen, on huolehdittava riittävän alipaineen ylläpitämisestä koko termisen käsittelyn ajan. Kaasujen käsittelyn tehokkuuden seuranta perustuu koepuhdistuksen yhteydessä saavutettuihin tuloksiin tai aikaisempiin kokemuksiin vastaavanlaisista haitta-aineista ja maalajeista. Seurattaviin parametreihin kuuluvat mm.

- laitteiston toimivuusparametrit; lämpötila, savukaasun happipitoisuus, paine, lämpötila, vesihöyrystys (2000/76/EY, VNa 362/2003)
- jatkuva seuranta työn aikana:
  - hiilimonoksidipitoisuus CO
  - happipitoisuus O<sub>2</sub>
  - hiilidioksidipitoisuus CO<sub>2</sub>
  - kokonaishiilivetyypitoisuus, esim. 30 min ajan 8 tunnin välein

- elohopeapitoisuus Hg
  - NO<sub>x</sub> (jos ympäristöluvassa on niitä koskeva päästöjen raja-arvo)
  - hiukkaset (kokonaismäärä)
  - orgaaninen hiili (kokonaismäärä TOC)
  - HCL \*
  - HF\*
  - SO<sub>2</sub>\*
- säännöllinen seuranta:
    - puhdistettavien haitta-aineiden pitoisuus
    - hiukkaspitoisuus, esim. 30 min ajan 8 tunnin välein
    - metallit kohteesta riippuen
    - epätäydellisestä käsittelystä mahdollisesti syntyvät yhdisteet (esim. dioksiinit, furaanit)
    - PAH (kivihiilitervaa käsiteltäessä)

**Dioksiinit ja furaanit kiinnittyvät usein pienhiukkasiin, joiden mukana ne päätyvät kaasunkäsittelylaitteistoon. Hiukkassuodattimiin tai pesureihin kertyvä pöly voi siten sisältää huomattavia haitta-ainepitoisuuksia, mikäli käsiteltävä maa-aines sisältää kloorattuja yhdisteitä.**

---

\* ei tarvitse tehdä VNa 362/2003 mainituissa erityistapauksissa

Taulukossa 4.6 on esitetty yhteenveto kaasunkäsittelyyn liittyvästä tarkkailusta.

*Taulukko 4.6 Kaasunkäsittelyyn liittyvä tarkkailu.*

Näytteenottokohde	Tutkittavat ominaisuudet	Näytteenottiheys	Toimenpiteet ylitystapauksissa
Poistokaasujen laatu puhdistimen jälkeen	Hiukkaset, VOC, yksittäiset haihtuvat aineet (määräytyy käsiteltävien haitta-aineiden laadun perusteella)	Alussa viikoittain, kaasupitoisuuksien tasoittuessa seuranta voidaan vähentää. Jos seurantamenetelmä on kokonais-VOC kenttäanalyysointilaite, varmistusmittaukset laboratoriossa tai kaasukromatografilla n. joka kolmas mittauskerta	Ylityksen syyn selvittäminen Varmistus, että syynä ei ole mittalaitteen toiminnan häiriö
Kaasunpuhdistuslaitteiston toiminnan valvonta tarvittaessa, esim. AH-laitteistossa näytteenotto säiliöiden välistä	VOC, ensimmäisenä läpäisevän haitta-aineen pitoisuus		Säiliöiden vaihto, jälkimmäinen säiliö ensimmäiseksi ja uusi säiliö jälkimmäisen tilalle

#### Kiinteät jätteet

Käsittelyn yhteydessä syntyvien kiinteiden jätteiden (esim. suodinpöly) laatua tarkkailaan jätetyypin mukaan valittavilla menetelmillä. Lisäksi valvotaan jätteiden varastoinnin asianmukaisuutta.

#### Kunnostuksen lopettaminen

Jos maan terminen käsittely toteutetaan on-site -menettelyinä, asetetaan käsittelyn lopettamiselle, termodesorptiolaitteiston ja tehtyjen suojausjärjestelyjen poistamiselle sekä käsittelypaikan ennalleen saattamiselle seuraavat vaatimukset:

- Käsittely katsotaan lopetuksi, kun kaikki prosessin lopputuotteet (käsitelty maaines, jäännösfraktiot, jätevedet, muut jätteet) on toimitettu eteenpäin hyötykäyttöön tai loppusijoitukseen kyseisille sijoitustavoille asetettujen vaatimusten mukaisesti.
- Termodesorptiolaitteisto puhdistetaan mahdollisista haitta-ainejäämistä.
- Alueelle tehty suojaustoimet (esim. pohjaeristys, veden keräilyallas tms.) puretaan ja poistetaan.
- Alue saatetaan mahdollisimman lähelle kunnostusta edeltävää tilaa.
- Alueen maaperän puhtaus tulee varmistaa ottamalla näytteitä, jotka analysoidaan laboratoriossa (tai joissakin tapauksissa kenttäanalyysointilaite).
- Mikäli maaperän on todettu likaantuneen, on otettava myös pohjavesinäytteet.

### 4.5.3 Dokumentointi

Käsittelyn toteutuksesta pidetään käyttöpäiväkirjaa, johon merkitään:

- käsiteltävien maa-ainesten/kohteen tunnistetiedot
- välivarastoitujen massojen sijainti ja massamäärät varastokasoissa
- laitteiston hoito- ja huoltotoimet sekä kalibroinnit ja niiden ajat
- työmaatarkastukset ja muut työmaahavainnot
- näytteenottoajat, näytteenotto- ja analyysimenetelmät sekä analyysitulokset
- prosessissa todetut häiriöt ja niiden korjaustoimet, prosessisäädöt
- kaasujen ja vesien tarkkailumenetelmät ja -tulokset
- kaasujen käsittelylaitteiston toiminnan seurantatulokset
- kaikista toimenpiteistä niiden toteuttaja.

Termodesorptioprosessin laaduntarkkailusta on laadittava loppuraportti, jonka tulee sisältää ainakin seuraavat tiedot:

- käsitelty massamäärät
- käsittelyssä syntyneiden poistojakeiden massamäärät, laadut, edelleen toimittaminen ja toimituskohteet
- analyysitulokset
- selvitys sattuneista poikkeuksellisista tilanteista

### 4.5.4 Riippumaton laadunvalvonta

Kunnostettaessa pilaantuneita maamassoja termodesorptiomenetelmällä riippumattoman laadunvalvojan käyttö tulee kysymykseen esimerkiksi, jos

- kyseessä on kohde, joka vaatii toteuttajalta erityisosaamista,
- kyseessä on on-site -käsittely,
- kaivu on sisällytetty urakkaan,
- ympäristöluvassa niin edellytetään tai
- tilaaja katsoo hyötyvänsä riippumattoman asiantuntijan käytöstä.

Myös silloin, kun hanke kilpailutetaan, voi tilaajalle olla edullista käyttää ulkopuolista, riippumatonta valvojaa urakoitsijan valinnassa. Riippumattomalle laadunvalvojalle asetettavia vaatimuksia ja laadunvalvonnan yleistä sisältöä on käsitelty luvuissa 1.3, 1.4, 1.5 ja 1.6.5.

## 4.6 Hyväksymiskriteerit ja toimenpiderajat

Termodesorptiokunnostuksen hyväksyttävyyden arvioinnin perustana on ympäristöluvassa esitettyjen ehtojen, kuten maa-aineksen pitoisuuksille ja muille ominaisuuksille sekä poistovirtojen laadulle asetettavien vaatimusten täyttyminen.

Käsittelyn maa-aineksen laatu varmistetaan näytteenotolla ja analyyseillä. Näytteistä määritetään samat ominaisuudet, jotka määritettiin kunnostusta aloitettaessa. Käsiteltävässä maa-aineksessa olevien haitta-aineiden lisäksi tutkitaan myös merkittävien haitallisten hajoamistuotteiden pitoisuudet. Tutkimukset tehdään yksittäisnäytteistä. Haitta-ainepitoisuudet määritetään kuiva-ainetta kohti. Jos käsiteltävät haitta-aineet ovat seoksia, kuten esimerkiksi PAH:t tai öljyt, arvioidaan puhdistustulos erikseen kevyille, keskiraskaille ja raskaille yhdisteille.

Käsitellyt maamassat välivarastoidaan siten, että tavoitetasojen ylittyessä pystytään tunnistamaan massat käsittelyerittäin ja toimittamaan ne uudelleen käsittelyyn.

Koska maamassojen laatu muuttuu käsittelyn aikana (korkealämpödesorptio), lopputulosta ja käsittelyn massan sijoitettavuutta arvioitaessa otetaan huomioon myös käsittelyn mahdolliset vaikutukset maa-aineksen ominaisuuksiin.

### 4.6.1 Käsiteltyjen maa-ainesten sijoituskelpoisuus

Käsiteltyjen maa-ainesten ja muiden syntyneiden poistovirtojen sijoituskelpoisuuden arviointi toteutetaan tarkasteltavan maamateriaalin haitta-ainepitoisuuksien ja toivotun sijoituskohteen vaatimusten mukaisesti. Ympäristökuormitusten hyväksyttävyys arvioidaan vertaamalla seurantatuloksia lupaehtoihin.

#### **Kaatopaikkasijoitus**

Kriteerit kaatopaikkasijoitettavuuden arviointiin tullaan esittämään EU:n kaatopaikkadirektiivin liitteen 2 kansallisia tulkintoja selventävässä oppaassa jätteiden kaatopaikkakelpoisuuden osoittamisesta. Esimerkki hyväksyttävän tason arvioinnissa mahdollisesta menettelytavasta on seuraava:

- Verrataan lopputuloksen hyväksyttävyyden arvioimiseksi otettujen yksittäisnäytteiden haitta-ainepitoisuuksien keskiarvoa ympäristöluvassa esitettyyn hyväksyttävään tasoon. Kaatopaikalle sijoitettaessa lopputulos voidaan hyväksyä, jos pitoisuus on tietyllä luottamustasolla (esim. 95 %) alle hyväksyttävän pitoisuustason.

Kaatopaikkasijoitusta on käsitelty myös osassa 9 ”Sijoittaminen kaatopaikalle”.

## Hyötykäyttö

Jos käsitellyt maa-ainekset on tarkoitus hyötykäyttää, osoitetaan, että ne on käsitelty aikaisemmissa luvuissa esitettyjen vaatimusten mukaisesti ja, että ne täyttävät osassa 10 ”Hyötykäyttö” esitetyt ehdot. Lopputuloksen hyväksyttävyyden arvioinnissa voidaan käyttää samaa menettelytapaa kuin kaatopaikalle sijoitettaessa. Hyväksyttävän pitoisuustason ylitysriskin tulisi kuitenkin olla pienempi kuin kaatopaikalle sijoitettaessa.

Hyötykäytettäessä käsiteltyjä maa-aineksia käsittelyprosessin laadunvalvonnan on oltava perusteellisempaa kuin kaatopaikkakäsittelyssä. Hyötykäyttökelpoisuus edellyttää, mm.

- vastaanotettavista maa-aineksista on tutkittu myös prosessiin soveltumattomien haitta-aineiden (mm. raskasmetallit, tarvittaessa muut) pitoisuudet. Laitos varmistaa, että maa-ainekset, joissa hyötykäyttöön hyväksyttävät haitta-ainepitoisuudet ylittyvät, eivät missään vaiheessa pääse sekoittumaan hyötykäytettävien massojen kanssa
- vastaanotettavien maiden alkuperä ja laatu osoitetaan siirtoasiakirjalla
- kohteessa tai laitoksella on vastaanottotarkastus
- toteuttajalla on laadunvalvontasuunnitelma, jonka mukaisesti käsittelyn laadunhallinta toteutetaan.
- lopputuloksen laatu (haitta-ainepitoisuudet, pH, vesipitoisuus) osoitetaan riittävän näytteenoton perusteella
- varastointi toteutetaan siten, että puhtaiden ja likaantuneiden maa-ainesten sekoitusvaaraa ei ole
- riippumaton laadunvalvonta tai ulkopuolisen tahon laatutarkastukset tietyin väliajoin
- vastaanotetut ja tuotetut määrät, laadunalitukset ja toiminta laadunalitustapauksissa, analyysitulokset ym. kirjataan ja raportoidaan.

## Palauttaminen alkuperäiselle paikalle

Jos pitoisuudet käsitellyissä maa-aineksissa alittavat kohteessa hyväksyttävät pitoisuudet ja hyötykäyttökelpoisuus sekä hyväksyttävien pitoisuuksien alittuminen on varmistettu kohdassa 4.2.5 esitetyn mukaisesti, maa-ainekset soveltuvat palautettaviksi alkupe-  
räiselle paikalle.

### 4.6.2 Jälkiseuranta

Siirrettävien laitteistojen osalta jälkitarkkailuun ei yleensä ole tarvetta sen jälkeen, kun toiminta kohteessa on lopetettu ja alue siivottu, mikäli alueen maaperän tai pinta- tai pohjavesien ei epäillä pilaantuneen toiminnan vaikutuksesta. Myös työmaan koko ja alueen maankäyttö vaikuttavat jälkiseurannan tarpeeseen. Käsittelytoiminnan loputtua

tehdään aina siirrettävien käsittelylaitosten osalta kertaluonteinen seurantatutkimus, jolla varmistetaan alueen maaperän puhtaus. Tämä edellyttää näytteenottoa ja näytteiden laboratorioanalyysijä.

Käsiteltyihin maamassoihin mahdollisesti liittyvä jälkiseurannan tarve määräytyy massojen sijoituskohteen asettamien edellytysten perusteella. Kiinteiden käsittelylaitosten ympäristöluvuissa edellytetään yleensä prosessialueen ympäristön jatkuvaa seurantaa.

### 4.6.3 Raportointi

Termodesorption lopputuloksen hyväksyttävyyden arvioimiseksi raportoidaan:

- näytteenottomenettely ja näytteiden määrä
- näytteistä tutkitut haitta-aineet, analyysimenetelmät ja haitta-ainepitoisuudet (jään-  
nospitoisuudet)
- vertailu puhdistuksen tavoitetasoon.

Lisäksi raportoidaan:

- käsitelty materiaalmäärät, vastaanotettu/ alueelta poistettu tai sijoitettu (märkäpai-  
notonneina)
- käsiteltyjen maamassojen vastaanotto- tai sijoituskohde (mahdollinen jatkokäsittely)
- käsiteltäviksi tulleiden maa-ainesten haitta-ainepitoisuudet
- prosessin seurantaparametrit
- prosessilaitteistojen huolto- ja ylläpitotoimet
- yhteenveto prosessin laadunvalvonnasta (tarkkailusta) ja laadunvalvontatuloksista
- poistokaasujen ja vesien seurannassa käytetyt näytteenotto- ja analyysimenettelyt ja  
todetut haitta-ainepitoisuudet, syntyvän veden määrä ja jatkokäsittelytapa (laitoksen  
vedet, suotovedet, tarkkailu)
- kaasujen käsittelylaitteiston seurantatulokset
- syntyneiden jätteiden laatu, määrä ja sijoituskohteet
- jätevesien johtaminen
- riippumattoman laadunvalvonnan tulokset
- kenttärakenteiden kunnan seuranta
- poikkeustilanteet.

Jos käsitelty maamateriaali sijoitetaan hyötykäyttöön, osoitetaan, että kaikki hyötykäyt-  
tökelpoisuuden edellytykset täyttyvät.



## 4.7 Työsuojelu ja turvallisuus

Ennen pilaantuneiden maiden kunnostuksen aloittamista on laadittava kohdekohtainen turvallisuussuunnitelma, joka sisältää myös työsuojeluun liittyvät asiat. Suunnitelma on hyväksyttävä työsuojelupiirissä. Työsuojelusta vastaavien henkilöiden nimet ilmoitetaan ennen töiden aloittamista työsuojeluviranomaisille. Turvallisuussuunnitelman sisältöä on tarkemmin käsitelty luvussa 1.6.7.

Maa-ainesten kunnostamiseen termiseen desorptioon liittyy seuraavia fyysisiä ja kemiallisia riskitekijöitä (mukailtu ohjeen FRTR 2002 perusteella):

### Fyysiset riskit

- 1) Termodesorptiolaitteisto oheislaitteineen voi aiheuttaa huomattavaa melua. Myös maa-ainesten siirtoon käytettävät työkonet ja ajoneuvot aiheuttavat melua. Lisäksi työkonet liikkumisesta aiheuttaa merkittävä vaaratekijä työntekijöille.

#### *Torjunta:*

- liikkuvien työkonet ja kuorma-autojen varustaminen peruutushälyttimillä
  - koneita pitää lähestyä aina edestä päin siten, että koneen kuljettaja näkee lähestyvän henkilön (silmäkontakti)
  - kuulosuojainten käyttö
- 2) Käsittelylämpötilan noustessa liian suureksi voi paineen ja kuumuuden vaikutuksesta aiheutua tulipalo- ja räjähdysvaara.

#### *Torjunta:*

- käsiteltävyysskojeilla saatujen operointiparametrien huolellinen monitorointi käsittelyn aikana
  - käyttösuunnitelman laadinta
  - käyttöhenkilökunnan koulutus
  - turvallisuussuunnitelmien huolellinen noudattaminen
- 3) Menetelmän käyttöön liittyy usein tulenarkojen nesteiden käyttöä ja varastointia, mistä voi aiheutua tulipalon vaara tai työntekijöiden altistumista haihtuville ainesosille.

#### *Torjunta:*

- asianmukaiset varastoastiat ja -tilat
- tilojen tuuletuksen järjestäminen

- hyväksytyjen sähkölaitteiden ja sähköjohtojen käyttäminen ja niiden säännöllinen tarkistus
  - työntekijöiden koulutus
- 4) Palavia haitta-aineita sisältävät maa-ainekset voivat syttyä palamaan esikäsittelyn, varastoinnin ja siirtojen aikana esim. kuormauksen yhteydessä mahdollisesti tapahtuvan kipinöinnin vaikutuksesta.

*Torjunta:*

- maa-ainesten kastelu
  - kipinäsuojattujen koneiden ja laitteiden käyttäminen
- 5) Sähköiskun vaara käytettäessä laitteistoa ulkona.

*Torjunta:*

- hyväksytyjen sähkölaitteiden ja -johtojen käyttäminen
  - vikavirtakytkimien käyttö
- 6) Laitteiston osat voivat korrodoitua tai syöpyä joutuessaan kosketuksiin haitta-aineita sisältävien maamassojen kanssa ja rikkoutua aiheuttaen vaaratilanteita työntekijöille.

*Torjunta:*

- materiaalien kestävyys haitta-aineita vastaan tarkistettava
  - nestevuotojen havaitsemiseen käytettävät ilmaisimet
  - riskialttiiden kohtien määräaikainen/jatkuva seuranta
  - ennakoivat huollot ja korjaukset
- 7) Käsittellyt maamassat poistetaan käsittelyrummista kuumina (jopa 300–400 °C), mikä altistaa työntekijät palovammoille.

Torjuntakeinoja ovat suojarusteiden käyttö, varoituskilpien käyttö sekä suoja-aitojen ja puomien käyttö.

- 8) Kuljetinhihnojen, ruuvikuljettimien ja vastaavien käytöstä aiheutuvien fyysisten vammojen riski.

*Torjunta:*

- suojarakenteiden käyttö
- hätäkatkaisimet

- asianmukainen pukeutuminen (ei löysiä vaatteita)
- laitteita käynnistettäessä (etenkin huoltokatkojen jälkeen) varmistettava, että työntekijöitä ei ole vaaravyöhykkeellä
- käynnistyksessä hälytysääni ja -valo
- viive käynnistyksessä

9) Kuumasta ilmasta aiheutuva auringonpistoksen, nestehukan ja lämpöhalvauksen vaara.

Torjuntakeinoja ovat riittävä nesteiden nauttiminen, suojautuminen auringolta ja lepotauot.

10) Sähköiskun vaara ilmakaapelien alueella.

*Torjunta:*

- ilmajohtojen ottaminen huomioon suunnitteluvaiheessa
- suojaetäisyyksien määrittäminen
- tarvittaessa virran katkaisu työskentelyn ajaksi

11) liikenneonnettomuudet

*Torjunta:*

- työmaasta varoittavat liikennemerkkit
- työmaaliikenteen suunnittelu
- peruutushälyttimien käyttäminen

### **Kemialliset riskit**

1) Työntekijöiden altistuminen haitta-aineille maa-ainesten siirtojen ja käsittelyn aikana (kaasut, pöly).

*Torjunta:*

- maamassojen kostuttaminen
- hengityssuojainten käyttö (kaasu- ja pölysuodattimet, oikean suodatintyyppin valintaan kiinnitettävä erityistä huomiota)

- 2) Termodesorptiolaitteiston ollessa käynnissä työntekijät voivat altistua epätäydellisestä palamisesta syntyville aineille (esim. hiilimonoksidi) ja kaasumaisille haitta-aineille.

*Torjunta:*

- käsiteltävien maamassojen sisältämien haitta-aineiden huolellinen analysointi
- vain termodesorptioon ja ko. laitteistolle soveltuvien massojen käsittely
- prosessin huolellinen suunnittelu ja poistokaasujen käsittely
- hengityssuojainten käyttö
- ilman laadun tarkkailu

- 3) Laitteiston korjaus- ja huoltotyöt ja työskentely suljetussa tilassa (mm. säiliöt, rummut) voi altistaa työntekijät haitallisille aineille, kaasuille tai hapenpuutteelle.

*Torjunta:*

- tiedottaminen työntekijöille mahdollisista haitallisista aineista ja suojautumistarpeesta
- happipitoisuusmittareiden käyttö
- ilmanvaihdon järjestäminen
- hengityssuojainten tai happinaamarin käyttö
- huoltotöiden aikatauluttaminen.

## 5. Pesu

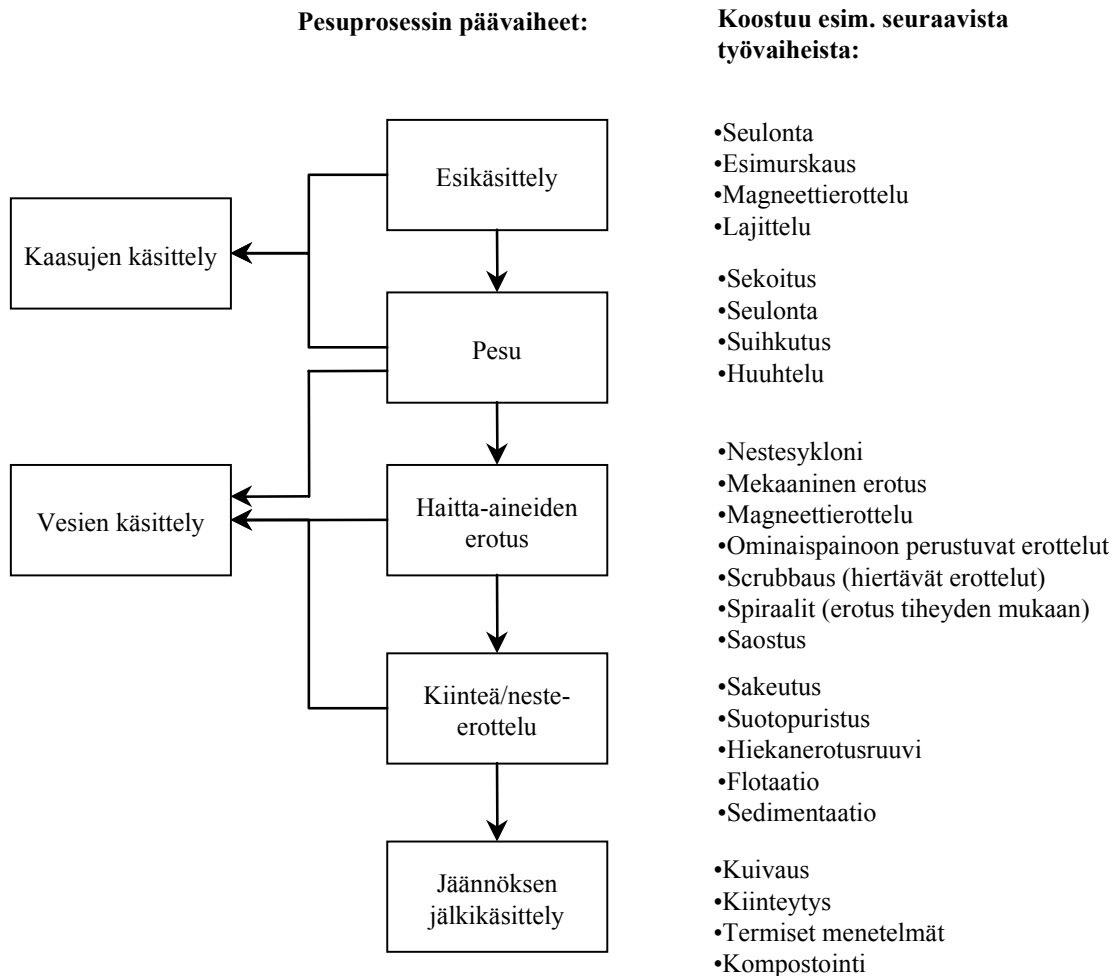
### 5.1 Yleistä

Maan pesuprosessi voidaan suorittaa on-site -menettelyinä, jossa maa-ainekset käsitellään siirrettävällä pesulaitteistolla paikan päällä, tai kiinteällä "maanpesuasemalla", off-site. On-site -menettely soveltuu parhaiten suurten massamäärien käsittelyyn, jolloin välttyään massiivisilta kuljetuksilta. Kiinteän aseman etuna on helpompi ympäristön laadunvalvonta.

Tässä ohjeessa pesumenetelmällä tarkoitetaan on-site- tai off-site -menettelyä, jossa maa-aines sekoitetaan veden kanssa ja siitä erotetaan mekaanisin tai kemiallisin menetelmin haitta-aineita. Pesuprosessi sisältää varsinaisen pesun lisäksi erilaisia lajittelu- ja erotustekniikoita, minkä vuoksi pesun sijaan joskus puhutaan märkäerotustekniikoista. Kuvassa 5.1 on esitetty maan pesuprosessin päävaiheet ja kuvassa 5.2 esimerkki pilaantuneen maan pesuprosessista.

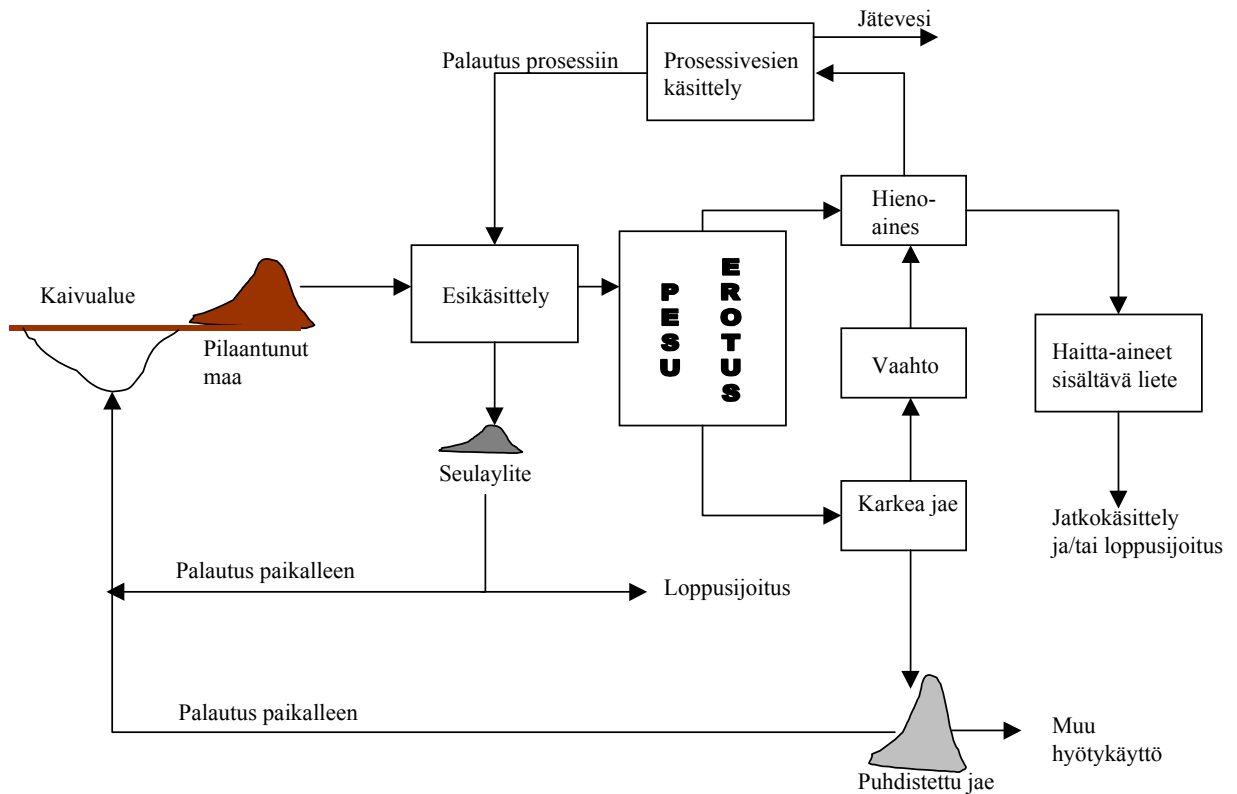
Prosessin aluksi suoritetaan maan esikäsittely ja homogenisointi, jolloin maa seulotaan ja siitä erotetaan erikseen ylisuuret kappaleet. Esikäsittely voi sisältää myös metallinerotusyksikön ja/tai murskaimen. Varsinaisessa pesuprosessissa maa-aines sekoitetaan pesuveteen ja seos kulkee erilaisten seulojen, sekoitinten ja suihkujen kautta pesuysikön läpi, jolloin eri maajakeet erottuvat toisistaan ja osa haitta-aineista irtoaa pesuveteen. Pesuysikössä erotusmenetelminä voidaan käyttää em. pesuseulonnan lisäksi esimerkiksi ominaispainoon, partikkelikokoon tai tiheyteen perustuvaa erottelua, flotaatiota, sedimentaatiota tai saostusta. Pesuveden seassa voidaan käyttää erilaisia apuaineita, kuten pinta-aktiivisia aineita tai haitallisten aineiden liukenemistä edistäviä aineita. Haitta-aineiden irtoamista voidaan edistää myös mekaanisilla käsittelyillä sekä nostamalla veden lämpötilaa tai muuttamalla sen pH:ta. Hienoin maa-aines, joka sisältää pääosan haitta-aineista, erotetaan lietteenä karkeammasta puhdistetusta maa-aineksesta. Lietteestä erotetaan pesuneste puristamalla (esim. sakeutin ja suotopuristin), jolloin saadaan noin 50–70 % vettä sisältävä puhdistusjännös (EPA 1997).

Lietteestä erotettu ja prosessista tuleva pesuneste johdetaan erilliseen vedenkäsittely-yksikköön, jossa haitta-aineet erotetaan pesuvvedestä esim. saostuksen avulla ja puhdistettu vesi kierrätetään takaisin prosessiin. Saostuksessa käytetään apuna kelatoivia, koaguloivia tai flokkuloivia kemikaaleja (EPA 1997).



*Kuva 5.1 Maan pesuprosessin päävaiheet (LfU Baden-Württemberg 1995, mukailten).*

Maa-ainesten sisältäessä haihtuvia aineita niiden ensisijainen käsittelytapa on huokoskaasukäsittely. Mikäli haihtuvia aineita sisältävää maata käsitellään pesemällä (kyseen tulevat lähinnä ”sekapilaantuneet” maa-ainekset), tulee varmistaa prosessilaitteiston soveltuvuus. Haihtuvat yhdisteet tulee pystyä ottamaan talteen pesuprosessin eri vaiheissa, minkä jälkeen ne johdetaan kaasujen puhdistusyksikköön. Kaasujen talteenotto tulee varmistaa vielä prosessin ulkopuolisin mittauksin.



Kuva 5.2 Esimerkki pilaantuneen maan pesuprosessista (EPA 1997).

## 5.2 Menetelmän soveltuvuuden arviointi

### 5.2.1 Yleistä

Merkittävimmän menetelmän soveltuvuuteen vaikuttavat maaperän laatu, sen sisältämät haitta-aineet ja niiden ominaisuudet sekä maamateriaalien ja haitta-aineiden väliset vuorovaikutukset. Menetelmän soveltuvuuden arvioimiseksi on tunnettava ainakin:

- maa-aineksen määrä
- maa-aineksen laatu
  - raekokojakauma
  - orgaanisen aineksen ja saven pitoisuus
  - pH, puskuri- ja kationinvaihtokapasiteetti
  - kosteus
- haitta-aineiden laatu ja pitoisuudet
  - yhdisteseoksista (kuten esimerkiksi PAH:t ja öljyt) eri fraktioiden määrä maa-aineksessa.

- öljyillä pilaantuneista maista myös PAHit ja mahdollisesti myös PCB-pitoisuudet
  - haihtuvien yhdisteiden osuus/pitoisuudet, bensiinillä pilaantuneista maista myös MTBE ja BTEX
  - kloorifenoleilla pilaantuneilta saha-alueilta myös dioksiini- ja furaanipitoisuudet
  - raskasmetallit
  - hydrofobisten yhdisteiden määrä.
- loppusijoituskohteen vaatimat tavoitepitoisuudet.

### **Maa-ainesten laatu**

Menetelmä soveltuu parhaiten hiekkaisille maille, jotka sisältävät yli 50 % hiekkaa tai sitä karkeampia maa-aineksia. Mikäli hienoaineksen ja saven osuus ylittää 30–50 %, menetelmän toimivuus heikkenee ja puhdistuskustannukset nousevat. Hienoainemäärän ollessa suuri, ei myöskään päästä kovin edulliseen tilavuuden alenemiseen. Tällöin joudutaan yleensä käyttämään monivaiheisia käsittelyjä ja erityistekniikoita, jotka nostavat puhdistuksen hintaa. Menetelmän toimivuutta voivat heikentää myös hydrofobisten yhdisteiden tai humuksen läsnäolo. Hydrofobisten yhdisteiden pesussa käytetään pinta-aktiivisia aineita, joiden käyttö edellyttää suurempia vesimääriä ja lisätyövaiheita aineiden poistamiseksi tai kierrättämiseksi. Humus sitoo voimakkaasti metalleja ja orgaanisia yhdisteitä, mikä voi heikentää puhdistustulosta. Pesuprosessin toimivuuteen vaikuttavat myös maan pH sekä puskuri- ja kationinvaihtokapasiteetti (Anon 1997a).

### **Haitta-aineiden käsiteltävyys**

Pesu soveltuu suurelle joukolle epäorgaanisia ja orgaanisia haitta-aineita, kuten raskasmetallit, syanidit, polyaromaattiset hiilivedyt (PAH-yhdisteet), pestisidit, polyklooratut bifenyylit (PCB:t), kloorifenolit ja mineraaliöljyt.

Monia erilaisia epäpuhtauksia tai hyvin erilaisia pitoisuuksia sisältävien maa-ainesten puhdistaminen tekee pesuprosessin suunnittelun vaativaksi ja tällöin joudutaan etsimään paras mahdollinen pesutekniikan ja -liuoksen koostumuksen yhdistelmä. Suunnittelussa on huomioitava myös eri komponenttien keskinäiset vuorovaikutukset ja yhdisteiden sitoutumistapa, jotka voivat vaikuttaa haitta-aineiden erottumiseen. Vaikeimmin käsiteltäviä yhdisteitä ovat maa-ainekseen adsorboituneet epäpuhtaudet (Mroueh et al. 1996). Korkean viskositeetin omaavat aineet, kuten eräät öljyt, ovat myös hankalia puhdistaa. Ennen menetelmän käyttöä on varmistettava, että se soveltuu kaikille puhdistettavassa maa-aineksessa oleville haitta-aineille.



## **Pesun lisäaineet**

Kemikaalien ja muiden lisäaineiden käyttö puhdistusprosessissa tulee minimoida. Ne eivät saa haitata käsiteltyjen maa-ainesten tai puhdistusjäännösten jatkosijoittamista. Kemikaalien poiston prosessista poistuvasta pesunesteestä tulisi olla yksinkertaista, etteivät käsittelykustannukset nouse liian korkeiksi. Lisäaineita tulisi mahdollisuuksien mukaan pyrkiä kierrättämään. Lisäaineiden ominaisuudet ja mahdolliset sivuvaikutukset tulee tuntea, eikä ympäristölle vaarallisia kemikaaleja tule käyttää (epäselvissä tapauksissa ks. kemikaalien ympäristötietorekisteri:

<http://www.ymparisto.fi/palvelut/tietoj/kemrek/envchm.htm> tai ympäristölle vaarallisten aineiden luettelo: <http://www.kemi.se/nclass/default.asp>). Kaupallisista lisäaineista on oltava käyttöturvallisuustiedotteet.

## **Menetelmävaihtoehdot**

Käytettävän menetelmävaihtoehdon valintaan vaikuttavat:

- maa-aineksen sisältämät haitta-aineet ja niiden pitoisuudet
- maa-aineksen raejakajauma
- käytettävien prosessilaitteiden kapasiteetti
- vaadittu puhtaustaso ja reduktio
- maa-aineksen määrä

## **Muut edellytykset**

Menetelmän soveltuvuuden ehtona on lisäksi se, että syntyvä puhdistusjäännös voidaan jatkokäsitellä, hyötykäyttää tai loppusijoittaa luotettavasti. Taloudellisesti pesutekniikka soveltuu parhaiten kohteisiin, joissa käsiteltäviä maamassoja on yli 5 000 tonnia.

### **5.2.2 Ennakkokokeet ja niiden tulosten arviointi**

Menetelmän käyttökelpoisuus on aina varmistettava etukäteen. Alustava arvio menetelmän soveltuvuudesta voidaan tehdä jo kirjallisuustietojen ja kokemuksen perusteella. Ennen lopullista puhdistusmenetelmän valintaa tehdään yleensä eritasoisia ennakkokokeita.

Jos maa-ainekset viedään pestäväksi kiinteälle pesuasemalle, jolla on jo ympäristölupa, varmistetaan, että maa-ainekset ovat vastaanottoehtojen mukaisia. Tällöin ennakkokokeiden tarpeellisuus ja laajuus arvioidaan tapauskohtaisesti.

On-site -käsittelyn soveltavuuden arvioimiseksi tarvitaan laajemmat ennakkokokeet ja tehtävien kokeiden tarve arvioidaan kohteesta saatavien kenttätutkimustulosten ja tekniikalla aiemmista kohteista saatujen tulosten perusteella.

## **Näytteenotto**

Maa-ainesten haitta-ainepitoisuudet on tutkittava ennen ennakkokokeita. Tutkimuksia varten otetaan edustavat näytteet. Näytteet otetaan joko kunnostuskohteen maaperästä tai varastokasasta. Näytteenottajalla tulee olla voimassa oleva ympäristönäytteenottajan sertifiikaatti tai hänen tulee toimia sertifioidun näytteenottajan valvonnassa. Maaperänäytteenotto tehdään yleisesti käytössä olevien ohjeiden ja oppaiden mukaisesti noudattaen luvussa 1.6 esitettyjä periaatteita. Otettaessa näytteitä varastokasasta näytteenotossa seurataan standardin SFS-EN-932-1 vaatimuksia.

## **Alustavat soveltavuustestit**

Alustavien soveltavuustestien tarkoituksena on selvittää yleisesti menetelmän soveltavuus kyseiseen kohteeseen. Kirjallisuustietojen perusteella tehtyä arviota voidaan täydentää visuaalisella arvioinnilla ja tarvittaessa yksinkertaisilla ravistelu- ja seulontatestillä. Testissä maamateriaali lietetään veteen tai pesunesteeseen, ravistellaan ja seulotaan esim. 2 mm seulalla. Testin tarkoituksena on tutkia miten epäpuhtaudet jakautuvat eri fraktioihin ja liukenevat liukokseen. Erotusteknisesti hankalimpia ovat agglomeroituneet tai adsorboituneet epäpuhtaudet, jotka eivät rikastu kumpaankaan fraktioon (Mroueh et al. 1996, EPA 1991b).

Ajan ja rahan säästämiseksi kannattaa ravistelutestit aloittaa visuaalisella arvioinnilla. Ravistelun jälkeen tarkastellaan mitä eri fraktioita erottuu (pinnalla kelluva fraktio, pinnalle nouseva öljyfraktio, vesifraktio, pohjalle laskeutuva maafraktio, pohjalle laskeutuva öljyfraktio). Kemiallisia analyysejä tehdään vasta kun erottumista on havaittavissa paljain silmin. Analyysit tehdään ensin pääfraktioista (ainakin karkea maa-aines, hieno maa-aines ja pesuliuos) ja aluksi analysoitaviksi aineiksi valitaan ns. indikaattoriaineita esim. seuraavasti (EPA 1991b):

- Valitaan yksi tai kaksi haitallisinta tai todennäköisesti yleisintä pilaantuneessa maa-aineksessa esiintyvää haitta-ainetta.
- Valitaan muita kemiallisia aineryhmiä (esim. haihtuvat, klooratut, ei-klooratut orgaaniset yhdisteet) kuvaavat indikaattoriaineet.
- Jos maa-aines sisältää PCB:tä tai dioksiineja, valitaan indikaattoriksi PCB, sillä dioksiineja ja muita niukkaliukoisia yhdisteitä ei kannata analysoida vielä tässä vaiheessa.

Jos pesuprosessi näyttää toimivan indikaattoriaineiden perusteella, tehdään laajemmat kokeet, joissa analysoidaan tarkemmin kaikki maa-aineksessa olevat merkittävät haitta-aineet kaikista eri fraktioista (EPA 1991b).

### **Laboratoriokokeet**

Varsinaista menetelmävalintaa ennen tehdään vielä laajennetut kokeet, joissa selvitetään tarkemmin aiotun menetelmän soveltuvuus ja arvioidaan, voidaanko sillä päästä haluttuun puhdistustulokseen. Testeissä voidaan selvittää alustavasti myös olosuhteiden, kuten lämpötilan ja pH:n, sekä pesu/kontaktiajan vaikutusta puhdistustulokseen. Lisäksi mahdollisten pesuliuoksen lisäaineiden käyttöä voidaan kokeilla tässä vaiheessa.

Puhdistettavasta maa-aineksesta on tutkittava ainakin raekokojakauma, maalajit (erityisesti savipitoisuus) sekä ioninvaihtokapasiteetti. Maaperän sisältämien haitta-aineiden määrät sekä kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet tulee myös selvittää. Haitta-aineiden ominaisuuksista tulee tutkia:

- liukoisuus veteen tai käytettävään pesunesteeseen
- haihtuvuus
- tiheys
- metallien kohdalla metalliyhdisteiden määrä ja tarvittaessa spesiaatio.

Lisäksi haitta-aineiden sitoutumistapa ja jakautuminen maa-aineksen eri fraktioihin tulee selvittää, sillä näillä on suuri merkitys menetelmän toimivuuden kannalta. Testimenettelyn tulee muistuttaa tarkasteltavaa käsittelymenetelmää, jotta tulokset kuvaavat todella käytettävän menetelmän toimivuutta. Testi voi koostua esimerkiksi seulonnoista ja ominaispainoon perustuvista erotteluista, jossa syntyy puhdistettu jae ja jäännösfraktioita, jotka analysoidaan. Näiden lisäksi analysoidaan pesuvesi. Erotustekniikan soveltuvuus arvioidaan puhdistustuloksen (haitta-aineiden jakautumisen ja puhdistetun fraktion saannon) perusteella (EPA 1991b, Mroueh et al. 1996).

### **Pilot-mittakaavan kokeet**

Pilot-mittakaavan kokeita tarvitaan, jos tekniikan soveltuvuudesta kyseisen tyyppisiin kohteisiin ei ole riittävästi kokemusta tai kun ollaan ottamassa käyttöön uutta tekniikkaa. Pilotkokeita tarvitaan myös varmistamaan laboratoriokokeiden perusteella määritettyjä mitoitusparametreja (mm. käsittelyaika, käytettävien pesuliuosten koostumus ja puhdistustulos) varsinaisen pesuprosessin suunnittelussa sekä selvittämään kohdekohtaisten muuttujien vaikutusta pesutulokseen. Testit tehdään pilotlaitteistolla tai siirrettävällä laitteistolla kohteessa. Koeajot varsinaisella laitteistolla katsotaan joskus myös pilotkokeiksi (EPA 1991b, Mroueh et al. 1996).

### 5.2.3 Käsiteltyjen maa-ainesten sijoituskelpoisuus ja jatkokäsittelytarve

Pesutekniikan käyttö on järkevää lähinnä silloin, kun puhdistettu fraktio voidaan joko sijoittaa takaisin kohteeseen tai hyötykäyttää muulla tavoin. Pesu muuttaa maan fysikaalisia ja biologisia ominaisuuksia, mikä on otettava huomioon hyötykäyttömahdollisuuksia arvioitaessa. Käsittelyn yhteydessä maan hienoaineksen ja orgaanisen aineksen pitoisuudet ovat vähentyneet merkittävästi. Siten maan käyttö kasvualustana edellyttää maa-ainesten ominaisuuksien parantamista lisäämällä biologisesti aktiivista, orgaanista ainesta sekä palauttamalla maan pH ja ravinnetilanne ennalleen (Mroueh et al. 1996).

#### Hyötykäyttö

Jos käsitellyt maa-ainekset halutaan hyötykäyttää, prosessin laadunvalvonnan on oltava perusteellisempaa kuin kaatopaikkasijoituksessa. Tällöin edellytetään mm., että:

- puhdistettavista/vastaanotettavista maa-aineksista on tutkittu kaikkien mahdollisesti läsnä olevien haitta-aineiden pitoisuudet
- vastaanotettavien maiden alkuperä ja laatu osoitetaan siirtoasiakirjalla
- laitoksella tai kohteessa on vastaanottotarkastus
- laitoksella/urakoitsijalla on laadunvalvontasuunnitelma, jonka mukaisesti pesun laadunhallinta toteutetaan.
- lopputuloksen laatu (haitta-ainepitoisuudet, pH, vesipitoisuus) osoitetaan riittävän näytteenoton perusteella (ks. näytteenotto-ohje)
- varastointi toteutetaan siten, että puhtaiden ja likaantuneiden maa-ainesten sekoitusvaaraa ei ole
- riippumaton laadunvalvonta tai ulkopuolisen tahon laatutarkastukset tietyin väliajoin
- vastaanotetut ja tuotetut määrät, laadunalitukset ja toiminta laadunalitustapauksissa, analyysitulokset ym. kirjataan ja raportoidaan.

Lievästi pilaantuneiden ja käsiteltyjen maa-ainesten hyötykäyttö- ja sijoituskriteereitä pohditaan Suomen ympäristökeskuksessa käynnissä olevassa projektissa. Projektissa on valmistunut raporttiluonnos (Bäckman 2001), jota ollaan täydentämässä vuoden 2003 aikana.

Käsitellyt maa-ainekset voidaan sijoittaa takaisin alkuperäiseen paikkaansa tai hyödyntää mm. tie- ja maarakentamisessa tai maisemoinnissa, mikäli ne täyttävät seuraavat vaatimukset (ks. tarkemmin osa 10 ”Hyötykäyttö”):

- 1) Sijoitus takaisin kohteeseen
  - Kohteessa vaadittavat tekniset ominaisuudet täyttyvät.
  - Jäännöspitoisuudet alle Samase-ohjearvon.

- Ei pohjavesialue tai muu herkkä alue.
- Haitta-ainepitoisuudet alittavat kyseiselle kohdetyypille hyväksytyn ohjearvotason (Bäckman 2001), tai riskinarvioinnin perusteella.
- Jäännöspitoisuudet varmennetaan riippumattoman laadunvalvojan toimesta.

## 2) Hyötykäyttö muussa kohteessa

Käsiteltyjen maa-ainesten hyötykäyttökelpoisuus arvioidaan ympäristökelpoisuuskriteerien mukaisesti, ks. osa 10 ”Hyötykäyttö” luku 10.3.

### **Jatkokäsittelytarve**

Mikäli pesulla ei päästä riittävän alhaisiin haitta-ainepitoisuuksiin tai maa-aines sisältää pesumenetelmälle soveltumattomia haitta-aineita, on maa-ainekset jatkokäsiteltävä ennen niiden hyötykäyttöä tai loppusijoitusta. Jatkokäsittelymenetelmä valitaan tapauskohtaisesti.

### **Sijoitus kaatopaikalle**

Jos käsiteltyjä maamassoja ei voida hyötykäyttää, on viimeisenä vaihtoehtona sijoitus kaatopaikalle. Tällöin koko menetelmän käytön järkevyys on kyseenalainen. Käsiteltyjen maa-ainesten sijoituskelpoisuus kaatopaikalle arvioidaan kaatopaikkakelpoisuuskriteerien mukaisesti, ks. luku 9 ”Sijoittaminen kaatopaikalle”.

## **5.3 Ympäristövaikutusten hallinta**

Käsittely tulee toteuttaa siten, ettei siinä synnytetä ympäristölle haitallisempia aineita, kuten helpommin kulkeutuvia, vesiliukoisia tai biosaatavia aineita eikä sellaisia aineksia, joiden käsitteleminen tai loppusijoittaminen on vaikeampaa kuin alkuperäisten käsiteltävien massojen.

### **5.3.1 Maaperän suojaus**

Maa-ainesten käsittelyyn käytettävien laitteistojen sijaintialueiden ja niihin välittömästi liittyvien työskentelyalueiden sekä maamassojen varastointialueiden pohjat tulee tiivistää ja muotoilla siten, että suoto- ja valumavedet saadaan kerättyä talteen ja haitta-aineiden pääsy maaperään estettyä. Lisäksi lietemäiset jätteet (esim. pesusta tulevat lietemäiset, paljon vettä sisältävät maa-ainekset) tulee sijoittaa siten, että niistä valuvat vedet voidaan kerätä erillisiin vedenpitäviin astioihin (esim. keruullas tai säiliö).

Kiinteälle käsittelylaitokselle voidaan asettaa tiukemmat määräykset kuin siirrettävälle laitokselle, jonka käyttöaika on lyhyempi. Työskentelykentän pohjarakennemateriaalien (kulutuskerros ja tiivistekerros) on oltava käsiteltäviä haitta-aineita kestäviä. Kulutuskerroksen materiaalin on kestävä myös käytettävien työkoneiden pyöräkuormitus. Pohjarakenteen pinnan kallistuksen on oltava sellainen, että vesi ei keräänny rakenteen pinnalle, aina vähintään 2 %.

*Pysyväksi tarkoitettu työskentelykenttä* on perustettava routimattomalle ja painumattomalle alueelle. Ainakin epätasaiset painumat eli rakenteiden rikkoutuminen on estettävä, eivätkä kentän kaadot saa muuttua. Kuormaimet ja muut laitteiston aiheuttamat (epätasaiset) kuormat eivät saa rikkoa tiivisterakenteita, salaojitusta tai kulutuskerrosta.

Toimivat rakennekerrokset voidaan toteuttaa eri tavoin. Tavanomainen ratkaisu sisältää taulukossa 5.1 esitetyt kerrokset:

*Taulukko 5.1 Yhdistelmä rakenne.*

<b>Rakennekerros</b>	<b>Kerrosmateriaali</b>
Pinnan tiivistekerros	Kaksikerroksinen tiivisasfalttirakenne (tiivis asfaltti ABT, tyhjätila alle 3%) tai betonilaatta + asfaltista (AB) rakennettu kulutuskerros
Jakava ja kantava kerros	Kallio- tai soramurske
Kuivatuskerros mahdollisine salaojaputkineen	Salaojitussora 260–300 mm
Tiivistyskerros	Tiivis mineraalimaa, murskebetoniitti ja/tai mekaanisesti suojattu HDPE-kalvo
Tasattu pohjamaa	

*Väliaikaiselle kentälle* (käyttöaika 1–3 vuotta) on asetettu periaatteessa samat toiminnalliset vaatimukset kuin pysyvälle kentälle. Rakenteissa voidaan kuitenkin tinkiä rakennekerrosten paksuuksista, materiaaleista ja materiaalien pitkäaikaiskestävyydestä, mikäli pystytään osoittamaan, että minimivaatimustasoa ei aliteta. Pohjamaan osalta vaatimukset ovat samat kuin pysyvällä kentällä: painumattomuus, routimattomuus ja kaatojen toimivuus. Siirrettävien laitteistojen yhteydessä voidaan sijoituspaikasta riippuen käyttää pohjaeristeenä joissain tapauksissa (ei ongelmajäte, ei jatkuvaa vedenpainetta) pelkästään keinotekoisista eristettä, jonka paksuus ja materiaali (esim. tiivis asfalttibetoni ABT tai kumibitumivaluasfaltti KBVA) valitaan tapauskohtaisesti. Mikäli olosuhteiden takia tarvitaan parempaa suojausta (esim. rakenteeseen saattaa kohdistua pysyvää vedenpainetta tai kyseessä on ongelmajätteiden varastointi), voidaan pohjaeristeenä käyttää yhdistelmä rakennetta (mineraalinen tiiviste + keinotekoinen eriste, taulukko 5.1).

Pohjaeristeille asetettavia vaatimuksia on käsitelty tarkemmin ”Tiivistysrakenteet” – osuudessa (luku 8) ja ”Kaivu, kuljetukset ja välivarastointi” -osuudessa (luku 2). Jälkimmäisessä osuudessa on myös käsitelty suotovesialtaan rakenteelle asetettuja vaatimuksia sekä välivarastoinnille yleisesti asetettuja vaatimuksia.

Väliaikaisen kentän käytön loputtua on maaperän puhtaus todettava rakenteiden purkamisen jälkeen tapahtuvalla maanäytteenotolla ja laboratoriossa tehtävillä analyyseillä. Mikäli maaperän todetaan olevan pilaantuneen, on vastuu puhdistamisesta yleensä urakoitsijalla.

### **5.3.2 Vesien keräily ja käsittely**

Prosessin pesuvettä kierrätetään pesuysyksikössä, joko sellaisenaan tai vedenpuhdistusyksikön kautta. Puhdistusyksikössä kiertovesi (pesuneste) käsitellään saostamalla, flokkaamalla, biologisin menetelmin tai aktiivihiihluodatuksella.

Kunnostukseen käytettävän laitteiston ja siihen välittömästi liittyvien työskentelyalueiden ympäristö muotoillaan tai ojitetaan siten, että ympäristön puhtaat valumavedet eivät pääse työskentelyalueelle. Käsittelyalueella muodostuvat ja talteen kerättävät valuma- ja suotovedet johdetaan keräilykaivoon tai -altaaseen. Kaivot ja altaat on mitoitettava maksimisademäärälle riittäviksi. Niitä käytetään myös vesien laadun tarkkailuun.

Varastokasojen osalta vesien keräily- ja käsittelytarpeen määrittämiseen voidaan soveltaa ”Kaivu/massanvaihto, kuljetukset ja välivarastointi” -osiossa (luku 2) esitettyjä periaatteita.

Poistettava prosessivesi voi sisältää maasta liuenneita tai irronneita haitta-aineita ja mahdollisia käsittelykemikaaleja. Haitta-aineet ovat pesukäsittelyn jälkeen usein hyvin liukoisessa muodossa. Haitta-ainepitoisuudet määräävät veden puhdistustarpeen. Vesi on aina tutkittava ennen sen johtamista viemäriin. Vesien johtaminen jätevesiviemäriin edellyttää aina neuvottelua paikallisen viemärilaitoksen kanssa. Mikäli sopimukseen päästään, voidaan vedet johtaa kunnalliseen viemäriverkostoon (ks. myös luku 1.6.2). Viemäriin johdettavien vesien osalta noudatetaan vesilaitoksen asettamia ehtoja ja pitoisuusrajoja. Viemäroitävät vedet on johdettava hälyttimellä varustetun öljynerotuskaivon kautta. Öljynerotuskaivo huolletaan ja tarkastetaan vähintään kerran vuodessa.

Viemäriin johdettavan veden mukana ei saa olla kiinteitä aineita, joten vedet on johdettava hiekanerotuskaivon kautta. Jäteveden laimentaminen hyväksyttäviin arvoihin pääsemiseksi ei ole hyväksyttävää. Mikäli kerättävää vettä ei voida johtaa viemäriin eikä veden puhdistusta toteuteta paikan päällä, on huolehdittava varastointikapasiteetin riittävydestä. Haitta-aineita sisältävä vesi kuljetetaan suljetuissa säiliöissä puhdistamolle tai muuhun asianmukaisen luvan omaavaan käsittelypaikkaan.

### **5.3.3 Kaasujen käsittely**

Mikäli maamassat sisältävät myös haihtuvia aineita (kuten hiilivedyt tai hajua aiheuttavat yhdisteet), tulee puhdistusprosessi toteuttaa siten, ettei näitä yhdisteitä pääse ulos prosessista. Maamassojen siirtelyä ja sekoittamista tulee välttää mahdollisuuksien mukaan ja

maamassat on varastoitava tiiviisti peitettyinä. Prosessilaitteiden tulee olla kaasutiiviitä ja prosessin poistoilma tulee puhdistaa, mikäli se sisältää haitallisia yhdisteitä. Haitta-aineiden haihtuminen tulee ottaa huomioon myös työsuojelutoimia suunniteltaessa.

Kaasunkäsittelyvelvollisuudesta voidaan poiketa vain, jos haihtuvien aineiden pitoisuudet ja käsiteltävät massamäärät ovat pieniä (korkeintaan 20–40 t) eikä käsiteltävässä maamassassa ole kloorattuja yhdisteitä tai korkeita BTEX-pitoisuuksia (Mroueh et al. 1996).

### **5.3.4 Pölyämisen estäminen ja pölymittaukset**

Massojen kuljetukset ja käsittely tulee hoitaa siten, ettei ympäristölle aiheudu pölyhaittoja. Maan kaivu, seurlonta, esihomogenointi, murskaus ja syöttö ovat hyvin pölyäviä työvaiheita ja ne tulee suorittaa sisätiloissa/suljetussa tilassa/ peitteen alla tms., mikäli mahdollista. Tarvittaessa pölyäminen tulee estää kastelulla tai muulla pölyämistä tehokkaasti estävällä tavalla. Työntekijöiden tulee suojautua tarvittaessa hengityssuojaimin (EPA 1997).

Maa-ainesten varastoinnin aikainen pölyäminen tulee estää joko peittämällä tai kastelemalla. Kuljetusten ja varastoinnin aikaisen pölyämisen estämistä on käsitelty tarkemmin ”Kaivu, kuljetukset ja välivarastointi” -osuudessa.

Pölymittauksissa voidaan käyttää esimerkiksi tiehallinnon ohjeita asfalttiasemien ja murskaamojen pölymittausten suorittamiseksi (Tielaitos 1995 ja 1994).

### **5.3.5 Kuljetukset**

Maamassojen kuljettamisessa tulee käyttää asianmukaista kuljetuskalustoa. Vastaanotettavien massojen kuljetuksissa tulee käyttää kontteja tai tiiviitä lavarakenteita, joissa massat peitetään ja tarvittaessa kostutetaan.

Kuljetuskaluston puhdistuksesta on huolehdittava kuormien purkamisen jälkeen siten, että ajoneuvojen pyörien ja lava- tai muiden rakenteiden mukana ei leviä pölyä tai muita epäpuhtauksia ympäristöön. Kuljetuskaluston ja puhdistuspaikan pesuvedet sekä muut puhdistusjätteet toimitetaan asianmukaiseen käsittelyyn. Kuljetukselle asetettavia vaatimuksia on käsitelty ”Kaivu/massanvaihto, kuljetukset ja välivarastointi” -osuudessa.



### 5.3.6 Melu

Maamassojen käsittelystä, siirtelystä ja kuljetuksista sekä itse pesuprosessista aiheutuva meluhaitta tulee pyrkiä minimoimaan sijoittamalla ja ajoittamalla toiminnot siten, että haittaa aiheutuu mahdollisimman vähän. Toiminnalle voidaan asettaa aikarajoituksia, mikäli lähellä sijaitsee häiriintyviä kohteita, kuten asutusta. Rajoitukset voivat olla esim. seuraavanlaiset: toimintaa saa harjoittaa maanantaista perjantaihin klo. 7.00–20.00 (pois lukien arkipyhät). Toiminnasta aiheutuva melu ei saa tällöin lähimmässä häiriintyvässä kohteessa ylittää ekvivalenttimelutasoa 55 dB ( $L_{Aeq}$ ). Melumittauksissa voidaan käyttää esimerkiksi tiehallinnon ohjeita asfalttiasemien ja murskaamojen melumittausten suorittamiseksi (Tielaitos 1995 ja 1994).

Rajoitusten tarpeellisuutta arvioitaessa tulee huomioida se, että joissakin tapauksissa prosessin käyttäminen ympäri vuorokauden voi olla parempi ratkaisu prosessin toiminnan tasaisuuden ja laadun kannalta kuin prosessin pysäyttäminen yöksi ja uudelleen käynnistys aamulla.

### 5.3.7 Jätteiden käsittely

Jätteiden laatu selvitetään ja jätteet toimitetaan käsiteltäväksi asianmukaiseen laitokseen tai viranomaisten hyväksymään sijoituskohteeseen. Jätteiden kuljetuksissa käytetään asianmukaista kuljettajaa ja kuljetuskalustoa. Jätteille on järjestettävä jätteen laadun mukaiset varastointialueet tai -tilat. Ongelmajätteet varastoidaan suljetuissa tiloissa tai säiliöissä ja vettä läpäisemättömällä reunakorokkein varustetulla alustalla.

#### **Puhdistusjäännökset**

Pesuprosessissa syntyvät jätteet sisältävät yleensä korkeita epäpuhtauspitoisuuksia. Eri-laisia jätefraktioita voivat olla eri vaiheiden pesulietteet ja -vaahdot sekä vedenkäsittelyssä ja mahdollisessa kaasunkäsittelyssä syntyvät jätteet. Eri jätefraktiot tulee kerätä erikseen tiiviille alustoille, altaisiin tai säiliöihin ja merkitä selkeästi. Kaikista jäännösfraktioista tutkitaan haitta-ainepitoisuudet. Tutkittujen pitoisuuksien perusteella valitaan sijoitustapa, joka voi olla jatkokäsittely ja/tai toimittaminen asianmukaisen luvan omaavaan sijoituspaikkaan (esim. kaatopaikka tai ongelmajätteen käsittely).

#### *Seulonnan ja esihomogoinnin jätteet*

Jätteet käsitellään kuten osassa 10 ”Hyötykäyttö” on esitetty. Tavanomaisen tai epäorgaanisen jätteen kaatopaikalle sijoitettavan seulaylitteen laatua ja sijoitusehtojen mukaisuutta (hienoainepitoisuus, pilaantuneisuus) seurataan käsittelyn aikana aistinvaraisesti sekä tarvittaessa pesuseulonnalla ja laboratorioanalyysin. Jos seulaylitte sisältää runsaasti haitta-ainepitoista hienoainesta tai muuta mahdollisesti likaantunutta ainesta, ma-

terიაალი seulotaan uudelleen tai käsitellään muulla tavoin sijoituspaikkaan soveltuvaksi tai toimitetaan ongelmajätteen käsittelyluvan omaavaan sijoituspaikkaan.

Jos seulaylite halutaan hyötykäyttää tai sijoittaa puhtaiden ylijäämämassojen kaatopaikalle, puhtaus on todettava ottamalla ylitteestä näytteitä, joiden hienoainepitoisuus sekä hienoaineksen sisältämien haitta-aineiden pitoisuudet tutkitaan (ks. tarkemmin osa 10 ”Hyötykäyttö” luku 10.2.1.).

*Pesussa erottuva metallipitoinen hienoaines* voidaan toimittaa hyötykäyttöön tai esim. kiinteyttää ja toimittaa kiinteytettynä kaatopaikalle tai muuhun asianmukaisen luvan omaavaan kohteeseen.

*Pesussa erottuva orgaaninen hienoaines*

- Kompostoitavaksi kelpaava jae kompostoidaan ja toimitetaan kompostoituna kaatopaikalle.
- Haitta-ainepitoisuksiensa vuoksi kompostoitavaksi kelpaamaton jae toimitetaan asianmukaisen käsittelyluvan omaavaan sijoituspaikkaan tai termiseen käsittelyyn.

*Likaiset hienoainesta sisältävät fraktiot* erotetaan ja jatkokäsitellään kompostoimalla tai kiinteyttämällä ja/tai loppusijoitetaan (kaatopaikalle tai asianmukaisen luvan omaavalle ongelmajätteen vastaanottajalle riippuen haitta-ainepitoisuuksista).

### **Muut jätteet**

- Valumavesien tasausaltaan hiekan haitta-ainepitoisuudet tutkitaan ja se toimitetaan (hyötykäyttöön, kaatopaikalle tai asianmukaisen luvan omaavalle ongelmajätteen vastaanottajalle (riippuen haitta-ainepitoisuuksista) tai ohjataan takaisin prosessiin.
- Jäteöljy toimitetaan asianmukaisen luvan omaavalle ongelmajätteen vastaanottajalle.
- Aktiivihiili toimitetaan asianmukaisen luvan omaavalle ongelmajätteen vastaanottajalle.
- Tyhjät tynnyrit toimitetaan asianmukaisen luvan omaavalle ongelmajätteen vastaanottajalle.
- Paperi- ja pahvijäte toimitetaan hyötykäyttöön.

### **5.3.8 Riskien ja epävarmuuksien hallinta**

Ympäristövaikutusten hallintaan liittyvät epävarmuudet ja riskit kartoitetaan riskitarkastelun avulla, joka sisältää suunnitelman näiden epävarmuuksien hallitsemiseksi. Tällaisia epävarmuustekijöitä voivat olla esim.

- rankkasateiden tai suurten lumimäärien aiheuttamat tulvat
- ympäristöojien jäätyminen
- vesien tai kaasujen oletettua korkeammat haitta-ainepitoisuudet, luvassa tai viemäri-laitoksen sopimuksessa asetettujen pitoisuuksien ylittyminen
- kenttärakenteen vuodot
- prosessin häiriöt.

Epävarmuuksien hallintaa varten laitoksella tulee olla päivitetty toimintaohjeet häiriötilanteiden varalta. Lisäksi laitteistoihin on liitettävä automaattiset pysäytysmekanismit, joilla estetään prosessihäiriöistä johtuvat päästöt ja vaaratilanteet.

## **5.4 Kunnostustyön valmistelu**

### **5.4.1 Luvat ja suunnitelma-asiakirjat**

Kunnostustyön valmistelun aikana huolehditaan kunnostukseen liittyvien lupien hakemisesta. Ympäristöluvan tai muun viranomaispäätöksen lisäksi kysymykseen voi tulla esim. toimenpidelupa. Tarpeen vaatiessa tehdään myös meluilmoitus.

Ennen massojen vastaanoton ja käsittelyn aloittamista on laadittava seuraavat suunnitelma-asiakirjat:

#### **Työsuunnitelma**

Työsuunnitelma liitetään urakkasopimukseen. Työsuunnitelma sisältää mm. työpiirustukset ja työselityksen, jotka ovat niin yksityiskohtaiset, että hanke pystytään toteuttamaan niiden pohjalta. (Luvussa 1.6.3 on esitetty tarkemmin työsuunnitelman sisältöä).

#### **Työmaan laatusuunnitelma**

Urakoitsijan laatusuunnitelmaa laadittaessa ja tarkastettaessa on varmistettava, että seurataan kaikkia viranomaisvaatimusten mukaisia ominaisuuksia sekä oleellisesti työn lopputuloksen laatuun vaikuttavia ominaisuuksia. Se sisältää mm. laaduntarkkailuohjelman, sekä tiedonhallinta- tai viestintäsuunnitelman (luvussa 1.6.3 on esitetty tarkemmin laatusuunnitelman sisältöä).

#### **Työmaasuunnitelma**

Työmaasuunnitelmassa on esitetty karttojen avulla työmaalla toteutettavat toiminnot, niiden sijoituspaikat ja toimintojen toteuttamiseksi vaadittavat rakenteet. (Luvussa 1.6.3 on esitetty tarkemmin työmaasuunnitelman sisältöä).

## Työturvallisuussuunnitelma

Ennen kunnostustyön aloittamista kunnostustyön päätoteuttaja (pääurakoitsija) laatii kirjallisen turvallisuussuunnitelman, jossa esitetään työmaan turvallisuuden ja työsuojelun kannalta tarpeelliset asiat (ks. myös luku 5.7 Työsuojelu). (Luvussa 1.6.3 on esitetty tarkemmin työturvallisuussuunnitelman sisältöä).

Muita kunnostushankkeen yhteydessä tarvittavia asiakirjoja ovat mm. siirtoasiakirja (kuljetuksissa).

### 5.4.2 Työmaa-alueen valmistelu

#### *Siirrettävät laitteet*

Esivalmisteluvaiheessa tehdään käsittelyn vaatimat rakenteet sekä muut työmaan käynnistämisen vaatimat toimet ja hankitaan tarvittavat lisätiedot alueen ympäristön tilasta. Toimenpiteitä ovat mm.:

- työmaateiden rakentaminen, liikennemerkkien ja opasteiden asennus
- työmaan aitaaminen ja kunnostustyöstä ilmoittavien varoituskylttien kiinnittäminen aitaan
- puiden ja poistettavien rakenteiden raivaus
- tarkistetaan, onko alueella maanalaisia rakenteita, kuten sähkö- ja puhelinkaapeleita, vesi- ja viemärijohtoja, kaasuputkia, tms.
- tarvittavien pohjarakenteiden rakentaminen
- suotovesien ja muiden mahdollisesti haitta-aineita sisältävien pintavesien keräilyn suunnittelu ja toteutus
- sähkö-, vesi ja viemäriliittymät
- alueen pintavesien kuivatuksen ja ohjauksen suunnittelu ja toteutus
- työmaakoppien ja sosiaalisten tilojen rakentaminen
- vertailutietojen hankkiminen ympäristöstä, esim. melumittaukset, hiilivety päästöt, pohja- ja pintavesien laatu
- pohjaveden tarkkailuputkien asentaminen tarvittaessa
- vartioinnin järjestäminen tarvittaessa.

**Maaperän ja pohjaveden suojaamiseksi tehtävät rakenteet on tarkastutettava/hyväksytettävä ympäristöviranomaisilla ennen toiminnan aloittamista.**

Välivarastointipaikalle asetettavia vaatimuksia ja välivarastoinnin esivalmistelua käsitellään tarkemmin osassa 2 ”Kaivu/massanvaihto, kuljetukset ja välivarastointi”.

### **5.4.3 Käsiteltävien massojen vastaanotto, varastointi ja ohjaus käsittelyyn**

Massojen soveltuvuus pesuprosessiin on varmistettava etukäteen. Käsiteltävistä maaineksista on tunnettava ainakin luvussa 5.2 ”Menetelmän soveltuvuuden arviointi” esitetyt tiedot. Vastaanotettavat massat on tutkittava ennalta riittävän hyvin kaikkien käsittelyn kannalta merkittävien haitta-aineiden ja yhdisteiden selvittämiseksi. Massojen tuojan on esitettävä vastaanottajalle tarpeelliset asiakirjat, kuten siirtoasiakirja ja analyysitulokset, joista ilmenee maamassojen sisältämät haitta-aineet ja niiden pitoisuudet, sekä raekokojakauma. Lisäksi tarvittaessa on esitettävä ympäristölupa.

Jos kemialliset analyysit on tehty pelkästään kenttämittareilla ja -analyyseillä, jos kaikkia tarvittavia haitta-aineita ja ominaisuuksia ei ole tutkittu tai jos vastaanottajalla on aistinvaraisen tutkimuksen perusteella syytä olettaa, että varmistustutkimukset ovat tarpeen, tai jos muista syistä halutaan varmistaa erän sopimuksenmukaisuus, tehdään lisätutkimukset kuormasta otettavista kokoomanäytteistä tai kentälle erikseen sijoitetuista varastokasoista. Näytteenoton edustavuuteen on kiinnitettävä huomiota. Sopimuksissa tai vastaanottoehdoissa voidaan määrittää, milloin vastaanottaja voi laskuttaa lisätutkimusten kustannukset toimittajalta.

Massojen vastaanottajan on tarkastettava tulevat kuormat ja niitä koskevat asiakirjat, sekä osoitettava massoille sijoituspaikka. Vastaanottajan tulee myös antaa tuojalle kirjallinen todistus jokaisesta vastaanotetusta kuormasta. Ainetaseiden hallintaa varten on vastaanotettavat massat, sekä käsittelyn jälkeen pois vietävät massat (puhdistettu maaines ja talteenotetut jätefraktiot) punnittava.

Urakoitsijan on ennen käsittelyn käynnistämistä varmistettava, että käsittelypaikka ja massojen sijoitusalue ovat työn vaatimassa kunnossa. Massojen varastointi on toteutettava siten, ettei siitä aiheudu maaperän tai pinta- ja pohjaveden pilaantumista, pölyhaittoja, ympäristön roskaantumista, epäsiisteyttä tai maiseman rumentumista. Loppusijoituspaikan vaatimusten mukaisuus on tarkastettava esivalmistelutöiden yhteydessä.

Toiminnassa syntyvät ongelmajätteet on varastoitava suljetuissa ja asiallisesti merkityissä astioissa. Nestemäisessä muodossa olevat ongelmajätteet on varastoitava tiiviillä ja reunakorokkein varustetulla alustalla siten, ettei niistä aiheudu haittaa ympäristölle.

Laitoskäsittelyssä massoja joudutaan yleensä välivarastoimaan ennen käsittelyä vaihtelevia aikoja. Viranomaiset voivat asettaa varastoinnille laitoskohtaisia maksimiaikoja, joita on noudatettava.

Käsittelypaikasta vastaavan on varmistettava, että

- käsittelyalueella on maamassojen varastointiin soveltuvat, pohjaeristetyt välivarastointikentät (on-site -käsittelyssä pohjaeristeille on annettu lievemmat vaatimukset)
- varastointikenttien suotovedet ja muut käsittelyssä syntyvät vedet kerätään ja johdetaan hyväksytyyn käsittelyyn
- maamassat varastoidaan siten, ettei pölyämistä pääse tapahtumaan
- maamassat varastoidaan siten, että erityyppiset massat eivät sekoitu
- laituskäsittelyssä massojen kuljetuksista aiheutuvat ympäristöhaitat minimoidaan (pölyämisen esto kustuttamalla tarvittaessa, reittivalinnat, renkaiden pesu, työajat, jos lähellä on häiriintyviä kohteita)
- muut tarvittavat toimet ympäristön suojaamiseksi on tehty.

#### **5.4.4 Massojen esikäsittely**

Ennen varsinaista käsittelyä maamassat esikäsitellään seulomalla ylisuuret (> 50 mm) kappaleet (kivet, metallit ja puu) pois. Samalla massat homogenoidaan. Seulaylitteen välivarastointia varten on varattava pohjaeristetty varastoalue.

Seulaylitteen laatua ja sijoitusehtojen mukaisuutta (hienoainespitoisuus, saastuneisuus) seurataan käsittelyn aikana aistinvaraisesti. Jos seulaylite sisältää runsaasti hienoainesta tai muuta mahdollisesti likaantunutta ainesta, on varmistettava, että se soveltuu suunniteltuun sijoituspaikkaan. Tarvittaessa materiaali seulotaan uudelleen tai käsitellään muulla tavoin sijoituspaikkaan soveltuvaksi. Seulaylitteen käsittelyä on kuvattu tarkemmin luvussa 5.3.7 ja osassa 10 ”Hyötykäyttö”, luku 10.2.1.

#### **On-site -käsittely**

Massat esikäsitellään kaivupaikalla. Seulonnan aikana seurataan maa-aineksen kosteutta ja pölyämistä ja tarvittaessa maa-aines kastellaan pölyämisen estämiseksi. Jos maa-ainekset sisältävät terveydelle erityisen haitallisia yhdisteitä tai jos vaikutusalueella on asuinalueita tai muita herkkiä kohteita, tehdään seulonnan käynnistyttyä sekä tarvittaessa myöhemmin työn aikana pölymittaukset ja työhygieeniset mittaukset työntekijöiden ja/tai mahdollisten lähialueilla olevien kohteiden suojelemiseksi. Työntekijöiden suojeleminen on huomioitava työturvallisuussuunnitelmassa.

#### **Laituskäsittely**

Massojen esikäsittely tehdään laitoksessa. Tällöin esikäsittelyä koskevat vaatimukset on esitetty laitoksen ympäristöluvussa. Vaatimukset ovat samankaltaiset kuin on-site -käsittelyssä.

#### **5.4.5 Käsiteltävyyshkokeet (menetelmän soveltuvuuden varmistaminen)**

Maamassojen epähomogeenisuuden sekä näytteenottoon ja menetelmäparametreihin liittyvien epävarmuuksien vuoksi menetelmän toimivuus varmistetaan esikäsitellyistä maa-aineksista otetuista näytteistä. Näytteenotossa seurataan standardin SFS-EN-932-1 vaatimuksia (näytteenotto kasasta). Otetaan vähintään yksi kokoomanäyte kutakin erilaista materiaalierää kohti. Näytteistä tutkitaan ainakin raekokojakauma ja haitta-ainepitoisuudet (Mroueh et al. 1996).

Mikäli ennakkokokeet (ks. luku 5.2.2) on tehty maaperänäytteistä (eikä kaivetuista ja esikäsitellyistä maa-aineksista), tulee tässä vaiheessa varmistaa, että kyseisen materiaalierän laatu vastaa oletettua.

Pesuprosessin käynnistysvaiheessa tulee suorittaa testiajo (koskee ainakin yksittäisiä on-site -hankkeita ja laitoksia, joissa materiaalia ei tunneta hyvin). Testiajossa tutkitaan ja varmistetaan, että prosessilla päästään odotettuun tulokseen, ja säädetään prosessia tarpeen mukaan. Vasta tämän jälkeen käynnistetään varsinainen prosessi. Vaihtoehtoisesti voidaan ensimmäisistä pesueristä tehdä tihennetyt seurantamittaukset.

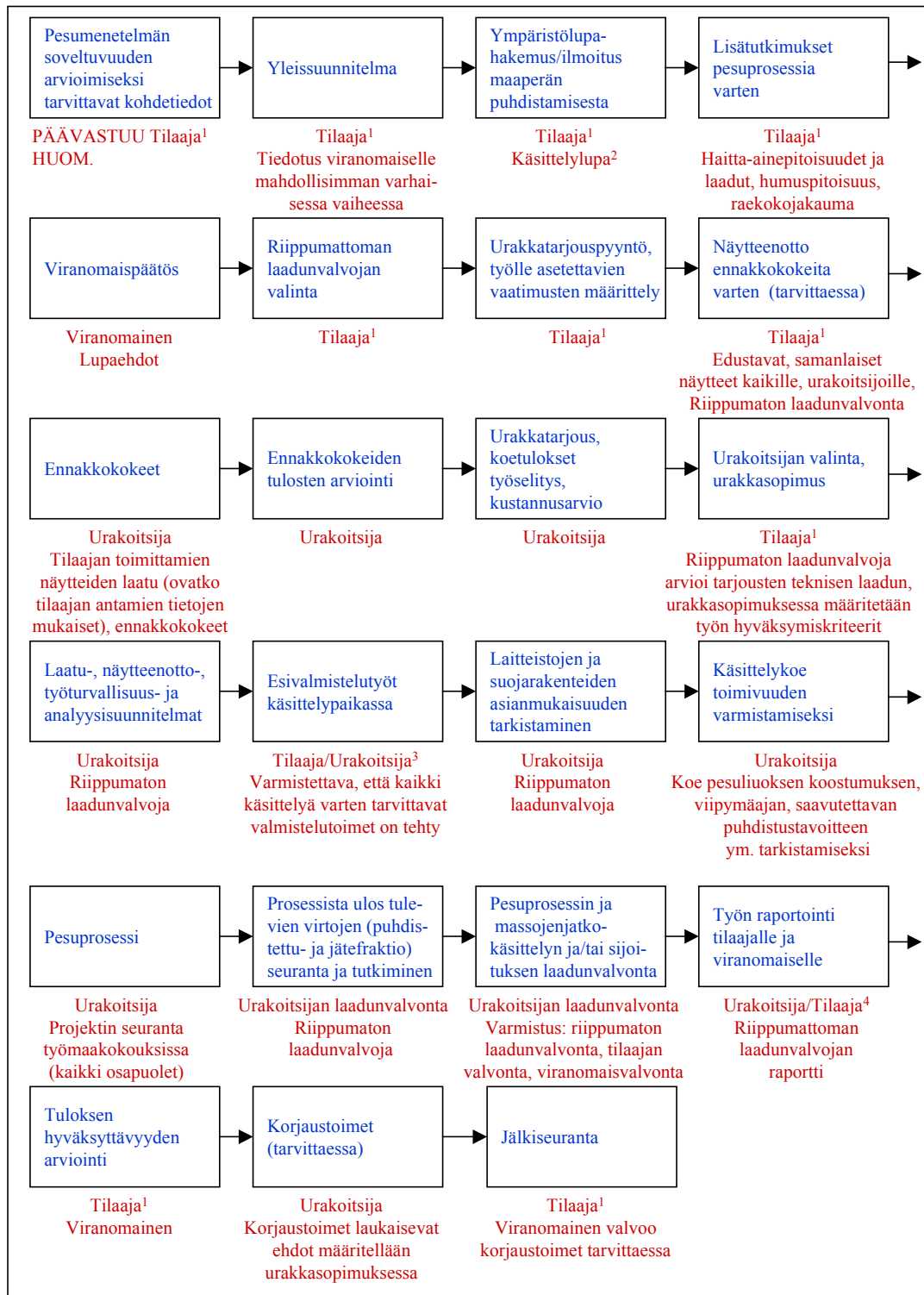
### **5.5 Kunnostustyön laadunhallinta**

#### **5.5.1 Pesuprosessin toteutuksen päävaiheet ja vastuut**

Kuvassa 5.3 on lyhyesti kuvattu kohteessa toteutettavan on-site -pesuprosessin päävaiheet ja eri osapuolten tärkeimmät tehtävät ja vastuut maan pesuprojektissa.

#### **5.5.2 Työnaikainen laadunvalvonta, laadunvalvonnan koemenetelmät ja näytteenotto**

Kunnostusprosessin ja sen aikaisten ympäristökuormitusten hallinnan keinoja ovat rakenteiden, varastokasojen ja laitteistojen kunnan seuranta säännöllisin tarkastuksin (taulukko 5.2), prosessin seuranta ja laadunvalvonta sekä poistovirtojen määrän ja laadun seuranta käsittelylaitteistojen toiminnan ja käsittelystä aiheutuvien ympäristökuormitusten arvioimiseksi. Käynnistysvaiheessa ja maa-ainesten laadun muuttuessa käsittelyn toimivuus varmistetaan seuraamalla ja valvomalla prosessia tavallista tarkemmin esim. ensimmäisen työvuoron ajan. Varsinainen kunnostustyö voidaan käynnistää vasta, kun toimivuustestin tarkkailutulokset ovat valmiit ja käsittelyn toimivuus varmistettu (Sarkkila et al. 2002).



<sup>1</sup> Tilajaajan sijalla voi olla myös tilajaajan edustajakseen nimittämä taho.

<sup>2</sup> Maamassojen kaivu, sen vaatimat luvat ja toimenpiteet eivät ole mukana tässä taulukossa.

<sup>3</sup> Sijoituskohteesta tai käsittelypaikasta vastaava, joka voi sopimuksen mukaan olla urakoitsija, tilajaaja tai muu taho vastaa, että käsiteltävien massojen varastoinnin vaatimat kenttärakenteet, vesien keräily- ja käsittelyjärjestelyt ym. toimet on tehty. Urakoitsija varmistaa, että kaikki tarvittavat valmistelut on tehty ennen käsittelyn aloittamista.

<sup>4</sup> Urakoitsija ja laadunvalvoja raportoi tilaajalle, tilajaaja raportoi viranomaiselle

Kuva 5.3 On-site -pesuprosessin toteutuksen päävaiheet ja vastuut.



Taulukko 5.2 Toiminnan hallitsemiseksi tehtävät tarkastukset prosessialueella (kaikki tarkastukset ja huomiot dokumentoidaan).

Tarkastettavat kohteet	Tarkastustiheys
Alueen yleinen siisteys	Jatkuvaa
Varastokasat, suojapeitteiden kunto ja kiinnitykset ym.	Jatkuvaa
Kenttärakenteiden kunto	1–4 viikon välein
Reunaojien kunto (tukkeutuminen)	1–2 viikon välein
Salaojien toimivuus	Noin kerran kuukaudessa
Vesien keräilyaltaat	Noin kerran kuukaudessa
Suotoveden tarkkailukaivo	Noin kerran kuukaudessa
Vesien käsittelylaitteiston kunto	Noin kerran kuukaudessa
Kaasujen käsittelylaitteiston kunto	Jatkuvaa
Öljynerotuskaivon toiminta ja öljynerottimen täyttyminen	Noin kerran kuukaudessa
Öljynerottimen hälyttimen tarkastus	Noin kerran kuukaudessa
Kemikaalien ja jätteiden varastointi: - tilojen ja/tai säiliöiden kunto - säilytystapa	Noin kerran kuukaudessa
Sammutusvälineiden kunto ja öljynimeytysaineen saatavuus	Noin kerran kuukaudessa
Aidat, varoituskyltit, ym.	Jatkuvaa
Pölypitoisuus (leijumamittaukset, SFS 3863 mukaisesti: keräysaika 2 h, leijuman enimmäissuositus 0,4 mg/m <sup>3</sup> )	Säännöllisesti (arvioidaan ta- pauskohtaisesti käsiteltävän massan pölyävyyden, sään ym. tekijöiden perusteella)
Melu (standardin SFS 2881 (IEC179) mukaisilla mittausvä- lineillä ja standardin SFS ISO-1996-2 mukaisella mittaus- menetelmällä)	Säännöllisesti
Haju (aistinvarainen)	Jatkuvaa

Työmaan laadunvalvonta perustuu näytteenottoon kaikista massavirroista.. Pesuprosessin toiminnan seuraamiseksi ja sen laadun varmistamiseksi otetaan säännöllisesti näytteitä sekä syötettävästä maamassasta että kaikista poistovirroista. Käsiteltävien ja puhdistettujen massojen sekä poistovirtojen analyysit tehdään samoilla menetelmillä. Maa-aineserät säilytetään erillään kunnes analyysitulokset on saatu. Mikäli vaadittua puhdistustulosta ei ole saavutettu, erä on käsiteltävä uudelleen (Mroueh et al. 1996).

Kunnostushankkeelle asetettujen laatuvaatimusten toteutumisen varmistamista varten urakoitsija laatii kohdekohtaisen työmaan laatusuunnitelman. Laatusuunnitelman tarkoituksena on tarkentaa urakkasopimuksessa esitettyjä asioita ja varmistaa eri osapuolten yhteistoiminnan sujuvuus ja lopputuloksen laatu. Laatusuunnitelmassa kuvataan kaikki työnaikaisen laadunvalvonnan tärkeimmät tehtävät, joita ovat:

- materiaalin laatu- ja haitta-ainepitoisuusvaihtelujen huomioiminen
- syötettävän maa-aineksen laadunvalvonta
- prosessin valvonta
- puhdistustuloksen valvonta, käsitelty maa-aines (tavoiterajojen alittuminen)

- käsittelyssä syntyvien poistovirtojen tarkkailu
- käsittelyn lopettamisen valvonta ja hyväksyminen.

Kaikista työmaalla toteutetuista toimenpiteistä, käsitellyistä massamääristä, suoritetuista mittauksista ja tutkimuksista tehdään merkintä työmaapäiväkirjaan päivittäin. Työpäiväkirjoihin kirjataan myös laadunvarmistusnäytteenotot, muut laadunvalvontatoimet, käyttöhäiriöt ja havainnot poikkeamista. Lisäksi kaikki työn aikaisten mittausten tekoajat, näytteenottopaikat, otettujen näytteiden numerot, mittaustulokset ja näytteenottajan tunnistetiedot kirjataan. Työn valmistuttua pesuprosessin laaduntarkkailusta on laadittava loppuraportti (ks. kohta 5.5.4 Dokumentointi).

### **Syötettävän maa-aineksen laadun valvonta**

Yleisen periaatteen mukaan pilaantuneen maan toimittaja vastaa käsiteltävän maa-aineksen laadun selvittämisestä ja tietojen oikeellisuudesta (haitta-aineet ja pitoisuudet). Mikäli pitoisuustiedot ovat selvästi puutteelliset, urakoitsija voi edellyttää lisätietoja massojen toimittajalta. Urakoitsijasta riippuen vastaanotettavan maa-aineksen laatua voidaan lisäksi valvoa esim. pistokokein, vaikka sitä ei edellytettäisikään ympäristöluvassa. Prosessin toimivuuden kannalta syötettävän massan laadun valvonnassa seurataan lähinnä massan fysikaalisia tasalaatuisuustekijöitä (esim. savipitoisuus, vesipitoisuus).

Tarvittaessa prosessin toiminnan seuraamiseksi syötettävästä massasta otetaan näytteitä, esim. näyte/100 t. Näytteenoton tarve on kuitenkin tilannekohtainen ja riippuu täysin siitä, kuinka hyvin maa-ainesten laatu tunnetaan (Mroueh et al. 1996). Analyysit on teetettävä yleisin, tarkoitukseen sopivin menetelmin laboratoriossa, jolla on asianmukainen laadunvarmistusjärjestelmä.

### **Prosessin valvonta**

Prosessin ohjaus ja valvonta voidaan toteuttaa eri tavoin riippuen käytettävästä laitteistosta. Prosessin toiminnasta voidaan valvoa:

- kaikkien syöttö- ja poistovirtojen määrää
- pesuveden/ kiertoveden määrää
- kiertoveden haitta-ainepitoisuuksia
- mahdollisten pesun lisäaineiden määrää (pesuaineet, pH:n säätökemikaalit tms.)
- prosessiolosuhteita (lämpötila, pH ym.)
- jäteveden määrää

- jäteveden sisältämien haitta-aineiden määrää (tutkitaan käsittelyn alussa ja sen jälkeen esim. viikoittain)
- ulkoisia olosuhteita (ulkolämpötila, sade- ja tuuliolosuhteet ym.). Pesulaitteistoa ei voi käyttää, mikäli ulkolämpötila laskee huomattavasti alle nollan °C-asteen tai kaatosateen aikana (paitsi jos laitteisto on lämmitetyssä ja/tai katetussa tilassa).

### **Käsittelyn ”puhtaan” maa-aineksen laadun valvonta**

Kustakin pesulaitoksen valmiista käsittelyerästä tulee ottaa edustavat näytteet analysointia varten. Näytteitä tulee ottaa prosessin alkuvaiheessa 1 kokoomanäyte / 150–200 tonnia käsiteltyä maata menetelmällä ASTM C702-87, koostuu viidestä osanäytteestä, vaihteoisesti koostumus varmistetaan viidellä erillisellä näytteellä / 150–200 t käsiteltyä maata.

Mikäli laatuvaihtelua havaitaan, tihennetään näytteenottoa. Jos massa on hyvin tasalaatuista, voidaan näytteenottoa harventaa (esim. 1 kokoomanäyte / 250–300 t maata). Näytteistä määritetään käsitellyissä massoissa olleiden haitta-aineiden pitoisuudet. Analyysit teetetään yleisin, tarkoitukseen sopivin menetelmin laboratoriossa, jolla on asianmukainen laadunvarmistusjärjestelmä.

Yhteenveto kutakin käsittelyerää koskevista analyysituloksista on liitettävä massojen sijoittamista koskeviin ympäristölupahakemuksiin ja toimitettava vuosiraportin yhteydessä alueelliseen ympäristökeskukseen.

### **Käsittelyssä syntyvien jätevirtojen tarkkailu**

Kiinteät ja lietemäiset poistovirrat

Kaikista kiinteistä tai lietemäisistä poistovirroista otetaan edustavat näytteet analysointia varten. Näytteenottotiheys valitaan sijoituskohteen tai mahdollisen jatkokäsittelymenetelmän vaatimusten perusteella. Jos erityisvaatimuksia ei ole, otetaan yksi kokoomanäyte / 100–150 tonnia massaa menetelmällä ASTM C702-87. Näytteen tulee koostua vähintään viidestä osanäytteestä. Jos havaitaan laatuvaihtelua, tihennetään näytteenottoa ja jos massa on tasalaatuista, voidaan näytteenottoa harventaa. Jokaisesta jäte-erästä otetaan vähintään yksi kokoomanäyte, joka koostuu viidestä tai useammasta osanäytteestä.

Näytteistä on määritettävä käsitellyissä massoissa olleiden haitta-aineiden pitoisuudet. Analyysit on teetetävä yleisin, tarkoitukseen sopivin menetelmin laboratoriossa, jolla on asianmukainen laadunvarmistusjärjestelmä.

## Prosessi- ja jätevedet

Prosessivesien tarkkailutarve riippuu käytettävästä prosessista. Jos kaikki vesi kierrätetään takaisin prosessiin, näytteitä otetaan yleensä vain, kun prosessi keskeytetään/lopetetaan jäte-erien välillä. Kierrätettävästä prosessivedestä otetaan näytteitä tarvittaessa (esim. jos prosessin toiminnassa on häiriöitä tai ei päästä haluttuun puhdistustulokseen).

Vedenpuhdistamolle johdettavien vesien tarkkailu toteutetaan jätevedenkäsittelijän vaatimusten mukaisesti. Taulukossa 5.3 on esitetty yhteenveto vesientarkkailusta.

*Taulukko 5.3 Vesien tarkkailu.*

<b>Näytteen- otkokohde</b>	<b>Tutkittavat ominai- suudet</b>	<b>Näytteenottiheys</b>	<b>Toimenpiteet ylitys- tapauksissa</b>
Prosessivedet	Esim. haitta-aine- pitoisuudet, pH, vesienkä- sittelykemikaalit	Tarvittaessa esim. prosessin keskeytys /lopetus tai prosessi- häiriö	Prosessin keskeytys, vesikierron katkaisu tms.
Viemäriin tai muuhun käsit- telyyn johdet- tavien vesien laaduntarkkai- lu (vesienke- ruuallas tai – säiliö)	pH, puhdistettavassa maassa olleet orgaaniset ja / tai epäorgaaniset haitta- aineet, veden määrä (jäteveden käsittelijän vaatimusten mukaisesti)	Esim. 4 x a	Uusintänäytteenotto, ylityksen syyn selvittä- minen, käsittelyn tehos- taminen viimeistään kolmen peräkkäisen yli- tyksen jälkeen
Suotoveden laaduntarkkai- lu	pH, puhdistettavassa maassa olleet orgaaniset ja / tai epäorgaaniset haitta- aineet, veden määrä	3–4 x a, jos kaivossa on vettä	Kenttärakenteen kunnan tarkastus
Ympäristön pinta- ja poh- javeden laatu	pH, puhdistettavassa maassa olleet orgaaniset ja / tai epäorgaaniset haitta- aineet	3–4 x a	Uusintamittaus, ylityksen syy selvittäminen

## Käsittelyn lopettaminen

Jos maan pesu toteutetaan on-site -menettelynä, asetetaan käsittelyn lopettamiselle, pesulaitteiston ja tehtyjen suojausjärjestelyjen poistamiselle sekä käsittelypaikan ennalleen saattamiselle seuraavat vaatimukset (Anon. 1999):

- Käsittely katsotaan lopetuksi vasta kun kaikki prosessin lopputuotteet (käsitelty maa-aines, jäännösfraktiot, jätevedet, muut jätteet) on toimitettu hyötykäyttöön tai loppusijoitukseen kyseisille sijoitustavoille asetettujen vaatimusten mukaisesti.
- Pesulaitteisto puhdistetaan mahdollisista haitta-ainejäämistä.

- Alueelle tehdyt suojaustoimet (esim. pohjaeristys, veden keräilyallas tms.) puretaan ja poistetaan.
- Alue saatetaan mahdollisimman lähelle kunnostusta edeltävää tilaa.
- Alueen maaperä puhtaus tulee varmistaa ottamalla näytteitä, jotka analysoidaan laboratoriossa (tai joissakin tapauksissa kenttäanalyysointilla).
- Mikäli maaperän on todettu likaantuneen, on otettava myös pohjavesinäytteet.

### **Varautuminen poikkeuksellisiin tilanteisiin**

Maan pesuprosessiin liittyviä mahdollisia onnettomuustilanteita ovat pesulaitteiston, pesuvesisäiliön tai kuljetuskaluston rikkoutuminen (esim. liikenneonnettomuus). Onnettomuuksissa saattaa haitta-aineita ja/tai pesuaineita sisältävää pesuvettä tai pilaantunutta maa-ainesta tai haituvia yhdisteitä päästä ympäristöön.

Häiriötilanteessa toimitaan ennalta laaditun toimintasuunnitelman mukaan. Toiminta on keskeytettävä mahdollisimman nopeasti. Onnettomuuksia ehkäistään huolellisella toiminnalla, kaluston kunnan säännöllisellä tarkastamisella ja ohjeiden noudattamisella. Riskejä vähennetään toimimalla laaduntarkkailuohjelman mukaisesti. Häiriötilanteisiin varaudutaan ja niiden sattuessa pyritään estämään merkittävät ympäristöpäästöt esimerkiksi varaamalla alueelle riittävä määrä imeytysmateriaalia. Toiminnan aikana ilmenevistä poikkeuksellisista tapahtumista ilmoitetaan välittömästi viranomaisille.

## **5.5.3 Riippumaton laadunvalvonta**

### **Kaivu**

Jos maan pesu suoritetaan on-site -menettelynä ja kaivu on sisällytetty urakkaan, kuuluu maan kaivu prosessin riippumattoman laadunvalvonnan piiriin. Riippumaton laadunvalvonta kohdistetaan tällöin lähinnä jäännöspitoisuuksien valvontaan sekä tarvittaessa kaivettujen maamassojen laadunvalvontaan. Riippumaton laadunvalvoja osallistuu myös kaivettujen massojen luokittelun ja jatkokäsittelytoimenpiteiden arviointiin.

Riippumattoman laadunvalvojan tehtäviin kuuluu myös varmistaa, että pestyt massat ovat puhtaita. Varmistus toteutetaan seuraamalla urakoitsijan näytteenottoa ja analyysijä sekä tarvittaessa ottamalla omia seurantanäytteitä. Analysoitavat haitta-aineet ja käytettävät analyysimenetelmät ovat samat kuin urakoitsijan tai rakennuttajan laadunvalvonnassa käytetyt. Laadunvalvontanäytteet analysoidaan aina laboratoriossa.

## **Välivarastointi**

Riippumaton laadunvalvoja varmistaa, että massojen välivarastointi tapahtuu hyväksytyssä paikassa ja ettei varastoinnissa sekoiteta erilaisia massoja keskenään, eikä tarpeettomasti sotketa puhtaita alueita.

## **Ennakkokokeet**

Riippumaton laadunvalvoja varmistaa, että ennakkokokeita varten otetut näytteet ovat edustavia ja annettujen ennakkotietojen mukaisia.

## **Pesu**

Riippumaton laadunvalvoja seuraa urakoitsijan laadunvalvontatyötä ja työtapoja neljällä tavalla:

- 1) työmaalle tehtävillä satunnaiskäynneillä, joiden yhteydessä tehdään havaintoja pesuprosessin toiminnasta, syöttö- ja poistovirtojen näytteenotosta sekä työselityksessä esitettyjen asioiden noudattamisesta.
- 2) työmaalle tehtävillä kohdennetuilla käynneillä (esim. joka toiseen näytteenottoon osallistuminen).
- 3) laboratoriotutkimusten ja koetulosten seurannalla
- 4) urakoitsijan laadunvalvontakokeiden varmistamisella rinnakkaisnäytteillä tehtävillä kokeilla.

Riippumaton laadunvalvoja valvoo työmaapöytäkirjan ylläpitoa ja sen vastaavuutta tehtyihin toimenpiteisiin. Kaikista havaituista poikkeamista ilmoitetaan välittömästi sekä tilaajan edustajalle että urakoitsijan edustajalle.

Riippumattomalle laadunvalvojalle asetettavia vaatimuksia ja laadunvalvonnan yleistä sisältöä on käsitelty luvuissa 1.3, 1.4, 1.5 ja 1.6.5.

## **5.5.4 Dokumentointi**

### **Varastointi**

Välivarastoitaessa pilaantuneita maamassoja on niiden läjitys suunniteltava kuormakohtaisesti kunkin kuorman tulevan jatkokäsittelyn perusteella siten, että eri luokkiin jaotellut massat eivät pääse sekoittumaan varastoinnin aikana. Välivarastoinnin yhteydessä on tärkeää huolellisesti ja yksiselitteisesti dokumentoida maalajeiltaan erityyppisten sekä

eri haitta-aineita ja haitta-ainepitoisuuksia sisältävien maamassojen sijainti ja massamäärät alueen varastokasoissa.

Välivarastointialuetta koskevat ympäristöpäästöjen mittaus- ja analyysitulokset dokumentoidaan. Asiakirjoista on käytävä ilmi mm. näytteenottoajankohdat, näytteenotto- ja analyysimenetelmät sekä analyysitulokset.

### **Pesuprosessi**

Kaikki toteutetut toimenpiteet, käsitellyt massamäärät, suoritettut mittaukset ja tutkimukset kirjataan työmaapöytäkirjaan päivittäin. Työmaapöytäkirjaan tulee lisäksi merkitä:

- kaikkien poistojakeiden massamäärät
- kaikkien poistojakeiden välivarastointi ja
- kaikkien poistojakeiden toimittaminen eteenpäin (kuljettajat, toimituskohteet, paimäärät)
- veden kulutus, vaihdot/kierrätys, toimituskohteet
- poikkeukselliset tilanteet (kesto, syy ja korjaustoimet).

Pesuprosessin laaduntarkkailusta on laadittava loppuraportti, jonka tulee sisältää ainakin seuraavat tiedot:

- käsitelty massamäärät
- käsittelyssä syntyneiden poistojakeiden massamäärät, laadut, edelleen toimittaminen ja toimituskohteet
- analyysitulokset
- selvitys sattuneista poikkeuksellisista tilanteista

## **5.6 Hyväksymiskriteerit ja toimenpiderajat**

Pesukunnostuksen hyväksyttävyyden arvioinnin perustana on ympäristöluvassa esitettyjen ehtojen, kuten maa-aineksen pitoisuuksille ja muille ominaisuuksille sekä poistovirtojen laadulle asetettujen vaatimusten täytyminen.

Käsitellyn maa-aineksen laatu varmistetaan näytteenotolla ja analyyseillä. Näytteistä määritetään samat ominaisuudet, jotka määritettiin pesuprosessia aloitettaessa. Käsittelyssä maa-aineksessa olevien haitta-aineiden lisäksi tutkitaan myös mahdollisten haitallisten pesukemikaalijäämien pitoisuudet. Tutkimukset tehdään yksittäisnäytteistä. Haitta-ainepitoisuudet määritetään kuiva-ainetta kohti. Jos käsiteltävät haitta-aineet ovat

seoksia, kuten esimerkiksi PAHit tai öljyt, arvioidaan puhdistustulos erikseen kevyille, keskiraskaille ja raskaille yhdisteille.

Koska maamassojen laatu muuttuu pesun aikana, lopputulosta ja käsitellyn massan sijoitettavuutta arvioitaessa otetaan huomioon myös käsittelyn mahdolliset vaikutukset maa-aineksen ominaisuuksiin.

### **5.6.1 Käsiteltyjen maa-ainesten ja syntyneiden jätevirtojen sijoituskelpoisuus**

Käsiteltyjen maa-ainesten ja muiden syntyneiden poistovirtojen sijoituskelpoisuuden arviointi toteutetaan tarkasteltavan maamateriaalin haitta-ainepitoisuuksien ja toivotun sijoituskohteen vaatimusten mukaisesti. Ympäristökuormitusten hyväksyttävyyden arviointiin vertaamalla seurantatuloksia lupaehtoihin.

#### **Kaatopaikkasijoitus**

Kriteerit maamateriaalien kaatopaikkasijoitettavuuden arviointiin tullaan esittämään EU:n kaatopaikkadirektiivin liitteen 2 kansallisia tulkintoja selventävässä oppaassa jätteiden kaatopaikkakelpoisuuden osoittamisesta. Esimerkki hyväksyttävän tason arvioinnissa mahdollisesta menettelytavasta on seuraava:

- Verrataan lopputuloksen hyväksyttävyyden arvioimiseksi otettujen yksittäisnäytteiden haitta-ainepitoisuuksien keskiarvoa ympäristöluvassa esitettyyn hyväksyttävään tasoon. Kaatopaikalle sijoitettaessa lopputulos voidaan hyväksyä, jos pitoisuus on tietyllä luottamustasolla (95 %) alle hyväksyttävän pitoisuustason.

Kaatopaikkasijoitusta on käsitelty myös osassa 9 ”Sijoittaminen kaatopaikalle”.

#### **Hyötykäyttö**

Jos pestyt maa-ainekset on tarkoitus hyötykäyttää, osoitetaan, että on täytetty luvussa 5.2.3 ja osassa 10 ”Hyötykäyttö” esitetyt ehdot. Lopputuloksen hyväksyttävyyden arvioinnissa voidaan käyttää samaa menettelytapaa kuin kaatopaikalle sijoitettaessa. Hyväksyttävän pitoisuustason ylitysriskin tulisi kuitenkin olla pienempi kuin kaatopaikalle sijoitettaessa. Hyötykäyttö muualla kuin kaatopaikalla edellyttää perusteellisempaa laadunvalvontaa kuin kaatopaikkakäsittely.



## **Palauttaminen alkuperäiselle paikalle**

Jos pitoisuudet käsitellyissä maa-aineksissa alittavat kohteessa hyväksyttävät pitoisuudet ja hyötykäyttökelpoisuus sekä hyväksyttävien pitoisuuksien alittuminen on varmistettu luvussa 5.2.3 esitetyn mukaisesti, maa-ainekset soveltuvat palautettaviksi alkuperäiselle paikalle.

### **5.6.2 Jälkitarkkailu**

Siirrettävien laitteistojen osalta jälkitarkkailuun ei yleensä ole tarvetta sen jälkeen, kun toiminta kohteessa on lopetettu ja alue siivottu, mikäli alueen maaperän tai pinta- tai pohjavesien ei epäillä pilaantuneen toiminnan vaikutuksesta. Myös työmaan koko ja alueen maankäyttö vaikuttavat jälkiseurannan tarpeeseen. Käsittelytoiminnan loputtua tehdään aina siirrettävien käsittelylaitosten osalta kertaluonteinen seurantatutkimus, jolla varmistetaan alueen maaperän puhtaus. Tämä edellyttää näytteenottoa ja näytteiden laboratorioanalyysijä.

Käsiteltyihin maamassoihin mahdollisesti liittyvä jälkiseurannan tarve määräytyy massojen sijoituskohteen asettamien edellytysten perusteella.

Kiinteiden käsittelylaitosten ympäristöluvista edellytetään yleensä prosessialueen ympäristön jatkuvaa seurantaa.

### **5.6.3 Raportointi**

Pesukunnostuksen lopputuloksen hyväksyttävyyden arvioimiseksi raportoidaan:

- näytteenottomenettely ja näytteiden määrä
- näytteistä tutkitut haitta-aineet, analyysimenetelmät ja haitta-ainepitoisuudet
- vertailu puhdistuksen tavoitetasoon.

Lisäksi raportoidaan:

- käsitelty materiaalmäärät (vastaanotettu / alueelta poistettu tai sijoitettu) ilmoitetaan märkäpainotonneina
- syntyneiden jätevirtojen laatu, määrä ja sijoituskohteet
- käytetyt lisä- ja tukiaineet, laadut ja määrät
- käsiteltyjen maamassojen ja muiden poistovirtojen vastaanotto- tai sijoituskohde

- käsiteltäviksi tulleiden maa-ainesten haitta-ainepitoisuudet
- prosessin seurantaparametrit
- prosessilaitteistojen huolto- ja ylläpitotoimet
- yhteenvedo prosessin laadunvalvonnasta (tarkkailusta) ja laadunvalvontatuloksista
- mahdollisen kaasujenkäsittelylaitteiston seurantatulokset
- syntyneiden jätteiden laatu, määrä ja sijoituskohteet
- jätevesien johtaminen
- riippumattoman laadunvalvonnan tulokset
- kenttärakenteiden kunnon seuranta
- poikkeustilanteet.

Jos pesty maamateriaali sijoitetaan hyötykäyttöön, osoitetaan, että kaikki hyötykäyttökelpoisuuden edellytykset täyttyvät.

## 5.7 Työsuojelu ja turvallisuus

Ennen pilaantuneiden maiden kunnostuksen aloittamista on laadittava kohdekohtainen turvallisuussuunnitelma, joka sisältää myös työsuojeluun liittyvät asiat. Suunnitelma on hyväksyttävä työsuojelupiirissä. Työsuojelusta vastaavien henkilöiden nimet ilmoitetaan ennen töiden aloittamista työsuojeluviranomaisille. Turvallisuussuunnitelman sisältöä on tarkemmin käsitelty luvussa 1.6.7.

Riskejä voivat aiheuttaa mm. altistuminen maa-aineksissa oleville haitta-aineille ja pölylle hengityksen kautta sekä mahdollisissa onnettomuustilanteissa altistuminen kemikaaleille ihon tai hengityksen kautta sekä työmaamelu. Maamassojen kaivun, siirtojen ja kuljetusten yhteydessä myös ajoneuvot ja työmaakoneet voivat aiheuttaa onnettomuuksia.

Maa-ainesten kunnostamiseen pesumenetelmällä liittyviä riskitekijöitä (mukailtu ohjeen FRTR 2002 perusteella) ovat fyysiset riskit ja kemialliset riskit.

### Fyysiset riskit

- 1) Pesulaitteisto siihen kuuluvine oheislaitteineen voivat aiheuttaa huomattavaa melua. Myös maa-ainesten siirtoon käytettävät työkoneet ja ajoneuvot aiheuttavat melua. Lisäksi työkoneiden liikkumisesta aiheutuu merkittävä vaaratekijä työntekijöille.

Riskien torjuntakeinoja ovat kuulosuojainten käyttö ja liikkuvien työkoneiden ja kuorma-autojen varustaminen peruutushälyttimillä. Lisäksi koneita pitää lähestyä aina edestä siten, että koneen kuljettaja näkee lähestyvän henkilön (silmäkontakti).

- 2) Palavia haitta-aineita sisältävät maa-ainekset voivat syttyä palamaan esikäsitteilyn, varastoinnin ja siirtojen aikana esim. kuormauksen yhteydessä mahdollisesti tapahtuvan kipinöinnin vaikutuksesta. Palovaaran torjuntakeinoja ovat maa-ainesten kastelu sekä kipinäsuojattujen koneiden ja laitteiden käyttäminen.

- 3) Sähköiskun vaara käytettäessä laitteistoa ulkona.

Torjuntakeinoja ovat hyväksytyjen sähkölaitteiden ja -johtojen käyttäminen sekä vikavirtakytkimien käyttö.

- 4) Laitteiston osat voivat korrodoitua tai syöpyä ollessaan kosketuksissa haitta-aineita sisältävien maa-massojen kanssa ja rikkoutua aiheuttaen vaaratilanteita.

Torjuntakeinoja ovat materiaalien haitta-aineiden kestävyysvarmistaminen sekä nestevuotojen havaitsemiseen tarkoitettujen ilmaisimien käyttö.

- 5) Kuljetinhihnojen, ruuvikuljettimien ja vastaavien käytöstä aiheutuvien fyysisten vammojen riski (vaatteiden tarttumisen aiheuttama vaaratilanne).

Torjuntakeinoja ovat suojarakenteiden käyttö, hätäkatkaisimien käyttö ja asianmukainen pukeutuminen (ei löysiä vaatteita). Laitteita käynnistettäessä on etenkin huoltokatkojen jälkeen varmistettava, että työntekijöitä ei ole vaaravyöhykkeellä.

- 6) Murskainten, seulojen tai vastaavien käytöstä aiheutuvien fyysisten vammojen riski (lentävien kivien, pölyämisen ja tärinän aiheuttamat vaarat).

Torjuntakeinoja ovat suojalasi- ja pölysuojaimien käyttö, maa-ainesten kastelu ja tärinänvaimentimien käyttö.

- 7) Kuumasta ulkoilmasta aiheutuva auringonpistoksen, nestehukan ja lämpöhalvauksen vaara, jota voidaan torjua nauttimalla riittävästi nesteitä, suojautumalla auringolta ja lepotauin.

- 8) Sähköiskun vaara ilmakaapelien alueella.

Torjuntakeinoja ovat ilmajohtojen ottaminen huomioon suunnitteluvaiheessa, suojatäisyyksien määrittäminen ja tarvittaessa virran katkaisu työskentelyn ajaksi.

- 9) Liikenneonnettomuudet, joiden torjuntakeinoja ovat työmaasta varoittavat liikennemerkki, työmaaliikenteen suunnittelu ja peruutushälyttimien käyttäminen.

### **Kemialliset riskit**

- 1) Työntekijöiden altistuminen haitta-aineille maa-ainesten siirtojen ja käsittelyn aikana (kaasut, pöly).

Altistumista voidaan estää kostuttamalla maamassat ja käyttämällä hengityssuojaimia (kaasu- ja pölysuodattimet, oikean suodatintyyppin valintaan kiinnitettävä huomiota).

- 2) Laitteiston korjaus- ja huoltotyöt ja työskentely suljetussa tilassa (mm. säiliöt, rummut) voi altistaa työntekijät haitallisille aineille, kaasuille tai hapenpuutteelle.

Torjuntakeinoja ovat tiedottaminen työntekijöille mahdollisista haitallisista aineista ja suojautumistarpeesta, happipitoisuusmittareiden käyttö, ilmanvaihdon järjestäminen, hengityssuojainten tai happinaamarin käyttö ja huoltotöiden aikatauluttaminen.

- 3) Pesulaitteiston rikkoutuminen voi aiheuttaa työntekijöiden altistumisen pesukemikaaleille tai maan sisältämille haitta-aineille.

Torjuntakeinoja ovat mahdollisimman haitattomien kemikaalien käyttö, riittävä ilmanvaihto (3–6 x h), mikäli toiminta tapahtuu suljetussa tilassa ja hälytyslaitteiden käyttö.

Muita yleisiä työturvallisuuden parantamiskeinoja ovat:

- henkilökohtaisten suojainten tai kertakäyttösuojainten käyttö (haitta-ainekohtaiset suodattimet, pölysuodattimet, haalarit, käsineet, saappaat)
- työntekijöiden koulutus ja perehdyttäminen työmaakohtaisesti turvallisuusnäkökohtiin
- työmaasta varoittavat liikennemerkki, työmaaliikenteen suunnittelu, peruutushälyttimen käyttäminen, kaivantojen aitaaminen
- Pölynvähentämistoimenpiteet (kastelu, maamassojen peittäminen, pölynsidonta)
- meluhaittojen vähentämistoimenpiteet (kuulosuojainten käyttö)
- työmaaparakkijärjestelyt (likaiset vaatteet, pesutilat, pukuhuoneet, toimisto- ja taukotilat)
- peseytymismahdollisuuksien järjestäminen
- säännölliset terveystarkastukset.

Turvallisuus- ja työsuojeluasioiden periaatteita on käsitelty myös luvussa 1.6.7 Työsuojelu. Yksityiskohtaisemmin asiaa on esitelty mm. Saastuneen maa-alueen tutkimuksen ja kunnostuksen työsuojeluoppaassa (Nikulainen & Kalevi 1997). Käytännön ohjeita työsuojelusta on esitetty mm. Ympäristögeoteknisessä näytteenotto-oppaassa (Suomen Geoteknillinen Yhdistys 2002) ja FRTR:n internet-sivuilla (<http://www.frtr.gov>).

## 6. Kompostointi

### 6.1 Yleistä

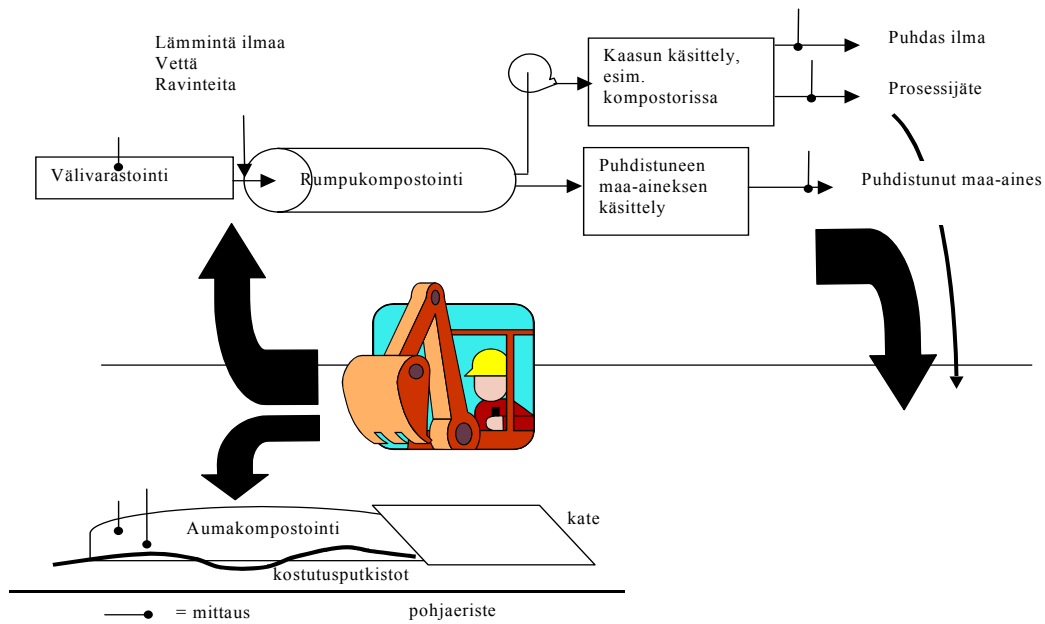
**Biologisissa käsittelymenetelmissä hyödynnetään mikrobipopulaatioiden kykyä hajottaa maaperän orgaanisia haitta-aineita. Mikrobiaktiivisuutta parannetaan yleensä lisäämällä ravinteita ja happea sekä kompostoinnissa maa-ainesta kuohkeuttavaa tukiainetta.**

**Biologisen käsittelyn päävaihtoehdot ovat maa-ainesten kaivua edellyttävät kompostointimenetelmät ja kohteessa toteutettavat in-situ-menetelmät. Mikrobiaktiivisuutta voidaan hyödyntää myös muissa käsittelymenetelmissä, kuten huokosilmäkäsittelyssä.**

**Pilaantuneiden maiden kompostointi toteutetaan yleensä aumakompostointina. Aumat voivat olla joko sekoitettavia tai ilmastettuja. Rumpukompostointi on aumakompostointia kalliimpi, erityisesti pienehköille erille soveltuva käsittelymenetelmä.**

Biologinen käsittely voidaan toteuttaa kohteessa on-site -menettelynä, jossa maa-ainekset kaivetaan ja kompostoidaan aumoissa tai rumpukompostorissa (kuva 6.1). In-situ-menetelmissä maaperään ympätään tarvittavat mikrobit ja ravinteet. Yleisin toteutusmuoto nykyisin on aumakompostointi käsittelykeskuksissa tai pysyvissä käsittelypaikoissa. Tässä raportissa käsitellään ainoastaan kompostoinnin laadunhallintaa.

Kompostoinnissa pilaantunut maa-aines sekoitetaan huokoisuutta parantavan tukiaineen (esim. hake, kuorike, turve, olki) ja mikrobitoiminnan edellytyksiä parantavien ravinteiden kanssa. Useimmiten käytetään hyväksi maaperässä luontaisesti olevien mikrobien kykyä hajottaa haitta-aineita, mutta myös mikrobiympörien käyttöä on kokeiltu. Kompostin toiminta edellyttää kosteuden, happipitoisuuden ja pH:n pitämistä mikrobitoiminnalle sopivalla tasolla. Jotta olosuhteet pysyvät edullisina tasaiselle puhdistustoiminnalle, kompostia on hoidettava säännöllisesti.



Kuva 6.1 Rumpu- ja aumakompostointiprosessit.

## 6.2 MENETELMÄN SOVELTUVUUDEN ARVIOINTI

Kompostointi soveltuu parhaiten helposti tai kohtuullisen helposti hajoavien ja ainakin jossain määrin vesiliukoisten orgaanisten haitta-aineiden käsittelyyn. Haihtuvien haitta-aineiden käsittely edellyttää kaasujen keräilyä ja käsittelyn yhdistämistä kompostointiin. Rumpukompostointi soveltuu parhaiten silloin, kun pilaantunutta maa-ainesta ei ole suuria määriä ja orgaanisen aineksen osuus on merkittävä. Aumakompostointi soveltuu, jos haitta-ainepitoisuudet eivät ole hyvin korkeita ja aumoille löytyy vaatimukset täyttävä, riittävän tilava sijoituspaikka.

Merkittävimmän kompostoitavuuteen vaikuttavia maa-aineksen ominaisuuksia ovat haitta-aineiden laatu ja pitoisuudet, maa-ainesten saven ja orgaanisen aineksen pitoisuus, saven laatu, pH ja vedenpidätyskyky (Anon. 1993).

Kompostoinnin soveltuvuuden arvioimiseksi on tunnettava ainakin seuraavat ominaisuudet:

- Haitta-aineiden laatu ja pitoisuudet (keskiarvo ja jakauma) maa-aineksessa
  - yhdisteseoksista (kuten esimerkiksi PAHit ja öljyt) eri fraktioiden määrä maa-aineksessa

- öljyillä pilaantuneista maista myös PAHit. Selvitettävä, onko tarpeen tutkia PCB-pitoisuudet
- haihtuvien yhdisteiden osuus ja/tai pitoisuudet. Bensiinillä pilaantuneista maista myös MTBE ja BTEX
- saha-alueilta dioksiini- ja furaanipitoisuudet
- myös raskasmetallien ja muiden biohajoamattomien haitta-aineiden pitoisuudet tutkimistarve selvitettävä ja tarvittaessa analysoitava.
- Kosteus, pH, hiili-, typpi-, fosfori- ja kaliumpitoisuudet.
- Maa-aineksen hiukkaskokojakauma, savespitoisuus ym.
- Loppusijoituskohteen vaatimat tavoitepitoisuudet.

### **6.2.1 Maa-ainesten soveltuvuus käsiteltäväksi**

Maa-ainesten korkea savipitoisuus hankaloittaa kompostointia. Saven kaasunläpäisevyys on pieni, jolloin mikrobitoiminnan vaatiman hapen saaminen tasaisesti kaikialle aumaan hankaloituu. Savi myös sitoo orgaanisia aineita, mikä heikentää niiden biologista saatavuutta. Kaasunläpäisevyyttä ja huokoisuutta voidaan parantaa käyttämällä tukiaineita.

### **6.2.2 Haitta-aineiden käsiteltävyys**

Haitta-aineiden käsiteltävyyden arvioinnissa huomioonotettavia seikkoja on esitetty taulukossa 6.1 (LFU 1991, Järvinen 2000). Korkea raskasmetallipitoisuus voi vaikeuttaa mikrobitoimintaa. Metallipitoisuudet on otettava huomioon myös lopputuotteen sijoitettavuuden arvioinnissa. Yhdysvalloissa on esitetty suositus, että kompostoitavan maaperän siirtymä- ja raskasmetallien kokonaispitoisuuden tulee olla  $< 2\,500$  mg/kg (Anon. 1996a). Raskasmetallien sietokyky on parempi, jos pH  $> 6,5$  ja kationinvaihtokapasiteetti korkea.



Taulukko 6.1 Haitta-aineiden kompostoitavuuden arvioinnissa huomioon otettavia seikkoja.

<b>Haitta-ainetyyppi</b>	<b>Ominaisuudet</b>	<b>Vaikutus kompostoitavuuteen</b>	<b>Biologinen hajoavuus</b>
<b>Bensiini- ja öljyhii-livedyt</b>			
kevyet fraktiot	Haihtuvien osuus huomattava (MTBE, BTEX, ym), MTBE erittäin helposti kulkeutuva sisältää toksisia yhdisteitä	Kaasujen käsittely välttämätöntä Kompostoitava suljetussa tilassa Parhaiten soveltuu ilmastuksen ja kompostoinnin yhdistelmä	1 (jos haihtuvien päästöt hallitaan) (MTBE heikosti biohajoava)
keskiraskaat fraktiot		Soveltuvat hyvin kompostoitaviksi	1
raskaat fraktiot		Hajotettavissa, mutta vaativat optimoidut olosuhteet,	2 tai 3 Pitkään maaperässä olleet öljytuotteet heikoimmin hajoavia (sitoutuminen, haihtuvat ja reagoivat poistuneet)
<b>Aromaattiset hiilivedyt</b>	Kevyet haihtuvia ja toksisia	Kuten bensiinihiilivedyt	
<b>Klooratut alifaattiset hiilivedyt</b>	Haihtuvia, helposti kulkeutuvia, voivat kulkeutua eristemateriaalien läpi (HDPE, mineraalieristeet)	PCE hajoaa anaerobisissa olosuhteissa TCE ja DCE hajoavat sekä anaerobisissa että aerobisissa olosuhteissa	3 (in-situ-käsittelyt)
<b>Fenolit</b>	Voivat polymerisoi-tua ja sitoutua humusaineisiin	Hajoavia	1 vai 2
<b>PAH</b>	PAH-koostumus vaikuttaa biologiseen hajoavuuteen Kevyimmät lievästi haihtuvia ja kulkeutuvia	1–3 -renkaiset hyvin tai melko hyvin hajoavia 4-renkaiset lisäravinteiden läsnä ollessa 5-renkaiset lähes hajoamattomia	2–3 Pitkään maaperässä olleet heikoimmin hajoavia
<b>Syanidit</b>		Vapaat syanidit voivat hajota biologisesti kompleksit lähes hajoamattomia	3
<b>PCB</b>		Heikosti hajoavia (> 5 Cl-atomia) tai hajoamattomia	3–
<b>Dioksiinit ja fu-raanit</b>		Hajoaminen hyvin vähäistä nykyisillä menetelmillä	3–

1 helposti hajoavia

2 kohtalaisesti biohajoavia, esim. komponenttijakauma voi vaikuttaa hajoavuuteen

3 heikosti biohajoavia, kompostointi ainoastaan, jos hajoaminen on osoitettu ennakko- ja pilot-kokeilla

### 6.2.3 Ennakkotutkimukset

Biologisen käsittelymenetelmän käyttökelpoisuus on aina varmistettava. Jos tekniikan soveltuvuus käsiteltäville haitta-aineille ja maa-ainestyypeille tunnetaan kokemuksen perusteella, kohdassa 6.2 esitetyt tiedot maa-ainesten laadusta sekä haitta-aineiden ominaisuuksista ja pitoisuuksista ovat yleensä riittäviä. Lisäksi varmistetaan, että maa-ainesten laatu ja pitoisuudet on analysoitu asianmukaisen laatujärjestelmän omaavassa analyysilaboratoriossa yleisesti hyväksytyillä menetelmillä ja että maa-aineksista on tutkittu kaikki tarvittavat ominaisuudet. Jos maa-ainekset viedään kompostoitaviksi käsittelypaikkaan, jolla on jo ympäristölupa, tarkistetaan, että maa-ainekset ovat vastaanottoehtojen mukaisia.

Ennakkotutkimukset käsiteltävyyden arvioimiseksi ovat tarpeen, jos aikaisempien kokemusten pohjalta ei voida varmasti todeta, että menetelmällä päästään haluttuun lopputulokseen. Esimerkkejä tällaisista tapauksista ovat heikosti hajoavia haitta-aineita tai monimutkaisia haitta-aineseoksia sisältävät maa-ainekset.

*Näytteenotto:* Kuten yleensä otettaessa näytteitä maa-ainesten käsiteltävyyden arvioimiseksi, näytteiden edustavuuteen on kiinnitettävä huomiota (ks. osa 1, kohta 6). Näytteitä käsiteltäessä on varottava tuhoamasta tai heikentämästä tutkittavan maa-aineksen mikrobiaktiivisuutta. Näytteen jyrkkiä kosteus- ja lämpötilavaihteluja tulee välttää. Näytteiden säilytysajan on oltava lyhyt, yleensä alle 48 h ja säilytykseen soveltuu parhaiten polyeteenipussi (Anon. 1993).

*Laboratoriokokeet:* Laboratoriokokeiden tuloksia käytetään mikrobivalintaan, ravinnelisäystarpeen, pH:n ja muiden prosessiolosuhteiden määrittämiseen, puhdistustehokkuuden ja käsittelyajan arviointiin sekä kaasujen ja vesien käsittelytarpeen arviointiin. Vähintään kahden tai kolmen rinnakkaiskokeen teko sekä käsittelemättömän maanäytteen käyttö vertailunäytteenä on suositeltavaa. Laboratoriokokeilla pystytään osoittamaan, että menetelmä voi toimia, mutta pelkästään niiden tulosten perusteella ei toimivuutta kentällä vielä voi arvioida. Toimivuus kentällä voi olla huomattavasti parempi kuin laboratoriossa. Toksisuustestit ovat suositeltavia, jos epäillään haitallisia hajoamistuotteita.

*Pilot-mittakaavan kokeet:* Pilot-mittakaavan kokeiden tavoitteena on varmistaa, että laboratoriokokeiden perusteella alustavasti toimivaksi arvioitu menetelmä toimii myös käytännön mittakaavassa. Pilot-mittakaavan kokeita tarvitaan, jos samantyyppisestä maa-aineksesta ja haitta-aineista ei ole riittävästi ennakkokokemusta. Tavoitteen vuoksi pilot-kokeissa on tehtävä käytännön mittakaavaa huomattavasti yksityiskohtaisempi monitorointi- ja valvontasuunnitelma.

## 6.2.4 Kompostoinnin lisä- ja tukiaineet

Kompostointiolosuhteiden säätämiseksi optimaalisiksi maa-aineksen laatua parannetaan käyttämällä tukiainetta, happamuuden säätöainetta ja ravinteita sekä tarvittaessa säätämällä kosteutta. Tarvittavat tuki- ja lisäainemäärät määritetään maa-aineksen laadun sekä mahdollisten ennakkokokeiden perusteella. (C:N ~20:1–35:1, N:P ~5:1, kosteus 40–60 %, happi > 5 %, pH 6,5–8,0).

Kompostin tukiaineina voidaan käyttää mm. puuhaketta, kuoriketta tai jo kompostoituja massoja, joiden haitta-ainekoostumus on sama kuin käsiteltävän maa-aineksen haitta-ainekoostumus. Lisä- ja tukiaineessa ei saa olla kompostin jatkokäyttöä haittaavia materiaaleja tai haitallisia aineita. Niistä on tunnettava ainakin sähkönjohtavuus, pH ja kosteuspitoisuus, tukiaineen C:N-suhde sekä mahdollisten haitta-aineiden pitoisuudet. Kaupallisista lisäaineista on oltava käyttöturvallisuustiedotteet.

Tukiainemäärät minimoidaan, koska tavoitteena ei saa olla haitta-ainepitoisuuksien laimentaminen. Lisäainevalinnoissa otettava huomioon myös niiden mahdolliset hajuhaitat.

## 6.3 Ympäristövaikutusten hallinta

### 6.3.1 Maaperän sekä pohja- ja pintavesien suojaus

#### Kompostikentän rakenteet

Kompostointialueelle, kompostin sekoitukseen käytettävällä alueella ja kompostoitavien maa-ainesten varastointialueelle rakennetaan veden kulkeutumista ehkäisevät pohjarakenteet ja järjestetään suoto- ja valumavesien keräily. Tämä koskee myös rumpukompostointia. Jos kompostointi on tilapäistä, voidaan hyväksyä kevyemmät pohjarakenteet kuin pysyvissä käsittelypaikoissa. Jos käsittelyalueen käyttöaika ylittää 3 vuotta, kompostointia ei voida pitää tilapäisenä.

Kompostikentän pohjarakennemateriaalien (kulutuskerros ja tiivistekerros) on oltava kompostin suotovesiä ja käsiteltäviä haitta-aineita kestäviä. Kulutuskerroksen materiaalin on kestävä myös käytettävien työkoneiden pyöräkuormitus. Pohjarakenteen pinnan kallistuksen on oltava sellainen, että vesi ei keräänny rakenteen pinnalle, aina vähintään 2 %.

*Pysyväksi tarkoitettu kompostointikenttä* on perustettava routimattomalla ja painumattomalle alueelle. Ainakin epätasaiset painumat eli rakenteiden rikkoutuminen on estet-

tävä, eivätkä kentän kaadot saa muuttua. Kuormaimet ja muut kompostin aiheuttamat (epätasaiset) kuormat eivät saa rikkoa tiivisterakenteita, salaojitusta tai kulutuskerrosta.

Toimivat rakennekerrokset voidaan toteuttaa eri tavoin. Tavanomainen ratkaisu sisältää taulukon 6.2 mukaiset kerrokset.

*Taulukko 6.2 Esimerkki kompostikentän rakennekerroksista.*

<b>Rakennekerros</b>	<b>Kerrosmateriaali</b>
Pinnan tiivistekerros	Kaksikerroksinen tiivisasfalttirakenne (tiivis asfaltti ABT, tyhjätila alle 3 %) tai betonilaatta + asfaltista (AB) rakennettu kulutuskerros
Jakava ja kantava kerros	Kallio- tai soramurske
Kuivatuskerros mahdollisine salaojaputkineen	Salaojitussora 260–300 mm
Tiivistyskerros	Tiivis mineraalimaa, murskebentoniitti ja/tai mekaanisesti suojattu HDPE-kalvo
Tasattu pohjamaa	

*Väliaikaisia kompostikenttiä* tulisi rakentaa vain poikkeustapauksissa. Ensisijaisesti on harkittava mahdollisuuksia pysyvään ratkaisuun. Väliaikaisella kentällä (käyttöaika 1–3 vuotta) on periaatteessa samat toiminnalliset vaatimukset kuin pysyvällä kentällä. Rakenteissa tingitään kuitenkin rakennekerrosten paksuuksista, materiaaleista ja materiaalien pitkäaikaiskestävyydestä. Pohjamaan osalta vaatimukset ovat samat: painumattomuus, routimattomuus ja kaatojen toimivuus. Rakennekerroksissa voidaan käyttää erilaisia ratkaisuja kompostoitavista materiaaleista ja paikallisesti saatavista rakennusmateriaaleista riippuen.

Tyypillinen väliaikainen kenttä koostuu tasatun pohjamaan päälle levitetystä routimattomasta hiekkatäytöstä, suodatinkankaalla suojatusta kalvosta (yhdestä tai kahdesta kalvosta, yhteispaksuudeltaan noin 0,5 mm) ja routimattomasta materiaalista rakennettavasta kantavasta/jakavasta kerroksesta (150–300 mm). Tämän päälle tulee vielä mahdollinen kulutuskerros asfaltista (esim. PAB). Kuivatus hoidetaan sopivien kaatojen avulla keräämällä vedet reunaojiin, joista ne kootaan ja johdetaan vesien puhdistusjärjestelmään tai mahdollisesti viemäriin.

## **Vesien keräily**

Kentän ympäristö muotoillaan siten, että ympäristön puhtaat sulamisvedet eivät pääse valumaan kentälle. Ylimääräisten pintavesien pääsy kompostointikentälle estetään reunojen avulla.

Kompostin alapuolisesta salaojituserroksesta ja kentältä tulevan veden keräilyojista tulevat vedet johdetaan tarkkailukaivoon. Valumavesien keräilyaltaat rakennetaan maksimisademäärälle riittäviksi. Muista toiminnoista tulevia vesiä ei ole suositeltavaa sekoittaa samaan keräilyaltaaseen. Näytteenoton keräilyaltaista on oltava mahdollista.

Valumavesiä voidaan käyttää kompostin kasteluun, mikäli vesissä ei ole mikrobitoisuutta haittaavia haitta-ainepitoisuuksia (mm. suolapitoisuudet). Valumavesialtaaseen kertynyt liete palautetaan kompostiin tai sijoitetaan lietteen haitta-ainepitoisuuksien mukaisesti.

Vesien käsittelytarve määritetään tapauskohtaisen riskitarkastelun perusteella ottaen huomioon kohteen herkkyys sekä haitta-aineiden laatu, pitoisuudet ja kokonaismäärät vesissä. Vesien käsittelytarvetta arvioitaessa otetaan huomioon myös ravinteiden pitoisuudet. Herkissä kohteissa tai toksisimmille haitta-aineille hyväksyttävän pitoisuuden rajana voidaan pitää talousvedessä hyväksyttävää pitoisuutta.

Sopimuksen mukaan vedet voidaan johtaa kunnalliseen viemäriverkostoon (ks. myös luku 1.6.2). Viemäriin johdettaville vesille noudatetaan vesilaitoksen asettamia ehtoja ja pitoisuusrajoja. Vedet johdetaan kompostointialueelta hiekan- ja öljynerotuskaivojen kautta. Öljynerotuskaivot varustetaan hälyttimillä. Kaivot huolletaan ja tarkastetaan vähintään kerran vuodessa.

### **6.3.2 Päästöjen hallinta**

#### **Varastointi**

Jos maa-aineksia säilytetään kompostointialueilla, varastokasat peitetään suojapeitteellä tai säilytetään katetuissa tiloissa. Tämä koskee erityisesti haihtuvia tai hajuhaittaa aiheuttavia aineita sisältäviä maamassoja.

Kompostin lisä- ja tukiaineet, joista voi kulkeutua vesiin haitallisia (fosfaatit, nitraatit, ym.) aineita, säilytetään suljetuissa säiliöissä, muovisäkeissä, katetuissa tiloissa tms. siten, että ne eivät joudu kosketuksiin sadeveden kanssa.

Kompostoinnissa syntyville jätteille (seulontajäte, kaasunkäsittelyn suodatinpölyt ja aktiivihiilijätteet, vedenkäsittelyn lietteet, hiekanerotushiekat ym.) on järjestettävä jätteen laadun mukaiset varastointialueet tai -tilat. Ongelmajätteet varastoidaan suljetuissa tiloissa tai säiliöissä ja vettä läpäisemättömällä reunakorokkein varustetulla alustalla.

Kaikki varastoitavat materiaalit merkitään selvästi. Merkintätarroissa tai -tauluissa on oltava myös tarvittavat turvamerkinnot.

### **Kuljetukset, siirrot ja käännöt**

Pölyämisen ja haihtumisen minimoimiseksi kuivat maa-ainekset kostutetaan kuljetusten, kuormausten ja siirtojen ajaksi. Kuljetettaessa käytetään vedenpitäviä (jos massat eivät ole kuivia), korkeareunaisia ja peitettyjä lavoja.

Haihtuvia haitta-aineita sisältävien maa-ainesten siirrot ja käännöt minimoidaan ja tehdään mahdollisuuksien mukaan paikassa, jossa kaasut voidaan kerätä. Varastokasoja ja aumoja rakennettaessa voidaan haihtumista ja pölyämistä vähentää pitämällä maa-ainesten pudotuskorkeus mahdollisimman pienenä ja kuormaamalla maa-ainekset kasan suojanpuoleiseen osaan.

### **Kompostointiprosessi**

Kompostointialueesta vastaavan on huolehdittava alueen yleisestä kunnosta ja siisteydestä, mm.

- varmistamalla, että alueella on sijoituspaikat jätteille sekä työmaalla käytettävillä aineilla ja tarvikkeilla
- antamalla työntekijöille riittävät ohjeet työmaan siisteyden hallinnasta
- ottamalla alueen siisteys yhdeksi työmaalla tehtävien säännöllisten tarkastuksen kohteeksi.

Kompostin suojaamiseksi kuivumiselta sekä tuulen ja sateiden pölyämistä ja liettymistä aiheuttavilta vaikutuksilta pysyvä kompostointi toteutetaan suljetussa hallissa tai teltassa tai muulla vastaavalla tavalla suojattuna. Kertaluontoisissa ratkaisuihin komposti voidaan peittää suojapeitteellä. Jos käsitellään kompostointilämpötiloissa (< 65 °C) haihtuvia aineita, on oltava mahdollisuus myös kaasujen keräilyyn.

Hajuhaittojen mahdollisuus ja ehkäisytarve otetaan huomioon prosessin ja sijaintipaikan suunnittelussa. Vallitseva tuulen suunta pyritään ottamaan huomioon sijoituksessa. Hajuhaittojen ehkäisemiseksi voidaan kaasujenkäsittelylaitteiston lisäksi käyttää hajua pidättäviä tai ehkäiseviä seos- ja peitemateriaaleja.

Ajoneuvojen, puhaltimien ym. meluhaitta arvioidaan ottaen huomioon altistuvat kohteet ja tarvittaessa ryhdytään rajoittamistoimiin. Melua aiheuttavat toiminnot pyritään toteuttamaan päiväaikaan.

### **Poistokaasujen käsittelytarve**

Poistokaasujen käsittelytarvetta ja käsittelymenetelmiä on kuvattu luvussa 1.6.2. Kompostointihankkeissa poistokaasujen keräys- ja käsittelytarve on aina arvioitava, jos maa-aineksessa on kompostointilämpötiloissa (< 65 °C) haihtuvia haitta-aineita. Käsittelymenetelmän soveltuvuus poistokaasuille ja niiden sisältämille haitta-aineille varmistetaan. Käsittelylaitteistoon liitetään tarvittavat esikäsittely- ja näytteenottolaitteistot (tarpeen mukaan esim. kondenssivesisäiliö, hiukkasten poisto, mittausyhteet).

### **6.3.3 Riskien ja epävarmuuksien hallinta**

Ympäristövaikutusten hallintaan liittyvät epävarmuudet ja riskit käydään läpi ja tehdään suunnitelmat sekä toimintaohjeet näiden epävarmuuksien hallitsemiseksi. Tällaisia epävarmuustekijöitä voivat olla esim.

- rankkasateiden tai suurten lumimäärien aiheuttamat tulvat
- ympäristöojien jäätyminen
- vesien tai kaasujen oletettua korkeammat haitta-ainepitoisuudet, luvassa tai viemärlaitoksen sopimuksessa asetettujen pitoisuuksien ylittyminen
- kenttärakenteen vuodot
- kompostointiprosessin häiriöt.

### **6.3.4 Jätteiden käsittely**

Jätteiden laatu selvitetään (esim. hiekanerotuskaivojen kiintoaineksen raskasmetallipitoisuudet, mahdollisen seulontajätteen laatu, suodatinpölyjen haitta-ainepitoisuudet) ja jätteet toimitetaan käsiteltäväksi asianmukaiseen laitokseen tai viranomaisten hyväksymään sijoituskohteeseen. Jätteiden kuljetuksissa käytetään asianmukaista kuljettajaa ja kuljetuskalustoa.

## 6.4 Kunnostustyön valmistelu

### 6.4.1 Kompostointisuunnitelma

Kompostointisuunnitelma on hankkeen yleissuunnitelmaa yksityiskohtaisempi toteutus-suunnitelma, joka laaditaan lupavaiheen jälkeen ennen kuin hankkeen toteutus työmaal-la käynnistetään. Kompostointisuunnitelma laaditaan työmaakohtaisesti ottaen huomi-oon työmaan erityispiirteet, kuten käsiteltävän massan laatu, tavoitepitoisuudet, kohteen erityisominaisuudet jne.

Kompostointisuunnitelmassa esitetään:

- kompostointihankkeen organisaatio ja vastuuhenkilöt
- maa-aineksen lähtötiedot
- tavoitepitoisuudet
- maa-ainesten esikäsittely ja syntyvien jakeiden loppusijoitus
- tuki- ja lisäaineiden sekä jätteiden varastointi
- kompostiseoksen valmistus ja kompostin rakentaminen
- aikatauluarvio sekä toimenpiteet, jos tavoitteeseen ei päästä aikataulun mukaisesti
- kompostin hoitosuunnitelma aikatauluineen ja kriteereineen
- kaasu- ja vesipäästöjen hallinta
- näytteenotto- ja valvontatoimet ja niiden ajoitus
- toimenpiteitä edellyttävät poikkeamatilanteet
- toimenpiteet poikkeamatilanteissa
- lopputuloksen hyväksyttävyyden arvioimiseksi tarvittavat toimenpiteet
- kompostin purku ja kompostoidun maa-aineksen loppusijoitus.

Kompostointisuunnitelman lisäksi tai liitteiksi laaditaan laadunvarmistussuunnitelma ja työsuojeluviranomaisen tarkastama työsuojelu- ja turvallisuussuunnitelma sekä tarvitta-vat analyysi- ja mittaussuunnitelmat.



## 6.4.2 Työmaan esivalmistelut

Esivalmisteluvaiheessa tehdään kompostoinnin vaatimat rakenteet sekä muut työmaan käynnistämisen vaatimat toimet ja hankitaan tarvittavat lisätiedot alueen ympäristön tilasta. Toimenpiteitä ovat mm.:

- työmaateiden rakentaminen, liikennemerkkien ja opasteiden asennus
- työmaan aitaaminen ja kunnostustyöstä ilmoittavien varoituskylttien kiinnittäminen aitaan
- puiden ja poistettavien rakenteiden raivaus
- tarkistetaan, onko alueella maanalaisia rakenteita, kuten sähkö- ja puhelinkaapeleita, vesi- ja viemärijohtoja, kaasuputkia, tms.
- tarvittavien pohjarakenteiden rakentaminen
- sähkö-, vesi ja viemäri liittymät
- alueen pintavesien kuivatuksen ja ohjauksen suunnittelu
- työmaakoppien ja sosiaalisten tilojen rakentaminen
- ilman laadun (pöly, VOC) monitoroinnin järjestäminen (pölypäästöihin jatkuvatoiminen keräävä mittari) (EPA 1997)
- vertailutietojen hankkiminen ympäristöstä, esim. melumittaukset, hiilivety päästöt, pohja- ja pintavesien laatu
- pohjaveden tarkkailuputkien asentaminen tarvittaessa
- vartioinnin järjestäminen tarvittaessa.

Välivarastointipaikalle asetettavia vaatimuksia ja välivarastoinnin esivalmistelua käsitellään luvussa 2 (Kaivu/massanvaihto, välivarastointi ja kaatopaikkasijoitus). Vastaanotettavien maa-ainesten laatua valvotaan kohdan 6.6.2 mukaisesti.

## 6.4.3 Kompostoitavien maa-ainesten vastaanotto

Kompostoitavista maa-aineksista on tunnettava ainakin luvussa 6.2 ”Menetelmän soveltuvuuden arviointi” esitetyt tiedot. Vastaavat tiedot tarvitaan soveltuvin osin myös käytettävistä tuki- ja lisäaineista. Kohteeseen vastaanotettavien maa-ainesten laatua seurataan tarkastamalla kunkin maa-ainekuorman mukana tuleva siirtoasiakirja tai kuormakirja sekä tarkastamalla kuormat silmämääräisesti.

Jos analyysit on tehty pelkästään kenttämittareilla ja -analyyseillä, jos kaikkia tarvittavia haitta-aineita ja ominaisuuksia ei ole tutkittu tai jos vastaanottajalla on aistinvaraisen

tutkimuksen perusteella syytä olettaa, että varmistustutkimukset ovat tarpeen, tai jos muista syistä halutaan varmistaa erän sopimuksenmukaisuus, tehdään lisätutkimukset kuormasta otettavista kokoomanäytteistä tai kentälle erikseen sijoitetuista varastokasoista. Näytteenoton edustavuuteen on kiinnitettävä huomiota. Sopimuksissa tai vastaanottoehdoissa voidaan määrittää, milloin vastaanottaja voi laskuttaa lisätutkimusten kustannukset toimittajalta.

Jos kohteeseen otetaan vastaan erilaisia ja eri tavoin tutkittuja maa-aineseriä, ne varastoidaan siten, että erät eivät sekoitu. Maa-aineserät, joista tehdään lisätutkimuksia varastoidaan erikseen, kunnes analyysitulokset ovat valmiit.

Vastaanotettavien maa-ainesten määrästä ja laadusta ja vastaanottovaiheessa todetuista poikkeamista sekä toimenpiteistä poikkeamatapauksissa pidetään kirjaa.

## **6.5 Kunnostustyön aikainen laadunhallinta**

### **6.5.1 Kompostoinnin käynnistäminen**

Kompostoitavat massat seulotaan tarvittaessa ja homogenoidaan. Komposti sekoitetaan esimerkiksi seulonnan yhteydessä tai sekoitusaltaassa. Haihtuvia haitta-aineita sisältävien massojen sekoitus pyritään minimoimaan ja tehdään suljetuissa kaasunkeräilyllä varustetuissa tiloissa.

Kompostoinnin käynnistysvaiheessa tehdään kompostointialueen ja käytettävien laitteistojen tarkastus silmämääräisesti, tarkistetaan kompostin ravinne-, happi- ja kosteuspitoisuudet sekä haitta-ainepitoisuudet (taulukko 6.3). Kaikkien mahdollisesti käytettävien laitteiden ja laitteistojen (ilmastuslaitteet, kaasujen käsittelylaitteistot ym.) toimivuus testataan ja poistovirroista otetaan laadunvarmistusnäytteet. Poistokaasun haitta-ainepitoisuuksien kehitystä seurataan käynnistysvaiheessa tekemällä useita mittauksia ensimmäisen päivän aikana.

### **6.5.2 Tarkkailu ja valvonta toiminnan aikana**

Toiminnan ja sen aikaisten ympäristökuormitusten hallinnan keinoja ovat rakenteiden, kompostikasojen ja laitteistojen kunnan seuranta säännöllisin tarkastuksin (taulukko 6.3), kompostin hoito ja laadunvalvonta (taulukko 6.4) sekä poistovirtojen määrän ja laadun seuranta käsittelylaitteistojen toiminnan ja kompostoinnin ympäristökuormitusten arvioimiseksi (taulukko 6.5).

Taulukko 6.3 Kompostoinnin käynnistysvaiheen tarkistuslista.

Tarkistuksen tekijä ja ajankohta	Tarkistettava kohde
	Onko maa-aineksen sekä tuki- ja lisäaineiden laatua koskevat tiedot dokumentoitu asianmukaisesti
	Onko maa-aineksista sekä muista materiaaleista kaikki tarvittavat tiedot
	Onko kohteen ympäristöstä tarvittavat tiedot
	Kenttärakenteen tarkastus
	Keräilyojien ja -altaiden tarkastus
	Kompostin peitteen ja kiinnitysten kunto
	Ilmastusputkiston, puhaltimen ja venttiilien tarkastus (tarvittaessa)
	Kondenssivesisäiliön tarkastus
	Puhaltimen ja ilmastusputkiston testaus, virtaus- ja painemittaukset (tarvittaessa)
	Kompostin sekoittaminen ja auman valmistaminen
	Käynnistysvaiheen näytteenotto kompostista (haitta-aineet, ravinne-, happi- ja kosteuspitoisuudet)
	Kaasujen käsittelylaitteiston toimivuuden tarkastus (tarvittaessa)
	Kaasu- ja lämpötilamittauspisteiden tarkastus
	Kaasumittauksiin käytettävien laitteiden tarkastus ja kalibrointi
	Kompostin lämpötilan mittaus
	Poistokaasun haitta-ainepitoisuuksien mittaus ennen ja jälkeen kaasunpuhdistuslaitteistoa (käynnistysvaiheessa mittalaitteella, jolla voidaan määrittää yksittäisten komponenttien pitoisuudet)

Tarvittava kenttätarkastustiheys voidaan arvioida kompostin tilan, vuodenajan, sääolosuhteiden ja tarkkailumittausten tiheyden mukaan. Jos kompostointiin on yhdistetty ilmastus-, kaasujen keräily- ja poistokaasujen käsittely, tarkastuksia tehdään useammin kuin pelkkien kompostiaumojen tarkastuksia. Kohteessa käydään kuitenkin säännöllisin väliajoin sekä tehdään tarvittaessa lisäkäyntejä, jos esimerkiksi sääolot antavat siihen aiheutta. Tarkastusten seuranta- ja raportointilomake voidaan laatia lisäämällä taulukon 6.4 sarakkeet: tarkastuspäivämäärä, tarkastuksen tekijä ja tehdyt huomiot.

Taulukossa 6.5 on esitetty esimerkki aumakompostoinnin laadunvalvonnasta ja taulukossa 6.6 ympäristökuormitusten tarkkailuohjeesta. Laadunvalvonnan tavoitteena on seurata kompostin toimivuutta ja puhdistumisen edistymistä sekä arvioida, milloin korjaavat toimenpiteet ovat tarpeen. Tarkkailutiheyttä määritettäessä otetaan huomioon kompostointimenetelmä, kompostin tila, sääolosuhteiden vaikutukset kompostin toimintaan (talvi) ym. Näytteenotto kohdistetaan kauteen, jolloin kompostissa voidaan olettaa tapahtuvan toimintaa.

Taulukko 6.4 Toiminnan hallitsemiseksi tehtävät tarkastukset kompostointialueella.

Tarkastettavat kohteet	Tarkastustiheys
Alueen yleinen siisteys	Kerran kuukaudessa
Kompostikasat, suojapeitteiden kunto ja kiinnitykset ym.	1–2 viikon välein
Kenttärakenteiden kunto	1–4 viikon välein
Reunaojien kunto (tukkeutuminen, jäätyminen, jääpadot)	1–2 viikon välein
Salaojien toimivuus	Noin kerran kuukaudessa
Vesien keräilyaltaat	Noin kerran kuukaudessa
Suotoveden tarkkailukaivo	Noin kerran kuukaudessa
Vesien käsittelylaitteiston kunto	Noin kerran kuukaudessa
Ilmastuslaitteiston kunto	Viikoittain
Kaasujen käsittelylaitteiston kunto	
Öljynerotuskaivon toiminta ja öljynerottimen täytyminen	Noin kerran kuukaudessa
Öljynerottimen hälyttimen tarkastus	Noin kerran kuukaudessa
Kemikaalien ja jätteiden varastointi: - tilojen ja/tai säiliöiden kunto - säilytystapa	Noin kerran kuukaudessa
Sammutusvälineiden kunto ja öljynimeytysaineen saatavuus	
Aidat, varoituskyltit, ym.	Noin kerran kuukaudessa
Haju ja melu	Kenttäkäyntien yhteydessä

Taulukko 6.5 Kompostin laaduntarkkailu.

Valvottava ominaisuus	Valvontatiheys (esimerkki)	Näytteenotto (ks. liite 12)	Toimenpiteet
Kosteus	Viikoittain neljän ensimmäisen viikon ajan, sen jälkeen joka toinen viikko tai kerran kuukaudessa	Liitteen 12 ohjeen mukaisesti	Kuivien osien kastelu, jos kosteus < 40 % sekä kompostin kääntö
Lämpötila	Viikoittain, myös ulkoilman lämpötila Lämpötila ehkä merkittävin seurantakeino	Seurantapiste/50 m <sup>3</sup> , mittausvyvyys 40–5 cm, vähintään kaksi pistettä/auma, mittari kalibroitu	Sekoitus, jos lämpötila ylittää 65 °C. Kääntö ja kastelutarpeen arviointi, jos lämpötila laskee jyrkästi
pH	Viikoittain neljän ensimmäisen viikon aikana, sen jälkeen joka toinen viikko tai kerran kuukaudessa	Liitteen 12 ohjeen mukaisesti	Käännöt/ ilmastus, pH-säätö harvoin tarpeen
Kasteluun käytettävien valuma- ja suotovesien pH ja sähkönjohtavuus	Kerran ensimmäisen, toisen ja neljännen kompostointiviikon aikana	Vesisäiliöstä tai -altaasta	Käyttökelpoisuuden arviointi veden suola- ja metallipitoisuuksien perusteella
Ravinnepitoisuudet	Kompostin käännön yhteydessä	Liitteen 12 ohjeen mukaisesti	Ravinnelisäykset tarvittaessa
O <sub>2</sub> - ja CO <sub>2</sub> -pitoisuus	Valvonta ei yleensä tarpeen, voidaan käyttää ongelmien tunnistamisessa	Huokoskaasunäytteet 40–50 cm syvyydestä. Kerätään näytepussiin tai mitataan suoraan O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> -analysointorilla	

Haitta-ainepitoisuudet	Käännettävistä komposteista heti sekoittamisen jälkeen ja kun kompostin arvioidaan olevan kypsää	Näytteenotossa noudatetaan liitteen 12 ohjetta	Toimenpidetarpeen arviointi, jos haitta-ainepitoisuudet eivät laske tai havaitaan ongelmallisia haitta-aineita
------------------------	--	--	--

Taulukko 6.6 Näytteenotto poistovirroista ja ympäristöstä.

Näytteenottokohde	Tutkittavat ominaisuudet	Näytteenottotiheys	Toimenpiteet ylitystapauksissa
Viemäriin tai muuhun käsittelyyn johdettavien vesien laaduntarkkailu	pH, öljyt, muut kompostoitavat haitta-aineet, raskasmetallit, veden määrä	4 x a	Uusintänäytteenotto, ylityksen syyn selvittäminen, käsittelyn tehostaminen
Ympäristöön johdettavan käsitellyn tai käsittelemättömän veden laaduntarkkailu	pH, öljyt, muut kompostoitavat haitta-aineet, raskasmetallit, ravinteet, suolat, veden määrä	4 x a	viimeistään kolmen peräkkäisen ylityksen jälkeen
Suotoveden laaduntarkkailu	pH, öljyt, muut kompostoitavat haitta-aineet, raskasmetallit, veden määrä	3–4 x a, jos kaivossa on vettä	Kenttärakenteen kunnan tarkastus
Ympäristön pinta- ja pohjaveden laatu	pH, öljyt, muut kompostoitavat haitta-aineet, raskasmetallit, ravinteet	3–4 x a	Uusintamittaus, ylityksen syyn selvittäminen
Poistokaasujen laatu ennen puhdistinta ja puhdistuksen jälkeen	Hiukkaset, VOC, yksittäiset haihtuvat aineet (määräytyy käsiteltävien haitta-aineiden laadun perusteella)	Alussa viikoittain, kaasupitoisuuksien tasoittuessa seuranta voidaan vähentää Jos seurantamenetelmä on kokonais-VOC kenttäanalysointilaite, varmistusmittaukset laboratoriossa tai kaasukromatografilla n. joka kolmas mittauskerta	Ylityksen syyn selvittäminen, jos ylitys todetaan puhdistuksen jälkeen Varmistus, että syytä ei ole mittalaitteen toiminnan häiriö
Kaasunpuhdistuslaitteiston toiminnan valvonta tarvittaessa, esim. AH-laitteistossa näytteenotto säiliöiden välistä	VOC, ensimmäisenä läpäisevän haitta-aineen pitoisuus		Säiliöiden vaihto, jälkimmäinen säiliö ensimmäiseksi ja uusi säiliö jälkimmäisen tilalle
Jätteiden laatu	Jätetyypin mukaan valittavilla menetelmillä		

Hajuhaitan arviointi	Aistinvarainen arvio	Kenttätarkastusten ja kaasumittausten yhteydessä	Tarvittaessa ongelman syyn selvittäminen, kompostin säätö (riittävän happipitoisuuden takaamiseksi), hajua ehkäisevien toimenpiteiden käyttömahdollisuuksien selvittäminen
----------------------	----------------------	--	--

Kompostimassan laatu ja massamäärät muuttuvat kompostia valmistettaessa. Siksi kompostoitumista seurattaessa mittaustuloksia verrataan kompostoinnin aloitusvaiheessa sekoitetusta kompostista otetuista näytteistä mitattuihin vastaaviin parametreihin

### 6.5.3 Riippumaton laadunvalvonta

Kompostointihankkeissa riippumattoman laadunvalvojan käyttö voi olla tarpeen esimerkiksi, jos kyseessä on koekohde, joka vaatii toteuttajalta erityisosaamista. Myös silloin, kun hanke kilpailutetaan, voi tilaajalle olla edullista käyttää ulkopuolista, riippumatonta valvojaa.

### 6.5.4 Dokumentointi

Kompostoinnin toteutuksesta pidetään tarkkailupäiväkirjaa tai käytetään erillisiä valvontalomakkeita, joihin merkitään:

- kompostin hoito- ja huoltotoimet ja niiden ajat
- työmaatarkastukset
- näytteenottoajat, näytteenotto- ja analyysimenetelmät sekä analyysitulokset
- kompostoinnissa todetut häiriöt ja niiden korjaustoimet
- kaasujen ja vesien tarkkailumenetelmät ja -tulokset
- mahdollisen kaasujen käsittelylaitteiston toiminnan seurantatulokset
- kaikista toimenpiteistä niiden toteuttaja.

## 6.6 Hyväksymiskriteerit ja toimenpiderajat

Kompostoinnin hyväksyttävyyden arvioinnin perustana on ympäristöluvassa esitettyjen ehtojen, kuten maa-aineksen pitoisuuksille ja muille ominaisuuksille sekä poistovirtojen laadulle asetettavien vaatimusten täyttyminen.

Käsitellyn maa-aineksen laadun varmistamiseksi otetaan kompostista näytteet esim. liitteen 12 mukaisesti. Näytteistä määritetään samat ominaisuudet, jotka määritettiin kompostointia aloitettaessa. Kompostoitavassa maa-aineksessa olevien haitta-aineiden lisäksi tutkitaan myös merkittävien haitallisten hajoamistuotteiden pitoisuudet. Tutkimukset tehdään yksittäisnäytteistä. Haitta-ainepitoisuudet määritetään kuiva-ainetta kohti. Jos käsiteltävät haitta-aineet ovat seoksia, kuten esimerkiksi PAH:t tai öljyt, arvioidaan puhdistustulos erikseen kevyille, keskiraskaille ja raskaille yhdisteille. Myös maaperän pH:n tulee olla hyväksyttävällä alueella (5–7,5).

Koska massamäärät ja massan laatu muuttuvat kompostia valmistettaessa, lopputulosta ja käsitellyn massan sijoitettavuutta arvioidessa otetaan huomioon myös kompostiin lisättyjen aineiden pitoisuudet ja vaikutukset maa-aineksen ominaisuuksiin.

### 6.6.1 Käsiteltyjen maa-ainesten sijoituskelpoisuus

Ympäristökuormitusten hyväksyttävyys arvioidaan vertaamalla seurantatuloksia lupaehtoihin. Kriteerit kaatopaikkasijoitettavuuden arviointiin tullaan esittämään EU:n kaatopaikkadirektiivin liitteen 2 kansallisia tulkintoja selventämässä oppaassa jätteiden kaatopaikkakelpoisuuden osoittamisesta. Esimerkki hyväksyttävän tason arvioinnissa mahdollisesta menettelytavasta on seuraava:

- Verrataan lopputuloksen hyväksyttävyyden arvioimiseksi otettujen yksittäisnäytteiden haitta-ainepitoisuuksien keskiarvoa ympäristöluvassa esitettyyn hyväksyttävään tasoon. Kaatopaikalle sijoitettaessa lopputulos voidaan hyväksyä, jos pitoisuus on tietyllä luottamustasolla (esim. 95 %) alle hyväksyttävän pitoisuustason. Kriteeri luottamustasolle tullaan esittämään em. oppaassa.

Jos kompostoidut maa-ainekset on tarkoitus hyötykäyttää, osoitetaan, että ne on käsitelty kohdan 6.2.4 mukaisesti. Lopputuloksen hyväksyttävyyden arvioinnissa voidaan käyttää samaa menettelytapaa kuin kaatopaikalle sijoitettaessa. Hyväksyttävän pitoisuustason ylitysriskin tulisi kuitenkin olla pienempi kuin kaatopaikalle sijoitettaessa.

Jos kompostoidut maa-ainekset halutaan hyötykäyttää, kompostointiprosessin laadunvalvonnan on oltava perusteellisempaa kuin kaatopaikkakäsittelyssä. Hyötykäyttökelpoisuus edellyttää mm., että

- vastaanotettavista maa-aineksista on tutkittu myös kompostissa hajoamattomien haitta-aineiden (mm. raskasmetallit, tarvittaessa muut) pitoisuudet. Laitos varmistaa, että maa-ainekset, joissa hajoamattomien haitta-aineiden hyötykäyttöön hyväksyttävät pitoisuudet ylittyvät, eivät missään vaiheessa pääse sekoittumaan hyötykäytettävien massojen kanssa.
- vastaanotettavien maiden alkuperä ja laatu osoitetaan siirtoasiakirjalla
- kohteessa tai laitoksella on vastaanottotarkastus
- toteuttajalla on laadunvalvontasuunnitelma, jonka mukaisesti kompostoinnin laadunhallinta toteutetaan
- lopputuloksen laatu (haitta-ainepitoisuudet, pH, vesipitoisuus) osoitetaan riittävän näytteenoton perusteella
- varastointi toteutetaan siten, että puhtaiden ja likaantuneiden maa-ainesten sekoitusvaaraa ei ole
- riippumaton laadunvalvonta tai ulkopuolisen tahon laatutarkastukset tietyin väliajoin
- vastaanotetut ja tuotetut määrät, laadunalitukset ja toiminta laadunalitustapauksissa, analyysitulokset ym. kirjataan ja raportoidaan.

### **6.6.2 Raportointi**

Kompostoinnin lopputuloksen hyväksyttävyyden arvioimiseksi raportoidaan:

- näytteenottomenettely ja näytteiden määrä
- näytteistä tutkitut haitta-aineet, analyysimenetelmät ja haitta-ainepitoisuudet
- vertailu puhdistuksen tavoitetasoon.

Lisäksi raportoidaan:

- kompostoidut materiaalmäärät, vastaanotettu / alueelta poistettu tai sijoitettu (märkäpainotonneina)
- käytetyt lisä- ja tukiaineet, laadut ja määrät
- käsiteltyjen maamassojen vastaanotto- tai sijoituskohde
- käsiteltäviksi tulleiden maa-ainesten haitta-ainepitoisuudet
- huolto- ja ylläpitotoimet



- yhteenveto kompostin laadunvalvonnasta (tarkkailusta) ja laadunvalvontatuloksista
- poistokaasujen ja vesien seurannassa käytetyt näytteenotto- ja analyysimenettelyt ja todetut haitta-ainepitoisuudet, syntyvän veden määrä ja jatkokäsittelytapa (laitoksen vedet, suotovedet tarkkailu)
- mahdollisen kaasujenkäsittelylaitteiston seurantatulokset
- syntyvien jätteiden laatu, määrä ja sijoituskohteet
- jätevesien johtaminen
- riippumattoman laadunvalvonnan tulokset
- kenttärakenteiden kunnon seuranta
- poikkeustilanteet.

Jos kompostoitu materiaali sijoitetaan hyötykäyttöön, osoitetaan, että kaikki hyötykäytökelpoisuuden edellytykset täyttyvät.

## 6.7 Jälkiseuranta

Vesien laatua seurataan pohjaveden tarkkailuputkista noin vuoden ajan kompostoinnin lopettamisen jälkeen. Seuranta voidaan lopettaa suunnitelman mukaan, jos näytteissä ei todeta kohonneita haitta-ainepitoisuuksia ja viranomainen hyväksyy lopettamisen.

## 6.8 Työsuojelu ja turvallisuus

Jokaiselle kunnostustyömaalle tehdään työsuojelusuunnitelma, jossa käydään läpi työmaalla mahdollisesti työsuojeluriskejä aiheuttavat tekijät sekä toimenpiteet työntekijöiden suojaamiseksi riskeiltä. Suunnitelma hyväksytetään työsuojeluviranomaisilla.

Riskejä voivat aiheuttaa mm. altistuminen haitta-aineille hengityksen tai ruuansulatuselimistön kautta sekä mahdollisesti altistuminen mikro-organismeille. Kompostia rakennettaessa ja käännettäessä myös ajoneuvot ja työmaakoneet voivat aiheuttaa onnettomuuksia. Torjuntakeinoja ovat:

- henkilökohtaisten suojainten tai kertakäyttösuojainten käyttö (haitta-ainekohtaiset suodattimet, haalarit, käsineet, saappaat)
- työntekijöiden koulutus ja perehdyttäminen työmaakohtaisesti turvallisuusnäkökohtiin
- jalkineiden ja työvälineiden pesumahdollisuuksien järjestäminen

- peseytymismahdollisuuksien järjestäminen
- ruokailun, juomisen ja tupakoinnin kieltäminen ennen suojavaatteiden poistoa ja peseytymistä
- pölynvähentämistoimenpiteet (kastelu, maamassojen peittäminen, pölynsidonta)
- työmaaparakkijärjestelyt (likaiset vaatteet, pesutilat, pukuhuoneet, toimisto- ja taukotilat)
- säännölliset terveystarkastukset.

Jos varasto- tai kompostointitila on suljettu, ilmanvaihdon on oltava riittävä työntekijöiden suojaamiseksi (3–6 x h). Maa-aineksessa mahdollisesti olevien haihtuvien aineiden lisäksi kompostoinnissa syntyy hiilidioksidia sekä usein myös metaania ja ammoniakkaa.

## 7. Huokoskaasukäsittely

### 7.1 Yleistä

**Huokoskaasukäsittelyssä poistetaan maaperästä haihtuvia yhdisteitä imemällä huokoskaasua alipaineimukaivojen kautta. Imetty huokoskaasu käsitellään epäpuhtauksien erottamiseksi. Alipaineimun vaikutusta voidaan parantaa ilmainjektioilla, jolloin virtaus maaperässä tehostuu. Tekniikan käyttö edellyttää kohteen maaperän laadun ja siinä esiintyvien haitta-aineiden ominaisuuksien hyvää tuntemusta.**

Tässä ohjeessa maaperän huokoskaasukäsittelyllä tarkoitetaan:

- paikalla tehtävää maaperän huokoskaasukäsittelyä (in-situ-käsittely)
- haitta-aineiden poistoa maa-aineksesta alipainekäsittelyllä suljetussa tilassa, jolloin tekniikkaan voidaan yhdistää haitta-aineiden biologinen hajottaminen kompostoinnalla. Kompostointia on perusteellisemmin käsitelty luvussa 6 Kompostointi.

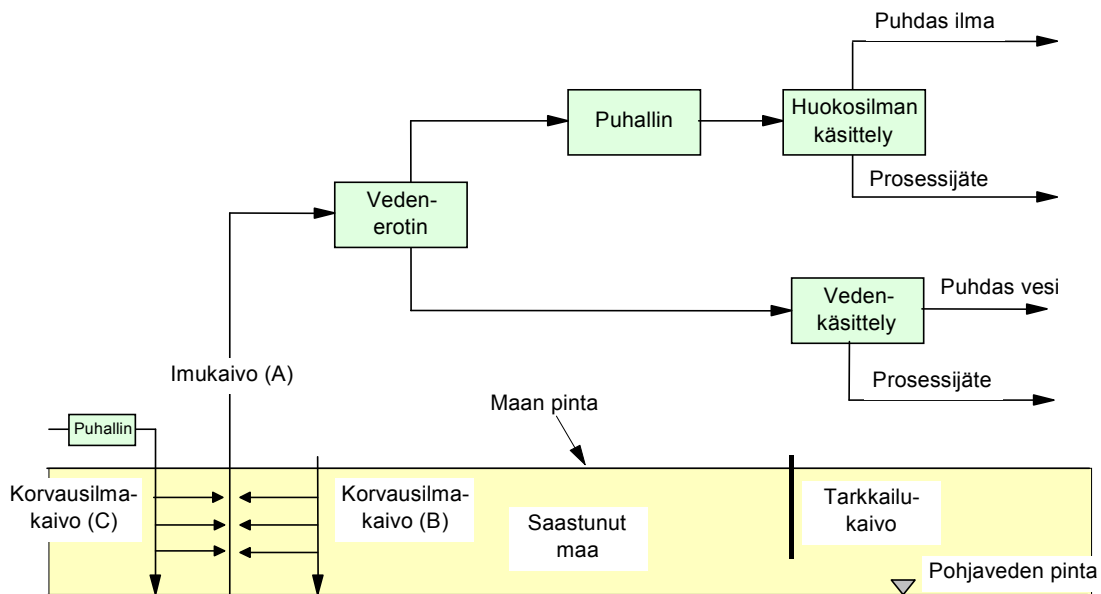
Koska likaantuneen pohjaveden käsittely on usein olennainen osa kohteessa toteutettavaa huokoskaasukäsittelyä, raportissa kiinnitetään huomiota myös pohjaveden likaantumisesta aiheutuviin erityisvaatimuksiin. Pohjaveden käsittelymenetelmät on rajattu hankkeen ulkopuolelle.

Huokoskaasukäsittelyn toimintaperiaate on esitetty kuvassa 7.1. Pilaantuneeseen maahan sijoitetaan kaivoja, joista huokosilmaa pumpataan alipaineella käsiteltäväksi maan pinnalla. Huokosilma johdetaan vedenerottimen kautta käsiteltäväksi esim. aktiivihii-liadsorberiin tai katalyyttipolttolaitteeseen.

Huokoskaasukäsittely soveltuu parhaiten helposti haihtuvien haitta-aineiden poistoon huokoisesta maaperästä pohjaveden pinnan yläpuolelta. Menetelmän käyttöaluetta voidaan kuitenkin laajentaa haitta-aineiden liikkuvuutta ja haihtuvuutta tai biohajoavuutta parantavilla menetelmillä. Näistä tärkeimmät ovat:

- maaperän lämmitys höyryä, lämmintä ilmaa, höyry/ilma-yhdistelmää, sähköä tai suurtaajuuslämmitystä käyttäen
- ilmainjektio (air injection) maaperän kyllästymättömään kerrokseen alipaineimun tehostamiseksi
- ilmainjektio kyllästyneelle vyöhykkeelle (air sparging) liuenneiden tai adsorboituneiden haitta-aineiden poistamiseksi

- paineilmainjektio (air fracturing), jossa tavoitteena on paineilmaa käyttäen luoda vaikeasti käsiteltävään maaperään haitta-aineiden kulkeutumista helpottavia käytäviä
- bioilmastus, jossa ilmaa pumpataan maaperään siten, että se tehostaa biohajoamista. Menetelmä poikkeaa ilmainjektioista siinä, että ilmaa pumpataan vain mikrobitoimintaan tarvittava määrä.



Kuva 7.1. Huokoskaasukäsittelyn periaate.

## 7.2 Menetelmän soveltuvuuden arviointi

### 7.2.1 Käsittelyn soveltuvuuteen vaikuttavia tekijöitä

Huokoskaasukäsittelyn suunnitteluvaiheessa on selvítettävä riittävällä tarkkuudella:

- puhdistettavan kohteen geologiset ja hydrologiset ominaisuudet,
- ympäristön maankäyttö ja helposti häiriintyvät kohteet,
- haitta-aineet sekä niiden ominaisuudet ja esiintymislaajuus maaperässä, huokoskaasussa ja pohjavesissä.

Tekniikalla voidaan parhaiten poistaa helposti haihtuvia yhdisteitä, kuten haihtuvia liuottimia ja bensiinihiilivetyjä. Heikommin haihtuvien yhdisteiden käsittelytehoa voidaan parantaa kohdassa 7.1 esitetyillä tehostamismenetelmillä, kuten lämmittämällä maape-

rää. Tällöin on kuitenkin tunnistettava myös tehostamismenetelmän riskit ja arvioitava, miten mahdolliset haitat ehkäistään.

Tekniikan soveltuvuuteen vaikuttavia maaperäominaisuuksia ovat mm. maaperän ilmanläpäisevyys, huokoisuus, hiukkaskokojakauma ja kerroksellisuus sekä epäpuhtauksien sijainti. Yli 20 %:n savipitoisuutta pidetään menetelmän soveltamista hankaloittavana (FRTR 2002). Soveltuvuuteen vaikuttavia tekijöitä on esitetty taulukossa 7.1.

*Taulukko 7.1 Huokoskaasukäsittelyn soveltuvuuteen vaikuttavia tekijöitä (EPA 1991a, Paatonen 1995, USACE 1995, Walsted & Christiansen 1999a ja b).*

	<b>Ominaisuudet</b>	<b>Huomioon otettavia seikkoja/kysymyksiä</b>
<b>Maaperätiedot</b>	Maaperän kerrosrakenne	Vaikuttaa oleellisesti painekentän muodostumiseen
	Maalajit	Korkea humus- tai turvepitoisuus ehkäisee haihtumista, haitta-aineet adsorboituvat humukseen Savi ehkäisee ilman kulkeutumista ja voi tukkia kaivot Kuivuminen aiheuttaa saven kokoonpuristumista
	Maaperän kaasunläpäisevyys (vedenläpäisevyys)	Puhdistustehokkuuden kannalta olennainen Tekijän asiantuntemus Rakeisuus kaikista alueista ja kerroksista, joihin tekniikalla pyritään vaikuttamaan aina, jos silmämääräisen luokituksen perusteella ei ole varmuutta maaperän laadusta
	Maaperän heterogeenisuus	Riittävä kenttätutkimusmäärä mahdollisten ongelmakohtien löytämiseksi (huonosti vettä ja kaasuja läpäisevät maalajit) Kanavoituminen, heterogeenisessa maassa toimivuus varmistettava pilot-kokein.
	pH	Otettava huomioon materiaalivalinnoissa
	Kosteus	Suuri kosteuspitoisuus vaikeuttaa ilman liikumista maaperässä ja sitoo haitta-aineita, tarvittaessa pohjaveden pinnan lasku
	Pohja- ja orsiveden pinnan taso ja virtaussuunta	Pohjaveden pinnan taso voi vaihdella vuodenajan, sademäärien ym. mukaan. Taso seurattava riittävän kauan. Projektissa oltava mukana pohjavesiasiantuntija. Pohjaveden pinnan vaihtelu (nousu) pienentää tehokasta käsittelysyvyyttä Virtaussuunta voi muuttua pohjaveden pinnan tason vaihdellaessa Riittävä määrä pohjavesiputkia virtaussuunnan selvittämiseksi
<b>Muut ympäristöolosuhteet</b>	Lämpötila	Haitta-aineiden haihtuvuus pienenee lämpötilan laskiessa. Talvella laitteistojen jäätymisvaara

<b>Haitta-ainepitoisuudet</b>	Maaperässä esiintyvien haitta-aineiden laatu, pitoisuudet ja esiintymislaajuus maanäytteistä ja huokoskaasusta	Käsiteltäviksi soveltuvien aineiden lisäksi myös heikosti haihtuvien tai muuten soveltumattomien aineiden pitoisuudet tunnettava
	Pohja- ja orsivedessä mahdollisesti esiintyvien haitta-aineiden laatu ja esiintymislaajuus	Pohjaveden likaantuneisuus ja puhdistustarve aina selvitettävä Pohjaveden likaantumisriski (erityisesti tehostetuissa käsittelyissä) hallittava
<b>Haitta-aineen ominaisuudet</b>	Haihtuvuusominaisuudet Höyrynpaine (> 66 Pa) Henryn lain vakio (> 0,01) Kiehumispiste Molekyylipaino Liukoisuus veteen	Raskaat ja vesiliukoiset yhdisteet pyrkivät kulkeutumaan kyllästyneeseen vyöhykkeeseen, josta poisto hankalaa Haitta-aineseoksia käsiteltäessä heikoimmin haihtuvat yhdisteet poistuvat viimeksi ja menetelmän tehokkuus on niille heikoin
	Alempi räjähdysraja	
	Terveydelle haittaa aiheuttavat pitoisuudet ja mahdolliset toksiset hajoamis- tai reaktiotuotteet	Esimerkiksi tri- ja tetrakloorieteenin hajoamistuotteena ilmassa on myrkyllinen, ärsyttävä ja syövyttävä fosgeeni ja maaperässä anaerobisissa olosuhteissa syöpävaarallinen vinyylidikloridi
	Hajoamattomat ja heikosti haihtuvat haitta-aineet	Huokosilmäimä voi toimia esikäsittelynä, maaperään ja vesiin jäävien haitta-aineiden käsittelytarve arvioitava

Tekniikkaan liittyviä epävarmuustekijöitä ovat:

- maaperän heterogeenisuudesta (maalajit, haitta-aineiden sijainti ja jakautuminen maaperässä) johtuvat epävarmuudet
- puhdistumisen vaatimaa aikaa on usein em. syistä vaikea arvioida
- kunnostustavoitteita ei aina pystytä saavuttamaan
- joissakin tapauksissa on hankala arvioida, onko tavoitetasoihin päästy.

### 7.2.2 Kunnostuksen tavoitetaso

Huokoskaasukäsittelyllä saavutettava puhdistustulos määräytyy kohteen ja haitta-aineiden ominaisuuksien mukaan. Tekniikkaa voidaan käyttää myös:

- esikäsittelymenetelmänä, jolloin jäännöspitoisuudet käsitellään muilla menetelmillä
- täydentävänä menetelmänä haitta-aineiden poistamiseksi rakenteiden alta tai haitta-aineiden sisätiloihin pääsyn ehkäisemiseksi
- jälkikäsittelymenetelmänä.

Puhdistuksen edettyä tietyllä tasolla käsittelyn jatkaminen ei enää merkittävästi paranna puhdistustulosta. Puhdistumista tapahtuu jossain määrin myös huokoskaasumun lopettamisen jälkeen, koska menetelmän käyttö kiihdyttää yleensä maaperän mikrobitoimintaa.

### 7.2.3 Tutkimus- ja arviointimenetelmät

#### Näytteenotto ja analyysit

Esitutkimuksissa ja kenttänäytteenotossa on pyrittävä selvittämään tekniikan soveltuvuuden arviointia varten (ks. myös taulukko 7.1):

- pilaantuneimpien alueiden sijainti ja laajuus
- maaperän ja huokoskaasun pitoisuudet ja niiden vaihtelu, myös syvyysuunnassa
- pitoisuudet sisäilmassa, jos kohteen välittömässä läheisyydessä on asuin- tai työtiloja
- maaperän laatuvaihtelut
- huokosilmakäsittelyä hankaloittavien esteiden sijainti
- vaikeimmin käsiteltävissä olevat alueet
- pohja- ja orsiveden sijainti ja pilaantuneisuus.

Menetelmän soveltuvuutta arvioitaessa pyritään luomaan konseptuaalinen malli likaantuneen alueen historiasta, nykytilanteesta ja puhdistustilanteesta. Tällainen malli pitää sisällään maaperän, pohjaveden ja haitta-aineiden vuorovaikutukset normaaliolosuhteissa (siis ennen puhdistuksen aloittamista), puhdistusmenetelmään liittyvät fysikaalis-kemialliset ilmiöt, sekä mahdolliset ympäristövaikutukset ja -riskit.

Käsiteltävyyttä voidaan alustavasti arvioida seuraavien käsittelyn kannalta positiivisten ja negatiivisten yhdisteiden ja maaperän ominaisuuksien perusteella:

#### **Positiiviset**

Helposti haihtuva yhdiste  
Heikosti vesiliukoinen yhdiste  
Karkearakeinen, huokoinen maaperä  
Vähän humusta maaperässä  
Kuiva maaperä  
Homogeeninen maaperä  
Lämmin maaperä

#### **Negatiiviset**

Vaikeasti haihtuva yhdiste  
Helposti vesiliukoinen yhdiste  
Hienorakeinen, tiivis maaperä  
Paljon humusta maaperässä  
Kosteaa maaperä  
Heterogeeninen maaperä  
Kylmä maaperä

Huokoskaasututkimusten käytännön suorittamista on käsitelty mm. julkaisuissa:

- Paatonen, E. 1995. Huokoskaasu maaperän ja pohjaveden saastuneisuuden kuvaajana. Helsingin kaupunki, Ympäristökeskuksen julkaisuja 2/1995.
- Suomen Geoteknillinen Yhdistys r.y. 2002. Ympäristögeotekninen näytteenotto-opas; Maa-, huokoskaasu- ja pohjavesinäytteet.

## Laboratoriokokeet

Laboratoriomittakaavaisia kolonnitestejä voidaan käyttää ensimmäisenä koevaiheena silloin, kun on tarpeen varmistaa, toimiiko menetelmä kyseisessä kohteessa. Esimerkkejä ovat tehostetut käsittelyt tai haitta-aine/maaperätyyppiyhdistelmät, joista on vain vähän kokemusta. Testissä maanäytteen läpi pumpataan kosteaa ilmaa. Testitulokset antavat ainoastaan karkean arvion, koska kentällä olosuhteet ovat huomattavasti monimutkaisemmat kuin testissä.

Jos kolonnitestiä käytetään, näytteiden edustavuuteen on kiinnitettävä erityistä huomiota. EPA (EPA 1991a) suosittelee, että kolonnitesteissä käytetään 2–8 kg yhdistettyjä näytteitä ja tehdään vähintään neljä rinnakkaista testiä. Testi kestää 3–7 viikkoa. Ennen testiä näytteistä tutkitaan huokoskaasun ja maa-aineksen haitta-ainepitoisuudet, haitta-aineiden liukenevuus, maa-aineksen kosteus, tiheys ja huokoisuus. Lisätietoja testeistä löytyy mm. viitteestä EPA 1991a. Jos kolonnitesti osoittaa, että huokoskaasukäsittelyllä voidaan päästä positiiviseen tulokseen, on menetelmän toimivuus varmistettava tutkimalla ilmanläpäisevyys kentällä.

## Kenttäkokeet

Vaikutusalueen määrittäminen tehdään kaikissa kohteissa ennen käsittelyn käynnistämistä. Laajemmat kokeet ovat tarpeen, jos maaperä on heterogeeninen, haitta-aineita on kulkeutunut veden pinnan alapuolelle tai läsnä on useita haitta-aineita vaihtelevina pitoisuuksina.

Pilot-koetta varten kentälle asennetaan yksi tai useampia kaivoja sekä monitorointikaivot, joita voidaan käyttää myöhemmin myös laajemmassa sovelluksessa. Huokosilmaimun vaikutussäde mitataan kokeellisesti kaivojen asennuksen jälkeen pitämällä imu- ja puhallusnopeus vakiona ja mittaamalla huokoskaasun ali/ylipaine ajan funktiona useissa monitorointikaivoissa. 25 Pa:n alipainetta voidaan pitää tehokkaan ulottuvuuden rajana (Paatonen 2003), mutta luku ei päde yksiselitteisesti kaikkialla. Vaikuttava paineero riippuu maaperän laadusta ja siksi pilot-kokeen suunnittelijan tulee aina arvioida kyseisessä kohteessa riittävä paine-ero.

Huokosilmaimun toimivuutta kentällä voidaan arvioida seuraamalla pumppaustehoa, kaasuvirran haitta-ainepitoisuuksien kehitystä ja maaperän huokoskaasun epäpuhtauspitoisuutta. Kokeen tuloksia voidaan käyttää myös kaasunkäsittelylaitteistojen mitoituksessa ja massataseiden laskennassa. Jotta tuloksia voidaan luotettavasti hyödyntää laajamittakaavaisemman kunnostuksen suunnittelussa, pilot-kokeen suunnittelijan on tunnettava hyvin alueen geologia.



## Laskentamenetelmät ja menetelmien soveltuvuus

Mallinnusmenetelmiä voidaan käyttää haitta-aineiden leviämisen, huokosilmaimun vaikutussäteen ja tehon arviointiin. Erityisesti maaperän ollessa heterogeeninen näin saadaan suunnittelussa ja mitoituksessa hyödyllistä tietoa. Mallintamalla voidaan myös arvioida menetelmän mahdollisia sivuvaikutuksia ja karkeasti kunnostukseen vaadittavaa aikaa. Arvio kunnostusajasta voi olla optimistinen, koska esimerkiksi kaikkia kunnostukseen vaikuttavia häiriötekijöitä ei osata ottaa huomioon. Mallia voidaan kuitenkin käyttää suuntaa antavana.

Malleilla voidaan myös arvioida, miten virhearvioinnit ja muutokset kriittisissä tekijöissä vaikuttavat menetelmän toimivuuteen. Tällaisia kriittisiä tekijöitä ovat maaperän ilmanläpäisevyys, vaikutussäde, jakaumakertoimet ja käytetty alipaine.

Mallinnustapa valitaan tapauksen mukaan. Esimerkiksi monifaasisille aineille käytetään monifaasimallia. Mallissa tulee myös pystyä käsittelemään kaikki konseptuaalisen mallin esittämät pääasiat. Lisäksi on tunnettava mallin epävarmuudet ja pystyttävä arvioimaan niiden vaikutuksia.

## 7.3 Ympäristövaikutusten hallinta

Huokoskaasukäsittelyn ympäristövaikutusten hallinnan kannalta merkittäviä seikkoja ovat:

- maaperästä poistettavien kaasujen käsittely, kyseisille yhdisteille soveltuvan, toimivan ja riittävän tehokkaan kaasunkäsittelymenetelmän valinta
- haitta-aineiden haihtuminen maaperään syntyvien kulkeutumisreittien kautta suoraan ilmaan estettävä
- pohjavesien puhdistustarpeen arviointi ja tarvittaessa pohjavesien käsittely
- menetelmän suunnittelu siten, että haitta-aineiden kulkeutuminen pohjavesiin tai ympäröivään maaperään estyy
- työterveysriskien ja alueen tai ympäristön asukkaille aiheutuvien riskien hallinta (tarvittaessa myös pitoisuudet sisäilmassa)
- käsittelyssä syntyvien jätteiden ja vesien asianmukainen varastointi ja käsittely
- pohjaveden likaantumiseriski otettava huomioon erityisesti tehostavia menetelmiä käytettäessä
- rakenteille ja rakennuksille esim. pohjaveden pinnan laskusta aiheutuvien riskien hallinta

- haihtuvista haitta-aineista alueen tai ympäristön mahdollisille asukkaille tai muille alueilla oleskeleville aiheutuvien riskien hallinta.

### 7.3.1 Päästöjen hallinta

#### Huokoskaasun käsittely

Maaperästä imetyn huokoskaasun käsittely on merkittävä osa tekniikan toteutusta. Siksi toteutuksesta vastaavalla on oltava kokemusta sekä pilaantuneiden maiden kunnostushankkeista että VOC-päästöjen käsittelystä.

Kaasu on käsiteltävä haitta-aineiden poistamiseksi. Käsittelytarpeen arvioinnissa, menetelmän valinnassa ja laitteistojen käytössä huomioon otettavia tekijöitä on käsitelty tarkemmin luvussa 1.6.2. Puhdistus- ja erotustehon pitää yleensä olla vähintään 95 %. Menetelmän soveltuvuutta ja puhdistustehoa arvioitaessa erityistä huomiota kiinnitetään mm. seuraaviin taulukossa 7.2 esitettyihin seikkoihin.

*Taulukko 7.2 Huokoskaasukäsittelyn laaduntarkkailu kunnostusta käynnistettäessä (Anon. 1998, Lfu 1995, USACE 1995, USACE 2001).*

Yhdistetyypit	Esimerkkejä heikosti käsiteltäviksi soveltuvista haitta-aineista
Yhdisteet, joita ei pystytä kyseisellä menetelmällä käsittelemään tai joilla ei päästä vaadittuun puhdistustulokseen	<u>Aktiivihiiликäsittely</u> Hiileen heikosti sitoutuvat pienimolekyyliset yhdisteet, kuten vinyylikloridi, sykloheksanoni tai formaldehydi  <u>Kaikki menetelmät</u> Raskasmetallit, muut epäorgaaniset hajoamattomat haitta-aineet
Yhdisteet, joita käsiteltäessä voi syntyä haitallisia yhdisteitä	<u>Katalyyttinen poltto</u> Klooratut yhdisteet dioksiinien syntymisvaara ja HCl-päästöt tutkimistarve selvitettävä ja tarvittaessa analysoitava aina katalyyttipolttota käytettäessä jälkikäsitteilynä poistokaasujen pesu Rikki
Yhdisteet, jotka voivat haitata menetelmän toimintaa	<u>Katalyyttinen poltto</u> Katalyyttimyrkyt, kuten Pb, As, Sb, P
Yhdisteet tai pitoisuudet, jotka voivat aiheuttaa palo- tai räjähdysvaaran	<u>Kaikki käsittelymenetelmät</u> VOC-pitoisuus > 25 % LEL <u>Aktiivihiiликäsittely</u> Sykloheksanoni ja metyylietyyliketoni

Lisäksi varmistetaan käsittelykapasiteetin riittävyys tavallisimmissa häiriötilanteissa. Esimerkiksi aktiivihiihilaitteistossa käytetään kahta suodatinta kaasujen läpäisyn ehkäisemiseksi. Kaasunkäsittelysuunnitelmassa määritetään myös laitteiston toiminnan seu-

rannassa ja valvonnassa käytettävät näytteenotto- ja analyysimenetelmät, muut valvonta- ja tarkkailutoimet sekä huoltotoimet. Kaasujen käsittelyssä syntyvien jätteiden (käytetty aktiivihiili, suodatinpölyt, pesulietteet ym.), kondenssivesien ja muiden mahdollisten poistovirtojen seurannalle, varastoinnille ja käsittelylle asetettavat vaatimukset selvitetään ja toiminta suunnitellaan näiden vaatimusten mukaisesti.

### **Muut päästöjen hallintatoimet**

Jos käsittely toteutetaan muualla kuin kohteessa, on kiinnitettävä huomiota myös maa-ainesten kuljetusten, varastoinnin ja muun käsittelyn päästöjen hallintaan (ks. luku 1.6.2). Haihtuvia haitta-aineita sisältävien maa-ainesten siirrot ja käännöt minimoidaan ja tehdään mahdollisuuksien mukaan paikassa, jossa kaasut voidaan kerätä. Tarvittaessa kuivat maa-ainekset kostutetaan kuljetusten, kuormausten ja siirtojen ajaksi. Varastokasvat peitetään suojapeitteellä.

### **7.3.2 Vesien käsittely**

Useimmat haihtuvat orgaaniset aineet ovat maaperässä helposti kulkeutuvia. Siksi huokoskaasukäsittelyä suunniteltaessa on aina selvitettävä pohjavesien käsittelytarve. Liikaantuneen pohjaveden käsittely on usein oleellinen osa kunnostushanketta. Hankeissa voi myös olla tarvetta pohjaveden pinnan alentamiseen, koska haitta-aineita ei pystytä poistamaan kyllästyneestä maaperästä.

Vesien käsittelyä suunniteltaessa huomioon otettavia seikkoja on esitetty luvussa 1.6.2. Veden laadun ja paikallisten olosuhteiden perusteella vedet voidaan käsitellä kohteessa tai muussa asianmukaisessa käsittelypaikassa, johtaa jäte- tai sadevesiviemäriin tai johdattaa suoraan pintavesistöön. Jos haitta-ainepitoisuudet vesissä eivät täytä talousveden laatuvaatimuksia, määritetään käsittelytarve tapauskohtaisen riskinarvioinnin perusteella ottaen huomioon kohteen herkkyys sekä haitta-aineiden laatu, pitoisuudet ja arvioidut kokonaismäärät vesissä. Lopullisen päätöksen vesien käsittelytarpeesta tekee viranomainen. Jos vesi johdetaan kunnalliseen jätevesiverkoston, siitä on aina tehtävä sopimus paikallisen jätevesilaitoksen kanssa.

Syntyvien vesien laatua on seurattava kaikissa kunnostushankkeissa. Seuranta suunnitellaan osana vesienkäsittelysuunnitelmaa, johon sisällytetään myös tarpeen mukaan vesien varastointi, kuljetus ja käsittelylaitteiston toiminnan seuranta.

### 7.3.3 Jätteiden käsittely

Prosessissa syntyvät jätteet (esim. kaivojen porausjäte, käytetty aktiivihiili, suodatinpölyt, vesien ja kaasupesurin lietteet) on varastoitava, kuljetettava ja käsiteltävä jätteen laadun vaatimalla tavalla. Jätteiden laatu selvitetään käsittelypaikan vaatimusten mukaisesti. Ongelmajätteet varastoidaan suljetuissa tiloissa tai säiliöissä ja vettä läpäisemättömällä reunakorokkein varustetulla alustalla. Kaikki varastoitavat jätteet merkitään selvästi. Merkintätarroissa tai -tauluissa on oltava myös tarvittavat turvamerkinnot.

### 7.3.4 Materiaalien ja kemikaalien varastointi ja käsittelyalueen siisteys

Kunnostuskohteesta vastaavan on huolehdittava alueen yleisestä kunnosta ja siisteydestä mm.

- varmistamalla, että alueella on sijoituspaikat jätteille sekä työmaalla käytettäville aineille ja tarvikkeille
- antamalla työntekijöille riittävät ohjeet alueen siisteyden hallinnasta
- ottamalla alueen siisteys yhdeksi työmaatarkastusten kohteeksi.

Kunnostuksessa tarvittavat kemikaalit sekä muut materiaalit varastoidaan kemikaalien varastointia koskevien ohjeiden mukaisesti (Chemas 2000). Käsittelystä ja varastoinnista tehdään ilmoitus kunnan palopäällikölle.

### 7.3.5 Melun hallinta

Maamassojen käsittelystä, siirtelystä ja kuljetuksista sekä kunnostusprosessista aiheutuva meluhaitta tulee pyrkiä minimoimaan sijoittamalla ja ajoittamalla toiminnot siten, että haittaa aiheutuu mahdollisimman vähän. Toimintaa saa yleensä harjoittaa maanantaista perjantaihin klo. 7.00–20.00 (pois lukien arkipyhät), mikäli urakkasopimuksessa tai lupaehtoissa ei ole toisin määrätty. Toiminnasta aiheutuva melu ei saa tällöin lähimmässä häiriintyvässä kohteessa ylittää ekvivalenttimelutasoa 55 dB ( $L_{Aeq}$ ).

### 7.3.6 Riskien ja epävarmuuksien hallinta

Ympäristövaikutusten hallintaan liittyvät epävarmuudet ja riskit käydään läpi ja tehdään suunnitelma sekä toimintaohjeet näiden epävarmuustekijöiden hallitsemiseksi. Tällaisia epävarmuustekijöitä voivat olla esim.

- oletettua korkeammat haitta-ainepitoisuudet maaperässä, vesissä tai huokoskaasussa

- tunnistamattomat haitta-ainelähteet tai haitta-aineet tai oletettua suuremmat haitta-ainemäärät
- haitta-aineiden myrkylliset tai ympäristölle vaaralliset hajoamistuotteet
- haitta-aineiden kulkeutuminen ympäristön ilmaan, maaperään tai pinta- ja pohjavesiin
- räjähdys- ja palovaara, kemikaalivuodot
- laitteistojen toimintahäiriöt
- kaasunpoistotehon pysähtyminen oletettua tai luvassa sallittua korkeampaan pitoisuuteen
- puhdistustavoitteen saavuttamisen arviointi
- pohjaveden pinnan vaihtelut.

## 7.4 Kunnostustyön valmistelu

### 7.4.1 Suunnitelma-asiakirjat

#### Työsuunnitelma

Huokoskaasukäsittelysuunnitelma on hankkeen yleissuunnitelmaa yksityiskohtaisempi toteutussuunnitelma, joka laaditaan lupavaiheen jälkeen ennen kuin hankkeen toteutus työmaalla käynnistetään. Suunnitelma laaditaan työmaakohtaisesti ottaen huomioon työmaan erityispiirteet, kuten käsiteltävän massan laatu, tavoitepitoisuudet, kohteen erityisominaisuudet jne. In-situ-hankkeissa on erityisen tärkeää, että suunnittelun pohjaksi on hankittu riittävät tiedot alueesta.

Työsuunnitelmassa esitetään:

- hankkeen organisaatio ja vastuuhenkilöt
- maa-aineksen, pohjaveden ja huokoskaasun lähtötiedot
- tavoitepitoisuudet
- tarvittavien materiaalien, laitteiden ja jätteiden varastointi
- imukaivojen ja laitteistojen sijoitus alueelle
- käsittelylaitteiston rakentaminen ja testaus
- aikatauluarvio sekä toimenpiteet, jos tavoitteeseen ei päästä aikataulun mukaisesti
- huolto- ja ylläpitosuunnitelma aikatauluineen ja kriteereineen

- kaasu- ja vesipäästöjen hallinta
- jätteiden käsittely ja loppusijoitus
- näytteenotto- ja valvontatoimet ja niiden ajoitus
- työnaikainen raportointi
- toimenpiteitä edellyttävät poikkeamatilanteet
- toimenpiteet poikkeamatilanteissa
- lopputuloksen hyväksyttävyyden arvioimiseksi tarvittavat toimet
- käsittelyn lopettaminen.

Työsuunnitelmaan liitetään:

- kohteen kartta, johon on merkitty kaikki rakenteet, päällysteet, tiet, puut, sähkö- ja vesipisteet, imukaivojen sijainti, pohjaveden pinnan mittauspisteet
- kartta, jossa esitetään yleissuunnitelmasta kenttäkokeiden tai mallinnuksen perusteella tarkennettu vaikutusalueen laajuus (paineenalenemakäyrät)
- prosessin virtauskaaviot, joissa näkyvät maanalaiset ja maanpäälliset laitteistot ja putkistot, paine-, lämpötila- ja virtausmittarit sekä näytteenottoventtiilit ja -paikat.

Suunnitelman lisäksi tai sen liitteiksi laaditaan laadunvarmistussuunnitelma ja työsuojeluviranomaisen tarkastama työsuojelu- ja turvallisuussuunnitelma sekä tarvittavat analyysi- ja mittaussuunnitelmat.

#### **7.4.2 Työmaan esivalmistelut**

Kunnostustyön valmisteluvaiheessa tarkistetaan, että kunnostussuunnitelmassa on kaikki tarvittavat tiedot laitteistoista, sijoituskohteesta ja käsiteltävistä haitta-aineista ja että tarvittavat kartat ja virtauskaaviot on laadittu. Lisäksi varmistetaan, että alueesta on riittävästi taustatietoa asukkaiden ja ympäristön suojaustarpeen selvittämiseksi ja käsittelyn vaikutusten arvioimiseksi. Tällaisia tietoja voivat olla ilmanlaatutiedot, ympäristömelu, taustapitoisuudet ympäristön maaperässä ja vesistöissä sekä asuin- ja virkistysalueiden ja muiden herkkien ympäristökohteiden sijainti.

Lisäksi alueelle tehdään tai hankitaan kaikki käsittelyn edellyttämät rakenteet, laitteet ja palvelut, mm.

- työmaateiden rakentaminen, liikennemerkkien ja opasteiden asennus
- työmaan aitaaminen ja kunnostustyöstä ilmoittavien varoituskylttien kiinnittäminen aitaan

- alueen maanalaisten rakenteiden (sähkö- ja puhelinkaapelit, vesi- ja viemärijohdot, kaasuputket tms.) tarkistaminen ja kaivojen poraamista mahdollisesti häiritsevien maanalaisten rakenteiden poisto
- tarvittaessa pintasuojusrakenteiden tekeminen
- sähkö-, vesi ja viemärioliittymät
- työmaakoppien, sosiaalisten tilojen ja tarvittavien varastotilojen rakentaminen
- ilman laadun seurannan järjestäminen
- vartioinnin järjestäminen tarvittaessa
- varautuminen talviolosuhteisiin, tehokas kondenssiveden poisto vähentää jäätymisongelmia.

Laitteistojen suunnittelussa huomioon otettavia seikkoja ovat mm. seuraavat (Paatonen 2003):

- lainsäädännön vaatimukset ilmastuslaitteistoille, esim. sähköturvallisuus, ex-suojattujen puhallinten käyttö
- putkistojen ja tiivisteiden kemiallinen kestävyys (öljyjen ja muiden käsiteltävien liuotteiden kestävyys)
- putkilinjoihin mahdollisimman vähän huokoskaasun virtausta hidastavia hanoja, venttiileitä ja jyrkkiä mutkia
- imukaivon halkaisijan vaikutus alipaineistuksen vaikutussäteeseen.

## 7.5 Kunnostustyön aikainen laadunhallinta

Kunnostuksen aikaisen laadunvalvonnan yleisenä tavoitteena on varmistaa, että kunnostuksessa päästään asetettuihin tavoitteisiin. Kunnostustavoitteet on asetettu alueen puhdistamista koskevassa päätöksessä tai ympäristölupapäätöksessä. Päätöksessä määritetään ainakin tavoitetasot, jotka maanäytteissä ja pohjavedessä on saavutettava. Haitta-aineista riippuen tavoitetasot esitetään yhdistekohtaisesti, yhdisteryhmäkohtaisesti tai kokonais-VOCeille.

Kunnostuspäätöksissä esitetään yleensä myös vähimmäisvaatimukset kunnostuksen aikaiselle laadunvalvonnalle (mm. tärkeimmät mitattavat parametrit ja mittausaika-alue), käsiteltyjen massojen sijoitukselle sekä jälkiseurannalle.

Huokoskaasukäsittelyn aikaisen laadunvalvonnan ja laadunvarmistusmittausten tavoitteet ovat:

- huokosilmapumppauksen edistymisen ja maaperän puhdistumisen seuranta (käsittelyn tehon ja vaikutusalueen seuranta)
- puhdistuksen ohjaus puhdistustehon optimoimiseksi
- varmistaa, että kunnostus toteutetaan ja haitta-aineet käsitellään siten, että niitä ei joudu ilmaan, pohjavesiin, pintavesiin tai ympäröivään maaperään sellaisia määriä, että ne aiheuttavat haittaa ihmisille tai ympäristölle
- varmistaa, että kunnostuksen aikana ei aiheudu onnettomuusriskiä (esim. räjähdysvaaraa) tai riskiä työntekijöille
- osoittaa, milloin pumppaus voidaan lopettaa tai tarvittaessa osoittaa, että menetelmää tarvitsee tehostaa tai vaihtaa
- varmistaa, että asetetut kunnostustavoitteet on saavutettu ja että ne on saavutettu pysyvästi
- jos asetettuihin kunnostustavoitteisiin ei päästä, joko osoittaa, että jäännöspitoisuudet eivät aiheuta riskiä ihmisille tai ympäristölle tai että tarvitaan jälkikäsittelyä tai suoja-toimia
- varmistaa, että tiedon laatutaso on riittävä kunnostustuloksen arvioimiseksi.

### 7.5.1 Laadunvarmistussuunnitelma

Laadunvarmistussuunnitelmassa (tarkkailusuunnitelmassa) esitetään:

- huokoskaasukäsittelyn toteutuksen aikana seurattavat ominaisuudet
- seurannassa käytettävät menetelmät, näytteenottokohdat ja seurantatiheys. Seurantatiheys määritellään joustavasti siten, että mittauksia voidaan vähentää, kun maaperästä poistuvat pitoisuudet vakiintuvat. Hyväksytyä seurantaohjelmaa on kuitenkin noudatettava.
- seurantatulosten käsittely ja dokumentointi sekä mm. alustavasti ajankohdat, jolloin tarkkailutulosten perusteella arvioidaan menetelmän toimivuus ja tarve muuttaa toteutus- ja tarkkailusuunnitelmaa. Nämä ajankohdat voivat olla esimerkiksi viikon, kuukauden, kolmen kuukauden ja yhdeksän kuukauden kuluttua toiminnan aloittamisesta. Aikataulua muutetaan tarvittaessa prosessin toimintakäyrän perusteella.
- seurannan tavoitetasot ja tasot, jolloin seurantatuloksiin on reagoitava tekemällä muutoksia toteutus- tai tarkkailusuunnitelmaan. Tarkkailusuunnitelmaan liitetään myös perusohjeet toimenpiteistä poikkeamatapauksissa.
- seurantamittausten laadunvarmistus
- seurantamittauksista vastaavien pätevyysvaatimukset



- lopputuloksen arvioinnissa hyväksyttävät poikkeamat tavoitearvoista
- laitteistojen huolto-, tarkkailu- ja kalibroitisuunnitelma (laitteiston huoltosuunnitelma/aikataulu ja luettelo kriittisistä varaosista, jotka on oltava saatavilla laitteiston käytettävyyden varmistamiseksi).

Laadunvarmistussuunnitelma laaditaan suunnitteluvaiheessa tehtyjen maaperätutkimusten ja kentällä tehtyjen pumppauskokeiden perusteella. Tarkkailun laajuutta, näytteiden määrää ja näytteenottotiheyttä on harkittava kohdekohtaisesti. Siksi on varmistettava, että suunnitteluvaiheessa on määritetty riittävällä tarkkuudella

- maaperän kerrosrakenne, maalajit, niiden veden- ja kaasunläpäisevyys,
- maaperässä esiintyvien haitta-aineiden laatu, pitoisuudet ja esiintymislaajuus
- pohjaveden taso ja virtaus sekä pohja- ja orsiveden laatu
- maaperän kosteus.

### 7.5.2 Huokoskaasukäsittelyn käynnistäminen

Kunnostustyötä käynnistettäessä

- tehdään alueen ja käytettävien laitteistojen silmämääräinen tarkastus
- varmistetaan, että kaikki tarvittavat laitteet ja laitteistojen osat on asennettu
- testataan kaikkien käytettävien laitteistojen toimivuus
- tehdään haitta-ainepitoisuusmäärytykset kohteen maaperästä, vesistä, huokoskaasusta ja ilmasta
- tehdään tarvittavat maaperän sekä pinta- ja pohjavesien taustapitoisuusmäärytykset.

Käynnistysvaiheessa tarkistettavia asioita on esitetty taulukossa 7.3. Kaikki tehdyt toimenpiteet ja niiden tulokset raportoidaan käynnistysraporttiin tai -lomakkeille.

Käynnistysvaiheessa toimintaa säädetään tulosten perusteella, kunnes päästään vakiotilanteeseen. Erityisesti bensiinihiilivetyjen käsittelyssä on varmistettava, ettei alussa synny räjähdysvaaraa. Mikäli mahdollista, alussa käytetään kaasunilmaisinta tai kyseiselle kaasuseokselle säädettyä kaasuanalysointia. Kloorattuja yhdisteitä käsiteltäessä seurataan mahdollisia vuotoja kenttämittarilla ainakin käynnistysvaiheessa terveysturvallisuuden ehkäisemiseksi.

Puhdistusta käynnistettäessä tehdään haitta-ainepitoisuusmäärytykset maaperästä, huokoskaasusta ja vesistä. Tarkkailusuunnitelman (ks. luku 7.5.3) mukaiset kaasumittaukset

(määrä, paine, kosteus, kokonais-VOC, kaasun koostumus) tehdään kaikista imulinjoista. Myös ulkoilman lämpötila mittausten aikana on tarkistettava

*Taulukko 7.3 Huokoskaasukäsittelyn soveltuvuuteen vaikuttavia tekijöitä (EPA 1991a, Paatonen 1995, USACE 1995, Walsted & Christiansen 1999a ja b).*

<b>Tarkistuksen tekijä ja ajankohta</b>	<b>Tarkistettava kohde</b>
	Maaperän laatua ja haitta-ainepitoisuuksia, huokoskaasun haitta-ainepitoisuuksia sekä pohja- ja pintavesien laatua koskevien tietojen riittävyys ja asianmukainen dokumentointi
	Kohteen ympäristöstä ja taustapitoisuuksista hankittujen tietojen riittävyys
	Ajan tasalla olevat prosessin virtauskaaviot ja kartta kunnostettavasta alueesta
	Ulkoilman lämpötilan, ilmanpaineen ja sademäärien seuranta järjestetty
	Taustapitoisuusseuranta järjestetty
	Kenttärakenteen kunto (tarvittaessa)
	Kaivojen, putkistojen, puhaltimen, pumppujen ja venttiilien tarkastus
	Imukaivojen ulkopintojen tiivistykset
	Kaasun virtaus-, paine- ja pitoisuusmittalaitteiden tarkastus ja kalibrointi
	Kondenssivesisäiliö (tarvittaessa)
	Sähkölaitteistot
	Hätäkatkaisimien ja muiden turvalaitteiden toiminnan testaus
	Puhaltimien, pumppujen, imuputkiston ja tarkkailukaivojen testaus, lämpötila- virtaus- ja painemittaukset
	Vesien keräily- ja käsittelylaitteistojen tarkastus
	Kaasujen käsittelylaitteiston toimivuus
	Jätteiden, laitteiden ja materiaalien säilytystilojen/paikkojen asianmukaisuus
	Käsitteltävien ja säilytettävien haitta-aineiden vaatima turvavälineistö
	Käynnistysvaiheen näytteenotto maaperästä, huokoskaasusta, pohja- ja pintavesistä (haitta-ainepitoisuudet, kosteus, pH, pohjaveden taso, ym.)
	Laitteiston käynnistys ja tarkkailusuunnitelman mukaiset kaasumittaukset (määrä, paine, kosteus, kokonais-VOC, kaasun koostumus) kaikista imulinjoista sekä ennen ja jälkeen kaasunkäsittelylaitteiston.
	Ulkoilman lämpötilan mittaus

### **7.5.3 Tarkkailu ja valvonta käsittelyn aikana**

Toiminnan ja käsittelyn aikaisten ympäristökuormitusten hallitsemiseksi laitteistojen kuntoa seurataan säännöllisin tarkastuksin (taulukko 7.4). Mahdollisesti havaittujen vaurioiden syy selvitetään ja vauriot korjataan välittömästi.

Laaduntarkkailussa seurattavia ominaisuuksia, esimerkkejä mittausmenetelmistä ja seurantatiheydestä on esitetty taulukoissa 7.5, 7.6 ja 7.7. Yleisohje tarkkailusta on, että puhdistusta käynnistettäessä seurantamittauksia tehdään usein (ensimmäisten toiminta-

tuntien aikana 0,5–1 h välein) ja toimintaa säädetään tarvittaessa tulosten perusteella. Seurantatiheyttä voidaan asteittain pienentää kaasuvirtojen ja haitta-ainepitoisuuksien vakiintumisen myötä.

*Taulukko 7.4 Toiminnan hallitsemiseksi tehtävät tarkastukset huokoskaasukäsittelykohteessa.*

<b>Tarkastettavat kohteet</b>	<b>Tarkastustiheys</b>
Alueen yleinen siisteys	Jatkuvasti
Imukaivojen toimivuus ja tiivistysrakenteiden kunto	Viikoittain
Putkistojen, puhaltimen, pumppujen venttiilien ym. kunto	Viikoittain
Kaasun virtaus-, paine- ja pitoisuusmittalaitteiden tarkastus ja kalibrointi	Viikoittain
Kaasujen käsittelylaitteiston kunto	Viikoittain
Vesien keräilyaltaat	Noin kerran kuukaudessa
Vesien käsittelylaitteiston kunto	Viikoittain
Öljynerotuskaivon toiminta ja öljynerottimen täyttyminen (tarvittaessa)	Noin kerran kuukaudessa
Öljynerottimen hälyttimen tarkastus (tarvittaessa)	Noin kerran kuukaudessa
Kemikaalien ja jätteiden varastointi: - tilojen ja/tai säiliöiden kunto - säilytystapa	Noin kerran kuukaudessa
Sammutusvälineiden kunto ja öljynimeytysaineen saatavuus	Noin kerran kuukaudessa
Aidat, varoituskyltit, ym.	Noin kerran kuukaudessa
Haju ja melu	Kenttäkäyntien yhteydessä

*Taulukko 7.5 Huokoskaasukäsittelyn laaduntarkkailu kunnostusta käynnistettäessä (Anon. 1998, Lfu 1995, USACE 1995, USACE 2001).*

<b>Näytteenotto- kohde</b>	<b>Valvottava ominai- suus</b>	<b>Valvontatiheys</b>	<b>Näytteenotto/ Analyysit</b>
<b>Kunnostusta käynnistettäessä</b>			
Pumpattava huokoskaasu kaikista imulinjoista sekä ennen ja jälkeen kaasunkäsittelylaitteistoa	Kaasuvirtaus, m <sup>3</sup> /h Kaasun paine Kosteus Kaasun lämpötila Kokonais-VOC	Käynnistettäessä tiheä seuranta, tiheyttä pienennetään pitoisuuksien vakiintuessa: Ensimmäisten toimintatuntien aikana 0,5 – 1 h välein	Kenttäanalyysointilla tehtävässä kaasun pitoisuusmittauksissa mittaus toistetaan kullakin mittauuskerralla vähintään kolme kertaa 1-2 minuutin välein
	VOC-jakauma	2 rinnakkaisnäytettä	Laboratorionäytteet tai kenttäkäyttöinen kaasukromatografi
	Tarvittaessa yksittäiset VOC-yhdisteet		
Sääolosuhteet	Ulkoilman lämpötila ja ilmanpaine		
Maaperänäytteet	Haitta-ainepitoisuudet, Kosteus		Näytteet laboratoriotutkimuksiin

Pohjavesi	Haitta- ainepitoisuudet, pin- nan korkeus		Näytteet laboratoriotut- kimuksiin
	Pumpatun pohjaveden määrä ja puhdistuste- ho (jos pohjaveden käsittely)		
Sisäilma	VOC-pitoisuudet tarvittaessa (asutut alueet, työpaikat)		
Tausta- pitoisuudet	Käsiteltävien yhdis- teiden pitoisuudet ulkoilmassa		

*Taulukko 7.6 Huokoskaasukäsittelyn laaduntarkkailu kunnostuksen aikana (Anon. 1998, Lfu 1995, USACE 1995, USACE 2001).*

<b>Näytteenot- tokohde</b>	<b>Valvottava ominai- suus</b>	<b>Valvontatiheys</b>	<b>Näytteenotto/ Analyysit</b>
<b>Kunnostuksen aikana</b>			
Pumpattava huokoskaasu kaikista imulin- joista sekä en- nen ja jälkeen kaasunkäsitte- lylaitteistoa <sup>1</sup>	Kaasuvirtaus, m <sup>3</sup> /h Kaasun paine Kosteus Kaasun lämpötila Kokonais-VOC	Seurantatiheyttä pienen- netään pitoisuuksien vakiintuessa, esim.: Päivittäin muutaman päivän ajan, viikoittain 1–2 seuraavaa viikkoa, sen jälkeen kerran kuu- kaudessa tai harvemmin Jokaisena vuodenaikana vähintään 1 mittaus.	Kenttäanalyysointila <sup>3</sup> tehtävässä kaasun pitoi- suusmittauksissa mittaus- toistetaan kullakin mittau- uskerralla vähintään kolme kertaa 1–2 minuuti- nin välein
	VOC-jakauma	Esim. joka 4–5 seuranta- kerta	Laboratorionäytteet tai kenttäkäyttöinen kaasu- kromatografi
	Tarvittaessa yksittäi- set VOC-yhdisteet		
Tarkkailukaivot	Kokonais-VOC, paine	Huokoskaasumittausten aikana	
Kondenssivesi	Määrä, pitoisuudet		
Sääolosuhteet	Ulkoilman lämpötila ja ilmanpaine, sademäärät	Suosittelaa huokoskaa- sumittausten aikana/ jatkuvasti	
Pohjavesi	Haitta- ainepitoisuudet, pinnan korkeus	Noin 4xa Kerran kuukaudessa	
Pohjavesi (jos pohjavesi- pumppaus)	Pumpatun pohjaveden määrä, haitta-aine- pitoisuudet ja puhdis- tetun veden haitta- ainepitoisuudet (tar- vittaessa)	Noin kerran kuukaudessa	
Sisäilma	Tarvittaessa	2–3 x vuodessa	

Tausta-pitoisuudet	VOC/ yksittäiset yhdisteet	Esim joka 3–4 seuranta-kerta	
Laitteiston käytön seuranta	Käyttöajat, pumpaustauot <sup>2</sup>	Kullekin imulinjalle ja koko laitteistolle	
	Käyttöhäiriöt ja niiden syyt		

<sup>1</sup>Laitteiston valmistajan esittämät huolto- ja seurantavaatimukset otettava huomioon. Jos kaasut käsitellään adsorptiolaitteistolla seurataan erityisesti hiilen ensinnä läpäisevän aineen pitoisuutta tai varmistetaan, että läpäisy näkyy mitattavassa suuressa, esim. TVOC-pitoisuuden kasvuna. Tarvittaessa seurataan myös mahdollisten haitallisten hajoamistuotteiden pitoisuuksia (esimerkiksi jos kaasut käsitellään polttamalla tai jos maaperään johdetaan käsittelyn yhteydessä kemikaaleja tai jos tavoitteena on hajottaa oleellinen osa haitta-aineista biologisesti).

<sup>2</sup>Laitteistojen toiminnassa olisi päästävä alle 5 % häiriöaikaan. Toiminnan tehostamiseen voidaan käyttää pulssista huokosilmäimua, jolloin tietyt imukaivot suljetaan väliaikaisesti. Huokoskaasumittausten tiheyttä lisätään, kun huokosilmäimä aloitetaan uudestaan.

<sup>3</sup>Kenttäanalyysointien kalibrointi ja huolto laitevalmistajan ohjeiden mukaan

*Taulukko 7.7 Huokoskaasukäsittelyn laaduntarkkailu kunnostusta lopetettaessa (Anon. 1998, Lfu 1995, USACE 1995, USACE 2001).*

Näytteenotto-kohde	Valvottava ominaisuus	Valvontatiheys	Näytteenotto /Analyysit
<b>Kunnostusta lopetettaessa</b>			
Pumpattava huokoskaasu kaikista imulinjoista sekä ennen ja jälkeen kaasunkäsittelylaitteistoa	Kaasuvirtaus, m <sup>3</sup> /h Kaasun paine Kosteus Kaasun lämpötila Kokonais-VOC		Kenttäanalyysointilaitteilla tehtävässä kaasun pitoisuusmittauksissa mittaus toistetaan kullakin mittauuskerralla vähintään kolme kertaa 1–2 minuutin välein
	VOC-jakauma	2 rinnakkaisnäytettä	Laboratorionäytteet tai kenttäkäyttöinen kaasukromatografi
	Tarvittaessa yksittäiset VOC-yhdisteet		
Sääolosuhteet	Ulkoilman lämpötila ja ilmanpaine		
Maaperänäytteet	Haitta-ainepitoisuudet, kosteus	Samat tai lähes samat näytenäytteet kuin toteutusta käynnistettäessä	Näytteet laboratoriotutkimuksiin Samat näytteenotto- ja analyysimenetelmät kuin toteutusta käynnistettäessä
Pohjavesi	Haitta-ainepitoisuudet, pinnan korkeus	Samat näytenäytteet kuin toteutusta käynnistettäessä	
	Pumpatun pohjaveden määrä ja puhdistusteho (jos pohjaveden käsittely)		
Sisäilma	VOC-pitoisuudet tarvittaessa (asutut alueet, työpaikat)		
Epäpuhtaustase	Laskennallisesti lähtötilanteen ja kunnostuksen aikaisten mittaustietojen perusteella		

#### 7.5.4 Näytteenotto- ja tutkimusmenetelmät

Näytteenotto- ja tutkimusmenetelmiä valittaessa on varmistettava, että ne soveltuvat tutkittavien haitta-aineiden tai ominaisuuksien seurantaan ja että mittaustarkkuus on riittävä. Myös mittalaitteen toimivuus kyseisissä olosuhteissa varmistetaan. Vaadittava mittaustarkkuus valitaan kussakin toimintavaiheessa tarvittavan tiedon tason perusteella. Usein toteutuksen seurannassa voidaan hyväksyä pienempi mittaustarkkuus ja harvempien, mutta edustavien parametrien seuranta, kun taas toteutusta suunniteltaessa ja lopputuloksen varmistusvaiheessa vaaditaan suurempaa tarkkuutta. Tärkeintä on, että suunnittelija ja käyttäjä tuntevat menetelmien soveltuvuuden ja virhelähteet ja osaavat ottaa ne huomioon mittausten valittaessa, käytettäessä ja mittaustuloksia tulkittaessa.

Urakoitsija/työstä vastaava laatii näytteenotto-ohjeet sekä kaikille mittalaitteille käyttöohjeet, jotka sisältävät myös kalibrointi-ohjeet, huolto-ohjeet ja ohjeet toiminnasta häiriön sattuessa. Käyttö-ohjeiden on oltava mittalaitteen mukana työtä toteutettavien saatavissa. Lisäksi on määritettävä, milloin tulos poikkeaa hyväksyttävästä tasosta niin paljon, että on ryhdyttävä toimiin ja laadittava ohje tällaisten tilanteiden varalle.

*Mittausten menetelmien kalibrointisuunnitelman* on oltava osana laadunvarmistussuunnitelmaa. Standardoiduille menetelmille riittää viittaus standardiin. Muille menetelmille on esitettävä kalibrointimenetelmän kuvaus, johon sisältyy:

- 1) suurin sallittu kalibrointien ja kalibroinnin tarkastusten väliaika
- 2) kalibrointistandardien laatu ja valmistaja
- 3) standardien jäljitettävyys
- 4) kalibrointitulosten dokumentointi
- 5) ympäristö/toimintaolosuhteet, joissa laitetta on käytettävä, jotta olosuhdetekijät eivät haittaa laitteen toimintaa.

Kenttä- ja laboratorionäytteiden ottotiheyden lisäksi määritetään riippumattoman laadunvarmistuksen näytteiden tarve ja ottotiheys. Kenttänäytteenoton tulokset varmistetaan riittävällä määrällä laboratorionäytteitä. Laboratorionäytteiden määrää ei kuitenkaan suositella sidottavaksi suoraan kenttänäytteiden määrään, koska tämä voi rajoittaa kenttänäytteiden lukumäärää. Lisäksi tarkistetaan, että vastuuhenkilöt, tekijät ja analyysilaboratoriot täyttävät asetettujen tavoitteiden mukaiset pätevyysvaatimukset.

## 7.5.5 Dokumentointi

### Käyttöpäiväkirja

Huokoskaasupumppauksen toteutuksen seurannassa käytettävään käyttöpäiväkirjaan tai seurantalomakkeisiin merkitään mm.

- kohteen tunnistetiedot
- työmaatarkastukset
- toteutuksen sekä kaasujen ja vesien käsittelyn tarkkailumenetelmät, tarkkailtavat ominaisuudet näytteenottokohdat, tarkkailuajat ja tarkkailutulokset
- riippumattoman laadunvalvonnan näytteenottoajankohdat sekä mahdolliset toteuttajan rinnakkaisnäytteet
- kaikki tehdyt huolto- ja säätötoimenpiteet
- toimintahäiriöt, niiden kesto ja niiden johdosta suoritettut toimet
- muut poikkeamat ja niiden johdosta tehdyt toimet
- kaikista toimenpiteistä niiden tekijä ja ajankohta.

Menetelmän toimivuus ja tarve muuttaa toteutus- ja tarkkailusuunnitelmaa arvioidaan tulosten perusteella tarkkailusuunnitelmassa määritetyin väliajoin. Kaasuvirtaus, kaasun pitoisuuden kehitys ja poistettu haitta-ainemäärä esitetään graafisesti ajan funktiona kumulatiivisesti ja erikseen kutakin imukaivoa kohti.

## 7.5.6 Riippumaton laadunvalvonta

Riippumattoman laadunvalvojan käyttö on suositeltavaa ainakin laajoissa tai maaperäolosuhteiltaan hankalissa kohteissa sekä kohteissa, joissa käytetään tehostettuja tekniikoita. Riippumaton laadunvalvonta etenee urakoitsijan laatiman ja toteuttaman rakennusaikataulun mukaisesti. Työselitys ja työmaan laatusuunnitelma tarkistetaan välittömästi niiden valmistuttua.

Huokoskaasulaitteistojen asennusta seurataan koko asennuksen ajan, samoin mahdollisesti toteutettavia pilotkokeita. Urakoitsijan laadunvalvontatyötä ja työtapoja seurataan: 1) työmaalle tehtävillä satunnaiskäynneillä, 2) työmaalle tehtävillä kohdennetuilla käynneillä, 3) laboratoriotutkimusten ja koetulosten seurannalla sekä 4) urakoitsijan laadunvalvontakokeiden varmistamisella rinnakkaisnäytteillä tehtävillä kokeilla. Riippumatonta laadunvalvontaa on kuvattu laajemmin luvussa 1.6.5.

## 7.6 Lopputuloksen arviointi ja puhdistuneisuuskriteerit

Huokoskaasupumppauksen yhtenä lopettamiskriteerinä on poistettavan kaasun epäpuhtauspitoisuuden vakiintuminen tietylle tasolle. Koska maaperään on saattanut jäädä huonosti haihtuvia haitta-aineita tai haitta-aineita, joita ei ole esim. maaperän huonon läpäisevyyden vuoksi pystytty imemään poistettavan kaasun mukana, ennen lopettamis päätöstä tehdään uusintapumppaus. Pumppaus suositellaan tehtäväksi noin viikon kuluttua lopettamisesta. Jos pitoisuudet vakiintuvat nopeasti tavoitetasoon tai pumppauksen lopetustasoon, voidaan huokoskaasupumppaus alueella lopettaa. Tarvittaessa pumppaus toistetaan noin kuukauden tauon jälkeen. Joissakin tapauksissa on myös suositeltavaa tehdä pumppaus jaksottaisesti siten, että välillä pidetään noin viikon taukoja.

Lopettamis päätöstä ei voida tehdä pelkästään huokoskaasun pitoisuusmittauksen perusteella. Lopputuloksen arviointia varten määritetään tarkkailumittauksissa seurattavien ominaisuuksien lisäksi huokoskaasun koostumus sekä haitta-ainepitoisuudet maa- ja pohjavesinäytteistä (taulukot 7.5, 7.6 ja 7.7). Lisäksi määritetään laskennallisesti epäpuhtaustase. Massavirtojen laskentaa varten on muistettava muuntaa kaasumittausten tulokset NTP-olosuhteisiin. Seurantamittausten tulokset esitetään graafisesti siten, että puhdistuksen etenemistä on helppo seurata.

Verrattaessa tuloksia tavoitearvoihin, otetaan huomioon mittausmenetelmien tarkkuus, edustavuus ja epävarmuudet. Mittausmenetelmille esitetään epävarmuusarvio. Tuloksia arvioitaessa voidaan hyväksyä tietty määrä vähäisiä poikkeamia tavoitetasosta. Hyväksyttävien poikkeamien määrä tai käytettävä arviointitapa määritetään etukäteen laadunvarmistussuunnitelmassa tai viimeistään tilaajan ja urakoitsijan välisessä sopimuksessa. Esimerkki hyväksyttävän tason arvioinnissa mahdollisesta menettelytavasta on seuraava:

Verrataan lopputuloksen hyväksyttävyyden arvioimiseksi otettujen yksittäisnäytteiden haitta-ainepitoisuuksien keskiarvoa ympäristöluvassa esitettyyn hyväksyttävään tasoon. Lopputulos voidaan hyväksyä, jos pitoisuus on tietyllä luottamustasolla (95 %) alle hyväksyttävän pitoisuustason.

Mikäli kunnostuksessa ei ole päästy tavoitetasoon, määritetään kohteen ominaisuudet huomioon ottavan riskinarvioinnin perusteella, voidaanko alueella hyväksyä tavoitetasoa korkeampia pitoisuuksia. Päätöksen lopputuloksen hyväksyttävyydestä tekee ympäristöviranomaisen.



## 7.6.1 Raportointi

Huokoskaasukäsittelyn lopputuloksen hyväksyttävyyden arvioimiseksi raportoidaan ainakin taulukossa 7.8. esitetyt tiedot. Loppuraportin liitteenä esitetään mm. laadunvalvontaraportti.

*Taulukko 7.8 Kunnostuksen loppuraportissa esitettävät tiedot.*

<b>Raportoitavat tiedot</b>	<b>Esimerkki tulosten esittämistavasta</b>
Kohteen nimi ja sijainti, kohteesta vastaava	
Koko laitteiston ja kunkin imukaivon toiminta-aika ja seisokkiajat	
Pilaantuneen maa-aineksen arvioitu määrä/ esiintymislaajuus	xx m <sup>3</sup> pilaantunutta maata, alueen pinta-ala
Haitta-aineiden poistoteho ja poistotehon kehitys	Haitta-aineiden pitoisuus ja poistuma ajan funktiona graafisesti laaduntarkkailutulosten perusteella Yhteenvedo laaduntarkkailutuloksista taulukkomuodossa Haitta-ainetase
Kaasujen käsittelylaitteiston tarkkailutulokset ja vertailu puhdistustavoitteisiin	Käsittelytapa Seurantatulokset taulukkomuodossa, näytteenotto- ja analyysimenetelmät Mahdolliset käyttöhäiriöt ja korjaustoimet
Pohjaveden käsittelyn seurantatulokset	Pumpatut tai käsitellyt vesimäärät ja niiden haitta-ainepitoisuudet, näytteenotto- ja analyysimenetelmät, vesien johtaminen
Jätevedet	Laatu, määrä ja sijoitus
Syntyneet jätteet	Laatu, määrä ja sijoituskohteet
Kohteesta lopputulosten arvioimiseksi otetut näytteet ja tulosten vertailu alkutilanteeseen	karttakuva haitta-aineiden esiintymislaajuudesta ja pitoisuuksista ennen ja jälkeen kunnostuksen, näytteenottopisteet kartalla näytteistä tutkitut ominaisuudet, näytteenotto ja analyysimenetelmät ja haitta-aine-pitoisuudet saavutettu puhdistustulos alueen eri kohdissa, tulosten vertailu alkutilanteeseen ja puhdistustavoitteeseen taulukkomuodossa haitta-ainetase tulosten epävarmuudet ja niiden merkitys lopputuloksen arvioinnissa
Kohteen ympäristön seurantatulokset	Seurantanäytteet (ilma, maaperä, vesi) taulukkomuodossa, näytteenottopaikat kartalla, näytteenotto- ja analyysimenetelmät
Riippumattoman laadunvalvonnan raportti	
Poikkeustilanteet ja niiden korjaustoimet	
Jäännösriskien arviointi	Maaperään jäävistä haitta-aineista aiheutuvan riskin arviointi ja mahdolliset toimenpideehdotukset

## 7.6.2 Jälkitarkkailu

Pumppauksen lopettamisen jälkeen alueen tilaa seurataan ainakin ensimmäisen vuoden ajan ottamalla puolivuositain pohjavesi-, maaperä- ja huokoskaasunäytteitä. Jos näytteenotossa havaitaan hyväksytyjen tasojen ylityksiä, jatketaan näytteenottoa ja tarvittaessa arvioidaan lisätoimenpiteiden tarve. Jos alueella on asuin- tai työtiloja, niissä tehdään varmistusmittauksia erityisesti, jos huokosilmassa havaitaan pitoisuuksien kasvua.

## 7.7 Työsuojelu ja turvallisuus

Ennen kunnostuksen aloittamista jokaiselle työmaalle laaditaan kohdekohtainen turvallisuussuunnitelma, joka sisältää myös työsuojeluun liittyvät asiat. Suunnitelma on hyväksyttävä työsuojelupiirissä. Työsuojelusta vastaavien henkilöiden nimet ilmoitetaan ennen töiden aloittamista työsuojeluviranomaisille. Turvallisuussuunnitelman sisältöä on tarkemmin käsitelty luvussa 1.6.7.

Kemikaalien käsittelyyn ja kaasujen käsittelyyn liittyvien riskien vuoksi huokosilmäkäsittelystä on tehtävä ilmoitus myös palopäällikölle. Onnettomuuksien varalle kohteeseen on varattava käsiteltävien ja kuljetettävien haitta-aineiden mukainen turvavälineistö.

Riskejä voi aiheuttaa mm. altistuminen haitta-aineille hengityksen tai ruuansulatuselimistön kautta. Haihtuvia kaasuja käsiteltäessä on varauduttava myös räjähdys- ja palovaaraan. Käsiteltävän kaasun pitoisuusseurantaa on tihennettävä, jos pitoisuus voi nousta lähelle alemmaa räjähdysrajaa. Tarkkailusuunnitelmassa määritettävä, milloin tehtävä toimenpiteitä kaasun haitta-ainepitoisuuden laskemiseksi.

Rakennusvaiheessa sekä työmaalla toimenpiteitä tehtäessä on otettava huomioon yleiset maarakennustoimiin liittyvät riskit. Maarakennustyömaalla esiintyvien riskien hallitsemiseksi noudatetaan yleisiä maarakennustöiden työturvallisuusohjeita. Maarakennustöiden työterveysriskien hallintaa on käsitelty myös luvussa 2 ”Kaivu/massanvaihto, kuljetukset ja välivarastointi”, kappaleessa 2.7.

Riskienhallinta- ja torjuntakeinoja ovat:

- henkilökohtaisten suojainten tai kertakäyttösuojainten käyttö (haitta-ainekohtaiset suodattimet, haalarit, käsineet, saappaat)
- työntekijöiden koulutus ja perehdyttäminen työmaakohtaisesti turvallisuusnäkökohtiin
- jalkineiden ja työvälineiden pesumahdollisuuksien järjestäminen
- peseytymismahdollisuuksien järjestäminen

- ruokailun, juomisen ja tupakoinnin kieltäminen ennen suojavaatteiden poistoa ja peseytymistä
- työmaaparakkijärjestelyt (likaiset vaatteet, pesutilat, pukuhuoneet, toimisto- ja taukotilat)
- kaasupitoisuuksien seuranta työmaalla
- puhaltimen ja moottorin räjähdysuojaus
- säännölliset terveystarkastukset.

Seuraavassa yksityiskohtaisemmin huokoskaasupumppaukseen liittyviä riskitekijöitä ja mahdollisuuksia riskien torjumiseksi (mukailtu ohjeen FRTR 2002 perusteella):

### **Fyysiset riskit**

- 1) Kaivojen ja putkistojen asennuksen aikana työkoneet ja porauslaitteet voivat aiheuttaa työntekijöille turvallisuusriskin. Koneet aiheuttavat myös melua.

Torjuntakeinoja ovat a) liikkuvien työkoneiden ja kuorma-autojen varustaminen peruutushälyttimillä, b) kuulosuojainten käyttö, c) asianmukainen pukeutuminen ja heijastusliivien käyttö pimeällä ja d) hätäkatkaisimet. Lisäksi koneita pitää lähestyä aina edestä päin siten, että koneen kuljettaja näkee lähestyvän henkilön (silmäkontakti)

- 2) Maanalaisten putkistojen, kaapelien tai säiliöiden rikkoutuminen kaivutoimenpiteiden aikana voi aiheuttaa palo- tai räjähdysvaaran.

Torjuntakeinoja ovat a) kaikkien maanalaisten rakenteiden sijainnin selvittäminen, b) alueen historian tuntevien haastattelut, c) varovaisuus kaivettaessa, jos alueella on todettu maanalaisia rakenteita ja epävarmoissa tapauksissa käsinkaivu ja d) alkusammutuskaluston hankinta työmaalle.

- 3) Huokoskaasun sisältämät syttyvät yhdisteet voivat aiheuttaa palo- tai räjähdysvaaran.

Torjuntakeinoja ovat a) sähköturvallisuusmääräyksien noudattaminen ja ex-suojaukset, b) kaasun pitoisuusseuranta erityisesti pumppauksen alussa ja c) ulkoilman kaasupitoisuuksien mittaus alueella. Jos kaasupitoisuudet kohoavat, laitteistot tarkistetaan vuotokohtien tai muiden päästölähteiden havaitsemiseksi.

- 4) Sähköiskun vaara käytettäessä laitteistoa ulkona.

Torjuntakeinoja ovat hyväksytyjen sähkölaitteiden ja -johtojen käyttäminen sekä vikavirtakytkimien käyttö.

- 5) Käytettäessä höyryä maaperän lämmitykseen höyrylinjojen tukkeutumisesta syntyvä paine voi aiheuttaa räjähdysvaaran.

Torjuntakeinoja ovat paineenalennusventtiilien käyttö, höyrylinjojen huuhtelu ajoittain tukkeutumien poistamiseksi ja höyrygeneraattorin asianmukainen käyttö.

- 6) Höyrygeneraattorin ja putkistojen korkeat pintalämpötilat voivat aiheuttaa palovammojen vaaraa.

Torjuntakeinoja ovat pintojen eristäminen, varoituskylttien käyttö sekä este- ja suojarakenteet.

- 7) Kuumasta ilmasta aiheutuva auringonpistoksen, nestehukan ja lämpöhalvauksen vaara.

Torjuntakeinoja ovat riittävä nesteiden nauttiminen, suojautuminen auringolta ja lepotaumat.

- 8) Sähköiskun vaara ilmakaapelien alueella.

Torjuntakeinoja ovat ilmajohtojen ottaminen huomioon suunnitteluvaiheessa, suojaetäisyyksien määrittäminen ja tarvittaessa virran katkaisu työskentelyn ajaksi.

- 9) Liikenneonnettomuudet.

Torjuntakeinoja ovat työmaasta varoittavat liikennemerkkit, työmaaliikenteen suunnittelu ja peruutushälyttimien käyttäminen.

### **Kemialliset riskit**

- 1) Työntekijöiden altistuminen haitta-aineille sekä mahdollisille toksisille hajoamis- ja reaktiotuotteille (esimerkiksi TCE:n hajoamistuotteena syntyvä vinyylidikloridi, rikivety).

Torjuntakeinoja ovat a) haitta-aineiden mahdollisten hajoamis- ja reaktiotuotteiden tunteminen ja niihin varautuminen, b) maamassojen kostuttaminen laitteistojen asennustöiden aikana, c) laitteistojen säännölliset vuodontarkastukset ja vuotokohtien välitön korjaaminen ja d) hengityssuojainten käyttö (kaasu- ja pölysuodattimet; oikean suojaintyyppin valintaan kiinnitettävä erityistä huomiota, esim. hengitysilman suodattimet soveltuvat heikosti vinyylidikloridille).

- 2) Ilmainjektio voi aiheuttaa VOC-yhdisteiden kulkeutumista kellareihin, viemäriin, tms. Kaasujen kerääntyminen voi aiheuttaa räjähdysvaaran.

Torjuntakeinona ovat kaasupitoisuusmittaukset kohteissa, joihin VOCEja saattaa kulkeutua.

- 3) Laitteiston korjaus- ja huoltotyöt voi altistaa työntekijät haitallisille aineille tai kaasuille.

Torjuntakeinoja ovat a) tiedottaminen työntekijöille mahdollisista haitallisista aineista ja suojautumistarpeesta, b) happipitoisuusmittareiden käyttö, c) ilmanvaihdon järjestäminen, d) hengityssuojainten tai happinaamarin käyttö ja e) huoltotöiden aika-  
tauluttaminen.

Turvallisuus- ja työsuojeluasioiden periaatteita on käsitelty yksityiskohtaisemmin mm. Saastuneen maa-alueen tutkimuksen ja kunnostuksen työsuojeluoppaassa (Nikulainen & Kalevi 1997). Käytännön ohjeita työsuojelusta on esitetty mm. Ympäristögeoteknisessä näytteenotto-oppaassa (Suomen Geoteknillinen Yhdistys 2002) ja FRTR:n internet-sivuilla (<http://www.frtr.gov>).

## 8. Tiivistysrakenteet

### 8.1 Yleistä

Tiivistysrakenteilla pyritään estämään pilaantuneiden maa-ainesten sisältämien haitta-aineiden leviäminen ympäristöön rakentamalla tiiviitä seinämiä tai eristyskerroksia. Tiivistysrakenteita voidaan käyttää sekä muiden kunnostusmenetelmien yhteydessä että erillisenä kunnostusmenetelmänä (eristäminen eli kapselointi).

*Pintaeristyksessä* tarkoitus on ensisijaisesti estää sadevesien imeytyminen maa-ainekseen. Pintaeristystä käytetään kohteissa, joissa sadevesi muuten huuhtoisi mukaansa haitta-aineita ja suotovesi kuormittaisi ympäristöä haitallisesti. *Pohjaeristyksellä* estetään pilaantuneesta maa-aineksesta mahdollisesti muodostuvien suotovesien pääsy maaperään.

Tässä ohjeessa keskitytään lähinnä pilaantuneiden maiden välivarastointipaikkojen ja käsittelyalueiden pohjatiivistysrakenteisiin.

Pilaantuneiden maiden sijoittamista kaatopaikoille sekä niiden eristämistä on käsitelty luvussa 9 ”Sijoittaminen kaatopaikalle”, luvussa 10 ”Hyötykäyttö” sekä luvussa 1 ”Yleinen osa”. Kaatopaikkojen tiivistysrakenteita koskevaa tietoutta on esitetty Suomen ympäristökeskuksen julkaisuissa Kaatopaikan tiivistysrakenteet (1998) ja Kaatopaikkojen lopettamisopas (2001).

Seuraavassa esitetään tiivistysrakenteisiin yleisesti liittyviä termejä ja niiden määritelmät:

<i>Tiivistysrakenne</i>	maaperän ja pohjaveden suojausrakenne, jonka suojausvaikutus perustuu alhaiseen vedenläpäisevyyteen, koostuu lukuisista eri kerroksista
<i>Yhdistelmä rakenne</i>	tiivistysrakenne, jossa on sekä mineraalinen tiivistyskerros että keinotekoinen eriste
<i>Eristäminen</i>	maa-aineksen eristäminen siten, että sade-, pinta- ja pohjavesien pääsy kosketuksiin maa-aineksen kanssa estyy (synonyymi: kapselointi)
<i>Tiivistysmateriaali</i>	tiivistyskerroksessa käytettävä materiaali
<i>Eristemateriaali</i>	keinotekoinen materiaali, jota käytetään yleensä yhdessä mineraalisen tiivistyskerroksen kanssa pienentämään kerroksen vedenläpäisevyyttä

<i>Tiivistyskerros</i>	alhaisen vedenläpäisevyyden omaava kerros tiivistysrakenteessa
<i>Mineraalinen materiaali</i>	luonnon maa-aines, jota käytetään joko sellaisenaan, jalostettuna (esim. seulottuna) tai lisäaineistettuna
<i>Geomembraani</i>	polymeereistä (muovista) valmistettu tiivistyskalvo
<i>Keinotekoinen eriste</i>	keinotekoinen eristekerros, muovia tai tiivistä asfalttia
<i>Geosynteettinen materiaali</i>	keinotekoinen tuote, jota käytetään maarakenteissa korvaamaan maa-ainesta tai parantamaan maarakenteen ominaisuuksia
<i>Tiivistyskalvo</i>	geomembraani

## 8.2 Tiivistysrakenteet ja niiden soveltuvuuden arviointi

### 8.2.1 Yleistä

Tiivistysrakenteet koostuvat erityyppisistä kerroksista, joilla on oma toiminnallinen tehtävänsä. Pohjatiivistysrakenteeseen voi sisältyä tapauksesta riippuen seuraavia kerrostyyppejä:

- mineraalinen tiivistyskerros
- kuivatuskerros
- keinotekoinen eriste
- pintakerros
- suodatinkerros
- suojakerros
- tukikerros

Tiivistysrakenteeseen kuuluvat kerrokset määräytyvät läjitettävän materiaalin laadun ja ominaisuuksien sekä rakenteelle asetettujen teknisten vaatimusten (esim. vedenläpäisevyys) perusteella. Keveimmillään suojausrakenne voi olla tarkoitettu pelkästään veden virtauksen ohjaamiseen, joka voidaan toteuttaa esim. vesitiiviillä asfaltilla. Tiivistysrakenteiden suunnittelussa on erityisesti syytä huomata, että tiivistysrakenteiden läpi kulkeva nestemäärä on suoraan verrannollinen nesteen painekorkeuteen tiivistyskerroksen päällä. Tällöin kuivatusrakenteet, joilla ylimääräinen neste johdetaan pois tiivistyskerroksen päältä, ovat kokonaisuuden kannalta yhtä tärkeitä tiivistysrakenteen osia kuin varsinaiset tiivistyskerrokset.

Kompostikentät ja välivarastointiin liittyvät tiivistysrakenteet on toistaiseksi toteutettu tapauskohtaisesti määritettyjen vaatimusten perusteella, sillä niille ei ole annettu virallisia, yleisesti sovellettavia vaatimuksia tai ohjeita. Kompostikenttien rakenteille asetettavia vaatimuksia on käsitelty myös tämän raportin luvussa 6 ”Kompostointi” ja välivarastointiin liittyviä suojarakenteita luvussa 2 ”Kaivu/massanvaihto, kuljetukset ja välivarastointi”.

Tiivistysrakenteisiin liittyviä riskitekijöitä:

- biologinen toiminta, kemialliset reaktiot ja fysikaaliset prosessit voivat vaikuttaa rakenteen tiiveyteen
- rakenteiden ja rakennemateriaalien pitkäaikaiskestävyyden tutkiminen vaikeaa
- työvirheiden huomattava vaikutus lopputuloksen laatuun
- rakenteisiin liittyy usein läpivientejä, jotka ovat rakenneteknisesti erittäin vaativia toteuttaa.

**Kaikkien tiivistysrakenteiden osalta on varmistettava seuraavat seikat (Sarkkila et al. 2002):**

- **riittävät tiiviysominaisuudet ympäristön suojaamisen kannalta (huomioitava eri kulkeutumismekanismit)**
- **riittävä sorptiokapasiteetti aineiden kulkeutumista vastaan**
- **kestävyys kuormittavia aineita ja yhdisteitä vastaan**
- **rakenteiden stabiliteetti**
- **muodonmuutosten kestävyys**
- **kuivumisen ja jäätyminen vaikutusten hallinta**
- **työmenetelmien testaaminen koerakenteilla**
- **työsuorituksen valvonta (etenkin materiaalien homogeenisuus ja riittävän pienen vedenläpäisevyyden saavuttaminen).**

### **8.2.2 Tiivistysrakennemateriaalit**

Perinteisesti tiivistyskerroksen materiaaleina on käytetty luonnon maa-aineksia, mutta viime aikoina ns. geosynteettisten ja muiden jalostettujen tuotteiden käyttö on lisääntynyt huomattavasti. Myös erilaisia sivutuotteita voidaan käyttää tiivistysmateriaalina, jos niiden tekniset ominaisuudet vastaavat toiminnallisia vaatimuksia suojauskohteessa eikä niistä aiheudu haittaa tai vaaraa ympäristölle. Käyttö edellyttää aina viranomaisten hyväksyntää ja tuotteen ominaisuuksien ja ympäristökelpoisuuden selvittämistä. Sivutuotteiden käyttöä tiivistysrakenteissa on käsitelty yksityiskohtaisesti julkaisussa Wahlström et al. (2004).



Tiivistysrakenteen muissa kerroksissa käytetään yleisimmin luonnon maa- ja kiviainek- sia, joita käytetään joko sellaisenaan tai jalostettuna, esim. soraa tai mursketta kuivatus- kerroksessa. Yleisimmät jalostustoimenpiteet ovat seulonta, pesuseulonta ja murskaus. Muita tiivistysrakenteissa käytettyjä materiaaleja ovat esim. suodatinkankaat, suojage- otekstiilit ja geovahvisteet sekä veden keräämiseen käytettävät kaivot, putket ja sala- ojamatot. Suodatinkankaita käytetään erottamaan karkeammat ja hienommat rakenne- kerrokset toisistaan. Kankaat toimivat myös suodattimina ja niillä on rajallinen lujittava vaikutus. Suojageotekstiilejä käytetään esim. geomembraanien päällä suojaamaan niitä rikkoutumiselta. Geovahvisteet ovat lujiteverkkoja ja -kankaita, ja niitä käytetään mm. parantamaan maapohjan kantavuutta ja tasaamaan painumia.

### 8.2.3 Maa-ainesten sisältämät haitta-aineet

Tiivistysrakenteiden suunnittelussa ja toteutuksessa on huomioitava rakenteen päälle läjitettävien maa-ainesten sisältämät haitta-aineet, niiden mahdolliset vaikutukset toi- siinsa sekä erilaisten haitta-aineiden yhteisvaikutukset, kuten esimerkiksi liukoisuuden kasvu. Lisäksi on varmistettava, etenkin suotovesialtaiden suhteen, etteivät kemikaalien lämpötila tai pitoisuus aiheuta ongelmia. Haitta-aineilla ja niiden yhteisvaikutuksella voi olla huomattava vaikutus rakenteen toimivuuteen ja kestävyys. Esimerkiksi pienimo- lekyyliset orgaaniset haitta-aineet, kuten klooratut yhdisteet, saattavat läpäistä eristeet. Hyvin happamat ( $\text{pH} < 4$ ) ja hyvin emäksiset ( $\text{pH} > 11$ ) olosuhteet sekä vahvat hapetti- met puolestaan voivat vaarantaa eräiden rakennemateriaalien kestävyys (EPA 1994).

Jos on epäiltävissä, että käytettävien materiaalien kestävyys kemikaaleja vastaan on rajal- linen, on kestävyys varmistettava ennakkokokeilla. Ennakkokokeissa on kiinnitettävä erityistä huomiota materiaalin painonmuutoksiin, ulkonäkömuutoksiin ja lujuuden muu- toksiin. Kaatopaikan tiivistysrakenteet -oppaan (Suomen ympäristökeskus 1998) mukaan vedenläpäisevyys on määritettävä myös suotovedellä tai sitä vastaavalla liuoksella.

Epäpuhtauksien läpäisyyn vaikuttaa vedenläpäisevyyden lisäksi merkittävästi diffuusion kautta tapahtuva kulkeutuminen, mikä saattaa olla tärkein epäpuhtauksien siirtymisme- kanismi. Näiden selvittämiseksi on tarvittaessa tutkittava epäpuhtauksien tunkeutumis- nopeutta suotovedestä tiivistysmateriaaliin ja edelleen ympäristöön.

Suotoveden vaikutusta mineraalisen tiivistyskerroksen pitkäaikaiskäyttämiseen, eri- tyisesti hienojakoisen fraktion savimineraaleihin, voidaan arvioida tekemällä kokeita, joilla mitataan muutoksia maan perusominaisuuksissa. Jos esimerkiksi vedensitomisky- kytestissä veden sijasta käytetään toisen tyyppistä testiliuosta, on mahdollista tehdä kva- litatiivisia arvioita nesteen vaikutuksesta materiaalin kemialliseen stabiiliuteen (perus- tuen esim. muutokseen nesteen imeytymisessä). Kemiallisia vaikutuksia mineraaliseen tiivistysmateriaaliin voidaan arvioida myös käyttäen seuraavia menetelmiä (Suomen ympäristökeskus 1998):

- muutokset rakeisuudessa kokeen jälkeen
- sitovien aineiden kemiallinen karakterisointi (kalsiumkarbonaatti, dolomiitti tai rautaoksidit)
- muutokset paisuntaominaisuuksissa suotovesi- tai testiliuoskäsittelyn jälkeen
- muutokset plastisuudessa.

Mikäli suojarakenne on suunniteltu vain tilapäistä käyttöä varten, voidaan rakenteen suojaus-ominaisuuksia parantaa kerrospaksuutta lisäämällä.

### 8.2.4 Tiivistysrakennemateriaalien kemiallinen kestävyys

Seuraavassa on käsitelty eräiden yleisesti käytettyjen materiaalien kemiallista kestävyyttä.

#### Asfaltti

Asfalttitiivisteen kemiallinen kestävyys on ensisijaisesti riippuvainen bitumin kemiallisesta kestävydestä. Asfaltin kiviaines kestää normaalisti hyvin eri kemikaaleja. Poikkeuksena on esim. kalkkikivitäytejauhe, joka ei kestä happoja. Bitumi kestää hyvin laimeita happoja, emäksiä ja erilaisia suolaliuoksia, mutta vain rajallisesti öljytuotteita ja orgaanisia liuottimia (Asfalttiset tiivistysrakenteet 2002). Seuraavassa taulukossa on esitetty bitumin kestävyys eräiden kemikaalien ja nesteiden suhteen.

*Taulukko 8.1 Bitumin kestävyys eräitä aineita vastaan (Asfalttiset tiivistysrakenteet 2002).*

Aine	Lämpötila	Kestävyys
Suolahappo < 25 %, rikkihappo < 25 %	65 °C	Kestävä
Suolahappo > 25 %, rikkihappo > 25 %, typpihappo < 10 %, etikkahappo < 25 %	30 °C	Kestävä
Suolahappo 36 %, typpihappo > 10 %		Rajoitetusti kestävä
Rikkihappo > 95 %, voihappo, rasvahapot		Ei kestä
Fosforihappo		Kestävä
Maitohappo, sitruunahappo, parkkihappo, viinihappo, muurahaishappo < 40 %		Kestävä
Kaliumhydroksidi, natriumhydroksidi	30 °C	Kestävä
Kalsiumhydroksidi, ammoniakkivesi	65 °C	Kestävä
Sulfaatit, kloridit, nitraatit, fosfaatit	65 °C	Kestävä
Aromaattiset liuottimet, öljypohjaiset liuottimet, bensiini, polttoöljyt, voiteluöljyt, asetoni, eetteri, fenoli		Ei kestä
Glykoli, glyseriini, saippualiuokset, lantavesi ja virtsa, kaatopaikkavesi		Kestävä

#### Savi

Erilaisilla savimineraaleilla on erilainen fysikaalinen ja kemiallinen kestävyys. Kemikaalien vaikutus mineraalitiivisteisiin ei siten ole yksikäsitteisesti arvioitavissa. Erilaiset suotovedet saattavat aiheuttaa jonkun ominaisuuden huononemista (esim. vedenläpäisevyyden kasvua) ja toisen paranemista riippuen suotovesien koostumuksesta, konsentraatiosta, ajasta, lämpötilasta jne. (Sjöholm et al. 1994, Viatek Oy 1998, Kodikara et al. 2002).

Vahvat hapot ja emäkset saattavat liuottaa savitiivisteiden kiintoainesta muodostaen kanavia ja lisäksi vedenjohtavuutta. Happojen ja emästen reaktioon vaikuttavia seikkoja ovat mm. niiden konsentraatio, vaikutusajan pituus, mineraalikoostumus ja lämpötila. Hapot ja emäkset ovat haitallisimpia, kun pH on  $< 3$  tai  $> 11$ . Savella on kuitenkin suuri puskuriikyky happoja vastaan (Daniel 1993).

Neutraalit epäorgaaniset nesteet vaikuttavat lähinnä savipartikkeleiden pinnalle adsorboituneiden vesimolekyylien kaksoiskerroksen paksuuteen. Kerroksen paksuuteen vaikuttavat lähinnä nesteen dielektrisyys, elektronikonsentraatio ja kationien valenssi. Savipartikkeleiden pinnalla olevan kaksoiskerroksen paisuessa vedenläpäisevyys alenee ja vastaavasti kaksoiskerroksen ohetessa vedenläpäisevyys kasvaa. Vahvat epäorgaaniset nesteet, joiden elektronikonsentraatio on suuri, ohentavat eniten kaksoiskerrosta ja siten kasvattavat eniten vedenläpäisevyyttä (Daniel 1993).

Useimpien neutraalien orgaanisten kemikaalien dielektrisyys on alempi kuin vedellä, mikä aiheuttaa savipartikkeleiden vesimolekyylien kaksoiskerroksen ohenemista ja siten läpäisevyyden kasvua. Dielektrisyydeltään alhaiset nesteet aiheuttavat lisäksi savipartikkeleiden hiutaloitumista ja sitä kautta kutistumishalkeamia. Edellä mainituilla reaktioilla orgaaniset kemikaalit voivat aiheuttaa savitiivisteiden läpäisevyydessä suuren kasvun, jos vallitseva jännitys on pieni. Suurella vallitsevalla jännityksellä orgaanisten kemikaalien vaikutus on huomattavasti pienempi. Laimeat orgaaniset nesteet eivät vaikuta merkittävästi läpäisevyyteen. Tällöin seoksessa tulee olla vähintään 50 % vettä ja kaiken orgaanisen nesteen tulee olla liuenneena veteen (Daniel 1993).

### **Tiivistyskalvot**

Pelkkä polymeerityyppi ei kuvaa riittävästi tiivistyskalvojen ominaisuuksia. Valmistustavoista riippuen tiivistyskalvojen ominaisuudet saattavat poiketa samastakin peruspolymeeristä valmistettuna. Lisäksi valmistuksen aikana tuotteisiin lisätään erilaisia lisäaineita, jolla parannetaan valmiin tuotteen ominaisuuksia ja käyttäytymistä. Yleissääntönä voidaan kuitenkin sanoa, että polyeteenin kemiallinen kestävyys on parempi kuin polypropeenin. Polyeteenin kemiallinen kestävyys kasvaa tiheyden kasvaessa eli HDPE (high density polyethylene) on kestävämpää kuin LDPE (low density polyethylene). Markkinoilla on lisäksi polyeteenikalvoja, joiden ominaisuuksia on parannettu esimerkiksi lisäämällä jonkin tietyn kemikaalin kestävyttä. Tällöin kuitenkin yleensä mekaa-

niset ominaisuudet heikkenevät, esim. jännityssäröilyriski kasvaa (Suomen ympäristökeskus 1998).

Tiivistyskalvojen kemiallisen kestävyuden arvioimiseksi lisäkokeet ovat tarpeen (Rathmayer & Juvankoski 1993), jos

- kemikaali koostuu useammasta kuin yhdestä aineesta ja niiden yhteisvaikutusta ei tunneta
- kemikaalin koostumusta ei tunneta
- tiivistyskalvo on valmistettu yhdistelemällä eri raaka-aineita
- sauma on tehty eri materiaalista kuin varsinainen kalvo
- rakenteilta vaaditaan erityisen pitkää käyttöikää
- käyttöolosuhteet ovat normaalista poikkeavat
- käytetään uusia materiaaleja tai materiaaliyhdistelmiä.

### **Bentoniitti**

Bentoniitti koostuu pääasiassa montmorilloniitti-nimisestä savimineraalista. Bentoniitin päätyypit ovat kalsium- ja natriumbentoniitti sekä natriumaktivoitu kalsiumbentoniitti. Eri lähteistä tulevat bentoniitit voivat kuitenkin poiketa huomattavasti ominaisuuksiensa puolesta em. päätyyppien sisälläkin. Yleissääntönä voidaan kuitenkin todeta, että kemialliselta kestävyydeltään Ca-bentoniitti ja Na-aktivoitu Ca-bentoniitti ovat melko hyviä, mutta Na-bentoniitti rajallinen (EPA 1993c, DEPA 1997). Bentoniitin paisumis- ja tiivistysominaisuuksiin haitallisesti vaikuttavia aineita ovat mm. suolat, hiilivedyt, kaksiarvoiset kationit (esim.  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) sekä vahvat hapot ( $\text{pH} < 3$ ) ja emäkset ( $\text{pH} > 11$ ) (Sarkkila et al. 2002). Esimerkiksi paisumiskyky laskee huomattavasti ja vedenläpäisevyys vastaavasti kasvaa Na-bentoniitilla ja Na-aktivoitulla Ca-bentoniitilla suolapitoisuuden kohotessa, mikä johtuu voimakkaasta ioninvaihdosta.

### **Polymeeribentoniitti**

Polymeeribentoniitit kestävät yleensä hyvin sekä happamia että emäksisiä olosuhteita pH-alueella 1,5...10,0 (Weitz 1997). Niiden kemikaalien kestävyys on puhdasta bentoniittia, bentoniittimattoja ja bentoniittimaata parempi tuotteiden sisältämän polymeerin ansiosta. Tämä on todettu etenkin suolojen kestävyuden osalta. Tutkimuksissa on kuitenkin havaittu vedenläpäisevyyden voivan kasvaa jossain määrin dieselöljyn ja meriveden vaikutuksesta (Van der Wall 1997).

## 8.2.5 Rakennuspaikan sijainti ja pohjasuhteet

Tiivisterakenteiden rakennuspaikka ei saa sijaita

- pehmeikköalueella, jos alueella voi tapahtua haitallista painumista tai painumat voivat vaurioittaa tiivistysrakenteita
- suolla, vedenjakajalla tai tulvavaaran alaisella maalla, jos sade- ja suotovesien koaminen ja käsittely on teknisesti vaikea toteuttaa alueen käytön aikana.

Tiivisterakenteiden rakennuspaikan tulisi sijaita

- kantavalla ja mahdollisimman tiiviillä maapohjalla
- pinta- ja pohjavesien suhteen helposti hallittavissa olevalla alueella
- tasaisella alueella.

Haitta-aineita sisältävien maamassojen sijoituspaikka valitaan siten, että tiivistysrakenteen pohjasta on pysyvästi vähintään yhden metrin etäisyys pohjaveden ylimpään pintaan (Sarkkila et al. 2002). Suositusta on syytä tiukentaa ehdottomaksi vaatimukseksi ympäristöriskien vähentämiseksi. Myös orsivesi on otettava huomioon pohjaveden yhtenä esiintymismuotona.

Välivarastointipaikalle asetettavia vaatimuksia on käsitelty raportin luvussa 2 ”Kaivu/massanvaihto, kuljetukset ja välivarastointi”.

## 8.2.6 Ennakkokokeet ja koetiivistyskenttä

Tiivistysrakenteissa käytettävien materiaalien tekniset soveltuvuuskokeet on tehtävä ennen rakennustyön aloittamista. Ennakkokoevaatimus koskee lähinnä tiivistys- ja eristemateriaaleja. Sivutuotteita käytettäessä on ennakkokokeilla osoitettava lisäksi materiaalien ympäristö- ja/tai kaatopaikkakelpoisuus rakennekerroksesta riippumatta. Vaaditut ennakkokokeet ja koerakenteet on esitettävä laadunvarmistussuunnitelmassa, ks. myös luku 8.6 Rakennustyön aikainen laadunhallinta ja luku 8.2.3 Maa-ainesten sisältämät haitta-aineet.

**Ennakkokokeiden tuloksista on esitettävä rakennuttajalle ja riippumattomalle laadunvalvojalle sekä ympäristöviranomaiselle kaikki tulokset valitun materiaalin osalta. Seosaineet ja -määrät on mainittava. Liikesalaisuuksia sisältävät tulokset voidaan tarvittaessa esittää luottamuksellisina (Leppänen et al. 2004).**

Koekentällä tehtävällä kenttätiivistyskokeella varmistetaan käytettävien materiaalien, työmenetelmien ja laadunvarmistusmenetelmien toimivuus tiivistysmateriaalien osalta.

Koerakentamisen yhteydessä seurataan materiaalien soveltuvuuskokeilla määritettyjen tekijöiden avulla

- vedenläpäisevyysominaisuuksia (määritetään laboratoriokokeilla)
- tiivistymisominaisuuksia
- materiaaliominaisuuksia
- materiaalin, mahdollisten lisäaineiden ja sekoitustuloksen homogeenisuutta (Sjöholm et al. 1994).

Koekentän minimikoko on 15 x 15 m. Koekenttä voi olla osa lopullista tiivistysrakennetta, mikäli se täyttää asetetut vaatimukset.

### **8.3 Esimerkkirakenteita**

Seuraavassa on esitetty välivarastointialueiden, kompostikenttien ja suotovesialtaiden tiivistysrakenteille asetettuja vaatimuksia ja esimerkkejä rakenteista. Kenttä- ja allasrakenteiden lopulliset kerrospaksuudet, käytettävät materiaalit ja tiiveysvaatimukset määntyvät aina kohdekohtaisessa ympäristöluvassa.

#### **8.3.1 Välivarastointialue**

Välivarastointialueen sijoituspaikan mukaan pohjaeristeenä voidaan joissain tapauksissa (ei sovellu ongelmajätteille) käyttää pelkästään keinotekoista eristettä, jonka paksuus ja materiaali (HDPE-muovi, tiivis asfalttibetoni ABT, kumibitumivaluasfaltti KBVA) valitaan tapauskohtaisesti. Tällöin rakenteeseen ei saa kohdistua jatkuvaa vedenpainetta (Asfalttiset tiivistysrakenteet 2002). Pohjamaan ollessa hyvin tai kohtalaisesti vettä läpäisevää, tai mikäli rakenteeseen saattaa kohdistua pysyvää vedenpainetta tai mikäli kyseessä on ongelmajätteiden varastointi, on pohjatiivisteinä käytettävä myös mineraalista tiivistettä keinotekoisena eristeen lisäksi (yhdistelmä rakenne). Mineraalisena tiivisteinä voidaan käyttää esim. huonosti vettä johtavaa luonnonmaata, polymeeribentoniittia tai bentoniittimaata. Käytettävien materiaalien ominaisuuksien tulee kuitenkin aina kestää varastoitavien maamassojen sisältämien haitta-aineiden ja suotovesien vaikutukset. Ilman suojakerroksia toteutettavan tiivistysrakenteen kohdalla on otettava huomioon, että kaikkien rakennekomponenttien tulee olla roudan- ja pakkasenkestäviä.

Välivarastoinnin luonteesta johtuen ympäristön suojaamiseen tarkoitettujen rakenteiden lisäksi alueelle on rakennettava kulutuskerros työkoneiden ja kuorma-autojen aiheuttamaa rasiusta vastaan. Kulutuskerros voidaan suunnitella myös toimimaan pintavesivaluntaa ohjaavana pintana käyttämällä riittäviä kallistuksia (vähintään 2 %) ja soveltuvaa

materiaalia (esim. ABT). Taulukossa 8.2 on esitetty esimerkki välivarastointialueen kenttärakenteesta.

*Taulukko 8.2 Esimerkki välivarastointialueen kenttärakenteesta (Uudenmaan ympäristökeskus 2002, mukailtu).*

<b>Rakennekerros</b>	<b>Kerrosmateriaali/huomautuksia</b>
Pinnan tiivistyskerros	Asfalttibetonista (AB) rakennettu kulutuskerros
Kantava kerros	Kallio- tai soramurske (mitoitetaan kentän toiminnan mukaisesti)
Salaojakerros mahdollisine salaojaputkineen	Salaojitussora 260–300 mm tai vastaava murske
Suojageotekstiili	Salaojakerroksen materiaalin mukaan, esim. $\geq 800-1\ 200\ \text{g/m}^2$
Keinotekoinen eriste	HDPE-kalvo
Tiivistyskerros	Polymeeribentoniitti 90 mm
Kantava kerros	Kallio- tai soramurske (mikäli pohjamaan kantavuus ei ole riittävä)
Suodatinkangas	Tarvittaessa
Tasattu pohjamaa	Kantava luonnonmaa tai täyttö

### 8.3.2 Kompostikenttä

Kompostikentän pohjarakennemateriaalien (kulutuskerros ja tiivistyskerros) on oltava kompostin suotovesiä ja käsiteltäviä haitta-aineita kestäviä. Kulutuskerroksen materiaalin on kestävä myös käytettävien työkoneiden pyöräkuormitus. Pohjarakenteen pinnan kallistuksen on oltava sellainen, että vesi ei keräänny rakenteen pinnalle, aina vähintään 2 %.

*Pysyväksi tarkoitettu kompostointikenttä* on perustettava routimattomalle ja painumattomalle alueelle. Ainakin epätasaiset painumat ja niistä mahdollisesti aiheutuva rakenteiden rikkoutuminen on estettävä, eivätkä kentän kaadot saa muuttua. Kuormaimet ja muut kompostin aiheuttamat (epätasaiset) kuormat eivät saa rikkoa tiivistysrakenteita, salaojitusta tai kulutuskerrosta.

Toimivat rakennekerrokset voidaan toteuttaa eri tavoin. Tavanomainen ratkaisu sisältää taulukossa 8.3 esitetyt kerrokset.

*Taulukko 8.3 Tyypillisen kompostikentän rakennekerrokset ja kerrosmateriaalit.*

<b>Rakennekerros</b>	<b>Kerrosmateriaali</b>
Pinnan tiivistyskerros	Kaksikerroksinen tiivisasfalttirakenne (tiivis asfalttibetoni ABT, tyhjätila alle 3 %) tai betonilaatta + asfalttibetonista (AB) rakennettu kulutuskerros
Jakava ja kantava kerros	Kallio- tai soramurske
Kuivatuskerros mahdollisine salaojaputkineen	Salaojitussora 260–300 mm
Tiivistyskerros	Tiivis mineraalimaa, murskebentoniitti ja/tai mekaanisesti suojattu HDPE-kalvo
Tasattu pohjamaa	Kantava luonnonmaa tai täyttö

Väli aikaisten kompostikenttien rakenteissa voidaan tinkiä rakennekerrosten paksuuksista, materiaaleista ja materiaalien pitkäaikaiskestävyydestä. Pohjamaan osalta vaatimukset ovat samat: painumattomuus, routimattomuus ja kaatojen toimivuus. Rakennekerroksissa voidaan käyttää erilaisia ratkaisuja kompostoitavista materiaaleista ja paikallisesti saatavista rakennusmateriaaleista riippuen.

Tyypillinen väliaikainen kenttä koostuu tasatun pohjamaan päälle levitetystä routimattomasta hiekkatäytöstä, suodatinkankaalla suojatusta muovikalvosta (yhdestä tai kahdesta kalvosta, yhteispaksuudeltaan noin 0,5 mm) ja routimattomasta materiaalista rakennettavasta kantavasta/jakavasta kerroksesta (150–300 mm). Tämän päälle tulee vielä mahdollinen kulutuskerros asfaltista (esim. PAB). Kuivatus hoidetaan sopivien kaatojen avulla keräämällä vedet reunaojiin.

### **8.3.3 Suotovesiallas**

Allasrakenteiden suunnittelussa ja rakentamisessa on aina otettava huomioon, että ne ovat erittäin vaativia kohteita, joissa tiivistysrakenteeseen saattaa kohdistua useiden metrien korkea vesipaine.

Suotovesien keräilyallas toteutetaan yhdistelmä rakenteena. Altaan eristemateriaalina voidaan käyttää esim. kumibitumivaluasfalttia. Rakenne voi olla esim. seuraavanlainen (Asfalttiset tiivistysrakenteet 2002):

- 30 mm kumibitumivaluasfaltti, KBVA 11 (luiskissa esim. KBVA 8)
- 40 mm tiivis asfalttibetoni, ABT 16 (tyhjätila < 3 %)
- 60 mm tiivis asfalttibetoni, ABT 16 (tyhjätila < 5 %)
- 370 mm mineraalinen tiivistyskerros (kantava)
- kantava alusrakenne



Suotovesien keräilyaltaan tai -säiliön materiaalien osalta on aina tarkistettava, että käytetyt materiaalit kestävät kyseistä suotovettä. Roudan vaikutus on myös huomioitava. Suotovesialtaat on rakennettava aina kantavalle pohjalle. Altaiden pakkasenkestävyyttä voidaan parantaa käyttämällä pintakerroksena kumibitumivaluasfalttia.

## 8.4 Ympäristövaikutusten hallinta

**Työmaan ympäristökuva viestii työmaan hyvästä tai huonosta hoidosta niin ulkopuolisille, rakennuttajalle kuin omalle henkilökunnalle. Ympäristökuva sisältää työmaan siisteyden ja järjestyksen sekä liikennejärjestelyt (Tuhola 1997).**

### 8.4.1 Ympäristöpäästöjen hallinta

Tiivistysrakenteiden rakentamiseen liittyvät mahdolliset ympäristöpäästöt ovat pääsääntöisesti vastaavat kuin normaalilla maarakennustyömaalla. Edes muiden kuin luonnon maa- ja kiviainesten käyttö ei suuresti muuta mahdollisten päästöjen laatua tai määrää. Ympäristön kannalta vahingollisimmat päästöt esiintyvät pilaantuneiden maamassojen läjitysvaiheessa tai muun jatkoiminnon aikana (esim. kompostointi). Tiiviste- ja eristerakenteiden käyttäminen edellyttää aina ympäristöpäästöjen jatkuvaa seurantaa ja mahdollisesti myös päästöjen käsittelyä esim. suotovesien osalta. Ympäristöpäästöjen hallintaa ja käsittelyä on näiltä osin käsitelty yksityiskohtaisesti luvussa 2 ”Kai-vu/massanvaihto, kuljetukset ja välivarastointi” sekä luvussa 9 ”Sijoittaminen kaatopaikalle”. Maarakennushankkeiden rakennussuunnittelua ja toteutusta koskevia ohjeita ja suosituksia on esitetty myös julkaisussa Tuhola 1997.

### 8.4.2 Riskien ja epävarmuuksien hallinta

Ympäristövaikutusten hallintaan liittyvät epävarmuudet ja riskit arvioidaan ja tehdään riskitarkastelut toimintaohjeineen näiden epävarmuuksien hallitsemiseksi. Tällaisia epävarmuustekijöitä voivat olla esim.

- poikkeukselliset sääolosuhteet
- rankkasateiden aiheuttamat tulvat
- massamäärien muutokset ennalta arvioituun nähden.

Tiivistysrakenteisiin liittyy eräitä ominaispiirteitä, jotka voivat aiheuttaa haitallisia ympäristöpäästöjä rakenteiden valmistumisen jälkeen (EPA 1997, Egloffstein 2002). Näitä ovat esim.:

- geomembraanien rikkoutumisherkyys asennuksen aikana
  - asennuspinnan laatuvaatimusten noudattaminen tärkeää
  - asennetut kalvot suojattava suojakerroksella heti asennuksen jälkeen
- kalvojen ja bentoniittimattojen saumauksen onnistuminen oleellista hyvään lopputulokseen pääsemiseksi
  - saumaustyöt tehtävä erityisellä huolella
  - säätilan ja ympäristöolosuhteiden asennustyölle asettamien rajoitusten huomioiminen
  - saumojen testaus
- tiivistyskerroksen jääminen epähomogeeniseksi tiiveyden suhteen
  - huolellinen materiaalien laadun ja rakennustyön seuranta
  - valmiin rakenteen laadunvalvontamittaukset
- yhdistelmärakenteessa mineraalisen ja keinotekoisen eristeen väliin jää vaakasuoran virtauksen mahdollistava vyöhyke
  - materiaalien huolellinen valinta
  - työn lopputuloksen huolellinen seuranta
- kuivatuskerroksen tukkeutuminen ajan myötä
  - huolellinen materiaalien laadun seuranta
- bentoniitin ominaisuuksien muuttuminen ioninvaihdon vuoksi
  - olosuhteisiin perustuva rakenteiden suunnittelu.

## **8.5 Rakennus- ja kunnostustyöntyön valmistelu**

### **8.5.1 Luvat ja suunnitelma-asiakirjat**

Pilaantuneiden maiden kunnostaminen (mukaan lukien välivarastointi- ja käsittelyalueiden rakentaminen) on ympäristöluvanvaraista toimintaa. Lupa on haettava hyvissä ajoin ennen työmaan aloittamista. Rakennus- ja kunnostustyön valmistelun aikana huolehditaan työmaahan liittyvien tarpeellisten lupien hankkimisesta ja ilmoitusten tekemisestä.

Toteutettavien töiden luonteesta riippuen voidaan tarvita esim. työlupaa tai kaivulupaa. Häiritsevistä melusta on tarvittaessa tehtävä ilmoitus kunnan ympäristöviranomaisille.

Rakennustyömaalle on laadittava *työmaasuunnitelma*, joka toimitetaan tarkastettavaksi ympäristöviranomaisille. Työmaasuunnitelmassa esitetään mm. työmaan ajojärjestelyt ja työmaan yleiseen toimintaan liittyvät seikat. Suunnitelmaan on liitettävä työsuojeluviranomaisen tarkastama *työturvallisuussuunnitelma* sekä erillinen *rakennussuunnitelma*. Rakennussuunnitelma sisältää mm. *mittaussuunnitelman*, jossa määritellään laadunvalvonnan vaatimukset rakenteiden sijainnin ja paksuuden mittaamisesta, sekä *asennussuunnitelman* erityisrakenteille (esim. tiivistyskalvot). Ympäristölupakäytäntöä sekä työmaa- ja turvallisuussuunnitelmien sisältöä on tarkemmin käsitelty luvuissa 1.2.2 ja 1.6.3. Maarakennustyömaahan liittyviä käytännön järjestelyjä on käsitelty myös julkaisussa Tuhola 1997.

### 8.5.2 Työmaa-alueen esivalmistelu

Työmaan esivalmisteluvaiheessa tehdään:

- työmaateiden rakentaminen, liikennemerkkien ja opasteiden asennus
- työmaan aitaaminen tarvittaessa
- puiden ja poistettavien rakenteiden raivaus
- sähkö-, vesi ja viemärioliittymät
- rakennuskohteiden rajaaminen ja merkitseminen
- sähkö- ja puhelinkaapeliin, vesi- ja viemärijohtojen, kaasuputkien ja maanalaisten rakenteiden sijainnin selvittäminen ja tarvittaessa siirtäminen
- alueen pintavesien kuivatuksen ja ohjauksen suunnittelu
- rakenteiden ja rakennusten vaurioitumisriskitarkastelu (kuljetukset, tärinä) ja katselmukset
- työmaakoppien ja sosiaalisten tilojen rakentaminen
- vartioinnin järjestäminen tarvittaessa
- maarakennuskaluston hankinta.

### 8.6 Rakennustyön aikainen laadunhallinta

Rakennustyön aikainen laadunhallinta koostuu sekä käytettävien materiaalien laadunvalvonnasta että toteutettavien rakenteiden laadunvalvonnasta.

Rakennustyön aikainen laadunhallinta, kuten myös ennakkokokeiden ja koerakenteiden toteuttaminen, perustuvat etukäteen laadittuihin urakoitsijan ja riippumattoman laadunvalvojan laadunvarmistussuunnitelmiin sekä työselityksiin. Suunnitelmissa on huomioitava ja määritettävä seuraavat asiat (Sarkkila et al. 2002):

- materiaalmääritykset, raaka-ainevaatimukset, testausmenetelmät
- materiaalien ennakkokokeet ja rakennusaikainen hyväksymismenettely
- testausmäärät
- rakennustyön sääolosuhdevaatimukset
- työnsuorittajien pätevyysvaatimukset
- koerakenteet ja työmenetelmien hyväksyminen
- maastomittaukset ja toteutuneiden mittojen varmistaminen, tarkepiirustukset
- toimenpiteet muutoksien osalta, hyväksyminen
- toimenpiteet laatupoikkeamien osalta
- toteuttajan laatusuunnitelmalle asetettavat vaatimukset
- työsuojelusuunnitelmassa vaadittavat asiat.

Työmaalla sekoitettavista tuotteista on tehtävä rakentamisen aikana huomattavasti enemmän laadunvalvontamittauksia kuin teollisesti valmistetusta tuotteesta, jonka laadunvalvonta on tehty jo tuotantolaitoksessa (Leppänen et al. 2004).

### **8.6.1 Laadunvalvonnan sisältö**

#### **Alusrakenteen laadunvalvonta**

Alusrakenteen laatua valvotaan ennen seuraavan kerroksen rakentamista. Seurattavia tekijöitä ovat (vaihtelee tapauskohtaisesti):

- sijainti
- pinnan tasaisuus
- kantavuus
- suodatinkerroksen tarve.

#### **Rakennemateriaalien laadunvalvonta**

Työnaikaiset seurantamittaukset ja niiden toteutustapa (koskee sekä urakoitsijaa että riippumatonta laadunvalvojaa) on aina määritettävä rakennus- ja laatusuunnitelmissa.

Mineraalisia tiivistysmateriaaleja koskevia laatuvaatimuksia ja niiden laadunvalvontaa on esitetty julkaisuissa Suomen ympäristökeskus 1998 ja 2001, Leppänen et al. 2004 ja Tammirinne et. al 2004.

### **Rakentamisen laadunvalvonta**

Työnaikaiset seurantamittaukset ja niiden toteutustapa (koskee sekä urakoitsijaa että riippumatonta laadunvalvojaa) on aina määritettävä rakennus- ja laatusuunnitelmissa. Lähtötietojen määrittelyn sekä suunnittelun ja toteutuksen laadunvarmistuksen tekevät yhteistyössä rakennuttaja, lupa- ja valvontaviranomainen sekä riippumaton laadunvalvoja. Urakoitsija vastaa oman laatusuunnitelmansa puitteissa laadunvalvonnasta. Työmaalla voi lisäksi olla työmaavalvoja rakennuttajan edustajana.

**Monet tiivistysmateriaalit liettyvät tai plastisoituvat sateiden vaikutuksesta, mikä huonontaa rakenteen ominaisuuksia. Myös materiaalin liiallinen kuivuminen voi aiheuttaa haitallisia muutoksia. Liettynyt, plastisoitunut tai liiaksi kuivunut materiaali on poistettava rakenteesta. Työtä ei saa suorittaa sateella. Valmis pinta on suojattava haitalliselta kastumiselta ja kuivumiselta mahdollisimman pian hyväksymisen jälkeen, viimeistään työvuoron päättyessä, keinotekoisella eristeellä tai suojakerroksella. Myös varastokasat on suojattava sateelta.**

Suomen Geoteknillisen Yhdistyksen julkaisussa Pohjarakennustöiden valvontaohjeet (1984) on annettu suosituksia työmaa- ja materiaalivalvonnan käytännön suorittamisesta. Ohjetta voidaan soveltaa myös tiivistysrakenteiden rakentamisen valvontaan. Muita rakennustyön laadunvalvontaa käsitteleviä julkaisuja ovat mm. Suomen ympäristökeskus 1998 ja 2001 sekä Leppänen et al. 2004.

### **8.6.2 Riippumaton laadunvalvonta**

Tiivistysrakenteiden rakentaminen on tyypillisesti toimintaa, jonka toteutuksen yhteydessä on syytä käyttää riippumatonta laadunvalvojaa laadukkaan lopputuloksen varmistamiseksi. Riippumattomaan laadunvalvontaan kuuluvia tärkeimpiä tehtäviä rakennushankkeen eri vaiheissa on esitetty taulukossa 8.4 Riippumattoman laadunvalvojan pätevyysvaatimuksia ja tehtäviä on käsitelty yksityiskohtaisesti luvuissa 1.3, 1.4, 1.5 ja 1.6.5.

*Taulukko 8.4 Riippumattomaan laadunvalvontaan sisältyviä tehtäviä rakennushankkeen eri vaiheissa.*

<b>Rakennushankkeen vaihe</b>	<b>Riippumattoman laadunvalvonnan sisältö</b>
Yleis- ja rakennussuunnittelu Urakoitsijan valinta	Suunnitelmien arviointi, osallistuminen laadunvalvontasuunnitelman laadintaan, osallistuminen urakoitsijan valintaan
Ennakkokokeet Koekentän rakentaminen	Osallistuminen näytteenoton ja kenttäkokeiden suunnitteluun, näytteenoton laadunvarmistus, näytteiden edustavuuden arviointi, kokeiden ja koetulosten seuranta, rakentamisen valvonta, laadunvalvonnan vertailuarvojen määrittäminen
Rakennustyö	Projektin seuranta kentällä ja työmaakokouksissa, yhteydenpito rakennuttajaan, tiedottaminen rakennuttajalle ja urakoitsijalle rakennustyön laatutasosta, toteutussuunnitelmaan tehtävien muutosten seuranta
Rakennustyön laadunvalvonta	Työmaavalvonta, osallistuminen näytteenottoon, urakoitsijan laadunvalvontakokeiden tulosten varmentaminen rinnakkaisnäytteillä tehtävillä kokeilla ja kenttäkokeilla, urakoitsijan laadunvalvonnan toteutumisen suunnitelmanmukaisuus ja kokeiden tulosten seuranta, rakennustyön etenemisen seuranta suunnitelmien ja työselitysten mukaisesti
Työn raportointi	Loppuraportin laadinta
Jälkikorjaustoimenpiteet	Valvonta ja raportointi

### 8.6.3 Dokumentointi

Työsuorituksen seuranta ja laadunvarmistus perustuvat suoritettujen työn dokumentointiin. Dokumentoinnin kannalta on tärkeintä tehdä tarkepiirustukset eri rakennekerroksista sekä paikantaa näytteenotto- ja kenttämittauspisteiden paikat tarkasti.

Rakennustyön aikaisten tarke- ja valvontamittausten tekoajat ja -paikat, näytteenotto-paikat, näytetunnukset, kenttämittauspisteet, laboratorio- ja mittaustulokset sekä mittauksen tekijän, näytteenottajan ja laboratorion tunnistetiedot kirjataan työpäiväkirjoihin, suunnitelma- ja toteutumakarttoihin tai seurantalomakkeisiin. Dokumentointi on toteutettava siten, että pystytään jäljittämään, mistä näytteet on otettu ja missä mittaukset on tehty. Dokumentoinnin avulla myös varmistetaan, että mittaus- ja koetulokset menevät välittömästi tiedoksi henkilöille, joiden tehtävänä on ohjata työtä ja tehdä päätöksiä tulosten perusteella (Leppänen et al. 2004).

Työnaikaisista muistioista ja pöytäkirjoista kootaan yhteenveto urakoitsijan loppuraporttiin. Aineistoa voidaan soveltuvin osin liittää myös riippumattoman laadunvalvojan loppuraporttiin. Liitteessä 14 on esitetty esimerkki urakoitsijan laadunvalvonnan loppuraportin sisällysluettelosta.

## 8.7 Hyväksymiskriteerit ja toimenpiderajat

### 8.7.1 Rakennemateriaalit

Käytettävien rakennemateriaalien laadusta riippuu, työtapojen lisäksi, lopullisen tiivistysrakenteen laatu. Käytettävien materiaalin laatuvaatimukset tulee siten asettaa tarpeeksi korkealle tasolle, jotta päästään haluttuun lopputulokseen. Tarkat hyväksymiskriteerit ja toimenpiderajat esitetään aina etukäteen suunnitelmissa ja urakkasopimuksessa yksiselitteisesti. Pääperiaatteena on pidettävä, että asetettuja laatuvaatimuksia ei saa alittaa yksittäisenkään näytteen tai mittauksen osalta.

### 8.7.2 Rakenteet

Kuten materiaalienkin osalta myös rakenteille asetettavat hyväksymiskriteerit ja toimenpiderajat on esitettävä etukäteen suunnitelmissa ja urakkasopimuksessa yksiselitteisesti. Asetettuja laatuvaatimuksia ei saa alittaa. Tarvittaessa laatuvaatimukset alittava rakenteen osa tai materiaali on poistettava ja korvattava uudella, mikäli muilla toimenpiteillä ei päästä vaadittavaan laatu tasoon. Mikäli kriteerit on asetettu yksiselitteisesti, mahdollisesti todettavien laatuvaatimusten alittumisten aiheuttamat toimet voidaan tällöin määrittellä yhteisesti tiedossa olevien sääntöjen mukaisesti ilman harkinnanvaraisuudesta aiheutuvaa epävarmuutta (Leppänen et al. 2004).

Pilaantuneen maa-aineksen käsittelyn yhteydessä käytetyt tiivistysrakenteet ovat yleensä pitkäaikaisia ja vaikeasti korjattavia rakenteita, joten niiden laatuun on suhtauduttava erityisellä vaativuudella. Korjattavissakin olevien rakenteiden rikkoutumisesta tai huonosta laadusta aiheutuvat ympäristövaikutukset voivat olla huomattavat ennen niiden paljastumista. Lisäksi korjaustoimenpiteillääkään ei välttämättä aina päästä hyväksyttävään lopputulokseen.

**Suunnitelma-asiakirjoissa määritellään tiivistyskerroksen ja keinotekoisien eristeen alin sallittava rakenne- tai materiaalipaksuus, jonka alittamista ei tule sallia yksittäisissä mittauspisteissä. Mittaustulosten tarkastelu keskiarvojen perusteella ei ole sallittua.**

Ympäristöriskien vähentämiseksi myös pitkäaikaiseen käyttöön rakennettavien kompostikenttien suhteen on syytä noudattaa samoja hyväksymiskriteerejä kuin edellä on kerrottu. Myöskään lyhytaikaiseen käyttöön tarkoitettujen tilapäisten kompostikenttien ja välivara-alueiden tiivistysrakenteiden suhteen ei ole syytä noudattaa lievempiä kriteereitä.

### 8.7.3 Jälkiseuranta

Tilapäisten ja pysyvien kenttien, kaatopaikkojen ja hyötykäyttökohteiden yhteydessä käytettyihin tiivistysrakenteisiin liittyvän jälkiseurannan pääasiallinen tarkoitus on varmistaa, että kohteesta ei aiheudu hallitsemattomia ympäristöpäästöjä. Jälkiseurannalle asetettavat vaatimukset on esitetty ko. kohteen ympäristöluvassa. Kaatopaikkojen ja hyötykäyttökohteiden tiivistysrakenteiden jälkiseurannalle asetettavia vaatimuksia on käsitelty myös raportin Hyötykäyttö ja loppusijoitus -osassa (luku 9). Kompostikenttien jälkiseurantaa on käsitelty Kompostointi-osassa (luku 6).

Pysyviksi rakenteiksi rakennettuihin tiivistysrakenteisiin liittyy aina pitkäaikaisen jälkiseurannan tarve (U.S. DOE)

- mahdollisten vuotojen havaitsemiseksi (pohja- ja pintavesien sekä maaperän pilaantumisriski)
- rakenteiden toimivuuden varmistamiseksi (suotoveden ja kaasun keräysjärjestelmät)
- rakenteiden vaurioiden ja vaurioitumisriskien havaitsemiseksi (erosio, kasvillisuus, sortumat, painumat).

### 8.7.4 Raportointi

Tiivistys- ja eristerakenteiden rakentamisen toteutuksen arviointia varten laaditaan rakentamis-/kunnostustyön loppuraportti. Loppuraportin liitteenä esitetään mm. laadunvalvontaraportit. Kaikkia mittaus- ja koetuloksia ei kuitenkaan ole aiheellista liittää loppuraporttiin. Loppuraportin sisältöä on tarkemmin käsitelty luvussa 1.7.2.

## 8.8 Työsuojelu ja turvallisuus

Tiivistysrakenteiden rakentamiseen liittyy seuraavia riskitekijöitä (muokattu ohjeen FRTR 2002 pohjalta):

- 1) Asennettaessa keinotekoisia tiivistyskalvoja (geomembraaneja) kovalla tuulella voivat huonosti kiinnitetyt tai kiinnittämättömät kalvot lähteä tuulen voimasta lentoon aiheuttaen loukkaantumisriskin työntekijöille.

*Torjunta:*

- asennustöiden keskeyttäminen kovalla tuulella
- painojen (esim. hiekkasäkit) asettaminen levitettyjen kalvojen päälle



- 2) Keinotekoiset tiivistyskalvot ja savirakenteet voivat olla liukkaita kosteana, etenkin sateella liukastumisvaara on ilmeinen.

*Torjunta:*

- kävelysiltojen rakentaminen
- asianmukaisten jalkineiden käyttö
- raskaiden kantamusten välttäminen

- 3) Keinotekoisien tiivistyskalvojen reunat ovat usein teräviä (viiltohaavat).

*Torjunta:*

- asianmukainen vaatetus (pitkähihaiset paidat, pitkälahkeiset housut, työkäsiineet)

- 4) Keinotekoiset tiivistyskalvot ovat useimmiten mustia, jolloin ne absorboivat auringon säteilyä kuumentuen huomattavasti; lämpöhalvauksen ja nestehukan riski kasvaa.

*Torjunta:*

- päähineiden käyttö
- runsas nesteiden nauttiminen
- varjoisat taukoalueet
- työskentely aamuisin ja iltaisin

- 5) Raskaiden taakkojen nostaminen (esim. hiekkasäkit) altistaa etenkin selkään kohdistuville rasitusvammoille.

*Torjunta:*

- koneiden ja nostureiden käyttäminen mahdollisuuksien mukaan

- 6) Saumojen hitsauslaitteet voivat aiheuttaa palovammoja.

*Torjunta:*

- hitsauslaitteiden käyttäjien koulutus
- asianmukainen vaatetus

- 7) Sähköiskun vaara (generaattorit, tilapäiset sähköliitännät, sähkölinjat).

*Torjunta:*

- asianmukaiset maadoitukset
- vikavirtakytkimien käyttö
- vain ulkokäyttöön tarkoitettujen johtojen ja varusteiden käyttäminen
- johtojen ja varusteiden säännöllinen tarkistaminen
- kiinteiden sähkölinjojen huomioiminen jo työmaan suunnitteluvaiheessa

8) Moottorikäyttöiset laitteet voivat aiheuttaa kuulolle vaarallista melua.

*Torjunta:*

- kuulosuojainten käyttäminen tarvittaessa

9) Työkoneista aiheutuvien liikenneonnettomuuksien vaara.

*Torjunta:*

- työmaasta varoittavat liikennemerkkit
- työmaaliikenteen suunnittelu
- peruutushälyttimien käyttäminen
- koneita lähestyttävä aina etupuolelta

10) Tiivistyskalvojen kuumentaminen ja hitsaus voivat synnyttää haitallisia kaasuja.

*Torjunta:*

- hengityssuojainten käyttö tarvittaessa, suodatinta valittaessa konsultoitava tiivistyskalvon valmistajaa tai maahantuoja

11) Altistuminen tiivistysrakenteiden kosteuspitoisuuden ja tiheyden mittaamiseen käytettävien laitteiden tuottamalle radioaktiiviselle säteilylle.

*Torjunta:*

- laitteiden käyttäjien koulutus
- laitteiden käsittely, huoltaminen ja säilyttäminen säteilylähteen sisältäviä laitteita koskevien erityisohjeiden mukaisesti

Turvallisuus- ja työsuojeluasioiden periaatteita on käsitelty myös luvussa 1.6.7 Työsuojelu.

## 9. Sijoittaminen kaatopaikalle

### 9.1 Yleistä

**Pilaantuneiden maa-ainesten haitallisuutta on pyrittävä jätelain mukaisesti ensisijaisesti vähentämään kunnostusmenetelmillä tai massamäärää pienentämällä. Hyötykäyttökelpoiset lievästi pilaantuneet sekä käsitellyt maamassat pyritään aina hyödyntämään maarakenteissa. Mikäli käsittely ja hyötykäyttö eivät ole mahdollisia, joudutaan maamassat loppusijoittamaan (läjittämään) kelpoisuus-kriteerien mukaisille kaatopaikoille.**

Tässä ohjeessa **kaatopaikalle sijoittamisella** tarkoitetaan:

- käsittelyä (loppusijoitusta), jossa pilaantunut maa-aines läjitetään kaatopaikalle esikäsiteltynä tai sellaisenaan
- käsittelyä, joka ei kuitenkaan sisällä hyötykäyttöä missään muodossa.

Kaatopaikat on Suomessa jaettu valtioneuvoston päätöksen VNp 861/1997 perusteella kolmeen luokkaan: *pysyvän jätteen kaatopaikka*, *tavanomaisen jätteen kaatopaikka* ja *ongelmajätteen kaatopaikka*. EU:n neuvoston kaatopaikkakriteereitä koskevan päätöksen (2003/33/EY) soveltaminen kaatopaikkakelpoisuuden osalta tulee voimaan vuonna 2005 heinäkuussa ja valtioneuvoston päätöstä kaatopaikoista muutetaan siltä osin. Esimerkkinä liitteessä 16 on esitetty kaaviokuva pilaantuneen maa-aineksen sijoitusmenetelystä EU:n neuvoston päätöksen luokituksen mukaisille kaatopaikoille.

**Suunniteltaessa pilaantuneen maan käsittelyä on pidettävä mielessä, että jätelainsäädännössä esitettyjen periaatteiden mukaan**

- **kaatopaikoille sijoitettavan jätteen määrää tai sen haitallisuutta on tarpeen ja mahdollisuuksien mukaan vähennettävä esikäsitelyn avulla**
- **materiaalin hyötykäyttö on ensisijaisena tavoitteena.**

Kaatopaikkasijoitus voi edellyttää pilaantuneiden maamassojen esikäsitelyä haitta-ainepitoisuuksien pienentämiseksi tai niiden liukenemisen vähentämiseksi. Pilaantuneita maita voidaan sijoittaa kaatopaikkakelpoisuudelle esitettyjen vaatimusten täytyttyä ko. kaatopaikkaluokan mukaisille kaatopaikoille, joilla on sijoittamiseen voimassa oleva ympäristölupa. Voimakkaasti pilaantuneiden maiden osalta kaatopaikkasijoituksen edellytykset ovat muuttumassa uusien käytäntöjen myötä.

Kaatopaikkasijoitukseen tulee vaikuttamaan merkittävästi EU:n neuvoston kaatopaikkakriteeridirektiivin (2003/33/EY) 6. artiklaa ja II liitettä koskeva päätös, joka sisältää myös eräitä kansallisesti sovittavia asioita.

Pilaantuneiden maa-ainesten kaatopaikkasijoituksen käytännön toteuttamistapa riippuu osin siitä onko pilaantunut maa-aines 1) välivarastoitu vai 2) käsitelty vai 3) sijaitseeko se vielä alkuperäisellä paikallaan in-situ. Viimeksi mainitussa tapauksessa lähtökohtana pidetään kohteessa tehtyjen pilaantuneisuustutkimusten tuloksia (mukaan lukien hot spotien esiintyminen) ja sen mukaista maamassojen jaottelua kaivuvaiheessa sekä kaivetun maa-ainesarjanteen luokittelua ja kaatopaikka- tai ympäristökelpoisuustutkimusten tuloksia. Jos maa-aineksen todetaan täyttävän kaatopaikkaluokan mukaiset kaatopaikka- ja ympäristökelpoisuusvaatimukset, määritetään laadunhallintaa varten seurattavat laatuparametrit. Pilaantuneisuuden laadun ja homogeenisuuden mukaan määritetään lisäksi laatuparametrien seurantatapa ja -tiheys.

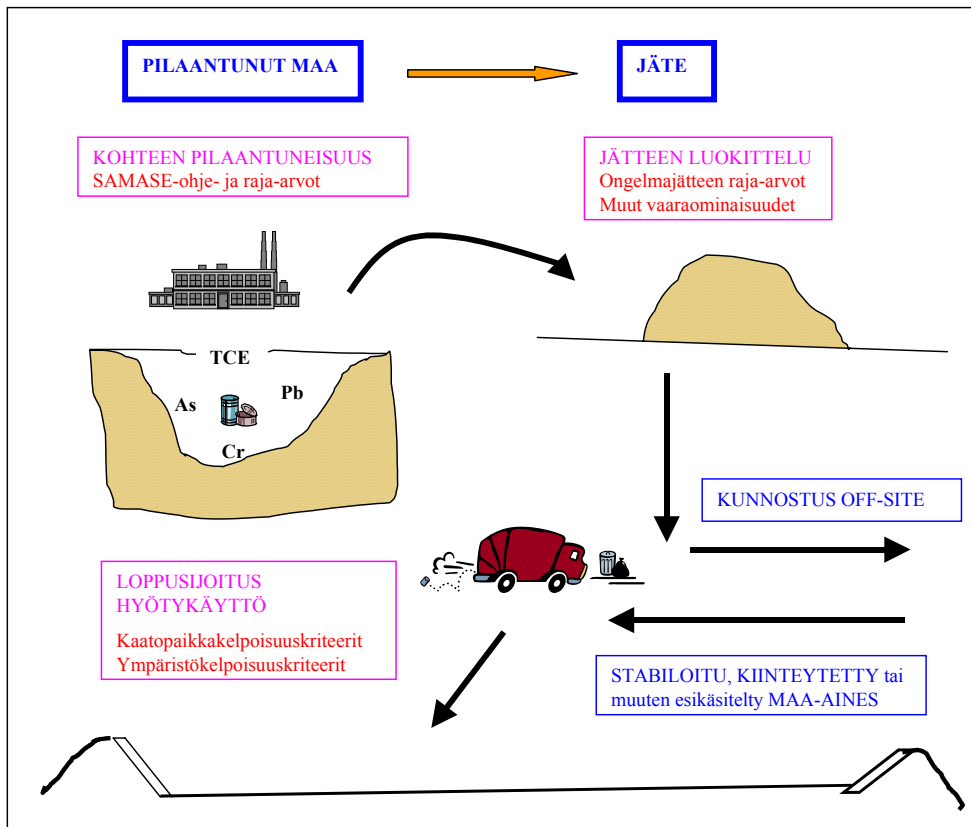
Esikäsitellyn maa-aineksen suhteen toimintatapa riippuu käytetystä esikäsitelymenetelmästä ja lopputuloksen haitta-ainepitoisuuksien homogeenisuudesta. Maa-aineksia välivarastoitaessa on oleellista varastoida maamassat erillisiin kasoihin haitta-aineiden laadun ja pitoisuuksien perusteella jaoteltuna (Huom! Myös jätelaissa (1072/1993) on tietyin edellytyksin kielletty eri lailla pilaantuneiden ongelmajätteiden sekoittaminen). Tällöin lähtökohtana voidaan olettaa yksittäisen varastokasan olevan homogeeninen pilaantuneisuuden suhteen. Jos samaan varastokasaan on läjitetty sekaisin selkeästi eri tavalla pilaantuneita maamassoja, ei läjitettyjen maa-ainesten haitta-ainepitoisuuksia voida tarkastella kokoomanäytteiden analyysitulosten keskiarvojen perusteella. Ko. tapauksessa keskiarvoistaminen ”hävittää” pienialaiset hot spotit antaen väärän kuvan todellisesta pilaantuneisuudesta. Välivarastointia on käsitelty tarkemmin luvussa 2 ”Kaivu/massanvaihto, kuljetukset ja välivarastointi”.

**Pilaantuneen maa-aineksen loppusijoitusta ajatellen on pidettävä mielessä, että Samase-ohje- ja raja-arvot on tarkoitettu käytettäväksi maaperän pilaantuneisuuden arvioimiseen. Niiden perusteella voidaan määritellä kunnostustarvetta. Pilaantunut maa-aines muuttuu jätteeksi kaivun jälkeen, jolloin sitä käsitellään jätteitä koskevien määräysten mukaisesti!**

Kuvassa 9.1 on esitetty periaatteellinen kuva pilaantuneeseen maa-ainekseen liittyvästä käsitteistöstä ja siihen kulloinkin sovellettavista ohjearvoista tai määräyksistä.

Kaatopaikoilla ei oteta vastaan pilaantuneita maamassoja, ellei kunnostushankkeesta ole olemassa ympäristölupa- tai ilmoituspäätöstä. Akuuteissa onnettomuustapauksissa, jol-

loin päätöstä ei ole vielä saatu, ympäristöviranomaiset varmistavat kaatopaikan pitäjälle tilanteen. Jätteen toimittajan ja kaatopaikan pitäjän on syytä etukäteen sopia pilaantuneiden maiden vastaanottamisesta ja siihen liittyvistä ehdoista ja vastuista.



Kuva 9.1 Pilaantuneeseen maa-ainekseen liittyvää käsitteistöä ja siihen kulloinkin sovellettavia ohjearvoja ja määryksiä.

## 9.2 Menetelmän soveltuvuuden arviointi

### 9.2.1 Soveltuvuusarviointin periaatteet

**Kaatopaikkakäsittelyn yhteydessä on aina varmistettava sijoitettavaksi aiotun pilaantuneen maa-aineksen kaatopaikkakelpoisuus kyseessä olevalle kaatopaikalle. Kaatopaikan tiivistysrakenteiden kestävyys maa-aineksen sisältämille haitta-aineille selvitetään osana kelpoisuusarviota.**

Jätteiden kaatopaikkasijoitusta säätelee valtioneuvoston päätös kaatopaikoista (VNp 861/1997, muutettu 1049/1999). Kaatopaikoille voidaan sijoittaa vain sen luokituksen

mukaista jätettä. Kaatopaikalle sijoitettavan jätteen koostumus, liukoisuus ja käyttäytyminen pitkällä aikavälillä sekä jätteen ominaisuudet on tunnettava mahdollisimman hyvin. Pilaantuneita maita voidaan sijoittaa tietyin edellytyksin sellaisenaan tavanomaisen jätteen kaatopaikoille, joilla on sijoittamiseen voimassa oleva ympäristölupa (katso myös luku 9.2.3). Jos edellytykset eivät täyty, on maa-aines esikäsiteltävä. Ongelmajätteen luokiteltu voimakkaasti pilaantunut maa-aines voidaan sijoittaa sellaisenaan vain ongelmajätteen kaatopaikalle. Tällöinkin on pyrittävä maan esikäsitteilyyn tai massojen määrän ja haitallisuuden vähentämiseen jätelainsäädännön periaatteiden mukaisesti. Stabiloitu ongelmajäte voidaan sijoittaa myös tavanomaisen jätteen kaatopaikalle, mikäli stabiloitu massa täyttää ko. kaatopaikalle asetetut hyväksymiskriteerit ja stabiloiduille massoille annetut sijoituskriteerit (esim. massa ei saa joutua suovesille alttiiksi). Pilaantuneiden maa-ainesten vienti rakentamisessa syntyvien puhtaiden ylijäämämassojen sijoittamiseen käytetyille maankaatopaikoille, jotka on luokiteltu joko pysyvän jätteen kaatopaikoiksi tai maa- ja kiviainesjätteen kaatopaikoiksi, on kiellettyä.

Suomessa ei ole tähän mennessä rajoitettu DOC-pitoisen (orgaanista ainesta sisältävän) jätteen sijoitusta kaatopaikalle. Rungas orgaanisen aineksen määrä voi kuitenkin edistää haitallisten metallien liukenemistä, mikä on otettava huomioon sijoitusmahdollisuuksia arvioitaessa. Tulevaisuudessa myös EU:n neuvoston kaatopaikkakriteereitä koskevan päätöksen (2003/33/EY) soveltaminen Suomessa saattaa aiheuttaa rajoituksia loppusijoitettavan jätteen DOC-pitoisuudelle, mikä voi siten rajoittaa myös runsaasti orgaanista ainesta sisältävän pilaantuneen maan loppusijoitusta. Myös ns. POP-yhdisteitä sisältävien maamassojen sijoitusta koskevia rajoituksia ollaan valmistelemaan, ks. tarkemmin luku 9.2.2.

Käytännössä soveltuvuusarviointi perustuu pilaantuneiden maamassojen kaatopaikkakelpoisuuden lisäksi vastaanottavan kaatopaikan ympäristölupaan. Kaatopaikalla on oltava alueelliselta ympäristökeskukselta saatu ympäristölupa, jossa huomioitavia asioita ovat esim.:

- haitta-aineet, joita kaatopaikalle tuotavien maamassojen mukana voidaan ottaa vastaan
- sallitut haitta-ainepitoisuudet
- vastaanotettavien maamassojen määrä esim. vuositasolla
- massojen käyttötarkoitus kaatopaikalla.

Jätteen kaatopaikkakelpoisuus tulee arvioida ko. jätteelle tarkoitettulle kaatopaikalle asetettujen hyväksymiskriteerien sekä arviointi- ja testausmenetelmien avulla (esim. ongelmajätteen luokitellun jätteen kaatopaikkakelpoisuus arvioidaan ongelmajätteen kaatopaikalle asetettujen hyväksymiskriteerien mukaan). Yksityiskohtaista ohjeistusta kaatopaikkakelpoisuuden osoittamismenettelylle ei tällä hetkellä ole vielä olemassa.

Sivutuotteiden käyttökelpoisuuden osoittamiseksi laadittua menettelytapapasta (Mroueh et al. 2000) voidaan kuitenkin soveltaa myös pilaantuneeseen maa-ainekseen.

**Jäte voidaan hyväksyä kaatopaikalle, jos jäte on sama kuin se, josta on tehty perusmäärittely (jätteen perusominaisuuksien määrittely, ks. luku 9.3) ja joka on kuvattu mukana olevissa asiakirjoissa. Mikäli näin ei ole, jätettä ei pidä hyväksyä (EU:n neuvoston päätös 2003/33/EY).**

Seula- ja välppäysylitteen hyväksymismenettelyä on kuvattu osassa 10 ”Hyötykäyttö”, luvussa 10.2.1. Kiinteytettyjen maamassojen loppusijoitusta on tarkemmin käsitelty luvussa 3 ”Stabilointi”. Muilla menetelmillä kunnostettujen maa-ainesten loppusijoitusta on käsitelty menetelmäkohtaisissa luvuissa.

## 9.2.2 Kaatopaikkakäsittelyn erityispiirteet

### Maa-ainesten fysikaaliset ominaisuudet

Kaatopaikkakäsittely soveltuu periaatteessa useimmille maalajeille. Maa-ainesten teknille laadulle (esim. maalajiominaisuudet) voidaan kuitenkin asettaa maarakentamisessa yleisesti käytettyjä laatuvaatimuksia, jotka rajoittavat mm. silttimaalajien käyttöä.

Runsas orgaanisen aineksen, kuten turpeen määrä voi aiheuttaa massan kokoonpuristumista ajan myötä. Tällöin syntyvät, usein epätasaiset painumat voivat rikkoa eristerakenteet. Runsaasti humusta sisältävä maa voi myös vaikuttaa eräiden haitta-aineiden kuten raskasmetallien käyttäytymiseen.

Tiiviit maalajit voivat vaikuttaa kaatopaikkakaasun kulkeutumiseen ja vaikeuttaa kaasunkeräystä.

Plastiset maalajit, kuten savi, voivat aiheuttaa kokoonpuristumista ja vakavuusongelmia. Tarvittaessa sijoitettavat massat on tiivistettävä tai stabiloitava haitallisten muodonmuutosten estämiseksi. Massat voidaan myös läjittää kerroksittain ns. voileipä rakenteena, jolloin joka toinen kerros rakennetaan kokoonpuristumattomasta materiaalista.

Runsas vesipitoisuus lisää muodostuvan suotoveden määrää. Vesipitoisuus on ehdottomasti liian suuri, mikäli massoista erottuu painovoimaisesti vettä välittömästi kaatopaikkapenkkaan sijoitettaessa. Tarvittaessa maamassat on kuivattava ennen loppusijoitusta.

Sijoitettavan maa-aineksen joukossa ei saa olla rakennusjätettä.

## Kemialliset olosuhteet ja maa-ainesten sisältämät haitta-aineet

**Erityyppiset pilaantuneet maat voidaan sijoittaa kaatopaikalla yhteen ainoastaan, jos haitta-aineiden yhteisvaikutus ja vaikutus toisiinsa on selvitetty ja varmistettu mm. tiivistysrakenteissa käytettyjen materiaalien kestävyys.**

Kansainvälisten käytäntöjen mukaan ongelmajätteet sijoitetaan ongelmajätteiden kaatopaikoille siten, että vain samantyyppiset jätteet sijoitetaan yhteen. Tämä periaate koskee myös pilaantuneiden maa-ainesten kaatopaikkakäsittelyä. Periaatetta on syytä soveltaa myös sijoitettaessa pilaantunutta maata tavanomaisen jätteen kaatopaikoille. Muussa tapauksessa on ehdottomasti varmistettava, että eri tavalla pilaantuneiden maa-ainesten yhteissijoitus ei aiheuta hallitsemattomia ympäristöpäästöjä pitkälläkään aikavälillä.

Ongelmajätteiden kaatopaikoilla erityyppisten jätteiden sijoittelu erilleen toisistaan toteutetaan joko sijoittamalla jätteet kokonaan erillisille alueille tai rakentamalla yhdelle kaatopaikka-alueelle erillisiä soluja. Ensin mainitussa tapauksessa kyseessä on usein yhdestä kohteesta tuotavan pilaantuneen maa-aineksen eristäminen. Solurakenteisella kaatopaikalla yksittäisten solujen koko määräytyy päivittäisten massamäärien ja ongelmajätteen ominaisuuksien perusteella.

Pilaantunutta maa-ainesta ei saa sijoittaa suoraan yhteyteen eristemateriaalien kanssa. Haitta-aineiden leviäminen ympäristöön eroosion (tuuli, sadevedet) vaikutuksesta tai suotovesien mukana on estettävä. Maamassat saavat olla alttiina sadevesille mahdollisimman vähän aikaa ennen niiden peittämistä tiivistyskerroksella. Mineraalisten tiivistysmateriaalien tulee omata riittävä sorptiokapasiteetti kaatopaikalle sijoitettavien maamassojen sisältämien haitta-aineiden mahdollista kulkeutumista vastaan.

**Suunniteltaessa pilaantuneen maan sijoittamista kaatopaikalle on syytä varmistaa kaatopaikan pohjatiivistysrakenteiden kestävyys haitta-aineita vastaan. Etenkin klooratut hiilivedyt (esim. TCE, PCE, dikloorieteeni) kulkeutuvat helposti useiden tiivisteenä käytettävien materiaalien lävitse. Jos vaurioriski on olemassa, maata ei saa sijoittaa kaatopaikalle.**

Kaatopaikkasijoitettavaksi soveltuvat parhaiten maa-ainekset, joiden sisältämien haitta-aineiden liikkuvuus ja haihtuvuus on alhainen. Helposti liukenevia tai helposti haihtuvia yhdisteitä sisältäviä maamassoja ei voida sijoittaa kaatopaikoille esikäsittelemättöminä



(Anon. 2002a). Hyvin happamat (pH < 4) ja hyvin emäksiset (pH > 11) olosuhteet sekä vahvat hapettimet voivat vaarantaa eräiden rakennemateriaalien kestävyys. Pienimolekyyliset orgaaniset haitta-aineet, kuten esimerkiksi klooratut yhdisteet saattavat läpäistä eristeet (EPA 1994).

Niin kutsuttujen POP-yhdisteiden eli pysyvien orgaanisten yhdisteiden suhteen on huomioitava Euroopan yhteisössä valmisteilla oleva lainsäädäntö (ks. myös luku 1.2). Valmistellun ehdotuksen mukaan POP-yhdisteitä sisältävä jäte on käsiteltävä siten, että POP-yhdisteet tuhoetaan tai muunnetaan palautumattomasti. Jätteet voidaan kuitenkin käsitellä muulla asianmukaisella tavalla silloin, kun mainittujen aineiden pitoisuus jätteessä alittaa tulevassa asetuksessa annetut pitoisuusrajat (pitoisuusrajat lisätään asetusluonnokseen myöhemmin).

Taulukoissa 9.1 ja 9.2 on esitetty kaatopaikkasijoituksessa huomioon otettavia seikkoja.

*Taulukko 9.1 Haitta-aineiden ja kemiallisten ominaisuuksien vaikutuksia pilaantuneen maa-aineksen sijoittamiseen.*

<b>Haitta-aine tai ominaisuus</b>	<b>Huomioitavaa</b>
klooratut liuottimet (esim. dikloorieteeni, trikloorieteeni (TCE), tetrakloorieteeni (PCE)), BTEX	Voivat läpäistä muovikalvon, huonontavat asfaltin ominaisuuksia
Hiilivedyt	Huonontavat bentoniitin ominaisuuksia, voivat vaurioittaa muovikalvoa
Suolat	Huonontavat bentoniitin ominaisuuksia
POP-yhdisteet (esim. PCB, DDT, PCDD/PDFC, HCH)	Erytisrajoituksia käsittelyn suhteen
bensiini (öljytuotteet)	Voivat vaurioittaa muovikalvoa, lisäävät asfaltin vedenläpäisevyyttä, huonontavat bentoniitin ominaisuuksia, voi sisältää MTBE:tä, tulee tarkastella myös muiden vaarallisten aineiden pitoisuuksia, esim. bentseeni, PAH-yhdisteet
pH	Voimakkaat hapot huonontavat asfaltin, saven ja bentoniitin ominaisuuksia, voimakkaat emäkset huonontavat saven ja bentoniitin ominaisuuksia
DOC	Runsas orgaanisen aineksen pitoisuus suotovesissä voi lisätä metallien liukoisuutta, huomioitava etenkin yhdyskuntajätteen kaatopaikoilla, tulevaisuudessa mahdolliset rajoitukset loppusijoitettavan jätteen DOC-pitoisuudelle
Kreosoottiöljy	Saattaa läpäistä eristemateriaalin (savi, muovi)
MTBE	Biologinen puhdistamo ei pysty käsittelemään, saattaa läpäistä eristekerroksen
PAH-yhdisteet	Voivat aiheuttaa hajuhaittoja
Fenolit	Huonontavat asfaltin ominaisuuksia
aromaattiset yhdisteet (esim. bentsaldehydi, bentseeni, tolueni), öljypohjaiset liuottimet, orgaaniset liuottimet yleensä	Huonontavat asfaltin ominaisuuksia, voivat läpäistä muovikalvon
dielektrisyydeltään alhaiset nesteet	Lisäävät saven vedenläpäisevyyttä

kaksiarvoiset kationit (esim. Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> )	Lisäävät bentoniitin vedenläpäisevyyttä
VOC-yhdisteet, liukenevat yhdisteet	Kaatopaikkasijoitus edellyttää esikäsittelyä
As, Cr, Cu	Ympäristövaarallisuuden tarkastelussa pitoisuudet lasketaan yhteen
Hg	Mahdollinen haihtuvuus, saattaa läpäistä savitiivistein

*Taulukko 9.2 Pilaantuneiden maa-ainesten hyötykäytössä ja loppusijoituksessa huomioitavia asioita.*

<b>Huomioitava tekijä</b>	<b>Selvitettäviä asioita</b>
Haitta-aineiden yksittäisvaikutus	Kaatopaikkakelpoisuus, ympäristökelpoisuus, eriste- ja tiivistysmateriaalien kestävyys
Haitta-aineiden yhteisvaikutus	Kuten edellä, lisäksi vaikutukset eri tavalla pilaantuneiden maiden sijoitukseen
Haitta-aineiden ominaisuuksien muuttuminen	Muutokset kaatopaikka- ja ympäristökelpoisuudessa, vaikutukset sijoitukseen, vaikutukset eriste- ja tiivistysmateriaaleihin
Maa-aineksen ominaisuudet	Kokoonpuristuvuuden, plastisuuden ja rakeisuuden vaikutukset rakenteisiin, tiiviiden vaikutus kaasun kulkeutumiseen ja –keräykseen, humuspitoisuuden vaikutus haitta-aineiden käyttäytymiseen, kaasunmuodostus, vesipitoisuus
Suotovesien johtaminen ja puhdistus	Johtamismahdollisuudet kunnalliseen jäteveden puhdistamoon, puhdistusmenetelmien toiminta
Maa-ainesten pilaantuneisuus	Haitta-aineet, pitoisuudet, yhteenlaskusäännöt, ennakotesteille ja laadunvalvonnalle asetettavat vaatimukset, ympäristöluvanmukaisuus, esikäsittelytarve (vaaran ja määrän vähentäminen)
Tiivistys- ja muut rakennemateriaalit	Soveltuvuus ko. kohteeseen (esim. bentoniittimatto ei sovellu kaatopaikan pohjatiivistyskerrokseen, bentoniitin käyttö pintatiivistyskerroksessa edellyttää erityisuunnittelua jne.) ja kestävyys haitta-aineita vastaan

## 9.3 Jätteen kaatopaikkakelpoisuuden tutkiminen

### 9.3.1 Kelpoisuusarvioinnin periaatteet

Jättemateriaalin loppusijoituskelpoisuuden arviointi ja arvioinnin tukena olevat menettelytavat tulee suunnitella aina tapauskohtaisesti tutkittavan materiaalin ominaisuuksien mukaan. Yleisimpiä tarvittavia taustatietoja ovat loppusijoitettava jätemäärä ja arviot jätteen sisältämistä haitta-aineista. Taustatietojen lisäksi on ennen tutkimuksia ehdotettoman tärkeää tietää suunniteltu loppusijoitustapa.

Pilaantuneiden maa-ainesten sijoituskelpoisuuden arvioinnin ja jätteiden kaatopaikkatestauksen periaatteet ovat samat. Eroja on lähinnä hyväksyttävyysskriteereissä ja tarvittavien tutkimusten laajuudessa. Valtioneuvoston päätöksessä kaatopaikoista (VNp 861/97, muutos 1049/99) ja EU:n kaatopaikkadirektiivissä (1999/31/EY) jätteiden kelpoisuustestaus on jaoteltu käyttötarkoituksen perusteella seuraavan kolmijaon mukaisesti (Wahlström et al. 2001):

*Karakterisointitestit* (basic characterization tests) eli jätteen perusmäärittely, jolla selvitetään materiaalien aiheuttamaa ympäristökuormitusta lyhyellä ja pitkällä aikavälillä, eri haitta-aineiden maksimiliukoisuuksia sekä jätteiden liukoisuusominaisuuksien muuttumista esim. eri pH- ja redox-olosuhteissa.

*Laadunvalvontatellit* (compliance tests), joilla tarkoitetaan materiaalien laadunvalvontaan soveltuvia pikatestejä. Testeillä tarkistetaan, vastaavatko materiaalin ominaisuudet perusmäärittelyssä saatua kuvaa ja täyttääkö se sallitut vaatimukset tai erityiset vertailuarvot. Laadunvalvontatesteillä saadaan myös karkea arvio liukenevista aineista sellaisessa ympäristössä, jossa pelkästään materiaalin ominaisuudet määräävät eri aineiden liukoisuudet.

*Tarkastustellit* (on-site verification tests), joilla tarkistetaan, onko materiaali aikaisemmin tehtyjen tutkimusten mukaista. Testit on kehitetty lähinnä kaatopaikkasijoitusta varten, eivätkä ne välttämättä ole liukoisuustestejä. Tyypilliset tarkastustellit tehdään kenttäolosuhteissa yksinkertaisin fysikaalis-kemiallisin mittauksin (pH, sähkönjohtavuus) tai aistinvaraisin (haju, väri) arvioin.

Kelpoisuuden arvioinnissa on tärkeätä valita yhdenmukainen lähestymistapa. Kelpoisuuden arvioinnissa voidaan käyttää seuraavia menettelytapoja (Wahlström et al. 1999):

- skenaarioiden tarkastelu (tapauskohtainen tarkastelumalli), jonka yhteydessä tarkastellaan mm. sijoituspaikan olosuhteiden ja pohjarakenteiden vaikutusta, ks. tarkemmin luku 10.3
- hyötykäytön kriteerien soveltaminen
- vertailevat tutkimukset (luokittelu, ts. päätetään miten tietyt jätetyypit voidaan sijoittaa ja verrataan muiden materiaalien ominaisuuksia näihin tyyppitapauksiin).

pH-olosuhteissa sijoituspaikalla mahdollisesti tapahtuvat muutokset ovat kriittisiä sijoituskelpoisuuden arvioinnissa. Teollisuuden sivutuotteiden ja jätteiden kaatopaikkakelpoisuuden ja käyttökelpoisuuden tutkimista on yksityiskohtaisesti käsitelty mm. julkaisuissa Wahlström & Laine-Ylijoki 1996, Mroueh et al. 2000 ja Wahlström et al. 2001. Julkaisuissa esitetyt periaatteita voidaan soveltuvin osin käyttää myös pilaantuneiden maamassojen arvioinnissa. Taulukossa 9.3 on esitetty kaatopaikkakelpoisuuden osoittamisen menetelyn työvaiheet.

## KELPOISUUDEN OSOITTAMINEN

Hyötykäyttö => ympäristökelpoisuus

Loppusijoitus => kaatopaikkakelpoisuus

Hyötykäyttö kaatopaikkarakenteissa => ympäristö- ja/tai kaatopaikkakelpoisuus

Taulukko 9.3 Kaatopaikkakelpoisuuden osoittamismenettelyn (perusmäärittely) vaiheet (Wahlström et al. 2001, mukailtu).

Toimintavaihe	Selvitettävät tiedot / huomioitavat tai dokumentoitavat asiat	Vastuutaho
Taustatietojen kerääminen	<ul style="list-style-type: none"><li>Tiedot lähtömateriaaleista (arviot materiaaliominaisuuksista, koostumus, laatu- vaihtelut)</li></ul>	Jätteen tuottaja/hyödyntäjä
Testaustarpeen arviointi	<ul style="list-style-type: none"><li>Suunniteltu sijoitusluokka (kaatopaikkaluokka)</li><li>Haitta-aineiden kokonaispitoisuuksien määrittäminen (mg/kg)</li><li>Jätteen ja haitta-aineiden yleiset ominaisuudet ja ympäristöominaisuudet</li><li>Sijoittamisen yleiset riskit (tarkasteltavien ympäristöolosuhteiden määrittely)</li></ul>	Jätteen tuottaja, asiantuntija, testauslaboratorio
Näytteenoton suunnittelu ja näytteenotto	<ul style="list-style-type: none"><li>Suurten jätevirtojen laatu- vaihtelujen selvittäminen</li><li>Näytteen luonne (kokoomanäyte vai kerta- näyte)</li><li>Näytteenoton edustavuuden takaaminen</li><li>Näytteenottajan pätevyys</li><li>Näytemäärä</li></ul>	Jätteen tuottaja, asiantuntija
Testausohjelman laatiminen	<ul style="list-style-type: none"><li>Testaustarpeen arvioiminen</li><li>Haittaominaisuuksien (esim. kokonais- pitoisuusmääritykset) tutkimuksiin soveltuvien menetelmien valinta (menetelmien soveltuvuusalue, rajoitukset)</li><li>Sopivan liukoisuustestin / sopivien testien valinta</li><li>Analysoitavien komponenttien valinta (esim. liukenevat haitta-aineet)</li></ul>	Testauslaboratorio
Laboratorionäytteen valmistus	<ul style="list-style-type: none"><li>Esikäsittelytarpeen selvittäminen</li><li>Esikäsittely, esim. kuivaus, murskaus, seulominen, jakaminen, testimenettelystä riippuen</li></ul>	Testauslaboratorio

Testaus	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Testien suorittaminen</li> <li>• Haitta-aineiden analysoiminen</li> <li>• Testitulosten käsittely ja raportointi</li> </ul>	Testauslaboratorio
Tulosten arviointi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Testien riittävyyden ja soveltuvuuden arvioiminen ja toteaminen</li> </ul>	Testauslaboratorio, asiantuntija
Laaduntarkkailuohjelman laatiminen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Karakterisointitestien ja laadunvalvontatestien välisten korrelaatioiden selvittäminen</li> <li>• Jätteen kaatopaikkasijoituksen kannalta oleellisten ominaisuuksien tunnistaminen</li> </ul>	Asiantuntija
Lausunto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lausunto jätteen sijoituskelpoisuudesta</li> </ul>	Asiantuntija
Jätteen luokittelu ja sijoituspäätös	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jätteen sijoituspäätös</li> <li>• Kaatopaikan eristerakenteet</li> </ul>	Viranomainen

### 9.3.2 Jätteen luokittelu

Ympäristöministeriön asetuksessa yleisimpien jätteiden sekä ongelmajätteiden luetteloksi (1129/2001) ongelmajätteiksi on merkitty maa- ja kiviainekset, jotka sisältävät vaarallisia aineita. Valtioneuvoston asetuksessa jäteasetuksen liitteen 4 muuttamisesta (1128/2001) on lueteltu ominaisuudet, joiden perusteella jätteet luokitellaan ongelmajätteiksi, ja ominaisuuksien tulkinnassa sovellettavat raja-arvot.

Pilaantuneelta maa-alueelta kunnostuksen yhteydessä kaivetun ja puhdistuskäsittelyyn soveltumattoman maa-aineksen ongelmajäteluonne arvioidaan vaaraominaisuuksien perusteella ennen kaatopaikalle toimittamista. Arviointiperiaatteet ja raja-arvot on esitetty teoksessa Dahlbo 2002. Pilaantuneen maa-aineksen luokitus tavanomaiseksi tai ongelmajätteeksi ei kuitenkaan toimi ainoana perusteena määrittäessä sille soveltuvaa käsittelytapaa. Esim. jätteen kaatopaikkakelpoisuuden arviointi on edelleen tehtävä kaatopaikoista annetun valtioneuvoston päätöksen mukaisesti.

Uudet ongelmajätteen raja-arvot ovat pääsääntöisesti korkeammat kuin pilaantuneiden maiden Samase-raja-arvot, mikä johtuu pitoisuusrajojen erilaisista lähtökohdista ja käytötarkoituksesta. Ongelmajätteen raja-arvojen osalta tulee myös muistaa, että ne eivät kata kaikkia jätteen ongelmajätteeksi tekeviä vaaraominaisuuksia (Dahlbo 2002).

Pilaantuneen maa-aineksen ongelmajäteluokittelussa on huomioitava erityisesti seuraavat tekijät (Dahlbo 2002):

- Jätteen luokittelu tehdään kaivetun maa-aineksen haitta-ainepitoisuuksien perusteella.
- Ongelmajäteraja-arvot ilmaistaan prosentteina kuiva-aineen kokonaismäärästä, pilaantuneisuus-tutkimuksissa analyysit tehdään yleensä < 2 mm:n fraktiosta ==> Mi-

käli analyysit on tehty seulotusta näytteestä (< 2 mm fraktio) on maa-aineksen ongelmajäteluonnetta arvioitaessa suhteutettava hienoaineksesta saatu analyysitulokset näytteen kokonaispainoon kertomalla analyysitulokset < 2 mm:n osuudella koko näytteestä. Jos on epäiltävissä, että karkea fraktio sisältää runsaasti haitta-aineita, on syytä tutkia seulomaton jätte.

- Analyysitulosten perusteella ei aina tiedetä millaisina yhdisteinä aineet ovat maaperässä; aineen vaarallisuus ja siten ongelmajätteen raja-arvo voi kuitenkin olla erilainen saman aineen eri yhdisteillä ==> Mikäli analyysitulosten perusteella ei tiedetä millaisina yhdisteinä haitta-aineet esiintyvät, on ongelmajäteluokittelu tehtävä haitallisimman yhdisteen raja-arvojen mukaan, olettaen, että tätä haitallisinta yhdistettä voi jätteessä esiintyä.
- Ongelmajäteluonteen arvioinnissa otetaan huomioon myös haitta-aineiden yhteenlaskusäännöt. Esimerkiksi kyllästämöalueilla yleisesti tavattavien arseeni-, kromi- ja kupariyhdisteiden suhteen toimitaan seuraavasti. Myrkyllisyyden osalta arseenin ja kromin (sama vaaraluokitus) maksimipitoisuudet lasketaan yhteen. Ympäristövaarallisuuden tarkastelussa sekä arseenin, kromin että kuparin maksimipitoisuudet lasketaan suoraan yhteen ja summaa verrataan kemikaalilainsäädännössä esitettyihin raja-arvoihin.
- Öljyllä pilaantuneen maa-aineksen osalta tulee öljypitoisuuksien lisäksi tarkastella muiden vaarallisten aineiden pitoisuuksia (bentseeni, bentso(a)pyreeni ja tarvittaessa myös muut PAH-yhdisteet).
- Muut vaaraominaisuudet.

### 9.3.3 Kaatopaikkakelpoisuuden tutkiminen

Kelpoisuustutkimuksissa pääpaino on pitkään ollut metallien liukoisuusominaisuuksien määrittelyssä. Erityisesti pysyvän ja ongelmajätteen sijoituskelpoisuuden arviointia varten tarvitaan yleensä myös muita tietoja, kuten pysyvästä jätteestä tietoja materiaalien pysyvyydestä ja ongelmajätteestä tietoja haitta-aineiden stabiilisuudesta – varsinkin, jos jätettä on käsitelty ennen sijoitusta. Ongelmana on kuitenkin yksityiskohtaisten jätteiden testausmenetelmien ja luokittelukriteerien puute, minkä vuoksi kaatopaikkakelpoisuuden arviointi tapahtuu tällä hetkellä pääasiassa tapauskohtaisesti materiaaliominaisuuksien perusteella.

Kaatopaikoista annetun valtioneuvoston päätöksen (VNp 861/1997) liitteessä 2 on määritetty yleiset periaatteet ja menettelyt jätteiden kaatopaikkakelpoisuuden arvioimiseksi. Arvioinnissa on otettava huomioon sekä sijoitusympäristön olosuhteet että jätteen alkuperä ja ominaisuudet. Jätteen ominaisuuksia koskevia arviointiperusteita ovat:

- jätteen koostumus
- jätteen orgaanisen aineksen määrä ja hajoavuus
- jätteen haitallisten aineiden määrä ja niiden liukoisuus
- jätteen tai jätteestä muodostuvan kaatopaikkaveden ekotoksikologiset ominaisuudet.

Tarkemmat perusteet ja menettelyt jätteen hyväksymisestä kaatopaikoille on esitetty EU:n neuvoston päätöksessä 2003/33/EY. Kelpoisuuskriteereitä on esitetty pysyvän jätteen, tavanomaisen jätteen ja vaarallisen jätteen kaatopaikalle sijoitettavalle jätteelle. Kriteerejä on sovellettava jäsenvaltioissa viimeistään heinäkuussa 2005.

## **9.4 Kaatopaikan ympäristövaikutusten hallinta**

### **9.4.1 Maaperän sekä pohja- ja pintavesien suojaus**

Kaatopaikkojen suojarakenteita (pinta- ja pohjatiivistyskerrokset) koskevat määräykset on esitetty valtioneuvoston päätöksessä kaatopaikoista (VNp 861/1997). Suojarakenteille asetetut vaatimukset määräytyvät yksiselitteisesti kaatopaikkaluokan perusteella. Kaatopaikan tiivistysrakenteita ja niille asetettuja vaatimuksia on esitetty myös julkaisuissa Suomen ympäristökeskus (1998) ja (2001) sekä Sjöholm et al. (1994). Tiivistysrakenteiden rakentamisen laadunvalvonnan sisältöä ja materiaalien laadulle asetettavia vaatimuksia on esitetty teoksessa Leppänen et al. (2004). Tiivistysmateriaalien kelpoisuuden osoittamismenettelyä on kuvattu Tammirinteen et al. (2004) julkaisussa. Rakenteiden suunnittelussa huomioitavia tekijöitä on käsitelty myös edellä luvussa 9.2.2 sekä luvussa 8 ”Tiivistysrakenteet”.

### **9.4.2 Vesien keräily ja käsittely**

Kaatopaikka-alueen puhtaat pintavedet ja ulkopuoliset valumavedet on pidettävä erillään jätteestä ja kaatopaikkavesistä. Samoin on estettävä kaatopaikalle sijoitetun jätteen joutuminen kosketuksiin pohjaveden kanssa. Kaatopaikkavedet on kerättävä yhteen soveltuvien teknisten ratkaisujen avulla. Kerätyt kaatopaikkavedet on puhdistettava tehokkaasti kaatopaikalla tai johdettava muualle puhdistettaviksi. Jos vedet johdetaan muualle puhdistettaviksi, on varmistettava, etteivät kaatopaikkavedet heikennä kunnallisen tai muun vedenpuhdistamon toimintaa tai puhdistamolietteen laatua (VNp 861/1997). Lisäksi eräiden aineiden päästäminen viemäriin on kokonaan kielletty (VNp 363/94). Vesipäästöjen hallintaa on käsitelty myös luvussa 1.6.2.

Sijoitettaessa pilaantunutta maata yhdyskuntajätteen kaatopaikoille (loppusijoitus tai hyötykäyttö), voidaan olettaa valtaosan kaatopaikalla muodostuvista suotovesistä koostuvan yhdyskuntajätteestä muodostuvasta vedestä. Tällöin suotovesien puhdistaminen saatetaan suunnitella ja toteuttaa normaalin kaatopaikkaveden koostumuksen perusteella. Suunnittelussa tulee kuitenkin huomioida myös pilaantuneista maamassoista mahdollisesti liukenevat haitta-aineet ja niiden vaikutus suotoveden koostumukseen ja käsittelyyn. Liitteessä 18 on esitetty yhteenvetotaulukko kaatopaikkaveden erillis- ja esikäsitelyssä huomioitavista tekijöistä. Liitteen 19 taulukossa on esitetty eri käsittelymenetelmien soveltuvuus kaatopaikkavesien puhdistukseen. Liitteen 19 taulukko ei kuitenkaan ole suoraan sovellettavissa myös pilaantuneita maamassoja sisältävien kaatopaikkojen suotovesille, sillä eräitä haitta-aineita ei yleensä tavata merkittävässä määrin normaalissa kaatopaikkavedessä. Esimerkiksi orgaanisten haitta-aineiden vähenemä biologisilla käsittelymenetelmillä on taulukon mukaan kohtalainen, mutta biologisilla menetelmillä ei käytännössä kuitenkaan pystytä käsittelemään hiilivetypitoisten maamassojen yleisesti sisältämää, mutta normaalissa kaatopaikan suotovedessä harvemmin esiintyvää MTBE:tä. Myöskään tavallisella aktiivihiilellä toteutetussa suodatuksessa ei pystytä kokonaan poistamaan MTBE:tä, vaan tehokas puhdistaminen edellyttää erikoishiililaitteiden käyttöä.

Ongelmajätteiden kaatopaikoilta talteen kerättävää suotovettä ei suositella johdettavaksi kunnalliseen jätevedenpuhdistamoon ilman erilliskäsittelyä (esim. aktiivihiilisuodatus).

Taulukossa 9.3 (luku 9.6) on esitetty lista tarkkailuun sisällytettävistä parametreista ja taulukossa 9.4 (luku 9.6) tarkkailutiheys.

### **9.4.3 Kaasut**

Kaatopaikkakaasun kertymistä ja purkautumista on seurattava erityisesti kaatopaikalla, jonne on sijoitettu helposti hajoavaa orgaanista ainesta sisältävää, runsaasti kaasua tuottavaa jätettä. Kaatopaikkakaasun lisäksi kaatopaikoilta saattaa vapautua ilmaan orgaanisia yhdisteitä, etenkin VOC-yhdisteitä sisältävistä pilaantuneista maamassoista. Kaatopaikkakaasu ja muut haihtuvat yhdisteet voivat aiheuttaa terveystahojen lisäksi myös hajuhaittoja. Tarvittaessa kaatopaikkojen pintatiivistyskerrokseen on sisällytettävä myös kaasunkeräyskerros. Poistokaasujen käsittelytarvetta ja käsittelymenetelmiä on kuvattu luvussa 1.6.2. Käsittelymenetelmän soveltuvuus poistokaasuille ja niiden sisältämille haitta-aineille varmistetaan. Käsittelylaitteistoon liitetään tarvittavat esikäsitely- ja näytteenottolaitteistot (tarpeen mukaan esim. kondenssivesisäiliö, hiukkasten poisto, mittausyhteet).



#### 9.4.4 Pöly

Pilaantuneiden maamassojen kuljetukset, purkutapahtumat ja siirrot voivat aiheuttaa pölyämistä ja sitä kautta haitta-aineiden leviämistä ympäristöön. Mahdolliset pölypäästöt ovat merkityksellisiä maa-aineksen sisältämien haitta-ainehiukkasten vuoksi. Pölyhaittoja torjutaan henkilökohtaisten suojaimien käytöllä sekä peittämällä tai kostuttamalla maamassat tarvittaessa. Pölyämisen vähentämiseen käytettyjä keinoja on esitetty luvussa 2 ”Kaivu/massanvaihto, kuljetukset ja välivarastointi”, luvussa 2.3.2 ja luvussa 1.6.2.

#### 9.4.5 Riskien ja epävarmuuksien hallinta

Ympäristövaikutusten hallintaan liittyvät epävarmuudet ja riskit on aina arvioitava ja tehtävä suunnitelmat sekä toimintaohjeet näiden epävarmuuksien hallitsemiseksi. Poikkeustilanteisiin varautuminen voidaan kuvata esim. kaatopaikan käyttö- ja hoitosuunnitelmassa. Loppusijoitukseen ja hyötykäyttöön liittyviä epävarmuustekijöitä voivat olla esim.

- rankkasateiden tai suurten lumimäärien aiheuttamat tulvat
- suotovesien tai kaasujen oletettua korkeammat haitta-ainepitoisuudet, luvassa tai viemärlaitoksen sopimuksessa asetettujen pitoisuuksien ylittyminen
- tiivistysrakenteiden vuotaminen
- liian vesipitoisista massoista aiheutuvat läjitysongelmat ja suotoveden määrän kasvu
- maamateriaalin väärä laatu esim. saven tai turpeen liiallinen määrä tai ennakkotiedoista poikkeavat haitta-ainepitoisuudet tai haitta-aineiden laatu
- vastaanottokapasiteettiin nähden liian suurien massamäärien tulo sijoituspaikalle.

Ympäristöhaittojen torjuntaan on ryhdyttävä heti vahingon sattuessa. Vahinkotilanteista, poikkeuksellisista ympäristöpäästöistä ja niihin vaikuttavista tapahtumista on aina tehtävä ilmoitus alueelliselle ympäristökeskukselle ja paikalliselle ympäristöviranomaiselle.

### 9.5 Valmistelutoimenpiteet

Pilaantuneiden maiden kunnostaminen ja siihen liittyvä käsiteltyjen tai käsittelemättömien maamassojen kaatopaikkasijoittaminen ovat ympäristöluvanvaraista toimintaa. Mikäli kaivetut maamassat toimitetaan jatkokäsittelyyn, hyötykäyttöön tai loppusijoitukseen ympäristöluvan jo omaavaan käsittelykeskukseen, kaatopaikalle tms., riittää hakemuksessa maininta massojen vastaanottajasta. Tällöin edellytetään, että vastaanottajalla voimassa oleva ympäristölupa sallii ko. tyyppisten massojen vastaanoton. Huo-

mattavaa on, että loppusijoitettavien maa-ainesten välivarastointi muualla kuin asianmukaisen luvan jo omaavalla alueella edellyttää aina ympäristöluvan hakemista tai joissain tapauksissa ilmoituksen tekemistä.

Ennen massojen vastaanottamisen aloittamista on varmistettava, että massojen tuottajalle on toimitettu riittävästi tietoa vastaanottajan asettamista ja sijoituspaikan ympäristöluvassa määräytyistä vaatimuksista, kuten ennakkokokeista, analyyseistä ja sallituista haitta-aineista ja niiden pitoisuuksista. Maamassojen toimittajan on syytä olla selvillä myös massojen vastaanottajan laadunvalvontamenettelyistä. Massojen toimittajan ja vastaanottajan välinen kirjallinen sopimus tulee tehdä ennen massojen vastaanottamisen aloittamista ja siihen tulee kirjata kaikki oleelliset vastaanottoon liittyvät ehdot sekä vastuukysymykset ja mahdolliset sanktiot, mikäli esim. massojen laatu ei vastaa sovittua.

Pilaantuneiden massojen vastaanottajalla tulee olla ennakolta laadittu suunnitelma massojen käyttötarkoituksesta ja läjityksestä. Suunnitelmassa tulee huomioida erityyppisten maa-ainesten yhteensijoittamismahdollisuudet ym. aikaisemmissa luvuissa esitetyt rajoitukset ja erityistä huomiota vaativat seikat. Kaatopaikoilta edellytetään käyttö- ja hoitosuunnitelman laatimista, johon voidaan sisällyttää massojen läjitystä koskevat tiedot.

## 9.6 Laadunhallintatoimenpiteet

**Jätteen perusmäärittelyä varten tehtävän näytteenoton ja testien on oltava riippumattomien ja pätevien henkilöiden ja laitosten suorittamia. Laboratorioilla on oltava kokemusta ja näyttöä jätteen testauksesta ja analyysistä sekä tehokas laadunvarmistusjärjestelmä (EU:n neuvoston päätös 2003/33/EY). Näytteenottoon tulee aina käyttää sertifioitua ympäristönäytteenottajaa.**

### Sijoitettavien maamassojen laadun valvonta

Kaatopaikalle sijoitettavien pilaantuneiden maa-ainesten laatua valvotaan useassa eri vaiheessa: kaivun aikana, kuljetusta varten kuormatuista massoista ja loppusijoituspaikkaan saapuvista massoista. Lisäksi laatua valvotaan mahdollisten kunnostustoimenpiteiden yhteydessä. Kaatopaikan pitäjän velvollisuus on varmistua sijoitettavien massojen laadusta (kaatopaikkakelpoisuuden lisäksi varmistettava eri lailla pilaantuneiden maiden yhteensopivuus, ks. luku 9.2.2). Yleensä kaatopaikan ympäristöluvassa esitetään vaatimukset laadunvalvonnan toteuttamisesta. Esimerkiksi maa-aineksia vastaanotettaessa tulee niistä olla kuormien mukana siirtoasiakirjan tai kuormakirjan lisäksi luotettavat

analyysitulokset ja puolueettoman asiantuntijalaitoksen tai muun riippumattoman tahon lausunto maa-ainesten kaatopaikkakelpoisuudesta ja haitattomuudesta terveydelle ja ympäristölle. Suositeltava käytäntö on lisäksi varmistaa asiakkaan ilmoittamat haitta-aineet ja niiden pitoisuudet vastaanotettavista kuormista säännöllisesti tehtävillä kokeilla. Epäilyttävissä tapauksissa, esim. mikäli pilaantuneen kohteen historialliset toiminnot viittaavat myös muiden kuin analysoitujen haitta-aineiden esiintymismahdollisuuteen, on syytä analysoida myös muut epäillyt haitta-aineet. Maa-ainesten sijainti on pystyttävä jäljittämään, kunnes analyysitulokset on saatu. Näytteenottiheys voidaan sitoa massamäärään, esim. 1/200 m<sup>3</sup>, riippuen kokonaismassamäärästä ja pilaantuneisuuden luonteesta (haitta-aineet, massojen homogeenisuus). Näytteet suositellaan otettaviksi kuor-makohtaisina kokoomanäytteinä, joissa osanäytteiden määrä on viisi. Tulosten tarkastelussa on huomioitava osanäytteiden lukumäärä. Vastaanottorajoihin pääsemistä ei saa edesauttaa kasvattamalla osanäytteiden määrää.

**Kaatopaikan pitäjän on varmistettava, että vastaanotettava jäte voidaan ottaa vastaan kyseiselle kaatopaikalle lupaehtojen mukaisesti ja että se täyttää EU:n kaatopaikkadirektiivin 1999/31/EY liitteessä II määraät kelpoisuusperusteet.**

EU:n neuvoston päätöksen 2003/33/EY mukaan tarkastus kaatopaikalla käsittää mm. seuraavat tehtävät:

- kukin kaatopaikalle toimitettu jätekuorma tarkastetaan silmämääräisesti ennen kuin se puretaan kaatopaikalle ja sen jälkeen
- vaaditut asiakirjat tarkistetaan
- näytteitä otetaan jätteitä toimitettaessa säännöllisesti.

Pilaantuneiden maamassojen laatua voidaan joutua seuraamaan myös teknisten ominaisuuksien osalta, mikäli tiivistysrakenteiden toimivuus ja pitkäaikaiskestävyys edellyttää sijoitettavan materiaalin täyttävän tietyt ominaisuudet esim. kokoonpuristuvuuden osalta (ks. myös luku 8 ”Tiivistysrakenteet”).

### **Muut laadunvalvontatoimenpiteet**

Loppusijoituspaikan toimintaa, päästöjä, jätteitä ja ympäristövaikutuksia on tarkkailtava ja niistä on pidettävä kirjaa. Tarkkailutuloksista ja kirjanpidosta laaditaan vuosittain yhteenvetoraportti, joka toimitetaan alueelliselle ympäristökeskukselle ja paikalliselle ympäristöviranomaiselle (VNp 861/1997). Yhteenvetoraportissa on esitettävä vähintään:

- selvitys kaatopaikan ympäristökuormituksesta ja haittojen torjunnasta (tarkkailutuloksiin perustuva yhteenveto laitoksen toiminnasta ja sen aiheuttamasta ympäristökuormituksesta ja haittojen torjunnasta kyseisenä vuonna, esim. suotovesimäärät ja niiden laatu, pohjaveden laatu, pintavesien laatu )
- tiedot jätetäytöstä (jätetäytön pinta-ala, tilavuus, koostumus, painuminen, käytetty täyttöalue, laskelma jäljellä olevasta tilavuudesta)
- tiedot vastaanotetun ja vastaanottamatta jätetyn jätteen määrästä jätelajeittain (alkuperä, laatu, määrä eriteltyinä kaatopaikalle sijoitettuun ja välivarastoituu jätteeseen)
- selvitys poikkeuksellisista tapahtumista ja poikkeamista hyväksytyistä suunnitelmista
- yhteenvedot asiantuntija-arvioista (asiantuntija-arviot jätteiden kaatopaikkakelpoisuudesta).

Taulukossa 9.4 on esitetty tanskalaisten laatima suositus (DEPA 1997) suoto- ja pohjavesien tarkkailuohjelmaksi tavanomaisen jätteen kaatopaikalle. Taulukossa 9.5 on esitetty suositus suotoveden tarkkailutiheydeksi. Suotovedestä analysoitavat parametrit ja noudatettava tarkkailutiheys on kuitenkin aina päätettävä tapauskohtaisen harkinnan tuloksena, mm. kaatopaikan sijainnin ja sinne läjitettyjen jätteiden koostumuksen perusteella. Lisäksi tarkkailuohjelman kattavuus on tarkistettava jokaisen näytteenottokerran yhteydessä. Etenkin normaalitarkkailun sisältöä voidaan joutua muuttamaan laajennetun tarkkailun tulosten perusteella.

Taulukko 9.4 Suoto- ja pohjavesien tarkkailu tavanomaisen jätteen kaatopaikalla, analysoitavat parametrit (DEPA 1997).

Parametri	Suotovesi, normaali tarkkailu <sup>1)</sup>	Suotovesi, laajennettu tarkkailu <sup>1)</sup>	Pohjavesi
pH	Y	Y	X
Sähkönjohtavuus	Y, V	Y, V	X
Kuiva-ainepitoisuus	Y, K	Y, K	
BI <sub>5</sub>		Y, K	X
NVOC	Y, V, K	Y, V, K	X
AOX	Y, V, K	Y, V, K	X
GC-FID-kartoitus		Y, V	X
Kokonais-N		Y, K	
Ammonium-N	V, K	V, K	X
Kloridi	Y, V, K	Y, V, K	X
Sulfaatti	Y, V	Y, V	X
Sulfidi	Y, K	Y, K	
Natrium		Y, V	X
Kalsium		Y, V	X
Rauta		Y, K	X
Kalium			X
Lyijy		Y, K	X <sup>2)</sup>
Kadmium		Y, K	X <sup>2)</sup>
Kupari		Y, K	X <sup>2)</sup>
Kromi		Y, K	X <sup>2)</sup>
Nikkeli		Y, K	X <sup>2)</sup>
Sinkki		Y, K	X <sup>2)</sup>

1) Tarkkailutiheys, kts. tarkemmin taulukko 9.4

2) Lisätään tarkkailuohjelmaan, jos todettu suotovedessä

Y = parametri liittyy kaatopaikan yleistilan kuvaamiseen, V = parametri liittyy pohja- ja pintavesien tarkkailuun,

K = parametri liittyy suotovesien käsittelyyn, BI<sub>5</sub> = orgaanisen aineksen määrä, joka hajooa bakteeritoiminnan vaikutuksesta viiden vrk:n kuluessa, NVOC = ei haihtuvat orgaaniset yhdisteet, AOX = orgaaniset halogeeniyhdisteet, GC-FID = kaasukromatografia-massaspektrometrinen orgaanisten haitta-aineiden kartoitus.

Taulukko 9.5 Suotoveden tarkkailutiheys kaatopaikan täyttöaikana ja jälkitarkkailu-  
aikana (DEPA 1997).

Kuukausi	Täyttöaikana		Jälkitarkkailu- aikana	
	Normaali <sup>1)</sup>	Laajennettu <sup>2)</sup>	Normaali <sup>1)</sup>	Laajennettu <sup>2)</sup>
1	X			
2				
3				
4	X		X	
5				
6				
7	X			
8				
9				
10		X	X	
11				
12				
1	X			
2				
3				
4	X		X	
5				
6				
7	X			
8				
9				
10		X		X
11				
12				

1) Normaalin tarkkailun sisältö; ks. taulukko 9.3

2) Laajennetun tarkkailun sisältö; ks. taulukko 9.3

Pohjavesitarkkailun yhteydessä tutkittavat parametrit määräytyvät lähinnä suotovesien koostumuksen sekä pohjaveden sisältämien taustapitoisuuksien perusteella. Pohjaveden tarkkailuohjelmaan ei tule lisätä sellaisia parametreja, joita ei ole sisällytetty suotoveden tarkkailuun. Tarkkailuohjelman laajuus tarkistetaan säännöllisesti suotovesitarkkailun tulosten perusteella. Pohjavesitarkkailun tiheyttä määritettäessä on lähtökohtana pidettävä haitta-aineen kulkeutumismuutosta. Haitta-aine ei saa kulkeutua pohjaveden mukana kahden toisiaan seuraavan näytteenottokerran välillä niin kauaksi, että sen hallitseminen (puhdistaminen) ei ole enää mahdollista. Pohjaveden virtausnopeus on siten huomioitava tarkkailutiheyttä määritettäessä. Vähimmäisvaatimuksena voidaan pitää yhtä näytteenottokertaa vuodessa.

## 9.7 Hyväksymiskriteerit ja toimenpiderajat

### 9.7.1 Maa-ainesten sijoituskelpoisuus

**Kaikkia analyysituloksia tarkasteltaessa tulee ottaa huomioon sekä näytteenotto- että analyysimenetelmästä johtuvat epävarmuustekijät.**

**Jätteen kaatopaikkakelpoisuus tulee arvioida ko. jätteelle tarkoitettulle kaatopaikalle asetettujen hyväksymiskriteerien sekä arviointi- ja testausmenetelmien avulla.**

Kaatopaikoille sijoitettavien pilaantuneiden maiden hyväksyttävyyden arviointi perustuu kaatopaikkakelpoisuuden osoittamiseen sekä edellä luvuissa 9.1–9.3 esitettyjen lainsäädännön, EU-direktiivien ja valtakunnallisen jätesuunnitelman mukaisten vaatimusten täyttymiseen. Lisäksi vastaanottavan kaatopaikan ympäristöluvassa sekä kunnostamista koskevassa ympäristöluvassa on voitu esittää kohde- ja tapauskohtaisia lisävaatimuksia.

Ympäristölupaa tulkittaessa voidaan tavanomaisen ja ongelmajätteen kaatopaikoilla soveltaa seuraavia sääntöjä haitta-ainepitoisuuksien suhteen (edellyttää viranomaisen hyväksyntää):

- kaikkien kokoomanäytteiden pitoisuuksista laskettu haitta-ainekohtainen keskiarvo-kokonaispitoisuus (kunnostuskohdekohtaisesti) ei ylitä sallittuja pitoisuuksia
- jotta lopputulos olisi hyväksyttävä, on kuitenkin vähintään 90 % kokoomanäytteistä alitettava sallittu haitta-ainepitoisuus
- kokoomanäytteissä yksittäinen ylitys saa olla enintään 20–30 % hyväksyttävästä tasosta
- muiden hyväksymiskriteerien (liukoisuus, ympäristövaarallisuus) suhteen poikkeamia ei tulisi sallia.

## 9.7.2 Jälkiseuranta

Jälkiseurannan tavoitteena on

- tuottaa tietoa lupaehtojen täyttämisestä
- tuottaa tietoa mahdollisista päästöistä ja niiden leviämisestä
- varmistaa tehtyjen toimien laatu (esim. rakenteiden toimivuus).

Sen jälkeen kun kaatopaikka on lopullisesti poistettu käytöstä, kaatopaikan pitäjä on vastuussa kaatopaikan kunnossapidosta, tarkkailusta ja valvonnasta jälkihoitovaiheen aikana. Kaatopaikkojen jälkihoitovaiheen valvonnan ja tarkkailun vähimmäisvaatimukset on esitetty valtioneuvoston päätöksessä kaatopaikoista (VNp 861/1997) ja sen muutoksessa (1049/1999). Kaatopaikka-alueilla pilaantuneiden maa-ainesten sijoittamisen jälkiseuranta toteutetaan käytännössä kaatopaikan ympäristöluvassa esitettyjen kohdekohtaisten vaatimusten mukaisesti. Yleensä vaatimukset kohdistuvat koko kaatopaikka-alueen ympäristöpäästöjen ja -vaikutusten seurantaan. Vähimmäisvaatimusten tiukentamista on syytä harkita, mikäli kaatopaikalle on sallittu vietäväksi myös haitta-aineita sisältäviä maa-aineksia. Mikäli seurannan yhteydessä havaitaan haitta-ainepitoisuuksien kasvua, ympäristöluvassa esitettyjen sallittujen pitoisuustasojen ylityksiä tai huomattavia haitallisia ympäristövaikutuksia, on kaatopaikasta vastaavan tahon ryhdyttävä välittömiin toimenpiteisiin ympäristöhaittojen vähentämiseksi. Havainnoista on aina ilmoitettava lupaviranomaiselle.

Taulukossa 9.4 (luku 9.6) on esitetty ehdotus suotovesien tarkkailutiheydeksi kaatopaikan sulkemisen jälkeen. Tarkkailuohjelmaa laadittaessa on kuitenkin aina tarkasteltava tapauskohtaisesti tarvittavaa tarkkailutiheyttä ja analysoitavia parametreja. Pohjavesitarkkailun suhteen voidaan noudattaa luvussa 9.6 esitettyjä perusteita.

## 9.8 TYÖSUOJELU JA TURVALLISUUS

Pilaantuneiden maa-ainesten loppusijoitukseen liittyy seuraavia työnaikaisia riskitekijöitä (muokattu ohjeen FRTR 2002 pohjalta):

- fyysiset riskit
- kemialliset riskit
- biologiset riskit.



## Fyysiset riskit

- 1) Läjitys- ja maarakennustyömailla kaivinkoneet ja muut työkoneet sekä kuorma-autot aiheuttavat merkittävän vaaratekijän työntekijöille. Työtaturmariskin lisäksi työkoneet voivat aiheuttaa huomattavaa melua.

### *Torjunta:*

- liikkuvien työkoneiden ja kuorma-autojen varustaminen peruutushälyttimillä
- koneita pitää lähestyä aina edestä päin siten, että koneen kuljettaja näkee lähestyvän henkilön (silmäkontakti)
- kuulosuojainten käyttö

- 2) Terävien esineiden aiheuttamat pisto- ja viiltohaavat

### *Torjunta:*

- suojarusteiden käyttö (turvajalkineet, käsineet)
- terävien esineiden poistaminen kaivumassoista

- 3) Putoamiset, kompastumiset ja liukastumiset työmaa-alueella

### *Torjunta:*

- suojakaiteiden asennus
- työmaiden pitäminen siistinä
- pintavesien poisjohtaminen lammikoitumisen välttämiseksi ja työmaan pitämiseksi mahdollisimman kuivana
- liukastumisvaaran aiheuttavien maamateriaalien siivous liikkumisalueilta (savi, lieju)
- kulkureittien sorastus tai erillisten jalankulkuväylien rakentaminen
- riittävä valaistus

- 4) Työskentely epästabiililla alueella tai alustalla

### *Torjunta:*

- vakavuus- ja painumatarkastelut geoteknisten laskelmien avulla
- tukirakenteet ja kaiteet työskentelyalueella

- 5) Kuumasta ilmasta aiheutuva auringonpistoksen, nestehukan ja lämpöhalvauksen vaara

*Torjunta:*

- riittävä nesteiden nauttiminen
- suojautuminen auringolta
- lepotauot

- 6) Kylmästä ilmasta aiheutuvat riskit

*Torjunta:*

- asianmukainen vaatetus
- töiden jaksottaminen (riittävästi taukoja)
- lämmittelytilan järjestäminen

- 7) Sähköiskun vaara ilmakaapelien alueella

*Torjunta:*

- ilmajohtojen huomioiminen suunnitteluvaiheessa
- suojaetäisyyksien määrittäminen
- tarvittaessa virran katkaisu työskentelyn ajaksi

- 8) Liikenneonnettomuudet

*Torjunta:*

- työmaasta varoittavat liikennemerkkit
- työmaaliikenteen suunnittelu
- peruutushälyttimien käyttäminen

### **Kemialliset riskit**

- 1) Altistuminen haitta-aineille (kaasut, pöly)

*Torjunta:*

- henkilökohtaisten suojainten käyttö (haitta-ainekohtaiset suodattimet, haalarit, käsineet, saappaat)

- työkoneiden ohjaamoiden tuloilman suodatus, ohjaamoiden ylipaineistus
- työntekijöiden koulutus ja perehdyttäminen työmaakohtaisesti turvallisuusnäkökohtiin
- jalkineiden ja työvälineiden pesumahdollisuuksien järjestäminen
- peseytymismahdollisuuksien järjestäminen
- kertakäyttösuojainten käyttäminen
- ruokailun ja tupakoinnin kieltäminen työmaa-alueella
- pölynvähentämistoimenpiteet (kastelu, maamassojen peittäminen, pölynsidonta)
- työmaaparakkijärjestelyt (likaiset vaatteet, pesutilat, pukuhuoneet, toimisto- ja taukotilat)

### **Biologiset riskit**

#### 1) Altistuminen mikro-organismeille

##### *Torjunta:*

- hengityssuojainten käyttö
- ruokailun, juomisen ja tupakoinnin kieltäminen ennen suojavaatteiden poistoa ja peseytymistä
- pölynvähentämistoimenpiteet
- kertakäyttöisten suojavaatteiden käyttö
- työntekijöiden koulutus ja perehdyttäminen työmaakohtaisesti turvallisuusnäkökohtiin

Turvallisuus- ja työsuojeluasioiden periaatteita on käsitelty myös luvussa 1.6.7 Työsuojelu. Yksityiskohtaisemmin asiaa on esitelty mm. Saastuneen maa-alueen tutkimuksen ja kunnostuksen työsuojeluoppaassa (Nikulainen & Kalevi 1997). Käytännön ohjeita työsuojelusta on esitetty mm. Ympäristögeoteknisessä näytteenotto-oppaassa (Suomen Geoteknillinen Yhdistys 2002).

# 10. Hyötykäyttö

## 10.1 Yleistä

**Hyötykäyttökelpoisiksi todetut pilaantuneet sekä käsitellyt maamassat pyritään ensisijaisesti hyödyntämään maarakenteissa. Mikäli käsittely ja hyötykäyttö eivät ole mahdollisia, joudutaan maamassat loppusijoittamaan (lajittamaan) kelpoisuusstandardien mukaisille kaatopaikoille.**

Tässä ohjeessa termi *hyötykäyttö* tarkoittaa

- jätteen (pilaantuneen maan) hyödyntämistä maarakenteen osana, esim. meluvallissa tai kaatopaikan rakennekerroksissa.

Hyötykäyttö voi edellyttää pilaantuneiden maamassojen esikäsittelyä haitta-ainepitoisuuksien pienentämiseksi tai niiden liukenemisen vähentämiseksi.

Pilaantuneiden maa-ainesten hyötykäytön käytännön toteuttamistapa riippuu osin siitä onko pilaantunut maa-aines 1) välivarastoitu vai 2) käsitelty vai 3) sijaitseeko se vielä alkuperäisellä paikallaan in-situ. Viimeksi mainitussa tapauksessa lähtökohtana pidetään kohteessa tehtyjen pilaantuneisuustutkimusten tuloksia (mukaan lukien hot spotien esiintyminen) ja sen mukaista maamassojen jaottelua kaivuvaiheessa sekä kaivetun maa-ainejätteen luokittelua ja kaatopaikka- tai ympäristökelpoisuustutkimusten tuloksia. Jos maa-aineksen todetaan täyttävän kaatopaikkaluokan tai hyötykäyttökohteen mukaiset kaatopaikka- ja ympäristökelpoisuusvaatimukset, määritetään laadunhallintaa varten seurattavat laatuparametrit. Pilaantuneisuuden laadusta ja homogeenisuudesta riippuen määritetään lisäksi laatuparametrien seurantatapa ja -tiheys.

Esikäsitellyn maa-aineksen suhteen toimintatapa riippuu käytetystä esikäsittelemisestä (ks. luvut 3–7) ja lopputuloksen homogeenisuudesta haitta-ainepitoisuuksien osalta. Välivarastoinnin suhteen on huomattavaa, että on oleellista varastoida maamassat erillisiin kasoihin haitta-ainekasien laadun ja pitoisuuksien perusteella jaoteltuna (Huom! Myös jäteläissa (1072/1993) on tietyin edellytyksin kielletty eri lailla pilaantuneiden ongelmajätteiden sekoittaminen). Tällöin lähtökohtana voidaan olettaa yksittäisen varastokasan olevan homogeeninen pilaantuneisuuden suhteen. Jos samaan varastokasaan on läjitetty sekaisin selkeästi eri tavalla pilaantuneita maamassoja, ei läjitettyjen maa-ainesten haitta-ainepitoisuuksia voida tarkastella kokoomanäytteiden analyysitulosten keskiarvojen perusteella. Ko. tapauksessa keskiarvoistaminen ”hävittää” pienialaiset hot spotit antaen väärän kuvan todellisesta pilaantuneisuudesta. Välivarastointia on käsitelty tarkemmin luvussa 2.

**Pilaantuneen maa-aineksen hyötykäyttöä ajatellen on pidettävä mielessä, että Samase-ohje- ja raja-arvot on tarkoitettu käytettäväksi maaperän pilaantuneisuuden arvioimiseen. Niiden perusteella voidaan määritellä kunnostustarvetta. Pilaantunut maa-aines muuttuu jätteeksi kaivun jälkeen, jolloin sitä käsitellään jätteitä koskevien määräysten mukaisesti!**

Kuvassa 9.1 (luku 9) on esitetty periaatteellinen kuva pilaantuneeseen maa-ainekseen liittyvästä käsitteistöstä ja siihen kulloinkin sovellettavista ohjearvoista tai määräyksistä.

Hyötykäyttökohteet eivät ota vastaan pilaantuneita maamassoja, ellei kunnostushankkeesta ole olemassa ympäristökeskuksen lupa- tai ilmoituspäätöstä tai vähintäänkin suullista ennakkolupaa (esim. vahinkotapauksissa).

## **10.2 Menetelmän soveltuvuuden arviointi**

### **10.2.1 Soveltuvuusarvioinnin periaatteet**

#### **Hyötykäyttö kaatopaikalla**

Lievästi pilaantuneet maamassat voidaan yleensä sijoittaa esikäsittelemättöminä asianmukaisen ympäristöluvan omaavalle, tavanomaisen jätteen kaatopaikoille hyötykäyttöön (hyötykäyttö- ja/tai kaatopaikkakelpoisuus on kuitenkin aina osoitettava) edellyttäen, että niitä ei ole luokiteltu ongelmajätteiksi. Ellei kaatopaikkasijoituksesta ole annettu muita ohjeita, suositellaan lievästi pilaantuneiden maiden sijoitusta pintatiivistyskerroksen alapuolisiin rakennekerroksiin mieluiten kaasunkeräyskerrokseen tai esipeittokerrokseen. Tällöinkin on edellytettävä, että maamassojen sisältämät haitta-aineet eivät hajoa, liukene tai reagoi kaatopaikkaolosuhteissa aiheuttaen vaaraa tai haittaa ympäristölle tai ihmisille. Käytettäessä pilaantunutta maa-ainesta jätteiden päivittäisenä peittomateriaalina on varmistettava, että haitta-aineet eivät pääse kulkeutumaan suotovesiin tai ympäristöön maa-aineksen joutuessa alttiiksi tuulelle ja sateelle. Lisäksi on otettava huomioon yhdyskuntajätteen vaikutus haitta-aineiden sitoutumis- ja kulkeutumisoimaisuuksiin, jotka saattavat muuttua huomattavastikin DOC-pitoisten (runsaasti orgaanista ainesta sisältävien) suotovesien vaikutuksesta. Lievästi pilaantuneiden maa-ainesten hyötykäytössä suositeltavin toimintatapa on kerätä samantyyppiset ja teknisiltä ominaisuuksiltaan ko. hyötykäyttörakenteeseen soveltuvat maat asianmukaisesti perustettuun ja hoidettuun välivarastoon kaatopaikka-alueelle ja sijoittaa massat kerralla, mahdollisimman nopeasti, esim. esipeittokerrokseen ja peittää ne välittömästi muilla rakennekerroksilla.

Voimakkaasti pilaantuneet maamassat pitää yleensä esikäsitellä ennen hyötykäyttöä tavanomaisen jätteen kaatopaikalla. Myös esikäsitellyn jätteen tulee täyttää kaatopaikka- ja ympäristökelpoisuuskriteerit. Liitteessä 17 on esitetty VTT:n laatima ehdotus kaatopaikan pohja- ja pintarakenteissa käytettävien materiaalien ympäristökelpoisuusvaatimuksille (Wahlström et al. 2004).

### **Hyötykäyttö maarakentamisessa**

Pilaantuneiden maa-ainesten sijoitusta muualle kuin tavanomaisen tai ongelmajätteen kaatopaikalle (hyötykäyttö maarakentamisessa) pidetään tavallisesti soveltuvana vain lievästi pilaantuneille maamassoille ja kiinteyttämällä tai stabiloimalla esikäsitellyille maamassoille. Voimakkaasti pilaantuneita maamassoja ei siten yleensä voida hyödyntää esikäsittelemättöminä, koska niitä ei voida pitää mahdollisten pitkäaikaisvaikutusten vuoksi hyväksyttävänä maarakentamisessa. Hyötykäyttöä harkittaessa on muistettava, että pilaantuneiden maiden hyötykäyttö maarakentamisessa aiheuttaa aina jonkin asteisia maankäytön rajoituksia. Rajoitusten on oltava etukäteen tiedossa ja hyväksytyjä. Pilaantuneita maa-aineksia ei myöskään pidä sijoittaa vaikeasti uudelleenrakennettaviin tai purettaviin kohteisiin. Myös muilla menetelmillä kuin kiinteyttämällä tai stabiloimalla käsiteltyjen maa-ainesten (kompostoidut, termisesti käsitellyt, pestyt tai huokoskaasukäsitellyt) hyötykäyttöä tulee edistää niissä rajoissa kuin puhdistuksen tulokset kulloinkin antavat myöden. Esimerkiksi öljyt ja kreosootit ovat suhteellisen helposti poistettavissa voimakkaastikin pilaantuneesta maa-aineksesta, jolloin käsiteltyyn massaan ei jää haitallisia määriä haitta-aineita estämään hyötykäyttöä.

Pilaantuneiden ja käsiteltyjen maa-ainesten hyötykäyttö maarakentamisessa edellyttää aina paitsi maa-ainesten teknisen laadun huolellista tutkimista myös ympäristökelpoisuuden osoittamista (ks. myös luku 10.3 ja osa 9 ”Sijoittaminen kaatopaikalle”, luku 9.3) ja ympäristölupaa. Hyötykäyttökohteissa on otettava huomioon, että osa luvan velvoitteista pysyy voimassa rakenteen koko iän.

Raportissa Sivutuotteet maarakenteissa, Käyttökelpoisuuden osoittaminen. (Mroueh et al. 2000) on ehdotettu hyötykäytettäville mineraalisille materiaaleille käyttökohteen mukaan kriteereitä haitta-aineiden maksimipitoisuuksille ja haitta-aineiden liukoisuudelle sekä sijoituspaikan olosuhteille. Näihin mineraalisiin materiaaleihin voidaan laskea kuuluviksi myös lievästi pilaantuneet tai käsittelyn jälkeen edelleen jossain määrin haitta-aineita sisältävät maa-ainekset. Hyötykäyttöä ei suositella

- luokitelluilla pohjavesialueilla (luokat I–III) (ks. Britschgi & Gustafsson 1996)
- läpäisevillä hiekka- ja sora-alueilla ( $k > 10^{-7}$  m/s)
- kohteissa, joissa pohjaveden pinta on korkealla (sijoitettavan materiaalin ja pohjaveden pinnan välissä tulee olla vähintään 1 metrin kerros heikosti vettä läpäisevää ma-

teriaalia, jonka  $k < 10^{-7}$  m/s), pohjaveden pinnan korkeus on arvioitava korkeimman mahdollisen tason mukaisesti.

Lievästi pilaantuneiden ja käsiteltyjen maa-ainesten hyötykäyttö- ja sijoituskriteereitä pohditaan Suomen ympäristökeskuksessa käynnissä olevassa projektissa. Projektissa on valmistunut raporttiluonnos (Bäckman 2001).

Yksityiskohtaista ohjeistusta ympäristökelpoisuuden osoittamismenettelylle ei tällä hetkellä ole vielä olemassa. Sivutuotteiden käyttökelpoisuuden osoittamiseksi laadittua menettelytapapasta (Mroueh et al. 2000) voidaan kuitenkin soveltaa myös pilaantuneeseen maa-ainekseen.

Kiinteytettyjen maamassojen hyötykäyttöä on tarkemmin käsitelty luvussa 3 ”Stabilointi”. Muilla menetelmillä kunnostettujen maa-ainesten hyötykäyttöä on käsitelty menetelmäkohtaisissa luvuissa.

### **Ylijäämämaat**

Pilaantuneiden alueiden kunnostusten yhteydessä joudutaan poistamaan myös ylijäämämaiksi luokiteltavia maamassoja (haitta-ainepitoisuudet alittavat Samase-ohjearvot). Tällaisia ylijäämämassoja ei saa ilman selvitystä niiden vaarattomuudesta sijoittaa pohjavesi- tai luonnonsuojelualueille, päiväkotien tai koulujen piha-alueille, puutarha-alueille, leikkipuistoihin, maa-ainesten ottoalueille eikä alueille, joissa ne saattavat vaikuttaa talousvesikaivojen veden laatuun. Sijoittaminen samalle työmaalle on yleensä sallittua edellyttäen, että haitta-ainepitoisuudet eivät ylitä ympäristöluvassa määrättyjä maksimijäännöspitoisuuksia. Muualle vietäessä on maa-ainesten puhtaus varmennettava.

Hyötykäyttökohteissa on otettava huomioon myös rakenteen asettamat tekniset vaatimukset käytettäville materiaaleille. Hyötykäyttökohteissa ei saa syntyä esim. vakavuus- tai painumaongelmia (ks. myös luku 10.2.2).

### **Seulaylite**

Seulaylite sijoitetaan viranomaisten hyväksymälle sijoituspaikalle tai käsitellään muulla etukäteen sovitulla tavalla. Tavanomaisen tai epäorgaanisen jätteen kaatopaikalle sijoitettavan seulaylitteen laatua ja sijoitusehtojen mukaisuutta (hienoaainepitoisuus, pilaantuneisuus) seurataan käsittelyn aikana aistinvaraisesti sekä tarvittaessa pesuseulonnalla ja laboratorioanalyysin. Jos seulaylite sisältää runsaasti haitta-ainepitoista hienoaainesta (savi-, siltti- ja hienohiekkalajitteita) tai muuta mahdollisesti likaantunutta ainesta, materiaali seulotaan uudelleen tai käsitellään muulla tavoin sijoituspaikkaan soveltuvaksi.

Jos seulaylite halutaan hyötykäyttää tai sijoittaa puhtaiden ylijäämämassojen kaatopaikalle, puhtaus on todettava ottamalla ylitteestä näytteitä, joiden hienoainespitoisuus sekä mahdollinen muun sijoitettavaksi soveltumattoman aineksen pitoisuus tutkitaan pesuseulonnalla. Näytteet otetaan standardin SFS-EN 932-1 mukaisesti, mieluummin hihnakuljettimelta vapaasti putoavasta näytteestä. Näytteenottokertojen vähimmäismäärä on kaksi. Jos seulottavan materiaalin määrä on yli 15 000 t, näytteenottokertoja on vähintään kolme (näytteenottokertojen määrä voidaan suhteuttaa syntyvän ylitteen määrään). Kullakin näytteenottokerralla otetaan kolme osanäytettä vähintään puolen tunnin välein. Niistä valitaan satunnaisotannalla yksi tutkittavaksi. Jos näytteiden hienoainespitoisuus on ( $< 2$  mm fraktio)  $> 1$  painoprosentti ja haitta-ainepitoisuudet ylittävät ko. kohteessa hyväksyttävät pitoisuudet, materiaali ei sovellu sijoitettavaksi ilman jatko- tai uudelleen käsittelyä. Jos seulaylitettä hyötykäytetään kaatopaikkaolosuhteissa (tavanomaisen jätteen kaatopaikka) voidaan hyväksyä enintään 3 painoprosentin hienoainespitoisuus.

### **Välppäysylite**

Välppäysylitteeseen voidaan soveltaa seuraavia ohjeita:

- kannot ja muut suuret puunkappaleet >>> puhdistetaan mahdollisimman tarkoin hienoaineksesta, tarvittaessa pesu >>> puumateriaali toimitetaan esim. puuainesta vastaanottavalle läjitysalueelle tai kaatopaikalle, hienoaines talteen
- lohkarieet ja kivet >>> silmäääräinen tarkistus (ei hienoainesta kivien pinnalla) >>> toimitetaan hyötykäyttöön sellaisenaan tai murskattuna; mikäli hienoainesta selvästi havaittavissa >>> pesu tai muu mekaaninen puhdistus >>> kivet ja lohkarieet hyötykäyttöön, hienoaines talteen
- sekalainen maa-aines (talteenotettu hienoaines jne.) >>> selvittävä kaatopaikkakelpoisuus (>>> sijoitus kaatopaikalle kelpoisuuden mukaisesti) tai vaihtoehtoisesti murskataan (tarvittaessa) ja toimitetaan muun pilaantuneen maa-aineksen kanssa käsittelyyn
- erityisen haitallisiin yhdisteisiin, kuten PCB, dioksiinit, elohopea tai muu vastaava, on kiinnitettävä erityistä huomiota.

## **10.2.2 Hyötykäytön erityispiirteet**

### **Maa-ainesten fysikaaliset ominaisuudet**

Hyötykäyttö soveltuu periaatteessa useimmille maalajeille. Hyötykäyttörakenteissa maa-ainesten tekniselle laadulle (esim. maalajiominaisuudet) asetetaan maarakentamisessa yleisesti käytettyjä laatuvaatimuksia, jotka rajoittavat mm. silttimateriaalin käyttöä. Runsas orgaanisen aineksen, kuten turpeen määrä voi aiheuttaa massan kokoonpuristumista ajan myötä. Tällöin syntyvät, usein epätasaiset painumat voivat rikkoa eriste-



rakenteet. Runsaasti humusta sisältävä maa voi myös vaikuttaa eräiden haitta-aineiden kuten raskasmetallien käyttäytymiseen.

Plastiset maalajit, kuten savi, voivat aiheuttaa kokoonpuristumista ja vakavuusongelmia. Tarvittaessa sijoitettavat massat on tiivistettävä tai stabiloitava haitallisten muodonmuutosten estämiseksi. Massat voidaan myös läjittää kerroksittain ns. voileipä rakenteena, jolloin joka toinen kerros rakennetaan kokoonpuristumattomasta materiaalista.

Runsa vesipitoisuus lisää muodostuvan suotoveden määrää. Vesipitoisuus on ehdottomasti liian suuri, mikäli massoista erottuu painovoimaisesti vettä välittömästi rakenteesseen sijoitettaessa. Tarvittaessa maamassat on kuivattava ennen sijoitusta hyötykäyttökohteeseen.

Sijoitettavan maa-aineksen joukossa ei saa olla rakennusjätettä.

### **Kemialliset olosuhteet ja maa-ainesten sisältämät haitta-aineet**

**Hyötykäytön yhteydessä on otettava huomioon, että erityyppiset pilaantuneet maat voidaan sijoittaa yhteen ainoastaan, jos haitta-aineiden yhteisvaikutus ja vaikutus toisiinsa on selvitetty ja varmistettu mm. tiivistysmateriaalien kestävyys.**

Pilaantunutta maa-ainesta ei saa sijoittaa suoraan yhteyteen eristemateriaalien kanssa. Haitta-aineiden leviäminen ympäristöön eroosion (tuuli, sadevedet) vaikutuksesta tai suotovesien mukana on estettävä. Maamassat saavat olla alttiina sadevesille mahdollisimman vähän aikaa ennen niiden peittämistä tiivistyskerroksella. Mineraalisten tiivistysmateriaalien tulee omata riittävä sorptiokapasiteetti hyötykäytettävien maamassojen sisältämien haitta-aineiden mahdollista kulkeutumista vastaan.

**Suunniteltaessa pilaantuneen maan sijoittamista hyötykäyttökohteeseen on syytä varmistaa pohjatiivistysrakenteiden kestävyys haitta-aineita vastaan.**

Taulukoissa 9.1 ja 9.2 (luku 9 ”Sijoittaminen kaatopaikalle”) on esitetty kaatopaikkasijoituksessa huomioon otettavia seikkoja. Taulukkoja voidaan osin soveltaa myös hyötykäyttökohteisiin.

## 10.3 Hyötykäyttökelpoisuuden tutkiminen

### **KELPOISUUDEN OSOITTAMINEN**

**Hyötykäyttö => ympäristökelpoisuus**

**Loppusijoitus => kaatopaikkakelpoisuus**

**Hyötykäyttö kaatopaikkarakenteissa => ympäristö- ja/tai kaatopaikkakelpoisuus**

Hyötykäyttökelpoisuusarvioinnin ja jätteen luokittelun yleiset periaatteet on esitetty luvussa 9 ”Sijoittaminen kaatopaikalle”.

Pilaantuneen maa-aineksen maarakennuskäyttökelpoisuus edellyttää, että hyötykäytettävästä materiaalista tunnetaan sekä tekniset ominaisuudet että ympäristöominaisuudet ja, että näitä ominaisuuksia voidaan pitää sovelluskohteessa hyväksyttävänä. Bäckmanin (2001) mukaan hyötykäyttökelpoisuuden tutkiminen sisältää seuraavat toimintavaiheet:

- maa-aineksen ympäristö- ja teknisten ominaisuuksien selvittäminen
- sijoituspaikan ympäristöolosuhteiden selvittäminen
- soveltuvuuden arviointi, tarvittaessa riskinarviointi (liukoisuus, kulkeutuminen, altistuminen)
- rakenteen suunnittelu (tekninen toteutettavuus).

Tällä hetkellä sivutuotteiden ympäristökelpoisuuden arvioinnin yleiset periaatteet, joita voidaan soveltaa myös pilaantuneille maa-aineksille, ovat seuraavat (Wahlström et al. 1999):

- tarkastelun lähtökohtina tulee aina olla riittävät tiedot materiaalissa esiintyvistä haitta-aineista
- haitta-aineiden ominaisuudet tulee voida arvioida, lisäksi mahdolliset riskit materiaalin käytössä tunnistetaan ja tarvittaessa tutkitaan soveltuvilla testeillä
- massojen koostumus ja laatu vaihtelut tulee tuntea eikä niissä saa olla suuria vaihteluita.

Pilaantuneiden maa-ainesten ympäristökelpoisuuden arviointi edellyttää ns. karakterisointiliukoisuustestien tekemistä. Yleensä käytetään kolonnitestiä, jolla simuloidaan sadeveden suotautumista materiaalikerroksen läpi. Diffuusiotestillä tutkitaan haitta-aineiden liukoisuutta kiinteytetystä materiaalista. Ympäröivien pH-olosuhteiden muuttumisen vaikutusta arvioidaan pH-staattisen testin avulla. Kun jätteen ympäristökelpoi-

suus on arvioitu karakterisointitestein, voidaan koostumusvaihteluja ja jätteen laatua kriittisten parametrien osalta seurata laadunvalvontaan soveltuvilla pikatesteillä.

Materiaalin ympäristökelpoisuuden arviointiin soveltuvat liukoisuustestit ja niiden tulokintasuositukset on esitetty sivutuotteiden käyttökelpoisuuden osoittamiseksi laaditussa menettelytapaoppaassa (Mroueh et al. 2000), jota voidaan soveltaa myös pilaantuneeseen maa-ainekseen.

Liukoisuuden arviointimenetelmänä on esitetty käytettäväksi ensisijaisesti hollantilaista kolonnitestiä, NEN 7343 (Mroueh et al. 1996).

Maa-ainesten ympäristökelpoisuuden arvioinnissa tulee kolonnitestin avulla seurata kriittisten haitta-aineiden kokonaispitoisuuksia ja liukoisuuksia. Haitta-aineiden merkitystä voidaan alustavasti arvioida vertaamalla kokonaispitoisuuksia pilaantuneen maan ohjearvoihin (Samase) tai aiemmissa tutkimuksissa saatuihin pitoisuuksiin ja liukoisuusominaisuuksiin. Merkittävien metallipitoisuuksien osalta tulee metallien liukoisuusominaisuudet selvittää liukoisuustesteillä. Orgaanisten haitta-aineiden merkitystä sijoituspaikalla arvioidaan tällä hetkellä yleensä kokonaispitoisuuksien perusteella, sillä soveltuvat, yleisesti hyväksytyt testaus- ja arviointimenetelmät ovat vasta kehitteillä.

*Tapauskohtaisessa tarkastelumallissa* tarkastellaan pilaantuneesta maa-aineksesta tehtyä rakennetta (massamäärä, kerrospaksuus, eristekerrokset ja sijoitustapa, kuten tiivistykset), sijoituspaikan olosuhteita (esim. sijoitusympäristön erikoispiirteet ja herkkyys sekä käyttö tulevaisuudessa), pohjarakenteita sekä suotoveden kulkeutumista ympäristöön. Tarkastelussa tulee käydä läpi CEN-metodologiaohjeessa (prENV 12920) esitettyjä näkökohtia. Metodologiaohjeessa on esitetty perusteellisen liukoisuustutkimuksen eri vaiheet sekä annettu esimerkkejä huomioitavista tekijöistä. Metodologialuonnos sisältää luettelon jätteiden liukoisuusominaisuuksien tutkimuksissa huomioitavista tekijöistä ja tutkimusta varten tehtävät selvitykset tai arviot materiaalista ja sijoituspaikasta. Käytännössä skenaariotarkastelun vaiheet ovat samat hyötykäytössä ja kaatopaikkasijoituksessa. Eroja on lähinnä hyväksyttävyyuskriteereissä (Wahlström et al. 1999).

Hyödynnettäessä pilaantuneita maa-aineksia *kaatopaikkojen tiivistysrakenteissa* (pohja- ja pintarakenteet) huomioon otettavien ympäristökelpoisuus-kriteerien määrittely perustuu kahteen pääperiaatteeseen (Wahlström et al. 2004). Ensimmäinen kaikkien tiivistysrakenteissa käytettävien rakennekerrosten materiaalien on oltava kelpoisia tavanomaisen jätteen kaatopaikalle. Toiseksi sovellettavien kriteerien tulee olla sopusoinnussa olemassa olevien kriteerien (esim. maarakentamiskäytön ympäristökelpoisuus-kriteerit) kanssa. Pintarakenteen kasvukerroksissa käytettävien maa-ainesten kelpoisuutta arvioidaan ensisijaisesti epäorgaanisten ja orgaanisten haitta-aineiden kokonaispitoisuuksien mukaan. Muissa kerroksissa käytettävien materiaalien sisältämien epäorgaanisten haitta-

aineiden ympäristövaikutusta arvioidaan lähinnä liukoisuustestien perusteella. Pilaantuneen maan ohjearvoja (Samase) voidaan käyttää liukoisuustutkimuksissa määritettävien metallien tunnistamiseen ja liukoisuustutkimuksen laajuuden suunnitteluun. Käytettävä liukoisuustesti valitaan rakennekerroksen vedenläpäisevyyden perusteella. Ympäristöolosuhteiden vaikutus liukoisuusominaisuuksiin ja sen kautta mahdollinen testaustarve on arvioitava tapauskohtaisesti. Orgaanisten haitta-aineiden vaikutusten arviointi tehdään kokonaispitoisuuksien perusteella.

Taulukossa 10.1 on esitetty luettelo ympäristökelpoisuuden osoittamiseen liittyvistä seikoista, jotka pitää ottaa huomioon suunniteltaessa jätteiden hyötykäyttöä kaatopaikkarakenteissa. Taulukkoa voidaan soveltaa myös muuhun hyötykäyttöön. Jokainen sovellus on kuitenkin erilainen ja tapauskohtaisuutta on syytä korostaa. Lopullisen päätöksen jätteen hyötykäytöstä tekee aina lupaviranomainen.

Taulukko 10.1 Ympäristökelpoisuuden osoittamismenettelyn työvaiheet (Wahlström et al. 2004).

Toimintavaihe	Selvitettävät tiedot / huomioitavat tai dokumentoitavat asiat	Vastuutaho
Taustatietojen kerääminen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Perustiedot jätteen muodostumisprosessista</li> <li>Tiedot lähtömateriaaleista (arviot materiaaliominaisuuksista, koostumus, laatuvaihtelut)</li> </ul>	Jätteen tuottaja/ hyödyntäjä
Näytteenotto	<ul style="list-style-type: none"> <li>Laadunvaihtelun selvittäminen</li> <li>Näytteenottosuunnitelma</li> </ul>	Jätteen tuottaja, asiantuntija, viranomainen
Testaustarpeen arviointi ja testausohjelman laadinta	<ul style="list-style-type: none"> <li>Suunniteltu käyttötapa (materiaalin ja rakennekerroksen geotekniset tiedot)</li> <li>Jätteen koostumus</li> <li>Haitta-aineiden kokonaispitoisuuksien määrittäminen (mg/kg)</li> <li>Jätteen ja haitta-aineiden yleiset ominaisuudet ja ympäristöominaisuudet</li> <li>Sijoittamisen yleiset riskit (tarkasteltavien ympäristöolosuhteiden määrittäminen)</li> <li>Testaustarpeen arvioiminen</li> <li>Soveltuvien menetelmien valinta (menetelmien soveltuvuusalue, rajoitukset)</li> <li>Sopivan liukoisuustestin / sopivien testien valinta (karakterisointitestit / laadunvalvontatellit)</li> <li>Analysoitavien komponenttien valinta (esim. liukenevat haitta-aineet)</li> </ul>	Jätteen tuottaja, asiantuntija, testauslaboratorio
Testaus	<ul style="list-style-type: none"> <li>Esikäsitteily</li> <li>Näytekappaleiden valmistus modifioitua diffuusiotestiä tai sellitestiä varten</li> <li>Ympäristökelpoisuustestaus soveltuvilla menetelmillä</li> </ul>	Testauslaboratorio
Tulosten ja kelpoisuuden arviointi	<ul style="list-style-type: none"> <li>Testien riittävyden ja soveltuvuuden arvioiminen ja toteaminen</li> <li>Kelpoisuusarviointi</li> </ul>	Testauslaboratorio, asiantuntija
Riskinarviointi (tarvittaessa)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Riskinarvioinnin laajuuden arviointi huomioiden materiaalin ja sijoitusympäristön erikoispiirteet</li> <li>Hyväksyttävän riskitason määrittely</li> </ul>	Asiantuntija, viranomainen
Laaduntarkkailuohjelman laadinta	<ul style="list-style-type: none"> <li>Karakterisointitestien ja laadunvalvontatestien välisten korrelaatioiden selvittäminen</li> <li>Laadunvalvontaohjelma</li> </ul>	Asiantuntija
Hyväksymismenettely		Viranomainen

Sijoitettaville maamassoille asetettavat *tekniset vaatimukset* määräytyvät käyttökohteen laatuvaatimusten mukaisesti eli haitta-ainepitoisen maa-aineksen tulee täyttää käyttö-

kohteessa samat laatuvaatimukset kuin kohteessa muuten käytettävältä materiaaliltakin vaaditaan. Materiaalien tekninen soveltuvuus tulee aina selvittää riittävin tutkimuksin ja tarvittaessa koerakentein.

## **10.4 Hyötykäyttökohteen ympäristövaikutusten hallinta**

### **10.4.1 Maaperän sekä pohja- ja pintavesien suojaus**

Hyödynnettäessä lievästi pilaantuneita maamassoja maarakentamisessa on massat suositeltu peitettäväksi (Mroueh et al. 1996):

- puhtaalla maalla
- muilla käyttökohteen mukaisilla rakennekerroksilla
- liukoisuuden sitä edellyttäessä vettä läpäisemättömällä kerroksella.

Jos pintarakenteena käytetään pelkkää maakerrosta, on kyseessä maisemointi. Eristerakenteen tulee olla pysyvä siten, että materiaalien ominaisuudet eivät muutu pitkänkään ajan kuluessa esim. hapettumisen tai pH-olosuhteiden muutosten seurauksena. Mikäli pohjaeristeitä käytetään, sovelletaan kaatopaikkarakenteille annettuja ohjeita (ks. tarkemmin luku 8 ”Tiivistysrakenteet” ja luku 9 ”Sijoittaminen kaatopaikalle”). Myös reaktiivisten eristemateriaalien ominaisuuksia voidaan hyödyntää.

### **10.4.2 Vesien keräily ja käsittely**

Hyötykäyttökohteen suotovesien keräämistä varten on rakennettava tarpeelliset rakenteet. Suotoveden tarkkailutulosten perusteella päätetään vesien johtamistapa ja käsittelytarve. Vesien käsittelyä ja johtamista on käsitelty tarkemmin luvussa 1.6.2.

### **10.4.3 Kaasut**

Hyötykäyttökohteisiin ei suositella sijoitettavaksi kaasua muodostavia tai haihtuvia yhdisteitä sisältäviä maa-aineksia.

### **10.4.4 Pöly**

Pilaantuneiden maamassojen kuljetukset, purkutapahtumat ja siirrot voivat aiheuttaa pölyämistä ja sitä kautta haitta-aineiden leviämistä ympäristöön. Mahdolliset pölypääs-

töt ovat merkityksellisiä maa-aineksen sisältämien haitta-ainehiukkasten vuoksi. Pölyhaittoja torjutaan henkilökohtaisten suojaimien käytöllä sekä peittämällä tai kostuttamalla maamassat tarvittaessa. Pölyämisen vähentämiseen käytettyjä keinoja on esitetty luvussa 2 ”Kaivu/massanvaihto, kuljetukset ja välivarastointi”, luvussa 2.3.2 sekä luvussa 1.6.2.

#### **10.4.5 Riskien ja epävarmuuksien hallinta**

Ympäristövaikutusten hallintaan liittyvät epävarmuudet ja riskit on aina arvioitava ja tehtävä suunnitelmat sekä toimintaohjeet näiden epävarmuuksien hallitsemiseksi. Poikkeustilanteisiin varautuminen voidaan kuvata hyötykäyttökohteen työmaasuunnitelmasa. Hyötykäyttöön liittyviä epävarmuustekijöitä voivat olla esim.

- rankkasateiden tai suurten lumimäärien aiheuttamat tulvat
- tiivistysrakenteiden vuotaminen
- liian vesipitoisista massoista aiheutuvat läjitysongelmat ja suotoveden määrän kasvu
- maamateriaalin väärä laatu esim. saven tai turpeen liiallinen määrä tai ennakkotiedoista poikkeavat haitta-ainepitoisuudet tai haitta-aineiden laatu
- vastaanottokapasiteettiin nähden liian suurien massamäärien tulo sijoituspaikalle.

Ympäristöhaittojen torjuntaan on ryhdyttävä heti vahingon sattuessa. Vahinkotilanteista, poikkeuksellisista ympäristöpäästöistä ja niihin vaikuttavista tapahtumista on aina tehtävä ilmoitus alueelliselle ympäristökeskukselle ja paikalliselle ympäristöviranomaiselle.

### **10.5 Valmistelutoimenpiteet**

Pilaantuneiden maiden kunnostaminen ja siihen liittyvä käsittelyjen tai käsittelemättömien maamassojen hyötykäyttö on ympäristöluvanvaraista toimintaa. Mikäli kaivetut maamassat toimitetaan jatkokäsittelyyn tai hyötykäyttöön ympäristöluvan jo omaavaan käsittelykeskukseen, kaatopaikalle tms., riittää hakemuksessa maininta massojen vastaanottajasta. Tällöin edellytetään, että vastaanottajalla voimassa oleva ympäristölupa sallii ko. tyyppisten massojen vastaanoton. Hyötykäyttö, välivarastointi ja maa-ainesten kunnostaminen muualla kuin asianmukaisen luvan jo omaavalla alueella edellyttää aina ympäristöluvan hakemista tai joissain tapauksissa ilmoituksen tekemistä.

Ennen massojen vastaanottamisen aloittamista on varmistettava, että massojen tuottajalle on toimitettu riittävästi tietoa vastaanottajan asettamista ja sijoituspaikan ympäristöluvasa määräytyistä vaatimuksista, kuten ennakkokokeista, analyysistä ja sallituista haitta-

aineista ja niiden pitoisuuksista. Maamassojen toimittajan on syytä olla selvillä myös massojen vastaanottajan laadunvalvontamenettelyistä. Massojen toimittajan ja vastaanottajan välinen kirjallinen sopimus tulee tehdä ennen massojen vastaanottamisen aloittamista ja siihen tulee kirjata kaikki oleelliset vastaanottoon liittyvät ehdot sekä vastuukysymykset ja mahdolliset sanktiot, mikäli esim. massojen laatu ei vastaa sovittua.

Pilaantuneiden massojen vastaanottajalla tulee olla ennakolta laadittu suunnitelma massojen käyttötarkoituksesta ja läjityksestä. Suunnitelmassa tulee huomioida erityyppisten maa-ainesten yhteensijoittamismahdollisuudet ym. aikaisemmissa luvuissa esitetyt rajoitukset ja erityistä huomiota vaativat seikat.

## 10.6 Laadunhallintatoimenpiteet

**Hyötykäyttävän jätteen ympäristö- ja/tai kaatopaikkakelpoisuustestien tulee aina olla riippumattomien ja pätevien henkilöiden ja laitosten suorittamia. Näytteenottoon tulee aina käyttää sertifioitua ympäristönäytteenottajaa.**

### Sijoitettavien maamassojen laadun valvonta

Hyötykäyttökohteeseen sijoitettavien pilaantuneiden maa-ainesten laatua valvotaan useassa eri vaiheessa: kaivun aikana, kuljetusta varten kuormatuista massoista ja kohteeseen saapuvista massoista. Lisäksi laatua valvotaan mahdollisten kunnostustoimien yhteydessä. Hyötykäyttökohteisiin sijoitettavien pilaantuneiden maa-ainesten laatua on valvottava lisäksi sijoituskohteessa. Hyötykäyttökohteesta vastaavan velvollisuus on varmistua sijoitettavien massojen laadusta (ympäristö- ja/tai kaatopaikkakelpoisuuden lisäksi varmistettava mm. eri lailla pilaantuneiden maiden yhteensopivuus, katso osa 9 ”Sijoittaminen kaatopaikalle”, luku 9.2.2). Kuormien mukana tulevat asiakirjat (esim. kuormakirjat) tarkistetaan aina kuormakohtaisesti.

Seurattavat parametrit päätetään kunnostussuunnitelman laadintavaiheessa. Ne on myös määrätty ympäristöluvassa. Parametreja seurataan sijoituskohteeseen tuotavista kuormista ottamalla näytteitä esim. joka kolmannesta tai viidennestä kuormasta riippuen pilaantuneisuuden luonteesta ja sijoituspaikasta. Kuormat, joista näytteet on otettu, varastoidaan erilleen kunnes analyysitulokset on saatu. Näytteet suositellaan otettaviksi kuormakohtaisina kokoomanäytteinä. Osanäytteiden lukumäärä määritetään aina tapauskohtaisesti, yleissääntönä voidaan pitää viittä osanäytettä. Lukumäärää päätettäessä on huomioitava, että hyötykäyttökohteissa ei pyritä selvittämään sijoitettavan maa-aineksen keskiarvopitoisuuksia eri haitta-ainesten osalta, vaan tarkoituksena on löytää



mahdolliset hot spotit. Tulosten tulkinnassa on otettava huomioon osanäytteiden määrä, ks. myös luku 10.7.1. Myös silmämääräinen seuranta on tarpeen mm. maa-aineksen joukossa mahdollisesti olevan rakennusjätteen tai muun soveltumattoman aineksen havaitsemiseksi.

Pilaantuneiden maamassojen laatua voidaan joutua seuraamaan myös teknisten ominaisuuksien suhteen, mikäli tiivistysrakenteiden toimivuus ja pitkäaikaiskestävyys edellyttää sijoitettavan materiaalin täyttävän tietyt ominaisuudet esim. kokoonpuristuvuuden osalta (ks. myös luku 8 ”Tiivistysrakenteet”).

### **Muut laadunvalvontatoimet**

Hyötykäyttökohteiden dokumentointia ei ole ohjeistettu. Käytännössä vähimmäistoi-  
menpiteenä sijoituspaikan koordinaatit tulee määrittää ja merkitä kunnan sisällä yhteisesti sovittavaan rekisteriin. Sijoituspaikkojen merkitsemistä myös asemakaavakarttoihin sekä johtokarttoihin suositellaan. Kaatopaikoilla sijoitusalueet on merkittävä kaatopaikan käyttösuunnitelmaan ja kaatopaikkakarttaan.

Rakenteista, joissa on hyödynnetty pilaantuneita maa-aineksia, tulee dokumentoida seuraavat tiedot (Sarkkila et al. 2002):

- pilaantuneiden maa-ainesten sijainti rakenteessa
- veden ja haitta-aineiden kulkeutumista ehkäisevät ja rajoittavat rakenneosat sekä niiden vaikutukset haitta-aineiden kulkeutumiseen
- rakenteen pinnan kaltevuudet, valuma- ja suotovesien keräily ja johtaminen
- rakenteen seuranta ja kunnossapito sekä niistä vastaava organisaatio.

Hyötykäyttökohteissa tulee aina käyttää laadunvalvonnan varmistamiseksi riippumaton laadunvalvoja.

## **10.7 Hyväksymiskriteerit ja toimenpiderajat**

### **10.7.1 Maa-ainesten sijoituskelpoisuus**

**Kaikkia analyysituloksia tarkasteltaessa tulee ottaa huomioon sekä näytteenotto- että analyysimenetelmästä johtuvat epävarmuustekijät.**

Kaatopaikalla hyödynnettävän pilaantuneen maan sijoituskelpoisuuskriteerejä on käsitelty osassa 9 ”Sijoittaminen kaatopaikalle”, luvussa 9.7.1.

Muualle kuin tavanomaisen tai ongelmajätteiden kaatopaikalle sijoitettavan, hyötykäytetävän, pilaantuneen maa-aineksen pitoisuustarkkailu ei saa perustua keskiarvopitoisuuksiin. Yksittäisenkään kokoomanäytteen haitta-ainepitoisuudet (osanäytteiden lukumäärä huomioon otettuna) eivät saa ylittää sallittuja pitoisuuksia minkään haitta-aineen osalta. Tarkat hyväksymiskriteerit on ilmoitettu kunnostamista koskevassa ympäristöluvassa tai ilmoituspäätöksessä ja hyötykäyttökohdetta koskevassa ympäristöluvassa.

**Muualla kuin tavanomaisen tai ongelmajätteen kaatopaikoilla hyödynnettävän maa-aineksen suhteen ei pääsääntöisesti sallita ympäristöluvassa tai ilmoituspäätöksessä määrättyjen pitoisuustasojen yksittäisiäkään ylityksiä.**

### 10.7.2 Jälkiseuranta

Jälkiseurannan tavoitteena on

- tuottaa tietoa lupaehtojen täyttämisestä
- tuottaa tietoa mahdollisista päästöistä ja niiden leviämisestä
- varmistaa tehtyjen toimenpiteiden laatu (esim. rakenteiden toimivuus).

Pilaantuneiden maa-ainesten hyötykäyttö kaatopaikoilla edellyttää aina jälkiseurantaa. Kaatopaikkojen jälkiseurannasta on huolehdittava jo lainsäädännön perusteella, joten kaatopaikan seurantaohjelmaa voidaan täydentää tarvittavin osin pilaantuneiden maa-ainesten ominaisuuksien pohjalta, ks. tarkemmin osa 9 ”Sijoittaminen kaatopaikalle”, luku 9.7.2.

Myös käsittelemättömien pilaantuneiden maa-ainesten hyötykäyttö muualla kuin kaatopaikka-alueella edellyttää jälkiseurannan järjestämistä (etenkin suotovedet ja tarvittaessa pohjavesi). Seuranta toteutetaan tapauskohtaisten lupaehtojen mukaisesti.

Hyödynnettäessä *kiinteytettyjä* maamassoja muualla kuin tavanomaisen tai ongelmajätteen kaatopaikoilla, on jälkiseurantasuosituksena esitetty suotovesien tarkkailua vähintään kolme kertaa vuodessa kahden vuoden ajan (Mroueh et al. 1996). Tarvittaessa myös pohjavesien laatua on tarkkailtava. Ympäristöpäästöjen lisäksi edellytetään rakenteiden teknisen kunnan seurantaa. Rakenteiden korjaustoimiin on ryhdyttävä välittömästi, mikäli rakenteissa havaitaan vaurioita. Kiinteytettyjen maamassojen hyötykäyttöä on käsitelty myös luvussa 3 ”Stabilointi”.

## 10.8 Työsuojelu ja turvallisuus

Pilaantuneiden maa-ainesten hyötykäyttöön liittyy seuraavia työnaikaisia riskitekijöitä (muokattu ohjeen FRTR 2002 pohjalta): fyysiset riskit, kemialliset riskit ja biologiset riskit.

### Fyysiset riskit

- 1) Läjitys- ja maarakennustyömailla kaivinkoneet ja muut työkoneet sekä kuorma-autot aiheuttavat merkittävän vaaratekijän työntekijöille. Työtaturmariskin lisäksi työkoneet voivat aiheuttaa huomattavaa melua.

#### *Torjunta:*

- liikkuvien työkoneiden ja kuorma-autojen varustaminen peruutushälyttimillä
- koneita pitää lähestyä aina edestä päin siten, että koneen kuljettaja näkee lähestyvän henkilön (silmäkontakti)
- kuulosuojainten käyttö

- 2) Terävien esineiden aiheuttamat pisto- ja viiltohaavat

#### *Torjunta:*

- suojavarusteiden käyttö (turvajalkineet, käsineet)
- terävien esineiden poistaminen kaivumassoista

- 3) Putoamiset, kompastumiset ja liukastumiset työmaa-alueella

#### *Torjunta:*

- suojakaiteiden asennus
- työmaiden pitäminen siistinä
- pintavesien poisjohtaminen lammikoitumisen välttämiseksi ja työmaan pitämiseksi mahdollisimman kuivana
- liukastumisvaaran aiheuttavien maamateriaalien siivous liikkumisalueilta (savi, lieju)
- kulkureittien sorastus tai erillisten jalankulkuväylien rakentaminen
- riittävä valaistus

- 4) Työskentely epästabiililla alueella tai alustalla

*Torjunta:*

- vakavuus- ja painumatarkastelut geoteknisten laskelmien avulla
- tukirakenteet ja kaiteet työskentelyalueella

- 5) Kuumasta ilmasta aiheutuva auringonpistoksen, nestehukan ja lämpöhalvauksen vaara

*Torjunta:*

- riittävä nesteiden nauttiminen
- suojautuminen auringolta
- lepotauot

- 6) Kylmästä ilmasta aiheutuvat riskit

*Torjunta:*

- asianmukainen vaatetus
- töiden jaksottaminen (riittävästi taukoja)
- lämmittelytilan järjestäminen

- 7) Sähköiskun vaara ilmakaapeliin alueella

*Torjunta:*

- ilmajohtojen huomioiminen suunnitteluvaiheessa
- suojaetäisyyksien määrittäminen
- tarvittaessa virran katkaisu työskentelyn ajaksi

- 8) Liikenneonnettomuudet

*Torjunta:*

- työmaasta varoittavat liikennemerkkit
- työmaaliikenteen suunnittelu
- peruutushälyttimien käyttäminen

## **Kemialliset riskit**

- 1) Altistuminen haitta-aineille (kaasut, pöly)

*Torjunta:*

- henkilökohtaisten suojainten käyttö (haitta-ainekohtaiset suodattimet, haalarit, käsineet, saappaat)
- työkoneiden ohjaamoiden tuloilman suodatus, ohjaamoiden ylipaineistus
- työntekijöiden koulutus ja perehdyttäminen työmaakohtaisesti turvallisuusnäkökohtiin
- jalkineiden ja työvälineiden pesumahdollisuuksien järjestäminen
- peseytymismahdollisuuksien järjestäminen
- kertakäyttösuojainten käyttäminen
- ruokailun ja tupakoinnin kieltäminen työmaa-alueella
- pölynvähentämistoimet (kastelu, maamassojen peittäminen, pölynsidonta)
- työmaaparakkijärjestelyt (likaiset vaatteet, pesutilat, pukuhuoneet, toimisto- ja taukotilat)

### **Biologiset riskit**

#### 1) Altistuminen mikro-organismeille

*Torjunta:*

- hengityssuojainten käyttö
- ruokailun, juomisen ja tupakoinnin kieltäminen ennen suojavaatteiden poistoa ja peseytymistä
- pölynvähentämistoimet
- kertakäyttöisten suojavaatteiden käyttö
- työntekijöiden koulutus ja perehdyttäminen työmaakohtaisesti turvallisuusnäkökohtiin

Turvallisuus- ja työsuojeluasioiden periaatteita on käsitelty myös luvussa 1.6.7 Työsuojelu. Yksityiskohtaisemmin asiaa on esitelty mm. Saastuneen maa-alueen tutkimuksen ja kunnostuksen työsuojeluoppaassa (Nikulainen & Kalevi 1997). Käytännön ohjeita työsuojelusta on esitetty mm. Ympäristögeoteknisessä näytteenotto-oppaassa (Suomen Geoteknillinen Yhdistys 2002).

## Kirjallisuus

Ahonen, I., Jalkanen, A. & Vähäsöyrinki, A. 1998. Työntekijöiden kemikaalialtistuminen saastuneiden maa-alueiden kunnostuksessa. Suomen ympäristö 197. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 50 s.

Alanko, K. & Järvinen, K. 2001. Pilaantuneen maa-alueen kunnostuksen yleissuunnitelma. Ympäristöopas 83. Ympäristönsuojelu. Suomen ympäristökeskus. 77 s.

Anon. 2002a. Contractor Quality Control 05/02. USACE/NAVFAC/AFCEA, Unified facilities guide specifications. UFGS-01451A. 17 s.

Anon. 1999. Soil washing through separation/solubilization. Unified Facilities Guide Specifications, UFGS-02151A.

Anon. 1998. Minimum Design Requirement and Common Accepted Engineering Practices: Soil Vapor Extraction and Bioventing Systems. Wyoming Department of Environmental Quality, Groundwater Pollution Control Program Guideline 5. 31 s.

Anon. 1997a. Technical and Regulatory guidelines for soil washing. ITRC – Interstate technology and regulatory Cooperation Work Group, Metals in Soils Work Team, Soil Washing Project.

Anon. 1997b. Åtgärdskrav vid efterbehandling. Naturvårdsverket, Rapport 4807. 39 s. + liitt.

Anon. 1997c. Rätt datakvalitet. Naturvårdsverket, Rapport 4667. 68 s. + liitt.

Anon. 1997d. Efterbehandling av förorenade områden. Vägledning för planering och genomförande av efterbehandlingsprojekt. Naturvårdsverket, Rapport 4803. 60 s.

Anon. 1996a. Biopile Design and Construction Manual. Technical Memorandum TM 2189-ENV. Naval Facilities Engineering Service Center, NEFSC .

Anon. 1995. Engineering and Design. Treatability Studies for Solidification/Stabilisation of Contaminated Material. Department of the Army. Technical Letter No. 1110-1-158. Washington, D.C. U.S. Army Corps of Engineers. 38 s.

Anon. 1993. Guide for Conducting Treatability Studies Under CERCLA. Biodegradation Remedy Selection. Interim Guidance. U.S. EPA, Office of Solid Waste and Emergency Response EPA/540-R-93-519a. 71 s.

Asfalttiset tiivistysrakenteet, esiversio. 2002. Suomen ympäristökeskus. 75 s.

Assmuth, T., Strandberg, T., Joutti, A. & Kalevi, K. 1992. Kemiallisesti saastuneen maaperän tutkimusmenetelmät. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja –sarja A 97.

Barnard, L., Bone, B. & Hills, C. 2003. Guidance on the Use of Stabilisation/Solidification for the Treatment of Contaminated Materials. R&D Technical Report P5-064/TR. Bristol, Environment Agency, CASSST. 96 s.

BCA 2003. Site guide. Stabilisation/Solidification of Contaminated Land and Hazardous Waste. First draft for comment. 7<sup>th</sup> March 2003. CASST/BCA.

Britschgi, R. & Gustafsson, J. (toim.). 1996. Suomen luokitellut pohjavesialueet. Suomen ympäristö 55. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 384 s.

Bäckman, A. 2001. Lievästi pilaantuneiden ja käsiteltyjen maa-ainesten hyötykäyttö- ja sijoituskriteerit. Luonnos 1.6.2001.

Chemas 2000. Ohje kemikaalien kappaletavaravarastosta. Kemikaalineuvottelukunta 2000:5.

Dahlbo, H. 2002. Jätteen luokittelu ongelmajätteeksi –arvioinnin perusteet ja menetelmät. Ympäristöopas 98. Ympäristönsuojelu. Suomen ympäristökeskus. 75 s. + liitt. 83 s.

Daniel, D.E. 1993. Clay liners. In: Geotechnical Practice for Waste Disposal. Edited by Daniel, D.E. S. 137-163.

DEPA. 2002. Guidelines on Remediation of Contaminated Sites. Environmental Guidelines No. 7, 2002, Vejledning fra Miljøstyrelsen. Danish Environmental Protection Agency, Danish Ministry of Environment. 290 s.

DEPA. 1997. Landfilling of Waste. Guidelines from the Danish Environmental Protection Agency. Ministry of Environment and Energy. 99 s.

Egloffstein, T.A. 2002. Bentonite as sealing material in geosynthetic clay liners – Influence of the electrolytic concentration, the ion exchange and ion exchange with simultaneous partial desiccation on permeability. Clay Geosynthetic Barriers, Zanzinger, Koerner & Gartung (eds.). S. 141-153.

EPA 1997. Best Management Practices (BMPs) for Soils treatment Technologies. Suggested Operational Guidelines to Prevent Cross-Media Transfer of Contaminants During Cleanup Activities. EPA 530-R-97-007. 153 s.

EPA 1994. BMP Development Workshop Summary – Containment Technologies. Office of Solid Waste, Permits and State Programs Division, August 1994.

EPA. 1993b. Technical Resource Document. Solidification/Stabilization and its application to waste materials. U.S. Environmental Protection Agency, Risk Reduction Engineering Laboratory EPA/530/R-93/012.

EPA 1993c. Solid Waste Disposal Facility Criteria Technical Manual. EPA530-R-93-017.

EPA 1992. Guide for Conducting Treatability Studies under CERCLA: Thermal Desorption Remedy Selection. Interim Guidance. United States Environmental Protection Agency, EPA/54/R-92/074 A 38 s.

EPA 1991a. Guide for conducting treatability studies under CERCLA: Soil vapor extraction. Interim Guidance. EPA/540/2-91/019A. 68 s.

EPA 1991b. Guide for Conducting Treatability Studies under CERCLA: Soil Washing. EPA/540/2-91/020B

Finergy. 2000. Tuhkarakentamisohje Tie-, katu- ja kenttärakenteisiin. Energia-alan Keskusliitto ry, Finergy. <http://www.energia.fi/attachment.asp?Section=507&Item=2676>

FRTR. 2002. The Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide, Version 4.0, April 2002. The Federal Remediation Technologies Roundtable (FRTR). <http://www.frtr.gov>

Honders, A. & Gadella, J.M. 2003. Development and validation of a sampling strategy for assessing the environmental quality of (reusable) soil. SCG Service Centrum Grond/TNO. [http://www.scg.nl/SCG/scg\\_e.htm](http://www.scg.nl/SCG/scg_e.htm)

Honders, A., Orbons, A.J. & Gadella, J.M. 2003. Development and application of a quality control and assurance scheme for reusable soil. SCG Service Centrum Grond/BOG Branche Organisatie Grondbanken/kiwa. [http://www.scg.nl/SCG/scg\\_e.htm](http://www.scg.nl/SCG/scg_e.htm)



Honders, T., Boerekamp, G. & Gadella, M. 2003. The mismatch between (in-situ) soil site investigation and (ex-situ) excavated soil quality. SCG Service Centrum Grond/TNO. . [http://www.scg.nl/SCG/scg\\_e.htm](http://www.scg.nl/SCG/scg_e.htm)

ITRC 1997. Technical Requirements for On-site Low Temperature Thermal Treatment of Non-hazardous Soils Contaminated with Petroleum/Coal tar/Gas Plant Wastes. Prepared by The Interstate Technology and Regulatory Cooperation Low Temperature Thermal Desorption Task Group.

ITRC 1998. Technical Guidelines for On-site Thermal Desorption of Solid Media and Low Level Mixed Waste Contaminated With Mercury and/or Hazardous Chlorinated Organics. FINAL. Prepared by The Interstate Technology and Regulatory Cooperation Low Temperature Thermal Desorption Task Group. 47 s. + liitt. 13 s.

Jones, L. & Wiles, C. 1989. Interference mechanisms in waste stabilization/solidification processes. U.S. Environmental Protection Agency EPA/600/S2.89/067.

Järvinen, S. 2000. Polyaromaattisilla hiilivedyillä saastuneen maan kompostointi. Diplomityö, Tampereen teknillinen korkeakoulu, ympäristötekniikan osasto. 98 s.

Jørgensen, K. & Kalevi, K. 2002. PCDD/F:lla pilaantuneet maat ja ongelman laajuus Suomessa. Ympäristö ja Terveys, nro 9:2002, 33. vsk. S. 40-44.

Kodikara, J.K., Rahman, F. & Barbour, S.L. 2002. Towards a more rational approach to chemical compatibility testing of clay. Can. geotech. J. 39. S. 597-607.

Korhonen, K-H. & Gardemeister, R. 1975. Maalajien kaivuluokitus. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Geotekniikan laboratorio, tiedonanto 1. 80 s. + liitt. 38 s.

Kylä-Setälä, A. & Assmuth, T. 1996. Suomen maaperän tila, kuormitus ja suojelu. Helsinki, Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 10. 172 s.

Laakso, K. 1999. Saastuneiden maiden tutkimiseen soveltuvia kenttämittareita. Ympäristöopas 60. Ympäristönsuojelu. Suomen ympäristökeskus. 88 s.

LfU Baden-Württemberg. 1991. Handbuch Mikrobiologische Bodenreinigung. Karlsruhe: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Materialien zur Altlastenbearbeitung. Band 7. 233 s.

LfU Baden-Württemberg. 1995. Handbuch Altlasten und Grundwasserschadensfälle. Immobilisierung von Schadstoffen in Altlasten. Karlsruhe: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Materialien zur Altlastenbearbeitung.

LfU 1995. Handbuch Altlasten und Grundwasserschadensfälle. Hydraulische und pneumatische in-situ Verfahren. Materialien zur Altlastenbearbeitung. Band 16. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. 390 s. + liitt

Leppänen, M., Vahanne, P. & Ahonen, J. 2004. Tiivistysrakenteiden laadunvalvonta. Luonnos. SCC Viatek Oy, VTT Prosessit.

LohjaRudus. 2002. Trisoplast tiivistämateriaalin suunnitteluohje. Luonnos. Lohja Rudus Ympäristöteknologia Oy Ab, Jaakko Pöyry Infra. 33 s.

Mroueh, U-M., Järvinen, H-L. & Lehto, O. 1996. Saastuneiden maiden tutkiminen ja kunnostus. Teknologia katsaus 47/96, Tekes. 194 s.

Mroueh, U-M., Mäkelä, E., Wahlström, M., Kauppila, J., Sorvari, J., Heikkinen, P., Salminen, R., Juvankoski, M. & Tammirinne, M. 2000. Sivutuotteet maarakenteissa, Käyttökelpoisuuden osoittaminen. Teknologia katsaus 93/2000. TEKES. 87 s.

Mroueh, U-M. 1990. Liuotteita käyttävän teollisuuden päästöjen rajoittamismahdollisuudet. Valtion teknillinen tutkimuskeskus Tiedotteita 1146. 142 s.

Naturvårdsverket 1996a. Fältanalyser av förorenad mark. Översikt och jämförelse mellan konventionella metoder. Naturvårdsverket Förlag. 61 s + liitt. 6.

Nevala, E. 2002. Urakan kokonaistaloudellisesta ratkaisemisesta. Kuntatekniikka 3:2002. S. 44-45.

Nikulainen, V. & Kalevi, K. (toim.) 1997. Saastuneiden maa-alueiden tutkimuksen ja kunnostuksen työsuojeluopas. Ympäristöopas 17. Ympäristönsuojelu. Suomen ympäristökeskus. 84 s.

Paatonen, E. 1995. Huokoskaasu maaperän ja pohjaveden saastuneisuuden kuvaajana. Helsingin kaupunki, Ympäristökeskuksen julkaisuja 2/1995.

Paatonen, E. 2003. Huokoskaasumenetelmät. Pilaantuneen maan kunnostuksen laadunvarmistus –seminaari 20.2.2003. Suomen ympäristökeskus. 12 s.

Penttinen, R. 2001. Maaperän ja pohjaveden kunnostus, Yleisimpien menetelmien esittely. Suomen ympäristökeskuksen moniste 227. 51 s.

PrENV 12920. 1997. Characterization of waste – Methodology Guideline for the Determination of the Leaching Behaviour of Waste under Specific Conditions. European Committee for Standardization. Brussels.

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

Rakennusurakkasopimuksen laatiminen. Saastuneiden maiden kunnostustyö YSE 1998 asiakirjamalli (2000). RT 16-10714 + lomake RT 80260.

Rathmayer, H. & Juvankoski, M. 1993. Tiivistemattoina käytettävät geomembraanit – toimintavaatimukset ja materiaalinvalintakriteerit. Vesi- ja ympäristöhallituksen julkaisu -sarja A, Nro 153. Helsinki.

Ruuska, S. 2001. Pilaantuneiden alueiden kunnostamista ja riskinarviointia koskeva lainsäädäntö. Suomen ympäristö 503. Ympäristöpolitiikka. Suomen ympäristökeskus. 59 s.

Salo, T. 2003. Laatuasiat PIMA-kunnostuskohteen valvonnassa. Pilaantuneen maan kunnostuksen laadunvarmennus 20-21.2.2003. Suomen ympäristökeskus. Julkaisematon.

Sarkkila, J., Mroueh, U-M. & Leino-Forsman, H. 2002. Pilaantuneen maan kunnostuksen laadunvarmistusopas. Ympäristöopas xx. Luonnos.

Sjöholm, M., Strandberg, T. & Loukola, E. 1994. Jätealueiden pohjamaan tiiviys. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja, Nro 546. Helsinki. 67 s.

Suomen Betoniyhdistys. 2001. BY 43 Betonin kiviainekset 2001. Suomen Betoniyhdistys ry. 64 s.

Suomen Geoteknillinen Yhdistys r.y. 2002. Ympäristögeotekninen näytteenotto-opas, Maa-, huokoskaasu- ja pohjavesinäytteet. Suomen Geoteknillinen Yhdistys r.y. 40 s. + liitt. 9 s.

Suomen Geoteknillinen Yhdistys. 1984. Pohjarakennustöiden valvontaohjeet, PRV-84. Suomen Geoteknillinen Yhdistys r.y. Rakentajain Kustannus Oy. 126 s.

Suomen Kuntaliitto. 2001. Saastunut maaperä -kunnan vastuu, toimintamallit ja rahoitusmahdollisuudet. <http://www.kuntaliitto.fi/pimasa/esiselvitys.htm>

Suomen ympäristökeskus. 1998. Kaatopaikan tiivistysrakenteet. Ympäristöopas 36. Rakentaminen. 141 s.

Tammirinne, M., Juvankoski, M. & Laaksonen, R. 2004. Kaatopaikan tiivistysrakenteiden ja –materiaalien tuotehyväksyntä, Menettelytapaopas. Luonnos, versio 3, 2.2.2004. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka.

Tarkistettu valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2005.

<http://www.vyh.fi/ympsuojate/valtak/kalindex.htm>

Tengvall, J. 2000. Kaasujen käsittely bensiinillä pilaantuneen maan huokoskaasupuhdistuksessa. Uudenmaan ympäristökeskus, Suomen ympäristö 351. 65 s.

Tielaitos 1994. Asfalttiasemien ja kivenmurskaamojen ympäristönsuojelu 1994. Tuotannon palvelukeskus. Helsinki. 24 s.

Tielaitos 1995. Asfalttiasemien, kivenmurskaamojen ja öljysora-aseman pöly- ja melumittaukset. Tielaitos. Uudenmaan tiepiiri. Helsinki. 31 s.

Tuhola, M. 1997. Maarakennustyömaan ympäristöopas. Ympäristöopas 31. Rakentaminen. Maarakennusalan neuvottelukunta ja Suomen ympäristökeskus. 79 s.

USACE 1995. Engineering and Design. Soil Vapor Extraction and Bioventing. U.S. Army Corps of Engineers, Engineer Manual 1110-1-4001. 168 s..

USACE/NAVFAC/AFCEA 2001. Operation, Maintenance, and Process Monitoring for Soil Vapor Extraction Systems. Unified Facilities Guide Specifications. UFGS – 01830A. 31 s.

U.S. DOE. Definition of Environmental Restoration Program Requirements. Preferred Alternatives Matrices (PAMs). U.S. Department of Energy, Office of Environmental Management. <http://www.em.doe.gov>

Uudenmaan ympäristökeskus 1997. Lupapäätös No YS 1338. Lohja Rudus, Virkkalan likaantuneiden maiden käsittelylaitos.

Van der Wall, K. 1997. A new material for landfill barriers. Proceedings Sardinia.

Viatek Oy. 1998. Savi kaatopaikan pohjan ja pinnan mineraalitiivisteinä. Viatek Oy. 52 s. + liitt. 5 s.

Walsted, L. & Christensen, A.1999a. Airsparging og vakuumentilation fra vandrette boringer på Drejøgade 3-5 : design og anlæg. Miljøstyrelsen, Miljøprojekt 480. 78 s.

Walsted, L. & Christensen, A.1999b. Airsparging og vakuumentilation fra vandrette boringer på Drejøgade 3-5 : Statusrapport 1. Miljøstyrelsen, Miljøprojekt 487. 23s.

Wahlström, M. & Laine-Ylijoki, J. 1996. Standardoidut liukoisuustestimenetelmät maa-rakentamisessa hyötykäytettävien materiaalien ympäristötestauksessa. VTT Tiedotteita 1801. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 44 s. + liitt. 16 s.

Wahlström, M., Eskola, P., Laine-Ylijoki, J., Leino-Forsman, H., Mäkelä, E., Olin, M. & Juvankoski, M. 1999. Maarakentamisessa käytettävien teollisuuden sivutuotteiden riskinarviointi. VTT Tiedotteita 1995. 79 s. + liitt. 54 s.

Wahlström, M., Laine-Ylijoki, J., Walavaara, M. & Vahanne, P. 2001. Teollisuusjätteiden kaatopaikkakelpoisuus. VTT Tiedotteita 2086. TEKES ja Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus. 69 s. + liitt. 19 s.

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. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Luonnos 2004.

Weitz, A. M. 1997. Application of TRISOPLAST for lining of landfills. Report 142.

Wihlman, E. 2003. Laatuasiat PIMA-kunnostusten lupavaatimuksissa. Pilaantuneen maan kunnostuksen laadunvarmennus 20-21.2.2003. Suomen ympäristökeskus. Julkaisematon.

Ympäristöministeriö. 1992. Työryhmän mietintö 71, 1992. Asumisjätevesistä poikkeavien jätevesien johtaminen viemäriin.

Ympäristöministeriö. 1994. Saastuneet maa-alueet ja niiden käsittely Suomessa. Saastuneiden maa-alueiden selvitys- ja kunnostusprojekti, loppuraportti. Ympäristöministeriö, Ympäristönsuojeluosasto, Muistio 5/1994. 218 s.

## Lainsäädäntö ja standardit

Asetus ympäristövaikutusten arviointimenettelystä (268/1999)

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi jätteenpoltosta (2000/76/EY)

Euroopan Unioni, Neuvoston direktiivi 1999/31/EY kaatopaikoista (26.4.1999)

Euroopan Unioni, Neuvoston päätös (2003/33/EY) direktiivin 1999/31/EY 16 artiklan ja liitteen II mukaisista perusteista ja menettelyistä jätteen hyväksymiseksi kaatopaikoille (19.12.2002)

Jäteasetus (1390/1993)

Jätehuoltolaki (673/1978)

Jätehuoltoasetus (307/1979)

Jätelaki (1072/1993)

Kemikaaliasetus (675/1993)

Kemikaalilaki (744/1989)

Laki eräistä naapurussuhteista (26/1920)

Laki maa-alueilla tapahtuneiden öljyvahinkojen torjumisesta (378/1974)

Laki työsuojelun valvonnasta (131/1973)

Laki ympäristönsuojelulainsäädännön voimaantulosta (113/2000)

Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä (468/1994)

Laki jäteverolain muuttamisesta (1157/1998)

SFS-EN 932-1 Kiviainesten yleisten ominaisuuksien testaus. Osa 1: Näytteenotto-  
menetelmät. Suomen standardisoimisliitto SFS. 7.1.1997.

SFS 3863 Leijuvan pölyn määrittäminen ilmasta. Tehokeräysmenetelmä. Suomen stan-  
dardisoimisliitto SFS 1.6.1977.

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus kemikaalien luokitusperusteista (807/2001)

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus vaarallisten aineiden luettelosta (624/2001)

Terveysturvallisuuslaki (763/1994)

Työterveyshuoltolaki (743/1978)

Valtioneuvoston asetus eräistä pysyvistä orgaanisista aineista (735/2002)

Valtioneuvoston asetus jäteasetuksen liitteen 4 muuttamisesta (1128/2001)

Valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta (362/2003)

Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista annetun valtioneuvoston päätöksen muuttamisesta annetun valtioneuvoston päätöksen voimaantulosäännöksen muuttamisesta (552/2001)

Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista (861/1997)

Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista annetun valtioneuvoston päätöksen muuttamisesta (1049/1999)

Valtioneuvoston päätös ongelmajätteiden poltosta (842/1997)

Valtioneuvoston päätös ongelmajätteistä annettavista tiedoista sekä ongelmajätteiden pakkaamisesta ja merkitsemisestä (659/1996)

Valtioneuvoston päätös rakennustyön turvallisuudesta (629/1994)

Valtioneuvoston päätös ongelmajätteiden poltosta (842/1997)

Valtioneuvoston päätös pohjavesien suojelemisesta eräiden ympäristölle tai terveydelle vaarallisten aineiden aiheuttamalta pilaantumiselta (364/1994)

Valtioneuvoston päätös yhdyskuntajätettä polttavien laitosten aiheuttaman ilman pilaantumisen ehkäisemisestä (626/1994)

Vesilaki (264/1961)

Ympäristöministeriön asetus yleisimpien jätteiden ja ongelmajätteiden luettelosta (1129/2001)

Ympäristönsuojelulaki (86/2000).

Ympäristöministeriön päätös toimivallan siirtämisestä Helsingin kaupungin ympäristölautakunnalle 29.3.2001 Dnro 16/400/2000

Ympäristönsuojeluasetus (169/2000)





## LIITE 1: Eri toimialoilla yleisesti käytettyjä haitta-aineita

(Kylä-Setälä, A. & Assmuth, T. 1996. Suomen maaperän tila, kuormitus ja suojele. Suomen ympäristö 10)

Toimiala	Esimerkkejä käytetyistä kemikaaleista	Maaperästä tutkittavia suureita
Taimi- ja kauppa-putarhat	Torjunta-aineet (mm. ditiokarbaamatit, atrasiini, kvintoseeni), lämmitysöljyt ja lannoitteet	Käytetyt torjunta-aineet, AOX, POX, fumigantit, öljy-yhdisteet, PAH, kokonaistyyppi ja -fosfori, nitraatti
Tekstiili- ja nahka-teollisuus	Värit (mm. azo-, antrakinoni-, indigo- ja ftaaliyhdisteet), orgaaniset liuotteet, maalit, lakat, liimat, kromi	<u>Kehräys</u> : POX <u>Kudonta</u> : polyvinyylialkoholi <u>Pesu</u> : tensidit, POX, TOC <u>Valkaisu</u> : AOX, POX, vetyperoksidi <u>Merserointi</u> : NaOH <u>Värjäys</u> : värit, aromaattit, alginaatit, polyvinyliasettaatti, kokonaissulfidi, kompleksinmuodostajat <u>Jälkikäsitteily</u> : Orgaaniset fosforiyhdisteet, tolueni, ksyleeni, MEK, dimetyyliformamidi, isopropanoli, isobutanoli <u>Nahkatehtaat</u> : Cr, POX, Na <sub>2</sub> S, ammoniumsulfaatti, rikkihappo,
Puutuoteteollisuus	Halogenoidut hiilivedyt, Cu, Cr, As, kreosoottiöljy, torjunta-aineet (mm. lindaanit), dioksiinit, (fenoli)liimat Poltossa: orgaaniset kloori- ja typpiyhdisteet, fenolit, kresolit, tolueni, syaanivedyt	Kloorifenolit, AOX, As, Cu, Cr
Kemiallinen metsäteollisuus	Klooriyhdisteet, hapot, emäkset, öljyt, PCDD/PCDF	AOX, öljyt, PCDD/PCDF
Kemian ja muoviteollisuus	Peruskemikaalit, öljy, halogenoidut liuotteet, pigmenttien raskasmetallit ym. tuotannossa käytetyt kemikaalit	<u>Keinokuitutehtaat</u> : rikkihiili, rikkihappo, ammonium- ja sinkkisulfaatti <u>Lateksitehtaat</u> : styreeni, butadieeni, vinyliasettaatti, hiilitetrakloridi, etyleenidikloridi (EDC)
Metalliteollisuus	Leikkuuöljyt, sakat, lietteet, joissa mm. raskasmetalleja (Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, Zn, joskus Co, As, Sb), orgaaniset liuotteet (esim. tolueni, ksyleeni), syanidit, halogenoidut hiilivedyt	<u>Metallien valmistus</u> : raskasmetallit, öljy-yhdisteet, syanidit ja fluoridit <u>Metallituotteiden valmistus</u> : em. yhdisteiden lisäksi klooratut yhdisteet, hiilivetyliuottimet, tensidit, kompleksinmuodostajat ja hapot
Graafinen teollisuus	Raskasmetallit (Ag), org. painovärit, liuotteet, liimat, lakat, kehitteet, kiinnitteet	Liuottimet, Ag

Elintarviketeollisuus	Torjunta-aineet, liuotteet, pesuaineet, öljyt	Öljy-yhdisteet, liuotteet, torjunta-aineet
Asfalttiasemat	Öljyt, halogenoidut liuotteet ja hapot, metyleenikloridi	Öljy-yhdisteet, TOC, alkaliniteetti, halogenoidut liuotteet
Huoltoasemat	Jäteöljyt (sis. mm. rikkiä, Pb, kloorattuja hiilivetyjä, PAH), Pb, maalit, liuotteet, massausaineet, akkuhapot, jarru- ja kytkinnesteet	Öljy-yhdisteet, PAH, AOX, TOC, MTBE
Korjaamot, romuttamot	Jäteöljyt (sis. mm. rikkiä, Pb, PAH, kloorattuja hiilivetyjä), Pb, liuotteet, maalit, massausaineet, akkuhapot, jarru- ja kytkinnesteet, leikkuuöljyt, PCB Poltto: Orgaaniset klooriyhdisteet, Pb, dioksiinit/furaanit	Pb, öljy-yhdisteet, PAH, AOX, TOC, MTBE
Energialaitokset	Öljyt, As, Va, Zn, Cu, syanidit, PAH, fenolit	Öljy-yhdisteet, As, Va, Zn, Cu, syanidit, PAH, fenolit
Jätteenkäsittelylaitokset	Selvitettävä tapauskohtaisesti, mitä jätteitä käsitelty	Kloridi, KHK, kokonaisfosfori, alkaliniteetti, rauta ja muut raskasmetallit, PAH, TOC, AOX, muuten mukaan, mitä jätteitä on käsitelty
Jätevedenpuhdistamot	Selvitettävä tapauskohtaisesti, millaisia vesiä käsitelty	pH, sähkönjohtavuus, BOD <sub>7</sub> , KHT, kokonaisfosfori ja -typpi, bakteerit, teollisuusjätevesien haitta-aineet
Kemikaalivarastot	Selvitettävä tapauskohtaisesti varastoidut aineet	Varastoidut yhdisteet
Kemikaalivahinkoalueet	Selvitettävä tapauskohtaisesti	Ympäristöön päässeet yhdisteet
Hautausmaat	Amino- ja rasvahapot, Cu, Zn, Cd, Hg	
Betoni- ja sementtiteollisuus	Öljyt, käsittelykemikaalit (mm. klooriyhdisteitä)	Öljyt, AOX
Teollisuusalueet	Selvitettävä tapauskohtaisesti	Varastoidut, käytetyt ja tuodut kemikaalit
Suureläinsuojat	Ravinteet, bakteerit ja raskasmetallit (As, Cd, Cr, Cu, Pb, Zn)	Kokonaistyyppi, ammoniumtyppi, nitriitti, nitraatti, KHK, bakteerit

## LIITE 2: Pilaantuneen maan siirtoasiakirjat

KOPIO TYÖMAAN VALVOJALLE

### PILAANTUNEEN MAA-AINEKSEN SIIRTOASIAKIRJA

Maa-aineksen kuvaus (haitta-aineet, pitoisuudet ja vaaraominaisuudet):

Pilaantuneen maa-aineksen haltija:

Pilaantuneen maa-aineksen lähtöpaikka:

Kuljetuksen suorittava yritys: \_\_\_\_\_

Maa-aineksen vastaanottaja:

Vastaanottoaika:

Työmaan valvoja:

Kuorman numero: \_\_\_\_\_

Kuorman määrä : \_\_\_\_\_ t

Siirron ajankohta: Pvm:

Klo: \_\_\_\_\_

Ruutu / syvyys:

Kuljettajan nimi: \_\_\_\_\_ Auton rek. no \_\_\_\_\_

Vakuutan, että annetut tiedot ovat oikeita

- Lähettäjä: \_\_\_\_\_
- Vastaanottaja: \_\_\_\_\_ (kellonaika ja allekirjoitus)
- Kuljettaja: \_\_\_\_\_

LASKUTUSOSOITE:

ASIAKKAAN VIITE:

**PILAANTUNEEN MAA-AINEKSEN SIIRTOASIAKIRJA**

**Maa-aineksen kuvaus (haitta-aineet, pitoisuudet ja vaaraominaisuudet):**

**Pilaantuneen maa-aineksen haltija:**

**Pilaantuneen maa-aineksen lähtöpaikka:**

**Kuljetuksen suorittava yritys:** \_\_\_\_\_

**Maa-aineksen vastaanottaja:**

**Vastaanottoaika:**

**Työmaan valvoja:**

**Kuorman numero:** \_\_\_\_\_

**Kuorman määrä :** \_\_\_\_\_ t

**Siirron ajankohta: Pvm:**

**Klo:** \_\_\_\_\_

**Ruutu / syvyys:**

**Kuljettajan nimi:** \_\_\_\_\_ **Auton rek. no** \_\_\_\_\_

Vakuutan, että annetut tiedot ovat oikeita

• Lähettäjä: \_\_\_\_\_

• Vastaanottaja: \_\_\_\_\_ (kellonaika ja allekirjoitus)

• Kuljettaja: \_\_\_\_\_

•

**LASKUTUSOSOITE:**

**ASIAKKAAN VIITE:**

### LIITE 3: Esimerkki näytteenoton seurantalomakkeesta

Hankkeen nimi	Hanke numero	Projektin (työvaiheen) nimi	Näytteenottaja			Muuta (mm. mahdolliset ongelmat ja häiriöt, tehdyt korjaustoimenpiteet)	
			Näytteen jatkossittely/ lähetyiskohte	Mittaus- tulokset			
Hankkeesta vastaava:		Näytteenumerot		Näytteiden määrä	A	B	C
Päivämäärä ja kellonaika	Näytteenotto/ tarkkailukohte		Näytteenotto/ Tarkkailumene- telmä		Seurattava parametri		



## LIITE 4: Kenttämittalaitteiden käyttö

Seuraavassa on esitetty kenttämittauksiin liittyviä yleisiä ohjeita, joiden mukaan toimimalla voidaan mittaustekniikasta riippumatta eliminoida kenttämittauksiin liittyviä häiriötekijöitä ja päästä mahdollisimman laadukkaisiin mittaustuloksiin (RCRA 1998, Laakso 1999).

- 1) Näytteenottoa suunniteltaessa varmistetaan, että mittalaitteen määrittämysraja on riittävä käyttökohteeseen ja kaikille tutkittaville haitta-aineille.
- 2) Laitteelle laaditaan käyttöohje, joka sisältää ainakin:
  - luettelon näytteenotossa tarvittavista välineistä ja tarvikkeista,
  - selkeän ja riittävän yksityiskohtaisen ohjeen laitteen käytöstä ja käyttöpäiväkirjaan tehtävistä merkinnöistä,
  - ympäristö- ja toimintaolosuhteet, joissa laite soveltuu käytettäväksi,
  - luettelon tavanomaisimmista häiriötekijöistä, poikkeamatilanteista ja korjaavista toimista poikkeamatilanteissa
  - tarvittavat kalibrointi-, huolto-, tarkastus- ja puhtaanapito-ohjeet sekä luettelon kriittisistä varaosista, joita tulee olla aina varastossa tai viittaukset erillisiin (esim. laitevalmistajan) ohjeisiin.
- 3) Laitteen kalibrointi- ja huolto-ohjeet ovat käyttäjien saatavissa ja niitä noudatetaan laitetta käytettäessä. Monet kenttämittalaitteet on kalibroitava päivittäin sekä työtä aloitettaessa että työn päättyessä, tarvittaessa myös käytön aikana tai kalibrointi on tehtävä kulloinkin tutkittavalle haitta-aineseokselle tai matriisille erikseen. Huolto-ohjeet ovat laitekohtaisia, mutta mm. seuraavat seikat on otettava huomioon useimpien laitteiden käytössä:
  - huolehdittava virtalähteen riittävydestä; paristojen tehon heikkeneminen huonontaa mittaustulosta
  - huolehdittava mittalaitteiden lampujen ja pölysuodattimien puhdistamisesta ja vaihdet-tava ne huolto-ohjeissa suositeltavin väliajoin
  - huolehdittava muiden kuluvien osien vaihdosta huolto-ohjeiden mukaisesti, sekä huolehdittava, että usein tarvittavia varaosia on varastossa.
- 4) Mittalaitteen käyttöpäiväkirjan on aina laitteen mukana. Käyttöpäiväkirjan on sisällettävä ainakin seuraavat tiedot: laitteen nimi ja tyyppi, kalibrointipäivämäärät ja -ajat, kalibrointikaasu/kalibrointimatriisi (vertailu/referenssimatriisi), suoritettut huoltotoimet, toimenpiteiden tekijä sekä muut tarvittavat tiedot, kuten sääolosuhteet.

- 5) Laitteen käyttäjällä on oltava riittävästi kokemusta ko. menetelmästä ja laitteesta, niin että menetelmän rajoitukset ja häiriötekijät pystytään ottamaan huomioon näytteenotossa ja tulosten tulkinnassa.
- 6) Kenttämittalaitteen käytössä ja kalibroinnissa tulee ottaa huomioon sääolosuhteet. Kosteus häiritsee usein analysointia ja näytteiden kuivaus voi olla tarpeen (esim. röntgenfluoresenssi-analysaattorilla yli 20 %:n kosteuspitoisuudessa harkittava näytteiden kuivausta). Myös lämpötila vaikuttaa useimpien laitteiden toimintaan, esim. FID ei toimi pakkasella. Lämpötila vaikuttaa myös haihtuvuuteen ja tämä on otettava huomioon näytteenotossa ja tulosten tulkinnassa.
- 7) Kenttämittalaite osoittaa vain näytteenottokohdan/sondin sijaintikohdan haitta-ainepitoisuuden. Siksi näytteenottotiheyden on oltava riittävä ja näytteenottosyvyyden oikein valittu. Näytteen on oltava mahdollisimman hyvin kosketuksissa sondiin tai anturiin tms. kosketuspintaan ja näytteestä on tarvittaessa poistettava aines, joka ei vastaa näytteen keskiarvo-koostumusta (kivet, juuret, kasvinosat ym.).
- 8) Kenttänäytteiden laadun varmistamiseksi on tutkittava riittävä määrä rinnakkaisnäytteitä laboratoriossa. Kenttä- ja laboratoriotulosten vertailussa tulee ottaa huomioon, että menetelmät eivät aina vastaa täysin toisiaan. Esim. XRF-analysaattori mittaa alkuaineen kokonaispitoisuutta, kun taas laboratorionäytteistä analysoidaan happouutteeseen liuennut osuus. Joihinkin mineraaleihin sitoutuneiden alkuaineiden kohdalla erot voivat olla selviä. Haihtuvien aineiden kohdalla taas näytteen käsittelyn ja säilytyksen aikaiset häviöt voivat aiheuttaa eroja. Lisäksi on varmistettava, että analyysi kattaa saman yhdistevalikoiman.



**LIITE 5: Esimerkkejä kenttämittauslaitteiden  
laadunvarmistusmenettelyistä sekä laitteiden käytössä ja huollossa  
huomioon otettavista asioista**

Laite	Suositeltavia laadunvarmistusmenettelyjä	Käytössä ja huollossa huomioon otettavia asioita
Röntgenfluoresenssi-analysointilaitteet (XRF)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kalibrointi puhtaalla alkuaineella työpäivän alkaessa ja päättyessä, akunvaihdon tai laitteen sulkemisen jälkeen sekä mikäli epäillään ryömintää.</li> <li>• Nollanäytteen (puhdas hiekka, piidioksidi, tms.) analyysi päivittäin, mielellään joka 20 näytettä kohti.</li> <li>• Kalibroinnin varmistusnäytteiden (referenssinäyte, jossa on samat haitta-aineet kuin kenttänäytteessä) analyysi työpäivän alkaessa ja päättyessä.</li> <li>• Toistettavuus/tarkkuus tekemällä päivittäin 7 – 10 rinnakkaismäärittystä samasta näytteestä. Määrittysten perusteella lasketun suhteellisen keskiarvon (rsd) tulee olla alle</li> <li>• 20 %, kromille alle 30 %.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fysikaalinen (raekoko, homogeenisuus) ja kemiallinen matriisi vaikuttavat tuloksiin -&gt; laite on kalibroitava matriisille ja kemialliset matriisi-vaikutukset selvittävät ennen kalibrointia</li> <li>• Näytteen ja anturin välinen etäisyys ei saisi vaihdella, anturin kanssa kosketuksissa olevan näytepinnan tulee olla mahdollisimman tasainen ja homogeeninen, oksat, kivet, ym. poistetaan</li> <li>• Joidenkin aineiden spektrit ovat osittain päällekkäisiä (esim. rauta ja koboltti, arseeni ja lyijy), mikä otetaan huomioon kalibroinnissa ja tulosten tulkinnassa. Detektorien tarkkuudessa on selviä eroja</li> <li>• Kromin toteamisraja korkea &gt; 200 mg/kg</li> <li>• Mitattavan aineen kosteus voi vaikuttaa häiritsevästi (yli 20 % kosteus)</li> <li>• Mittaa vain pintakerroksen (2-3 mm) pitoisuutta</li> <li>• Kosteus ja kylmyys voivat häiritä toimintaa</li> <li>• Säteilylähteet heikkenevät vanhetessaan</li> <li>• Akkujen lataus saattaa riittää vain muutamaksi tunniksi</li> <li>• Analyysitarkkuutta voidaan parantaa näytteen esikäsittelyllä, hidastaa analysointia, suoraan maaperästä pystytään analysoimaan noin 100 näytettä/d, näyteastiasta tai pussista 50 näytettä/d</li> </ul>

Fotoionisaatiotietodetektor (PID)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kalibrointi kalibrointikaasulla</li> <li>• Kalibroinnin tarkistus kalibrointikaasulla</li> <li>• Tarkkuus: rinnakkaisnäytteiden analyysi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaismäärän mittaus pitoisuustasolla 1–2 000 ppm</li> <li>• Mittaa huokosilman haihtuvien yhdisteiden pitoisuutta, joka ei ole sama kuin maanäytteestä laboratorioanalyysillä saatava pitoisuus</li> <li>• Varmistettava, että käytetään mitattaville yhdisteille soveltuvaa lamppua, jolla mitattava yhdiste näkyy (vain yhdisteet, joiden ionisaatioenergia on pienempi kuin lampun ionisaatioenergia, näkyvät)</li> <li>• Soveltuu mm. haihtuville bensiini- ja öljyhii-livedyille, BTEX:lle ja klooratuille haihtuville yhdisteille</li> <li>• Vaste erilainen eri yhdisteille, kalibroidaan yleensä jollekin keskiarvo-yhdisteille, jos aineiden pitoisuusvaihtelut ovat suuria, voi heikko tai vahva suhteellinen vaste aiheuttaa suuria poikkeamia tuloksiin</li> <li>• Kyllästyminen on ongelma erityisesti yhdisteille, joille laite on herkkä (aromaattiset hii-livedyt, mm. BTEX)</li> <li>• Ei reagoi metaaniin ja etaaniin, metaani ei häiritse</li> <li>• Ilman kosteus häiritsee mittausta, joissakin mittareissa kosteuden tunnistin, jonka avulla voidaan tehdä kosteuskorjaus</li> <li>• Jos pitoisuudet vaihtelevat ja välillä on suuria pitoisuuksia, mittarin kyllästyminen voi aiheuttaa ongelmia</li> <li>• UV-lampun likaantuminen (kosteus, pöly, höyryt) heikentää mittaustulosta</li> <li>• Kylmyys haittaa mittauksia</li> <li>• Akun (ladattava uudelleen päivittäin) ja lampun kesto rajallisia</li> </ul>
Lieki-ionisaatiotietodetektor (FID)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kalibrointi kalibrointikaasulla</li> <li>• Kalibroinnin tarkistus kalibrointikaasulla</li> </ul> <p>Tarkkuus: rinnakkaisnäytteiden analyysi</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaismäärän mittaus pitoisuustasolla 1–50 000 ppm</li> <li>• Soveltuu mm. haihtuville bensiini- ja öljyhii-livedyille, BTEX:lle ja ketoneille (MEK ja MIBK)</li> <li>• Ei sovellu halogenoiduille VOC:lle?</li> <li>• Reagoi metaaniin</li> <li>• Vaatii vedyn käyttöä (räjähdysherkkyys)</li> <li>• Ei yhtä kosteusherkkä kuin PID</li> <li>• Kylmyys (&lt; 5 °C) haittaa mittausta</li> <li>• Akku ladattava usein (päivittäin) uudelleen</li> </ul>
HNU-kenttätesti	<ul style="list-style-type: none"> <li>•</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Määritysraja &gt; 10–500 ppm</li> <li>• Jos näytteessä on paljon alkaaneja (jäteöljyt), näyttää helposti virhelukemia</li> </ul>

Petro-Flag	<ul style="list-style-type: none"> <li>•</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Määrittäminen 10–50 000 ppm (vaihtelee ainekohtaisesti)</li> </ul>
Kenttäkäyttöinen kaasukromatografi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kolmesta viiden pisteen kalibrointi ulkoisella standardilla</li> <li>• Päivittäinen kalibroinnin tarkistus keskitason standardinäytteellä</li> <li>• Nollanäytteen analyysi, erityisesti kloorattuja orgaanisia yhdisteitä analysoidessa</li> <li>• Rinnakkaisnäytteet (menetelmän tarkkuus ja näytteiden homogeenisuus)</li> <li>• Laboratiovertailunäyte, näytematriisi, joka sisältää tunnettuja haitta-ainepitoisuuksia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soveltuu helposti haihtuville, termisesti stabiileille hiilivedyille</li> <li>• Herkimmin haihtuvien aineiden detektointi voi epäonnistua (liian lyhyt läpimenoaika kolonnissa)</li> <li>• Vaatii käyttäjältä enemmän kokemusta kuin PID/FID, erityisesti kromatogrammien tulkinna</li> <li>• Tietokoneella varustetuissa saadaan tulkinta kalibroiduille aineille, laite on kalibroitava tutkittavalle kaasuseokselle, kalibrointi aikaa vievää</li> <li>• Lämpötilavaihtelujen vaikutukset otettava huomioon/ eliminoitava</li> <li>• Valittava kaasulle sopiva detektori, FID lineaarinen alue 0,01–100 000 ng, tarvittavan vedyn kuljettaminen kentälle hankalaa</li> <li>• PID lineaarinen alue 0,001–10 000 ng, soveltuu hyvin MTBE:n ja BTEX-yhdisteiden analyysiin</li> <li>• EDC, soveltuu halogeeneja sisältävien hiilivetyjen analysointiin</li> </ul>
Immunologiset kenttätestit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kalibrointistandardin analysointi jokaisen näyte-erän yhteydessä</li> <li>• Nollanäytteet, yksi nollanäyte jokaista analysoitua 20 näytteen erää kohti</li> <li>• Rinnakkaisnäytteet, kaksi analyysia samasta kenttänäytteestä, jokaista analysoitua 20 näytteen erää kohti</li> <li>• Matrix spike, tunnettu määrä haitta-ainetta lisätään kenttänäytettä vastaavaan matriisiin, jokaista analysoitua 20 näytteen erää kohti</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mm. öljyjen, PAH-yhdisteiden (kokonaismäärä), BTEX (kokonaismäärä), kloorifenolien ja PCB:n määrityksiin</li> <li>• PCB-testi kalibroitu tietyille isomeerille, voi yliarvioida tai aliarvioida muiden pitoisuuden</li> <li>• PAH- ja BTEX-testeissä näyttää kokonaismäärän, mutta vaste vaihtelee yhdistekohtaisesti, mistä voi aiheutua eroja laboratorioanalyysiin verrattuna</li> <li>• Vaatii erityisosaamista, riittävää käyttökoulutusta ja huolellisuutta</li> <li>• Toimivat heikosti kylmässä</li> <li>• Melko hitaita</li> </ul>



## LIITE 6: Mittaustulosten luotettavuuden arviointi

### Näytteenoton, mittauksien ja analyysien mittaepävarmuudet (Anon. 1997, EPA 1993a)

#### Mitä epävarmuus tai luotettavuus on?

Mittaustuloksiin sisältyy aina virhettä. Tässä keskitytään nk. satunnaiseen virhetyyppiin, eli virheeseen joka ei ole systemaattinen tai mittalaitteiden ja menetelmien kalibroinnilla poistettavissa. Mittauksien satunnaisvirhettä pyritään arvioimaan, jolloin selviää mitkä tekijät vaikuttavat eniten mittaustuloksen *luotettavuuteen* ja mikä on mittaustuloksen *tarkkuus*. Jos tehdään välittömiä havaintoja, ts. haettujen suureiden selville saamiseksi tarvitaan vain yksi mittaus, virheen ylärajana voidaan pitää havaintoarvoista laskettua keskipoikkeamaa, keskiarvon keskivirhettä tai suurinta poikkeamaa keskiarvosta. Usein havaintoarvojen satunnainen virhe on kuitenkin niin pieni, että se jää mittalaitteen lukematarkkuuden rajoihin. Tällöin mitatun suureen virheen yläraja voidaan arvioida suoraan mittalaitteen lukematarkkuuden perusteella.

Usein tutkittavaa suuretta ei voida mitata suoraan, vaan mittaukset kohdistetaan suureisiin, joiden funktio tutkittava suure on ja joiden arvoista tutkittavan suureen arvo tietyn matemaattisen riippuvuuden perusteella lasketaan. Tällöin havaittujen suureiden virheellisyys vaikuttaa haetun suureen tarkkuuteen.

#### Virheen ja luotettavuuden laskennalliset arviointimenetelmät: Kokonaisdifferentiaalimenetelmä

Seuraavassa määritetään mittauksien absoluuttisen ja suhteellisen virheen ylärajat käyttäen kokonaisdifferentiaalia. Käytetään merkintöjä:

$F$  = määritettävä funktio

$\Delta F$  =  $F$ :n absoluuttisen virheen yläraja

$\Delta F/F$  =  $F$ :n suhteellisen virheen yläraja (usein %:na)

$x, y, z, \dots$  = toisistaan riippumattomien muuttujien arvoja (mittaustuloksia)

$\Delta x, \Delta y, \Delta z, \dots$  = edellisten absoluuttisten virheiden ylärajat

$\Delta x/x, \Delta y/y, \Delta z/z, \dots$  = edellisten suhteellisten virheiden ylärajat

$a, b, c, \dots$  = virheettömiä vakioita

Yleinen tapaus:  $F=f(x, y, z)$

Absoluuttinen virhe:

$$dF = \frac{\partial F}{\partial x} dx + \frac{\partial F}{\partial y} dy + \frac{\partial F}{\partial z} dz + \dots$$

$$\Delta F \leq \left| \frac{\partial F}{\partial x} \Delta x \right| + \left| \frac{\partial F}{\partial y} \Delta y \right| + \left| \frac{\partial F}{\partial z} \Delta z \right| + \dots$$

Suhteellinen virhe:

$$d(\ln F) = \frac{dF}{F} = \frac{\partial(\ln F)}{\partial x} dx + \frac{\partial(\ln F)}{\partial y} dy + \frac{\partial(\ln F)}{\partial z} dz + \dots$$

$$\frac{\Delta F}{F} \leq \left| \frac{\partial(\ln F)}{\partial x} \Delta x \right| + \left| \frac{\partial(\ln F)}{\partial y} \Delta y \right| + \left| \frac{\partial(\ln F)}{\partial z} \Delta z \right| + \dots$$

### Näytteenoton, mittauksien ja analyysien luotettavuus

Kun tarkastellaan pilaantuneen maan tai käsitellyn pilaantuneen maan näytteenottoa, näytteet voidaan ottaa joko suoraan maaperästä, sekoittamattomasta kasasta, sekoitetusta kasasta tai virrasta. Tällöin edellä kuvattuun mittaustulosten virheenarviointiin on lisättävä myös arvio näytteenoton edustavuudesta.

**Esimerkki:** Pilaantunut maa-alue on kooltaan esim. 100 m \* 100 m. Käsitellyn lupaehdoissa vaaditaan, että on käsiteltävä kaikki maa-aines, jonka haitta-aineen X-pitoisuus on > 1000 mg/kg. Maasta otetaan 10 näytettä joiden keskiarvo  $\bar{x}$  (estimoit odotusarvoa) on 600 mg/kg ja otoksen keskihajonta  $s$  (estimoit todellista keskihajontaa) on 200 mg/kg. Onko maa-aines riskitasolla 5 % ”puhdas” jos kaikki maa-aines sekoitetaan, oletuksella, että koko maa-aineksen sekoitus johtaa pitoisuuden odotusarvoon?

**Ratkaisu:** Käytetään nk. keskiarvon testiä.

$$H_0 = \mu = 1000 \text{ mg/kg}$$

$$H_1 = \mu \leq 1000 \text{ mg/kg}$$

Riskitaso = 5 %. Yksisuuntainen keskiarvon testi testimuuttujalla:

$$\frac{\left| \bar{x} - \mu \right|}{s / \sqrt{n}} \sim t(n-1)$$

$$\frac{|600 - 1000|}{200 / \sqrt{10}} = 0,63246$$

$$t(n-1) = 1,833$$

$$0,63246 < 1,833$$

Testimuuttujan lukema < t-jakaumataulukosta otettu lukema => H0 oikein => pitoisuus on riskitasolla 5 % alle 1000 mg/kg. Jos riskitaso 5 % ei riitä, voidaan testata riskitasot 1 % ja 0,1 % jolloin mittauksien virrehaarukat suurenee ja k arvo pienenee.

**Lisätehtävä 1:** Onko maa-aines riskitasolla 5 % ”likainen” jos kaikki maa-aines sekoitetaan (=> pitoisuuden odotusarvo)?

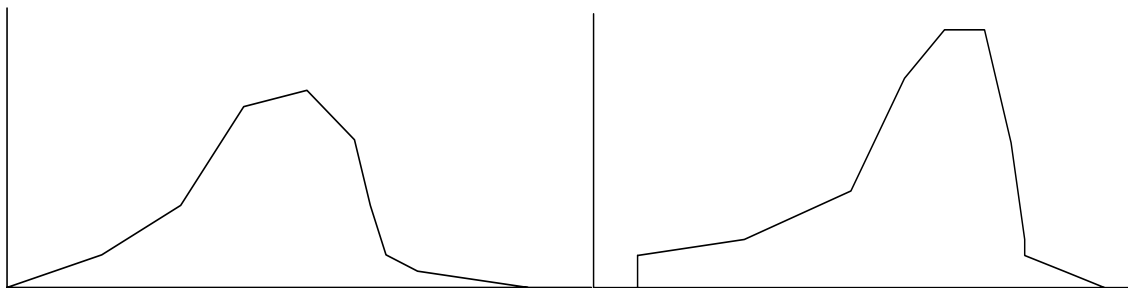
Ratkaisu: testimuuttujan lukeman TULISI olla > jakaumasta otettu lukema => H1 oikein => pitoisuus riskitasolla 5 % OLISI yli 1000 mg/kg, mutta näinhän ei nyt ole!

**Lisätehtävä 2:** Mikä on Studentin t-jakauman mukainen tuloksen luottamusväli esim. 5 % riskillä?

$$\bar{\mu} \pm k \frac{s}{\sqrt{n}}$$

$$600 \pm (1,833 \frac{200}{\sqrt{10}}) = 600 \pm 116 \text{ mg / kg} = 600 \text{ mg / kg} \pm 20\%$$

Oletus normaalijakaumasta pitää paikkansa paremmin puhdistetulle maalle kuin käsittelemättömälle pilaantuneelle maalle. Esimerkiksi kuvan 1 jakaumat johtavat siihen, että  $\sim N(\mu, \sigma)$  tai Studentin t-jakaumaa käytettäessä saadaan keskiarvon suuremmalle puolelle liian suuri lukeman yläraja-arvio esim. 5 % riskitasolla. Todellisista jakaumista pitoisuudet jakaumien keskipitoisuuksien odotusarvon oikealta puolelta ”puuttuvat” (näin voi olla joissakin puhdistamattomissa maissa). Keskiarvon testissä voidaan kuitenkin oletettu jakauma tutkittavassa maassa korvata jollain paremmin kuvaavalla jakaumalla.



*Kuva 1. Esimerkkejä pilaantuneen maan normaalijakaumasta poikkeavista jakaumista.*

## Raja-arvot ja epävarmuutta sisältävät tulokset

Jos luparaja tällä hetkellä on esim.  $a$  mg/kg, annetun arvion puhdistetun maan pitoisuudesta  $b$  mahdollisine virheineen on oltava yhtä suuri kuin tai pienempi kuin  $a$ .

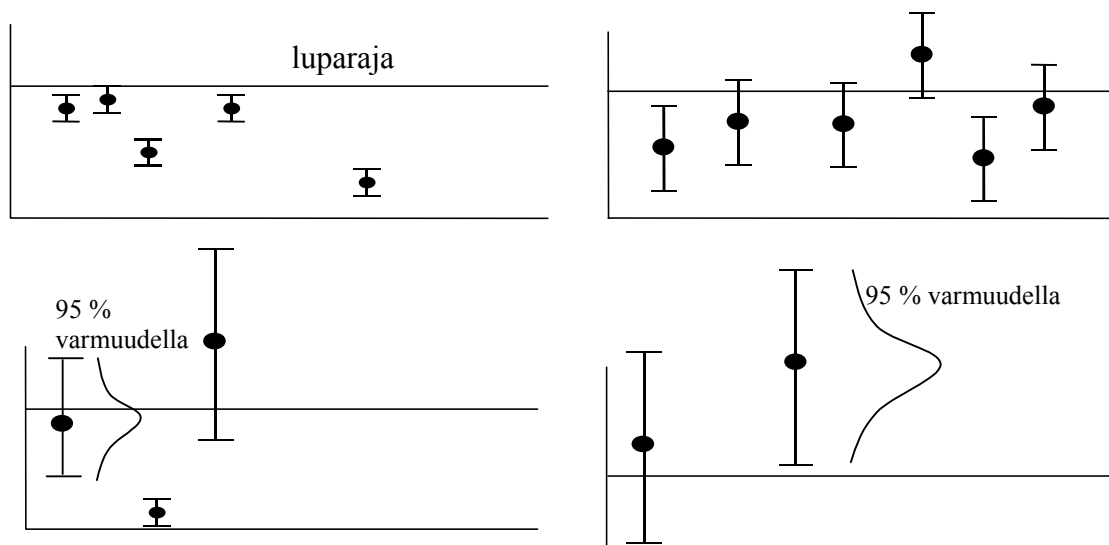
$$\Rightarrow b + c + d < a$$

$c$  = mittausmenetelmän ja analyysilaskennan virhe kokonaisuudessaan sisältäen myös näytteenottoon liittyville havainnoille (mm. näytemäärän lukeminen) esim. kokonaisdifferentiaalimenetelmällä

$d$  = näytteenoton virhe otokselle esim. keskiarvon testillä esim. riskitasolla 5 %.

Eli edellä kuvatuilla menetelmillä voidaan määrittää:

- onko kerätyllä näytemäärällä (kpl,  $\mu$  ja  $\sigma$ ) otos esim. 5 % riskitasolla alle luparajan TAI
- minkä luotettavuusvälin tietyn mittausmäärän otokselle antaa tulos mg/kg +/- luottamusväli mg/kg TAI
- mikä on yhteenlaskettu epävarmuus mittauksille ja näytteenotolle (esim. luottamusväli riskitasolla 5 % ja käyttämällä mittauksien laskentaan kokonaisdifferentiaalimenetelmää).



Kuva 2. Hypoteettisia erilaisilla epävarmuuksilla olevia mittauksia (Ympäristöministeriö 2001).

Jos mittauksien virhe ja luotettavuus lasketaan mittauksien ja näytteiden luotettavuuden arvioimiseen tarkoitetuilla menetelmillä, tulokset voivat näyttää kuvan 2 kuvien mukaisilta. Esim. 95 % varmuudella todellinen tulos on yksittäisen mittauksen haarukan sisällä ja haarukan sisällä epätodennäköisemmin haarukan laita-alueilla. (tai 5 % riskillä haarukan ylä- tai alapuolella). Itse mittauksessa saatu arvo vaikuttaa tietenkin



absoluuttisen ja suhteellisen virheen määrään (kokonaisdifferentiaalinen ja lisätehtävä 2:ssa esitetyn kaavan mukaisesti), jolloin haarukka kasvaa ylöspäin mentäessä ja pienee alaspäin mentäessä. Joka tapauksessa kuvat vasemmalla ylhäällä olevaa lukuun ottamatta tarkoittavat, että käytetyt mittausmenetelmät johtavat joko luparajan rikkomiseen tai toistuviin ylityksiin. Menetelmä ei siis ole riittävän tarkka asetettuihin vaatimuksiin nähden tai sitten luparajassa on otettava kantaa hyväksyttävään epävarmuustasoon, kuten esitettyssä esimerkissä.

Ratkaisematon kysymys on millä riskitasolla mittauksen luotettavuus tulee ilmaista: jos riskitaso on esim. 0,1 %, niin mittauksen epävarmuushaarukka on suuri. Tällöin on pieni riski, että todellinen pitoisuus on ilmoitetun tuloshaarukan ulkopuolella. Jos riskitasoksi hyväksytään esim. 10 %, haarukkaa voidaan pienentää, mutta haarukan ulkopuolisten tulosten mahdollisuus kasvaa. Jos tehdään systemaattinen analyysi mittausepävarmuuksille ja esim. keskiarvon testillä analyysin näytteenoton luotettavuudelle, havaitaan a) mikä tekijä huonontaa mittauksen luotettavuutta eniten ja b) mihin haarukkaan valituilla menetelmillä ja valitulla näytteenottosuunnitelmalla ja otoksen tuloksilla (odotusarvo, näytteiden lukumäärä, keskihajonta, keskivirhe, oletus normaalijakauma) esim. 5 % riskitasolla t-testillä päädytään.



## **LIITE 7: Stabiloinnin koemenetelmät**

### **Maksimikuivairtoteiheyys, maksimikuivatilavuuspaino, optimivesipitoisuus**

Kiinteytetyn maa-aineksen tiivistymisen ja tiiveyden määrittämiseen sekä koekappaleiden valmistukseen voidaan käyttää mm. seuraavia yksinkertaisia ja työmaalla käytettäväksi soveltuvia menetelmiä:

- Parannettu Proctor -menetelmä
- Kiertotiivistys (ICT)
- Täryvasara (Kongo)

Koska kaikki yllä mainitut menetelmät tuottavat erilaisen maksimikuivairtoteiheyden, työn tilaajan on kuvattava maksimikuivairtoteiheyden ja optimivesipitoisuuden määrittämismenetelmä yksikäsitteisesti.

Menetelmistä vain Proctor-koee tuottaa lähes yksikäsitteisen arvon maksimikuivairtoteiheydelle ja optimivesipitoisuudelle. Jos valitaan joku muu menetelmä kuin Proctor, on esitettävä millä työtekniikalla ja millä vesipitoisuusalueella määrittäykset on tehtävä sekä menetely, jolla vertailuarvot lasketaan. Menetelmät on esitetty tulevassa CEN -standardissa prEN 13286-1/-6.

### **Näytteen valmistus**

Näytteiden valmistukseen on perinteisesti käytetty kaikkia edellä mainittuja laitteita. Nykyisin käytetään tehokkuus- ja työn ergonomiasyistä lähinnä kiertotiivistyslaitetta (ICT) tai täryvasaraa (Kango).

Kiertotiivistyslaite soveltuu halkaisijaltaan 100 tai 150 mm ja korkeudeltaan 100 tai 150 mm näytteiden valmistukseen. Tällöin näytteen korkeuden suhde halkaisijaan on noin 1.0. Geometria vaikuttaa tämän tyyppisten näytteiden lujuuteen, ja yleensä lujuutta korjataan geometriasta johtuvalla kertoimella (lujuus jaetaan kertoimella, joka on luokkaa 1.1–1.2).

Täryvasaralla voidaan tiivistää näytteitä, joiden halkaisija vaihtelee vapaasti, ollen tyyppillisesti kuitenkin 100 tai 150 mm. Näytteen korkeus voi vaihdella vapaasti, jolloin korkeuden ja halkaisijan suhde vaihtelee välillä 1.0–2.0 (2.5). Jos suhde on 2.0–2.5, niin geometrian vaikutusta ei korjata puristuslujuusmäärittäyksessä. Täryvasaraa käytettäessä on estettävä näytteen lajittuminen, erityisesti kerrosrajoissa.

Molempia laitteita voidaan käyttää näytteiden valmistukseen. Tavoiteltava näytekokoo riippuu massan tyypistä (partikkelien maksimikoosta). Halkaisijan ja/tai korkeuden tulee olla n. viisi (5) kertaa suurimman partikkelin koko. Eli 16 mm maksimiraekoolla näytekokoo 100 x 100–200 mm riittää. Rakeisuuden ylärajan ollessa välillä 16–32 mm tarvitaan jo 150 x 150–300 mm näytekokoo.

Tiivistävyyskokeita ja näytteenvalmistusta varten massasta poistetaan ylisuuret rakeet ja muut vieraat esineet. Ylisuurten partikkelien osuus massassa kirjataan.

Jos esikokeissa ja laadunvalvonnassa käytetään näytteitä, joiden korkeuden suhde halkaisijaan on n. 1, tavoiteltua korjaamatonta puristuslujuustasoa on joko nostettava n. 10–20 % tai korjattava kokeiden antamaa lujuutta 10–20 % alaspäin. On huomattava, että edellä mainittu prEN 13286-41 ei sisällä mitään ohjeita geometriakorjaukselle, vaan puristuslujuus on sama näytteille, joilla H/D on välillä 0.83–2.0.

### **Näytteiden säilytys**

Näytteet on säilytettävä siten, että ne eivät joudu alttiiksi mekaaniselle rasitukselle tai voimakkaille lämpötilarasituksille säilytyksen aikana. Näytteitä ei saa säilyttää suorassa auringonvaloissa tai altistaa jäätymiselle eivätkä ne saa kuivua. Näytteet on säilytettävä niin, että ne eivät muuta vesipitoisuuttaan säilytyksen aikana enempää kuin sitoutumisreaktioissa tai veden murtumistapahtumassa voi tapahtua. Käyttökelpoisia säilytystapoja ovat erilliset kosteuskaapit tai suljetut astiat, joissa suhteellinen kosteus on lähellä kylästyspistettä. Vain bitumilla (emulsio/vaahdotbitumi) sidotut massat on tyypillisesti säilytetty huonetiloissa ns. normaalikosteudessa. Tältä osin tulee jatkossa kuitenkin pyrkiä kosteatilasäilytykseen koska bitumilla sidottujen massojen lujuus muuttuu kosteustilan mukana. Näytteiden säilytyslämpötila on  $20^{\circ} \pm 3^{\circ}$ , eli normaali huoneenlämpötila.

Näistä ohjeista voidaan poiketa vain asiakkaan tai viranomaisten antamalla tapauskohtaisten ohjeiden perusteella. Tavoitteena on ennakoida rakenteen lopputilan olosuhteita. Jos rakenne on täysin kuiva tai veden alla, sovelletaan erikseen sovittavaa säilytystapaa.

### **Puristuskoe**

Puristuskoevaatimus suositellaan jatkossa sidottavaksi standardiin ASTM D 1633-96 "Standard Test Method for Compressive Strength of Molded Soil-Cement Cylinders" aikaisemmin käytetyn standardin SFS 4474 "Betonin puristuslujuus" sijasta. Puristuskoekappaleet voidaan valmistaa edellä olevan kohdan "Näytteen valmistus" mukaisesti mukailien standardia ASTM D 1632-96 "Standard Practise for Making and Curing Soil-Cement Compression and Flexure Test Specimens in the Laboratory". Tiiveysaste on 95 % parannetulla Proctor –kokeella (tai muulla menettelyllä) määritetystä optimikiintoti-

heydestä. Vesipitoisuus määritetään optimivesipitoisuuden ja massan työstettävyyden kautta jokaiselle massalle erikseen.

Betoninormien mukaisen puristuskokeen käyttöön liittyy seuraavia ongelmia:

- Nykyiset näytekoot eivät täytä Betoninormien muotovaatimuksia ( $H/D=2$ ),
- Betoninormien lujuuden soveltamisala alkaa vasta 10–15 MPa lujuuksista (tutkittavat massat tyypillisesti 2–5 MPa)
- Normin mukainen kokeen suoritus kestää vain sekunteja (vaikka normin ajatus on n. 60 sekunnin puristusaika murtoon).

ASTM D 1633-96 -mukaisessa menettelyssä koekappale puristetaan murtoon muodonmuutosnopeudella 1 mm /min (100 mm näytteellä nopeus on siis 1 %/min). Jos puristuslaitetta ei voida käyttää siirtymäohjattuna, niin puristuslujuus määritetään kuormitusjännityksen nousunopeudella rajoissa  $140 \pm 70$  kPa/s. Puristuslujuuskoe 1 MPa materiaalilla kestää siis n. 5–14 s. Tämäkin jännityksen nousunopeus on turhan suuri - sopiva nousunopeus voisi olla  $40 \pm 20$  kPa/s. Alustavien kuormitustapaan liittyneiden kokeiden (VTT RTE) perusteella molemmat menettelyt tuottavat ainakin sementillä sidotuilla massoilla yhtäläiset lujuudet mittaushajonnan puitteissa.

ASTM D 1633-96 kuvaa myös menettelyn, jolla näytteen geometrian vaikutus korjataan. Ohje sisältää myös koelaitteen kuormituslevyille asetetut vaatimukset. Samassa ohjeessa on myös esitetty koesarjan rinnakkaiskokeiden poikkeamien jakautuma laajahkossa vertailututkimuksessa. Näitä arvoja voitaneen käyttää määrittäessä rinnakkaisnäytteistä tehtyjen tulosten sallittuja poikkeamia. Aineiston mukaan 122 näyteparin puristuskokeissa alle 10 %:ssa pareja ero lujuudessa oli yli 20 % parin keskiarvosta.

### **Halkaisuvetokoe**

Halkaisuvetokoe tehdään bitumilla sidotulle materiaalille PANK-4202 -ohjeen mukaan lämpötilassa +10 °C. Ohje kuvaa koemenettelyn riittävän yksikäsitteisesti (lämpötila, kuormitustapa (siirtymä-/voimaohjaus), vaatimukset eri luokkien materiaaleille). Halkaisuvetokokeen tuloksissa on tyypillisesti enemmän hajontaa kuin puristuslujuuskokeissa, joten menetelmässä käytetään myös useampaa näytettä (5 kpl).

### **Vedenläpäisevyyskoe**

Kiinteytetyn massan vedenläpäisevyyden määrittäminen tehdään ASTM D 5084-97-standardia sekä SYKEN ohjelunnon mukaisesti käyttäen tarkoitukseen esitettyä laitteistoa.

ASTM D 5084-97:n osalta on jatkoa varten kiinnitettävä jännitystila (sellipaine, takapaine ja paine-ero) sekä kokeen mittausmenettely ja kesto-aika sekä tulostustapa. Kokeet on tehtävä (ellei muuta vaadita) noudattaen seuraavia ehtoja:

- takapaine vähintään 100 kPa, suositeltava arvo 200–500 kPa
- tehokas sellipaine vähintään 20 kPa, suositeltava arvo 50 kPa (arvoa voi alentaa tasolle 10 kPa, jos materiaali kokoonpuristuu merkittävästi)
- paine-ero on 15 kPa
- näytteet on ennen läpäisevyyden määrittämistä kyllästettävä pienellä gradientilla ilman takapainetta
- hyväksyttävän mittauksen kesto (yhtenäinen mittausjakso) on vähintään kuusi tuntia
- käytetty vesi on ilmastettava ennen käyttöä, mittauksen aikana putkistoissa ei saa esiintyä ilmakuplia
- näytteen massa ja mitat on määritettävä ennen ja jälkeen kokeen
- näytekappaleen pintavuodot on eliminoidava sopivalla pinnan tiivistyskerroksella (silikonitahna, silikoniliima, bentoniittitahna), joka ei vahingoita kumikalvoa

### **Pakkasenkestävyyskoe**

Pakkasenkestävyyskoe tehdään käyttäen standardia ASTM D560-96. Tämän standardin osalta menettelyä selkeytettävä. Pakkaskestävyyskokeeseen liittyy muutama epäkohta:

- Massan epähomogeenisuus aiheuttaa ongelmia standardin soveltamisessa ja tulosten tulkinnassa
- Kokeen tekotavassa on laboranttikohdaisia osuuksia, jotka aiheuttavat systemaattisia eroja laboratorioden välillä

Tästä syystä menettelyä voidaan yksinkertaistaa jättämällä veden sitoutumista mittaava näyte pois. Kokeen tekotapa on myös syytä suomentaa lyhennetyksi työohjeeksi.

### **Liukoisuuskokeet**

Epäorgaanisten haitta-aineiden liukoisuusominaisuudet kiinteytystä materiaalista määritetään hollantilaisella diffuusiotestillä (NEN 7345). Orgaanisten haitta-aineiden liukoisuutta ei voida tutkia epäorgaanisille haitta-aineille kehitetyillä testeillä, koska

- orgaanisten aineiden liukeneminen veteen tapahtuu hitaasti
- pienten pitoisuuksien analysointiin liittyy ongelmia, jos vesivaihdot ovat tiheitä
- orgaaniset aineet adsorboituvat testiastioihin vesivaihtojen yhteydessä

Tästä syystä suositellaan käytettäväksi modifioitua diffuusiotestiä. Modifioidussa diffuusiotestissä säilytetään koekappale vedessä siten että vesivaihdot suoritetaan vain 4, 16 ja 64 vrk:n jälkeen. Vesivaihdossa kerättyä vettä ei suodateta. Tarpeen vaatiessa voidaan suodos sentrifugoida käyttäen lasi- tai teräsputkiä. Diffuusiotesti suoritetaan lasias- tiassa. Kokeen aikana testiastia säilytetään valolta suojattuna.

Kaatopaikkakelpoisuus määritetään joko stabiloitavasta maa-aineksesta tai stabiloidusta massasta käyttäen kolonnitestiä prEN 14 405 sekä pH-staattista testiä. pH-staattisessa testissä näyte sekoitetaan tislattuun veteen. Vesiseoksen pH säädetään vakioarvoon (alueella 4–12) ja pidetään vakiona esimerkiksi happolisäyksellä.

### **Muut kokeet**

Toistuvan kastumisen ja kuivumisen kesto standardin ASTM D 4843-88 (1999) mukaisesti.

### **Tiheys/tiveysaste**

Tiheyden ja tiveysasteen osalta ongelmana on massan epähomogeenisuus. Ennakkoko- keet voidaan sitoa tiveysasteen sijasta tiheyteen, jolloin tiveysasteen alitus ei ole on- gelma. Tavoitetiheys voidaan määrittää Proctorin sijasta esim. ICT -laitteella tehdyllä kokeella, jolloin tulos vastaa paremmin tiivistyskaluston kykyä tiivistää ainakin joitain massoja.

ICT -laite on monipuolinen ja toistettavuudeltaan erinomainen tiivistyslaite. Se ei kui- tenkaan pysty tiivistämään kaikkia materiaalityyppejä siihen tiveysasteeseen, joka voi- daan saavuttaa tiivistyskalustolla rakenteessa.

### **Tiiveystarkkailu**

Tiiveystarkkailun menetelminä käytettävissä ovat suorat mittaukset (volymetrikokeet) ja/tai epäsuorat radiometriset tiiveydentarkkailumittaukset (esim. tuotenimi Troxler). Volymetrikokeet voidaan jakaa edelleen vesi- tai hiekkavolymetreihin.

#### Volymetrikokeet

Volymetrikokeessa määritetään tutkittavan massan tiheys poistamalla siitä massa- määrä (kaivamalla tasattuun pintaan säännöllinen puolipallon muotoinen kuoppa), jonka (kuopan) tilavuus ja vesipitoisuus määritetään.

Menetelmän epätarkkuus johtuu suoraan mittauk- sista varten kaivetun kuopan tilavuuden määrittämisepätarkkuudesta. Tilavuuden epätarkkuutta aiheuttaa kuopan reunojen

epätasaisuus ja löyhtyminen ja mittalaitteen kumin muotoutuminen pintaan, käytetyn hiekan valuminen massan rakeiden joukkoon sekä käytetyn hiekan tiheyden vaihtelu. Jos välineet ovat kunnossa (esim. hiekka kalibroitu) ja käyttäjä osaa asiansa, niin volymetrillä saadaan luotettavia arvoja. Volymetrikokeet vaativat enemmän työtä kuin radiometristen laitteiden käyttö. Lisäksi mittausulottuma on vain ylin 10–15 cm, ilman isomman kuopan kaivua.

### Radiometriset menetelmät

Radiometriset tiiveystarkkailulaitteet on tehty helpottamaan massan tiiveyden, tiheyden ja vesipitoisuuden määrittystä. Ne perustuvat säteilylähteestä maahan suuntautuvaan ja takaisin ilmaisimeen siroavan säteilevän määrän mittaukseen. Niihin on valmistajan toimesta ohjelmoitu tiheys-, vesipitoisuus- ja tiiveysasteystehtävät kiivenäismaamateriaaleille tietylle alueelle. Laitteiden syvyysulottuma on volymetrikokeita parempi, ollen 20–30 cm pinnasta. Laitteen käyttö vaatii myös osaamista ja huolellisuutta. Luotettava mittaus edellyttää pintamittauksessa, että laitteen pohja on tiiviisti kiinni mitattavassa massassa, reikämittauksessa painettavan/lyötävän tangon on oltava tiiviisti kiinni reiässä.

Radiometriset laitteet eivät tarkastamatta tai ilman kalibrointia sovi kaikkien maainesten (mm. eloperäisiä aineita sisältävät massat) tiheyden ja vesipitoisuuden määrittämiseen. Laitteen käyttäjän on selvitettävä laitteen näyttämien ja todellisen tiheyden ja vesipitoisuuden yhteys. Tämä voidaan tehdä työmaata aloitettaessa ensimmäisiä rakennekerroksia tehtäessä. Helpoimmin vertailu onnistuu tekemällä riittävä määrä mittauksia sekä pinnalta että pinnan alta (mittauskärki painettu massaan) ja vertaamalla tuloksia volymetrikokeiden tuloksiin. Vaihtoehtoisesti kiinteytettävä massa voidaan tiivistää sopivan kokoiseen astiaan eri tiheyksissä ja vesipitoisuuksissa ja määrittää yhteydet siitä.



## **LIITE 8: Ehdotuksia stabiloituna sijoitettavien maa-ainesten pitoisuus- ja liukoisuusraja-arvoiksi**

Hyötykäyttökohteisiin sijoitettavan stabiloidun materiaalin tulee olla kaatoaikkakelpoista vähintään tavanomaisen jätteen kaatopaikalle. Haitta-aineiden liukoisuuden ylärajana suositellaan käytettäväksi hollantilaisten esittämiä kelpoisuus kiteerejä diffuusiotestissä (NEN 7345) liuenneiden aineiden määrälle. Näitä arvoja on jo yleisesti käytetty Suomessa ja niiden on todettu soveltuvan stabiloitujen massojen sijoituskelpoisuuden arviointiin. Lisäksi tutkitaan liukoisuus kolonnitestillä joko käsittelemättömistä maa-aineksista tai murskatusta materiaalista.

Orgaanisia haitta-aineita sisältävien stabiloitujen massojen liukoisuustutkimuksista on vähemmän kokemusta kuin epäorgaanisia haitta-aineita sisältävien materiaalien tutkimuksista. Myös tutkimusmenetelmät ovat edelleen kehitteillä. Siksi orgaanisille haitta-aineille ei voida esittää yksiselitteisiä liukoisuus kiteerejä. Sijoituskelpoisuuden arvioinnissa suositellaan käytettäväksi sekä kokonaispitoisuuksia että liukoisuuksia. Taulukon 2 pitoisuus- ja liukoisuustasoja voidaan pitää esimerkkeinä sijoitettavaksi soveltuvista materiaaleista. Kohdekohtaisen arvioinnin perusteella voidaan hyväksyä myös nämä tasot ylittäviä arvoja.

*Taulukko 1. Hyötykäyttökohteisiin sijoitettavien stabiloitujen maa-ainesten liukoisuusraja-arvoehdotus epäorgaanisille haitta-aineille. Ohjearvot vastaavat hollantilaisia sijoitusluokan 1B ohjearvoja ja soveltuvat käytettäväksi, jos stabiloidut massat sijoitetaan vettä heikosti läpäisevällä kerroksella (ABT, tyhjätila alle 3 %) päällystettynä. Tutkimusmenetelmät: Silikaattisideaineilla stabiloiduille massoille diffuusiotesti NEN 7345 ja bitumisideaineilla stabiloiduille massoille modifioitu diffuusiotesti (kts. Liite 7).*

	<b>Raja-arvo (mg/m<sup>2</sup>/64 d)</b>
Arseeni	140
Barium	2 000
Kadmium	3,8
Koboltti	95
Kromi	480
Kupari	170
Elohopea	1,4
molybdeeni	48
Nikkeli	170
Lyijy	120
Antimoni	12
Seleeni	4,8
Tina	95
Vanadiini	760
Sinkki	670
Bromi	95
Kloridi	54 000
Fluoridi	2 800
Sulfaatti	80 000

Bitumistabilointi soveltuu raskaille öljyjakeille sekä rajoitetusti PCB- ja PAH-yhdisteille. Orgaanisia aineita stabiloitaessa tulee haitta-aineseosten kokonaispitoisuuden lisäksi kiinnittää huomiota helpoimmin haihtuvien ja kulkeutuvien yhdisteiden pitoisuuksiin ja osuuteen seoksessa. Esim. Norjassa todettiin Fornebun lentokentän PAH-pilaantuneiden massojen stabilointimahdollisuuksia tutkittaessa, että 3 %:n bitumilisäys pienensi ant-raseenin liukoisuutta noin 70 %, pyreenin liukoisuutta 80 % ja bentso (a) pyreenin liukoisuutta noin 96 %<sup>1</sup> (Ellefsen & Westby). Kokonais-PAHille (16 yhdistettä) hyväksyttiin stabiloitavan massan pitoisuuden ylärajaksi 5 x kohteessa hyväksyttävä maa-ainesten pitoisuusohjearvo.

<sup>1</sup> Ellefsen, V. & Westby, T. 2003. Stabilisation and re-use of PAH-contaminated soil. ConSoil 2003. International FZK/TNO Conference on Contaminated Soil, 12-16 May 2003.

Taulukko 2 Taustatietoja orgaanisten haitta-aineiden stabiloitaviksi hyväksyttävien pitoisuuksien arvioimiseksi.

	<b>Pitoisuus käsiteltävässä maa-aineksessa (mg/kg)</b>	<b>Liukoisuus stabiloidusta massasta (mg/m<sup>2</sup>)</b>
<b>Raskasöljy, voiteluöljyt</b>		
Pilaantuneen maan luokitus ongelmajätteeksi	10 000	
5 x maaperän raja-arvo	10 000	
<b>PAH (16 EPA)</b>		
Ellefsen & Westby (2003), bitumistabilointi (3 % bitumia)	5x kohteessa hyväksyttävä ohjearvo, haihtuvimmille PAH:eille 2-3 x kohteessa hyväksyttävä ohjearvo	
Hollannin maaperän kunnostustavoitearvo ei-herkillä alueilla (PAH <sub>10</sub> ) <sup>2</sup>	40	
Hollannin suurin sallittu (PAH <sub>10</sub> )-pitoisuus maarakentamisessa hyötykäytettäville materiaaleille <sup>3</sup>	75	
10 x Hollannin toimenpidearvo	400	
Hollannin sijoitusluokkien 1A ja 1 B kriteerien mukaisesti arvioidut liukoisuusraja-arvot <sup>*</sup>		1(1A)/4(1B)
<b>PCB (7 kongeneerin summa)<sup>**</sup></b>		
Saksassa puisto- ja virkistysalueille esitetty lisätutkimuksia edellyttävä pitoisuus maaperässä	2	
Ruotsin maaperän tavoitearvo ei-herkillä alueilla	7	
Ongelmajätteen luokituksen raja-arvo	50	
10 x Samase-raja-arvo	5	
		0,05

\* Hollannissa ei ole esitetty liukoisuusraja-arvoja PAH-yhdisteille. Esitetyt arvot on saatu käyttämällä samoja laskentaperiaatteita kuin epäorgaanisten haitta-aineiden liukoisuusraja-arvoja laskettaessa. Laskentaperiaatteet on esitetty viitteessä Mulder, E. 1997. Re-use of sieve sand from demolition waste. In: Goumans, J., Senden, G. & van der Sloot, H. (ed). Waste Materials in Construction. Studies in Environmental Science 71.

\*\* POP-yhdiste, jatkossa otettava huomioon Tukholman sopimuksen vaatimukset käsittelylle.

<sup>2</sup> Kooper, W. 1999. From funnel to sieve. Remediation goal appraisal process. Ministerie van volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.

<sup>3</sup> Bolk, H. & van der Zwan, J. 2000. Thermal conversion of tar containing asphalt integrated into the abstract production process in combination with energy recovery and reuse of minerals. 2<sup>nd</sup> Eurasphalt & Eurobitume Congress Barcelona 2000 – Proc.0222.uk



**LIITE 9: Pilaantuneiden maa-ainesten stabiloinnin  
ennakkotutkimukset eri maissa annettujen ohjeiden mukaan**

Testattava ominaisuus	Saksa, Baden-Württemberg (LfU 1995)			Kanada (Environment Canada 1991)		
	Käyttö	Menetelmä	Raja-arvo	Käyttö	Menetelmä	Raja-arvo
Liukoisuus	1 (kiinteisyys)	DEV S4 -muunnos (LAGA Richtlinie EW/77)		3	TCLP + muunnettu TCLP murskatusta materiaalista	
Liukoisuus	1 (kem. stabil.)	DEV S4 murskatusta Materiaalista		4	ANSI/ANS-16.1	
Kokonaispitoisuudet				1	Sulate/uutto	
Happotitraus				3	WTC, men 11	
Vedenläpäisevyys	1	DIN 18130	$k_f < 10^{-9}$ m/s	4	Muuttuva painekoe	a $b < 10^{-8}$ m/s
Puristuslujuus	1	DIN 18136	a 2,5 MN/m <sup>2</sup> c = 1,0 MN/m <sup>2</sup>	4	ASTM C 109-90 ASTM D 1633	a = 350 kPa c = 3500 kPa
Kostutuskuivauskoe				4 *	ASTM D 4843-89	
Jäädytys-sulatuskoe	1	DIN 52104		4*	ASTM D 4842-89	12 sykliä painohäviö < 10 %
Zerfallbeständigkeit Endell's decay index	1	Endell	b = 2 %			
Biohajoavuus				5	ASTM G 21-70 tai G 22 - 76	

Testattava ominaisuus	Yhdysvallat (EPA 1993b)			Itävalta (VBV 1995)		Ranska	
	Käyttö	Menetelmä	Raja-arvo	Menetelmä	Raja-arvo	Käyttö	Raja-arvo
Liukoisuus	1	ANSI/ANS-16.1 (5 päivän testi)		DEV S4		7	
Liukoisuus							
Kokonaispitoisuudet	1						
Happotitraus							
Vedenläpäisevyys	6, kos-teat olosuht.	EPA SW 846 Method 9100	< 10 <sup>-9</sup>	DIN 18130	< 10 <sup>-9</sup> m/s		
Puristuslujuus	1	ASTM C 109-90 ASTM D 1633	>350 kPa käytön mukaan		a = 2,0 MN/m <sup>2</sup> b = 1,0 MN/m <sup>2</sup> c = 0,5 MN/m <sup>2</sup>		> 1 MPa
Kostutuskuivauskoe	6	ASTM D 4843-89					
Jäädytys-sulatuskoe	6, hyö-ty-käyttö	ASTM D 4842-89	12 sykliä painohä-viö < 10 %	TP HGT-STB 1986	12 syk-liä		
Zerfallbeständig-keit Endell's decay index							
Biohajoavuus							

Merkkien selitykset

- 1 Aina kyseistä menetelmää käytettäessä
- 2 Tarvittaessa, riskiarvioinnin tms. perusteella
- 3 Aina, tulosten perusteella joko rajaton tai rajoitettu hyödyntäminen tai kaatopaikkasijoitus
- 4 Jos materiaali ei läpäise 3.-testiä, tulosten perusteella joko rajoitettu hyödyntäminen tai kaatopaikkasijoitus
- 4\* Kuten 4, mutta tarpeen mukaan vain jompikumpi testeistä
- 5 Vain, jos orgaanisille sideaineille
- 6 Testitarve arvioidaan sijoitusolosuhteiden ja kokonaisriskin perusteella
- 7 Sijoitus epäorgaanisen ongelmajätteen kaatopaikalle
- a Hyötykäyttö maarakennuksessa
- b Sijoitus kohteeseen
- c Kaatopaikkasijoitus tms.

## LIITE 10: Esimerkki termodesorptiolaitoksen lupavaatimuksista Tanskassa

Miljøkontrollen. 2000. Miljøgodkendelse af semi-mobilt termisk jordbehandlingsanlæg, København (Andersson, M. et al. 2002)

Kohta	Vaatus
Käyttöpäiväkirja	Merkittävä vähintään seuraavat tiedot: Käynnistysaika Maamassojen toimitus-, käsittely- ja edelleentoimitusajat Maamassojen toimittaja (kohteesta vastaava) Kuljetuksesta vastaava Kaivukohde, pilaantumisen aiheuttaja ja kaivukohteen historia Massamäärä Tunnistenumero Analyysitulokset (ennen ja jälkeen käsittelyn) Analyysien tekijä Loppusijoitus tai käyttökohde Mittauslaitteiden kalibroinnit, tarkastukset ja niissä tehdyt huomiot Laitoksen toiminnan tarkastukset ja käyttöhäiriöt
Käyttöohjeet	Käyttöohjeiden on sisällettävä mm. ohjeet seuraavista toiminnoista: Päästöjen mittaus ja raportointi, olennaiset mitattavat parametrit Pölysuodattimen tehon arviointi Maamassojen laadun huomioon ottaminen sekoituksen ja lämpötilan säädössä Toiminta käyttöhäiriötilanteissa Käsiteltävän maa-aineksen laadunvalvonta
Haitta-ainepitoisuudet maamassoissa	Ei kloorattuja yhdisteitä Elohopea < 2 mg/kg ka.
Rumpu-uunin lämpötila ei saa ylittää ei saa ylittää	< 600 °C
Jälkipolttimen lämpötila	> 850 °C
Savukaasun lämpötila ennen pussisuodatinta	< 200 °C
Savukaasuvirtaus	< 9 000 Nm <sup>3</sup> /h jälkipolttimessa
Savukaasun nopeus	Vähintään 8 m/s kaikissa käyttöolosuhteissa Vähintään 20 m/s täydellä kuormalla
Happipitoisuus jälkipolttimen jälkeen	6–11 %
Savukaasumäärä	< 14 000 m <sup>3</sup> /h
Muut haitat	Ei merkittävää pöly- tai hajuhaittaa ympäristössä





## LIITE 11: Esimerkki urakoitsijan omasta laadunvalvonnasta termodesorptiolaitoksessa.

Taulukko 1. Urakoitsija omassa laadunvalvonnassa seurattavat ominaisuudet (Anderson, M. et al. 2002)

Mittauskohde	Mitattavat ja dokumentoitavat ominaisuudet
Poistokaasut	Savukaasun lämpötila jälkipolttovyöhykkeellä, kattilan jälkeen ja piipussa
	CO-pitoisuus savukaasussa jälkipolttimen jälkeen mg/Nm <sup>3</sup> kuivissa savukaasuissa 11 % O <sub>2</sub> -pitoisuudella
	Ilmaylimäärä mitattuna O <sub>2</sub> -pitoisuutena savukaasuissa jälkipolttimen jälkeen
	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , TOC, Hg, Cd, Pb, HCl-mittaus kerran kuussa
	Hiukkaspitoisuusmittaus joka 14.päivä
	Dioksiini- ja furaanimittaus kahdesti käyttökauden aikana (maa-aineksesta, josta voisi syntyä dioksiinipäästöjä ja maa-aineksesta, josta ei oleteta syntyvän dioksiinipäästöjä)
Muita dokumentoitavia ominaisuuksia	Jälkipolttimen ja rumpu-uunin ulostulon lämpötila
	CO- ja O <sub>2</sub> - mittaustulokset
	Pussisuodattimen paine-eromittaukset
	Pussisuodattimen tarkastustulokset
Käsiteltävä maa-aines	Elohopea
	Riittävästi lyijy- ja kadmiumanalyysseja
Käsitelty maa-aines	Pitoisuus ja liukoisuustestit seuraavista: As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn <sup>1</sup>
	Pitoisuus seuraavista: PAH ja öljyt <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jos on osoitettu, että maa-aineksessa ei ole ohjearvon ylittäviä raskasmetallipitoisuuksia voidaan raskasmetallianalyysit jättää tekemättä

Taulukko 2. Esimerkki termodesorptiolaitoksen ympäristöluvassa esitetyistä päästörajoista Tanskassa.

Parametri	Raja-arvo Mg/Nm <sup>3</sup>	Mittausmenetelmä ja ilmoitusaika
Hiukkaset	10/30	Y Vuorokausiarvo/puolen tunnin arvo
CO	50/150/100	J Vuorokausiarvo/puolen tunnin arvo
HCl	10/60	Y Vuorokausiarvo/puolen tunnin arvo
SO <sub>2</sub>	50/200	Y Vuorokausiarvo/puolen tunnin arvo
NO <sub>x</sub>	200/400	Y Vuorokausiarvo/puolen tunnin arvo
Hg	0,05	Y
Pb	0,1	Y
Cd	0,05	Y
TOC	10	Y
Dioksiinit ja furaanit	0,1 (ng/Nm <sup>3</sup> )	Y



## **LIITE 12: Kompostinäytteenottoon esitettyjä menettelytapoja**

### **Woods End Research Laboratory, kompostin toiminnan seurantanäytteet**

Näytteenotto homogeenisista kompostiaumoista tehdään auman sekoittamisen jälkeen.

- Auman kummaltakin puolelta otetaan näytteet 5–10 tasavälisestä pisteestä 30–60 cm syvyydestä. Näytekooko on noin 1 litra. Suositeltavaa on, että erillisnäytteitä otetaan vähintään 15.
- Näytteenottoon voidaan käyttää lapiota, kannukairaa, tms.
- Näytteet sekoitetaan yhdistetyksi näytteeksi, josta otetaan tarvittava laboratorionäyte tutkittaville haitta-aineille soveltuvaan näytteenottoastiaan tai pussiin ja toimitetaan laboratorioon jäähdytettynä.
- Näytteenotossa noudatetaan yleisiä näytteenottoa ja näytteen säilytystä koskevia ohjeita

Näytteenottovirheitä voi aiheutua auman sisäisistä laatuvaihteluista, jos aumaa ei ole sekoitettu riittävästi. Jos kompostinäytteen kosteus on suuri (> 60 %), yhdistetty näyte jää helposti epähomogeeniseksi.

Jos aumaa ei sekoiteta tai materiaali ei ole homogeenista, näytteet otetaan auman kummaltakin puolelta 6–10 kaivinkoneen kauhalla tehdystä profiilista.

- Profiilista (poikittaissuuntaiset leikkauspinnat) otetaan tasavälein vähintään 5 näytettä. Näytteitä ei oteta auman pitkittäissuuntaisesta leikkauspinnasta.
- Kustakin leikkauksesta otetut näytteet yhdistetään ja sekoitetaan omassa astiassaan ja näytteestä otetaan erilleen noin litran näyte toiseen sekoitusastiaan.
- Nämä näytteet yhdistetään, sekoitetaan ja sekoitetusta näytteestä otetaan riittävän suuri laboratorionäyte tutkittaville haitta-aineille soveltuvaan näytteenottoastiaan tai pussiin ja toimitetaan laboratorioon jäähdytettynä.
- Noudata näytteenotossa yleisiä näytteenottoa ja näytteen säilytystä koskevia ohjeita.

Jos kompostin todetaan näytteenotossa olevan valmis, otetaan vielä lisänäytteet lopputuloksen hyväksyttävyyden arvioimiseksi. Lopputuloksen hyväksyttävyyden arvioidaan erillisnäytteistä, joita otetaan vähintään kaksi/ 25 m<sup>3</sup>.

### **NFESC (Anon. 1996b), näytteenotto haihtuvia haitta-aineita sisältävien maa-ainesten kompostista**

- 1) Komposti jaetaan näytteenottoruutuihin siten, että näytteitä otetaan vähintään  $1/75 \text{ m}^3$
- 2) Näytteet otetaan 50–100 cm kompostin pinnasta
- 3) Kompostiin poratuista näytteenottokuopista otetaan häiriintymättömät näytteet näytteenottopurkkeihin
- 4) Purkit merkitään siten, että näytteenottokohta voidaan tunnistaa, ja täytetään näytteenottolomake

### **USACE (Anon. 2002c)**

Komposti jaetaan osiin ja jokaiseen  $25 \text{ m}^3$  osaan leikataan kaivinkoneen kauhalla näytteenottoprofiili. Kustakin profiilista otetaan auman leveyssuunnassa halkaisevasta pystysuorasta tasopinnasta neljä osanäytettä, joista kootaan analyyseja varten yhdistetty näyte.

### **SPCR 120, biojätteiden kompostointiohje**

Kompostiin pyöräkuormaajalla tehdystä auman puoliväliin ulottuvasta profiilista otetaan vastakkaisilta puolilta kaksi 15 litran osanäytettä. Profiilien lukumäärä on tasalaatuisesta kompostista vähintään kaksi/ $500 \text{ m}^3$  kompostia. Näytemäärää kasvatetaan, jos kompostoidun tuotteen laatu vaihtelee.

Osanäytteet yhdistetään kokoomanäytteeksi muovikalvon päällä. Homogenointi tehdään nostamalla kalvoa vuorotellen jokaisesta nurkasta niin, että materiaali liukuu vastakkaiseen kulmaan. Tämä toistetaan, kunnes materiaali on tasalaatuista.

Näyte levitetään tasaisesti foliolle, jaetaan kahdeksaan sektoriin ja kaksi vastakkaista sektoria poistetaan. Jäännös sekoitetaan, levitetään foliolle ja jälleen kaksi sektoria poistetaan. Tämä toistetaan, kunnes jäljelle jää 12 litran näyte.

### LIITE 13: Talousveden laadulle asetettuja raja-arvoja

(Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista 461/2000). Asetus perustuu ihmisten käyttöön tarkoitettun veden laadusta annettuun EU:n neuvoston direktiiviin 98/83/EY. Talousveden laatu ja valvonta tulee saattaa asetuksen mukaiseksi joulukuun 25. päivään 2003 mennessä.

Kemialliset laatuvaatimukset	Suurin sallittu pitoisuus
Akryyliamidi	0,1 µg/l
Antimoni	5 µg/l
Arseeni	10 µg/l
Bentseeni	0,1 µg/l
Bentso(a)pyreeni	0,01 µg/l
Boori	1,0 mg/l
Bromaatti	10 µg/l
Kadmium	5 µg /l
Kromi	50 µg /l
Kupari	2 mg/l
Syanidit	50 µg /l
1,2 –dikloorietaani	3,0 µg /l
Epikloorihydriini	0,1 µg /l
Fluoridi	1500 µg /l
Lyijy	10 µg /l
Elohopea	1 µg /l
Nikkeli	20 µg /l
Nitraatti (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	50 mg/l
Nitraattityppi (NO <sub>3</sub> -N)	11,0mg/l
Nitriitti (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	0,5 mg/l
Nitriittityppi (NO <sub>2</sub> -N)	0,15 mg/l
Torjunta-aineet, yksittäiset	0,1 µg/l
Torjunta-aineet, yhteensä	0,5 µg/l
Polysykliset aromaattiset hiilivedyt	0,2 µg/l
Seleeni	10 µg /l
Tetrakloorieteeni ja trikloorieteeni yhteensä	10 µg /l
Trihalometaanit yhteensä	100 µg /l
Vinyylkloridi	0,50 µg /l
Kloorifenolit yhteensä	10 µg /l

<b>Laatusuositukset</b>	
Väri	Käyttäjien hyväksyttävissä eikä epätavallisia muutoksia
Sameus	
Haju ja maku	
Sähkönjohtavuus	Alle 2 500 $\mu$ S /cm
Alumiini	200 $\mu$ g /l
Ammonium	0,50 mg/l
Ammoniumtyppi	0,50 mg/l
Kloridi	250 mg/l
Mangaani	50 $\mu$ g /l
Rauta	200 $\mu$ g /l
Sulfaatti	250 mg/l
Natrium	200 mg/l
Hapettuvuus (CODMn -O <sub>2</sub> )	5,0 mg/l

## LIITE 14: Huokoskaasukäsittelyn laadunvalvonnan tarkistuslista

<b>Fysikaaliset ominaisuudet</b>	Ilmanpaine
	Paine imukaivoissa ja mittauskaivoissa
	Puhaltimen imupaine
	Puhaltimen ulostulopaine ja ulostulolämpötila
	Ulkoilman lämpötila
	Kaasun lämpötila tarkkailukaivossa
	Kaasun virtausnopeus imukaivossa
	Puhaltimen imunopeus
	Kondensaatin tilavuus
	Maaperän kosteus
	Ilman suhteellinen kosteus
	Pohjaveden pinnan nousu imukaivojen lähellä
	Pumpatun pohjaveden määrä
	Pumpatun haitta-aineen määrä
<b>Kemialliset ominaisuudet</b>	Haitta-ainepitoisuudet imukaivoissa
	Haitta-ainepitoisuudet puhaltimen sisäänmeno- tai ulostulokohdassa
	Haitta-ainepitoisuudet ennen kaasun käsittelylaitteistoa
	Haitta-ainepitoisuudet kaasunkäsittelyn jälkeen
	Poistetun pohjaveden haitta-ainepitoisuudet
	Kondensaatin haitta-ainepitoisuudet

Huokosilmapumppauksessa mahdollisesti ilmeneviä ongelmia ja niiden syitä

<b>Ongelma</b>	<b>Syy</b>	<b>Mahdollisia korjaustoimia</b>
Kaivon vaikutussäde ei ole riittävä tai arvioiden mukainen	Virtausesteet tai läpäisemättömän maaperä	Maaperätutkimukset Virtauksen säätö Lisäkaivot Tutkitaan ovatko kaivot tukkiutuneet Short-circuiting check
Alipaineen paikallinen vaihtelu	Heterogeenisyys, virtausesteet, muut virtausreitit	Maaperätutkimukset Lisäkaivot Muiden virtausreittien sulkeminen
VOC-pitoisuuden lasku osassa kaivoista	Osa alueesta puhdistunut	Osa kaivoista suljetaan
VOC-pitoisuudet pysyvät odottamattoman korkeina, vaikka haitta-aineita poistuu	Tunnistamattomat haitta-ainelähteet pohjavedessä tai pohjaveden pinnan alla	Lisätutkimukset Pohjaveden käsittely
Haitta-ainepitoisuudet ovat pieniä, mutta kasvavat, jos imu lopetetaan	Diffuusiorajoitukset, maaperän kosteus, muut virtausreitit, liian suuret virtausnopeudet	Pulssitus Hot-spotien poisto
Huono toimintateho sateiden jälkeen	Maaperän kosteus heikentää ilmanläpäisevyyttä	Kohteen pinnoitus





## **LIITE 15: Esimerkki laadunvalvontaraportin sisällysluettelosta**

### **ONGELMAJÄTTEEN JA TAVANOMAISEN JÄTTEEN KÄSITTELY- JA LOPPUSIJOITUSALUE**

#### **POHJARAKENTEET JA KOMPOSTOINTIKENTTÄ**

#### **SISÄLTÖ**

##### **1 YLEISTÄ**

- 1.1 Kohde
- 1.2 Osapuolet

##### **2 RAKENNUSAIKA**

##### **3 POHJAOLOSUHTEET**

- 3.1 Maaperäolosuhteet
- 3.2 Maanparannus
  - 3.2.1 Sementtistabilointi
  - 3.2.2 Massanvaihto
  - 3.2.3 Suodatinkangas
  - 3.2.4 Murskelisäys

##### **4 TYÖTAPASELOSTUS**

- 4.1 Ongelmajätteen loppusijoitusalue
  - 4.1.1 Rakenne
  - 4.1.2 Läpivientidetajit
  - 4.1.3 Rakentaminen
- 4.2 Tavanomaisen jätteen loppusijoitusalue
  - 4.2.1 Rakenne
  - 4.2.2 Läpivientidetajit
  - 4.2.3 Rakentaminen
- 4.3 Kompostointikenttä
  - 4.3.1 Rakenne
  - 4.3.2 Läpivientidetajit
  - 4.3.3 Rakentaminen

##### **5 LAADUNVALVONNAN PERIAATTEET**

##### **6 MATERIAALIKOKEET**

## 6.1 Savi

- 6.1.1 Tutkittavat parametrit
- 6.1.2 Vesipitoisuus
- 6.1.3 Rakeisuus
- 6.1.4 Sullontaominaisuudet
- 6.1.5 Vedenläpäisevyys

## 6.2 Bentoniitti

## 6.3 Sementti

## 6.4 Geomembraani

## 6.5 Suojageotekstiili

## 6.6 Suodatinkangas

## 6.7 Asfaltti

- 6.7.1 Yleistä
- 6.7.2 Ennakkokokeet
- 6.7.3 Rakeisuus ja sideainepitoisuus
- 6.7.4 Massan tiheys
- 6.7.5 Lämpötila

## 6.8 Kiviaines

## 6.9 Putket ja kaivot

# 7 KENTTÄMITTAUKSET

## 7.1 Tiiviysmittaukset

## 7.2 DOR-mittaus asfaltista

## 7.3 Tarkemittaukset

## 7.4 Kantavuusmittaukset

## 7.5 Infiltrimetrimittaukset

- 7.5.1 Ongelmajätteiden loppusijoitusalue
- 7.5.2 Tavanomaisen jätteen loppusijoitusalue

## 7.6 Näytteenotto

# 8 POIKKEAMAT JA KORJAUSTOIMENPITEET

## 8.1 Mineraalinen tiivistyskerros

## 8.2 Asfaltti

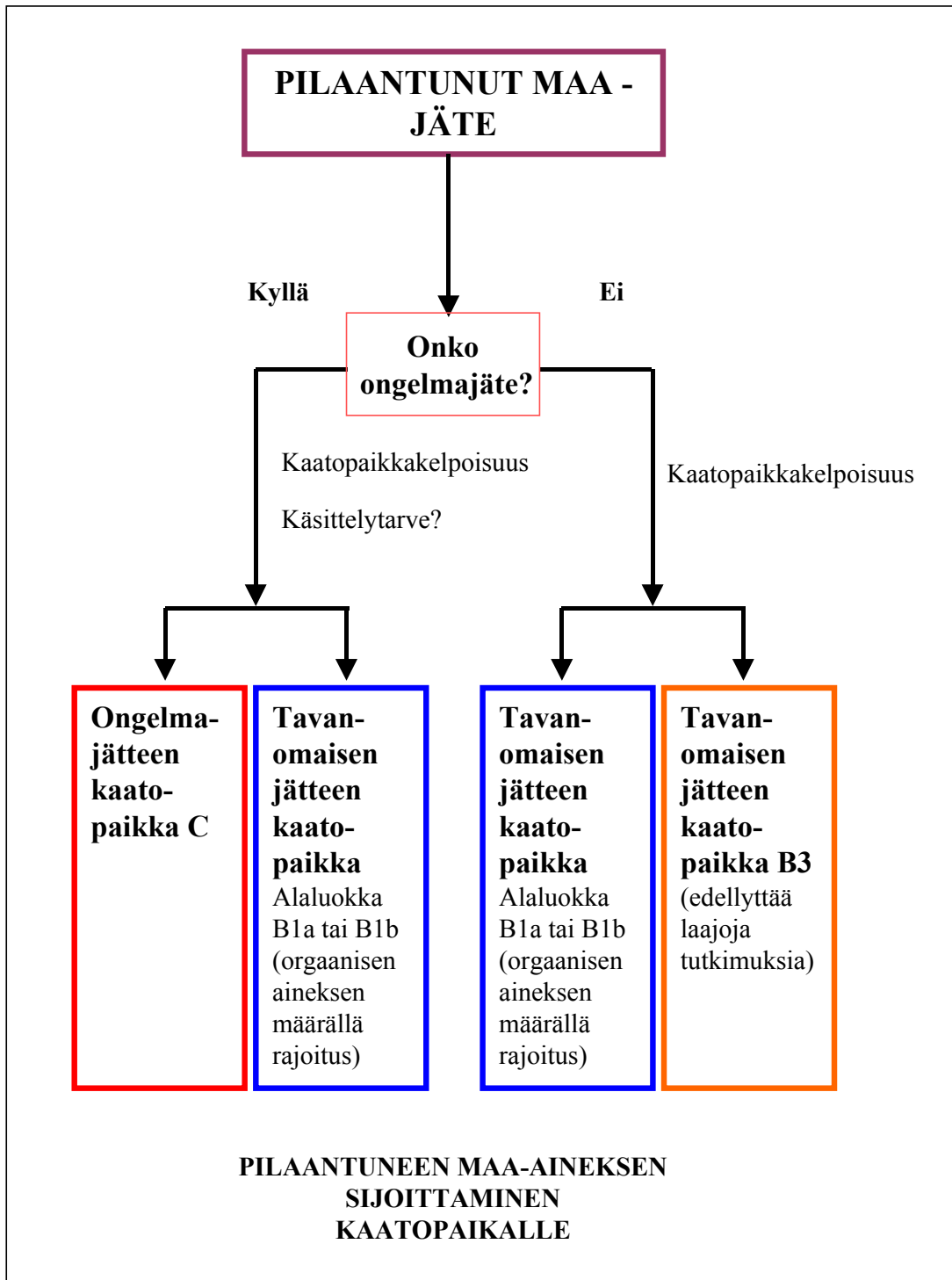
## 8.3 Tiivistyskalvo

## 8.4 Muut rakenteet

# 9 JOHTOPÄÄTÖKSET

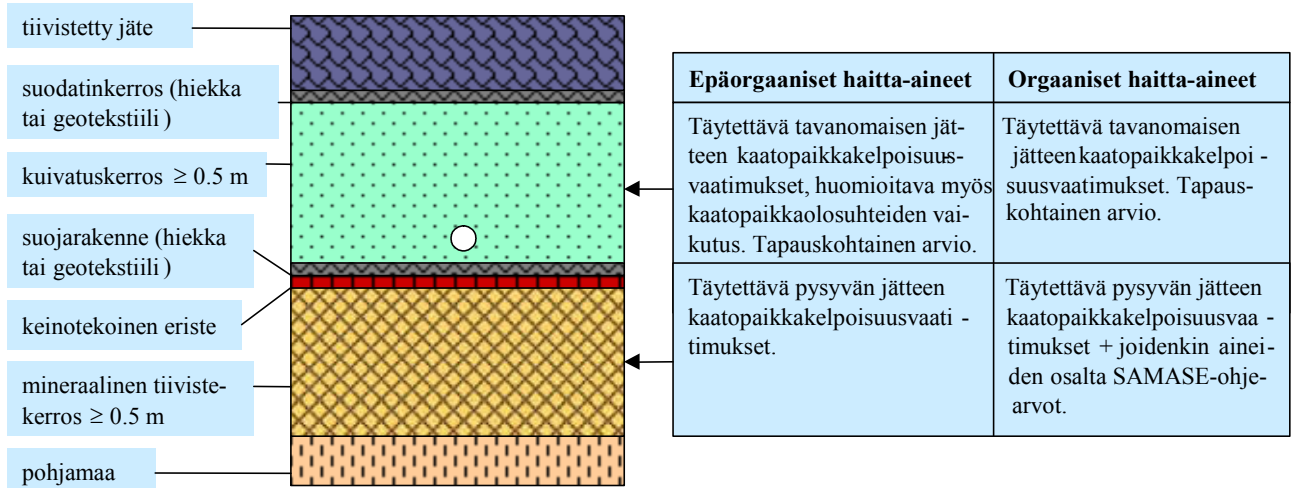
## LIITELUETTELO

## LIITE 16: Pilaantuneen maa-aineksen kaatopaikkakelpoisuuden arviointi

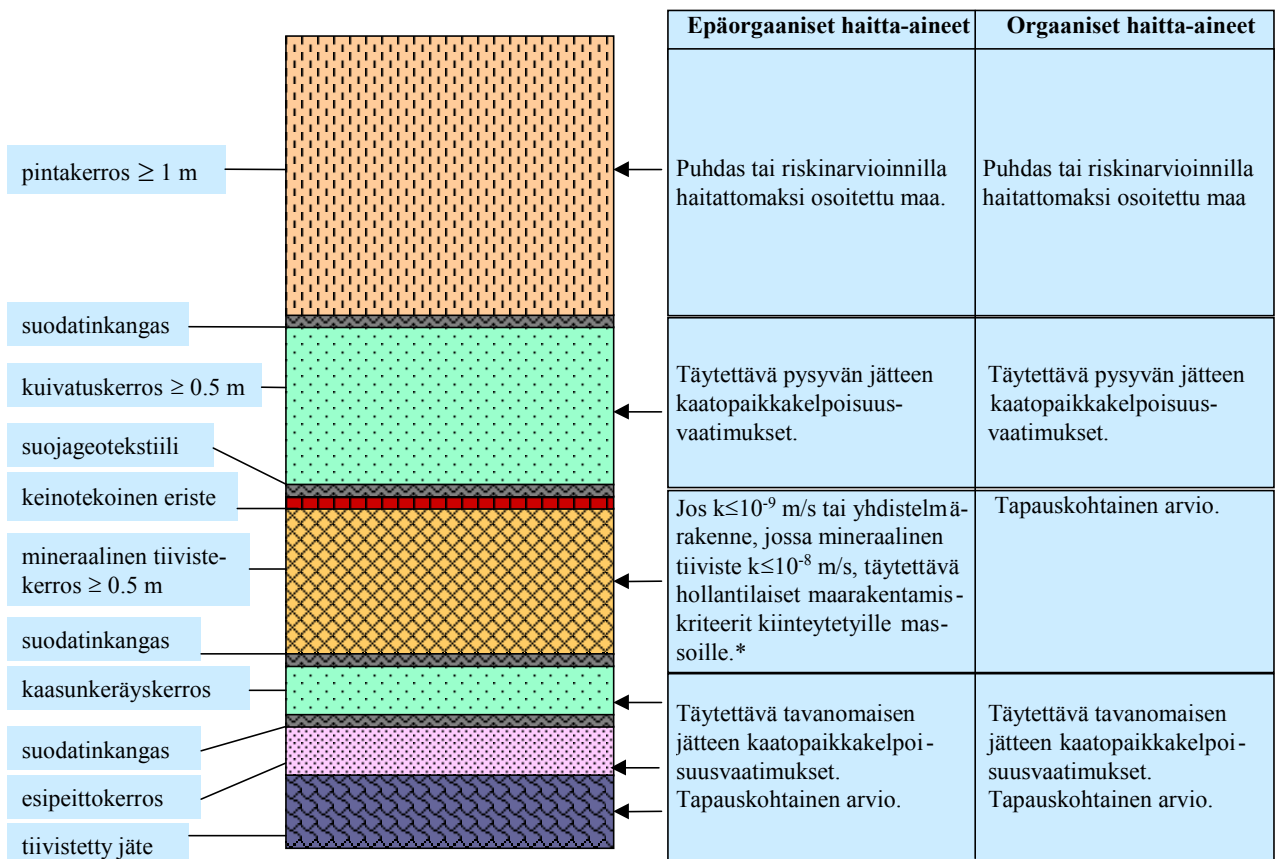




## LIITE 17: Kaatopaikan pohja- ja pintarakenteiden ympäristökelpoisuus



### Kaatopaikan pohjarakenteen ympäristökelpoisuusvaatimukset (Wahlström et al. 2004)



\* Huom! Mineraalisen tiivistyskerroksen vaadittava vedenläpäisevyysarvo riippuu kaatopaikkatäyttöön imeytyvän suotoveden sallitusta määrästä. Suositus vedenläpäisevyysarvoksi on  $10^{-9}$  m/s. Poikkeaminen suosituksesta edellyttää tapauskohtaista arviota, kts. tarkemmin Suomen ympäristökeskus, 2001.

### Kaatopaikan pintarakenteen ympäristökelpoisuusvaatimukset (Wahlström et al. 2004)



## LIITE 18: Kaatopaikkaveden erillis/esikäsitelyssä huomioitavat tekijät

Huomioitava	Laskeutus (tasaus)	Ilmastus	Biologinen anaerobinen käsittely	Biologinen aerobinen käsittely
Veden matalan lämpötilan vaikutus mitoitukseen (lasku $20 > 2$ °C)	Veden viskositeetti kasvaa, laskeutuminen hidastuu	Hapen vesiliukoisuus kasvaa, ilmastusenergian tarve vähenee	Biol. ja kemialliset reaktiot hidastuvat, prosessi mitoitettava suuremmaksi	Biolog. ja kemialliset reaktiot hidastuvat, prosessi mitoitettava suuremmaksi
Veden virtaaman tai laatuvahtelun vaikutus mitoitukseen. Laitoksen kapasiteetti 1) virtaama- tai 2) kuormitusrajoitteinen	1) Allaskoon suurentaminen	1) Laitoksen koko kaksinkertaistetaan tai tasaus ennen käsittelyä	2) Kestää hitaita vaihteluja, vaatii yleensä tasauksen ennen käsittelyä	2) Kestää hitaita vaihteluja, vaatii yleensä tasauksen ennen käsittelyä
Veden korrodoivuus huomioitava materiaalivalinnoissa	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Veden saostuvat yhdisteet (Fe, Mn, Ca jne.) huomioitava suunnittelussa	Kyllä; laskeutusaltaan lietteen poisto	Kyllä; esim. Ca voi tukkia ilmastimet	Kyllä; esim. metallien kertyminen reaktoriin	Kyllä; esim. Ca voi tukkia ilmastimet
Vaatii yleensä esikäsitelyä	Ei	Ei (paitsi tasaus)	Ei (paitsi tasaus)	Ei (paitsi tasaus)
Vaatii yleensä jälkikäsitelyä	Kyllä; riittämätön menetelmä yksin	Kyllä; riittämätön menetelmä yksin	Kyllä; NH <sub>4</sub> käsittely, kiintoaineen erotus	Kyllä; kiintoaineen erotus
Käsittelyssä muodostuu jätteitä tai sivutuotteita, joiden käsittelyä/loppusijoittamisesta huolehdittava 1) kiinteitä 2) nestemäisiä 3) kaasumaisia	1) Pohjaliete	1) Pohjaliete (joskus) 3) Ilmaan voi poistua haihtuvia orgaanisia yhdisteitä ja NH <sub>4</sub>	1) Bioliete (muodostuu vähän) 3) Biokaasu (voidaan hyödyntää energiana)	1) Bioliete 3) Ilmaan voi poistua haihtuvia orgaanisia yhdisteitä ja NH <sub>4</sub>
Vaatii kemikaalilisäyksen	Ei	Vaahdonestoaine (joskus)	Ei (fosforihappo joskus)	Fosforihappo, vaahdonestoaine (joskus), pH:n säätö; hiilenlähde kok-N poistossa
Merkittävimmät energiaa kuluttavat osat	Pumppaus	Ilmastus, pumppaus	Pumppaus (+lämmitys joskus)	Ilmastus, pumppaus (+lämmitys joskus)
Menetelmään liittyvä erityishuoltotarve (pumppujen, venttiilien, instrumentoinnin ym. huollon lisäksi)	Ei	Ilmastimien puhdistus ajoittain	Biolietteen osittainen uusiminen ajoittain	Ilmastimien puhdistus ajoittain

<b>Huomioitava</b>	<b>Hiekka- tai sorasuodatus</b>	<b>Kalvosuodatus</b>	<b>Haihdutus (+ pH:n säätö)</b>	<b>Ilmastrippaus (+ pH:n säätö)</b>
Veden matalan lämpötilan vaikutus mitoitukseen (lasku 20 - >2 °C)	Ei suurta vaikutusta	Kalvon vedenläpäisevyys huononee, laitos mitoitettava suuremmaksi	Samana vesimäärän haihduttamiseen tarvitaan enemmän energiaa	Ammoniakin höyrystyminen pienenee, laitos mitoitettava suuremmaksi (tai lämmitettävä)
Veden virtaaman tai laadun vaihtelun vaikutus mitoitukseen. Laitoksen kapasiteetti on 1) virtaamarajoitteinen 2) kuormitusrajoitteinen	1) Laitoksen koko kaksinkertaistetaan tai tasaus ennen käsittelyä	1) + 2) Laitoksen koko kaksinkertaistetaan tai tasaus ennen käsittelyä	1) Laitoksen koko kaksinkertaistetaan tai tasaus ennen käsittelyä	1) + 2) Laitoksen koko kaksinkertaistetaan tai tasaus ennen käsittelyä
Veden korrodoivuus huomioitava materiaalivalinnoissa	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Veden saostuvat yhdisteet (Fe, Mn, Ca jne.) huomioitava suunnittelussa	Kyllä; esim. saostumien aiheuttama tukkeutuminen	Kyllä; esim. saostumien aiheuttama tukkeutuminen	Kyllä; esim. kerrostumien syntyminen lämmönvaihtopinnalle	Kyllä; etenkin Fe ja Mn saostumat voivat tukkia laitteiston
Vaatii yleensä esikäsittelyn	Ei (paitsi tasaus)	Kiintoaineen, COD:n, Fe:n ja Mn:n käsittely, ei tarpeen laimeilla vesillä	Kiintoaineen, COD:n, Fe:n ja Mn:n käsittely, ei tarpeen laimeilla vesillä	Kiintoaineen, COD:n, Fe:n ja Mn:n käsittely, ei tarpeen laimeilla vesillä
Vaatii yleensä jälkikäsittelyn	Kyllä; riittämätön yksin	Ei (pH:n säätö)	Ei (pH:n säätö)	pH:n säätö
Käsittelyssä muodostuu jätteitä, joiden käsittelystä/loppusijoittamisesta huolehdittava 1) kiinteitä 2) nestemäisiä 3) kaasumaisia	1) Suodattimen puhdistuksessa tuleva liete	2) Konsentraatti, pesuvedet	2) Konsentraatti	3) Ammoniakkipitoinen stripausilma, voi sisältää haihtuvia orgaanisia yhdisteitä
Vaatii kemikaalilisäyksen	Ei	Sakanestoaine, pesukemikaalit, pH:n säätökemikaalit (joskus)	Suola- tai rikkihappo, lipeä, sakanestoaine, vaahdonestoaine	Lipeä (tai kalkki), suolahappo (tai rikkihappo)
Merkittävimmät energiaa kuluttavat osat	Pumppaus	Pumppaus	Pumppaus, lämmityspuhallin	Pumppaus, ilmapuhallin (+ lämmitys joskus)
Menetelmään liittyvä erityishuoltotarve (pumppujen, venttiilien, instrumentoinnin ym. huollon lisäksi)	Suodatinmateriaalin vaihto ajoittain	Kalvomoduulien vaihto ajoittain	Haihdutuselementtien vaihto ajoittain	Kantajakappaleiden puhdistus ajoittain



<b>Huomioitava</b>	<b>Otsonointi</b>	<b>Kemiallinen saostus</b>	<b>Aktiivihiiliadsorptio</b>
Veden matalan lämpötilan vaikutus mitoitukseen (lasku 20 - >2 °C	Kemialliset reaktiot hidastuvat, prosessi mitoitettava suuremmaksi	Fysikaalis-kemialliset reaktiot hidastuvat, prosessi mitoitettava suuremmaksi	Fysikaalis-kemialliset reaktiot hidastuvat, prosessi mitoitettava suuremmaksi
Veden virtaaman tai laadun vaihtelun vaikutus mitoitukseen esim. virtaaman, COD:n tai NH <sub>4</sub> :n kaksinkertaistuminen. Laitoksen kapasiteetti on 1) virtaamarajoitteinen 2) kuormitusrajoitteinen	2) O <sub>3</sub> -annoksen kaksinkertaistaminen tai tasaus ennen käsittelyä	1) + 2) Kemikaaliantonnoksen kaksinkertaistaminen/ laitoksen koko kaksinkertaistetaan tai tasaus ennen käsittelyä	1) + 2) Laitoksen koko kaksinkertaistetaan tai tasaus ennen käsittelyä
Veden korrodoivuus huomioitava materiaallivalinnoissa	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Veden saostuvat yhdisteet (Fe, Mn, Ca jne.) huomioitava suunnittelussa	Kyllä; etenkin Fe ja Mn saostumat voivat tukkia laitteiston	Menetelmä tarkoitettu saostuvien yhdisteiden poistamiseen	Kyllä; Fe ja Mn ym. saostumat voivat tukkia laitteiston
Vaatii yleensä esikäsittelyn	Kiintoaineen, COD:n, Fe:n ja Mn:n käsittely, ei tarpeen laimeilla vesillä	Ei (paitsi tasaus)	Kiintoaineen, COD:n, Fe:n ja Mn:n käsittely, ei tarpeen laimeilla vesillä
Vaatii yleensä jälkikäsittelyn	Ei (haluttaessa biologinen käsittely)	Kyllä; riittämätön menetelmä yksin	Ei
Käsittelyssä muodostuu jätteitä tai sivutuotteita, joiden käsittelystä/ loppusijoittamisesta huolehdittava 1) kiinteitä 2) nestemäisiä 3) kaasumaisia	Ei sivutuotteita (jos jäännösotsonin tuhoaja)	1) Kemiallinen liete	1) Aktiivihiili vaihdettava ajoittain; 2) Suodattimen pesuvedet
Vaatii kemikaalilisäyksen	Otsoni	Saostuskemikaali	Ei (pH:n säätökemikaali joskus)
Merkittävimmät energiaa kuluttavat osat	Pumppaus, otsonin valmistus, jäännösotsonin tuhoaja	Pumppaus (myös liete)	Pumppaus
Menetelmään liittyvä erityinen huoltotarve (normaalin pumppujen, venttiilien, instrumentoinnin ym. huollon lisäksi)	Ilman/hapenvalmistusyksikön toiminta, otsonin veteenliuotus	Ei	Aktiivihiili vaihdettava/regeneroitava ajoittain



## LIITE 19: Käsittelymenetelmien soveltuvuus kaatopaikkavesille

Käsittelymenetelmien soveltuvuus kaatopaikkavesien puhdistukseen tiettyjen haitta-aineiden vähenemän perusteella (Kettunen et al. 2000):

Hyvä (vähenemä > 70 %) = xxx,

Kohtalainen (vähenemä 30-70 %) = xx,

Huono (vähenemä < 30 %) = x.

V = väkevä kaatopaikkavesi (COD<sub>Cr</sub> > 1500 mg/l, BOD<sub>7</sub>/COD<sub>Cr</sub> > 0.4, NH<sub>4</sub>-N > 200 mg/l, raskasmetallit > 0.5 mg/l paitsi Fe > 5 mg/l).

L = laimea kaatopaikkavesi (COD<sub>Cr</sub> < 500 mg/l, BOD<sub>7</sub>/COD<sub>Cr</sub> < 0.2, NH<sub>4</sub>-N < 100 mg/l, raskasmetallit < 0.3 mg/l paitsi Fe < 3 mg/l).

Menetelmä	Org.aines (COD tai BOD)		NH <sub>4</sub> -N		Orgaaniset haittayhdisteet		Metallit		Kiintoaine	
	V	L	V	L	V	L	V	L	V	L
Laskeutus (tasaus)	x	x	x	x	x	x	X	x	xxx	xxx
Ilmastus	x	x	x	x	x	x	x a)	x a)	x	x
Biologinen anaerobi- nen käsittely	xxx	x	x	x	xx	xx	xxx	xx tai x	x	x
Biologinen aerobinen käsittely 1) ei nitrifikaatiota 2) nitrifikaatiolla 3) nitrif. + denitrifi- kaat.	xxx	xx tai x	1) xx 2) xxx 3) xxx	1) x 2) xxx 3) xxx	xx	xx	xx	xx	x	x
Hiekka- tai sorasuoda- tus (ei biologista toi- mintaa)	x	x	x	x	x	x	X	x	xxx	xxx
Kalvosuodatus (kään- teisosmoosi tai na- nosuodatus)	xxx	xxx	xx	xx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
Haihdutus (+ pH:n säätö)	xx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
Ilmastrippaus (+ pH:n säätö)	x	x	xxx	xxx	x	x	x a,b)	x a,b)	x	x
Otsonointi	x	x	x	x	x	xxx	x a)	x a)	x	x
Kemiallinen saostus	x	x	x	x	x	x	xxx	xxx	x	x
Aktiivihiiiliadsorptio (ei biologista toimin- taa) c)	x	xx	x	x	xx	xx	xx	xx	xx	xx
Yhteiskäsittely yhdys- kuntajäteveden- puhdistamolla	xxx	xx tai x	1) xx 2) xxx	1) x 2) xxx	xx	xx	xx	xx	xxx	xxx

1) ei nitrifikaatiota			3) xxx	3) xxx						
2) nitrifikaatiolla										
3) nitrif. + denitrifi- kaat.										

- a)* Fe ja Mn hapettuvat ja saostuvat. Sakka voidaan poistaa laskeuttamalla.
- b)* Jos pH säädetään kalkilla, Fe ja Mn saostuvat. Sakka voidaan poistaa laskeuttamalla. Muut metallit voivat tarttua muodostuneeseen sakkaan jossain määrin.
- c)* Menetelmään voidaan yhdistää biologinen käsittely, jolloin menetelmän mitoitus on tehtävä biologisin perustein eikä esim. suodatuksen tai adsorption mitoituserusteita käyttäen

## Liitteiden kirjallisuus

Andersson, M., Helvind, C., Holtegaard, L. & Nielsen, J. 2002. Rensning af jord med blandingsforureninger ved hjælp af termisk Jordbehandlingsanlæg. Miljøstyrelsen/Miljøministeriet, Miljøprojekt Nr 705.

Anon. 2002c. Unified Facilities Guide Specification. Bioremediation of soils using window composting 03/02. UFGS-02191A. 48 s.

Anon. 1997a. Technical and Regulatory guidelines for soil washing. ITRC – Interstate technology and regulatory Cooperation Work Group, Metals in Soils Work Team, Soil Washing Project.

Anon. 1997b. Åtgärdskrav vid efterbehandling. Naturvårdsverket, Rapport 4807. 39 s. + liitt.

Anon. 1997c. Rätt datakvalitet. Naturvårdsverket, Rapport 4667. 68 s. + liitt.

Anon. 1997d. Efterbehandling av förorenade områden. Vägledning för planering och genomförande av efterbehandlingsprojekt. Naturvårdsverket, Rapport 4803. 60 s.

Anon. 1996b. Biopile Operations and Maintenance Manual. Technical Memorandum TM 2190-ENV. Naval Facilities Engineering Service Center, NEFSC.

Environment Canada 1991. Proposed Evaluation Protocol for Cement –Based Solidified Wastes. Ottawa, Environment Canada, Report EPS 3/HA/9. 45 s.

EPA 1993a. Air/Superfund National Technical Guidance Study Series. volume IV - guidance for Ambient Air Monitoring at Superfund Sites (Revised). U.S.Environmental Protection Agency EPA-451/R-93-007. 126 s. + liitt.

EPA. 1993b. Technical Resource Document. Solidification/Stabilization and its application to waste materials. U.S. Environmental Protection Agency, Risk Reduction Engineering Laboratory EPA/530/R-93/012.

EPA 1993c. Solid Waste Disposal Facility Criteria Technical Manual. EPA530-R-93-017.

Kettunen, R., Rintala, J., Marttinen, S., Jokela, J. & Sormunen, K. 2000. Kaatopaikavesien vaikutus yhdyskuntajätevedenpuhdistamon toimintaan ja mitoitukseen sekä kaa-

topaikkavesien esikäsitteilytarpeen ja menetelmien arviointi. Kaato2001-hanke, loppuraportti 20.6.2000. <http://www.jatelaitosyhdistys.fi/julkaisut.htm>

Kylä-Setälä, A. & Assmuth, T. 1996. Suomen maaperän tila, kuormitus ja suojele. Helsinki, Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 10. 172 s.

Laakso, K. 1999. Saastuneiden maiden tutkimiseen soveltuvia kenttämittareita. Ympäristöopas 60. Ympäristönsuojelu. Suomen ympäristökeskus. 88 s.

LFU Baden-Württemberg. 1995. Handbuch Altlasten und Grundwasserschadenfälle. Immobilisierung von Schadstoffen in Altlasten. Karlsruhe: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Materialien zur Altlastenbearbeitung.

RCRA QAPP Instructions. 1998. U.S.EPA Region 5. Revision: April 1998. 44 s. + liitt. 220 s.

SPCR 21. 2001. Certifieringsregler för kompost och rötrest. SP Sveriges Provnings- och Forskninginstitut, Certifiering.

Suomen ympäristökeskus. 2001. Kaatopaikkojen lopettamisopas. Ympäristöopas 89. Rakentaminen. 109 s.

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. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Luonnos 2004.

Woods End Research Laboratory. Principles and Practice: Compost Sampling for Lab Analysis. <http://www.woodsends.org/aaa/biorem.html>

VBV 1995. Güte- und Prüfbestimmungen für die Schadstoffimmobilisierung durch Verfestigung von Reststoffen/ Abfällen. Gutgemeinschaft VBV. 26 s.

Ympäristöministeriö. 2001. Ympäristölupien valvontaa selvittäneen työryhmän mietintö. Ehdotukset valvontakäytäntöjen kehittämiseksi ja yhdenmukaistamiseksi. Ympäristöministeriön moniste 83. 52 s.

Tekijä(t) Mroueh, Ulla-Maija, Vahanne, Pasi, Eskola, Paula, Pasanen, Antti, Wahlström, Margareta, Mäkelä, Esa & Laaksonen, Rainer			
Nimeke <b>Pilaantuneiden maiden kunnostushankkeiden hallinta</b>			
Tiivistelmä Tämän raportin tavoitteena on toimia perusohjeena hyvästä kunnostuskäytännöstä tavanomaisimmille pilaantuneiden maiden kunnostusmenetelmille. Ohje kattaa seuraavat menetelmät: huokoskaasukäsittely, kompostointi, termodesorptio, pesu, stabilointi ja eristerakenteet. Yleisiä toimintaperiaatteita, kuten lainsäädännön vaatimukset, osapuolten tehtävät ja pätevyysvaatimukset, näytteenotto sekä suunnitteluasiakirjat ja raportointi, käsitellään erillisessä osassa. Myös kunnostuksille yhteisiä työvaiheita, joita ovat kaivu, kuljetukset, välivarastointi, hyötykäyttö ja kaatopaikkasijoitus kuvataan erikseen.  Raportissa esitetään kullekin menetelmälle merkittävimmät erityyppisten haitta-aineiden käsittelyssä huomioon otettavat seikat, menetelmien rajoitukset ja soveltuvimmat ennakkotutkimusmenetelmät. Myös ympäristövaikutusten ja työturvallisuusriskien hallintatoimenpiteitä käsitellään. Työn aikaisen laadunvalvonnan helpottamiseksi esitetään suosituksia laadunvalvonnan koemenetelmistä, valvottavista ominaisuuksista, näytteenotosta ja laadunvalvontatulosten dokumentoinnista. Lisäksi esitetään suosituksia lopputuloksen arvioinnissa huomioon otettavista ja raportoitavista seikoista sekä lopputuloksen hyväksyttävyyden arvioinnin periaatteista.			
Avainsanat contaminated soil, remediation, quality control, safety, excavation, transport, stabilizing, thermal desorption, purification, composting			
Toimintayksikkö VTT Prosessit, Biologinkuja 7, PL 1602, 02044 VTT			
ISBN 951-38-6468-5 (nid.) 951-38-6469-3 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )			Projektinumero C3SU00647
Julkaisuaika Kesäkuu 2004	Kieli Suomi, engl. tiiv.	Sivuja 317 s. + liitt. 44 s.	Hinta H
Projektin nimi Pilaantuneiden maiden kunnostushankkeiden hallinta		Toimeksiantaja(t) Ympäristöyritysten Liitto ry	
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )		Myynti: VTT Tietopalvelu PL 2000, 02044 VTT Puh. (09) 456 4404 Faksi (09) 456 4374	





Author(s) Mroueh, Ulla-Maija, Vahanne, Pasi, Eskola, Paula, Pasanen, Antti, Wahlström, Margareta, Mäkelä, Esa & Laaksonen, Rainer			
Title <b>Quality management of contaminated soil remediation project</b>			
Abstract This report presents guidance on good treatment practices for the most common contaminated soil remediation methods. The following treatment methods are covered by the guidance: Soil vapour extraction, bioremediation by composting, soil washing, thermal desorption, solidification/stabilization, and isolation/containment. In addition, matters common to all remediation projects, such as legislative requirements, responsibilities and qualifications of operators, sampling as well as design documents and project submittals are dealt with in a separate part of the report. The requirements for excavation, transport, storage, utilization and landfill disposal are also described.  The most significant matters to be considered in controlled remediation of different harmful compounds and soil types are presented for treatment feasibility assessment. The limitations of different remediation techniques, most feasible methods for treatability studies and measures needed for controlling of environmental effects are described. Recommendations are also made about quality control procedures and testing methods, the characteristics to be controlled, and documentation of the data gathered. In addition, recommendations about interpreting and reporting the treatment data and the principles for evaluation of the acceptability of the treatment results are made.			
Keywords contaminated soil, remediation, quality control, safety, excavation, transport, stabilizing, thermal desorption, purification, composting			
Activity unit VTT Processes, Biologinkuja 7, P.O.Box 1602, FIN-02044 VTT, Finland			
ISBN 951-38-6468-5 (soft back ed.) 951-38-6469-3 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )			Project number C3SU00647
Date June 2004	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 317 p. + app. 44 p.	Price H
Name of project Pilaantuneiden maiden kunnostushankkeiden hallinta		Commissioned by Ympäristöyritysten Liitto ry	
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (soft back edition) 1455-0865 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )		Sold by VTT Information Service P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 9 456 4404 Fax +358 9 456 4374	



## VTT TIEDOTTEITA – RESEARCH NOTES

### VTT PROSESSIT – VTT PROSESSER –VTT PROCESSES

- 2155 Hepola, Jouko & Kurkela, Esa. Energiantuotannon tehostaminen fossiilisiin ja uusiutuviin polttoaineisiin perustuvassa energiantuotannossa. 2002. 65 s.
- 2163 Miettinen, Jaakko & Hämäläinen, Anitta. GENFLO - A general thermal hydraulic solution for accident simulation. Espoo 2002. VTT Tiedotteita – Research Notes 2163. 75 p. + app. 4. p.
- 2164 FINNUS, The Finnish Research Programme on Nuclear Power Plant Safety 1999–2002. Final Report. Ed by Riitta Kyrki-Rajamäki & Eija Karita Puska. 267 p. + app. 68 p.
- 2165 FINNUS, The Finnish Research Programme on Nuclear Power Plant Safety 1999–2002. Executive Summary. Ed. by Riitta Kyrki-Rajamäki. 2002. 26 p. + app. 18 p.
- 2177 Mäkelä, Kari, Laurikko, Juhani & Kanner, Heikki. Suomen tieliikenteen pakokaasupäästöt. LIISA 2001.1 - laskentajärjestelmä. 2002. 63 s. + liitt. 42 s.
- 2182 Stén, Pekka, Puhakka, Eini, Ikävalko, Ermo, Lehikoinen, Jarmo, Olin, Markus, Sirkiä, Pekka, Kinnunen, Petri & Laitinen, Timo. Adsorption studies on iron oxides with reference to the oxide films formed on material surfaces in nuclear power plants. 2002. 37 p.
- 2186 Syri, Sanna & Lehtilä, Antti. Kasvihuonekaasujen päästöjen vähentämisen vaikutus muihin ilmansaasteisiin. 2003. 69 s.
- 2187 Siltanen, Satu. Teknisiä ja taloudellisia näkökohtia käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen palautettavuudesta. Kirjallisuusselvitys. 2003. 72 s.
- 2189 Pingoud, Kim, Perälä, Anna-Leena, Soimakallio, Sampo & Pussinen, Ari. Greenhouse gas impacts of harvested wood products. Evaluation and development of methods. 2003. 120 p. + app. 16 p.
- 2196 Lehtilä, Antti & Syri, Sanna. Suomen energiajärjestelmän ja päästöjen kehitysarvioita. Climtech-ohjelman skenaariotarkastelu. 2003. 62 s.
- 2199 Alanen, Raili, Koljonen, Tiina, Hukari, Sirpa & Saari, Pekka. Energian varastoinnin nykytila. 2003. 169 s. + liitt. 60 s.
- 2003 Serén, Tom & Kekki, Tommi. Retrospective dosimetry based on niobium extraction and counting – VTT's contribution to the RETROSPEC project. 2003. 36 p.
- 2209 Monni, Suvi & Syri, Sanna. Uncertainties in the Finnish 2001 Greenhouse Gas Emission Inventory. 2003. 101 p. + app. 27 p.
- 2212 Hepola, Jouko. Elohopeapäästöt fossiilisiin polttoaineisiin ja jätteisiin perustuvassa energiantuotannossa. 2003. 37 s.
- 2215 Laine-Ylijoki, Jutta, Syrjä, Jari-Jussi & Wahlström, Margareta. Röntgenfluoresenssimenetelmät kierrätyspolttoaineiden pikalaadunvalvonnassa. 2003. 39 s. + liitt. 8 s.
- 2219 Halonen, Petri, Helynen, Satu, Flyktman, Martti, Kallio, Esa, Kallio, Markku, Paappanen, Teuvo & Vesterinen, Pirkko. Bioenergian tuotanto- ja käyttöketjut sekä niiden suorat työllisyys-vaikutukset. 2003. 51 s.
- 2229 Leinonen, Arvo. Harvesting technology of forest residues for fuel in the USA and Finland. 2004. 132 p.+ app. 10 p.
- 2245 Mroueh, Ulla-Maija, Vahanne, Pasi, Eskola, Paula, Pasanen, Antti, Wahlström, Margareta, Mäkelä, Esa & Laakosonen, Rainer. 2004. Pilaantuneiden maiden kunnostushankkeiden hallinta. 317 s. + liitt. 44 s.
- 2246 Wahlström, Margareta, Laine-Ylijoki, Jutta, Eskola, Paula, Vahanne, Pasi, Mäkelä, Esa, Vikman, Minna, Venelampi, Olli, Hämäläinen, Jyrki & Frilander, Reetta. Kaatopaikkojen tiivistysrakente-materiaaleina käytettävien teollisuuden sivutuotteiden ympäristökelpoisuus. 2004. 84 s. + liitt. 38 s.

Suomessa kunnostetaan vuosittain muutamia satoja pilaantuneita kohteita. Tämän julkaisun tavoitteena on tuoda kunnostushankkeiden osapuolten käyttöön ajanmukaista tietoa kunnostusten hyvän käytännön vaatimukset täyttävästä toteutuksesta. Tavallisimmille kunnostusmenetelmille kuvataan toteutuksen vähimmäislaatu- ja kunnostusprosessin eri vaiheissa huomioon otettavat seikat sekä annetaan suosituksia prosessin valvonnasta ja seurannasta.

Käsiteltävät kunnostusmenetelmät ovat kompostointi, termodesorptio, pesu, huokoskaasukäsittely ja stabilointi. Massojen kaivua, kuljetuksia, hyötykäyttöä, kaatopaikkasijoitusta ja tiivistysrakenteita koskevat suositukset esitetään omina kokonaisuuksinaan.

Tätä julkaisua myy	Denna publikation säljs av	This publication is available from
VTT TIETOPALVELU	VTT INFORMATIONSTJÄNST	VTT INFORMATION SERVICE
PL 2000	PB 2000	P.O.Box 2000
02044 VTT	02044 VTT	FIN-02044 VTT, Finland
Puh. (09) 456 4404	Tel. (09) 456 4404	Phone internat. + 358 9 456 4404
Faksi (09) 456 4374	Fax (09) 456 4374	Fax + 358 9 456 4374