

6/2004

Marja-Leena Jeskanen

Lievästi pilaantuneiden maiden sijoituskohteet
Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueella

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
Ympäristö- ja energiatekniikan osasto
Bio- ja ympäristötekniikka

Lounais-Suomen ympäristökeskuksen moniste

6/2004

ISBN 951-614-030-0

ISBN 951-614-031-9 (PDF)

ISSN 1238-3201

Marja-Leena Jeskanen

**LIEVÄSTI PILAANTUNEIDEN MAIDEN SIJAITUSKOHTEET
LOUNAIS-SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUKSEN ALUEELLA**

Diplomityö

Tarkastajat: Professori Jaakko Puhakka
ja Lehtori Simo Isoaho. Määrätty osasto-
neuvoston kokouksessa Joulukuu 2003

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Ympäristö- ja energiatekniikan osasto / Bio- ja ympäristötekniikka

JESKANEN, MARJA-LEENA: Lievästi pilaantuneiden maiden sijoituskohteet Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueella

Diplomityö: 90 s., 3 liitettä

Tarkastajat: Professori Jaakko Puhakka ja Lehtori Simo Isoaho

Rahoittaja: Lounais-Suomen ympäristökeskus

Joulukuu 2003

Hakusanat: pilaantunut maa-alue, riskikartoitus, kunnostaminen, sijoituskohde

TIIVISTELMÄ

Työn tarkoituksena oli arvioida Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueella pilaantuneiden maiden kunnostuksien yhteydessä muodostuvien lievästi pilaantuneiden maamassojen määrä ja kartoittaa niiden sijoitus- ja käsittelypaikkojen kapasiteettien riittävyyttä. Lievästi pilaantuneilla maamassoilla tarkoitetaan tässä työssä maa-ainesta, joiden haitta-ainepitoisuudet ylittävät SAMASE-projektissa määritetyt ohjearvot, mutta ovat kuitenkin SAMASE-projektissa määritettyjen raja-arvopitoisuuksien alittavia. Tarkastelu kohdistui vuosien 2004-2020 väliselle ajanjaksolle. Sijoituskohteina huomioitiin nykyiset ja suunnitteilla olevat jätteenkäsittelyalueet sekä muut mahdolliset maamassojen hyödyntämiskohteet. Lisäksi työssä arvioitiin maamassojen siirtokuljetuksista aiheutuvia kustannuksia sekä kuljetuksien ympäristövaikutuksia. Työn lähtökohdana oli kasvava tarve pilaantuneiden maa-alueiden kunnostukseen, jonka myötä myös lievästi pilaantuneiden maamassojen käsittelyn mahdollisuudet ja loppusijoituksen potentiaaliset paikat tulivat tarpeelliseksi selvittää.

Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueella on kartoitettu mahdollisesti pilaantuneita kohteita eri toimialoilta. Kartoitettujen kohteiden kokonaismäärä on 4315. Tässä työssä näille kohteille suoritettiin riskikartoitus, jonka perusteella saatiin priorisoitua kohteet pilaantuneisuuden todennäköisyyden ja tarkemman selvitystarpeen mukaan. Kartoituksen perusteella riskikohteista 12 % todettiin olevan todennäköisesti pilaantuneita, 48 % mahdollisesti pilaantuneita ja 40 % kohteista pilaantuneisuus on epätodennäköistä. Eniten riskikohteita on tunnistettu korjaamoiden, romuttamoiden ja maalaamoiden, metalliteollisuuden sekä huoltoasemien toimialoilla.

Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueella arvioitiin lievästi pilaantuneiden maamassojen kokonaismääräksi noin 1,3 miljoonaa tonnia. Pääasiassa nämä lievästi pilaantuneet maat on kunnostetuista kohteista sijoitettu kaatopaikoille väli- ja pintarakenteisiin. Tämän tyyppisiä sijoituskohteita tarkastelualueella löytyy keskimäärin 1,1 miljoonalle tonnille maamassoja. Lisäksi Poriin on suunnitteilla uusi pilaantuneiden maiden käsittelyalue sekä Salon ja Köyliön jäteasemien toimintoja on tarkoitus laajentaa sisältämään pilaantuneiden maiden käsittelymahdollisuudet. Myös Outokumpu Harjavalta Metals Oy on hakenut ympäristölupaa pilaantuneiden maamassojen hyödyntämiselle prosessissaan. Näiden uusien hankkeiden myötä lievästi pilaantuneiden maamassojen sijoitus- ja käsittelymahdollisuudet voisivat lisääntyä jopa 2,3 miljoonaan tonniin.

Tarkastelun perusteella arvioitiin, että tarvetta uusille lievästi pilaantuneiden maamassojen sijoituskohteille ei Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueella ole. Arviossa ei huomioitu pilaantuneiden maamassojen kaatopaikkasijoituksen ohella vaihtoehtoisia käsittelymenetelmiä. Todellisuudessa kaikkia maamassoja ei tulla kuljettamaan kaatopaikoille, joten tarve kunnostettavan kohteen ulkopuolisille sijoituskohteille tulee todennäköisesti olemaan tässä työssä arvioitua vähäisempi.

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Department of Energy and Environmental Technology / Institute of Environmental Engineering and Biotechnology

JESKANEN, MARJA-LEENA: Deposit sites for lightly contaminated soil in the area of southwest Finland regional environment centre

Master's Thesis: 90p., 3 app.

Inspectors: Professor Jaakko Puhakka and Lecturer Simo Isoaho

Funding: Southwest Finland regional environment centre

Keywords: Contaminated soil, risk assessment, remediation, deposit site

ABSTRACT

The aim of this thesis was to evaluate the volume of lightly contaminated soils that will be produced during the remediation activities in the area of southwest Finland regional environment centre, and to evaluate the existing and forthcoming deposit sites and their capacity. In this thesis the term "lightly contaminated" is determined as a concentration of contaminant, between limit and guideline values, previously determined in SAMASE-project. The period reviewed was 2004-2020. This thesis also discusses the transportation costs and the environmental effects of transportation. The motivation of the study was the continuously increasing need for suitable deposit sites, as a consequence of the increasing number of remediation activities.

Southwest Finland regional environment centre has collected a register for potentially contaminated sites, existing in their own area of operation. The total number of registered sites was 4315. These potentially contaminated sites were classified according to risk assessment in to three categories, based on the probability of contamination. As a result of this assessment, 12 % of sites were classified as probably contaminated and at about 48 % of the sites the contamination was considered possible. Remaining 40 % of the sites were unlikely contaminated. Main sources of contamination were car repair shops, scrap dealers, paint shops, metal industry and gas stations.

Estimated total amount of lightly contaminated soils, produced during the remediation actions in the area of southwest Finland regional environment centre, was 1.3 millions of tons. Commonly these lightly contaminated soils have been utilized in surface- or inner structures of landfills. The calculated receiving capacity of the 11 landfills in the area under review was about 1.1 millions of tons. There also exist plans to build new treatment area for contaminated soil in Pori, and also to extend the activities of Salo and Köyliö waste treatment sites to treating contaminated soils. The Outokumpu Harjavalta Metals Oy has also applied the environmental license for utilizing contaminated soils in their processes. If all these possibilities will be realized till the end of the year 2008, the total treating or depositing capacity of lightly contaminated soils would increase to 2.3 millions of tons.

Based on the observed results, it was concluded that there is no need for new deposit sites for lightly contaminated soil in the area of southwest Finland regional environment centre. This observation was based on the assumption that all soils will be transported to landfills and utilized in landfill structures. It is assumed that not all of the contaminated soils are utilized in landfill structures, which will reduce the evaluated capacity for deposit sites.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	8
1.1 Lähtökohdat	8
1.2 Työn tarkoitus ja tavoitteet	9
1.3 Työn raja us.....	9
2. KUNNOSTUSSUUNNITTELU JA KUNNOSTUSMENETTELYN VALINTA	10
2.1 Kunnostustarpeen arviointi	10
2.1.1 Ohjearvot.....	10
2.1.2 Riskinarviointi.....	11
2.2 Lainsäädäntö	13
2.2.1 Maaperän kunnostus	13
2.2.2 Maamassojen sijoittaminen ja käsittely	15
2.2.3 Ympäristölupa- ja ilmoitusmenettely	16
3. KUNNOSTUSMENETELMÄT JA NIIDEN VALINTA	18
3.1 Haitta-aineiden käyttäytyminen ympäristössä	18
3.1.1 Kulkeutuminen ja pidättyminen	18
3.1.2 Muuntuminen ja hajoaminen	24
3.2 Kunnostusmenetelmät	27
3.2.1 Biotekniset käsittelymenetelmät	27
3.2.2 Stabilisaatio	30
3.2.3 Termiset menetelmät	32
3.2.4 Maaperän pesu.....	33
3.2.5 Huokosilmatekniikat.....	33
3.3 Kunnostusmenetelmän valintakriteerit	35
4. MAAMASSOJEN HYÖDYNTÄMINEN MAARAKENTAMISESSA	38
4.1 Hyödyntämiskohteet	38
4.2 Hyötykäyttökelpoisuuden arviointi	39
4.2.1 Haitta-aineiden maksimipitoisuudet.....	39
4.2.2 Haitta-aineiden liukoisuus	41
5. KOKEMUKSIA ULKOMAISISTA MENETTELYSOVELLUKSISTA	43
5.1 Yhdysvallat	43
5.1.1 Lainsäädäntö	43
5.1.2 Pilaantuneet maa-alueet ja niiden kunnostaminen	44
5.2 Ruotsi	44
5.2.1 Lainsäädäntö	44
5.2.2 Pilaantuneet maa-alueet ja niiden kunnostaminen	45
5.3 Tanska	46
5.3.1 Lainsäädäntö	46
5.3.2 Pilaantuneet maa-alueet ja niiden kunnostaminen	46

6. PILAANTUNEIDEN MAIDEN KUNNOSTAMINEN LOUNAIS-SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUKSEN ALUEELLA	48
6.1 Pilaantuneet maa-alueet Lounais-Suomessa	48
6.1.1 Mahdollisesti pilaantumista aiheuttavat toiminnot.....	48
6.1.2 Riskikartoitus	52
6.1.3 Arvio kunnostettavien riskikohteiden lukumäärästä	56
6.1.4 Arvio pilaantuneiden maiden massamäärästä.....	59
6.2 Käytössä ja suunnitteilla olevat pilaantuneiden maiden välivarastointi- käsittely ja loppusijoituspaikat.....	62
6.2.1 Käsittelylaitokset ja niiden kapasiteetti	62
6.2.2 Yhdyskuntajätteen kaatopaikat	63
6.2.3 Teollisuusjätteen kaatopaikat	65
6.2.4 Suunnitteilla olevat käsittelyalueet.....	66
6.2.5 Muut pilaantuneiden maiden käsittelypaikat	68
6.3 Arvio sijoituskohteiden riittävydestä.....	69
6.4 Maamassojen sijoittaminen	72
6.4.1 Mahdollisen sijoituskohteen valinta.....	72
6.4.2 Kustannustarkastelu.....	75
6.4.3 Ympäristövaikutusten arviointi.....	76
7. JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET	79
LÄHDELUETTELO	82
SUULLISET TIEDONANNOT.....	90
 LIITTEET	

Merkinnät ja lyhenteet

AS	Paineilmapumppaus (Air Sparking)
BTEX	Bentseeni, tolueni, etyylibentseeni, ksyleeni,
CFC	Kloori-fluorihilivety yhdiste
CERCLA	Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act
DNAPL	Vettä raskaampi, lähes liukenematon neste, joka kulkeutuu maaperässä ja pohjavesivyöhykkeessä myös omana faasinaan (Dense Non-Aqueous Phase Liquid)
EPA	Environmental Pollution Agency
HCFC	Halogenoitu kloori-fluorihilivety yhdiste
HDPE	Korkeatiheksinen polyeteeni
JL	Jätelaki
LOAEL	Alhaisin pitoisuus- tai annostaso, jossa on todettu haitallisia vaikutuksia testieliöissä (Lowest Observed Adverse Effect Level)
LNAPL	Vettä kevyempi, lähes liukenematon neste, joka kulkeutuu maaperässä myös omana faasinaan (Light Non-Aqueous Phase Liquid)
NAPL	Termi sisältää sekä LNAPL että DNAPL aineet
NOAEL	Pitoisuus- tai annostaso, jossa ei vielä ole todettavissa haitallisia vaikutuksia testieliössä (No Observed Adverse Effect Level)
PAH	Polyaromaattinen hiilivety
PCB	Polykloorattu bifenyylä
PCDD	Polykloorattu dibentsodioksiini
PCDF	Polykloorattu dibentsofuraani
RCRA	Resource Conservation Reconvert Act
SAMASE	Saastuneiden maa-alueiden valtakunnallinen selvitys- ja kunnostusprojekti
SVE	Huokosilmakäsittely (Soil Vapour Extraction)
SVOC	Puolihaihtuva orgaaninen yhdiste (Semi-Volatile Organic Compound)
VOC	Haihtuva orgaaninen yhdiste (Volatile Organic Compound)
YSA	Ympäristönsuojeluasetus
YSL	Ympäristönsuojelulaki
YVA	Ympäristövaikutusten arviointi

1. Johdanto

1.1 Lähtökohdat

Pilaantuneet maa-alueet on yksi teollisuusmaiden vakavimmista ympäristön pilaantumisen muodoista, joihin alettiin Suomessa kiinnittää tarkemmin huomiota vasta 1980-luvun loppupuolella saastuneiden maa-alueiden selvitys projektin (SAMASE) käynnistyttyä. Projektin yhteydessä vuosien 1989–1994 välisenä aikana suoritettiin Suomessa pilaantuneiden alueiden kartoitus, jonka tuloksena kartoitettiin yli 10 000 pilaantuneeksi epäiltyä kohdetta. Arvion mukaan perusteellisemmilla tutkimuksilla kohteiden määrä olisi saattanut nousta jopa 25 000 (Puolanne *et al.*, 1994). Kohteiden kartoitusta on jatkettu sittemmin alueellisten ympäristökeskusten toimesta (MASA, 2003).

SAMASE-projektissa asetettiin tavoitteeksi kunnostaa pilaantuneet kohteet vuoteen 2015 mennessä. Tämän tavoitteen saavuttamiseksi tulee vuosittain kunnostaa useita kohteita (Puolanne *et al.*, 1994). Pilaantuneiden kohteiden kunnostusten määrä onkin kasvanut runsaasti 1990-alkupuolelta lähtien. Erityisesti vanhojen huoltoasemien kunnostus on ollut vilkasta Öljy- ja kaasualan keskusliiton sekä ympäristöviranomaisten yhteistyössä toteuttaman SOILI-ohjelman ansiosta (Häikiö, 2000).

Lainsäädännössä ei ole määritelty, milloin pilaantunut kohde tulisi puhdistaa. Kunnostustarve on määritelty yleensä SAMASE-projektissa määriteltyjen ohje- ja raja-arvojen perusteella. Käytännössä pilaantuneiden kohteiden kunnostaminen tulee yleensä ajankohtaiseksi vasta alueen maankäyttötarpeen muuttuessa tai jos alueelta aiheutuva ympäristö- tai terveysriski todetaan liian suureksi (Sorvari ja Assmuth, 1999). Kunnostustarve voi tulla myös äkillisesti onnettomuuksien yhteydessä (Penttinen, 2001).

Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueella sijaitsee useita pilaantuneita kohteita vanhan teollisuushistorian ja alueella harjoitettavan laajan teollisuustoiminnan vuoksi. Kunnostustoimien lisääntymisen seurauksena pilaantuneiden maamassojen käsittely- ja sijoittaminen on muodostunut ongelmalliseksi. Lievästi pilaantuneita maita on tähän asti sijoitettu enimmäkseen kaatopaikoille ja käytetty suljettavien kaatopaikkojen pintarakenteissa. Kaatopaikkojen käytännöt lievästi pilaantuneiden maamassojen vastaanottamiseksi vaihtelevat ja usein sopivan sijoituskohteen löytäminen on ollut

vaikeaa. Suljettavien kaatopaikkojen loppuminen vähentää myös osaltaan lievästi pilaantuneiden maamassojen sijoitusmahdollisuuksia. Sopivien käsittely- ja loppusijoituspaikkojen puuttuminen voi vaikeuttaa puhdistustavoitteiden saavuttamista hidastamalla ja vaikeuttamalla puhdistusprosessien aloittamista (Häikiö, 2000).

1.2 Työn tarkoitus ja tavoitteet

Työn tarkoituksena oli kartoittaa kunnostustoimien yhteydessä muodostuvien lievästi pilaantuneiden maamassojen määrä sekä niiden sijoitus- ja käsittelymahdollisuudet Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueella. Kirjallisuuden avulla selvitettiin pilaantuneiden maiden kunnostustarvetta, kunnostusmenetelmiä ja niiden valintaa. Maamassojen sijoittamis- ja hyötykäyttömahdollisuuksien osalta kartoitettiin nykyiset ja suunnitteilla olevat loppusijoituspaikat. Kohteiden sijoituskapasiteetit arvioitiin asiantuntijoille tehtävien haastattelujen sekä YVA-raporteissa ilmoitettujen määrätietojen perusteella. Sijoittamista tarvitsevien maamassojen määräärvio perustuu Lounais-Suomen alueella tehtyihin kunnostusten loppuraportteihin sekä kirjallisuudessa ilmoitettuihin massamääräarviointeihin. Työssä tarkasteltiin myös ulkomaista kunnostusta säätelevää lainsäädäntöä ja kunnostuksen menettelytapoja. Tuloksena määritettiin uusien lievästi pilaantuneiden maamassojen sijoituskohteiden tarve ja annettiin ehdotus toimintatavoista pilaantuneiden maiden kunnostustoimien yhteydessä lievästi pilaantuneiden maamassojen osalta.

1.3 Työn rajaus

Diplomityö keskittyi käsittelemään pilaantuneita maamassoja, jotka sijaitsevat Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueella. Kartoitus perustui viranomaisten tarpeeseen tietää alueella kunnostustoimien yhteydessä muodostuvien lievästi pilaantuneiden maamassojen määrä ja sijoituskohteiden kapasiteetti, eikä työssä huomioitu pilaantuneiden maamassojen kaatopaikkasijoituksen ohella vaihtoehtoisia käsittelymenetelmiä. Selvityksessä keskityttiin lähinnä lievästi pilaantuneisiin maihin, joiden haitta-aineiden pitoisuudet alittavat SAMASE-projektin yhteydessä määritetyt raja-arvot, mutta ylittävät kuitenkin kyseisessä SAMASE-projektissa määritetyt ohjearvot. Työ käsitteli ainoastaan maaperän pilaantumista rajaten vesien, pohjavesien ja sedimenttien pilaantumiset tarkastelun ulkopuolelle.

2. Kunnostussuunnittelu ja kunnostusmenettelyn valinta

2.1 Kunnostustarpeen arviointi

2.1.1 Ohjearvot

Pilaantunut alue tulee kunnostaa, jos pilaantuminen aiheuttaa ympäristö- tai terveysriskin. Usein kunnostuksen tarve ilmenee vasta maankäytön muuttumisen yhteydessä rakennustoimia aloittaessa tai äkillisten onnettomuuksien jälkeen. Suomessa pilaantuneen maaperän kunnostuksia koskevissa lupapäätöksissä on kunnostustarvetta arvioitu pääasiassa SAMASE-raportissa noin 170 aineelle tai aineryhmälle määritettyjen raja- ja ohjearvojen perusteella. Arvot perustuvat Hollannissa määriteltyihin ekotoksikologisesti painottuneisiin arvoihin ja niiden tarkoituksena on määritellä jokin hyväksyttäväksi sovittu riskitaso. Näiden pitoisuusarvojen perustana on käytetty eläinkokeiden avulla määriteltyjä haitattoman (NOAEL) tai alimman haitallisen (LOAEL) annoksen tai pitoisuuden arvoja (Sorvari ja Assmuth, 1999).

Maaperän kunnostuksessa käytettävä ohjearvo ilmaisee maa-aineksen vapaan käytön ja sijoittamisen pitoisuusrajan. Ohjearvopitoisuuden katsotaan olevan alin pitoisuus, jota pidetään ihmiselle vaarattomana. Raja-arvo ilmaisee pitoisuuden, jonka ylittyttyä ihmiselle ja ympäristölle aiheutuva vaara katsotaan liian suureksi ja pilaantuneelta alueelta edellytetään kunnostustoimia tai maankäytön rajoittamista. Haitta-aineen pitoisuuden ollessa ohje- ja raja-arvojen välissä, aluetta ei tarvitse kunnostaa, jos sen käyttö ja puhdistustarve katsotaan vähäiseksi. Alueen maankäyttöä on kuitenkin silloin rajoitettava (Ekokemin ohje, 1997). Jos maaperä sisältää useita haitta-aineita, tulee huomioida niiden yhteinen haittavaikutus. Samankaltaisille haitta-aineille sallittu pitoisuus voidaan määritellä suoraan kaavan 2.1 avulla. Haitta-ainepitoisuuksien suhteellisten osuuksien summan ollessa yli yksi katsotaan ohje- tai raja-arvon ylittyneen (Puolanne *et al.*, 1994).

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{i,\max}} > 1 \quad (2.1)$$

missä C_i on mitattu yhden aineen pitoisuus ja $C_{i,\max}$ kyseisen aineen ohje- tai raja-arvo.

Maaperän ohjearvojen lisäksi pilaantuneiden maiden käsittelyn ja sijoittamisen yhteydessä saatetaan joutua tilanteesta riippuen soveltamaan myös muita ympäristö- ja terveysvaikutusta kuvaavia ohjearvoja. Tällaisia ovat muun muassa kaatopaikkakelpoisuuden raja-arvot, sedimenttien ohjearvot, talousvesinormit, ilman työterveydelliset ohjearvot, puhdistamolietteen sallitut enimmäispitoisuusarvot sekä sallitut kaatopaikan suotovesipitoisuudet. Suomalaisten ohjearvojen puuttuessa voidaan joskus hyödyntää vastaavia ulkomaalaisia arvoja (Sorvari ja Assmuth, 1999).

Ohje- ja raja-arvot eivät ole suora lainsäädännöllinen normi, joten ne voivat toimia kunnostuspäätösten yhteydessä vain suuntaa antavina kriteereinä pilaantumisen aiheuttaman riskin arvioinnissa. Kunnostuspäätöksissä ainoastaan näitä pitoisuusarvoja sovellettaessa jätetään likaantuneen alueen paikalliset olosuhteet huomiotta. Tämän vuoksi yleisluonteisten ohjearvojen lisäksi tarvitaan usein kohdekohtaista riskinarviointia, jonka avulla saadaan tarkemmin määriteltyä haitta-aineen aiheuttamaa uhkaa pilaantuneella alueella ja maamassojen sijoituspaikalla. Yksiselitteisten ohjearvojen käytön etuna voidaan pitää päätöksenteon yksinkertaistumista ja nopeutumista (Assmuth, 1996; Sorvari ja Assmuth, 1999).

2.1.2 Riskinarviointi

Riski voidaan määritellä tapahtumaksi, jolla jokin tekijä aiheuttaa vaaraa tai haittaa. Riskinarviointi on menetelmä, jolla tunnistetaan, määritellään ja luonnehditaan näitä riskejä ja sen perusteella voidaan priorisoida riskit niiden luonteen ja merkittävyyden perusteella. Riskienhallinnassa päätetään, mitä tehdään havaittujen riskien välttämiseksi ja vähentämiseksi sekä toteutetaan näiden edellyttämät tarvittavat toimenpiteet (Sorvari ja Assmuth, 1998; Ruuska, 2001).

Riskityypit ja riskinarvioinnin tasot

Pilaantuneista maa-alueista aiheutuvat merkittävimmät riskit ovat terveysriskejä, ekologisia riskejä, taloudellisia riskejä sekä eettisiä ja psykologisia riskejä. Pilaantuneiden maiden riskinarviointi perustuu kuitenkin pääasiassa vain terveys- ja ekologisten riskien tarkasteluun. Terveysriskeihin kuuluu toksikologiset ja tapaturmariskit. Ekologiset riskit tarkastelevat puolestaan haitta-aineiden aiheuttamia negatiivisia vaikutuksia ekosysteemin rakenteeseen ja toimintaan, huomioiden alueen eläimistön sekä mikro-organismit (Ruuska, 2001; Sorvari ja Assmuth, 1999).

Riskinarviointi voidaan suorittaa joko kvalitatiivisena tai kvantitatiivisena arviona. Kvalitatiivisessa arvioinnissa tarkastellaan aluetta laadullisiin tietoihin perustuen. Siinä kartoitetaan pääpiirteittäin pilaantuneita alueita ja määritetään niiden tämän hetkinen tila, käyttömahdollisuudet ja tulevaisuuden toimenpidetarve. Kvalitatiivisessa arvioinnissa voidaan alueiden vertailun ja priorisoinnin apuna käyttää pisteytysmenetelmiä (Sorvari ja Assmuth, 1998). Kvantitatiivisessa riskinarvioinnissa riskille ja altistukselle lasketaan lukuarvot (deterministinen arvio). Arvioinnissa voidaan hyödyntää myös valmiita haitta-aineiden ohjearvoja. Kvantitatiivisessa arviossa voidaan lisäksi tarkastella riskien satunnaisvaihtelua tarkastelemalla pelkkien lukuarvojen sijasta jakaumia ja tilastollisia funktioita (stokastinen arvio) (Kuusela-Lahtinen ja Vahanne, 2002).

Riskinarviointi

Pilaantuneita tai pilaantuneiksi epäiltyjä alueita voidaan alustavasti vertailla ennen varsinaista riskinarviointia erilaisten priorisointimallien avulla. Priorisoinnin avulla saadaan määritettyä kohteiden tutkimuksen ja kunnostuksen kiireellisyyttä. Priorisoinnissa käytettävien tietojen määrä on usein vähäisempi verrattuna itse riskinarviointiin, joten menetelmä sopii hyvin tapauksiin, joissa kohteesta ei ole saatavilla tarkkoja tietoja. Priorisoinnissa pilaantumista aiheuttavia haitta-aineita voidaan arvioida karkeasti alueella harjoitettavan toiminnan avulla ja leviämistä sekä altistusta voidaan arvioida sijaintiin ja ympäristön yleispiirteisiin perustuen. Kohteiden vertailussa voidaan käyttää pisteytysmalleja, jonka perusteella ne asetetaan tiettyyn järjestykseen (Silvola, 1999; Sorvari ja Assmuth, 1998).

Itse riskinarviointi koostuu yleensä tiedonkeruun, riskien tunnistamisen, altistuksen ja vaikutusten arvioinnin sekä riskien luonnehtimisen vaiheista. Menettelytapa voi kuitenkin vaihdella tapauskohtaisesti muun muassa kohteen luonteen, lähtökohtien, tavoitteiden ja sijoitusmahdollisuuksien mukaan (Sorvari ja Assmuth, 1998).

Riskinarvioinnin onnistumisen kannalta taustatietojen keruu on koko työn tärkein osuus vaikuttaen oleellisesti kokoriskinarvioinnin luotettavuuteen. Pilaantuneiden maa-alueiden tutkimuksissa ongelmallista onkin juuri lähtötietojen vähäisyys ja niiden huono laatu. Pilaantuneen kohteen ja siinä esiintyvien haitta-aineiden aiheuttamia ympäristö- ja terveysriskiä arvioidaan aineiden pitoisuuksien ja leviämisen perusteella (Sorvari ja Assmuth, 1998). Haitta-aineiden leviäminen riippuu alueen ja aineiden ominaisuuksista ja se voi tapahtua esimerkiksi pinta- tai pohjaveden välityksellä, ilmaitse, maan siirron

kautta tai ravintoketjun välityksellä (Assmuth, 1992a). Altistumisten määrittelyvaiheessa arvioidaan altistuksen suuruutta, tiheyttä ja kestoja. Altistumisesta aiheutuvia vaikutuksia arvioidaan puolestaan aikaisempien tutkimustietojen sekä altistuksen ja altistuvissa ihmisissä ja eläimissä todettujen vaikutusten välisien yhteyksien perusteella. Lopuksi riskiä luonnehditaan tarkastellen riskien laajuutta ja ajallista ulottuvuutta (Sorvari ja Assmuth, 1998).

Riskin merkitys ja hyväksyttävyys vaihtelee alueen käytön mukaan riippuen, onko kyseessä esimerkiksi asutus-, virkistys-, tai teollisuuskäyttöön kaavoitettu alue. Alueen käyttö asettaa myös ehdot riskin rajoittamisen tarpeelle ja siinä käytettäville keinoille. Muun muassa teollisuustoimintaa harjoittava alue ei välttämättä tarvitse puhtaudeltaan samanlaista tasoa esimerkiksi asutuskäyttöön tarkoitettuun alueeseen verrattuna (Sorvari ja Assmuth, 1999). Riskinarvioinnin tuloksia tulisi myös huomioida alueiden kaavoitusvaiheessa arvioitaessa niiden soveltuvuutta eri maankäytönmuotoihin (Sorvari ja Assmuth, 1998).

Riskien arvioinnin käyttö päätöksenteon tukena ja kunnostustarpeen kiireellisyyden sekä kunnostusmenetelmän valinnan arvioinnissa ei ole Suomessa vielä kovin yleistä. Ruuskan (2001) tekemän tutkimuksen mukaan riskinarviointia oli käytetty hieman alle puolessa vuoden 1997 elokuun ja vuoden 2000 maaliskuun välisenä aikana tehdyistä pilaantuneiden alueiden kunnostamista koskevista päätöksistä. Eniten riskinarviointia on suoritettu suurissa ja hankalissa tai herkissä kohteissa. Riskinarvioinnin avulla on myös yritetty hakea perusteita lievästi pilaantuneiden maiden vähemmälle kunnostustarpeelle tai kunnostamatta jättämiselle (Mroueh, 2000).

2.2 Lainsäädäntö

2.2.1 Maaperän kunnostus

Pilaantuneiden maiden kunnostuksen yhteydessä sovelletaan pääasiassa jätelakia (1072/1993), jätehuoltolakia (673/1978) sekä ympäristönsuojelulakia (86/2000). Ympäristönsuojelulakia sovelletaan maaperän pilaantumisiin, jotka ovat tapahtuneet lain voimaantulon 1.3.2000 jälkeen. Jätelain voimaantulon jälkeen 1.1.1994 tapahtuneissa pilaantumisissa sovelletaan taannehtivasti ympäristönsuojelulakia, mutta sitä ennen tapahtuneissa pilaantumisissa toimitaan jätehuoltolain mukaan. Asioiden käsittelyn ja

menettelyn osalta sovelletaan kaikissa tapauksissa ympäristönsuojelulakia. Edellä mainittujen lisäksi kaivoslaki (503/1965), rakennus- ja maankäyttölaki (132/1999), kemikaalilaki (744/1989), vesilaki (264/1961), säteilylaki (230/1989) ja terveydensuojelulaki (763/1994) sisältävät pilaantuneiden maiden kunnostukseen sovellettavia säännöksiä (Tuomainen ja Tuomela, 1997; Ruuska, 2001).

Jätehuoltolaki

Jätehuoltolaissa pilaantuneen maaperän kunnostamiseen sovelletaan roskaamiskielto- (JHL 32§) ja jätehuollon järjestämisvelvollisuusmääräyksiä (JHL 21§). Jätehuoltolaissa pilaantunutta maamassaa pidetään jätteenä, joten sen katsotaan kuuluvat jätehuoltolain piiriin. Roskaamiskieltomääräyksen perusteella seuraa velvollisuus puhdistaa pilaantuneet maa-alueet (Ruuska, 2001; JHL 673/1978).

Jätehuoltolain mukaan ensisijainen puhdistusvelvollisuus kohdistuu roskaajaan. Jos pilaantumisen aiheuttajaa ei löydy, voi kunta määrätä jätehuoltolaissa säädetyn jätehuollon järjestämisvelvollisuuden perusteella pilaantuneen maa-alueen kunnostajaksi jätehuollon järjestämisestä vastuussa olevan henkilön eli kiinteistön haltijan. Taajama-asutuksen ja teiden ulkopuolella olevien alueiden osalta puhdistusvelvollisuus siirtyy kunnalle (Ruuska, 2001).

Jätelaki

Jätehuoltolaki on korvattu jätelaille vuoden 1994 alussa. Jätelain voimaan tulon jälkeen tapahtuneissa pilaantumisissa sovelletaan nykyään kuitenkin ympäristönsuojelulakia. Roskaamista koskevat säännökset eivät ole muuttuneet ympäristönsuojelulain voimaantulon jälkeen, joten sen osalta jätelain säännökset ovat vielä voimassa (Ruuska, 2001; JL 1072/1993).

Jätelaki sisältää säännöksen valtion jätehuoltotoista (JL 35 §), jonka mukaan alueellinen ympäristökeskus voi sovittuaan siitä tarvittaessa asianomaisen kunnan kanssa, jätehuoltotyönä tehdä tai teettää kunnostustyön työn tai osallistua muuten pilaantuneen alueen kunnostamisesta muodostuviin kustannuksiin. Valtion jätehuoltotyö tulee kysymykseen, jos maaperän pilaantuneisuudesta terveydelle tai ympäristölle kohdistuvan haitan ehkäisemisestä tai poistamisesta aiheutuu kohtuuttomia kustannuksia kunnan jätehuollolle (JL 1993/1072).

Ympäristönsuojelulaki

Ympäristönsuojelulain tavoitteena on ehkäistä ympäristön pilaantumista sekä estää pilaantumista aiheuttavien vahinkojen syntymistä. Lain avulla pyritään turvaamaan terveellinen, viihtyisä, luonnontaloudellisesti kestävä ja monipuolinen ympäristö sekä tehostamaan ympäristöä pilaavan toiminnan vaikutusten arviointia. Tavoitteena on myös ehkäistä jätteiden syntyä, ilmastonmuutosta sekä edistää luonnonvarojen kestävää käyttöä. Lain avulla on tarkoitus parantaa kansalaisten mahdollisuuksia osallistua ympäristöasioita koskevaan päätöksentekoon (YSL 1§) (YSL 86/2000).

Ympäristönsuojelulakiin on koottu kaikki ympäristönsuojelusäännökset yhteen. Tämän ansiosta ympäristöluvut saadaan käsiteltyä yhdellä kertaa, jolloin lupien määrä vähenee. Laki on ympäristön pilaamisen torjunnan yleislaki. Se sisältää säännökset koskien maaperän, ilman ja vesien suojelua ja sisältää säännökset yleistä periaatteista, velvollisuuksista, lupaviranomaisista, lupamenettelystä, korvauksista, valvonnasta sekä muutoksenhausta (Järvinen, 1999).

Ympäristönsuojelulain mukaan pilaantuneen maan ensisijainen puhdistamisvastuu on pilaantumisen aiheuttajalla. Puhdistamisvastuun lisäksi aiheuttajalla on velvollisuus selvittää pilaantuneen alueen laajuus ja puhdistustarve sekä sen tulee ilmoittaa maaperän pilaantumisesta onnettomuuden tai vahingon sattuessa (Ruuska, 2001). Jos maaperän pilaantumisen aiheuttajaa ei saada selville, siirtyy alueen puhdistusvastuu alueen haltijalle. Tapauksissa, joissa alueen haltian puhdistusvelvollisuus katsotaan kohtuuttomaksi, on viimekädessä puhdistusvelvollisuus kunnalla (YSL 75§).

2.2.2 Maamassojen sijoittaminen ja käsittely

Pilaantuneiden maamassojen sijoittamista ja käsittelyä koskevissa lupaprosesseissa sovelletaan useita lakeja ja asetuksia. Yleiset pilaantumisen ehkäisyä koskevat määräykset löytyvät ympäristönsuojelulaista (86/2000) ja ympäristönsuojeluasetuksesta (169/2000). Pilaantuneilla mailla tarkoitetaan jätelaissa (1072/1993) määritellyä tavanomaista jätettä tai ongelmajätettä pilaantumisasteesta riippuen. Jätelaissa määrätään jätteen haltija huolehtimaan jätteen hyödyntämisestä ja käsittelystä ja lain mukaan jäte tulisi hyödyntää ensisijaisesti aineena ja toissijaisesti energiana (1072/1993).

Sijoituspaikkaa valittaessa täytyy huomioida naapurussuhdelaisissa (26/1920) sekä terveydensuojelulaissa (763/1994) esitettyjä määräyksiä sijoituspaikalle. Laki eräistä naapuruussuhteista kieltää kiinteistön käyttämisen siten, että siitä on haittaa naapurille. Terveydensuojelulain mukaan edellytyksenä sijoitusluvan saamiselle on, että toiminnasta ei aiheudu terveyshaittaa (Markkanen, 1998).

Kaatopaikkojen perustamisen kannalta oleellinen säädös on valtioneuvoston päätös kaatopaikoista (861/1997) sekä tämän muutos (1049/1999). Laissa ohjataan kaatopaikkojen suunnittelua, perustamista, rakentamista, käyttöä, hoitoa, käytöstä poistamista ja jälkihoitoa sekä jätteiden oikeanlaista sijoittamista. Ympäristövaikutusten arviointimenettely asetuksen (268/1999) mukaan ympäristövaikutusten arviointi (YVA) vaaditaan, jos kaatopaikoille sijoitetaan ongelmajätettä tai kaatopaikoille sijoitettava määrä on yli 5000 tonnia vuodessa (Uudenmaan liitto, 2002).

Edellä mainittujen lisäksi pilaantuneiden maiden sijoituspaikkoja ja käsittelyä ohjaavia lakeja ja asetuksia ovat muun muassa ilmansuojelulaki (67/1982), vesilaki (283/1962), valtioneuvoston päätös ongelmajätteistä annettavista tiedoista sekä ongelmajätteiden pakkaamisesta ja merkitsemisestä (659/1996), laki yleisimpien jätteiden sekä ongelmajätteiden luettelosta (867/1996), laki ympäristönsuojelun edistämiseen myönnettävien avustusten yleisistä ehdoista (894/1996) sekä laki julkisista hankinnoista (1505/1992) (Markkanen, 1998).

2.2.3 Ympäristölupa- ja ilmoitusmenettely

Ympäristölupamenettely

Pilaantuneen maaperän kunnostamiseen liittyvissä lupa-asioissa toimitaan pilaantumisaikakohdasta riippumatta aina ympäristönsuojelulain mukaisesti. Lupa tarvitaan lähes poikkeuksetta ympäristön pilaantumisvaaraa aiheuttavaa toimintaa varten. Ympäristölupapäätökset tehdään pääasiassa kunnissa ja alueellisissa ympäristökeskuksissa. Näiden lisäksi on kolme ympäristölupavirastoa, joiden päätettävissä on merkittävimmät ympäristöluvut, vesilain mukaiset luvat ja luvat joiden käsittelyssä ympäristökeskus on esteellinen. Muutosta päätöksiin voi hakea Vaasan hallinto-oikeudesta, jonka päätöksestä voi valittaa edelleen korkeimmalle hallinto-oikeudelle (Ruuska, 2001; Järvinen, 1999; YSL 86/2000).

Jätteen laitos- tai ammattimaiseen hyödyntämiseen, käsittelyyn ja sijoittamiseen tarvitaan YSL 28§:n mukaan ympäristölupa. Tähän säädökseen perustuu myös jätteiden maarakennuskäytön ympäristölupavelvollisuus. Maarakennuskäyttöä varten haettavaa ympäristölupaa varten on hankittava riittävät tiedot materiaalin fysikaalisista ja kemiallisista ominaisuuksista, tutkittava sen ympäristökelpoisuus, selvitettävä sijoituskohteen ominaisuudet sekä laadittava rakennekuvat ja suunnitelmat sijoituskohteesta. Lisäksi on laadittava suunnitelmat ympäristö- ja terveysthaittojen ehkäisemiseksi ja työnaikaisen laadunvalvonnan toteuttamiseksi. Ympäristölupahakemuksen sisällöstä on säädetty ympäristönsuojeluasetuksen 9 ja 10 §:ssä. Hyödyntäessä tai käsiteltäessä jätteitä, tarvitaan ympäristölupahakemukseen 9 ja 10 §:ssä vaadittavien tietojen lisäksi asetuksen 12 §:ssä säädettyjä tietoja sijoitettavasta materiaalista, sijoituskohteesta, rakenteista, ympäristökelpoisuudesta sekä sijoituskohteen ympäristöolosuhteista (YSA 169/2000; Mroueh *et al.*, 2000).

Pilaantuneiden maiden kunnostuksia koskevissa lupapäätöksissä sovelletaan usein SAMASE-raportissa määriteltyjä raja- ja ohjearvoja. Nämä pitoisuusrajat eivät kuitenkaan toistaiseksi ole suoraan oikeudellisia normeja. Ympäristöministeriössä on valmisteilla valtioneuvoston päätös maa-alueiden pilaantuneisuuden selvittämisestä ja puhdistustarpeen arvioinnista. Pilaantuneen maan puhdistustarve arvioitaisiin joko ohjearvojen tai riskinarvioinnin perusteella. Asetusehdotuksen mukaan ohjearvot on jaettu tavoite- ja raja-arvoihin. Tavoitearvo on määritelty haitta-ainepitoisuudeksi, joka on katsottu turvalliseksi suurimmalle osalle eliöitä. Raja-arvo on puolestaan pitoisuus, jonka ylityessä saattaa aiheutua haittaa ihmisille tai eläimille (Ruuska, 2001). Päätös ei ole kuitenkaan vielä toistaiseksi astunut voimaan.

Ilmoitusmenettely

Maaperän puhdistus pilaantuneella alueella tai maa-aineksen toimittaminen muualle käsiteltäväksi voidaan joissain tapauksissa aloittaa tekemällä ilmoitus alueelliselle ympäristökeskukselle. Tällaisissa tapauksissa pilaantuneen alueen laajuus ja pilaantumisaste täytyy olla riittävästi selvitetty. Puhdistamisessa tulee myös käyttää hyväksyttävää ja yleisesti käytössä olevaa menetelmää ja puhdistustoimia tehtäessä on varmistuttava, että toiminnasta ei aiheudu laajempaa ympäristön pilaantumista. Myös materiaalin maarakennuskäyttöä varten tehtävien koerakenteiden osalta riittää pelkkä ympäristökeskukselle tehtävä ilmoitus. Ilmoitusmenettelystä on säädetty tarkemmin ympäristönsuojeluasetuksessa (169/2000) (YSL 86/2000; Mroueh *et al.*, 2000).

3. Kunnostusmenetelmät ja niiden valinta

3.1 Haitta-aineiden käyttäytyminen ympäristössä

Jouduttuaan maaperään haitta-aineet harvoin pysyvät muuttumattomina paikallaan, vaan ajan myötä kulkeutuvat, pidättyvät, muuntuvat ja hajoavat (Ulrich, 1990). Haitta-aineiden maaperäkäyttäytymisen tunteminen on hyvin oleellista pilaantuneen kohteen saastumisen ja sen hallinnan arvioinnissa. Maaperää pilaavien aineiden pääreaktioiden ja kulkeutumismekanismien tunteminen on myös edellytys onnistuneelle pilaantuneen maaperän kunnostamiselle ja haitta-aineiden leviämisen estämiselle (McCarthy and Zachara, 1989).

3.1.1 Kulkeutuminen ja pidättyminen

Kulkeutumismekanismit

Advektio, diffuusio, dispersio sekä haihtumien ovat haitta-aineiden mekaanisia kulkeutumismuotoja (Kuva 3.1). Suurin osa haitta-aineista kulkee suoraan keskimääräisellä virtausnopeudella veden päävirtausten mukana advektiolla. Advektio on tärkeä kulkeutumismekanismi erityisesti hyvin vettä johtavissa maalajeissa ($k > 10^{-8}$) (Mackay *et al.*, 1985; Leppänen, 1998). Tällaiset karkearakeiset sora- ja hiekkamaat ovat myös usein pohjaveden muodostumisalueita ja ovat riskialttiita pilaantumiselle. Advektiota säätelee kapillaari- ja vajovesivyöhykkeessä pääasiassa sademäärä ja pohjavesivyöhykkeessä puolestaan pohjaveden virtaus (Heikkinen, 2000). Rakeisessa materiaalissa tapahtuva virtaama tietyn poikkileikkauksen läpi voidaan laskea Darcyn lailla kaavan 3.1 avulla.

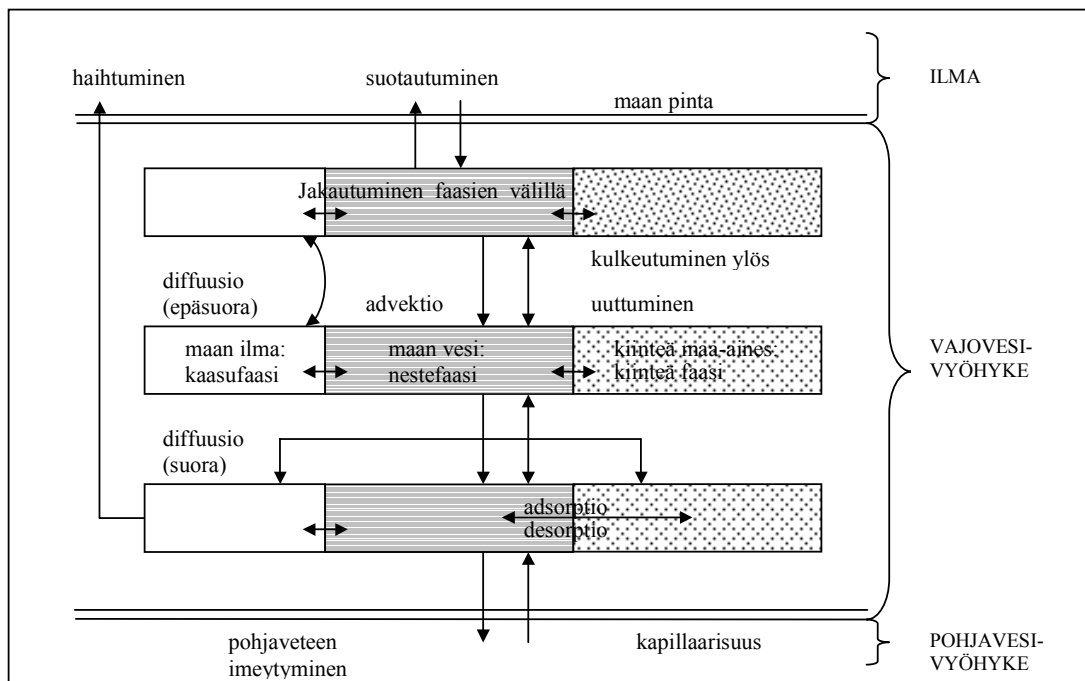
$$Q = kA \frac{dh}{dr} \quad (3.1)$$

missä Q on virtaama (m^3/s), k hydraulinen johtokyky (m/s), A virtaaman poikkileikkauksen pinta-ala (m^2) ja dh/dr hydraulinen gradientti (Davis and Cornwell, 1998).

Osa aineista voi kulkea päävirtausta nopeammin dispersion avulla ja levittää haitta-aineita laajemmalle alueelle myös virtaussuuntaa vastaan poikittaisessa suunnassa tapahtuvan

kulkeutumisen ansiosta (Heikkinen, 2000). Dispersio perustuu molekylaariseen diffuusion ja mekaaniseen sekoittumiseen. Mekaaninen sekoittuminen aiheutuu nopeuseroista maarakeiden eri kohdissa (Mckay *et al.*, 1985). Diffuusio on pitoisuuserojen tasoittumisesta johtuva kemiallinen ilmiö, jolla voi olla merkittävä osa erityisesti hienorakeisissa ja heikosti lajittuneissa maalajeissa ($k < 10^{-9}$ m/s) (LaGrega *et al.*, 1994; Leppänen, 1998).

Haitta-aineet voivat liikkua ja poistua maaperästä haihtumalla. Haihtumista voi tapahtua suoraan maan päällä, vajovedestä tai pohjavedestä (LaGrega *et al.*, 1994) ja se on riippuvainen lämpötilasta, kosteudesta sekä vedenläpäisevyydestä. Näiden lisäksi sen tehokkuuteen vaikuttavat haitta-aineen vesiliukoisuus, höyrynpaine, kiehumispiste, molekyylipaino, molekyylien polaarisuus sekä pitoisuus huokoskaasussa (Heikkinen, 2000). Haihtuminen on erityisen merkittävä kulkeutumismuoto suuren höyrynpaineen omaaville aineille ja yhdisteille (Setälä, 1992). Haitta-aineet häviävät maaperästä pääasiassa haihtumisen seurauksena, mutta maaveden haihtumisen seurauksena sillä voi kuitenkin olla päinvastaisia vaikutuksia aiheuttaessaan haitta-aineiden pitoisuuksien kasvua ja saostumista (Heikkinen, 2000).



Kuva 3.1. Kaavamainen esitys haitta-aineiden kulkeutumiseen vaikuttavista mekanismeista (Setälä, 1992, muokattu).

Haitta-aineiden jakautumista veden ja ilman välillä voidaan kuvata Henryn lain avulla kaavalla 3.2.

$$P = HC_{\text{equil}} \quad (3.2)$$

missä P on kaasun osapaine (kPa), H Henryn lain vakio (kPa m³/g) ja C_{equil} kaasuuntuneen haitta-aineen pitoisuus nesteessä (g/m³) (Dawis ja Cornwell, 1998). Erittäin helposti haihtuviksi yhdisteiksi määritellään aineet, joiden Henryn lain vakio on yli 100 Pa m³/mol (Nikunen, 1993).

Mekaanisten kulkeutumismekanismien lisäksi voivat kemialliset reaktiot kuten kompleksin ja kelaatin muodostus sekä sitoutuminen kolloideihin lisätä haitta-aineiden liikkuvuutta. Liikkuvuus lisääntyy kompleksoituneen aineen suuremman liukoisuuden vuoksi ja haitta-aineen kiinnittymisen estyessä kiinteään liikkumattoman partikkelin pintaan (LaGrega *et al.*, 1994). Huokosveden nopeuden ollessa kuitenkin tarpeeksi pieni kemikaalia kuljettava kompleksikin adsorboituu (Setälä, 1993). Haitta-aineiden kulkeutuminen voi vähentyä myös kompleksin saostuessa tai flokkuloituessa tai jos ligandina toimii liukenematon orgaaninen aines (Heikkinen, 2000). Kolloideihin sitoutuminen lisää erityisesti huonosti veteen liukenevien ja helposti kiinteään aineeseen kiinnittyvien aineiden liikkuvuutta (McCarthy and Zachara, 1989). Kolloidin muodostus voi kompleksin muodostuksen tavoin myös vähentää aineiden liikkumista. Liikkuminen huononee, kun mineraalien pinnoille muodostuu huonosti liikkuvia suuria kasaumia tai ohuita kalvoja (Heikkinen, 2000).

Sorptio ja desorptio

Sorptio on tärkein maaperässä haitta-aineiden pidättymiseksi tapahtuva ilmiö. Sen avulla osa haitta-aineista sitoutuu nestefaasista tai kaasufaasista kiinteään faasiin vähentäen ympäristössä liikkuvaa pitoisuutta (Mackay *et al.*, 1985). Sorptio käsitteellä tarkoitetaan usein kaikkia niitä mekanismeja, joilla aineiden pidättyminen voi tapahtua, eli adsorptio, absorptio, ioninvaihto, kompleksinmuodostus ja saostuminen (Heikkinen, 2000). Sorptio on reversiibeli prosessi, joten esimerkiksi sade saattaa aiheuttaa kemikaalin vapautumisen (desorptio) (Setälä, 1992).

Haitta-aineiden jakautumista nesteen ja kiintoaineen välillä voidaan kuvata tasapainoyhtälön avulla. Mikäli adsorptio on lineaarista, jakautuminen on nopea ja reversiibeli, yhtälö voidaan kirjoittaa muotoon.

$$K_d = \frac{S}{C} \quad (3.3)$$

missä K_d on jakautumiskerroin (ml/g), S kiintoaineeseen adsorpotuneen pitoisuuden suhde kiintoaineeseen (mg/g) ja C liuennan kemikaalin pitoisuus (g/ml) (Elzahabi and Yong, 2000).

Yksinkertaisen K_d -arvon käyttö voi johtaa virheellisiin arviointeihin adsorptio/desorptio ilmiön suhteen. Virheitä on huomattu muodostuvan etenkin, jos kyseessä on suuret haitta-ainepitoisuudet (Elzahabi and Yong, 2000).

Maaperän kyky sitoa haitta-aineita vaihtelee maaperän koostumuksen ja olosuhteiden sekä itse haitta-aineiden ja kilpailevien yhdisteiden ominaisuuksien myötä (Heikkinen, 2000). Monet tutkijat pitävät humuksen määrää maaperässä ratkaisevana sorptiota aiheuttavan tekijänä. Sen hyvät sitomisominaisuudet johtuvat suuresta ominaispinta-alasta sekä hyvästä ioninvaihtokapasiteetista (Leppänen, 1998). Jakautumiskerroin K_d :n on verrannollinen maan orgaanisen hiilen määrään. Haitta-aineen jakautumista orgaanisen aineen ja veden välillä kuvataankin tavanomaisesti orgaanisen hiilen ja veden välisellä jakautumiskertoimen K_{oc} avulla yhtälöllä 3.4 (Huang *et al.*, 2002).

$$K_d = K_{oc} f_{oc} \quad (3.4)$$

missä f_{oc} on orgaanisen hiilen massaosuus kiintoaineesta

Aineiden pidättymistä voidaan arvioida myös oktanoli/vesi jakautumiskertoimen K_{ow} avulla, joka kuvaa myös kemikaalien biokertyvyyttä. Aineiden sitoutumiskyky sekä biokertyvyysominaisuudet kasvavat aina $\log K_{ow}$ arvon suurenemisen myötä ja aineen luokitellaan mahdollisesti kertyväksi, mikäli sen $\log K_{ow} \geq 3$ (Nikunen, 1993). Taulukkoon 3.1 on koottu yleisimpien ympäristön pilaantumista aiheuttavien haitta-aineiden oktanoli/vesi jakautumiskertoimen arvoja.

Taulukko 3.1. Yleisimpien orgaanisten haitta-aineiden oktanoli/vesi jakautumiskertoimia (Työterveyslaitos, 2003).

Aine	log K _{ow}
PCP	5,01
2,5-DCP	2,92–3,06
PCB	~ 6,3
Bentseeni	2,13
Trikloorieteeni	2,42
Tetrakloorieteeni	2,9

Humuksen lisäksi yleisiä sorbentteja ovat savimineraalit sekä raudan, mangaanin ja alumiinin oksidit (Heikkinen, 2000). Pilaantuneilla alueilla tulee myös huomioida maaperässä olevien muiden kemikaalien vaikutus sorptioon. Hydrofobiset aineet voivat toimia myös itse sorbentteina muille aineille maaperän saastuessa samanaikaisesti useilla kemikaaleilla. Boydin ja Sunin (1990) tutkimuksen mukaan hydrofobiset polttoaine- ja BCP- jäämät voivat toimia noin kymmenen kertaa tehokkaampina haitta-aineiden sitojia luonnon orgaaniseen ainekseen verrattuna lisäten näin aineiden pidättymistä (Boyd and Sun, 1990).

Ioninvaihto

Ioninvaihtoa voidaan pitää adsorption erikoismuotona, jossa maanesteessä tai kaasussa olevat ionit syrjäyttävät varauksellisten maaperähiukkasten pinnoille kiinnittyneet ionit (Heikkinen 2000). Ioninvaihto on erityisen tärkeää huomioida metallien kulkeutumista arvioitaessa (LaGrega *et al.*, 1994).

Ionien kiinnittymisvoimakkuus maaperään riippuu kiinnittymispinnan ominaisuuksista ja muodosta, ionin valenssista sekä ionisäteestä ja hydratoituneesta säteestä (Heikkinen, 2000). Kationien korvautumisherkkydelle on esitetty seuraavanlaista järjestystä (LaGrega *et al.*, 1994).



Kiinnittymisjärjestys voi kuitenkin vaihdella muun muassa maaperän happamuuden mukaan, koska pH säätelee kationinvaihtopintojen varauksia. Maaperän happamoitumisen myötä kationinvaihtokapasiteetti pienenee positiivisten varauksen seurauksena ja kationinvaihtopaikkojen vetyioneilla korvautumisen vuoksi (Heikkinen, 2000).

Saostuminen ja liukeneminen

Raskasmetallien osalta saostuminen ja liukeneminen vaikuttavat ympäristössä kulkeutuvaan pitoisuuteen. Orgaanisilla aineilla kemikaalin liukoisuus määrää aineiden kulkeutumisaikaa. Huonosti veteen liukenevat aineet esimerkiksi metanoli tai halogenoituneet alifaattiset hiilivedyt kulkevat erillisenä faasina (NAPL), kun taas hyvin veteen liukenevat yhdisteet kulkeutuvat veteen liuenneena (Mckay *et al.*, 1985).

Veteen liukenematon NAPL kulkeutuu maan pinnalta alaspäin painovoiman ja kapillaarivoimien avulla. Saavutettuaan pohjaveden pinnan vettä kevyemmät veteen liukenemattomat aineet (LNAPL) siirtyvät kulkemaan vaakasuunnassa pohjaveden pinnan yläpuolisessa kapillaarivyöhykkeessä. Vettä tiheimät aineet (DNAPL) puolestaan jatkavat kulkeutumista edelleen alaspäin, kunnes törmäävät läpäisemättömään pintaan (Mckay *et al.*, 1985). Pohjaveteen kerääntynyt haitta-ainelammikko liukenee vähitellen pohjaveteen aiheuttaen jatkuvan kontaminaatiolähteen (Bradford *et al.*, 2003). Haitta-aineiden kulkeutumisen aikana tapahtuu aineiden erilaisia pidätyksiä, muuntumisia, ja hajoamisprosesseja (Davis and Cornwell, 1998).

Taulukkoon 3.2 on koottu esimerkkinä yleisimmin maaperän pilaantumista aiheuttavien haitta-aineiden vesiliukoisuudet ja tiheydet, joiden perusteella voidaan arvioida niiden kulkeutumista maaperässä. Kloorifenolit ovat heikkoja happoja ja ne voivat esiintyä ympäristössä joko dissosioituneina fenolaatteina tai neutraaleina fenoleina. Kloorifenoleiden esiintyminen protoneina on pH:n ja dissosiaatiovakion (pK_a) suhteesta riippuvainen. Kun $pH \ll pK_a$ suurin osa yhdisteestä on neutraalissa muodossa, kun taas $pH \gg pK_a$ suurin osa yhdisteestä esiintyy ionisoituneessa muodossa. Tällä ionisoitumisella on vaikutusta kloorifenoleiden liukenemiseen ja saostumiseen sekä käyttäytymiseen ympäristössä. Esimerkiksi pH:n muuttuessa 4:stä 8.5:een muuttuu PCP dissosioituneesta muodosta ei dissosioituneeseen muotoon, jonka seurauksena sen liukoisuus kolminkertaistuu (Stapleton *et al.*, 1994). Tämän vuoksi taulukossa 3.2 esitetyt kloorifenolien vesiliukoisuusarvot voivat olla ilmoitettua huomattavasti suuremmat ionisoitumisasteesta riippuen.

Taulukko 3.2. Yleisimpien haitta-aineiden vesiliukoisuudet ja tiheydet (Työterveyslaitos, 2003).

Haitta-aine	Vesiliukoisuus (mg/l)	Suhteellinen tiheys (Vesi = 1)
Pentakloorifenoli (PCP)	10 (20°C) ^(*)	1,98
2,5-Dikloorifenoli	Huono ^(*)	-
PCB	Ei liukene	1,5
Bentseeni	1800 (25 °C)	0,9
Trikloorieteeni	1000 (20°C)	1,5
Tetrakloorieteeni	150 (20°C)	1,6

^(*) Vesiliukoisuus voi olla kloorifenolien dissosioitumisen vuoksi paljon ilmoitettua suurempi.

Aineiden konsentraation ylittäessä liukoisuuden rajan nesteessä alkaa tapahtua saostumista (Heikkinen, 2000). Saostuminen voi tapahtua kersaostumalla muiden samanaikaisesti saostuvien aineiden pinnalle tai isomorfisella korvautumisella niiden rakenteisiin (Herbert, 1996). Näiden lisäksi haitta-aineet voivat muodostaa saostumia itsekseen. Saostumispintoina voi toimia muun muassa raudan, mangaanin ja alumiinin oksidit, hydroksidit, oksihydroksidit ja karbonaatit sekä savimineraalit. Aineiden saostumiseen ja liukenemiseen vaikuttavat muun muassa pH, lämpötila, redox-potentiaali, ionien ominaisuudet sekä muiden liuenneiden aineiden konsentraatio (Heikkinen, 2000).

3.1.2 Muuntuminen ja hajoaminen

Haitta-aineet voivat muuttua ja hajota biologisesti tai kemiallisesti. Biohajoaminen voidaan jakaa edelleen aerobiseen tai anaerobiseen hajoamiseen. Aerobisessa hajoamisessa elektronien akseptorina toimii happi. Jotkut aerobiset bakteerit voivat toimia myös anaerobisissa olosuhteissa käyttäen nitraattia elektroniakseptorinaan (denitrifikaatio). Tämän lisäksi yleisiä anaerobisten reaktioiden elektroniakseptoreita voivat olla muun muassa nitraatti (denitrifikaatio), sulfaatti (sulfaatin pelkistys), asetaatti (fermentaatio) tai hiilidioksidi (metanogeneesi) (Daniel, 1993). Kemiallisesti aineet voivat hajota hapetuksen tai hydrolyysin avulla sekä valokemiallisesti UV:n vaikutuksesta (Jeltsch, 1990).

Biohajoaminen

Biohajoamisessa bakteerit käyttävät haitta-aineita hiilen ja energian lähteenä, minkä seurauksena aineet muuntuvat ja hajoavat. Joissain tapauksissa mikro-organismit voivat muuttaa haitta-ainetta myös hyödyntämättä niitä metaboliassaan (kometabolia). Tällaisissa tapauksissa mikro-organismit tarvitsevat toisen substraatin hiilen ja energian lähteeksi. Orgaanisten aineiden biohajoamista katalysoivat entsyymit. Entsyymit ovat spesifisiä tietylle reaktiolle, joten haitta-aineiden hajottamiseen tarvitaan usein monia mikro-organismeja sekä entsyymejä (Eweis *et al.*, 1998). Epätäydellistä hajoamista kutsutaan

biotransformaatioksi ja sen seurauksena voi muodostua myös lähtöaineita toksisempia yhdisteitä (Jeltsch, 1990). Mineralisaatiossa haitta-aineet hajoavat täydellisesti, jolloin bakteeri muuttaa substraatin hiilidioksidiksi ja vedeksi (Daniel, 1993).

Kemikaalien mikrobiologiseen muuttumiseen ja hajoamiseen vaikuttavat muun muassa substraattikonsentraatio, elektroniakseptorin saatavuus, mikrobitoksiset yhdisteet, maaperän mikrobiston diversiteetti ja niiden sopeutuminen ympäristöön (Mackay *et al.*, 1985) sekä ympäristölliset tekijät, kuten pH, redox olosuhteet, lämpötila sekä ravinnepitoisuus (Eweis *et al.*, 1998). Yleensä mikro-organismien optimaaliset kasvuolosuhteet ovat 20-30 °C lämpötilassa (Ferguson *et al.*, 2003) ja pH:ssa 6-8. (EPA, 1995). On kuitenkin olemassa lukuisia mikrobeja, jotka voivat toimia myös ääriolosuhteissa kuten erittäin kylmissä 4-8 °C (Männistö *et al.*, 2001) tai happamissa (pH < 3) olosuhteissa (Johnson and Hallberg, 2003). Useat haitta-aineet voivat hajota sekä aerobisissa että anaerobisissa olosuhteissa. Anaerobisia olosuhteita tarvitaan erityisesti halogeenisubstituenttien poistamiseksi yhdisteestä (Armenante *et al.*, 1998).

Kemiallinen hajoaminen

Kemiallinen valon aiheuttama aineen hajoaminen eli fotolyysi on prosessi, jossa valon adsorpoituminen kemikaaliin saa aikaan sen muuntumisen. Prosessi on erityisen tärkeää erityisesti vesiympäristöissä, rajoittuen kuitenkin vain ylempiin kerroksiin. Hydrolyysi on yleisesti orgaanisten aineiden hajoamisessa tapahtuva reaktio. Suurimmassa osassa biologisista kunnostusmenetelmistä hydrolyysiä voidaan kuitenkin pitää merkityksettömänä prosessina (Eweis *et al.*, 1998). Hapettuminen on elektronien siirtoon perustuva reaktio, joten reaktio tarvitsee onnistuakseen elektronidonorin sekä elektroniakseptorin. Haitta-aineiden hajoamisessa orgaaniset yhdisteet toimivat yleensä elektronidonorina (Vogel *et al.*, 1987).

Esimerkkejä yleisimpien haitta-aineiden hajoamisesta

Yksinkertaiset alifaattiset hiilivedyt ovat yleensä biohajoavia. Hajoamisnopeus hidastuu kuitenkin kemikaalin molekyylikoon kasvaessa ja liukoisuuden vähentyessä (Namkoong *et al.*, 2002). Kemikaalin haaroittumisella, rakenteiden rengasmaisuudella (Daniel, 1993) ja halogenoitumisasteella on myös hajoamista hidastava vaikutus. Klooratut alifaattiset hiilivedyt ovat erittäin pysyviä ja yhdisteiden hajoavuus vähenee aina kloorisubstituenttien määrän lisääntyttyä (Wackett, 1996). Kloorattujen alifaattisten hiilivetyjen hajoaminen voi

tapahtua abioottisesti tai biottisesti substituutioreaktioiden, dehydrohalogenaation tai hapettumis/pelkistymisreaktioiden avulla (Vogel *et al.*, 1987).

Aromaattisia hiilivetyjä hajottavia bakteereita on luonnossa paljon, mutta niiden hajoaminen on kuitenkin melko hidasta (Samanta *et al.*, 2002). Hajoamista hidastaa usein orgaaniseen aineeseen tapahtuva sorptio vähentäen haitta-aineiden biosaatavuutta (Chang *et al.*, 2002). Aromaattisten hiilivetyjen molekyyliarakenteella on suuri vaikutus niiden hajoamiseen, hajoamisen hidastuessa aina bentseenirenkaiden ja substituenttien määrän lisääntyttä (Eweis *et al.*, 1998). Yleisesti aromaattisia yhdisteitä, joilla on vähemmän kuin kolme bentseenirengasta voidaan pitää biohajoavina (Eriksson *et al.*, 2000). Myös neljä bentseenirengasta sisältävien pyreenin, fluoranteenin, kryseenin sekä bentso[a]antraseenin biologisessa hajottamisessa on joissain määrin onnistuttu (Rothermich *et al.*, 2002).

Kloorifenolit ovat huonosti hajoavia ja myrkyllisiä yhdisteitä. Tästä huolimatta kloorifenoleja on pystytty hajottamaan onnistuneesti sekä aerobisissa (Järvinen *et al.*, 1994) että anaerobisissa olosuhteissa (Chang *et al.*, 2003; Khodadoust *et al.*, 1997). Yhdisteiden hajottamiseen on pystytty keskimääräisen huoneen lämpötilan (20-30 °C) lisäksi myös melko kylmissä (4-10 °C) olosuhteissa (Järvinen *et al.*, 1994). Kloorifenoleiden anaerobinen hajoaminen tapahtuu reduktiivisen deklorinaation avulla. Hajoamisnopeuteen vaikuttavat oleellisesti kloorisubstituenttien määrä ja sijainti (Annachhatre and Gheewala, 1996). Monissa tutkimuksissa orto-asennossa oleva kloori on irronnut muita herkemmin (Takeuchi *et al.*, 2000; Masunaga *et al.*, 1996), kun taas para-asennossa oleva kloori on ollut vaikeimmin irrotettavissa (Takeuchi *et al.*, 2000).

Kloorifenolien hajottamisessa aerobisesti päädytään usein mineralisaatioon (Järvinen *et al.*, 1994; Gallego *et al.*, 2003) Kloorifenolien mineralisoituminen aerobisesti sisältää hapen liittymisen hiili-vetyisidokseen, halogeenisubstituentin hapettumisen ja hiilikaksoissidoksen hapettumisen epoksidaation avulla (Bouwer, 1993). Parhaiten aerobisissa olosuhteissa hajoavat vähemmän kloorautuneet mono- ja dikloorifenolit. Kloorautumisasteen kasvaessa aerobinen hajoaminen kuitenkin hidastuu. Tämän vuoksi hyvän tuloksen saavuttamiseksi kloorifenoleilla pilaantunutta ympäristöä kunnostettaessa kannattaa yhdistää sekä aerobisia että anaerobisia olosuhteita (Armenante *et al.*, 1998).

Voimakkaasti kloorautuneita yhdisteitä, kuten polykloorattuja bifenyylejä (PCB) pidetään yleensä biohajoamattomina. Useiden tutkimusten mukaan näitä yhdisteitä on kuitenkin

pystytty hajottamaan sekä aerobisissa (Flanagan *et al.*, 1993) että anaerobisissa olosuhteissa, hajoamisen ollessa kuitenkin melko hidasta (Abramowicz *et al.*, 1993; Rhee *et al.*, 1993). Anaerobinen hajoaminen tapahtuu reduktiivisen deklorinaation avulla, jolloin ensisijaisesti poistuvat usein meta- ja para- asennossa olevat kloorit (Abramowicz *et al.*, 1993; Rhee *et al.*, 1993). Heikommin kloorautuneille mono-, di- ja triklooratuille bifenyyleille aerobinen hajoaminen on tavanomaisempaa (Flanagan *et al.*, 1993, Williams and May, 1997). PCB-yhdisteiden hajottamisessa on usein päädytty vain osittaiseen hajoamiseen. Osittaisen hajoamisen etuna ovat kuitenkin yhdisteen pienenevät biokertyvyysominaisuudet sekä myrkyllisyys (Rhee *et al.*, 1993).

3.2 Kunnostusmenetelmät

Pilaantuneet maa-alueet voidaan kunnostaa fysikaalisiin, kemiallisiin ja biologisiin menetelmiin perustuen. Useimmissa tapauksissa hyvän lopputuloksen saavuttamiseksi joudutaan yhdistämään useita puhdistusmenetelmiä (Jeltsch, 1990). Kunnostusmenetelmät voidaan jakaa menetelmiin, joissa maamassoja ei tarvitse kaivaa pois maasta ja kunnostus suoritetaan paikanpäällä (*in situ*) ja menetelmiin joissa maamassat kaivetaan pois maasta ja kunnostetaan paikanpäällä (*on site*) tai kuljetetaan muualle puhdistettavaksi (*off site*).

Kaikki kunnostusmenetelmät eivät varsinaisesti ole maaperän puhdistamista, vaan osassa menetelmiä pyritään pelkästään vähentämään haittavaikutuksia esimerkiksi estämällä kemikaalin leviämistä ympäristöön. Kunnostus voidaan toteuttaa myös siirtämällä pilaantunut maa-aines muualle vähemmän ympäristöriskiä omaavaan kohteeseen, kuten kaatopaikalle (Jeltsch, 1990). Pilaantuneiden kohteiden kunnostus ei usein rajoitu pelkästään pilaantuneen maaperän puhdistukseen. Usein haitalliset aineet ovat levinneet myös pohjaveteen, joka on puhdistettava maaperän puhdistuksen yhteydessä. Tässä luvussa keskitytään varsinaisiin maa- ja pohjaveden puhdistustekniikoihin. Kaatopaikkasijoitusta tarkastellaan lähemmin luvussa 4.

3.2.1 Biotekniset käsittelymenetelmät

Bioteknisellä puhdistuksella tarkoitetaan maaperää pilaavien haitta-aineiden hajottamista mikrobien tai niiden tuottamien entsyymien avulla. Bioremediaation onnistumiseksi tulee ympäristön olosuhteita säätää mikrobien kasvuille mahdollisimman optimaaliseksi.

Mikrobit tarvitsevat menestyäkseen hiilen ja energian lähteen sekä ravinteina typpeä ja fosforia. Onnistunut biohajoaminen vaatii myös mikrobien kasvulle edullisen maan kosteus- ja happipitoisuuden, lämpötilan sekä pH:n (EPA, 1995).

Mikrobeille suotuisan kosteuspitoisuuden on määritetty olevan 40-85 % maaperän vedenpidätyskyvystä. Liian suurta maaperän kosteuspitoisuutta tulisi kuitenkin välttää, koska se voi haitata mikrobien hapensaantia. Mikrobeille suotuisan hiili:typpi:fosfori suhteen on arvioitu olevan joko 100:10:1 tai 100:1:0,5 olosuhteista ja mikro-organismeistä riippuen. Optimaalinen kasvu pH on puolestaan 6-8 (EPA, 1995).

Bioteknisiä menetelmiä on mahdollista soveltaa kaikkiin pieneliöiden toimesta hajoaviin orgaanisiin yhdisteisiin. Menetelmiä on kuitenkin sovellettu pääasiassa öljyillä ja polttoainehiilivedyillä sekä kloorifenoleilla saastuneen maan puhdistukseen (Valo, 1996). Huonommin hajoavat yhdisteet kuten voimakkaasti klooratut dioksiinit (Kao *et al.*, 2001), PCB (Rhee *et al.*, 1993) sekä suurimolekyyliset PAH yhdisteet (Eriksson *et al.*, 2000) eivät sovellu niin hyvin biologisesti hajotettavaksi.

Haitta-aineiden biohajoamiseen perustuvia menetelmiä on useita ja niitä voidaan soveltaa sekä pilaantuneen maan että pohjaveden puhdistukseen. Tässä luvussa on esitetty bioteknisistä kunnostusmenetelmistä ainoastaan yleisimmät, peltokäsittely ja kompostointi. Näiden lisäksi myöhemmin luvussa 3.2.5 esitettävät huokosilmatekniikat kuuluvat osittain bioteknisiin kunnostusmenetelmiin.

Peltokäsittely (Landfarming)

Peltokäsittelyssä pilaantunut maa-aines levitetään maahan ohueksi noin 15-50 cm paksuiseksi kerrokseksi ja maata käsitellään tavallisen maanviljelyn keinoin kyntämällä ja lannoittamalla. Kyntämällä saadaan sekoitettua ja ilmastettua maa-ainesta, jolloin aineensiirto ja haitta-aineiden biosaatavuus paranee. Mikrobien kasvuolosuhteita voidaan parantaa lannoittamalla ja kastelemalla maata. Maahan voidaan lisätä myös täyteaineita tai orgaanista ainesta maan huokoisuuden ja läpäisevyyden parantamiseksi (Eweis *et al.*, 1998).

Menetelmä voidaan suorittaa *in situ* tai *ex situ* menetelmänä riippuen saastuneesta kohteesta, haitta-aineen ominaisuuksista ja pitoisuudesta. *In situ* käsittely soveltuu alueille, joissa maaperä on huonosti läpäisevää ja saasteen kulkeutuminen pohjaveteen estyy.

Useimmissa tapauksissa kunnostamista ei kuitenkaan voida suorittaa paikanpäällä, jolloin maa-aines joudutaan kaivamaan pois käsiteltäväksi muualla (Eweis *et al.*, 1998).

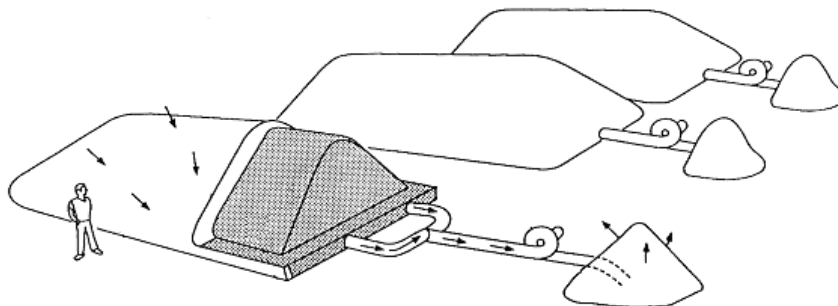
Peltokäsittely on yksinkertaisesti toteutettava pilaantuneiden maiden käsittelymenetelmä ja kilpailee hyvin käsittelykustannuksiltaan muiden menetelmien kanssa (EPA, 1995). Menetelmä on tehokas suurille haitta-ainepitoisuuksille ja haitta-aineiden hajoaminen tapahtuu muutamassa vuodessa haitta-aineista ja mikrobiston hajotuskyvystä riippuen (Jeltsch, 1990).

Kompostointi

Kompostointi on haitta-aineiden *ex situ* käsittelymenetelmä (Jørgensen *et al.*, 1999), jossa aineet hajoavat aerobisesen hajotuksen kautta tuottaen lämpöenergiaa sekä orgaanisia ja epäorgaanisia aineita. Lämpötilan muutosten osalta kompostointi voidaan jakaa neljään osa-alueeseen: mesofiilinen, termofiilinen, jäähtyminen ja kypsyminen. Lämpötilan mukana muuttuu myös kompostin mikrobikanta (Semple *et al.*, 2001).

Kompostointi voidaan suorittaa avoimesti aumoissa tai kasoissa sekä suljetusti rumpukompostoreissa tai bioreaktoreissa. Aumakompostit ovat yleensä 3-4 metriä leveitä ja noin 1,2–1,5 metriä korkeita. Kasakompostit ovat yleensä aumakomposteja hieman suurempia niiden ollessa keskimäärin noin 3 metriä korkeita (Eweis *et al.*, 1998).

Täyteaineiden, kuten puun kuoren tai oljen korsien lisäämisen avulla saadaan parannettua kompostin kuohkeutta, jonka seurauksena hapen kulkeutuminen paranee ja kompostin kosteuspitoisuus pienenee (Semple *et al.*, 2001). Mikrobien hapensaantia voidaan edistää myös kääntämällä kompostia ajoittain. Kääntämisen avulla saadaan lisäksi parannettua haitta-aineiden biosaatavuutta sekä tasoitettua lämpötilaeroja kompostin eri osien välillä. Ilmastus voidaan hoitaa kääntämisen lisäksi myös ilmastointilaitteiston avulla imemällä tai puhaltamalla ilmaa kompostikasan läpi. Imemällä toteutettu ilmastoinnin avulla voidaan hallita haitallisten haihtuvien yhdisteiden pääsyä ympäristöön (Kuva 3.2). Koneellisen ilmastoinnin avulla voidaan happipitoisuuden lisäämisen ohella myös lämmittää kompostia (Eweis *et al.*, 1998). Ravinteita voidaan lisätä muun muassa lannan (EPA, 1995), puhdistamolietteen tai kompostin muodossa. Näiden ravinteiden myötä lisääntyy myös maaperän mikrobipopulaatio (Namkoong *et al.*, 2002).



Kuva 3.2. Koneellisella ilmastoinnilla toteutettu kasakomposti (Corbitt, 1989, muokattu).

Suljetuissa kompostointisysteemeissä kuten rumpukompostoinnissa sekä bioreaktorissa haitta-aineiden hajoamisolosuhteet kuten happi-, kosteus ja ravinnepitoisuus sekä lämpötila saadaan säädettyä avoimia kompostointimenetelmiä paremmin. Helpomman prosessin säätämisen vuoksi pilaantuneiden maiden käsittelyaikaa voidaan huomattavasti lyhentää. Suljetuissa kompostoreissa voidaan myös hallita paremmin haihtuvia yhdisteiden kulkeutumista ympäristöön. Rumpukompostorin huonona puolena on kuitenkin pieni käsittelykapasiteetti, joten se ei sovellu kovin suurien maa-ainesmäärien kunnostamiseen (Jeltsch, 1990).

Kompostoinnin etuna on muun muassa alhaiset pääoma- ja käyttökustannukset, suunnittelun ja toteutuksen yksinkertaisuus ja suhteellisen korkea käsittelytehokkuus (Namkoong *et al.*, 2002). Kompostoinnilla ei kuitenkaan yleensä päästä yli 95 % reduktioon ja suuret raskasmetallipitoisuudet voivat lisäksi inhiboida mikrobien kasvua heikentäen menetelmän toimivuutta. Kompostointi ei myöskään ole kovin tehokas erittäin suurille haitta-ainepitoisuuksille (EPA, 1995).

3.2.2 Stabilisaatio

Stabilisaatio on kunnostusmenetelmä, jonka tarkoituksena on vähentää haitta-aineiden leviämistä ja samalla parantaa maa-aineksen fysikaalisia ominaisuuksia. Menetelmässä ei varsinaisesti pyritä poistamaan tai vähentämään maaperän saastepitoisuuksia. Stabilisaatio on mahdollista toteuttaa kohteesta riippuen *in situ*, *on site* tai *off site* menetelmänä (Jeltsch, 1990).

Stabilisaatio voidaan jakaa edelleen immobilisaatioon, kiinteytykseen ja kotelointiin saasteiden sitomistavasta riippuen. Kiinteytyksessä maa-aineksessa olevat haitta-aineet sidotaan fysikaalisesti ja immobilisaatiossa kemiallisesti kiinteään sideainematriisiin. Koteloinnissa saasteiden leviäminen estetään ympäröimällä pilaantunut maa-aines millä tahansa sitomismenetelmällä (Jeltsch, 1990).

Kiinteytyksen seurauksena epäpuhtauksien liikkuvuus ja liukoisuus pienenevät. Haitta-aineiden kulkeutuminen ympäristöön vähenee myös ympäristön kanssa kosketuksissa oleva pinta-alan pienetessä, jonka kautta epäpuhtauden pääsevät kulkeutumaan ympäristöön (Mäkelä ja Höynälä, 2000). Immobilisaatio perustuu hapetus-pelkistys reaktioihin, pH-arvon muuttamiseen tai haitta-aineen kompleksoimiseen. Näiden avulla voidaan muuttaa lähinnä metalleja niukkaliukoisempaan muotoon vähentäen ympäristöön kulkeutuvaa pitoisuutta (Jeltsch, 1990). Usein pilaantuneiden maamassojen stabiloinnissa yhdistetään sekä kemiallisia että fysikaalisia menetelmiä (stabilization/solidification, S/S), jolloin ympäristöriskin vähentämisen lisäksi saadaan lisättyä maamassan hyötykäytettävyyttä teknisten ominaisuuksien parantumisen myötä (Dermatas and Meng, 2003).

Yleisimmin Suomessa käytetty kiinteytysmenetelmä on betonointi. Kiinteytyksessä käytetään muun muassa myös kalkkia, ferrosulfaattia, bitumia, sekä joitain teollisuuden jäteaineita (Markkanen, 1998) kuten lentotuhkaa (Dermatas and Meng, 2003). Käytetyn sideaineen valinta riippuu haitta-aineen luonteesta (Jeltsch, 1990). Tämän vuoksi stabiloinnissa ennakkoon tehtävät laboratoriokokeet ovat tärkeitä oikean sideainereseptin määrittämiseksi (Mäkelä ja Höynälä, 2000).

Kiinteytys sopii kaikille maatyypeille, mutta helpoimmin käsiteltäviä maita ovat hiekkamaat. Hienojakoisten ja runsaasti orgaanista ainetta sisältävien metallimaiden stabilointi voi olla ongelmallisempaa. Parhaiten kiinteytys soveltuu metalleilla pilaantuneiden maamassojen käsittelyyn. Heikosti kiinteytykseen soveltuvia maamassoja ovat suuria määriä muun muassa dioksiineja, PCB:tä, torjunta-aineita, elohopeaa sisältävät maat (Mroueh *et al.*, 1996).

3.2.3 Termiset menetelmät

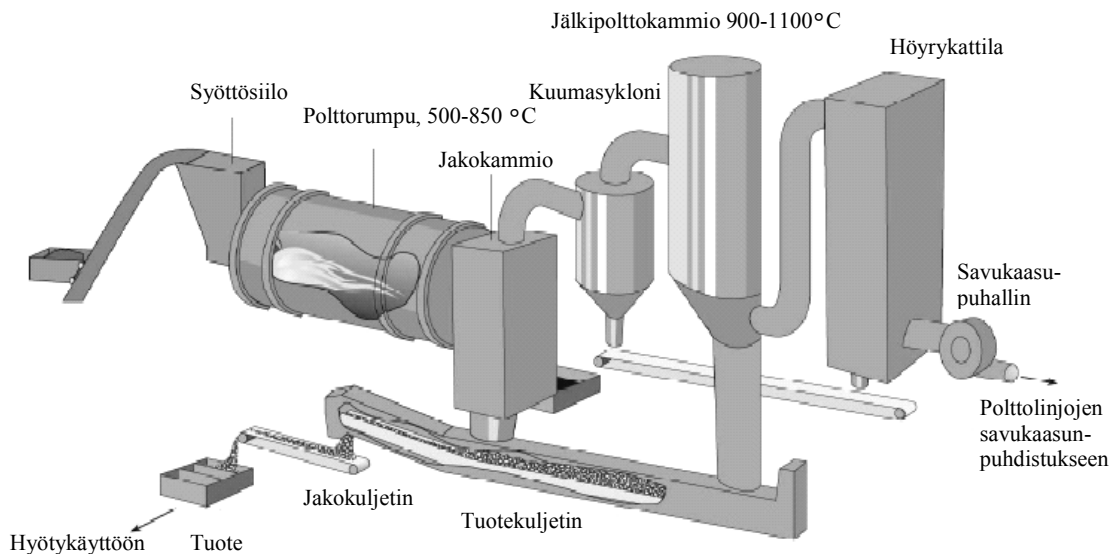
Termiset menetelmät ovat suoritukseltaan varmimpia pilaantuneiden maamassojen käsittelymenetelmiä. Niiden avulla voidaan käsitellä lähes kaiken tyyppisiä maamassoja humus ja hienoainespitoisuudesta riippumatta. Haittapuolena termisillä menetelmillä on suuri energian tarve, joka johtuu suuresta haihdutettavan veden määrästä ja maa-aineksen suuresta ominaislämmöstä. Energian tarvetta voidaan kuitenkin vähentää esikäsitteilyllä ja lämmön kierrättämisellä (Jeltsch, 1990).

Termiset pilaantuneen maan käsittelyprosessit voidaan jakaa matala- tai korkealämpötilaprosesseihin. Matalan lämpötilan terminen puhdistusprosessi soveltuu parhaiten haihtuville yhdisteille ja pienille haitta-ainepitoisuuksille (Salonen, 1996). Matalan lämpötilan prosessi ei sovellu kloorattuja yhdisteitä sisältävien maamassojen polttoon PCDD/F yhdisteiden muodostumisen vuoksi (Markkanen, 1998). Korkealämpötilaprosessit soveltuvat puolestaan hyvin lähes kaiken tyyppisten massojen käsittelyyn. Yleisimmin pilaantuneita maita käsitellään rumpu-uunin avulla, jota on käytetty myös sementti ja kevytsorateollisuudessa. Muita termisiä käsittelymenetelmiä ovat muun muassa leijupeti, vitrifikaatio, infrapunauuni ja plasmauuni (Salonen, 1996).

Termisessä käsittelyssä orgaaniset yhdisteet voivat haihtua, muuttua toisiksi orgaaniksi yhdisteiksi tai hajota täydellisesti (Salonen, 1996). Prosessi on yleensä kaksivaiheinen. Aluksi haitalliset yhdisteet poltetaan maamassasta jonka jälkeen ne tuhoetaan jälkipoltossa. Jälkipolton lisäksi polttokaasut puhdistetaan erilaisista hiukkasista ja haitallisista yhdisteistä erilaisten suodattimien ja pesurien avulla (Jeltsch, 1990).

Ekokem Oy:llä on pilaantuneiden maiden käsittelyä varten kaksi polttolinjaa, massanpolttolinja sekä tehopolttolinja. Massapolttolinjassa maa-aines käsitellään polttamalla sitä rummussa 500–700°C:n lämpötilassa. Tehopolttolinjassa poltto tapahtuu massanpolttolinjaa korkeammassa 1300–1400°C:n lämpötilassa, mikä vastaa ongelmajätteen polttoon tarkoitettuja olosuhteita. Molemmissa prosesseissa höyrystyneet haitta-aineet käsitellään polttamalla ne jälkipolttokammiossa 1050°C:ssa (Kuva 3.3) (Salonen, 1996). Turun Greensoil Oy:llä on myös käytössä terminen polttolaitteisto öljyillä ja PAH-yhdisteillä pilaantuneiden maiden käsittelyä varten. Tässä prosessissa maamassojen polttolämpötila on 200–500 °C ja jälkipoltto suoritetaan vähintään 850 °C:n lämpötilassa (Markkanen, 1998).

Termistä polttoa varten on olemassa siirrettäviä, puolisiirrettäviä ja kiinteitä laitteistoja. Siirrettävät ja puolisiirrettävät laitteistot soveltuvat suurempien massamäärien käsittelyyn. Pienempien massamäärien käsittely on puolestaan kannattavampaa kiinteässä polttolaitoksessa (Salonen, 1996).



Kuva.3.3. Ekokem-Palvelut Oy:llä käytössä oleva terminen polttolaitteisto (Ekokem-palvelu Oy, 2003b).

3.2.4 Maaperän pesu

Maaperän pesu kuuluu haitta-aineiden *ex situ* käsittelymenetelmiin, jossa maamassaa pesemällä siirretään haitta-aineet maa-aineksesta pesunesteeseen. Pesua tehostetaan usein käyttämällä pesua tehostavia lisäaineita. Menetelmä soveltuu hyvin sekä orgaanisilla (Lorenzen *et al.*, 2001) että epäorgaanisilla haitta-aineilla pilaantuneiden maiden käsittelyyn (Hong *at al.*, 2002). Pilaantuneiden maamassojen pesu soveltuu parhaiten vähän humusta sisältävien maiden käsittelyyn. Chun ja Kwanin (2003) tekemän tutkimuksen mukaan haitta-aineen irtoaminen maasta tehostui aina maa-aineksen humuspitoisuuden pienentyessä (Chu and Kwan, 2003).

3.2.5 Huokosilmatekniikat

Huokosilmatekniikat ovat *in situ* käsittelymenetelmiä, jotka soveltuvat pilaantuneen maaperän tai pohjaveden kunnostukseen. Menetelmän etuna on se, että maamassoja ei tarvitse kaivaa pois maasta, jolloin uusia sijoituskohteita ei tarvita (Eweis *et al.*, 1998) Haitta-aineiden poistuminen maaperästä perustuu fysikaalisiin tai biologisiin menetelmiin

ja onnistuneen kunnostuksen suorittaminen vaatii tarkkoja tutkimuksia muun muassa haitta-aineiden ominaisuuksien ja alueen geologian suhteen (Hinchee, 1994).

Biotuuletus (Bioventing)

Biotuuletus on prosessi, jossa stimuloidaan maaperän syntyperäisiä mikro-organismeja syöttämällä maan vedellä kyllästymättömään vyöhykkeeseen ilmaa. Ilman lisäksi maahan voidaan lisätä mikrobeille sopivia ravinteita. Menetelmä sopii pääasiassa kaikille biohajoaville kemikaaleille, mutta sen on huomattu soveltuvat erityisen hyvin polttoaineiden hiilivedyillä pilaantuneiden maiden kunnostukseen (EPA, 1995).

Kemikaalien poistumistapa maaperästä riippuu paljon niiden haihtumisominaisuuksista. Korkean höyrynpaineen omaavilla aineilla kemikaalien poistuminen haihtumisen kautta on yleisempää, kun taas alhaisen höyrynpaineen omaavat aineet poistuvat pääasiassa hajoamalla biologisesti (Hinchee, 1994). Biotuuletuksessa on tarkoituksena poistaa haitta-aineet maaperästä pääasiassa hajottamalla ne biologisesti. Haihtuvien yhdisteiden määrää yritetään pitää mahdollisimman pienenä alhaisen virtaaman avulla (EPA, 1995).

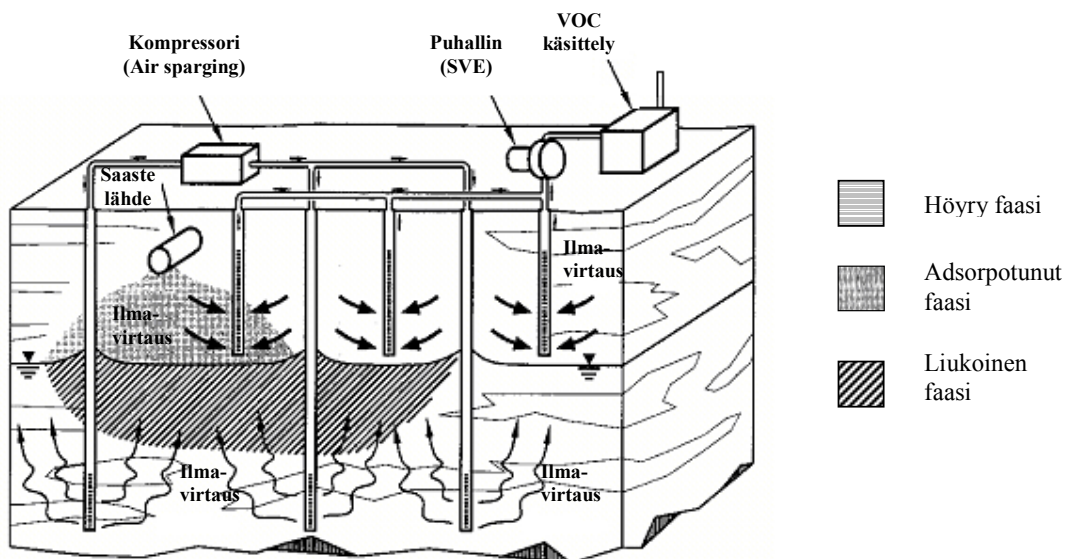
Huokosilmäkäsittely (Soil Vapor Extraction, SVE)

Huokosilmäkäsittely on yleisimmin käytetty menetelmä haihtuvilla (VOC) ja puolihaihtuvilla orgaanisilla (SVOC) yhdisteillä pilaantuneiden maiden kunnostuksessa. Menetelmässä haihtuvia haitta-aineita pyritään poistamaan maaperän kyllästymättömästä vyöhykkeestä pääasiassa haihtumisen kautta (EPA, 1995; Heron *et al.*, 1998). Alipaineen avulla saadaan maassa oleva ilma virtaamaan putkistoon tai imukaivoihin. Puhdas ilma kiertää ulkopuolelta saastuneen maan läpi mikä saa aikaan tasapainon häiriintymisen neste- ja kaasufaasin välille parantaen heikommin haihtuvien yhdisteiden haihtuvuutta. Oikovirtauksien estämiseksi maaperä tulee peittää ilmatiiviillä muovikalvolla. Poistoilma voidaan puhdistaa esimerkiksi aktiivihiilisuodattimella tai kaasupesurilla (Jeltsch, 1990).

Haitta-aineiden poistotehokkuutta rajoittavat kemikaalin hidas desorptio, maaperän huono läpäisevyys, höyryfaasista tapahtuva adsorptio sekä haitta-aineen huono haihtuvuus. Kemikaalien haihtuvuutta ja liikkuvuutta voidaan parantaa maan lämmityksen avulla (Heron *et al.*, 1998).

Paineilmapumppaus (Air sparging, AS)

Paineilmapumppaus eroaa biotuuleuksesta siten, että se suoritetaan pohjaveden pinnana alapuolella vedellä kyllästyneessä vyöhykkeessä (EPA, 1995). Paineilmapumppauksessa injektoidaan ilmaa maahan pohjaveden alapuoliseen vyöhykkeeseen. Tämä lisää haitta-aineiden biohajoamista ja hapen siirtymistä pohjaveteen lisäten kemikaalien fysikaalista poistumista haihtumisen kautta (Brown, 1994). Yleisesti paineilmapumppausta on yhdistetty muiden kunnostusmenetelmien kuten huokosilmapumppauksen kanssa (AS/SVE). Yhdistämällä näitä tekniikoita voidaan vähentää haitta-aineiden leviämistä, koska huokosilmapumppauksen avulla haihtuvat aineet kerätään imukaivoihin (Kuva 3.4) (EPA, 1995).



Kuva 3.4. Paineilmapumppaus (Air sparging) yhdistettynä huokosilmakäsittelyn (SVE) kanssa (EPA, 1995).

3.3 Kunnostusmenetelmän valintakriteerit

Kunnostustöiden tavoitteena tulee ensisijaisesti olla pilaantuneen alueen aiheuttaman ympäristö- ja terveysriskin poistaminen pysyvästi. Mikäli tämä ei ole mahdollista kohteesta aiheutuvaa vaaraa tai haittaa tulee pyrkiä pienentämään merkittävästi. Kunnostustöissä tulisi käyttää taloudellisesti parasta käyttökelpoista tekniikkaa, jonka avulla päädytään mahdollisimman hyvään puhdistustulokseen. Tavoitteena tulisi olla kohteen maankäytön rajoittamattomat käyttömahdollisuudet kunnostustoimien jälkeen (Puolanne *et al.*, 1994).

Kunnostusmenetelmän valintaan vaikuttaa ensisijaisesti kunnostusmenetelmän soveltuvuus tilanteeseen. Menetelmän soveltuvuuteen vaikuttaa muun muassa haitta-aineiden ominaisuudet, pitoisuus sekä maaperän ominaisuudet, kuten rakeisuus ja orgaanisen aineksen määrä (Strandberg, 1999). Lisäksi muun muassa pilaantuneen kohteen sijainnilla, alueella sijaitsevilla rakennuksilla, vuodenajalla sekä alueen nykyisellä ja tulevalla maankäytöllä on vaikutus menetelmän valinnassa (Jeltsch, 1990).

Esimerkiksi haitta-aineiden ominaisuuksien osalta orgaanisilla ja epäorgaanisilla yhdisteillä pilaantuneen alueen kunnostamiseksi soveltuvat pääasiassa eri menetelmät. Mikäli maaperä on saastunut sekä orgaanisilla, että epäorgaanisilla aineilla tulee maamassojen kunnostamisessa soveltaa useita menetelmiä (Strandberg, 1999). Kohteen sijainnin osalta täytyy huomioida muun muassa asutuksen ja pohjavesialueen läheisyys, mitkä rajoittavat kunnostusmenetelmän valintaa. Nykyinen ja tuleva maankäyttö puolestaan määrää tarvittavan puhdistustason, joka puolestaan asettaa vaatimukset valittavan kunnostusmenetelmän puhdistustehokkuudelle (Jeltsch, 1990).

Kunnostusmenetelmän soveltuvuuden lisäksi menetelmän valinnassa tärkeä tekijä on kustannukset. Menetelmäksi valitaan usein kustannustasoltaan edullisin soveltuva menetelmä. Käsittelykustannusten lisäksi *on site* ja *off site* menetelmissä kustannuksia aiheuttaa maamassan kaivaminen ja *off site* menetelmässä maamassojen kuljettaminen (Strandberg, 1999). Kaikkien kunnostusmenetelmien osalta tulisi lisäksi huomioida esivalmisteluihin, jälkihoitoon sekä käsittelyä tukevien toimiin kuluva rahallinen osuus (Mroueh *et al.*, 1996).

Käsittely- ja kuljetuskustannusten vuoksi pienemmät kohteet kannattaa usein kuljettaa muualle kunnostettavaksi. Suurempia massamäärien kohdalla kuljetuskustannukset saattavat nousta korkeaksi, jolloin kunnostaminen paikanpäällä on kannattavampaa. Pilaantuneiden alueiden kunnostaminen *in situ* on myös edullista, mikäli kunnostettava alue sijaitsee rakennetulla alueella koska siinä ei tarvitse kaivaa maata eikä purkaa rakennuksia kunnostustöiden alta. Paikanpäällä kunnostus ei kuitenkaan sovellu aina asutuksen läheisyydessä toteutettavaksi. Menetelmän toteutettavuutta voi vaikeuttaa myös esimerkiksi pohjavesialueen läheisyys (Strandberg, 1999).

Kunnostusmenetelmien soveltuvuuden ja kustannusten lisäksi menetelmän valintaan voi vaikuttaa muun muassa kunnostuksesta aiheutuvat terveydelliset ja ympäristölliset

vaikutukset sekä kunnostukseen käytettävä aika ja lainsäädäntö (Jeltsch, 1990). Esimerkiksi alueen kunnostaminen biologisilla menetelmillä vie huomattavasti enemmän aikaa, verrattuna massanvaihdolla suoritettuun kunnostukseen.

4. Maamassojen hyödyntäminen maarakentamisessa

Suomessa käytetään vuosittain noin 70 miljoonaa tonnia luonnon kiviainesta maarakentamisessa. Sora- ja kiviaineksen käyttö on ollut niin laajaa, että hyvälaatuisen kiviaineksen saatavuus on nykyään tullut jo paikoittain ongelmalliseksi. Hyvien luonnon materiaalien saatavuuden vähentymisen vuoksi tarve vaihtoehtoisten materiaalien löytämiseksi on kasvanut. Luonnon maa-aineksen vähentymisen vuoksi kiviaineksen kuljetusmatkat ovat pidentyneet, jolloin lähempää saatavien vaihtoehtoisten raaka-aineiden käyttö olisi sekä taloudellisesti että ympäristön kannalta parempi ratkaisu (Mroueh *et al.*, 2000).

Arvokkaiden luonnonmineraalien käyttöä voidaan vähentää hyödyntämällä rakenteissa materiaaleja, jotka ovat ominaisuuksiltaan luonnon mineraalien kaltaisia (Mäkelä ja Höynälä, 2000). Monien teollisuustuotteiden osalta, kuten jäterenkaiden, paperiteollisuuden kuitu- ja pastalietteiden sekä betonimurskeiden käytöstä onkin jo monien vuosien kokemus (Mroueh *et al.*, 2000). Teollisuustuotteiden lisäksi pilaantuneiden maiden kunnostuksessa syntyviä lievästi pilaantuneita maamassoja tai tietyille pitoisuustasolle kunnostettuja maa-aineksia on mahdollista hyödyntää maarakentamisessa (Mäkelä ja Höynälä, 2000).

Hyötykäyttökohteen valinnassa olisi hyvin tärkeä huomioida hyödyntämisestä aiheutuvat mahdolliset ympäristövaikutukset uudessa sijoituskohteessa. Maamassoja sijoitettaessa olisi tärkeää, että haitalliset ympäristövaikutukset eivät lisääntyisi alueen alkuperäiseen ympäristöön verrattuna (Mroueh *et al.*, 1996). Haitallisten seurausten ehkäisemiseksi maamassojen hyödyntämiselle on esitetty tiettyjä kriteereitä haitta-aineiden maksimipitoisuudelle, haitta-aineiden liukoisuudelle sekä sijoituspaikan olosuhteille (Mäkelä ja Höynälä, 2000).

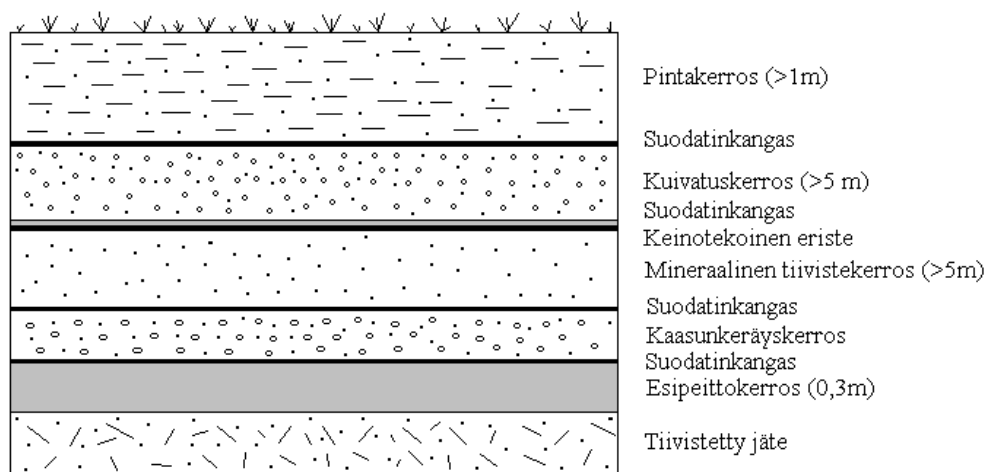
4.1 Hyödyntämiskohteet

Sijoituskohdetta valittaessa on erityisen tärkeä huomioida pohjavesialueen läheisyys. Pilaantuneita maamassoja ei tulisi sijoittaa tärkeille pohjavesialueille, läpäiseville hiekka- tai sora-alueille tai kohteisiin, joissa pohjavedenpinta on korkealla. Pohjaveden pinnan ja sijoitettavan materiaalin välissä tulisi olla vähintään 1 metrin kerros heikosti vettä läpäisevää materiaalia. Sijoituskohteessa massat tulisi peittää puhtaalla maalla, muilla

käyttökohteen mukaisilla rakennekerroksilla tai vettä läpäisemättömällä kerroksella, mikäli haitta-aineiden liukoisuus edellyttää sitä (Ks. Taulukko 4.2) (Mäkelä ja Höynälä, 2000).

Lievästi pilaantuneiden maamassojen tavanomaisia käyttökohteita on ollut kaatopaikkojen väli- sekä pintarakenteet. Mahdollisia käyttökohteita olisivat myös tierakenteet sekä erilaiset maa- ja meluvallit (Mäkelä ja Höynälä, 2000). Kaatopaikan välirakenteissa hyödynnettävät maamassat ovat päivittäisessä jätteiden esipeitossa käytettäviä maa-aineksia. Kaatopaikan pintarakenteiden osalta mahdollinen hyödyntämiskohde on tiivistetyn jätteen yläpuolelle tuleva esipeittokerros (Kuva 4.1). Valtioneuvoston päätöksessä on kaatopaikan rakenteille esitetty tiettyjä kerrospaksuus ja tiiveysvaatimuksia (VNp 1999/1049). Suositeltava esipeittokerroksen paksuus on 0,3 metriä (Leppänen, 1998). Pilaantuneiden maamassojen hyödyntäminen kaatopaikalla on hyväksyttävää, jos maamassat ovat pitoisuuksiltaan ja ominaisuuksiltaan käyttökelpoisia kaatopaikan rakenteissa (Mroueh *et al.*, 1996).

Melu- ja maavallien osalta pilaantuneet maat soveltuvat hyödynnettäväksi vallin täyttörakenteessa. Täytön on tarkoitus toimia päälle tulevien rakenteiden alusrakenteena (Mäkelä ja Höynälä, 2000).



Kuva 4.1 Esimerkki kaatopaikan pintarakenteesta (Leppänen, 1998, muokattu).

4.2 Hyötykäyttökelpoisuuden arviointi

4.2.1 Haitta-aineiden maksimipitoisuudet

Pilaantuneiden maamassojen hyödyntämiselle ei ole asetettu lain mukaisia pitoisuusrajoja, vaan lupa maamassojen hyödyntämiseksi riippuu lupaviranomaisesta. Yleinen käytäntö pilaantuneiden maamassojen osalta on ollut, että niitä on voitu hyödyntää kaatopaikkojen

pinta- ja välirakenteissa mikäli pitoisuudet alittavat SAMASE- projektissa määritellyt ohjearvot.

Pilaantuneiden maamassojen hyötykäytöllä maarakennuksessa ja kaatopaikalla on esitetty kirjallisuudessa ohjearvoja maksimipitoisuuksille (taulukko 4.1). Esitetyt pitoisuudet perustuvat pääosin SAMASE-projektin yhteydessä esitettyihin arvoihin. Ohjearvoissa on lisäksi huomioitu orgaanisen aineksen vaikutusta haitta-aineiden kulkeutumisominaisuuksiin (Mroueh *et al.*, 1996).

Taulukko 4.1. Ehdotus saastuneiden maa-ainesten maarakennus- ja kaatopaikkarakennekäytön ohjearvoksi (Mroueh *et al.*, 1996).

Haitta-aine	Enimmäispitoisuus	
	Käyttö maarakennuksessa [mg/kg] (Org. aineksen osuus ≤ 10 %) [*]	Käyttö kaatopaikan rakenteissa [mg/kg] (Org. aineksen osuus ≤ 20 %) ^{**}
Arseeni	50	50
Antimoni	40	40
Elohopea	5	10
Kadmium	10	12
Koboltti	200	200
Kromi (VI)	10	10
Kromi (III)	400	500
Kupari	400	600
Lyijy	300	500
Molybdeeni	200	200
Nikkeli	200	200
Seleeni	10	10
Sinkki	700	1000
Vanadiini	500	500
Syanidi (kompl.)	50	50
Syanidi (vapaa)	1	50
Kloorifenolit	1	10
Fenoli	10	50
Bentseeni	1	10
Tolueneeni	1,25	25
Ksyleeni	1,25	25
BTEX	5	50
Mineraaliöljyt	500	2000
Alifaat. Hiilivedyt	500	2000
Dikloorimetaani	4	15
Trikloorimetaani	3	10
Trikloorieteeni		15
Alifaat. Kloor. hiiliv.yht.	10	25
PAH-kok	40	120
Klooribentseenit	1	10
PCB	1	10

^{*}) Jos maa-aineen orgaanisen aineksen osuus ylittää 10%, voidaan harkita jonkin verran suurempien orgaanisten epäpuhtauspitoisuuksien sallimista. Yli 10% orgaanista ainesta sisältävä materiaali ei sovellu kaikkien maarakennuskäyttöön.

^{**}) jos maa-aineen orgaanisen aineksen osuus ylittää 20 %, voidaan harkita, onko jonkin verran suurempien orgaanisten epäpuhtauksien salliminen mahdollista

4.2.2 Haitta-aineiden liukoisuus

Pilaantuneesta alueesta aiheutuvia ympäristövaikutuksia ei voida arvioida pelkästään tasapaino-olosuhteissa olevan maa-aineksen haitta-ainepitoisuuksien perusteella. Ympäristövaikutuksia arvioitaessa tulisi myös selvittää maa-aineksesta liukenevien haitta-aineiden määrää erilaisissa olosuhteissa liukoisuustestien avulla. Yleisimpiä liukoisuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat pH, redox-potentiaali, neste/kiinteä-suhde (Van der Sloot, 1998), uuttoveden laatu ja lämpötila sekä kompleksinmuodostus. Näistä liukoisuuteen vaikuttavista tekijöistä erityisesti pH ja redox olosuhteiden vaikutuksen testaaminen on tärkeintä. pH muutosten vaikutuksia on erityisen tärkeä tutkia suuria raskasmetallipitoisuuksia sisältävistä maista (Wahlström ja Laine-Ylijoki, 1997).

Liukoisuustestit voidaan jakaa kahteen ryhmään liukoisuustapahtuman luonteeseen perustuen. Testi voi olla tasapaino-olosuhteissa tapahtuva, johon kuuluu sarjassa tehtävät ravistelutestit ja pH-staattiset testit. Dynaamisia ominaisuuksia määrittävillä testeillä kuvataan ajan vaikutusta liukoisuuteen. Tähän ryhmään kuuluvat kolonnitestit sekä kiinteytetylle jätteelle tarkoitettut testit. Granuloidulle materiaalille suositellaan käytettäväksi kolonnitestiä ja kiinteytetylle materiaalille diffuusiotestiä (Ahtiainen *et al.*, 1998).

Liukoisuustestit antavat hyvin tietoa testiolosuhteissa liuenneista aineista, mutta ympäristökelpoisuustutkimuksissa on tärkeä huomioida myös sijoituspaikan erityispiirteitä. Laboratorio-olosuhteet poikkeavat sijoituspaikan olosuhteista esimerkiksi veden laadun pH ja redox olosuhteiden, materiaalin raekokojakauman, veden virtausnopeuden ja veden kontaktiajan, kiinteytetyn materiaalin vedenkosketustavan, lämpötilan, sijoitettavaa materiaalia ympäröivän maan sekä ilman ja ikääntymisvaikutusten osalta (Wahlström ja Laine-Ylijoki, 1997).

Hollantilainen kolonnitesti (NEN 7343) on Suomessa yleisimmin käytetty menetelmä, jonka on huomattu parhaiten kuvaavan sijoituspaikan olosuhteita ja epäorgaanisten aineiden liukoisuutta. Orgaanisille aineksille on olemassa ainoastaan enimmäispitoisuusarvoja (Taulukko 4.1), koska niiden leviämisen arviointiin ei ole vielä kehitetty hyviä testimenetelmiä (Mroueh *et al.*, 1996). Taulukossa 4.2 on esitetty ehdotus hyötykäytettävien pilaantuneiden maa-ainesten sallituiksi liukoisuus raja-arvoiksi. Kyseiset arvot ovat kolonnitestissä NEN 7343-testissä saatavia enimmäisliukoisuuksia.

Liukoisuusohjearvot koskevat ainoastaan käyttöä maarakennuksessa ja ne on laskettu esimerkkitaipaukselle, jossa maa-aineskerroksen paksuus on 0,7 m (Mroueh *et al.*, 1996).

Taulukko 4.2. Ehdotus maarakennuksessa hyötykäytettävien saastuneiden maa-ainesten enimmäisliukoisuuksiksi. Enimmäisliukoisuus NEN 7343-testissä (Mroueh *et al.*, 1996).

Haitta-aine	Enimmäisliukoisuus eristämättä peitettynä (*) [mg/kg]	Enimmäisliukoisuus eristettynä(**) [mg/kg]
Arseeni	0,88	7,00
Antimoni	0,045	0,43
Elohopea	0,02	0,076
Kadmium	0,032	0,066
Koboltti	0,42	2,5
Kromi (III)	1,3	12,3
Kupari	0,7	3,5
Lyijy	1,9	8,7
Molybdeeni	0,28	0,91
Nikkeli	1,1	3,7
Seleeni	0,044	0,1
Sinkki	3,8	14,7
Sulfaatti	0,067	0,38
Syanidi (kompl.)	750	22 000
Kloorifenolit		22 000

*) Sijoitus eristämättä peitettynä 0,5 – 1m maakerroksella tai muulla vastaavalla materiaalilla.

**) Sijoitus peitettynä joko mineraalieristeellä, jonka $k \leq 10^{-9}$ m/s tai muulla vastaavantasoisella eristerakenteella (vettä läpäisemätön asfaltti, vastaava yhdistelmä rakenne tms.).

Hyötykäytettäessä maa-ainesta esimerkiksi viherrakentamisessa tai metsissä tulee käyttökelpoisuus arvioida tapauskohtaisesti. Soveltuvuusarvioissa voidaan ohjeellisina raja-arvoina käyttää valtioneuvoston päätöksessä (VNp 282/94) esitettyjä enimmäispitoisuusarvoja raskasmetalleille puhdistamolietteen hyötykäytölle. Epäorgaanisille aineille voidaan käyttää SAMASE- ohjearvoja. Mikäli haitta-aineiden liukoisuus oletetaan olevan suuri, tulisi hyödynnettävälle maamassalle tehdä myös liukoisuustutkimukset (Mroueh *et al.*, 1996).

5. Kokemuksia ulkomaisista menettelysovelluksista

Pilaantuneiden maa-alueiden käsittelyä koskevat menettelytavat ja kunnostusvastuut vaihtelevat maittain ja lain yleisen kehityksen tasossakin on maiden välillä suuria eroja. Jotkut maat ovat lain säätämisessä vasta alkutekijöissään, kun taas toisilla on jo pitkät perinteen maaperän suojelussa (Puolanne, 1994; Ferguson, 1999). Tässä luvussa tarkastellaan eri maiden pilaantuneiden maiden kunnostusta koskevaa lainsäädäntöä ja yleisimpiä kunnostuksen menettelytapoja. Tarkastelukohteiksi on valittu kolme eri maata. Tanska ja Yhdysvallat, joilla on jo pitkät perinteet pilaantuneiden maiden kunnostamisessa sekä Ruotsi, joka on vasta viime vuosina alkanut kiinnittää tarkemmin huomiota ympäristön pilaantumiseen ja sen puhdistamiseen. Yhdysvallat on edistyksellisyyden lisäksi edelläkävijä erityisesti riskinarvioinnin käytössä pilaantuneiden maiden kunnostuksien yhteydessä (Mroueh, 2000).

5.1 Yhdysvallat

5.1.1 Lainsäädäntö

Yhdysvalloissa pilaantuneiden maiden kunnostusta varten on säädetty useita lakeja, joista tärkeimmät ovat Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act (CERCLA) sekä Resource Conservation recovery Act (RCRA). Näiden lisäksi on terveys- ja ympäristöriskin ehkäisemiseksi perustettu Yhdysvaltain ympäristöviraston (EPA) vastuulla oleva Superfund-ohjelma. Kunnostusvelvoitteiden ulkopuolelle jääviä kohteita varten on 1990-luvun loppupuolella käynnistetty Brownfields-ohjelma. Ohjelma jakaa tietoa ja rahoitusta kaupungeille. Ohjelman tarkoituksena on palauttaa normaaliin käyttöön pilaantuneet kohteet, joita kukaan ei maaperän pilaantuneisuuden vuoksi ole valmis ostamaan tai ottamaan käyttöön (Mroueh, 2000).

Yhdysvaltojen lainsäädännön luonteen mukaan ympäristölainsäädäntö määrää pelkästään päälinjauksen antaen laajemmat valtuudet käytännön toteutuksesta EPA:lle. EPA esittää puolestaan tarkemmat määräykset lainvoimaisissa liittovaltion päätöksissä. Pilaantuneita maita ja riskinarviointia koskevat säännökset on esitetty ”varautumissuunnitelmassa” (National Contingency Plan) (Mroueh, 2000).

5.1.2 Pilaantuneet maa-alueet ja niiden kunnostaminen

Vuonna 1996 tehdyn kartoituksen mukaan Yhdysvalloissa on arviolta lähes puolimiljoonaa mahdollisesti pilaantunutta maa-aluetta. Pilaantuneita kohteita rekisteröidään jatkuvasti, joten määrä voi tällä hetkellä olla ilmoitettua suurempi. Arvion mukaan näiden alueiden kunnostaminen tulisi maksamaan noin 187 miljoonaa dollaria ja alueiden kunnostamiseen menisi useita vuosikymmeniä (NATO, 2002).

Pilaantuneiden alueiden kunnostuksen tarpeellisuuden ja kunnostustavoitteiden määrittämisessä käytetään riskinarviointia. Riskinarviointi sisältää pilaantumisen aiheuttaman altistumisen ja siitä seuraavien riskien kartoittamisen sekä nykyhetkellä että tulevaisuudessa. Arvioinnissa määritellään terveystriskin lisäksi pilaantuneesta kohteesta aiheutuvaa ekologista riskiä (Mroueh, 2000).

Kaikkein yleisimmin Yhdysvalloissa käytetyt puhdistusmenetelmät ovat olleet SVE, kiinteytys ja stabilointi sekä termiset menetelmät (NATO, 2001). Tulevaisuudessa pyritään jatkuvasti kehittämään entistä tehokkaampia ja edullisempia puhdistusmenetelmiä. *In situ* tekniikat ovat usein *off site* menetelmiä edullisempia ja hyväksyttävämpiä, joten mielenkiinto on kohdistunut nimenomaan näiden menetelmien kehittämiseen (NATO, 2002). Viime vuosina noin puolet Superfund-kohteista onkin kunnostettu käyttäen *in situ* tekniikoita (NATO, 2001).

5.2 Ruotsi

5.2.1 Lainsäädäntö

Ruotsissa pilaantuneiden maiden kunnostukseen on alettu kiinnittää huomiota suhteellisen myöhään. Laajempaa pilaantuneita maita koskevaan selvitys- ja kunnostustoimintaan on ryhdytty vasta viime vuosina (Mroueh, 2000).

Vuonna 1999 säädettiin Ruotsiin uusi ympäristölaki (Environmental code), jossa yhdistettiin säännöksiä useista eri laeista ja sen avulla saatiin selkeytettyä pilaantuneiden maiden kunnostusvastuita sekä parannettua viranomaisten mahdollisuuksia kontrolloida ja ohjata puhdistustoimenpiteitä (NATO, 1999). Määräysten tarkoituksena on edistää

kestävää kehitystä, joka takaa puhtaan ympäristön myös tuleville sukupolville. Ympäristölaissa määrätään pilaantuneiden maa-alueiden osalta muun muassa ilmoitusvelvollisuudesta kaikista havaituista maaperään tai veteen kohdistuvista pilaantumista sekä osoitetaan mahdollisuus rekisteröidä maaperän ominaisuudet ja säätää rajoituksia maankäytölle. Laissa on myös määräykset likaantuneen maan tutkimis- ja kunnostamisvastuista. Lain mukaan ensisijainen kunnostusvastuu kohdistuu pilaantumisen aiheuttajaan ja toissijaisesti maan omistajaan (Naturvårds verket, 2003).

5.2.2 Pilaantuneet maa-alueet ja niiden kunnostaminen

Ruotsissa pilaantuneeksi alueeksi määritetään jokin alue, sijoituspaikka, maaperä, pohjavesi tai sedimentti, joka on pilaantunut tarkoituksellisesti tai tarkoituksettomasti teollisuuden tai jonkin muun toiminnan seurauksena. Pilaantuneisuus määritellään pitoisuudeksi, joka ylittää alueen ympäristön luontaisen tason (NATO, 1999).

Mahdollisesti pilaantuneita kohteita on tunnistettu Ruotsissa 12 000 kappaletta vuonna 1999 tehdyn arvion mukaan. Kohteiden kokonaismäärän arvioitiin kuitenkin olevan todellisuudessa noin 22 000 kappaletta. Teollisuuden rakenteen vuoksi suurin osa pilaantuneista alueista on metalleilla pilaantuneita. Ongelmallisia kohteita ovat muun muassa kaivokset, metallipajat, rauta- ja terässulatot sekä pintakäsittelylaitokset. Maaperää pilaa myös orgaanisia ja epäorgaanisia yhdisteitä käyttävät sellu- ja paperiteollisuus, kyllästyslaitokset sekä kaasulaitokset. Pilaantumisia aiheuttaa runsaasti myös polttoaineteollisuus, öljyvarastot ja polttoaineiden jakelupisteet (NATO, 1999).

Pilaantuneiden maiden kunnostustarve voidaan arvioida joko ohjearvojen tai riskinarvioinnin perusteella. Ensisijaisesti käytetään 36 haitta-aineelle tai aineryhmälle laadittuihin ohjearvoihin perustuvaa arviointia. Ohjearvojen puuttuessa tai jos olosuhteiden vuoksi ohjearvoja ei voida soveltaa, käytetään kunnostustarpeen määrittämiseen riskinarviointia (Mroueh, 2000).

Pilaantuneiden maiden kunnostuksissa Ruotsissa on tavoitteena käyttää menetelmiä, joiden avulla saadaan pilaantuminen poistettua kerralla. Kunnostuksissa pyritään huomioimaan lisäksi ympäristön kannalta kestäviä ratkaisuja, jolloin maamassoja ei ensisijaisesti sijoitettaisi kaatopaikalle. Tavoitteista huolimatta maamassojen sijoittaminen kaatopaikoille, kapselointi ja termiset menetelmät ovat vielä yleisimmin käytettyjä

menetelmiä. *In situ* tekniikoiden kuten SVE:n ja biotuuletuksen käyttö on kuitenkin yleistymässä (NATO, 1999).

5.3 Tanska

5.3.1 Lainsäädäntö

Tanska on edelläkävijä suhtautumisessaan pilaantuneisiin maa-alueisiin muihin pohjoismaihin verrattuna. Jo 70-luvun alussa huomioitiin erityisesti kemikaalijätettä sisältävien kaatopaikkojen aiheuttamat ympäristöongelmat. Ensimmäinen pilaantuneita maita koskeva laki säädettiin vuonna 1983. Lain täydennykseksi säädettiin vuonna 1993 arvovähennyslaki (Loss of value Act) (Ferguson, 1999).

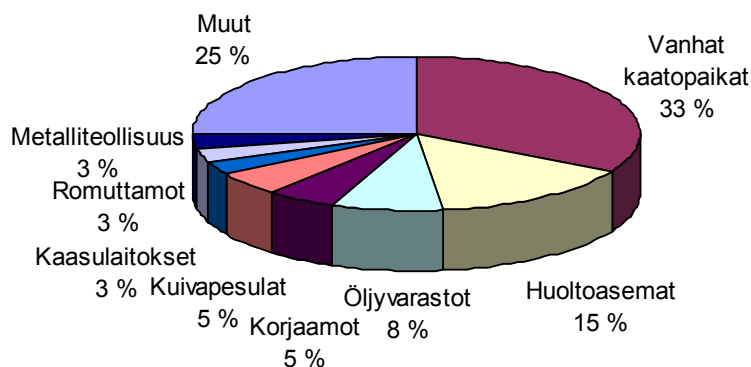
Pilaantumista koskeva lainsäädäntö yhdistettiin vuonna 2000 tulleeeseen pilaantuneita maita koskevaan lakiin (Contaminated soil act). Lain tarkoituksena on edistää maaperän pilaantumisen ennaltaehkäisyä, eliminointia ja vähentämistä sekä ehkäistä pohjavesiin, ihmisten terveyteen ja ympäristöön kohdistuvia haittavaikutuksia (Ministry of environment and energy, 2003).

Tanskassa korostetaan aiheuttajan vastuuta pilaantumisen kunnostamisessa, jolloin kiinteistön haltija ei joudu vastuuseen pilaantumisesta pelkästään kiinteistön omistamisen perusteella (Ruuska, 2001). Yleensä pilaantumisen vastuurajana pidetään 20 vuotta, jonka perusteella saastuttajaa ei voida pitää vastuullisena pilaantumistapauksesta, josta on kulunut yli 20 vuotta riippumatta siitä, onko saastuttaja toiminut vilpillisesti (Ferguson, 1999).

5.3.2 Pilaantuneet maa-alueet ja niiden kunnostaminen

Vuoteen 1999 mennessä Tanskassa on rekisteröity keskimäärin 40 000 mahdollisesti pilaantunutta kohdetta. Näistä riskikohteista 14 000 on arvioitu olevan todellisuudessa pilaantuneita. Lisäksi 200 km² alue arvioidaan pilaantuneeksi diffuusion seurauksena (NATO, 1999). Pilaantuneet kohteet rekisteröidään pilaantuneiden maiden rekisteriin, johon on vuoden 1998 tiedon mukaan kirjattu 4520 kohdetta (Prokop *et al.*, 2000). Rekisterin sisällytetään kohteet, joissa on todettu pilaantumisia kenttätutkimuksien tai

kunnostustoimien seurauksena (NATO, 1998). Eniten pilaantumisia aiheuttavat vanhat kaatopaikat, huoltoasemat sekä öljyvarastot. Yleisiä maaperän pilaajia ovat myös korjaamot, kuivapesulat, romuttamot ja metalliteollisuus (kuva 5.1).



Kuva 5.1. Pilaantumista aiheuttavien toimialojen jakautuminen Tanskassa (Prokop *et al.*, 2000).

Tanskassa julkisella rahoituksella tehtävien kunnostustoimien prioriteettijärjestyksessä huomioidaan ensisijaisesti pohjavesien suojeleminen sekä alueen käytöstä johtuva mahdollisuus haitta-aineelle altistumiselle muun muassa asuinalueina, leikkikenttinä ja terveydenhuollon käytössä olevilla alueilla. Rahoituksen perusteena ei ole käytetty maankäytön muutosta, mikäli pilaantunut alue ei aiheuta merkittäviä riskejä (Mroueh, 2000).

Pilaantuneiden alueiden kunnostukset suoritetaan vielä pääasiassa kaivamalla pilaantunut maa-aines pois maasta ja sijoittamalla maa-aines kaatopaikalle tai kunnostamalla maamassat *off site* menetelmillä. Viimeaikoina pilaantuneiden maiden kunnostus *in situ* tekniikoilla on kuitenkin yleistynyt. Tulevaisuudessa *in situ* puhdistukset tulevat vielä entisestään yleistymään uusien puhdistustekniikoiden käyttöönoton ja leviämisen myötä (NATO, 1998).

Tanskassa julkaistiin ohjeet saastuneiden alueiden kunnostuksesta vuonna 1998. Ohje sisältää periaatteet pilaantuneiden alueiden kunnostustarpeen ja kunnostustavoitteiden arviointia varten sekä suositeltavat arviointimenetelmät. Ohjeessa esitellyn pilaantuneiden maiden riskinarvioinnin perustana käytetään ilman, pohjaveden ja maaperän tavoitearvoja. Maaperän tavanomaisimmille haitta-aineille on laadittu omat tavoitearvot perustuen kemikaalien ekotoksikologisiin vaikutuksiin sekä terveysvaikutuksiin. Lisäksi haihtuville yhdisteille on määritetty omat tavoitearvot ilmassa sallituille haitta-ainepitoisuuksille (Mroueh, 2000).

6. Pilaantuneiden maiden kunnostaminen Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueella

6.1 Pilaantuneet maa-alueet Lounais-Suomessa

6.1.1 Mahdollisesti pilaantumista aiheuttavat toiminnot

Toimialaluokittelu

Suomessa suoritettiin 1980-1990-luvun taitteissa mahdollisesti pilaantuneiden kohteiden kartoitus (myöhemmin tekstissä käytetään ilmaisua riskikohde) silloisen Vesi- ja ympäristöhallinnon toimesta yhteistyössä kuntien kanssa. Kyseisessä SAMASE-projektissa riskikohde tunnistettiin sen perusteella, onko siinä harjoitettu tai harjoitetaanko siinä edelleen mahdollisesti pilaantumista aiheuttavaa toimintaa. Pilaantumisriskin näissä kohteissa aiheuttavat yleensä haitallisten aineiden käyttäminen, tuottaminen tai varastointi (Puolanne *et al.*, 1994). Tässä luvussa esitellään tarkemmin yleisimmät riskikohteiksi luokitellut toimialat ja niiden yleisimmät pilaantumisriskiä aiheuttavat haitta-aineet. Suomen ympäristökeskuksen käyttämä tarkempi toimialakohtainen luokitus on esitetty liitteessä 1.

Huoltoasemilla maaperän ja pohjaveden pilaantumista aiheuttavia toimia ovat jäteöljyjen ja romuakkujen säilytys, säiliöiden täyttö, autojen tankkaus ja säiliöiden vuotamien maaperään. Näistä toiminnoista maaperään voi päästä öljyä, bensiiniä ja akkujen lyijyä (Jaakkonen, 2001). Kyseinen toimialaluokka sisältää huoltoasemien lisäksi muun muassa venesatamien, varikkojen ja kyläkauppojen yhteydessä olevat polttoaineiden jakelupisteet sekä diesel ja automaattiasemat.

Metalliteollisuuden toimiala sisältää metallien valmistuksen, pintakäsittelyn, valimot, konepajat ja muun vastaavan metalliteollisuuden. Metalliteollisuuden päästöt riippuvatkin laitoksen koosta ja tuotantosuunnasta. Pintakäsittelylaitoksista yleisimmin maaperää pilaa pinnoitemateriaalina käytetyt metallit, kuten kupari, kromi, nikkeli, sinkki ja tina (Puolanne *et al.*, 1994). Pilaantumisriskiä voivat aiheuttaa lisäksi poltto- ja voiteluöljyjen varastointi ja valimoissa käytettävät liuottimet (Jaakkonen, 2001).

Korjaamoilla pilaantumisriskiä aiheuttavat lähinnä autojen jäähditys-, jarru-, ja kytkinnesteet, öljyt, liuottimet, maalit sekä akkuhapot. Jäteöljyt voivat sisältää paljon eri haitta-aineita kuten rikkiä, raskasmetalleja, PAH-yhdisteitä sekä kloorattuja hiilivetyjä. Romuttamoilla ongelmia aiheuttavat erityisesti kaapelien kuoret, akkujen lyijy sekä öljy ja PCB-jäänteet (Puolanne *et al.*, 1994; Jaakkonen, 2001).

Puutuoteteollisuuden katsotaan luokituksen mukaan kuuluvaksi sahat, suola- ja kreosoottikyllästämöt sekä muu mekaaninen puunjalostus. Puutuoteteollisuudessa käsiteltäviä ympäristölle vaarallisia aineita on lähinnä puunsuoja- ja limantorjuntakemikaalien tehoaineet. Ympäristön pilaantumista aiheuttavat pääasiassa sinistymisenestoaineena käytetty kloorifenoli, mutta alueilta voi löytyä myös raskasmetalleja kuten kuparia, kromia, arseenia, sekä halogenoituja hiilivetyjä ja PAH-yhdisteitä. Kuitulevyteollisuusalueilta voi lisäksi löytyä myös suojausaineina käytettyjä organoklooripestisidejä (Puolanne *et al.*, 1994; Assmuth, 1992b).

Betoni- ja sementtiteollisuuden sekä asfaltti-, öljysora- ja murskausasemien pääasiallisin maaperää pilaava haitta-aine on öljy. Betoniteollisuudessa sitä voi joutua maahan kaluston huollon yhteydessä sekä elementtiteollisuuden muottiöljyistä. Alueilta muodostuva ympäristöriski on pieni ja se kohdistuu pääasiassa maaperään ja pohjavesiin (Puolanne *et al.*, 1994).

Teollisuusalueet ovat toimialaryhmänä sekava. Ryhmään kuuluu alueet, joissa samassa kiinteistössä on eri toimialoja, joiden vaikutusalueita ei ole pystytty tarkasti rajaamaan. Teollisuusalue ryhmään kuuluu myös joitain teollisuuden toimialoja, jotka eivät kuulu tai niitä ei ole osattu sijoittaa mihinkään muun toimialaryhmän alaisuuteen (Puolanne *et al.*, 1994).

Ampumaratojen maaperää yleisesti pilaa haulien ja luotien lyijy. Lyijy on suurimmaksi osaksi metallisessa muodossa hauleissa ja luodeissa, mutta sitä voi levitä alueen ympäristöön myös hienojakoisina yhdisteinä. Ampumarata-alueilta voi löytyä myös tavallista suurempia pitoisuuksia kuparia, sinkkiä, antimonia ja arseenia (Jaakkonen, 2001; Pajukallio, 2001).

Kaatopaikat ja muu jätteenkäsittely sisältää toimialaluokituksen mukaan tavanomaisten yhdyskunta ja teollisuusjätteiden kaatopaikkojen lisäksi lumenkaatopaikat,

maankaatopaikat, ongelmajätteiden käsittelyn sekä muun jätteiden käsittelyn, kuten kompostoinnin ja lietteen sijoituskohteet. Kaatopaikoilla ympäristöä pilaavat haitta-aineet vaihtelevat tapauskohtaisesti. Riskiä aiheuttaa ravinnepäästöjen lisäksi suotovesissä esiintyvät korkeat metallipitoisuudet sekä klooratut ja aromaattiset hiilivedyt (Toivola, 2001; Assmuth, 1992b).

Energialaitoksista maaperän pilaantuminen aiheutuu polttoaineiden, tuhkan ja kuonan varastoinnista. Yleisimpiä alueelta löydettäviä haitta-aineita ovat öljy, arseeni, vanadiini, sinkki, kupari, PAH-yhdisteet, fenolit ja syanidit (Puolanne *et al.* 1994). Lisäksi sähkölaitosten vanhoista muuntajista voi päästä ympäristöön PCB-yhdisteitä (Assmuth, 1992b).

Turkistarhat, eläinsuojat ja kalankasvatus, tekstiili- ja nahkateollisuus, taimi- ja kauppapuutarhat, elintarvike- ja rehuteollisuus, jätevedenpuhdistamot sekä hautausmaat aiheuttavat pääasiassa ympäristöriskiä ravinteiden muodossa. Taimitarhoilla maaperää likaavat lisäksi torjunta-aineet, joista osa voi kulkeutua helposti pohjavesiin asti (Mälkki *et al.*, 1988). Nahkateollisuuden jätevesistä voi ravinteiden lisäksi löytyä usein suuria kromipitoisuuksia (Vertanen ja Viitasaari, 1994).

Kemian- ja muoviteollisuuden toimialaryhmä sisältää muun muassa muovien, kemikaalien, lääkkeiden, räjähteiden ja lannoitteiden valmistamiseen suuntautuneita teollisuuden aloja. Pilaantumisriskiä aiheuttavat haitta-aineet riippuvatkin paljon teollisuuden alasta. Suuria määriä ongelmajätteitä muodostuu etenkin lannoiteteollisuudesta sekä torjunta-aineita ja suojauskemikaaleja valmistavista laitoksista. Kemianteollisuudessa käytetään myös peruskemikaalien lisäksi öljyä, halogenoituja liuottimia sekä raskasmetalleja sisältäviä pigmenttejä (Puolanne *et al.*, 1994).

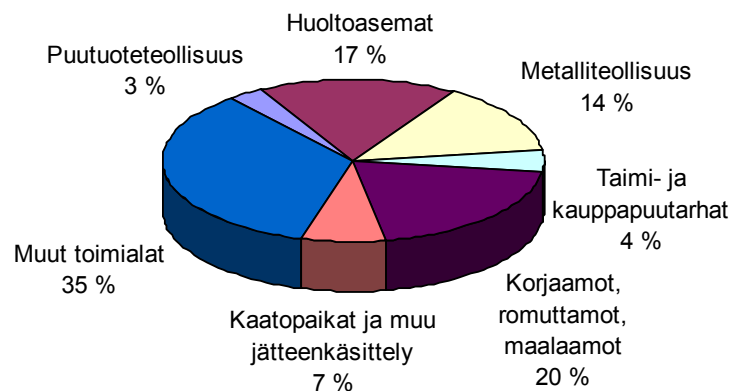
Kohteiden määrä ja jakautuminen toimialoittain

Riskikohteiden tietoja pidetään yllä alueellisten ympäristökeskusten toimesta. Lounais-Suomen ympäristökeskuksen toiminta-alueen mahdollisesti pilaantuneita kohteita koskevia tietoja on tallennettu MASA-rekisteriin. Rekisteriin kerätään tietoja muun muassa riskikohteen sijainnista, toiminnasta, alueen ympäristöstä, pilaantuneisuudesta sekä tämän hetkisestä tilanteesta muun muassa puhdistuspäätösten ja alueelle tehtävien toimenpiteiden osalta. Rekisterissä olevat kohteet ja niiden tiedot ovat peräisin useista eri tietolähteistä, joten tiedoissa on paljon epävarmuutta. Pääasiallisesti tiedot ovat lähtöisin kunnan

ympäristönsuojeluviranomaiselta, mutta osittain tietolähteinä ovat olleet muun muassa erilaiset toimialakohtaiset kartoitukset, ympäristökeskuksen arkistot tai lehtiartikkelit.

Riskikohteita Lounais-Suomen ympäristökeskuksen MASA-rekisterissä on tällä hetkellä 3241 kappaletta (tilanne 9/2003). Tästä määrästä on poistettu paikkatietokannassa olevat jo kunnostetut kohteet. Lisäksi työssä huomioidaan Turun kaupungin ilmoittamat MASA-rekisterin ulkopuoliset kohteet, joita on yhteensä 1074 kappaletta. Alkuperäinen Turun kaupungin ilmoittama kohteiden määrä oli suurempi, mutta tietolähteiden päällekkäisyyksien vuoksi osa kohteista on karsittu pois. Lounais-Suomen ympäristökeskuksen sekä Turun kaupungin ilmoittamien tietojen perusteella Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueen tämän hetkinen tunnistettujen riskikohteiden yhteenlaskettu määrä on 4315 kappaletta. Tietolähteiden kirjavuuden vuoksi määrän ei kuitenkaan voida olettaa olevan täysin kattava sisältäen kaikkia alueen pilaantumisriskin omaavia kohteita. Osa kunnista kokoaa ja päivittää vielä omia tietojaan, joten niiden kaikkia kohteita ei ole toistaiseksi vielä tiedossa.

Kuvassa 6.1 on esitetty Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueen riskikohteiden lukumäärän jakautuminen toimialoittain. Suurimman joukon muodostavat korjaamot, romuttamot ja maalaamot. Riskikohteita on runsaasti myös metalliteollisuuden, huoltoasemien ja muiden polttoaineidenjakelupisteiden sekä kaatopaikkojen ja muiden jätteenkäsittelyalueiden toimialoilla.



Kuva 6.1. Riskikohteiden lukumäärän jakautuminen toimialoittain Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueella

Sijainniltaan tarkastelun alueen lievästi pilaantuneet maa-alueet keskittyvät suurimpien kaupunkien läheisyyteen. Alueen 84 kunnasta eniten kohteita on Turun, Porin ja Rauman

kaupunkien alueella. Kohteiden sijoittuminen suurimpien kuntien alueelle johtuu alueella harjoitettavista useista yhteiskunnan ja teollisuuden toimista, jotka muodostavat suuren pilaantumisriskin. Osaltaan riskikohteiden määriin vaikuttaa myös kuntien aktiivisuus oman alueen riskikohteiden kartoittamisessa. Tämän vuoksi esimerkiksi Turun kaupungin alueen riskikohteiden määrää voi korostua suhteessa muiden kaupunkien kohteisiin.

6.1.2 Riskikartoitus

Riskikartoitusmenettely

Riskikohteille suoritetaan tässä työssä tarkempi riskikartoitus kohteiden pilaantumisen selvitys- ja kunnostustarpeen määrittämistä varten. Kartoitus perustuu kohteiden sijainnista ja toimialasta aiheutuvaan riskiin. Pisteytyksessä käytetään Etelä-Savon ympäristökeskuksen kartoitus- ja priorisointimallia sekä Lounais-Suomen ympäristökeskuksen tekemää pisteytysmallia riskikohteisiin kuuluvien toimialojen aiheuttamasta riskistä. Etelä-Savon ympäristökeskuksen käyttämää pisteytysmallia on muokattu tähän tarkoitukseen sopivaksi, koska tutkittavalta alueelta saatavat tiedot ovat puutteellisia.

Sijainnin perusteella annetaan kohteille pisteitä asutuksen, vesistön, pohjavesialueen ja pohjavedenottamon läheisyydestä (Taulukko 6.1). Pohjavesialueiden sijaintipisteet kerrotaan lisäksi ensimmäisen luokan pohjavesialueella kahdella. Toimialan perusteella kohteille annetaan pisteitä 1-10 siten, että suurimmat pisteet saavat yleisimmin pilaamista aiheuttavat kohteet kuten huoltoasemat ja muut polttonesteiden jakelupisteet, sahat ja suolakyllästämöt sekä yhdyskunta- ja teollisuusjätteen kaatopaikat. Tarkempi toimialakohtainen pisteytys on esitetty liitteessä 1. Pisteytyksestä saatava maksimipistemäärä on 64.

Turun kaupungin alueen MASA-tietokannan ulkopuolisista kohteista saatavien etäisyystietojen puuttumisen vuoksi kyseisten kohteiden riskikartoituksessa joudutaan tekemään yleistyksiä. Turun kaupunki on melko kompakti alue, joten asutukseen ja sijaintiin perustuva pisteytys voidaan tehdä olettamalla etäisyyden asutukseen ja vesistöön olevan keskimäärin 100-200 metriä. Turun kaupungin alueella ei myöskään sijaitse merkittäviä pohjavesialueita tai pohjavedenottamoita, joten näiden osalta kohteet saavat nolla pisteitä olettaen pohjavesialueiden ja pohjavedenottamoiden läheisyydeksi yli 999

metriä. Toimialakohtainen pisteytys suoritetaan muiden kohteiden tavoin liitteen 1 mukaisesti.

Taulukko 6.1. Mahdollisesti pilaantuneiden kohteiden riskipisteytys sijainnin perusteella (Silvola, 1999).

	Etäisyys (m)						
	>999	700–999	500–700	200–500	100–200	<100	0
Asutus	0	1	1	3	4	6	6
Vesistö	0	1	1	3	6	9	9
Pohjavesialue	0	2	2	4	6	8	12
Pohjavedenottamo	0	1	4	8	12	15	15

Pisteytyksen perusteella riskikohteet jaetaan kolmeen riskiluokkaan (A, B ja C) kohteen pilaantuneisuuden selvitystarpeen ja pilaantuneisuuden todennäköisyyden perusteella seuraavasti (Jaakkonen, 2001):

- A:** Riskikohteen selvitystarve on suuri ja pilaantuneisuus todennäköistä
- B:** Riskikohteen selvitystarve on kohtalainen ja pilaantuneisuus on mahdollista
- C:** Riskikohteen selvitystarve on vähäinen ja pilaantuneisuus on epätodennäköistä

Riskiluokkaan A kuuluvat kohteet, joiden pistesumma on yli 28. B-luokkaan kuuluvilla kohteilla pisteitä on 18–28 ja riskiluokkaan C kuuluvilla kohteilla 17 tai sitä vähemmän.

Riskikartoituksen tulokset

Riskikartoituksen perusteella saatu kohteiden jakautuminen toimialoittain on esitetty taulukossa 6.2. Korjaamoiden, romuttamoiden ja maalaamoiden sekä puutuoteteollisuuden osalta kaikkia riskikohteita ei voitu laittaa yksityiskohtaisen toimialan alaluokan alaisuuteen, koska osasta kohteista ei ollut tiedossa tarkkaa toiminnan alaluokkaa. Nämä kohteet on lisätty taulukkoon erillisinä numeroimattomina luokkina päätoimialaluokan alle. Muut riskikohteet jakautuvat Suomen ympäristökeskuksen esittämän toimialaluokituksen mukaisesti.

Taulukko 6.2. Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueen riskikohteiden jakautuminen riskiluokkiin lukumäärinä.

Koodi	Toimiala	A	B	C	Yhteensä
1	Turkistarhat, eläinsuojat ja kalankasvatus				
1.1	Turkistarhat	0	8	45	53
1.2	Kalanviljelylaitokset	5	2	16	23
1.3	Suureläinsuojat	-	-	-	-
2	Taimi- ja kauppapuutarhat	28	99	66	193
3	Tekstiili- ja nahkateollisuus				
3.1	Tekstiiliteollisuus	0	1	7	8
3.2	Nahkateollisuus	2	14	3	19
4	Puutuoteteollisuus				
4.1	Sahat	10	43	11	64
4.2	Suolakyllästämöt	3	13	10	26
4.3	Kreosotikyllästämöt	0	3	0	3
4.4	Muu mekaaninen puunjalostus	0	0	3	3
	Muu puutuoteteollisuus (jaottelematon)	5	6	30	41
5	Kemiallinen metsäteollisuus	-	-	-	-
6	Kemian- ja muoviteollisuus	17	51	28	96
7	Metalliteollisuus				
7.1	Pintakäsittely	3	44	25	72
7.2	Metallien valmistus	1	0	10	11
7.3	Valimo	4	27	8	39
7.4	Konepajat	24	276	97	397
7.5	Muu metalliteollisuus	7	11	56	74
8	Graafinen teollisuus	4	69	32	105
9	Elintarvike- ja rehuteollisuus	5	37	75	117
10	Asfaltti-, öljysora- ja murskausasemat	26	19	34	79
11	Huoltoasemat ja muut polttoaineen jakelupisteet				
11.1	Huoltoasemat	43	183	78	304
11.2	Jakeluasemat	62	244	117	423
11.3	Yksityiset polttonesteiden jakelupisteet	0	1	2	3
12	Korjaamot, romuttamot ja maalaamot				
12.1	Korjaamot	53	307	155	515
12.2	Varikot	7	6	3	16
12.3	Maalaamot	8	36	21	65
12.4	Romuttamot	1	4	12	17
12.5	Romunkeräys	7	2	11	20
	Korjaamot/maalaamot (jaottelematon)	0	96	0	96
	Muu romuliike (jaottelematon)	3	16	111	130
13	Energialaitokset ja polttonesteiden varastot	14	97	42	153
14	Kaatopaikat ja muu jätteenkäsittely				
14.1	Yhdyskuntajätteen kaatopaikka	22	49	104	175
14.2	Teollisuusjätteen kaatopaikka	11	10	27	48
14.3	Maankaatopaikka	15	4	18	37
14.4	Lumenkaatopaikka	1	1	4	6
14.5	Ongelmajätteen käsittely	1	1	12	14
14.6	Muu jätteen käsittely	5	8	24	37
15	Jätevedenpuhdistamot ym.				
15.1	Jätevedenpuhdistamot	14	33	87	134
15.2	Jäteveden maahan imeytys	4	4	6	14
16	Kemikaalivarasto	3	11	9	23
17	Öljy- ja kemikaalivahinkoalueet	5	24	10	39
18	Hautausmaat	20	11	89	120
19	Betoni- ja sementtiteollisuus	8	8	21	37
20	Kaivosalue	0	4	17	21
21	Ampumaradat	26	16	55	97
22	Pesulat				
22.1	Kemialliset pesulat	2	82	5	89
22.2	Tynnyripesulat	0	1	0	1
23	Teollisuusalueet	1	3	14	18
24	Muut	16	92	132	240
Yhteensä		496	2077	1742	4315

Kartoitettavien kohteiden kokonaismäärä Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueella on 4315 kappaletta (tilanne 9/2003). Pisteytyksen perusteella alueen riskikohteista 12 % (496 kpl) kuuluu riskiluokkaan A, 48 % (2077 kpl) luokkaan B ja loput 40 % (1742 kpl) luokkaan C.

Suurin osa A luokan kohteista sijaitsee tärkeillä ensimmäisen luokan pohjavesialueella ja aivan asutuksen läheisyydessä. Tämän vuoksi niiden pilaantumisen selvitystarve ja kunnostuskiireellisyys voidaan katsoa olevan kaikkein suurin. Polttonesteiden jakelu muodostaa A-luokan ylivoimaisesti suurimman ryhmän. Huoltoasemia ja muita polttonesteiden jakelupisteitä A-luokan kohteista on 21 %. Polttoaineiden kulkeutuminen pohjaveteen etenkin vanhoilla huoltoasemilla on hyvin todennäköistä aiheuttaen vakavan riskin tärkeiden pohjavesialueiden likaantumiselle.

B-luokkaan kuuluvien kohteiden sijainnista aiheutuva riski on A-luokkaan verrattuna pieni. Yksikään näistä kohteista ei sijaitse aivan pohjaveden ottamon läheisyydessä ja vain yksi sijaitsee ensimmäisen luokan pohjavesialueella. B-luokkaan kuuluvat kohteet ovat kuitenkin suurelta osin asutuksen läheisyydessä olevia alueita ja aiheuttavat toimialansa puolesta melko suurella todennäköisyydellä ympäristön pilaantumista. Tämän vuoksi B-riskiluokkaan kuuluvien alueiden pilaantumisen selvitys- ja mahdollisesti kunnostustarvetta voidaan pitää kohtalaisena. Suurimman ryhmän B-luokan kohteista muodostavat korjaamot, romuttamot ja maalaamot, joita on 22 % kohteista. Riskikohteita on runsaasti myös huoltoasemien ja muiden polttonesteiden jakelupisteiden (21%) ja metalliteollisuuden (17%) toimialoissa. Metalliteollisuuden osalta määrää kasvattaa erityisesti suuri konepajojen määrä, joita on suurin osa metalliteollisuuden toimialan kohteista.

C-luokan kohteiden aiheuttama sijaintiriski on vähäinen. Yksikään luokan kohteista ei sijaitse tärkeällä pohjavesialueella. Osa kohteista sijaitsee kuitenkin asutuksen ja vesistöjen läheisyydessä. Tällaiset kohteet ovat toimialansa puolesta kuitenkin pääasiassa luokiteltavissa vähäistä riskiä aiheuttavaan toimialaan. Riskin vähäisyyden vuoksi C-luokan kohteiden pilaantumisen selvitystarve voidaan määrittellä olevan vähäinen, eikä kohteiden pilaantuminen ei ole kovin todennäköistä. C-luokan suurimman ryhmän muodostavat korjaamot, romuttamot ja maalaamot (18%). Kohteita on paljon myös metalliteollisuuden, korjaamoiden, romuttamoiden ja maalaamoiden sekä kaatopaikkojen toimialoissa.

Riskikartoitukseen saatavien vähäisten lähtötietojen vuoksi mahdollisesti pilaantuneiden alueiden eri riskiluokkiin jakautumisen perusteella voidaan arvioida vain karkeasti kohteiden pilaantumisen selvityksen ja kunnostustarpeen kiireellisyyttä. Tuloksia ei myöskään voida suoraan verrata muihin vastaaviin riskiluokitukseen luokitus ja pisteytysmallien eroavuuksien ja tutkimuksessa käytettävien yleistysten vuoksi.

6.1.3 Arvio kunnostettavien riskikohteiden lukumäärästä

Kunnostettavien riskikohteiden laskentamenettely

Kohteiden kuuluminen mahdollisesti pilaantuneiden maa-alueiden rekisteriin ei välttämättä tarkoita, että alue on todellisuudessa pilaantunut. Jokaisen alueen tilanne on selvitettävä kohdekohtaisesti ennen kun riittävä käsitys pilaantumisen merkittävydestä saadaan muodostettua. Riskikohteiden pilaantumisselvitykset ja kunnostusten toteutuminen riippuvat eri tekijöistä. Eniten kunnostusten toteutumiseen vaikuttavat kiinteistöjen omistussuhteiden muutokset ja maankäytön muuttuminen. Kunnostusten suorittamista edistävät myös erilaiset kunnostusohjelmat. Esimerkiksi Öljy- ja Kaasualan Keskusliiton ja ympäristöviranomaisten yhteistyössä toteuttamalle SOILI-ohjelmalle öljyisiä maita on kunnostettu runsaasti (Markkanen, 1998).

Kunnostettaviksi tulevien kohteiden määräärviossa käytetään apuna Häikiön (2000) määrittelemää kohteiden tutkimus- ja kunnostusprosenttiarviota. Raportissa kullekin toimialalle on määritetty arvio siitä, kuinka suuri osuus vuoteen 2020 mennessä eri riskiluokkiin kuuluvista kohteista tullaan tutkimaan ja kunnostamaan (Taulukko 6.3). Näiden prosentiosuuksien avulla saadaan arvioitua suurusluokka kunnostettavien kohteiden määrästä.

Taulukko 6.3. Arvio eri toimialoilta vuoteen 2020 mennessä tutkittavaksi ja kunnostettavaksi tulevien riskikohteiden prosentuaalisesta määrästä riskiluokittain (Häikiö, 2000).

Toimiala	Tutkittavat kohteet (%)						Kunnostettavat kohteet (%)	
	A		B		C		Min	Max
	Min	Max	Min	Max	Min	Max		
Kaatopaikat ja muu jätteenkäsittely	70	90	40	50	8	15	30	50
Romuttamot	90	100	70	90	30	40	50	60
Korjaamot, maalaamot	50	60	40	50	15	25	25	40
Sahat	90	100	60	80	60	80	50	70
Suolakyllästämöt	100	100	100	100	100	100	90	100
Ampumaradat	100	100	80	100	30	50	30	50
Metalliteollisuus	80	90	70	80	50	70	30	50
Teollisuusalueet	100	100	100	100	70	80	30	60
Asfaltti-, öljysora- murskausasemat	90	100	100	100	60	80	50	70
Huoltoasemat ja muut polttoaineiden jakelupisteet	60	90	30	50	6	20	30	50

Alueella harjoitetun toiminnan laatu (toimiala) vaikuttaa maaperän haitta-ainesta aiheutuvan ympäristöhaitan laatuun ja laajuuteen sekä puhdistustyössä syntyvien maiden käsittelytarpeeseen. Esimerkiksi turkistarhoilla ja suureläinsuojilla sekä hautausmailla ympäristöä pilaavat pääasiassa vain ravinteet, jotka eivät aiheuta suoraan terveydellistä uhkaa. Hautausmaiden osalta on lisäksi hyvin epätodennäköistä, että alueet tullaan tulevaisuudessa kunnostamaan alueiden luonteen vuoksi. Kaivosalueilla ongelmana ovat lähinnä rikastusjätteen läjitysalueet. Näitä alueita on lukumääräisesti hyvin vähän, mutta laajuutensa vuoksi ne aiheuttavat merkittäviä ympäristöongelmia. Näiden alueiden ympäristöhaittoja rajoitetaan usein peittämällä alueet, joten sijoitettavien maamassojen muodostuminen on vähäistä (Puolanne, 1994).

Kunnostettaviksi tulevien kohteiden määräärvioinnissa on jätetty edellä mainitun kaltaiset pienemmällä todennäköisyydellä pilaantuneet ja kunnostettavaksi tulevat kohteet pois. Kaatopaikkatoimialan osalta kunnostettavaksi tulevien riskikohteiden määräärviossa on huomioitu ainoastaan yhdyskuntajätteen kaatopaikat, teollisuusjätteen kaatopaikat, ongelmajätteen käsittelyalueet sekä muu jätteen käsittely. Laskennan ulkopuolelle on jätetty maan- ja lumen kaatopaikat olettaen, että niihin ei ole tuotu maaperän pilaantumista aiheuttavia aineita. Lisäksi kohdemääräärviossa joudutaan karsimaan osa toimialoista pois, koska niiden kunnostuksien yhteydessä syntyviä maamassamääriä ei ollut loppuraporttien ja kirjallisuustiedon perusteella arvioitavissa.

Kunnostettavaksi tulevien kohteiden arvioinnissa huomioitavia toimialoja ovat huoltoasemat ja muut polttonesteiden jakelupisteet, sahat, suolakyllästämöt, metalliteollisuus, teollisuusalueet, asfaltti- ja öljysora-asetat, korjaamot, romuttamot ja maalaamot, kaatopaikat sekä ampumarata-alueet. Nämä toimialat ovat määrällisesti Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueella eniten riskikohteita sisältäviä toimialoja ja lisäksi ovat riskikartoituksessa toimialansa puolesta luokiteltavissa suurta tai kohtalaista riskiä aiheuttaviin toimialoihin.

Lukumääräarvion tulokset

Edellä esitetyn mallin (Taulukko 6.3) perusteella määritetään arvio vuoteen 2020 mennessä kunnostettaviksi tulevien kohteiden määrästä Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueella. Määräarviosta esitetään pienin ja suurin arvo kuvaamaan kohteiden määrän vaihteluväliä. Lukuarvot on saatu kertomalla taulukossa 6.2 ilmoitetut arvioidut tiettyyn riskiluokkaan kuuluvien kohteiden määrä taulukossa 6.3 esitetyllä vastaavan riskiluokan tutkimusprosentilla sekä kunnostusprosentilla. Eri riskiluokkien kohdemäärät on laskettu yhteen. Laskennassa saadut toimialakohtaiset määräarviot on esitetty taulukossa 6.4.

Taulukko 6.4. Arvio Lounais-Suomen ympäristökeskuksen toiminta-alueella vuoteen 2020 mennessä kunnostettavaksi tulevien riskikohteiden määrästä toimialoittain jaoteltuna. Arvot ovat riskiluokkiin A, B ja C kuuluvien kohteiden yhteenlaskettuja lukumääriä.

Toimiala	Arvio kohteiden määrästä (kpl)		
	Min	Keskiarvo	Max
Huoltoasemat ja muut polttoaineiden	60	120	175
Sahat	20	30	35
Suolakyllästämöt	20	25	30
Metalliteollisuus	110	170	230
Teollisuusalueet	4	7	10
Asfaltti- ja öljysora-alueet	30	40	50
Korjaamot, maalaamot	60	90	120
Romuttamot ja romunkeräysalueet	10	12	15
Kaatopaikat ja muu jätteenkäsittely	20	35	50
Ampumarata	15	25	35
Yhteensä	349	554	750

Arvion perusteella Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueella tullaan kunnostamaan vuoteen 2020 mennessä riskikohteita keskimäärin 550 kappaletta. Arviossa saatu kunnostettavaksi tulevien kohteiden määrä on noin 13 % riskikohteiden kokonaismäärästä (4315 kpl). SAMASE-projektissa on esitetty arvio mahdollisesti kunnostettavaksi tulevien kohteiden määrästä, jonka mukaan riskikohteista tullaan tulevaisuudessa kunnostamaan

10–20 % (Puolanne *et al.*, 1994). Tässä työssä saatu kohdemääräarvio osuu esitettyyn prosenttiarvioon.

6.1.4 Arvio pilaantuneiden maiden massamääristä

Laskentamenettely

Kunnostettaviksi tulevien kohteiden todellisia pilaantuneiden maa-ainesten määriä ei ole selvitetty, joten ne joudutaan arvioimaan. Massanvaihtomenetelmällä kunnostettaviksi tulevista kohteista syntyvien massamäärien arvioinnissa on käytetty apuna vuosina 1996–2003 toteutettujen puhdistustöiden loppuraporteissa esitettyjä todellisia massamäärätietoja. Osasta toimialoja ei kuitenkaan ollut saatavana loppuraporttien muodossa riittäviä tietoja alueiden pilaantuneisuudesta. Näiden toimialojen osalta on jouduttu hyödyntämään Häikiön (2000) raportissa käytettyjä yksikkömassamääräarvioita. Raportista saaduissa arvioissa lievästi pilaantuneiden maiden osuutena kokonaismassamäärästä on käytetty 65 %. Tämä prosenttiosuus on arvioitu aikaisemmin kunnostetuista alueista muodostuvien massamääräosuuksien perusteella.

Loppuraporteissa osa maa-ainesten määristä on ilmoitettu tilavuusyksikköinä. Nämä tilavuudet on muutettu painoyksiköksi Suomen kuntaliiton (1997) esittämien tilavuus- ja painoyksiköiden välisten muuntokertoimien avulla. Koska kertoimet ovat maalajikohtaisia ja kaikista kohteista ei ole saatavilla tietoa maalajeista, on laskennassa jouduttu käyttämään eri maalajeille tarkoitettujen kertoimien keskiarvoa. Kertoimet vaihtelevat välillä 1,3–2,2 riippuen, onko maa-ainesmäärä ilmoitettu todellisena kiinto- tai irtotilavuutena tai teoreettisena kiintotilavuutena.

Maamassojen laskennan tulokset

Huoltoasemien kunnostuksessa muodostuvien lievästi pilaantuneiden maamassojen määrä on arvioitu suoraan kunnostusten loppuraporteissa ilmoitettujen yksikkömassamäärien perusteella. Arvion mukaan puhdistettaviksi tulevilta huoltoasemilta muodostuvien öljyisten lievästi pilaantuneiden maamassojen määräksi saadaan keskimäärin 600 tonnia. Asfaltti- ja öljysora-asemilta muodostuva öljyisten maamassojen määrä arvioidaan samansuuruiseksi Häikiön (2000) tekemän oletuksen perusteella.

Saha-alueilla ympäristön pilaantumista aiheuttavat kloorifenoli, dioksiini ja furaanipitoiset maat, joita arvion mukaan puhdistettavaksi tulevilta saha-alueilta muodostuu noin 2800 tonnia. Suolakyllästämöiden alueilla maaperää kuormittavat kyllästyksen tehoaineina käytetyt raskasmetallit kuten kupari ja kromi sekä puolimetalli arseeni. Raskasmetalleilla pilaantuneita maita kunnostusta vaativilta kyllästämöalueilta muodostuu keskimäärin 650 tonnia. Nämä massamääräarviot perustuvat kunnostusten loppuraporteissa ilmoitettuihin yksikkömassamääriin.

Teollisuusalueiden kunnostuksen yhteydessä muodostuu pääasiassa öljyllä ja raskasmetalleilla pilaantuneita sekä mahdollisesti pieniä määriä dioksiineilla ja furaaneilla tai muilla haitta-aineilla pilaantuneita maita. Keskimääräiseksi raskasmetalleilla lievästi pilaantuneiden maiden massamääräksi arvioidaan 4800 tonnia. Raskasmetallimäärien arvioinnissa on käytetty loppuraporteissa ilmoitettuja massatietoja. Häikiön (2000) mukaan metallien lisäksi teollisuuslaitoksilta syntyviä öljyisiä maita arvioidaan tulevan 300 tonnia ja dioksiini ja furaanipitoisia maita noin 150 tonnia.

Metalliteollisuuden osalta kunnostuksia ei tähän mennessä ole tehty kovin paljon, joten massa-arviota loppuraporttien perusteella ei suoraan saada. Häikiön (2000) raportissa metalliteollisuudesta ja teollisuusalueilta syntyviä pilaantuneiden maamassojen määriä on verrattu toisiinsa ja todettu niiden olevan samansuuruisia. Tämän perusteella metalliteollisuudesta arvioidaan syntyvän keskimäärin 4000 tonnia raskasmetalleilla ja noin 300 tonnia öljyhiilivedyillä ja 150 tonnia dioksiineilla ja furaaneilla lievästi pilaantuneita maamassoja.

Kunnostusten loppuraportteihin perustuvan arvioinnin perusteella lievästi pilaantuneita raskasmetallipitoisia maamassoja muodostuu romuttamoiden kunnostuksissa noin 4700 tonnia. Korjaamoilta ja maalaamoilta muodostuvat raskasmetallipitoisen maamassamäärät ovat romuttamoina huomattavasti pienemmät. Häikiön (2000) raportissa sekä aikaisemmin tehtyjen kunnostusten loppuraporteissa ilmoitettuihin määriin perustuen korjaamoilta ja maalamoilta arvioidaan syntyvän keskimäärin 430 tonnia hiilivedyillä ja 140 tonnia raskasmetalleilla pilaantuneita maita.

Kaatopaikat kunnostetaan yleensä eristämällä, vain todella pienet kaatopaikat kannattaa siirtää toiseen paikkaan (Puolanne 1994). Lopetettavalta kaatopaikoilta pilaantuneet maat voidaan sijoittaa toiselle käytössä olevalle kaatopaikalle. Erityisesti vanhoille

kaatopaikoille on sijoitettu öljyjätettä. Näitä lievästi pilaantuneita öljypitoisia maita arvioidaan Häikiön (2000) ja kunnostusten loppuraporttien perusteella syntyvän keskimäärin 1300 tonnia.

Tähän mennessä vähäisten ampumaratakunnostusten vuoksi pilaantuneiden maiden massamäärää ei saatu arvioitua loppuraporttien perusteella, vaan arvio on suoritettu suoraan perustuen Häikiön (2000) raportissa ilmoittamiin massamääräarvioihin. Arvion perusteella raskasmetalleilla lievästi pilaantuneita maita muodostuu ampumaradoilta keskimäärin 5200 tonnia.

Eri toimialoilta arvioidut lievästi pilaantuneiden maiden yksikkömassamäärien arviot on koottu taulukkoon 6.5. Taulukkoon on kirjattu myös arvioidut minimi- ja maksimi-arvot kuvaamaan massamäärätietojen mahdollista vaihteluväliä.

Taulukko 6.5. Arvio kunnostettavista kohteista muodostuvista lievästi pilaantuneiden maiden yksikkömassamääräistä toimialoittain jaoteltuna

Toimiala	Epäpuhtauslaji	Min (t)	Keskimääräinen massamääräarvio (t)	Max (t)
Huoltoasemat ja muut polttoaineiden jakelupisteet	Hiilivedyt	30	600	2600
Sahat	Dioksiinit, furaanit ja kloorifenolit	450	2800	5200
Suolakyllästämöt	Raskasmetallit	70	650	1700
Metalliteollisuus	Raskasmetallit	70	4000	7000
	Hiilivedyt	30	300	350
	Dioksiinit ja furaanit	10	150	300
Teollisuusalueet	Raskasmetallit	770	4800	59400
	Hiilivedyt	70	300	1000
	Dioksiinit ja furaanit	70	150	300
Asfaltti- ja öljysora-asemat	Hiilivedyt	30	600	2000
Korjaamot, maalaamot	Hiilivedyt	30	430	650
	Raskasmetallit	30	140	2300
Romuttamot ja romunkeräysalueet	Raskasmetallit	750	4700	8700
Kaatopaikat	Hiilivedyt	140	1300	7000
Ampumarata	Raskasmetallit	650	5200	20 000

Kunnostettavien kohteiden lukumääräarvion (taulukko 6.4) sekä kohteista tulevien lievästi pilaantuneiden maamassojen yksikkömääräarvion (taulukko 6.5) perusteella lasketaan kohdealueella syntyvät eri haitta-aineilla lievästi pilaantuneiden maiden kokonaismassamäärät (taulukko 6.6). Massamäärästä on lisäksi laskettu niiden siirtokuljetuksiin tarvittavat keskimääräiset ajoneuvokuormat kuvaamaan kunnostustoimien yhteydessä muodostuvien maamassojen suuruusluokkaa. Kuormat on

laskettu olettaen maansiirtoon käytettävien kuorma-autojen kantavuudeksi 19 tonnia (LIPASTO, 2002).

Taulukko 6.6. Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueella vuoteen 2020 mennessä lievästi pilaantuneiden maamassojen määrällinen kunnostustarvearvio epäpuhtauslajeittain.

Epäpuhtauslaji	Massamäärä (t)			Keskimääräinen ajoneuvokuorma (kpl)
	Min	Keskiarvo	Max	
Hiiivedyt	168 000	245 000	321 000	12 900
Raskasmetalli	625 000	937 000	1 250 000	49 300
Dioksiinit, furaanit ja CF	90 400	115 000	140 000	6 100
Yhteensä	8 834 000	1 297 000	1 711 000	68 300

6.2 Käytössä ja suunnitteilla olevat pilaantuneiden maiden välivarastointi- käsittely ja loppusijoituspaikat

6.2.1 Käsittelylaitokset ja niiden kapasiteetti

Lounais-Suomen alueella sijaitsee kaksi pilaantuneita maita käsittelevää laitosta, Ekokem-Palvelut Oy Porissa sekä Greensoil Oy Turussa. Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueelta muodostuvia pilaantuneita maamassoja on lisäksi sijoitettu alueen ulkopuolelle Uudenmaan, Hämeen ja Pirkanmaan ympäristökeskusten alueilla toimiville käsittelylaitoksille. Turun ja Porin laitoksissa pilaantuneiden maamassojen käsittely tapahtuu termisellä menetelmällä, jota on käytetty lähinnä vain voimakkaasti pilaantuneita maamassojen puhdistamiseen (Liippo ja Anttila, 2002).

Ekokem Oy:llä on pilaantuneiden maiden käsittelyä varten kaksi polttolinjaa, massanpolttolinja sekä tehopolttolinja. Pilaantuneiden maiden käsittely massapolton avulla soveltuu parhaiten suurien massamäärien ja esimerkiksi voitelu- ja polttoöljyillä, kloorifenoleilla, klooratuilla liuottimilla tai kreosooteilla saastuneiden maiden käsittelyyn. Tehopolttolinjaa tulisi käyttää huonosti tai kokonaan hajoamattomien orgaanisten aineiden kuten dioksiineja ja furaaneita, PCB:tä tai orgaanisia torjunta-aineita sekä epäorgaanisia aineita sisältävien massojen käsittelyyn (Salonen, 1996).

Ekokem-Palvelut Oy:n Porin pilaantuneiden maiden käsittelykeskuksessa voidaan termisen käsittelyn lisäksi käsitellä maamassoja kiinteyttämällä, huokosilmamenetelmällä ja kompostoimalla (Ekokem-Palvelut Oy 2003b). Ekokem Oy:n pilaantuneiden maiden käsittelylaitoksella on lupapäätöksen mukaisesti mahdollisuus ottaa vastaan orgaanisilla ja

epäorgaanisilla yhdisteillä pilaantuneita maita enintään 10 000 m³/a (Liippo ja Anttila, 2002).

Turun Greensoil Oy:llä on myös käytössä terminen polttolaitteisto öljyillä ja PAH-yhdisteillä pilaantuneiden maiden käsittelyä varten. Greensoil Oy:llä on lupa vastaanottaa vuosittain PAH-yhdisteillä pilaantuneita maita enintään 30 000 tonnia (Liippo ja Anttila, 2002).

Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueella sijaitsevien pilaantuneiden maamassojen käsittelylaitosten kapasiteetit on esitetty taulukossa 6.7. Kyseiset laitokset on tarkoitettu lähinnä voimakkaammin pilaantuneiden maamassojen käsittelyyn.

Taulukko 6.7. Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueella sijaitsevat pilaantuneiden maiden käsittelylaitokset ja niiden vuosittainen käsittelykapasiteetti.

Käsittelylaitos	Sijainti	Kapasiteetti
Greensoil Oy	Turku	30 000 t/a
Ekokem-Palvelut Oy	Pori	10 000 m³/a

6.2.2 Yhdyskuntajätteen kaatopaikat

Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueella on toiminnassa tällä hetkellä (tilanne 9/2003) 11 yhdyskuntajätteen kaatopaikkaa (Liippo ja Anttila, 2002). Osa näistä kaatopaikoista vastaanottaa lievästi pilaantuneita maita, joita hyödynnetään kaatopaikoilla esipeitossa ja muissa välirakenteissa. Maamassoja sijoitetaan tarvittaessa myös kaatopaikan tierakenteisiin ja reunavalleihin. Lievästi pilaantuneiden maiden vuotuinen käyttötarve vaihtelee kaatopaikkakohtaisesti. Sijoitettavien maamassojen määrässä on myös suurta vuosittaista vaihtelua riippuen kaatopaikkojen lähialueilla tehtävien pilaantuneiden maiden kunnostustoimien määrästä.

Päivittäisen jätetäytön peittämisen lisäksi lievästi pilaantuneita maamassoja on mahdollista hyödyntää kaatopaikkojen pintarakenteissa. Lievästi pilaantuneet massat soveltuisivat lähinnä korvaamaan puhtaita maa-aineksia kaasunkeräyskerroksen alapuolisessa esipeittokerroksessa, jonka vähimmäispaksuudeksi on määritetty 0,3 metriä (Leppänen, 1998). Arviot kaatopaikkojen esipeittokerroksissa tarvittavien maamassojen tarpeesta on laskettu kertomalla esipeittokerroksen vähimmäispaksuus kaatopaikan jätetäytön pinta-alalla. Kaatopaikan pinta-alat on esitetty tasaisen maanpinnan pinta-alana, joten arvioinnissa on käytetty lisäksi kerrointa 1,2 kuvaamaan todellista peittoon tarvittavaa

pinta-alaa kaatopaikan kukkulamaisen muodon vuoksi. Tilavuusyksiköt on muutettu massayksiköksi kertoimella 1,8.

Tiedot kaatopaikoille vuosittain sijoitettavista lievästi pilaantuneiden maiden massamääristä sekä esipeittokerrokseen käytettävien massamäärien arvioinnissa käytetyistä pinta-aloista on saatu puhelinhaastattelujen perusteella kunkin kaatopaikan asiantuntijoilta. Kaatopaikkakohtaiset tiedot lievästi pilaantuneiden maamassojen vuotuisesta käyttötarpeesta ja pintarakenteisiin tarvittavista massamääristä on esitetty taulukossa 6.8.

Taulukko 6.8. Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueen yhdyskuntajätteen kaatopaikkojen lievästi pilaantuneiden maamassojen vuotuinen käyttötarve ja arvio kaatopaikkojen pintarakenteisiin tarvittavista lievästi pilaantuneiden maiden massamääristä.

Yhdyskuntajätteen kaatopaikat	Sijainti	Lievästi pilaantuneiden maamassojen keskimääräinen käyttötarve* (t/a)	Pinta-ala (ha)	Arvio kaatopaikkojen pintarakenteisiin tarvittavista lievästi pilaantuneiden maiden massamääristä (t)
Topinojan kaatopaikka	Turku	6000–20 000	28	181 400
Isosuon kaatopaikka	Raisio	0	10	64 800
Rauhalan kaatopaikka	Parainen	0	-	-
Korvenmäen jäteasema	Salo	5000–15000	-	-
Merikarvian	Merikarvia	0-500	1	6500
Hangassuon jäteasema	Pori	1000–15000	12	77 800
Kooninkeitaan kaatopaikka	Kankaanpää	0-100	8	51 800
Hevossuon jäteasema	Rauma	200	7	45 400
Munaistenmetsän kaatopaikka	Uusikaupunki	400	3	19 400
Hallavaaran jätteiden käsittelylaitos	Köyliö	3100	4,5	29 200
Vampulan kaatopaikka	Vampula	0	2	13 000
Yhteensä		15 000–54 000		489 000

*) Kaatopaikan välitäytöissä sekä tie- ja reunavallirakenteissa hyödynnettävät massat

Vuonna 1997 voimaan tulleen valtioneuvoston kaatopaikkapäätöksen (861/97) mukaan kaatopaikoilta vaaditaan tiettyjä tiiveysvaatimuksia pohjarakenteiden osalta. Määräyksen mukaan nämä tiiveysrakenteiltaan puutteelliset alueet joudutaan sulkemaan vuoden 2007 loppuun mennessä (Vnp (861/97)). Sulkemisen jälkeen alueet joudutaan peittämään valtioneuvoston päätöksessä 861/97 vaadituilla pintarakenteilla. Säännösmuutosten vuoksi kaatopaikka-alueiden sulkemisien yhteydessä lievästi pilaantuneiden maamassojen sijoittamismahdollisuudet pintarakenteiden osana tulee olemaan tavallista suuremmat vuosien 2004 ja 2008 välisenä aikana.

Tällä hetkellä Paraisten Rauhalan ja Salon Korvenmäen jäteasemaa lukuun ottamatta kaikilla Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueen kaatopaikoilla on pintarakenteita vaativia täyttöalueita. Suurimmalla osalla alueen kaatopaikoista aiotaan kuitenkin jatkaa toimintaa rakentamalla vanhan kaatopaikan viereen uuden määräykset täyttävän jätteenkäsittelyalueen. Ainoastaan Vampulan kaatopaikan toiminta tullaan lopettamaan kokonaan vuoden 2004 loppuun mennessä (Isometsä Lasse, suullinen tiedonanto) sekä Merikarvian kaatopaikka vuoden 2007 loppuun mennessä (Hakosalo Heikki, suullinen tiedonanto). Rauman Hevossuon jäteaseman kohtaloa ei vielä tiedetä (Oksanen Esa, suullinen tiedonanto).

Lievästi pilaantuneiden maamassojen sijoituskohtearviossa ei ole huomioitu uusien pohjarakenteiden tiiveysvaatimukset täyttävien kaatopaikka-alueiden pintarakenteisiin tarvittavien maamassojen määriä. Näiden kaatopaikka-alueiden käyttöönotto alkaa Rauhalan Paraisten ja Salon Korvenmäen kaatopaikkoja lukuun ottamatta pääasiassa vasta vuoden 2007 jälkeen ja niiden käyttöikä jatkuu kymmeniä vuosia pitkälti vuoden 2020 jälkeen ylittäen tutkimuksessa huomioidun määräajan. Kyseisille kaatopaikoille voidaan kuitenkin osittain rakentaa pintarakenteita jo ennen vuotta 2020. Muun muassa Paraisten kaatopaikan 7,7 hehtaarin alueesta on arvioitu täytettävän osa jo ennen vuotta 2020 (Salminen Tuula, suullinen tiedonanto). Massamääräarvioinnin vaikeuden vuoksi tämä on kuitenkin jätetty huomioimatta.

6.2.3 Teollisuusjätteen kaatopaikat

Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueella on useita teollisuusjätteen kaatopaikkoja, joille on mahdollista sijoittaa lievästi pilaantuneita maamassoja. Kaatopaikat ovat pääasiassa tarkoitettu kuitenkin vain teollisuuden omaa käyttöä varten. Lounais-Suomen ympäristökeskuksen asiantuntijoiden mukaan mahdollisuus teollisuuden toiminnan ulkopuolella syntyvien lievästi pilaantuneiden maiden sijoittamiseksi näille kaatopaikalle on erittäin pieni (Wester Timo, suullinen tiedonanto).

6.2.4 Suunnitteilla olevat käsittelyalueet

Kellahden jätteenkäsittelyalue, Pori

Poriin Ahlaisten Kellahdelle on suunnitteilla teollisuuden sivutuotteiden ja jätteen hyötykäyttö- ja loppusijoitusalue. Hanke on tällä hetkellä YVA-menettelyssä ja tarkoituksena olisi jättää toimintaa koskeva ympäristölupahakemus vuoden 1994 alussa (Ekokem-Palvelu Oy, 2003a).

Alueella on suunnitteilla vastaanottaa, lajitella ja esikäsitellä sekä tavanomaisia että ongelmajätteitä. Laitosalueelle on tarkoitus rakentaa myös välivarastointitilaa. Lisäksi alueella on mahdollista käsitellä pilaantuneita maa-aineksia stabiloimalla, alipainekäsittelyllä, pesulla sekä kompostoimalla. Pilaantuneiden maiden käsittelykapasiteetti tulee maksimissaan olemaan 50 000 t/a. Väli- ja esipeitossa hyödynnettäväksi lievästi pilaantuneita maita jätteenkäsittelyalueelle olisi mahdollista sijoittaa keskimäärin 20 000 t/a. Maamassat tullaan varastoimaan tyhjiin kenttäalueisiin kulloinkin käytettävän jätetäytön läheisyydessä (Ekokem-Palvelu Oy, 2003a).

Korvenmäen jäteaseman toimintojen laajennus, Salo

Korvenmäen jätealueen laajennussuunnitelman tavoitteena on monipuolistaa jäteaseman toimintoja. Alueella pyritään nostamaan kierrätyksen tasoa ja vähentämään lajittelemattomana kaatopaikalle sijoitettavan jätteen määrää. Laajennussuunnitelma on tällä hetkellä YVA-menettelyssä (Rouskis Oy, 2003).

Korvenmäen jäteasemalle varaudutaan mahdollisen laajennuksen jälkeen vastaanottamaan tavanomaisia jätteitä, erityisjätteitä, hyötyjätteitä, pilaantuneita maita sekä kotitalouksien ja teollisuuden ongelmajätteitä. Alueella varaudutaan myös bio- ja yhdyskuntajätteiden käsittelyyn sekä tarvittaessa ongelmajätteiden loppusijoitusalueen perustamiseen. Laajennuksen yhteydessä alueelle on tarkoitus rakentaa muun muassa pilaantuneiden maiden vastaanotto-, välivarastointi-, käsittely- sekä loppusijoitusalue. Alueella voitaisiin välivarastoida pilaantuneita maamassoja, pilaantuneiden maamassojen kaltaisia jakeita sekä teollisuuden sivutuotteita, jotka ominaisuuksiensa perusteella soveltuvat käsittelyyn ja/tai hyötykäyttöön (Rouskis Oy, 2003).

Pilaantuneiden maiden käsittely tehdään muun muassa stabiloimalla, kompostoimalla, pesemällä, termisesti, kapseloimalla, alipainekäsittelyllä, elektrodialyysillä. Käsittelyssä

käytetään pääsääntöisesti ulkopuolisia urakoitsijoita ja osa välivarastoitavista massoista voidaan toimittaa muualle pilaantuneiden maiden käsittelyluvan omaavaan paikkaan. Kaikki jäteasemalle vastaanotettavat pilaantuneet maat pyritään hyödyntämään käsittelykenttien rakenteissa ja kaatopaikan reunavalleissa sekä kaatopaikan esipeitossa (Rouskis, Oy 2003).

Lievästi pilaantuneiden maiden sijoituskapasiteetti tulee olemaan noin 20 000 t/a. Maamassat on tarkoitus hyödyntää kaatopaikan esipeitossa ja muissa kaatopaikan rakenteissa. Voimakkaammin pilaantuneiden maiden käsittelykapasiteetti on arvioitu olevan keskimäärin 80 000 t/a. Välivarastointitilaa alueelle on suunnitteilla noin 50 000 tonnin maa-ainemäärälle vuodessa (Rouskis, Oy 2003).

Hallavaaran käsittelykeskus, Köyliö

Köyliön Hallavaaran jätteenkäsittelykeskuksen yhteyteen on suunnitteilla pilaantuneiden maiden käsittelykeskus. Hanke on osa Tieliikennelaitoksen suunnittelemaa pilaantuneiden maiden käsittelyverkostohanketta, jonka tarkoituksena on perustaa Suomeen viidestä kymmeneen pilaantuneiden maiden käsittelykeskusta. Käsittelykeskushanke on tällä hetkellä YVA-menettelyssä ja mikäli hanke saa toimintaansa varten tarvittavat luvat, alueen rakentaminen voi alkaa vuoden 2004 aikana (Tieliikelaitos, 2003).

Hallavaaraan on tarkoitus tuoda pilaantuneita maita Satakierto Oy:n osakunnista ja yrityksistä, Satakunnasta, Varsinais-Suomesta, Hämeestä sekä Pirkanmaalta. Alueelle on suunnitteilla jätteiden välivarastointi-, käsittely- ja loppusijoitusmahdollisuudet. Pilaantuneita maita on suunnitelmien mukaan mahdollista käsitellä sementti- tai bitiumstabiloinnilla, termisellä desorptiolla tai alipainekäsittelyllä. Vastaanoton yhteydessä maamassoja voidaan esikäsitellä seulomalla (Tieliikelaitos, 2003).

Hankkeen toteuduttua Hallavaaran käsittelykeskuksessa on mahdollista käsitellä pilaantuneita maa-aineksia enimmillään noin 45 000 t/a. Pilaantuneiden maiden ja teollisuuden sivutuotteille on tarkoitus varata välivarastointitilaa 95 000 t/a (Tieliikelaitos, 2003). Uuden käsittelykeskuksen lievästi pilaantuneiden maiden sijoituskapasiteetti tulisi olemaan keskimäärin 20 000- 25 000 t/a (Kause Elli, suullinen tiedonanto)

Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueella suunnitteilla olevien lievästi pilaantuneiden maamassojen sijoituskohteet ja niiden sijoituskapasiteetit on esitetty taulukossa 6.9.

Taulukko 6.9. Lievästi pilaantuneiden maamassojen sijoitus- ja välivarastointikapasiteetti sekä pilaantuneiden maamassojen käsittelykapasiteetti suunnitteilla olevilla Lounais-Suomen alueen jätteenkäsittelyalueilla.

Jätteenkäsittelyalue	Sijainti	Lievästi pilaantuneiden maamassojen sijoituskapasiteetti (t/a)	Väli-varastointi-kapasiteetti (t/a)	Pilaantuneiden maamassojen käsittely-kapasiteetti (t/a)
Kellahden Jätteenkäsittelyalue	Pori	20 000	-	50 000
Korvemäen jäteaseman Laajennus	Salo	20 000	50 000	80 000
Hallavaaran jätteiden käsittelylaitoksen laajennus	Köyliö	20 000–25 000	95 000	45 000

6.2.5 Muut pilaantuneiden maiden käsittelypaikat

Outokumpu Harjavalta Metals Oy

Outokumpu Harjavalta Metals Oy käyttää vuosittain prosessissaan keskimäärin 120 000 tonnia hiekkaa, joka otetaan paikallisesta hiekkakuopasta. Neitseellinen maa-aines olisi mahdollista korvata myös erilaisilla teollisuuden sivutuotteilla kuten valuhiekoilla tai pilaantuneilla maamassoilla, jotka sisältävät samoja komponentteja, joita prosessissa käytetään muutenkin. Hyödynnettäessä pilaantuneita maamassoja metallien jalostusprosessissa, maamassat tulisivat samalla käsiteltä termisesti. Hyödynnettävät pilaantuneet maamassat voisivat sisältää epäpuhtautena metalleja tai öljyä. Prosessissa sopisivat käsiteltäväksi sekä lievästi että voimakkaasti pilaantuneet maamassat (Ympäristölupahakemus, 2003).

Outokumpu Harjavalta Metals Oy hakee tällä hetkellä ympäristölupaa korvaavien materiaalien käytölle prosessissaan. Tehtaalla on jo koko maamassojen käsittelemiseksi tarvittava laitteisto. Tehdasalueella olisi myös mahdollista varastoida prosessiin käytettävät materiaalit katetuissa tiloissa tai asfaltoidulla alueella (Ympäristölupahakemus, 2003). Mikäli toiminta saa tarvittavan ympäristöluvan, pilaantuneiden maamassojen hyödyntäminen voi alkaa jo vuoden 2004 aikana. Prosessin pilaantuneiden maamassojen käsittelykapasiteetti tulisi olemaan noin 32 000 tonnia vuodessa (Ruokonen Eeva, suullinen tiedonanto).

6.3 Arvio sijoituskohteiden riittävydestä

Lievästi pilaantuneita maamassoja muodostuu Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueella luvussa 6.1 tehdyn arvion mukaan noin 1,3 miljoonaa tonnia vuoteen 2020 mennessä (taulukko 6.6). Tämä tarkoittaa sijoituskohdetarvetta keskimäärin 76 000 tonnille lievästi pilaantuneita maamassoja vuosittain. Luvussa 6.2 tehdyn arvion mukaan Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueella löytyisi vuosien 2004–2020 välisenä aikana nykyiset kohteet huomioiden sijoituskohteita keskimäärin 1,1 miljoonalle tonnille maamassoja olettaen, että maamassoja hyödynnetään kaatopaikkojen pintarakenteissa. Tämän perusteella nykytilanne ei näyttäisi riittävän kattamaan koko sijoituspaikkatarvetta.

Sijoituskapasiteetti kasvaa huomattavasti, mikäli suunnitteilla olevat jätteenkäsittelykeskukset Porissa, Salossa ja Köyliössä toteutuvat. Niiden käyttöönoton jälkeen kohdealueen lievästi pilaantuneiden maamassojen sijoituskapasiteetti kasvaisi yli 40 000 tonnilla vuosittain. Lisäksi pilaantuneiden maiden käsittelymahdollisuuksia parantaa Outokumpu Harjavalta Metals Oy:n suunnitelma hyödyntää pilaantuneita maamassoja prosessissaan. Tämän hyödyntämismahdollisuuden toteuduttua pilaantuneiden maamassojen käsittelykapasiteetti kasvaisi kaatopaikkojen sijoitusmahdollisuuksien lisäksi noin 32 000 tonnilla vuodessa.

Köyliön käsittelykeskuksen rakentaminen on arvioitu aloitettavaksi vuonna 2004 (Tieliikelaitos, 2003). Suunnitteilla olevien jätteenkäsittelykeskusten laajennusten sekä uuden jätteenkäsittelykeskuksen perustamisen tarkkaa ajankohtaa ei kuitenkaan vielä tiedetä, joten tässä työssä niiden toiminnan alkamisajankohdaksi oletetaan vuosi 2008. Outokummun Harjavallan tehtaiden pilaantuneiden maamassojen käsittelyprosessin arvioitu alkamisajankohta on vuosi 2004 (Ruokonen Eeva, suullinen tiedonanto). Mikäli suunnitteilla olevat hankkeet toteutuvat arvioituna määräaikana, kohdealueella löytyisi vuoteen 2020 mennessä sijoitus- tai käsittelypaikkoja noin 2,3 miljoonalle tonnille lievästi pilaantuneita maamassoja. Tämä määrä riittäisi reilusti kattamaan arvioidun 1,3 miljoonan tonnin maamassojen sijoitustarpeen (taulukko 6.10)

Taulukko 6.10. Lievästi pilaantuneiden maamassojen sijoituskohteet vuosien 2004-2020 välisenä aikana nykyisen tilanteen mukaan sekä suunnitteilla olevien hankkeiden toteuduttua Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueella

Sijoituskohde	Sijaintikunta	Sijoituskapasiteetti 2004-2020 nykyinen tilanne (t)	Sijoituskapasiteetti 2004-2020 suunnitteilla olevien hankkeiden toteuduttua (t)
Merikarvian kaatopaikka	Merikarvia	7 800	7 800
Hangassuon kaatopaikka	Pori	247 700	247 700
Kellahden jätteenkäsittelyalue	Pori	-	260 000
Kooninkeitaan kaatopaikka	Kankaanpää	52 650	52 650
Hevossuon kaatopaikka	Rauma	48 800	48 800
Munaistenmetsän kaatopaikka	Uusikaupunki	26 200	26 200
Hallavaran jätteidenkäsittelykeskus	Köyliö	78 700	327 500
Vampulan kaatopaikka	Vampula	13 000	13 000
Topinojan kaatopaikka	Turku	402 500	402 460
Isosuon kaatopaikka	Raisio	32 400	32 400
Rauhalan kaatopaikka	Parainen	0	0
Korvenmäen jäteasema	Salo	170 000	300 000
Outokumpu Harjavalta Metals Oy	Harjavalta	-	544 000
Yhteensä		1 080 000	2 260 000

Eri käsittely- ja sijoituskohteiden kapasiteetti vastaanottaa lievästi pilaantuneita maamassoja vaihtelee hankkeiden toteutumisaikojen sekä kaatopaikkojen pintarakenteiden rakentamisen ajankohdan mukaan. Raision Isosuon osalta osa pintarakenteista on tarkoitus rakentaa jo vuoden 2003 loppupuolella peittämällä 5 hehtaarin kokoinen alue. Loput Isosuon kaatopaikka-alueesta kunnostetaan vuoden 2007 aikana. Topinojan kaatopaikan pintarakennustyöt jakautuvat myös useammalle vuodelle siten, että vuosien 2004 aikana arvioidaan kunnostettavaksi 5 hehtaarin alue, vuonna 2007 7 hehtaarin alue ja vuonna 2008 loput kaatopaikka-alueesta (Lehtokari Markku, suullinen tiedonanto). Vampulan kaatopaikka suljetaan vuoden 2004 loppuun mennessä, joten pintarakennustyöt arvioidaan tehtäväksi vuoden 2005 aikana. Loput kaatopaikkojen pintarakenteista rakennetaan vuosien 2007 ja 2008 aikana. Rakentaminen on arvioitu suoritettavan siten, että vuonna 2007 kunnostetaan 30 % ja vuonna 2008 70 % kaatopaikkojen pinta-aloista.

Taulukkoon 6.11. on jaoteltu eri käsittely- ja sijoituskohteiden mahdollinen lievästi pilaantuneiden maamassojen vastaanottokapasiteetti eri vuosien aikana. Taulukossa ilmoitetut arvot on laskettu olettaen suunnitteilla olevien käsittelykeskushankkeiden toteutuvan vuoteen 2008 mennessä ja Outokummun Harjavallan tehtaiden pilaantuneiden maamassojen käsittelyn vuoteen 2004 mennessä. Sijoitus- ja käsittelykapasiteettien

jaottelussa eri vuosille on lisäksi oletettu, että lievästi pilaantuneita maamassoja halutaan hyödyntää kaatopaikkojen pintarakenteissa.

Taulukko 6.11 Arvioitu Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueen lievästi pilaantuneiden maamassojen käsittely- ja sijoituskohteiden vuosittainen vastaanottokapasiteetti eri vuosina suunnitteilla olevien hankkeiden toteuduttua.

Sijoituskohde	Sijainti	Lievästi pilaantuneiden maamassojen sijoituskapasiteetti (t)				
		2004-2006	2007	2008	2009-2020	Yhteensä
Merikarvian kaatopaikka	Merikarvia	1 000	2 300	4 500	0	7 800
Hangassuon jäteasema	Pori	30 000	33 300	64 400	120 000	247 700
Kellahden jätteenkäsittelyalue	Pori	0	0	20 000	240 000	260 000
Kooninkeitaan kaatopaikka	Kankaanpää	150	15 600	36 300	600	52 650
Hevossuon jäteasema	Rauma	600	13 800	32 000	2 400	48 800
Munaistenmetsän kaatopaikka	Uusikaupunki	1 200	6 200	14 000	4 800	26 200
Hallavaaran jätteiden käsittelylaitos	Köyliö	9 300	11 800	42 400	264 000	327 500
Vampulan kaatopaikka	Vampula	13 000	0	0	0	13 000
Topinojan kaatopaikka	Turku	71 400	58 360	116 700	156 000	402 460
Isosuon kaatopaikka	Raisio	0	32 400	0	0	32 400
Rauhalan kaatopaikka	Parainen	0	0	0	0	0
Korvenmäen jäteasema	Salo	30 000	10 000	20 000	240 000	300 000
Outokumpu Harjavalta Metals Oy	Harjavalta	96 000	32 000	32 000	384 000	544 000
Yhteensä		253 000	216 000	382 000	1 410 000	2 260 000

Arvion perusteella lievästi pilaantuneiden maamassojen sijoitus- ja käsittelypaikkojen vastaanottokapasiteetti olisi suurin vuosien 2007 ja 2008 aikana suljettavien kaatopaikka-alueiden vuoksi. Tälle ajanjaksolle sijoittuisi noin 26 % lievästi pilaantuneiden maiden vastaanottokapasiteetistä. Kunnostettavista kohteista syntyviä sijoituspaikkaa kaipaavia maamassoja ei kuitenkaan muodostune samassa tahdissa hyödyntämiskohteiden kanssa. Välivarastointipaikat voisivat parantaa maamassojen käsittelymahdollisuuksia ja hyödyntämistä kaatopaikan rakenteissa. Tällä hetkellä kohdealueella ei kuitenkaan ole merkittäviä välivarastointipaikkoja pilaantuneille maamassoille. Suunnitteilla olevien jätelaitoshankkeiden yhteydessä olisi tarkoitus rakentaa välivarastointitilaa pilaantuneille maamassoille, mikä parantaa tilannetta huomattavasti. Lisäksi Outokumpu Harjavalta Metals Oy:llä olisi mahdollista varastoida omassa prosessissaan hyödynnettävä pilaantunut maa-aines.

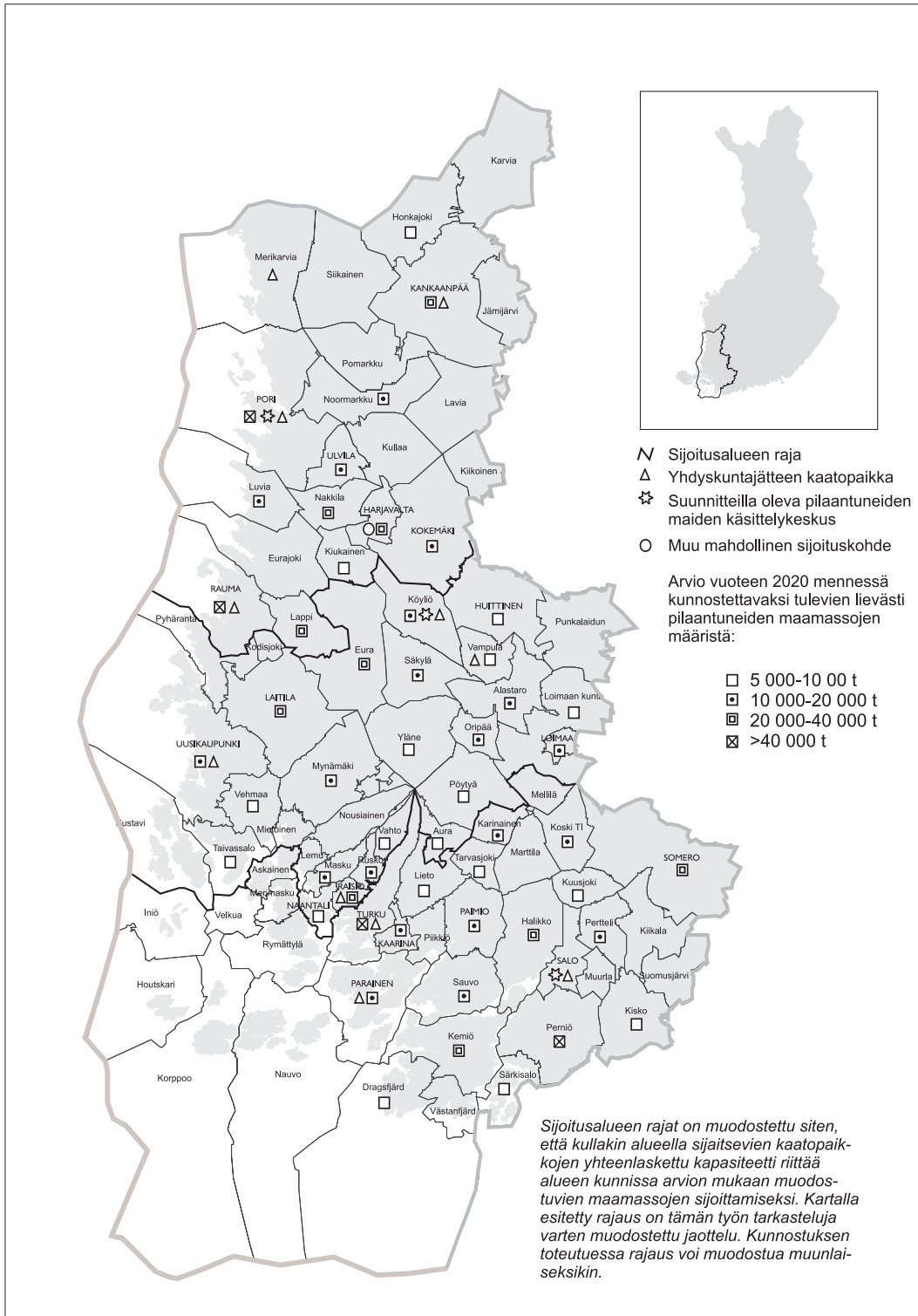
6.4 Maamassojen sijoittaminen

6.4.1 Mahdollisen sijoituskohteen valinta

Tässä luvussa esitetään eri kuntien alueelta muodostuville lievästi pilaantuneille maamassoille mahdollinen sijoituskohde. Tarkastelussa huomioidaan sijoituskohteina ainoastaan Lounais-Suomen ympäristökeskuksen nykyiset ja suunnitteilla olevat jätteenkäsittelyalueet. Kohteen luonteen vuoksi tarkastelussa on jätetty huomioimatta mahdollisuus hyödyntää pilaantuneita maamassoja Outokummun Harjavallan tehtaiden prosessissa. Tehtaalla mahdollisesti tulevaisuudessa hyödynnettävät maamassat tulevat todennäköisesti Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueen kuntien lisäksi myös muiden ulkopuolisten kuntien alueelta ympäri Suomea, joten logistista tarkastelua kyseiseen kohteeseen tulevien maamassojen osalta ei ole järkevä suorittaa.

Tietyn kunnan alueelta muodostuville maamassoille ei voida sijoituskohteiden vuosittaisen kapasiteettivaihtelun vuoksi määrittää yhtä ainuttakaan sijoituskohdetta. Tämän vuoksi kohdealue on jaettu kolmeen eri osa-alueeseen, joiden sisältämien kuntien alueella muodostuvat maamassat esitetään sijoitettavaksi jollekin alueella sijaitsevalle kaatopaikalle. Alueet on rajattu siten, että kullakin alueella sijaitsevien kaatopaikkojen yhteenlaskettu kapasiteetti riittää alueen kunnissa arvion mukaan muodostuvien maamassojen sijoittamiseksi. Kartalla esitetty raja on vain yksi tässä työssä esitetty mahdollisuus maamassojen sijoittamiseksi.

Kaatopaikkojen lievästi pilaantuneiden maamassojen vastaanottokapasiteettina on käytetty taulukossa 6.11 ilmoitettuja arvioita, joihin on huomioitu tällä hetkellä suunnitteilla olevien jätteenkäsittelykeskushankkeiden toteutuminen. Eri kuntien alueilta kunnostuksien yhteydessä syntyvät maamassamäärät on arvioitu riskikohteiden määrän jakautumisen ja osittain kunnostamattomista alueista tehtyjen pilaantuneiden maiden tutkimusten ja puhdistuspäätösten perusteella. Lounais-Suomen alueen nykyiset ja suunnitteilla olevat lievästi pilaantuneiden maamassojen sijoitus- ja käsittelypaikat, sijoitusalueiden rajat sekä arvio vuoteen 2020 mennessä eri kuntien alueilta muodostuvien lievästi pilaantuneiden maamassojen määristä on esitetty kuvassa 6.2.



Kuva 6.2. Lievästi pilaantuneiden maamassojen nykyiset ja suunnitella olevat sijoituskohteet, sijoitusalueiden rajat ja arvion mukaan kunnostustöiden yhteydessä vuoteen 2020 mennessä muodostuvien lievästi pilaantuneiden maamassojen määrä Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueella. Sijoitusalueen rajat muodostuvat siten, että kullakin alueella sijaitsevien kaatopaikkojen yhteenlaskettu kapasiteetti riittää alueen kunnissa arvion mukaan muodostuvien maamassojen sijoittamiseksi. Kartalla esitetty rajaus on vain yksi tässä työssä esitetty mahdollisuus maamassojen sijoittamiseksi.

Kuvassa 6.2 esitetyn jaottelun mukaan pääasiallisena pilaantuneiden maamassojen sijoituspaikkana toimisi alueen sijoituskapasiteetiltaan suurimmat, Porissa, Köyliössä, Salossa ja Turussa sijaitsevat kaatopaikat. Näiden lisäksi Kankaanpäässä sijaitsevan Kooninkeitaan, Rauman Hevossuon, Uudenkaupungin Munaistenmetsän sekä Raision Isosuon kaatopaikoilla on mahdollisuus sijoittaa pienempiä määriä lievästi pilaantuneita maamassoja. Vampulan ja Merikarvian kaatopaikkoja ei voida pitää kovin huomioon otattavina sijoituskohteina lievästi pilaantuneilla maamassoille vähäisen sijoituskapasiteetin ja kaatopaikkojen lopettamisen vuoksi. Rauman Hevossuon kaatopaikka saatetaan myös sulkea lähiaikoina, joten mahdollisuudet maamassojen sijoittamiseksi tälle kaatopaikalle voi loppua.

Potentiaaliset lievästi pilaantuneiden maamassojen sijoituskohteet jakautuvat melko tasaisesti Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueelle. Riskikohteita ja kunnostustoimien yhteydessä muodostuvia maamassoja on sijainniltaan kuitenkin hieman enemmän alueen eteläosissa. Maamassoja sijoitettaessa kaatopaikoille ja mahdollisiin muihin hyödyntämiskohteisiin ongelmallisimmaksi voi muodostua etenkin Turun kaupungin alue. Jo pelkästään Turun kaupungin alueelta arvioitu lievästi pilaantuneiden maamassojen määrä on lähes sama, kun alueen oman kaatopaikan arvioitu vastaanottokapasiteetti. Vastakohtaisesti alueen pohjoisosan arvioitu sijoituskapasiteetti etenkin Poriin suunnitellun uuden Kellahden jätteenkäsittelyalueen myötä tulee olemaan todella suuri verrattuna arvioituun sijoituskohteita kaipaaviin lievästi pilaantuneisiin massamääriin.

Maamassojen kuljetuksista aiheutuvien kustannusten ja ympäristövaikutusten arviointia varten liitteessä 2 olevassa taulukossa on esitetty yksityiskohtaisempi arvio eri kaatopaikoille mahdollisesti sijoitettavista lievästi pilaantuneiden maamassojen määristä. Joidenkin kuntien osalta maamassoja on arvioitu sijoitettavaksi useille eri kohdealueen kaatopaikoista. Taulukossa on lisäksi esitetty pilaantuneen maamassan sijaintikunnan ja sijoituskohteen välinen etäisyys sekä maamassojen kuljetuksiin kuluva aika ja kuljetuskustannukset. Esitetyt maamassamäärät ja sijoituskohteet ovat vain karkeita arvioita, joiden perusteella saadaan määritettyä suuruusluokkaa siirtokuljetuksista aiheutuvista kuljetuskustannuksista ja ympäristövaikutuksista. Todellisuudessa eri kuntien alueella kunnostettaviksi tulevien kohteiden ja niiden yhteydessä muodostuvien maamassojen määrä voi vaihdella moninkertaisesti esitettyyn arvioon verrattuna.

6.4.2 Kustannustarkastelu

Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueella luvussa 6.1 tehdyn arvion mukaan muodostuville lievästi pilaantuneiden maamassoille lasketaan siirtokuljetuksista aiheutuvat kustannukset. Kustannuksiin huomioidaan ainoastaan maamassojen siirtoihin kuluva rahallinen osuus, jättäen tarkastelussa huomioimatta muun muassa maamassojen kaivamisesta aiheutuvat kustannukset.

Siirtokuljetuksien kustannukset muodostuvat kuljetusfirman veloittamasta tuntiveloituksesta sekä arvonlisäverosta (22 %). Kuljetusfirman tuntiveloitus sisältää yleensä valmiiksi jo muun muassa auton käytöstä aiheutuvat työ-, polttoaine-, korjaus- ja huolto-, pääoma- sekä hallintokustannukset (Pöllänen ja Mäntynen, 2002). Laskuissa on käytetty neliakseliselle maansiirtoautolle käytettyä tuntiveloitusta 44 € + alv. (Rajala Seppo, suullinen tiedonanto).

Maamassojen kuljetuksiin kuluva aika muodostuu lastausajasta, kuorman purkuajasta ja ajoajasta. Laskuissa käytetään lisäksi hukkatuntikerrointa 1,15 määrittämään kuljetuksissa ennalta arvaamattomien tapahtumien seurauksena kuluvaan aikaan. Maamassojen lastaukseen kuluvaksi ajaksi on arvioitu 30 minuuttia ja purkuajaksi 10 minuuttia. Kuljetuksien ajoon kuluva aika lasketaan olettamalla ajoneuvon keskinopeudeksi 60 km/h tai poikkeuksena 30 km/h tapauksissa, jolloin maamassat kuljetetaan saman kunnan kaatopaikalle niiden muodostumispaikkakunnan kanssa. Sijoituskohteen ja pilaantuneen maan sijaintikunnan väliset välimatkat on määritetty pääasiassa Tiehallinnon (2003) välimatkatietokannan avulla. Mikäli pilaantuneiden maamassojen sijoituskohteet ja niiden muodostumisalue sijaitsee samassa kunnassa, ilmoitetut välimatkat ovat kaatopaikkahenkilökunnan arvioimia kaatopaikan ja sijaintikunnan keskustan välisiä etäisyyksiä.

Tiedot eri sijoituskohteisiin kuljetettavista maamassamääristä, sijoituskohteen ja pilaantuneen maamassa sijainnin välisestä etäisyydestä, siirtokuljetuksiin kuluva ajasta sekä kuljetuskustannuksista 5, 10 tai 19 tonnin kuormakoolla kuljetettuna on esitetty yksityiskohtaisesti liitteessä 2 olevassa taulukossa. Taulukossa 6.12 on esitetty yhteenvedona Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueen siirtokuljetuksiin kuluva aika sekä kuljetuksien kokonaiskustannukset. Lisäksi taulukkoon on laskettu kuljetuskustannukset kuljetettua tonnia kohden.

Taulukko 6.12 Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueella arvion mukaan muodostuvien lievästi pilaantuneiden maamassojen kuljetuksiin kuluva aika, kuljetuksien kokonaiskustannukset sekä kuljetuskustannukset kuljetettua tonnia kohden jaoteltuna eri kuormakoon kuljetuksiin.

Kuormakoko (t)	Kuljetuksiin kuluva aika (h)	Kustannukset yhteensä (€)	Kustannukset kuljetettua tonnia kohden (€/t)
5	490 000	26 310 000	20,2
10	245 000	13 150 000	10,1
19	129 000	6 920 000	5,3

Lievästi pilaantuneiden maamassojen kuljettaminen kaatopaikoille tulisi arvion mukaan maksamaan 5-20 € kuljetettua maamassatonna kohden kuljetettavien kuormien koosta riippuen. Todellisuudessa kuljetukseen käytettävän auton lastia ei saada kuormattua täysin auton kantavuuden mukaisesti. Usein kuorman tilavuus on täytetty ennen kuin auton sallima maksimi kuormauspaino on saavutettu (Pöllänen ja Mäntynen, 2002). Tämän vuoksi voidaan kustannusten olevan täysillä lasteilla kuljetettuna hieman arvioitua 5 €/t suurempi.

6.4.3 Ympäristövaikutusten arviointi

Dieselkäyttöisen auton pakokaasu koostuu pääasiassa typestä (66 %), hiilidioksidista (13 %) ja vedestä (11 %). Lisäksi epätäydellisestä palamisesta johtuen pakokaasun seassa on palamattomia ja osittain palaneita polttoaineen komponentteja sekä palamisen sivutuotteita, kuten typen oksideja, hiilivetyjä, hiilimonoksidia, rikkidioksidia, lyijyä sekä hiukkasia. Pakokaasun koostumus ei ole aina sama, vaan se vaihtelee olosuhteiden mukaan muun muassa ajoneuvon tyypistä, iästä ja kunnosta sekä polttoaineen laadusta, ajonopeudesta, ajoneuvon kuormituksesta, ajotavasta sekä moottorin ja ulkoilman lämpötilasta riippuen (Mäntynen ja Kalenoja, 1992). Tieliikenteen kannalta oleellisimpia ympäristövaikutuksia aiheuttavia pakokaasun komponentteja ovat hiilimonoksidi-, typen oksidi-, hiilidioksidi ja hiukkaspäästöt (Pöllänen ja Mäntynen, 2002).

Kohdealueen arvioitujen pilaantuneiden maamassojen siirtokuljetuksien hiilidioksidi-, typen oksidi- ja hiukkaspäästöt sekä energian- ja polttoaineen kulutus on esitetty taulukossa 6.13. Laskennassa on käytetty VTT:n LIPASTO 2002 tietojärjestelmän ilmoittamia liikennevälineiden yksikköpäästö- ja energiankulutusarvoja (LIPASTO, 2002). Laskuissa käytettävät yksikköarvot ovat maksimikantavuudeltaan 19 tonnin maansiirtoautolle maantieajossa ilmoitettuja keskimääräisiä arvoja. Kuorman koon vaikutuksen määrittämiseksi energiankulutukseen sekä päästöihin kyseiset arvot on

laskettu kolmelle eri lastikoolle (5, 10 ja 19 tonnia). Laskuissa on oletettu, että kuorma viedään joko 5, 10 tai 19 tonnin lasteina sijoituskohteeseen ja auto palaa takaisin tyhjänä. Yksityiskohtaisemmat laskelmat päästöistä ja polttoaineen sekä energiankulutuksesta on esitetty liitteessä 3.

Taulukko 6.13. Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueella lievästi pilaantuneiden maamassojen siirtokuljetuksissa muodostuvat kokonaispäästöt sekä polttoaineen- ja energiankulutus eri kuormakoolla kuljetettaessa.

Kuormakoko (t)	CO₂ (g)	NO_x (g)	Hiukkaset (g)	Energia (MWh)	Polttoaine (l)
5	9 629 000	105 000	1 770	36 800	3 620 000
10	5 015 000	54 600	920	19 100	1 890 000
19	2 830 000	30 600	520	10 700	1 060 000

Taulukkoon 6.14 on laskettu lisäksi lievästi pilaantuneiden maamassojen siirtokuljetuksista aiheutuvat päästöt sekä energian- ja polttoaineen kulutus kuljetettua tonnia kohden. Arvion mukaan päästöt sekä polttoaineen- ja energian kulutus ovat pienimmät suurimmalla mahdollisella lastikoolalla kuljetettaessa (Taulukko 6.14). Kuormakoon kasvaessa 5 tonnin lastista 19 tonniin vähenee kuljetuksista muodostuvat päästöt sekä polttoaineen- ja energiankulutus noin 70 %.

Taulukko 6.14 Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueella arvion mukaan muodostuvien lievästi pilaantuneiden maamassojen siirtokuljetuksista aiheutuvat kokonaispäästöt sekä polttoaineen- ja energian kulutus kuljetettua maamassatonna kohden eri kuormakoolla laskettuna.

Kuormakoko (t)	CO₂ (g/t)	NO_x (g/t)	Hiukkaset (g/t)	Energia (KWh /t)	Polttoaine (l/t)
5	7 400	81	1,4	28	2,8
10	3 900	42	0,7	15	1,5
19	2 200	24	0,4	8	0,8

Lievästi pilaantuneiden maamassojen siirtokuljetuksien polttoaineen kokonaiskulutukseksi saadaan 3.6, 1.9 ja 1.1 milj. litraa riippuen kuljetettävien kuormien koosta (Taulukko 6.13). Tutkimuksessa käytettävä pilaantuneiden kohteiden kunnostusmääräajaksi oli valittu vuosi 2020, joten Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueella muodostuvien lievästi pilaantuneiden maamassojen kuljetukset lasketaan jakautuvan 17 vuodelle. Tämän perusteella siirtokuljetukset vastaisivat kuormakoosta riippuen keskimäärin 210 000, 110 000 ja 60 000 litran polttoainekulutusta vuodessa.

Kuljetuksien polttoainekulutusta normaalin dieselhenkilöauton kulutukseen verrattaessa, saadaan hahmotettua polttoaineen kulutuksen ja niistä aiheutuvien päästöjen suuruusluokkaa. Dieselhenkilöauto kuluttaa maantieajossa keskimäärin 5,3 l/100km (LIPASTO, 2002). Eri talouksien henkilöautolla ajamat vuosittaiset ajosuoritteet

vaihtelevat suuresti keskiarvon ollessa 18 800 km vuodessa (Pöllänen ja Mäntynen, 2002). Keskimääräisen ajosuoritteen perusteella henkilöautot kuluttavat noin 996 litraa dieseliä vuodessa. Laskennan perusteella Lounais-Suomen alueen lievästi pilaantuneiden maamassojen siirtokuljetukset vastaavat kuormakoosta riippuen 60–200 henkilöauton vuosittaisia ajosuoritteita. Henkilöauton keskimääräinen matkustajalukumäärä on noin 2,1 henkilöä (LIPASTO, 2002), joten maamassojen siirtokuljetukset vastaavat keskimäärin 130–445 henkilön vuosittaisia henkilöautolla kulkevia matkoja.

7. Johtopäätökset ja suositukset

Kunnostustoimien yhteydessä lievästi pilaantuneita maamassoja on sijoitettu lähinnä kaatopaikoille hyödynnettäväksi väli- ja pintarakenteissa. Kaatopaikoilla tarpeet ja tavat maamassojen vastaanottamiseksi kuitenkin vaihtelevat suuresti. Työssä kartoitettiin Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueella kunnostustoimien yhteydessä muodostuva lievästi pilaantuneiden maamassojen määrä ja tarkastelualueella sijaitsevat lievästi pilaantuneille maamassoille soveltuvat sijoituskohteet ja niiden vastaanottokapasiteetit sekä mahdollinen tarve uusille sijoituskohteille.

Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueella vuoteen 2020 mennessä pilaantuneiden alueiden kunnostustoimien yhteydessä muodostuvaksi lievästi pilaantuneiden maamassojen kokonaisuusmääräksi arvioitiin noin 1,3 miljoonaa tonnia. Maamassoista 72 p-% sisältää epäpuhtautena pääasiassa metalleja, 19 p-% hiilivetyjä ja 9 p-% dioksiineja, furaaneja tai kloorifenoleita. Tarkasteluajanjaksona näille lievästi pilaantuneille maille löytyy nykyisillä yhdyskuntajätteen kaatopaikoilla kapasiteettia keskimäärin 1,1 miljoonalle tonnille maamassoja. Suunnitteilla olevien jätteenkäsittelykeskusten, jätteenkäsittelykeskusten laajennusten sekä muiden hyödyntämismahdollisuuksien toteuduttua sijoitusmahdollisuudet kasvaisivat jopa 2,3 miljoonaan tonniin.

Arvioidut lukuarvot muodostuvista massamääristä ja sijoituskohteiden kapasiteetista eivät lähtötietojen epätarkkuuksien vuoksi ole tarkkoja. Maamassojen määrä- ja laatuarvioihin aiheuttaa virhettä muun muassa yksikkömassamäärien laskennassa käytettävien lähtötietojen vähäinen määrä. Tarkempien massamääräarvioiden muodostamiseen tarvittaisiin kohdekohtaisia tutkimuksia pilaantuneista alueista sekä sijoituspaikoista. Tulosten epätarkkuus tulisi huomioida lukuarvoja käsiteltäessä, jotta välttyttäisiin tarpeettomilta virhearvioinneilta ja yleistyksiltä. Maamassojen laskennassa huomioitujen maamassojen pitoisuudet olivat SAMASE- raportissa määritettyjen ohje- ja raja-arvojen välisiä pitoisuuksia. Luokiteltaessa maamassoja ongelmajätteeksi voi haitta-aineen pitoisuusraja-arvo olla suurempi, kuin SAMASE:ssa esitetty raja-arvo. Mikäli tässä työssä maamassojen laskennassa olisi käytetty ongelmajätteen mukaisia pitoisuusraja-arvoja, olisi sijoituskohteita tarvitsevien maamassojen määrä noussut nyt arvioitua suuremmaksi.

Tämä työ perustuu viranomaisten kiinnostukseen kartoittaa kohdealueella muodostuvien lievästi pilaantuneiden maamassojen määrä ja potentiaaliset sijoitusmahdollisuudet.

Virhemahdollisuudet mukaan lukien tässä työssä arvioidussa sijoituskapasiteetissa on runsaasti liikkumavaraa sijoituskohteita tarvitsevien maamassojen määrään verrattuna. Tämän vuoksi voidaan todeta, että sijoitus- ja hyödyntämiskohteita lievästi pilaantuneille maamassoille on Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueella riittävästi ja uusia sijoituskohteita ei tarvita, mikäli suunnitelmat jätteenkäsittelyalueiden laajennuksista sekä uusista jätteenkäsittelyalueista ja hyödyntämiskohteista toteutetaan. Tässä sijoituskohdekartoituksessa ei huomioitu maamassojen vaihtoehtoisten käsittelymenetelmien vaikutusta muualle sijoittamistarpeeseen. Kaikkia lievästi pilaantuneita maamassoja ei todellisuudessa tulla kuljettamaan kaatopaikoille ja siksinäkin tarve kunnostettavan kohteen ulkopuolisille sijoituskohteille tulee olemaan vielä työssä tehtyä arviota vähäisempi.

Sijainniltaan Lounais-Suomen alueen sijoituskohteet jakautuvat melko tasaisesti kohdealueelle. Riskikohteita ja mahdollisesti kunnostustoimien yhteydessä muodostuvia maamassoja on kuitenkin hieman enemmän alueen eteläosissa. Tämän seurauksena maamassojen sijoittaminen siellä voi osoittautua hieman hankalammaksi. Alueen pohjoisosissa sijoituskapasiteettia tulee arvion mukaan olemaan ylimäärin. Mikäli pilaantuneiden alueiden kunnostustoimien seurauksena muodostuneet lievästi pilaantuneet maamassat päädytään kuljettamaan kaatopaikoille, jäävät kuljetuksista aiheutuvat kustannukset melko vähäisiksi. Siirtokuljetusten ympäristövaikutukset eivät myöskään tulisi olemaan merkittäviä.

Tähän mennessä lievästi pilaantuneita maamassoja on sijoitettu lähes poikkeuksetta kaatopaikoille. Pilaantuneiden maamassojen sijoittamista kaatopaikoille ympäri Lounais-Suomen aluetta ei voida pitää parhaana mahdollinen toimintatapana pilaantuneiden kohteiden kunnostuksien yhteydessä. Lievästi pilaantuneiden maamassojen kaatopaikkasijoitusta voitaisiin vähentää lisäämällä kohteiden kunnostusta *in situ*. Kunnostaminen *in situ* olisi kannattavaa, etenkin suurempia pilaantuneita kohteita kunnostettaessa, jolloin välttyttäisiin suurien massamäärien kuljettamiselta. Biohajoavilla haitta-aineilla pilaantuneille kohteille soveltuisivat muun muassa huokosilmatekniikat. Huokosilmatekniikat olisivat hyödyllisiä esimerkiksi rakennusten alla sijaitsevien pilaantumisien kunnostamisessa, jolloin välttyttäisiin rakennusten purkamiselta. Menetelmä soveltuu myös kohteisiin, jotka tarvitsevat pilaantuneiden maamassojen kunnostuksen lisäksi pohjaveden puhdistamista. Kunnostuspäätöksiä annettaessa voitaisiin ohjata ja muuttaa yleisiä toimintatapoja suosimalla mahdollisuuksien mukaan maamassojen *in situ*

kunnostusta, kaatopaikkasijoituksen sijaan. Tilannetta voisi myös parantaa lainsäädännöllisesti sitovien normien olemassaolo.

Kunnostusmenetelmien valinnan yhteyteen voitaisiin lisäksi liittää myös riskinarviointi, jonka avulla voitaisiin arvioida tarkemmin muun muassa kunnostuksen tarpeellisuus ja mahdollisuus kunnostaa kohde paikanpäällä. Riskinarvioinnilla voitaisiin määrittää tarkemmin myös kunnostettavalta kohteelta vaadittava kunnostuksen taso. Kunnostuksen taso riippuu alueen tulevasta maankäytöstä, joten esimerkiksi teollisuusaluekäytössä voitaisiin sallia ehkä hieman tavallista suurempia haitta-ainepitoisuuksia, mikäli alueelta muodostuva riski arvioitaisiin tarpeeksi pieneksi.

Lähdeluettelo

Abramowicz, D. A., Brennan, M. J. Van Dort, H. M. and Gallagher, E. L. 1993. Factors influencing the rate of polychlorinated biphenyl dechlorination in Hudson River sediments. *Environmental Science and Technology*. Vol. 27, p. 1125-1131.

Ahtiainen, J., Dahlbo, H., Joutti, A., Nakari, T., Nevalainen, J., Pönni, S., Schultz, E. ja Vaaajasaari, K. 1998. Liukoisuus ja biotestit jätteiden kaatopaikkakelpoisuuden arvioinnissa: loppuraportti. Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 202. Tampere. 84 s.

Annachhatre, A. P. and Gheewala, S. H. 1996. Biodegradation of chlorinated phenolic compounds. *Biotechnology Advances*. Vol. 14, no. 1, p. 35-56.

Armenante, P. M., Kafkewitz, G., Lewandowski, A. and Jou, C-J. 1998. anaerobic-aerobic treatment of halogenated phenolic compounds. *Water Research*. Vol. 33, no. 3, p. 681-692.

Assmuth, T. 1992a. Saastuneiden maa-alueiden riskinarviointi. *Ympäristö ja terveys*. Vol. 23, no. 2-3, s.120-131.

Assmuth, T. 1992b. Saastuneiden maa-alueiden tutkimuksen yleinen toteutus ja kenttämenetelmät. *Ympäristö ja terveys*. Vol. 23, no. 2-3, s.104-118.

Assmuth, T. 1996. Saastuneiden alueiden pitoisuusrajat ja muut kvantitatiiviset riskinhallintakriteerit. *Ympäristö ja terveys*. Vol. 27, no. 3-4, s.43-52.

Bouwer, E. J. 1994. Bioremediation of chlorinated solvents using alternate electron acceptor. Teoksessa: Norris, Hinchee, Brown, McCaty, Semprini, Wilson, Kampbell, Reinhard, Bouwer, Borden, Vogel, Thomas and Ward. *Handbook of Bioremediation*. Boca Raton, Lewis, CRC press, p.149-175.

Boyd, S. A. and Sun, S. 1990. Residual petroleum and polychlorobiphenyl oils as sorptive phases for organic contaminants in soil. *Environmental Science and Technology*. Vol. 24, no. 1, 142-144.

Bradford, S. S., Rathfelder, K. M., Lang, J. and Abriola, L. M. 2003. Entrapment and dissolution of DNAPLs in heterogenous porous media. *Journal of Contaminant hydrology*. Vol. 67, no. 1-4, p. 133-157

Brown, R. 1994. Treatment of petroleum hydrocarbons in ground water by air sparging. Teoksessa: Norris, Hinchee, Brown, McCaty, Semprini, Wilson, Kampbell, Reinhard, Bouwer, Borden, Vogel, Thomas and Ward. *Handbook of Bioremediation*. Boca Raton, Lewis, CRC press, p. 61-85.

- Chang, B. V., Shiung, L. C. and Yuan, S. Y. 2002. Anaerobic biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbon in soil. *Chemosphere*. Vol. 48, no. 7, p. 717-724.
- Chang, C-C., Tseng, S-K., Chang, C-C., Ho, C-M. 2003. Reductive dechlorination of 2-chlorophenol in a hydrogenotrophic, gas-permeable, silicone membrane bioreactor. *Bioresource Technology*. Vol. 90, p. 323-328.
- Corbitt, R. A. 1989. *Standard Handbook of Environmental Engineering*. McGraw-Hill Publishing company, New York. p. 1275
- Chu, W. and Kwan, C. Y. 2003. Remediation of contaminated soil by a solvent/surfactant system. *Chemosphere*. Vol. 53, p. 9-15.
- Daniel, D.E. 1993. *Geotechnical practice for waste disposal*. Chapman & Hall, London. 183 s.
- Davis, M. L. and Cornwell, D. A. 1998. *Environmental engineering*. McGraw-Hill Book co. Singapore. 919 p.
- Dermatas, D. and Meng, X. 2003. Utilization of fly ash for stabilization/solidification of heavy metal contaminated soils. *Engineering Geology*. Vol. 70, p. 377-394.
- Ekokemin ohje. 1997. Raja-arvot maan saastuneisuuden arviointiin. 2/97
- Ekokem-Palvelu Oy. 2003a. Kellahden jätteenkäsittelyalue, ympäristövaikutusten arviointi, arviointiohjelma. Saatavissa: <http://www.vyh.fi/poltavo/yva/arkisto/los/yvapdf/ekopalv1.pdf> [viitattu 27.8.2003].
- Ekokem palvelu Oy. 2003b. Terminen käsittely. Saatavissa: <http://www.ekokem.fi/main/Download.asp?ItemId=3736> [viitattu 28.10.2003].
- Elzahabi, M. and Yong, R. N. 2000. pH influence on sorption characteristics of heavy metal in the vadose zone. *Engineering Geology*. Vol. 60, p. 61-68.
- EPA. 1995. How to evaluate alternative cleanup technologies for underground storage tank sites: A guide for corrective action plan reviewers, EPA 510-B-94-003 and EPA 510-B-95-007. Saatavissa: <http://www.epa.gov/swerust1/pubs/tums.htm> [viitattu 11.8.2003].
- Eriksson, M., Dalhammar, G. and Borg-Karlson, A.-K. 2000. Biological degradation of selected hydrocarbons in an old PAH/creosote contaminated soil from a gas work site. *Applied Microbiology and Biotechnology*. Vol. 53, p. 619-626.
- Eweis, J. B., Ergas, S. J., Chang, D. P. Y. and Schroeder, E. D. 1998. *Bioremediation Principles*. McGraw-Hill Book co, Malaysia, 296 p.

Ferguson, C. C. 1999. Assessing risks from contaminated sites. Policy and Practice in 16 European Countries. Land contamination & Reclamation. Vol. 7, no. 2, p. 33-54.

Flanagan, W. P. and May, R. J. 1993. Metabolite detection as evidence for naturally occurring aerobic PCB biodegradation in Hudson River sediments. Environmental Science and Technology. Vol. 27, p. 2207-2212.

Gallego, A. Fortunato, M. S. Foglia, J., Rossi, S., Gemini, V., Gomez, L., Gomez, C. E., Higa, L. E. and Korol, S. E. 2003. International Biodeterioration and Biodegradation. Vol. 52, p. 261-267.

Heikkinen, P. 2000. Haitta-aineiden sitoutuminen ja kulkeutuminen maaperässä. Geologian tutkimuskeskus, tutkimusraportti 150. Espoo. 68 s. 1 liite.

Herbert, R. B. Jr. 1996. Metal retention by iron oxide precipitation from acidic ground water in Dalarna, Sweden. Applied Geochemistry. Vol. 11, p. 229-235.

Heron, G., Van Zutphen, M., Christensen, T. H. and Enfield, C. G. 1998. Soil heating for enhanced remediation of chlorinated solvents: A laboratory study on resistive heating and vapor extraction in a silty, low-permeable soil contaminated with trichloroethylene. Environmental Science and Technology. Vol. 32, no. 10, p. 1474-1481.

Hinchee, R. E. 1994. Bioventing of petroleum hydrocarbons. Teoksessa: Norris, Hinchee, Brown, McCarty, Semprini, Wilson, Kampbell, Reinhard, Bouwer, Borden, Vogel, Thomas and Ward. Handbook of Bioremediation. Boca Raton, Lewis, CRC press, p. 39-59.

Hong, K-J., Tokunaga, S. and Kajiuchi, T. 2002. Evaluation of remediation process with plant-derived biosurfactant for recovery of heavy metals from contaminated soils. Chemosphere. Vol. 49, p. 379-387.

Huang, W., Peng, P., Yu, Z. and Fu, J. 2002. Effects of organic matter heterogeneity on sorption and desorption of organic contaminants by soils and sediments. Applied Geochemistry. Vol. 18, p. 955-972.

Häikiö, M. 2000. Pilaantuneiden maa-ainesten käsittelylaitosten tarveselvitys, Etelä-Savo Keski-Suomi, Pohjois-Karjala ja Pohjois-Savo. Pohjois-Savon ympäristökeskus. Suomen ympäristö 176. Kuopio. 63 s, 9 liitettä.

Jaakkonen, S. 2001. Kartoitus mahdollisesti saastuneista alueista Helsingissä. Helsinki. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisu 5/2001. 33 s, 7 liitettä.

Jeltsch, U. 1990. Saastuneiden maa-alueiden kunnostus. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja. Sarja A, nro. 44. Helsinki. 178 s, 7 liitettä.

Johnson, D. B. and Hallberg, K. B. 2003. The microbiology of acidic mine waters. Research in Microbiology. Vol. 154, p. 466-473.

Jørgensen, K. S., Puustinen, J. and Suortti, A.-M. 1999. Bioremediation of petroleum hydrocarbon-contaminated soil by composting biopiles. *Environmental Pollution*. Vol. 107, p. 245-254.

Järvinen, E. 1999. Uusi ympäristönsuojelulaki eduskunnalle. *Ympäristö*. Nro. 7. s. 25

Järvinen, K., Melin, E. S. and Puhakka, J. A. 1994. High-rate bioremediation of chlorophenol-contaminated groundwater at low temperatures. *Environmental Science and Technology*. Vol. 28, p. 2387-2392

Jätehuoltolaki, 673/1978

Jätelaki, 1073/1993

La Grega, M. D., Buckingham, P. L. and Evans, J. C. 1994. Hazardous waste management. New York, MacGraw-Hill, 1146 p.

Laine, M. M., Haario, H., Jørgensen, K. S. 1997. Microbial functional activity during composting of chlorophenol contaminated sawmill soil. *Journal of Microbial Methods*. Vol. 30, p. 21-32.

Lorenzen, D. F., Aldrich, C. and Maré, P. W. 2001. Ex situ diesel contaminated soil washing with mechanical methods. *Minerals Engineering*. Vol. 14, no. 9, p. 1093-1100.

Khodadoust, A. P., Wagner, J. A., Suidan, M. T. and Brenner, R. C. 1997. Anaerobic treatment of PCP in fluidized-bed GAC reactors. *Water research*. Vol. 31, no. 7, p. 1776-1786.

Komancová, M., Jurčová, I., Kochánková, L. and Burkhard, J. 2003. Metabolic pathways of polychlorinated biphenyls degradation by *Pseudomonas* sp. 2. *Chemosphere*. Vol. 50, p. 537-543.

Kaštánek, F., Demnerová, K., Pazlarová, J., Burkhard, J. and Maléťrová, Y. 1999. Biodegradation of polychlorinated biphenyls and volatile chlorinated hydrocarbons in contaminated soils and ground water in field condition. *International Biodeterioration and Biodegradation*. Vol. 44, p. 39-47.

Kuusela-Lahtinen, A. ja Vahanne, P. 2002. Esiselvitys- Maaperän heterogeenisuuden merkitys pilaantuneiden maiden riskinarvioinnille. Tutkimusraportti nro. RTE4633/01. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Saatavissa:
http://www.vyh.fi/tutkimus/ohjelma/klusteri/infra/Mari_esiselvitys.pdf [viitattu 10.7.2003]

Leppänen, M. 1998. Kaatopaikkojen tiivistysrakenteet. Helsinki. Suomen ympäristökeskus. *Ympäristöopas* 36. 143 s.

Liippo, L. ja Anttila, K. 2002. Lounais-Suomen alueellinen jätesuunnitelma Seuranta ja tarkistaminen 2001-2002. Lounais-Suomen ympäristökeskuksen moniste 16/2002. Turku. 40 s.

LIPASTO. 2002. Liikennevälineiden yksikköpäästöt. Saatavissa: <http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/maansiirtoautokadut.htm> [viitattu 30.9.2003].

Mackay, D. M., Roberts, P. V. and Cherry, J. A. 1985. Transport of organic contaminants in groundwater, Distribution and fate of chemicals in sand and gravel aquifers. *Environmental Science and Technology*. Vol. 19, no. 5, p. 384-392.

Markkanen, T. 1998. Selvitys saastuneiden maamassojen alueellisesta käsittelystä eteläisessä Suomessa. Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 227. Helsinki. 84 s.

MASA. 2003. Mahdollisesti pilaantuneiden maa-alueiden rekisteri, Lounais-Suomen ympäristökeskus.

Masunaga, S., Susarla, S., Gundersen, J. L. and Yonezawa, Y. 1996. *Environmental Science and Technology*. Vol. 30, p. 1253-1260.

McCarthy, J.F. and Zachara, J. M. 1989. Subsurface transport of contaminants. *Environmental Science and Technology*. Vol. 23, no. 5, p. 496-502.

Ministry of environment and energy. 1999. Contaminated soil act. Danish environmental protection agency. Saatavilla: <http://www.mst.dk/homepage/> [viitattu 26.6.2003].

Mroueh U-M., Järvinen, H-L. ja Lehto, O. 1996. Saastuneiden maiden tutkiminen ja kunnostus. Helsinki. Teknologian kehittämiskeskus, Teknologiakatsaus 47/96. 194 s.

Mroueh, U-M., Mäkelä, E., Wahlström, M., Kauppila, J., Sorvari, J., Heikkinen, P., Salminen, R., Juvankoski, M. ja Tammirinne, M. 2000. Sivutuotteet maarakenteissa - käyttökelpoisuuden osoittaminen. Helsinki. Teknologian kehittämiskeskus. Teknologiakatsaus 93/2000. 87 s.

Mroueh, U-M. 2000. Saastuneiden maiden riskinarviointi- kansainvälinen tilanne. Helsinki. Teknologian kehittämiskeskus. Teknologiakatsaus 84/2000. 48 s.

Mäkelä, H. ja Höynälä, H. 2000. Sivutuotteet ja uusiomateriaalit maarakenteissa - materiaalit ja käyttökohteet. Helsinki. Teknologian kehittämiskeskus. Teknologiakatsaus 91/2000. 97 s.

Mälkki, E., Sihvonen, K. ja Suokko, T. 1988. Ihmisen toiminnan vaikutus pohjaveteen. II Taimitarhat. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro. 50. Helsinki. 37 s, 4 liitettä.

- Männistö, M. K., Salkinoja-Salonen, M. S. and Puhakka J. A. 2001. *In situ* polychlorophenol bioremediation potential of the indigenous bacterial community of boreal groundwater. *Water Research*. Vol. 35, no. 10, p. 2496-2504.
- Mäntynen, J. ja Kalenoja, H. 1992. Liikenteen ympäristövaikutukset ja liikenneturvallisuus. Julkaisu 18 Osa I, Liikenteen ympäristövaikutukset. Tampere. 147 s.
- Naturvårds verket. 2003. Environmental code. Saatavilla: http://miljo.regeringen.se/pressinfo/pdf/ds2000_61.pdf [viitattu 11.11.2003].
- Namkoong, W., Hwanh, E-Y. Park, J-S. and Choi, J-Y. 2002 Bioremediation of diesel contaminated soil with composting. *Environmental Pollution*. Vol. 119, p. 23-31.
- Nikunen, E. 1993. Ympäristölle vaaralliset kemikaalit. Kemianteollisuus ry. Chemas Oy. Helsinki. 118 s.
- North Atlantic Treaty Organisation. 1998. Evaluation of Demonstrated and Emerging Technologies for the Treatment and Clean Up of Contaminated Land and Groundwater (Phase III). Vienna, Austria, NATO/CCMS Pilot Study, Annual report no. 288, 143 s.
- North Atlantic Treaty Organisation. 1999. Evaluation of Demonstrated and Emerging Technologies for the Treatment and Clean Up of Contaminated Land and Groundwater (Phase III). Vienna, Austria, NATO/CCMS Pilot Study, Annual report no. 235, 187 s.
- North Atlantic Treaty Organisation. 2002. Evaluation of Demonstrated and Emerging Technologies for the Treatment and Clean Up of Contaminated Land and Groundwater (Phase III). Vienna, Austria, NATO/CCMS Pilot Study, Annual report no. 255, 288 s.
- Pajukallio, A-M. 2001. Viikinmäen ampumarata-alueen lyijypitoisten maiden loppusijoitus, ympäristövaikutusten arviointiselostus. Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston julkaisu 20/2001. Helsinki. 97 s, 3 liitettä.
- Penttinen, R. 2001. Maa- ja pohjaveden kunnostus-yleisimpien menetelmien esittely. Helsinki. Suomen ympäristökeskuksen moniste 227. 51 s.
- Puolanne, J., Pyy, O. ja Jeltsch, U. 1994. Saastuneet maa-alueet ja niiden käsittely Suomessa. Saastuneiden maa-alueiden selvitys ja kunnostusprojekti; loppuraportti. Helsinki. Ympäristöministeriö, ympäristönsuojeluosasto, Muistio 5/1994. 218 s. 15 liitettä.
- Prokop, G., Schamann, M. and Edelgaard, I. 2000. Management of contaminated sites in Western Europe. European Environment Agency, no. 13. Saatavilla: http://reports.eea.eu.int/Topic_report_No_131999/en/topic_13_1999.pdf. [viitattu 2.10.2003].
- Pöllänen, M. ja Mäntynen, J. 2002. Tieliikenne. Tampere, Tampereen teknillinen korkeakoulu, liikenne ja kuljetustekniikka. Julkaisu 32. 166 s.

- Rhee, G-Y., Skol, R.C., Bush, B. and Bethoney, C.M. 1993. Long-term study of the anaerobic dechlorination of aroclor 1254 with and without biphenyl enrichment. *Environmental Science and Technology*. Vol. 27, no. 4, p. 714-719.
- Rouskis Oy. 2003. Korvenmäen jäteaseman toimintojen laajennus. Ympäristövaikutusten arviointi, arviointiohjelma. Saatavilla:
<http://www.vyh.fi/poltavo/yva/arkisto/los/yvapdf/rouskis1.pdf> [viitattu 28.8.2003].
- Ruuska, S. 2001. Pilaantuneiden alueiden kunnostamista ja riskinarviointia koskeva lainsäädäntö. Suomen ympäristökeskus, Suomen ympäristö 503. Helsinki. 59 s.
- Salonen, S. 1996. Saastuneen maan terminen käsittely. *Ympäristö ja terveys*. Vol. 27, no 3-4, s. 53-57.
- Samanta, S. K., Singh, O. V. and Jain, R. K. 2002. Polycyclic aromatic hydrocarbons: environmental pollution and bioremediation. *Trends in Biotechnology*. Vol. 20, no. 6, p. 243-248.
- Semple, K. T., Reid, B. J. and Fermor, T. R. 2001. Impact of composting strategies on the treatment of soils contaminated with organic pollutants. *Environmental Pollution*. Vol. 112, p. 269-283.
- Setälä, A. 1992. Kemikaalien maaperäkäyttötymisen arvioimisessa merkittäviä tekijöitä. *Ympäristö ja terveys*. Vol. 23, no. 2-3, s. 132-138.
- Silvola, M. 1999. Saastuneiden maa-alueiden priorisointimallien arviointi-HRS/SASSIT, AGAPE ja PRIORI. Suomen ympäristö, Ympäristönsuojelu 310. Tampere. 107 s.
- Stapleton, M. G., Sparks, D. L. and Dentel, S. K. 1994. Sorption on pentachlorophenol to HDTMA-clay as a function of ionic strength and pH. *Environmental Science and Technology*. Vol. 28, p. 2330-2335.
- Rothermich, M. M., Hayes, L. A. and Lovley, D. R. 2002. Anaerobic, sulfate-dependent degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in petroleum-contaminated sediment. *Environmental Science and Technology*. Vol. 36, p. 4811-4817.
- Ruuska, S. 2001. Pilaantuneiden alueiden kunnostamista ja riskinarviointia koskeva lainsäädäntö. Suomen ympäristökeskus, Suomen ympäristö 503. Helsinki. 59 s.
- Sorvari, J. ja Assmuth, T. 1998. Saastuneiden alueiden riskinarviointi -mitä, miksi, miten. Suomen ympäristökeskus. Ympäristöopas 50. Helsinki. 152 s., 8 liitettä.
- Sorvari, J. ja Assmuth, T. 1999. Saastuneiden maa-alueiden kohdekohtainen riskinarviointi- tilanne Suomessa. Suomen ympäristökeskuksen moniste no. 147. 38 s.

Strandberg, T. 1999. Saastuneiden maa-alueiden käsittelymenetelmät Suomessa. Ympäristö ja terveys. Vol. 30, no. 3-4, s. 95-98.

Suomen kuntaliitto. 1997. Kunnallisteknisten töiden määrämittauserusteet 97 KM 97. Kuntaliiton painatuskeskus. Helsinki. 81 s, 3 liitettä.

Takeuchi, R., Suwa, Y., Yamagishi, T. Yonezawa, Y. 2000. Anaerobic transformation of chlorophenols in methanogenic sludge unexposed to chlorophenols. Chemosphere. Vol. 41, p. 1457-1462.

Tiehallinto. 2003. Paikkakuntien välimatkoja Suomessa. Saatavilla: <http://www.tiehallinto.fi/valimatkat/> [viitattu 26.9.2003].

Tieliikelaitos. 2003. Pilaantuneiden maiden käsittelykeskuksen ympäristövaikutusten arviointi, arviointiohjelma. Hallavaaran käsittelykeskus, Köyliö. Domus-Offset Oy. Tampere. 45 s.

Toivola, T. 2001. Kaatopaikkojen ympäristövaikutukset ja Helsingin entiset kaatopaikat. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisu 2/2001. Helsinki. 46 s.

Tuomainen, J. ja Tuomela, J. 1997. Hallintopäätös saastuneen maa-alueen kunnostamisesta - Erityisesti jätehuoltolainsäädännön kannalta. Suomen ympäristökeskus. Ympäristöopas 20. Helsinki. 98 s.

Työterveyslaitos. 2003. International Chemical Safety Cards (ICSC). Saatavilla: <http://www.occuphealth.fi/ttl/osasto/tt/kemkort/ipcsnfin/> [viitattu 18.7.2003].

Ulrich, J. 1990. Saastuneiden maa-alueiden kunnostus. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja. Sarja A. no. 44. Helsinki. 167 s., 7 liitettä.

Uudenmaan liitto. 2002. Pilaantuneiden maiden, voimalaitosjätteiden, ylijäämämassojen sekä rakennusjätteiden rejektien käsittely- ja loppusijoituspaikkaselvitys. Loppuraportti. Uudenmaan liiton julkaisuja E 75. 47s, 3 liitettä.

Valo, R. 1996. Kemiallisesti likaantuneiden maiden käsittely bioteknisesti. Ympäristö ja terveys. Vol. 27, no. 3-4, s. 58-61.

Van der Sloot, H-A. 1998. Quick techniques for evaluating the leaching properties of waste materials: their relation to decisions on utilization and disposal. Trends in Analytical Chemistry. Vol. 17, no. 5, p. 298-310.

Vertanen, P. ja Viitasaari, S. 1994. Nahanvalmistuksen jätehuolto ja jätevesien käsittely. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja. Sarja A, no. 183. Helsinki. 57 s.

Wackett, L. P. 1996. Biodegradation of chlorinated aliphatic compounds. Teoksessa: Crawford, R. L. ja Crawford D. Bioremediation Principles and Applications. Biotechnology research series. Cambridge University Press. Cambridge. Vol. 6, no. 9, s. 300-311.

Wahlström, M. ja Laine-Ylijoki, J. 1997. Ympäristötekijät ja niiden tutkiminen maarakentamisessa hyötykäytettävien materiaalien liukoisuustutkimuksissa. Valtion tekninen tutkimuskeskus. VTT tiedotteita 1852. Espoo. 78 s.

Williams, W. A. and May, R. J. 1997. Low-temperature microbial aerobic degradation of polychlorinated biphenyls in sediment. Environmental Science and Technology. Vol. 31, p. 3491-3496.

Ympäristönsuojelulaki, 86/2000

Ympäristönsuojeluasetus, 169/2000

Ympäristölupahakemus. 2003. Outokumpu Harjavalta Metals Oy

Suulliset tiedonannot

Hakosalo Heikki, Merikarvian kunnan insinööri

Hämäläinen Juha, Topinojan kaatopaikka

Isometsä Lasse, Vampulan kunnan rakennusmestari

Itkonen Tommi, Korvenmäen jäteasema

Kankaisto Matti, Kooninkeitaan kaatopaikka

Kause Elli, Hallavaran jätteidenkäsittelykeskus

Lehtokari Markku, Isosuon kaatopaikka

Mikkola Päivi, Topinojan kaatopaikka

Nieminen Raimo, Munaistenmetsän kaatopaikka

Oksanen Esa, Hevossuon kaatopaikka

Rajala Seppo, Tampereen KTK

Ruokonen Eeva, Outokumpu Harjavalta Metals Oy

Salminen Tuula, Paraisten kaupungin tekninen virasto

Salo Anne, Hangassuon Kaatopaikka

Wester Timo, Lounais-Suomen ympäristökeskus

LIITE 1. Suomen ympäristökeskuksen käyttämä toimialaluokitus sekä toimialakohtainen riskipisteytys.

	TOIMIALA	PISTEYTYΣ ^(*)
1	Turkistarhat, eläinsuojat ja kalankasvatus	
1.1	Turkistarhat (pv-alueella)	1
1.2	Kalanviljelylaitokset	1
1.3	Suureläinsuojat	1
2	Taimi- ja kauppapuutarhat	8
3	Tekstiili- ja nahkateollisuus	
3.1	Tekstiiliteollisuus	5
3.2	Nahkateollisuus	10
4	Puutuoteteollisuus	
4.1	Sahat	10
4.2	Suolakyllästämöt	8
4.3	Kreosootikyllästämöt	9
4.4	Muu mekaaninen puunjalostus	5
5	Kemiallinen metsäteollisuus	10
6	Kemian- ja muoviteollisuus	10
7	Metalliteollisuus	
7.1	Pintakäsittely	10
7.2	Metallien valmistus	6
7.3	Valimo	8
7.4	Konepajat	10
7.5	Muu metalliteollisuus	5
8	Graafinen teollisuus	8
9	Elintarvike- ja rehuteollisuus	4
10	Asfaltti-, öljysora- ja murskausasemat	8
11	Huoltoasemat ja muut polttoaineen jakelupisteet	
11.1	Huoltoasemat	10
11.2	Jakeluasemat	10
11.3	Yksityiset polttonesteen jakelupisteet	10
12	Korjaamot, romuttamot ja maalaamot	
12.1	Korjaamot	10
12.2	Varikot	10
12.3	Maalaamot	10
12.4	Romuttamot	9
12.5	Romunkeräys	6
13	Energialaitokset ja polttonesteiden varastot (>50 m³)	8
14	Kaatopaikat ja muu jätteenkäsittely	
14.1	Yhdyskuntajätteen kaatopaikka	10
14.2	Teollisuusjätteen kaatopaikka	10
14.3	Maankaatopaikka	5
14.4	Lumenkaatopaikka	3
14.5	Ongelmajätteen käsittely	5
14.6	Muu jätteen käsittely (kompostointi, lietteen kp, betonijätteen kp)	5
15	Jätevedenpuhdistamot ym.	
15.1	Jätevedenpuhdistamot	3
15.2	Jäteveden maahan imeytys	5
16	Kemikaalivarasto	10
17	Öljy- ja kemikaalivahinkoalueet	10
18	Hautausmaat	1
19	Betoni- ja sementtiteollisuus	5
20	Kaivosalue	7
21	Ampumaradat	5
22	Pesulat	
22.1	Kemialliset pesulat	10
22.2	Tynnyripesulat	10
23	Teollisuusalueet	6
24	Muut	5

^{*)} Pisteytys perustuu arvioon toimialan todennäköisyydestä aiheuttaa ympäristön pilaantumista.

LIITE 2. Lievästi pilaantuneiden maamassojen sijoituskohteet ja siirtokuljetusten arvioidut kuljetuskustannukset eri kuormakoolla (1/3)

Pilaantuneen maan sijainti	Sijoitetava määrä (t)	Sijoituskohteen ja pilaantuneen	Kuljetuksiin kuluva kokonaisaika ^(h)			Kuljetuskustannukset (€)		
			Kuormakoko			Kuormakoko		
			5 t	10 t	19 t	5 t	10 t	19 t

HANGASSUON KAATOPAIKKA / KELLAHDEN JÄTTEENKÄSITTELYALUE, PORI

Honkajoki	9000	76	6769	3384	1781	363355	181677	95620
Pomarkku	3000	31	1152	576	303	61855	30928	16278
Siikainen	0	58	0	0	0	0	0	0
Pori	50000	13	16905	8453	4449	907460	453730	238805
Noormarkku	11000	17	3213	1607	846	172479	86240	45389
Lavia	600	54	341	170	90	18297	9149	4815
Kiikoinen	600	48	313	157	82	16816	8408	4425
Ulvila	16000	9	3938	1969	1036	211370	105685	55624
Kullaa	0	24	0	0	0	0	0	0
Nakkila	29000	19	8471	4235	2229	454718	227359	119663
Harjavalta	28000	28	10755	5377	2830	577318	288659	151926
Kokemäki	18000	42	8570	4285	2255	460027	230013	121060
Luvia	16000	16	4674	2337	1230	250879	125439	66021
Merikarvia	700	56	398	199	105	21347	10673	5618
Eurajoki	3000	34	1290	645	340	69263	34632	18227
Rauma	20000	49	10442	5221	2748	560527	280263	147507
Lappi	33000	49	17229	8615	4534	924869	462434	243387
Kiukainen	9000	42	4285	2142	1128	230013	115007	60530

KOONINKEITAAN KAATOPAIKKA, KANKAANPÄÄ

Karvia	1000	40	476	238	125	25557	12779	6726
Kankaanpää	35000	5	8614	4307	2267	462373	231186	121677
Jämijärvi	600	19	175	88	46	9408	4704	2476

MERIKARVIAN KAATOPAIKKA, MERIKARVIA

Merikarvia	600	5	148	74	39	7926	3963	2086
------------	-----	---	-----	----	----	------	------	------

HEVOSSUON JÄTEASEMA, RAUMA

Rauma	29000	8	8471	4235	2229	454718	227359	119663
-------	-------	---	------	------	------	--------	--------	--------

HALLAVAARAN JÄTTEENKÄSITTELYKESKUS, KÖYLIÖ

Mynämäki	17000	76	12786	6393	3365	686336	343168	180615
Köyliö	11000	5	7767	3884	2044	416938	208469	109721
Säkylä	19000	7	3802	1901	1001	204086	102043	53707
Yläne	8000	29	3073	1536	809	164948	82474	43407
Alastaro	16000	40	7618	3809	2005	408913	204456	107609
Oripää	12000	42	5713	2857	1503	306685	153342	80706
Pöytyä	8000	54	4545	2272	1196	243965	121982	64201
Punkalaidun	600	53	341	170	90	18297	9149	4815
Loumaan k.	9000	52	5113	2556	1346	274460	137230	72226
Loimaa	19000	56	10794	5397	2841	579417	289708	152478
Aura	8000	62	4913	2456	1293	263719	131860	69400
Vehmaa	6000	75	4513	2256	1188	242236	121118	63746
Mietoinen	3000	84	2394	1197	630	128526	64263	33823
Nousiainen	0	88	0	0	0	0	0	0
Lemu	0	93	0	0	0	0	0	0
Laitila	30000	49	15663	7832	4122	840790	420395	221260
Eura	23000	12	5660	2830	1490	303845	151922	79959
Huittinen	8000	29	3073	1536	809	164948	82474	43407
Kodisjoki	0	45	0	0	0	0	0	0
Masku	11000	90	9285	4643	2443	498424	249212	131164

LIITE 2. Lievästi pilaantuneiden maamassojen sijoituskohteet ja siirtokuljetusten arvioidut kuljetuskustannukset eri kuormakoolla (2/3)

Pilaantuneen maan sijainti	Sijoitetava määrä (t)	Sijoituskohteen ja pilaantuneen	Kuljetuksiin kuluva kokonaisaika ^(*) (h)			Kuljetuskustannukset (€)		
			Kuormakoko			Kuormakoko		
			5 t	10 t	19 t	5 t	10 t	19 t

HALLAVAARAN JÄTTEENKÄSITTELYKESKUS, KÖYLÖ

Vahto	8000	68	5281	2640	1390	283473	141737	74598
Kustavi	2000	115	2056	1028	541	110377	55188	29047
Taivassalo	9000	99	8425	4212	2217	452249	226124	119013
Naantali	9000	93	8011	4005	2108	430025	215013	113165
Raisio	10000	84	7981	3991	2100	428420	214210	112742
Rusko	11000	85	8779	4390	2310	471262	235631	124016
Vampula	4000	30	1536	768	404	82474	41237	21704

MUNAISTENMETSÄN KAATOPAIKKA, UUSIKAUPUNKI

Pyhäranta	1000	18	292	146	77	15680	7840	4126
Kustavi	2000	48	1044	522	275	56053	28026	14751
Uusikaupunk	12000	5	2953	1477	777	158528	79264	41718

VAMPULAN KAATOPAIKKA, VAMPULA

Vampula	1000	7	246	123	65	13211	6605	3476
---------	------	---	-----	-----	----	-------	------	------

TOPINOJAN KAATOPAIKKA, TURKU

Velkua	600	46	313	157	82	16816	8408	4425
Askainen	0	29	0	0	0	0	0	0
Merimasku	0	28	0	0	0	0	0	0
Iniö	0	69	0	0	0	0	0	0
Houtskari	0	97	0	0	0	0	0	0
Nauvo	600	79	341	170	90	18297	9149	4815
Korppoo	0	36	0	0	0	0	0	0
Rymättylä	0	7	0	0	0	0	0	0
Turku	400000	46	98440	49220	25905	5284259	2642130	1390595

ISOSSUON KAATOPAIKKA, RAISIO

Raisio	12000	8	3505	1753	922	188159	94080	49516
--------	-------	---	------	------	-----	--------	-------	-------

KORVENMÄEN JÄTEASEMA, SALO

Lieto	5000	92	2611	1305	687	140132	70066	36877
Parainen	11000	45	6755	3378	1778	362614	181307	95425
Dragsfjärd	6000	59	4237	2118	1115	227421	113710	59848
Kaarina	19000	72	9046	4523	2381	485584	242792	127785
Piikkiö	8000	44	3441	1720	905	184702	92351	48606
Karinainen	11000	36	5743	2872	1511	308290	154145	81129
Tarvasjoki	5000	47	2151	1075	566	115439	57719	30379
Paimio	14000	36	5249	2624	1381	281745	140872	74143
Sauvo	13000	29	10973	5487	2888	589047	294523	155012
Kemiö	22000	30	11486	5743	3023	616579	308290	162258
Västanfjärd	600	48	396	198	104	21261	10630	5595
Mellilä	2000	65	1228	614	323	65930	32965	17350
Koski	16000	62	6146	3073	1617	329896	164948	86815
Marttila	1000	32	384	192	101	20618	10309	5426
Halikko	34000	30	6803	3402	1790	365207	182603	96107
Kuusjoki	6000	3	1753	876	461	94080	47040	24758
Salo	14000	18	3445	1723	907	184949	92475	48671
Perniö	45000	7	15215	7607	4004	816714	408357	214925
Särkisalo	5000	39	2381	1190	626	127785	63893	33628
Somero	24000	36	10322	5161	2716	554106	277053	145817
Pertteli	12000	10	2953	1477	777	158528	79264	41718

LIITE 2. Lievästi pilaantuneiden maamassojen sijoituskohteet ja siirtokuljetusten arvioidut kuljetuskustannukset eri kuormakoolla (3/3)

Pilaantuneen maan sijainti	Sijoitetava määrä (t)	Sijoituskohteen ja pilaantuneen	Kuljetuksiin kuluva kokonaisaika* (h)			Kuljetuskustannukset (€)		
			Kuormakoko			Kuormakoko		
			5 t	10 t	19 t	5 t	10 t	19 t
KORVENMÄEN JÄTEASEMA, SALO								
Muurla	1000	13	246	123	65	13211	6605	3476
Kiikala	0	34	0	0	0	0	0	0
Suomusjärvi	4000	27	1536	768	404	82474	41237	21704
Kisko	8000	25	2705	1352	712	145194	72597	38209
Yhteensä	130000	3761	490100	245000	129000	26308000	13154000	6923000

*)Kuljetuksiin kuluva kokonaisaika sisältää kuorman lastaukseen ja purkuun, kuljetuksiin kuluvan ajan sekä hukkatuntikertoimen

LIITE 3. Lievästi pilaantuneiden maamassojen siirtokuljetuksista aiheutuva energian- ja polttoaineen kulutus ja päästöt (1/4)

Pilaantuneen maan sijainti	NO _x -päästöt (kg)			Hiukkaspäästöt (kg)			CO ₂ -päästöt (kg)			Energian kulutus (MWh)			Polttoaineen kulutus (m ³)		
	Kuormakoko			Kuormakoko			Kuormakoko			Kuormakoko			Kuormakoko		
	5 t	10 t	19 t	5 t	10 t	19 t	5 t	10 t	19 t	5 t	10 t	19 t	5 t	10 t	19 t

HANGASSUON KAATOPAIKKA / KELLAHDEN JÄTTEENKÄSITTELYALUE, PORI

Honkajoki	2189	1135	637	36.9	19.2	10.8	200412	104378	58896	766	397	223	75.4	39.3	22.1
Pomarkku	298	154	87	5.0	2.6	1.5	27249	14192	8008	104	54	30	10.2	5.3	3.0
Siikainen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pori	2080	1079	606	35.1	18.2	10.3	190450	99190	55968	728	377	212	71.6	37.3	21.0
Noormarkku	598	310	174	10.1	5.2	3.0	54791	28536	16102	209	108	61	20.6	10.7	6.1
Lavia	104	54	30	1.7	0.9	0.5	9493	4944	2790	36	19	11	3.6	1.9	1.0
Kiikoinen	92	48	27	1.6	0.8	0.5	8438	4395	2480	32	17	9	3.2	1.7	0.9
Ulvila	461	239	134	7.8	4.0	2.3	42192	21974	12399	161	84	47	15.9	8.3	4.7
Kullaa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nakkila	1763	915	513	29.8	15.4	8.7	161443	84083	47444	617	320	180	60.7	31.6	17.8
Harjavalta	2509	1301	730	42.3	22.0	12.4	229712	119638	67507	878	455	256	86.4	45.0	25.4
Kokemäki	2419	1255	704	40.8	21.2	11.9	221508	115366	65096	847	438	247	83.3	43.4	24.5
Luvia	819	425	238	13.8	7.2	4.0	75008	39066	22043	287	148	84	28.2	14.7	8.3
Merikarvia	125	65	37	2.1	1.1	0.6	11486	5982	3375	44	23	13	4.3	2.3	1.3
Eurajoki	326	169	95	5.5	2.9	1.6	29886	15565	8783	114	59	33	11.2	5.9	3.3
Rauma	3136	1627	913	52.9	27.4	15.5	287140	149548	84383	1098	568	320	108.0	56.3	31.7
Lappi	5174	2684	1506	87.3	45.3	25.5	473781	246754	139232	1811	938	528	178.2	92.8	52.3
Kiukainen	1210	627	352	20.4	10.6	6.0	110754	57683	32548	423	219	123	41.7	21.7	12.2

KOONINKEITAAN KAATOPAIKKA, KANKAANPÄÄ

Karvia	128	66	37	2.2	1.1	0.6	11720	6104	3444	45	23	13	4.4	2.3	1.3
Kankaanpää	560	291	163	9.5	4.9	2.8	51275	26705	15068	196	102	57	19.3	10.0	5.7
Jämijärvi	36	19	11	0.6	0.3	0.2	3340	1740	982	13	7	4	1.3	0.7	0.4

MERIKARVIAN KAATOPAIKKA, MERIKARVIA

Merikarvia	10	5	3	0.2	0.1	0.05	879	458	258	3	2	1	0.3	0.2	0.1
------------	----	---	---	-----	-----	------	-----	-----	-----	---	---	---	-----	-----	-----

HEVOSSUON JÄTEASEMA, RAUMA

Rauma	742	385	216	12.5	6.5	3.7	67976	35403	19976	260	135	76	25.6	13.3	7.5
-------	-----	-----	-----	------	-----	-----	-------	-------	-------	-----	-----	----	------	------	-----

LIITE 3. Lievästi pilaantuneiden maamassojen siirtokuljetuksista aiheutuva energian- ja polttoaineen kulutus ja päästöt

(2/4)

Pilaantuneen maan sijainti	NO _x -päästöt (kg)			Hiukkaspäästöt (kg)			CO ₂ -päästöt (kg)			Energian kulutus (MWh)			Polttoaineen kulutus (m ³)		
	Kuormakoko			Kuormakoko			Kuormakoko			Kuormakoko			Kuormakoko		
	5 t	10 t	19 t	5 t	10 t	19 t	5 t	10 t	19 t	5 t	10 t	19 t	5 t	10 t	19 t

HALLAVAARAN JÄTTEIDENKÄSITTELYKESKUS, KÖYLIÖ

Mynämäki	4134	2145	1204	69.8	36.2	20.4	378556	197159	111248	1447	749	422	142.4	74.2	41.8
Köyliö	144	75	42	2.4	1.3	0.7	13185	6867	3875	50	26	15	5.0	2.6	1.5
Säkylä	426	221	124	7.2	3.7	2.1	38969	20296	11452	149	77	43	14.7	7.6	4.3
Yläne	742	385	216	12.5	6.5	3.7	67976	35403	19976	260	135	76	25.6	13.3	7.5
Alastaro	2048	1062	596	34.6	17.9	10.1	187520	97664	55107	717	371	209	70.5	36.7	20.7
Oripää	1613	837	470	27.2	14.1	8.0	147672	76910	43397	564	292	164	55.5	28.9	16.3
Pöytyä	1382	717	402	23.3	12.1	6.8	126576	65923	37197	484	251	141	47.6	24.8	14.0
Punkalaidun	102	53	30	1.7	0.9	0.5	9317	4853	2738	36	18	10	3.5	1.8	1.0
Loumaan ku.	1498	777	436	25.3	13.1	7.4	137124	71417	40297	524	271	153	51.6	26.9	15.1
Loimaa	3405	1766	991	57.5	29.8	16.8	311752	162366	91616	1192	617	347	117.3	61.1	34.4
Aura	1587	823	462	26.8	13.9	7.8	145328	75690	42708	556	288	162	54.7	28.5	16.1
Vehmaa	1440	747	419	24.3	12.6	7.1	131850	68670	38747	504	261	147	49.6	25.8	14.6
Mietoinen	806	418	235	13.6	7.1	4.0	73836	38455	21699	282	146	82	27.8	14.5	8.2
Nousiainen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lemu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Laitila	4704	2440	1369	79.4	41.2	23.2	430710	224322	126575	1646	853	480	162.0	84.4	47.6
Eura	883	458	257	14.9	7.7	4.4	80868	42118	23765	309	160	90	30.4	15.8	8.9
Huittinen	742	385	216	12.5	6.5	3.7	67976	35403	19976	260	135	76	25.6	13.3	7.5
Kodisjoki	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Masku	3168	1643	922	53.5	27.7	15.6	290070	151074	85244	1109	574	323	109.1	56.8	32.0
Vahto	1741	903	507	29.4	15.2	8.6	159392	83014	46841	609	316	178	59.9	31.2	17.6
Kustavi	736	382	214	12.4	6.4	3.6	67390	35098	19804	258	133	75	25.3	13.2	7.4
Taivassalo	2851	1479	830	48.1	24.9	14.1	261063	135967	76720	998	517	291	98.2	51.1	28.8
Naantali	2678	1389	780	45.2	23.4	13.2	245241	127726	72070	937	485	273	92.2	48.0	27.1
Raisio	2688	1394	783	45.4	23.5	13.3	246120	128184	72328	941	487	274	92.6	48.2	27.2
Rusko	2992	1552	871	50.5	26.2	14.8	273955	142681	80508	1047	542	305	103.0	53.7	30.3
Vampula	384	199	112	6.5	3.4	1.9	35160	18312	10333	134	70	39	13.2	6.9	3.9

LIITE 3. Lievästi pilaantuneiden maamassojen siirtokuljetuksista aiheutuva energian- ja polttoaineen kulutus ja päästöt (3/4)

Pilaantuneen maan sijainti	NO _x -päästöt (kg)			Hiukkaspäästöt (kg)			CO ₂ -päästöt (kg)			Energian kulutus (MWh)			Polttoaineen kulutus (m ³)		
	Kuormakoko			Kuormakoko			Kuormakoko			Kuormakoko			Kuormakoko		
	5 t	10 t	19 t	5 t	10 t	19 t	5 t	10 t	19 t	5 t	10 t	19 t	5 t	10 t	19 t

MUNAISTENMETSÄN KAAKOPAIKKA, UUSIKAUPUNKI

Pyhäranta	58	30	17	1.0	0.5	0.3	5274	2747	1550	20	10	6	2.0	1.0	0.6
Kustavi	307	159	89	5.2	2.7	1.5	28128	14650	8266	108	56	31	10.6	5.5	3.1
Uusikaupunki	192	100	56	3.2	1.7	0.9	17580	9156	5166	67	35	20	6.6	3.4	1.9

VAMPULAN KAAKOPAIKKA, VAMPULA

Vampula	22	12	7	0.4	0.2	0.1	2051	1068	603	8	4	2	0.8	0.4	0.2
---------	----	----	---	-----	-----	-----	------	------	-----	---	---	---	-----	-----	-----

TOPINOJAN KAAKOPAIKKA, TURKU

Velkua	88	46	26	1.5	0.8	0.4	8087	4212	2377	31	16	9	3.0	1.6	0.9
Askainen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Merimasku	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Iniö	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Houtskari	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nauvo	108	56	31	1.8	0.9	0.5	9845	5127	2893	38	19	11	3.7	1.9	1.1
Korppoo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rymättylä	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Turku	8960	4648	2608	151.2	78.4	44.2	820400	427280	241095	3136	1624	914	308.6	160.7	90.6

ISOSUON KAAKOPAIKKA, RAISIO

Raisio	307	159	89	5.2	2.7	1.5	28128	14650	8266	108	56	31	10.6	5.5	3.1
--------	-----	-----	----	-----	-----	-----	-------	-------	------	-----	----	----	------	-----	-----

KORVENMÄEN JÄTEASEMA, SALO

Lieto	720	374	210	12.2	6.3	3.6	65925	34335	19374	252	131	73	24.8	12.9	7.3
Parainen	2077	1077	605	35.0	18.2	10.2	190157	99037	55882	727	376	212	71.5	37.3	21.0
Dragsfjärd	1382	717	402	23.3	12.1	6.8	126576	65923	37197	484	251	141	47.6	24.8	14.0
Kaarina	2675	1388	779	45.1	23.4	13.2	244948	127574	71984	936	485	273	92.1	48.0	27.1
Piikkiö	922	478	268	15.6	8.1	4.5	84384	43949	24798	323	167	94	31.7	16.5	9.3
Karinainen	1654	858	482	27.9	14.5	8.2	151481	78894	44516	579	300	169	57.0	29.7	16.7
Tarvasjoki	576	299	168	9.7	5.0	2.8	52740	27468	15499	202	104	59	19.8	10.3	5.8
Paimio	1299	674	378	21.9	11.4	6.4	118958	61956	34959	455	235	132	44.7	23.3	13.1
Sauvo	1248	647	363	21.1	10.9	6.2	114270	59514	33581	437	226	127	43.0	22.4	12.6

LIITE 3. Lievästi pilaantuneiden maamassojen siirtokuljetuksista aiheutuva energian- ja polttoaineen kulutus ja päästöt

(4/4)

Pilaantuneen maan sijainti	NO _x -päästöt (kg)			Hiukkaspäästöt (kg)			CO ₂ -päästöt (kg)			Energian kulutus (MWh)			Polttoaineen kulutus (m ³)		
	Kuormakoko			Kuormakoko			Kuormakoko			Kuormakoko			Kuormakoko		
	5 t	10 t	19 t	5 t	10 t	19 t	5 t	10 t	19 t	5 t	10 t	19 t	5 t	10 t	19 t

KORVENMÄEN JÄTEASEMA, SALO

Kemiö	3379	1753	984	57.0	29.6	16.7	309408	161146	90927	1183	612	345	116.4	60.6	34.2
Västanfjärd	125	65	36	2.1	1.1	0.6	11427	5951	3358	44	23	13	4.3	2.2	1.3
Mellilä	397	206	116	6.7	3.5	2.0	36332	18922	10677	139	72	40	13.7	7.1	4.0
Koski	1638	850	477	27.6	14.3	8.1	150016	78131	44086	573	297	167	56.4	29.4	16.6
Marttila	96	50	28	1.6	0.8	0.5	8790	4578	2583	34	17	10	3.3	1.7	1.0
Halikko	326	169	95	5.5	2.9	1.6	29886	15565	8783	114	59	33	11.2	5.9	3.3
Kuusjoki	346	179	101	5.8	3.0	1.7	31644	16481	9299	121	63	35	11.9	6.2	3.5
Salo	314	163	91	5.3	2.7	1.5	28714	14955	8438	110	57	32	10.8	5.6	3.2
Perniö	3456	1793	1006	58.3	30.2	17.1	316440	164808	92994	1210	626	352	119.0	62.0	35.0
Särkisalo	624	324	182	10.5	5.5	3.1	57135	29757	16791	218	113	64	21.5	11.2	6.3
Somero	2765	1434	805	46.7	24.2	13.6	253152	131846	74395	968	501	282	95.2	49.6	28.0
Pertteli	384	199	112	6.5	3.4	1.9	35160	18312	10333	134	70	39	13.2	6.9	3.9
Muurla	42	22	12	0.7	0.4	0.2	3809	1984	1119	15	8	4	1.4	0.7	0.4
Kiikala	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Suomusjärvi	346	179	101	5.8	3.0	1.7	31644	16481	9299	121	63	35	11.9	6.2	3.5
Kisko	640	332	186	10.8	5.6	3.2	58600	30520	17221	224	116	65	22.0	11.5	6.5
Yhteensä	105200	54600	30600	1780	920	520	9628900	5014900	2829700	36800	19100	10700	3620	1890	1060