



RAKENNUSTIETO >

Rakennusalan täyden palvelun tietotalo

Rakennustieto Oy edistää hyvää rakennustapaa ja tuottaa rakentamisesta luotettavaa tietoa. Puolueettoman ja asiakaslähtöisen Rakennustieto Oy:n tuotteet kattavat rakentamisen koko elinkaaren suunnittelusta ylläpitoon. Yhtiön omistaa Rakennustietosäätiö RTS.

Tutustu palveluihimme

> rakennustieto.fi/rk/palvelut

Rakentajain kalenterin artikkelit

Tämä artikkeli on julkaistu alun perin Rakentajain kalenterissa, jota ovat julkaisseet Rakennustietosäätiö RTS sr ja Rakennusmestarit ja -insinöörit AMK RKL ry.

Julkaisu oli rakennusalan ammattilaisten ja opiskelijoiden käsikirja, joka yhdisteli teoriaa ja käytäntöä sekä kannusti hyvään rakentamiseen. Artikkelin vasemmassa reunassa olevasta vesileimasta näkee ko. Rakentajain kalenterin vuosikerran.

> [Artikkeliarkisto, kokoelma vuosien 1997–2018 Rakentajain kalenterissa julkaistuista artikkeleista](#)

Pilaantuneen maaperän puhdistaminen

Markku Kukkamäki, diplomi-insinööri
Yli-insinööri, Suomen ympäristökeskus
markku.kukkamaki@vyh.fi

1 Mitä on maaperän pilaantuminen

Maaperän pilaaminen on kielletty ympäristön-
suojelelaissa (7 §). Sen mukaan maaperän laatua
ei saa huonontaa jättämällä tai päästämällä sinne
jätettä tai muuta ainetta, joka voi vaarantaa tai
haitata ihmisen terveyttä tai luontoa, vähentää
viihtyisyyttä tai muuten loukata yksityistä tai
yleistä etua. Aikaisemmin on käytetty samasta
asiasta termiä maaperän saastuminen.

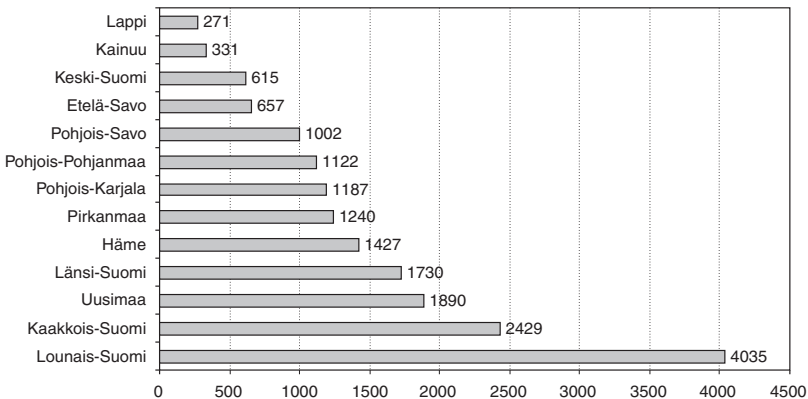
Pilaantuminen voi ilmetä outona hajuna,
tuoksuna tai värinä maaperässä tai pohjavedes-
sä. Vedessä voi myös olla öljy- tai kemikaalikal-
vo. Aina pilaantuminen ei kuitenkaan ole aistein
havaittavissa vaan tarvitaan laboratoriotutki-
muksia. Alueella harjoitetun toiminnan tai siellä
olevien jätteiden perusteella on aiheellista epäil-
lä maaperän pilaantumista, jos on viitteitä kemi-
kaalien käytöstä tai alueella on maanalaisia öljy-
ja muita kemikaalisäiliöitä.

Maaperän pilaantuminen voi olla seurausta
yksityisen ihmisen tai yrityksen toiminnassa ta-
pautuneesta onnettomuudesta tai pitkäaikaisista

päästöistä. Ympäristöä pilannut toiminta on voi-
nut olla aikanaan täysin lainsäädännön ja lupa-
päästösten mukaista. Kemikaalien ympäristövai-
kutuksiin ei ole osattu kiinnittää huomiota eikä
ole tunnettu kaikkia maaperän pilaantumisen
seurauksia. Osa pilaantumistapauksista on seu-
rausta lainvastaisesta toiminnasta. Saastumisen
aiheuttamat haitat vaihtelevat mm. sen mukaan
millaisia aineita maaperään on päässyt ja millai-
set luonnon olosuhteet alueella on.

Maaperän pilaantuminen aiheuttaa haittaa tai
vaaraa ympäristölle tai terveydelle eri tavoin.
Maaperää liianneet aineet voivat olla helposti
haihtuvia, tiukasti maaperän sisältämään hu-
mukseen sitoutuvia tai maaperässä helposti liik-
kuvia. Maaperän pilaantuminen voi pilata poh-
ja- tai pintavesiä. Lisäksi haitalliset aineet voi-
vat levitä kaasuina tai pölynä ympäristöön tai ra-
kennuksiin. Pilaantuneella alueella haitallisia
aineita saattaa rikastua kasveihin, joita käyte-
tään ravinnoksi.

Maaperään on voinut joutua haitallisia aineita
huoltamoilta ja muilta polttoaineen jakelupisteil-
tä, kaatopaikoilta, korjaamoilta, romuttamoilta,



Kuva 1. Mahdollisesti pilaantuneiden maa-alueiden lukumäärät aluekeskuksittain. Uudenmaan ympäristökeskuksen kohteiden lukumäärästä puuttuvat Helsingin kaupungin tiedot, koska pilaantuneiden maa-alueiden täydennyskartointus on mahdollisesti vielä kesken.

Taulukko 1. Maaperän pilaantumista mahdollisesti aiheuttavat haitta-aineet ja niiden lähteet toimialoit-
tain.

Toimiala	Mahdolliset haitta-aineet	Haitta-aineiden lähteet
Polttoaineen jakelu	öljyhiilivedyt, Pb, MTBE, TAME	polttoaineet ja niiden lisäaineet
Korjaamot, maalaamot ja romuttamot	öljyhiilivedyt, metallit (mm. Pb, Cu), dioksiinit ja furaanit sekä PCB:t	jäteöljyt, akut, kaapeleiden muovit, kondensaattorit ja muuntajat, liuottimet, maalit ja ruosteestoaineet
Sahat ja kyllästämöt	kloorifenolit, dioksiinit ja furaanit, PAH-yhdisteet, As, Cu, Cr	kyllästys- ja puunsuoja-aineet
Metalliteollisuus	(raskas)metallit, öljyhiilivedyt, liuottimet ja syanidit	
Ampumaradat	Pb	luodit ja haulit
Kaatopaikat	lähes mitä vain, esim. syanidit, raskasmetallit tai hiilivety-yhdisteet	
Muut teollisuuden alat, esimerkiksi: – kemianteollisuus	– raskasmetallit, liuottimet	
Muu toiminta, esimerkiksi: – kemialliset pesulat	– perkloorietyleeni	– pesuaineet

sahoilta, kyllästämöiltä, ampumadoilta ja teollisesta toiminnasta. Maaperän likaantumisen riski on olemassa toiminnassa, jossa käsitellään, kuljetetaan tai varastoidaan öljyjä tai muita kemikaaleja. Taulukossa 1 on esitetty toimialoit-
tain maaperän pilaantumista mahdollisesti aiheuttavat haitta-aineet ja niiden lähteet.

Suomessa on noin 18 000 sellaista aluetta, joilla aikaisempi tai nykyinen toiminta on voinut liata maaperää. Alueelliset ympäristökeskukset ovat yhdessä kuntien viranomaisten kanssa täydentäneet 1990-luvun alussa tehdyn Saastuneiden maa-alueiden kartoitus (SAMA-SE) -projektin tuloksia lisätiedoilla ja uusilla kohteilla. Tiedossa on nyt lähes 8 000 kohdetta enemmän kuin aikaisemmin. Mahdollisesti pilaantuneita maa-alueita on asutusalueilla, pohjavesialueilla ja vesistöjen rannoilla yhteensä 4 048 kpl. Kohteiden jakautuminen aluekeskuk-
sittain näkyy kuvassa 1.

2 Lainsäädäntö ja hallinto

Pilaantuneen maaperän tai pohjaveden puhdistamishanke edellyttää ympäristöviranomaisen hyväksymistä, joka annetaan joko ilmoitus- tai ympäristölupapäätöksessä. Päätöksessä hyväksytään alueen puhdistamisessa käytettävä menetelmä ja puhdistamisen tavoitteet. Pääsääntöisesti toimivaltaisista lupa- ja valvontaviranomaisia ovat alueelliset ympäristökeskukset, mutta poikkeustilanteissa toimivaltaisista voivat olla kunnan ympäristönsuojeluviranomaiset tai ympäristölupavirastot.

Puhdistamishankkeen edellyttämistä luvista ja puhdistamisvastuusta säädetään ympäristönsuojelulaisissa (86/2000). Maaperän puhdistamisen yhteydessä kertyvä pilaantunut maa-aines ja muu jäte on usein ongelmajätettä, jonka käsittely on pääsääntöisesti luvanvaraista. Pilaantuneen maa-aineksen sekoittaminen puhtaaseen maa-ainekseen ei ole sallittua. Jätteet on toimitettava asianmukaisesti käsiteltäväksi.

Jätteiden käsittelyyn sovelletaan jätelainsäädäntöä, jonka valvonta kuuluu kunnille ja alueellisille ympäristökeskuksille. Pilaantuneiden maamassojen kuljetuksessa on joissakin tapauksissa otettava huomioon vaarallisten aineiden kuljettamista koskeva lainsäädäntö. Esimerkiksi suuria PCB-pitoisuuksia sisältävien massojen kuljettajalta voidaan edellyttää VAK/ADR-lupaa ja ajoneuvolta erityisvarusteita.

Maaperän pilaantuminen on otettava huomioon myös kaavoittamisen ja rakentamislupien myöntämisen yhteydessä. Pilaantumisen aiheuttamat terveys- ja muut haitat voivat esimerkiksi olla este rakennuslupan myöntämiselle. Rakennusvalvonta kuuluu kunnalliselle viranomaiselle. Maankäyttö- ja rakennuslaissa (132/99) on säädetty tarkemmin näistä seikoista.

Ilmoitus viranomaiselle maaperän pilaantumisesta

Kun rakennushankkeen yhteydessä tai muutoin havaitaan maaperän tai pohjaveden pilaantuminen, on siitä alustavasti ilmoitettava kunnan ympäristönsuojelu- tai terveysviranomaiselle, alueelliselle ympäristökeskukselle tai kiireellisissä vaaratilanteissa myös palo- ja pelastusviranomaiselle. Yleisestä ilmoitusvelvollisuudesta

äkillisten vahinkojen ja onnettomuuksien johdosta on säädetty ympäristönsuojelulain 62 §:ssä. Lisäksi on säädetty maaperän tai pohjaveden pilaantumisen aiheuttajalle ilmoittamisvelvollisuus (76 §).

Viranomainen tekee ilmoituksen johdosta päätöksen, jossa voidaan antaa tarvittavat määräykset puhdistamisesta. Muissa kuin onnettomuustilanteissa on viranomaiselle esitettävä puhdistamista koskeva suunnitelma, jonka viranomainen hyväksyy päätöksellään. Suunnitelma on ympäristölupahakemuksen tai ilmoituksen liitteenä. Puhdistamisvelvollinen on yleensä pilaantumisen aiheuttaja tai kiinteistönhaltija. Suunnitelman sisällöstä on säädetty ympäristönsuojeluasetuksessa (24 § ja 25 §).

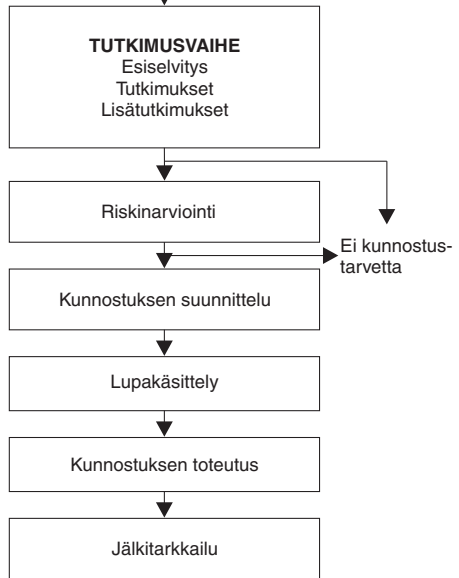
Puhdistamisvastuuseen sovellettava lainsäädäntö

Maaperän puhdistamisvastuuseen sovelletaan eri säännöksiä sen mukaan milloin pilaantuminen on tapahtunut. Vastuu vanhoista vahingoista on puutteellisesti järjestetty lainsäädännössä, jonka tulkinta perustuu osittain oikeuskäytäntöön. Ennen 1.1.1994 tapahtunutta maaperän pilaantumista ja ennen kyseistä ajankohtaa toimintansa lopettaneita jätteiden käsittelypaikkoja säädellään jätehuoltolailla (JHL). Sen mukaan puhdistamisvastuussa on ensisijaisesti pilaantumisen aiheuttaja tai toissijaisesti alueen haltija. Käytännössä kunnat ovat usein osarahoituksella puhdistaneet alueen, jos aiheuttaja tai kiinteistön haltija ovat laiminlyöneet velvollisuutensa. Ympäristönsuojelulakia sovelletaan 1.1.1994 jälkeen tapahtuneeseen maaperän pilaantumiseen. Sen mukaan vastuussa on joko aiheuttaja tai kiinteistönhaltija.

Pilaantuneen alueen myyminen ja vuokraaminen

Ympäristönsuojelulaissa on säädetty velvollisuus kertoa maaperän pilaantumisesta esimerkiksi kiinteistökaupan yhteydessä. Pilaantuneen alueen luovuttajan tai vuokraajan on esitettävä uudelle omistajalle tai haltijalle käytettävissä olevat tiedot alueella harjoitetusta toiminnasta sekä jätteistä tai aineista, jotka saattavat aiheuttaa maaperän tai pohjaveden pilaantumista (104 §). Luovutus- tai vuokrasopimuksessa on aiheellista mainita, mitä toimintaa alueella on harjoitettu, mitä aineita tai jätteitä alueella on, onko maaperässä aineita tai jätteitä, jotka voivat aiheuttaa maaperän pilaantumista tai onko maaperän todettu pilaantuneen. Jos tämä selontekovelvollisuus laiminlyödään, on ostajalla mahdollisuus vaatia kaupan purkua, hinnanalennusta tai vahingonkorvausta.

Mahdollisesti pilaantunut maa-alue



Kuva 2. Pilaantuneen maa-alueen puhdistamisen eri vaiheiden muodostama kokonaisuus.

3 Pilaantuneen maaperän tutkiminen ja kunnostaminen

Pilaantuneen maaperän puhdistamisessa edetään vaiheittaisesti. Puhdistamisen eri vaiheiden muodostama kokonaisuus on yksinkertaistetusti esitetty kuvassa 2. Mahdollisesti pilaantuneen maa-alueen tutkimusvaiheessa selvitetään esiselvityksen ja näytteenoton avulla maaperän pilaantumistilannetta. Tutkimusvaihetta seuraa riskinarviointi, jossa tunnistetaan haitta-aineiden aiheuttamat vaarat sekä niistä aiheutuvat riskit alueella. Riskinarvioinnissa muodostuu käsitys kunnostuksen tarpeellisuudesta.

Ennen luvan hakemista kunnostustoimenpiteille tehdään kunnostussuunnitelma. Kunnostuksen jälkeen aluetta tarkkaillaan tarvittaessa. Monista vaiheista voidaan joutua myös palaamaan aikaisempiin vaiheisiin, esimerkiksi lupakäsittelyn yhteydessä saatetaan edellyttää vielä lisätutkimuksia.

3.1 Tutkimusvaihe

Esiselvitys

Pilaantuneeksi epäillyistä kohteesta on ennen varsinaisia maastotutkimuksia hankittava mahdollisimman kattavat taustatiedot. Tällaisia tietoja ovat mm. alueen toiminnallinen historia, maaperän laatu ja sijainti (pohjaviesialueella, asutuksen läheisyydessä jne.). Apuna käytetään lupa- ja valvonta-asiakirjoja, karttoja, ilmakuvia ja mahdollisten aikaisempien tutkimusten tuloksia. Arvokasta tietoa voidaan saada myös haastattelemalla alueella toimineen/toimivan yrityksen henkilökuntaa, naapureita ja paikallisia viranomaisia. Esiselvityksen tuloksena saadaan alustava oletus maahan päässeiden haitta-aineiden laadusta ja määrästä, pahimmin likaantuneiden kohtien sijainnista ja haitta-aineiden mahdollisista sulkeutumiskeiteistä.

Jos esiselvityksen perusteella on syytä olettaa maaperän pilaantumista tapahtuneen, on kohde tutkittava analysoimalla haitta-aineita maasta, maan huokoskaasusta ja tarvittaessa pohjavedestä otetuista näytteistä. Tutkimukset tekee yleensä ympäristötutkimuksiin erikoistunut konsulttitoimisto kiinteistön omistajan, toiminnan harjoittajan tai viranomaisten toimeksiannosta. Ennen käytännön toimia laaditaan suunnitelma, josta käyvät ilmi:

- tutkimuksen tavoite ja tarkoitus
- mitä haitta-aineita alueelta määritetään
- mitä muita maaperän ominaisuuksia määritetään (esim. raekoko, orgaanisen aineksen määrä ja pH)
- näytteenottosuunnitelma, jossa määritellään näytteenottokohteen sijainti, näytemäärät, näytteenottomenetelmät ja näytteiden käsittely
- tulosten käsittely.

Näytteenotto

Näytenpisteiden valinnassa voidaan käyttää apuna malleja, joiden soveltuvuus tutkittavalle alueelle on aina ratkaistava tapauskohtaisesti. Esiselvityksen perusteella tiedetään usein kohdat, joissa kemikaaleja on eniten käsitelty tai säilytetty. Näytenpisteitä valittaessa on tiedettävä myös alueen vesi- ja viemäriverkoston, muiden maanalaisten putkien sekä kaapeleiden tarkka sijainti. Suunnitelmaa joudutaan usein tarkistamaan ja näytteenottoa kohdentamaan tutkimusten edetessä.

Näytteenotto on erittäin keskeinen osa onnistunutta tutkimusta ja onkin arvioitu, että suurimmat virheet analyysituloksiin syntyvät tässä vaiheessa. Virheitä voivat aiheuttaa väärin valitut näytteenottokohdat, näytteenottimien ja näyteastioiden likaantuminen (kontaminoituminen), näytteen haihtuminen (kevyet polttonestekäet ja liuottimet) tai kemiallinen hajoaminen lämmön, valon tai mikrobien vaikutuksesta. Analyysit tekevään laboratorioon on hyvä ottaa

yhteyttä etukäteen, jotta näytteille voidaan varata sopivat astiat ja oikea käsittely- ja säilytystapa.

Analyytit

Maaperänäytteistä halutaan tavallisesti sekä kvantitatiivista (aineiden laatu) että kvantitatiivista (aineiden määrä) tietoa. Laboratorioanalyysien tuloksia voidaan käyttää maaperän pilaantuneisuuden arvioimiseen vertaamalla niitä SAMASE-projektissa pilaantuneelle maaperälle annettuihin yleisiin ohjearvoihin. Vaikka pitoisuustiedot eivät ole ainoita huomioon otettavia seikkoja pilaantuneisuutta arvioitaessa, niiden perusteella tehdään kuitenkin usein kauaskantoisia ja taloudellisesikin merkittäviä päätöksiä. Analyysitulosten laatuun onkin kiinnitettävä erityistä huomiota.

Esiselvitysten perusteella tiedetään alustavasti, minkä tyyppisiä aineita näytteestä etsitään. Maanäytteistä on ennen varsinaista analyysia erotettava tutkittavat aineet sopivalla liuottimella (orgaaniset aineet), haihduttamalla (haihtuvat orgaaniset aineet) tai hajottamalla näyte vahvalla hapolla (metallit). Näytteissä on tutkittavien aineiden lisäksi lukuisia muitakin aineita, jotka voivat häiritä haluttujen aineiden määrittämistä, minkä vuoksi näytteitä on useimmiten vielä puhdistettava ja käsiteltävä ennen analysointia.

Analyytit on syytä tilata laboratorioilta, joka noudattaa hyväksyttyä laatujärjestelmää ja jolla on käytössään akkreditoitu menetelmä kyseisiin määrittäksiin. Akkreditoinnin myöntää Mittatekniikan keskus, mikäli laboratorion menetelmät ja toiminta vastaavat asetettuja vaatimuksia.

Kemialliset kenttämittaukset

Laboratoriomäärittysten rinnalla käytetään kenttätestejä ja -mittareita, joilla voidaan mitata haitta-aineita kohteessa. Näiden menetelmien etuna ovat nopeasti saatavat tulokset ja laboratorioanalyysiin verrattuna alhainen hinta. Mittaus-tieto poikkeaa sekä luonteeltaan että laadultaan laboratoriotuloksista. Kenttämittausmenetelmiä ei käytetä korvaamaan laboratoriomäärittäksiä, vaan niillä on omat tyypilliset käyttökohteensa, joita ovat esimerkiksi:

- kohteen alustavat tutkimukset, likaantuneiden kohtien etsiminen ja pilaantuneen alueen rajaaminen
- näytteenoton ohjaus
- kunnostustöiden aikana tehtävät mittaukset: maamassojen lajittelu likaantuneisuuden mukaan, kaivutöiden ohjaus
- puhdistamisen etenemisen seuranta
- työsuojelutarkoitukset: terveydelle haitallisten pitoisuuksien mittaaminen työmaan ilma- ja räjähdysvaarallisten pitoisuuksien toteaminen ja riittävä happipitoisuuden valvonta.

Taulukko 2. Pilaantuneiden maiden tutkimuksissa ja kunnostuksessa käytettäviä kenttämittareita.

Mittarityyppi	Mitattavat aineet tai aineryhmät	Näytetyyppi	Huomautuksia
Kolorimetrinen testi	Polttonesteet, öljyt, PCB	Maa, vesi	Vanhoista polttonestevuodoista ei saada tuloksia, jos aromaattiset yhdisteet ovat haihtuneet.
Immunologinen testi	Polysykliset aromaattiset hiilivedyt (PAH), PCB, kloorifenolit	Maa, vesi	Monivaiheinen, tarkkuutta vaativa.
Röntgenfluoresenssi-analysaattori	Raskasmetallit	Maa	Mittaa aineiden kokonaispitoisuuksia, myös mineraaleihin luonnostaan sitoutuneen osuuden.
Fotoionisaatiodekreetori (PID)	Haihtuvat orgaaniset yhdisteet, jotka ionisoituvat laitteen lampun energialla.	Ilma, maan huokoskaasut	Ei voida mitata yksittäisiä aineita, tulos on yhdistelmä aineista, joihin mittari reagoi.
Ilmaisinpaketit	Lukuisat orgaaniset ja epäorgaaniset kaasut	Ilma, maan huokoskaasu	Tulokset suuntaa antavia. Työsuojelumittauksiin.
Räjähdystvaaramittarit	Palavat kaasut	Ilma	Varoittaa (äänimerkillä) alemmasta räjähdysrajasta (= pienin pitoisuus, joka muodostaa ilman kanssa räjähtävän seoksen).

Taulukossa 2 on esitetty eräitä kenttämittarityyppejä, joita voidaan käyttää pilaantuneita maita tutkittaessa ja kunnostettaessa. Vaikka kenttämittarit on pyritty saamaan helpokäyttöisiksi, vaatii käyttökelpoisten tulosten saaminen huolellista perehtymistä laitteen toimintaan ja mittauksen tekemiseen. Tulokset ovat usein suuntaa antavia, eikä niitä voi pitää suoraan mitattavan aineen todellisina pitoisuuksina.

Muut mittaukset

Kemiallisten menetelmien lisäksi kohteiden tutkimisessa voidaan käyttää apuna geofyysikaalisia menetelmiä maaperän kerrosrakenteen ja pohjaviesolosuhteiden selvittämiseksi, näytteenoton ohjaamiseksi sekä haitta-aineiden paikantamiseen ja niiden kulkeutumisen seurantaan. Tällaisia menetelmiä ovat mm. maatulkautus, seisminen luotaus, sähkömagneettinen mittaus ja IP- (indusoitu polarisaatio) ja SIP- (spektri-IP) mittaukset. Haitta-aineiden paikantamisen edellytyksenä on, että maasta mitattava ominaisuus (esim. sähkönjohtavuus) muuttuu aineen vaikutuksesta riittävästi.

3.2 Riskinarviointi

Riskinarviointi (RA) on prosessi, jossa tunnistetaan, määritellään ja luonnehditaan riskejä. Pilaantuneiden maa-alueiden osalta näitä ovat ihmiseen kohdistuvat terveysriskit, ympäriväen elolliseen luontoon kohdistuvat ekologiset riskit, taloudelliset riskit (mm. alueen arvon lasku, kunnostuskustannukset, rakenteiden vaurioituminen ym.), esteettiset ja psykologiset riskit

(esim. luontomaiseman tuhoutuminen, pelot vaikutuksista) ja muut sekundaariset riskit (mm. valumavesien ja pilaantuneiden pintavesien aiheuttamat riskit jätevesien puhdistusjärjestelmille, sortuma- ja painumariskit).

Riskinarviointi on olennainen ja hyödyllinen osa maankäytön ja kunnostuksen suunnitteluun sekä pohjaviesien suojeluun liittyvien toimenpiteiden ja niiden tehon/hyödyn selvittämisessä. Sellaisissa tapauksissa, joissa on mahdotonta tai epätarkoituksenmukaista kunnostaa pilaantunut kohde yleisten ohjeiden (ks. alla) tasolle, riskinarvioinnin perusteella voidaan määritellä kohdekohtaiset kunnostustavoitteet ja kunnostustarpeet sekä tunnistaa kriittisimmät osa-alueet. Riskinarvioinnin avulla voidaan myös määrittää mm. eri kunnostusvaihtoehdoilla saavutettavan riskinvähennän suuruus, laatu ja varmuus sekä kohteen mahdollinen seurantarve.

Riskinarvioinnin tarvetta ja laajuutta koskeva päätös joudutaan aina tekemään tapauskohtaisesti. Arvioinnissa otetaan haitta-aineiden ominaisuuksien lisäksi huomioon mm. ympäristö- ja terveysvaikutusten ennustettavuus ja hallittavuus sekä alueen maankäyttö ja ympäristöominaisuudet kuten lähistöllä olevat herkäät kohteet ja pilaantumisen laajuus ja/tai merkitys.

Menetelmät

Arvioinnissa voidaan käyttää eritasoisia menetelmiä kuten

- mitattujen pitoisuuksien suoraa vertailua ohje-, kynnys- ja yleisiin kunnostuksen tavoitearvoihin

- laadullista-määrällistä vertailua muihin saastuneisiin kohteisiin esim. pisteytysmenetelmät
- kohdekohtaista laadullista-puolikvantitatiivista riskianalyysiä (riskien tunnistaminen)
- kohdekohtaista määrällistä riskianalyysiä (deterministiset ja stokastiset menetelmät).

Riskien tunnistamisessa ja alustavassa arvioinnissa käytetään pääasiassa SAMASE-projektissa pilaantuneelle maaperälle annettuja yleisiä ohjearvoja. Näiden tarkoituksena on pääsääntöisesti toimia vain suunta-antavana vertailutasoina. Ohjearvojen lisäksi voidaan tarvittaessa käyttää pilaantuneelle pinta-, pohja- tai orsivedelle talousveden laatuvaatimuksia ja -suosituksia ja ilmapitoisuuksille mm. työperäiselle altistukselle asetettuja pitoisuusrajoja. Kansalliset sedimenttejä koskevat ohjearvot ovat vasta valmistella.

Laadullisella tai määrällisellä vertailulla muihin pilaantuneisiin kohteisiin pyritään priorisoimaan sekä arvioimaan karkeasti kohteen tila, alueen käyttömahdollisuudet ja mahdollinen kunnostustarve. Apuna käytetään erilaisia yleisiä ohjearvoja. Määrällisessä vertailussa voidaan käyttää myös erilaisia pisteytysmenetelmiä. Priorisointia varten on olemassa erilaisia riskien pisteytys- ja muita priorisointimalleja sekä päätöskukijärjestelmiä. Määrällisessä riskianalyysissä riskeille lasketaan leviämisen-, altistus- ja annos-vastemallien avulla riskin suuruutta kuvaava numeerinen arvio. Stokastisessa määrällisessä riskianalyysissä otetaan huomioon riskiarvon laskennassa käytettävien muututtujen luonnollinen vaihtelu ja epävarmuus. Riskit ilmaistaan yksittäisten lukuarvojen sijasta (deterministinen RA) jakaumien ym. tilastollisten kuvaajien muodossa.

Riskianalyysivaihetta seuraa yleensä riski-hyöty-analyysi, jossa tarkastellaan riskien suhdetta riskinhallintatoimilla kuten kunnostuksella saavutettaviin hyötyihin. Tässä voidaan ottaa huomioon riskeihin liittyvät yhteiskunnalliset, taloudelliset, poliittiset, teknologiset ja arvosukselliset näkökohdat.

Työvaiheet

Terveys- ja/tai ekologisiin riskeihin keskittyneen kohdekohtaisen arvioinnin työvaiheita ovat:

- vaaran/riskien tunnistaminen
- altistuksen arvioiminen
- vaikutusten arvioiminen
- riskien luonnehtiminen.

Vaaran tunnistamisvaiheessa tunnistetaan aineiden epäsuotuisat vaikutukset ihmisiin, kasவில்isuuteen tai eläimistöön. Vaaran suuruutta arvioidaan alustavasti ympäristöstä analysoitujen pitoisuuksien avulla. Haitta-aineiden mahdolliset leviämisreitit tunnistetaan niiden ja ympäristön ominaisuuksien avulla. Leviämisreit-

tien, haitta-aineiden ja ympäristön ominaisuuksien pohjalta tunnistetaan edelleen mahdolliset altistustilanteet ja vaikutukset ihmisessä ja eliöissä. Altistuksen arviointivaiheessa arvioidaan altistuksen suuruus, tiheys ja kesto. Vaikutusarvioinnissa arvioidaan altistuksen suuruuden perusteella mahdolliset vaikutukset kohdeorganismissa. Haitta-aineiden käyttäytymisen, ihmisten (ja kasvien sekä eläinten) altistumisen ja vaikutusten määrittelyä on olemassa erilaisia matemaattisia malleja. Näitä on saatavilla myös tietokoneohjelmaversioina.

Arvioinnin viimeisessä vaiheessa (riskien luonnehtiminen) arvioitua pitoisuuksia, annoksia tai riskejä verrataan vastaaviin sallittuihin arvoinnin ja muista lähteistä aiheutuvaan kuormitukseen ja altistukseen. Riskien merkitystä arvioidaan niiden alueellisen laajuuden, keston ja ajallisten vaihteluiden pohjalta. Riskien todennäköisyys määritellään ottaen huomioon arvioinnissa käytettyjen muuttujien luonnollinen vaihtelu ja epävarmuus. Tätä varten on olemassa useita tilastomatemaattikkaan pohjautuvia menetelmiä.

3.3 Kunnostusmenetelmän valinta

Pilaantuneet maa-ainekset ovat jätettä. Ne tulee käsitellä ensisijaisesti siten, että haitalliset aineet erotetaan maa-aineksesta. Mikäli tämä ei ole mahdollista, pyritään ympäristö- ja terveysriskit hallitsemaan estämällä haitallisten aineiden leviäminen ympäristöön tai rajoittamaan niille altistumista.

Kaikki kunnostettavat kohteet ovat erilaisia. Vaikka eri kohteissa maaperän olisivat pilantuneet samat haitta-ainekset, maaperän ominaisuudet vaihtelevat yleensä sen verran, että kohteisiin sopivat eri kunnostusmenetelmät.

Yleensä menetelmän valinta on vaiheittainen prosessi. Ensimmäisessä vaiheessa käydään läpi kaikki tarjolla olevat kunnostusmenetelmät ja valitaan teknisesti sopivat. Toisessa vaiheessa valitaan yksityiskohtaisemman selvityksen ja asetettujen tavoitteiden perusteella lopullinen kunnostusmenetelmä tai kahden tai useamman menetelmän yhdistelmä. Teknisen soveltuvuuden ja taloudellisten rajoitusten lisäksi myös monet muut tekijät, kuten kunnostuksen aikaiset terveys- ja ympäristövaikutukset, käytössä oleva aika ja hankkeen lailliset edellytykset vaikuttavat valinnan lopputulokseen.

Taulukossa 3 on esitetty Suomessa yleisimmän käytössä olevat kunnostusmenetelmät ja niiden soveltuvuus eri tyyppisillä haitta-aineilla pilaantuneiden maa-ainesten kunnostamiseen. Taulukon sisältö on suuntaa antava.

Joskus pilaantunutta maaperää kunnostettaessa joudutaan käyttämään useita toisiaan täydentäviä käsittelymenetelmiä. Näitä ns. käsitteilyjä tarvitaan, jos maaperä on pilaantunut

Taulukko 3. Suomessa yleisimmin käytössä olevat käsittelymenetelmät ja niiden soveltuvuus eri tyypisillä haitta-aineilla pilaantuneiden maa-ainesten kunnostamiseen. Taulukon sisältö on suuntaa antava.

	Orgaaniset haitta-aineet		Epäorgaaniset haitta-aineet	
	Haihtuvat	Ei-haihtuvat	Raskasmetallit	Muut epäorgaaniset
Eristäminen	–	X	X	X
Kiinteytys/stabilointi				
Orgaaniset sideaineet: – esim. bitumi	–	X	X	X
Epäorgaaniset sideaineet: – esim. sementti tai tuhka	–	o	X	X
Termiset menetelmät				
Terminen desorptio	X	–	–	–
Poltto	X	X	–	–
Tehopoltto	X	X	o	o
Märkäerotusmenetelmät	X	X	X	X
Huokosilmatekniikat	X	–	–	–
Biologiset menetelmät	X	X	–	v

X = Pääasiallisesti soveltuva kunnostusmenetelmä

o = Kohtalaisesti/tietyin edellytyksin (esim. pienille erille) soveltuva menetelmä

– = Menetelmä ei sovellu

useilla erilaisilla haitallisilla aineilla, aineiden pitoisuudet ovat korkeita tai niiden pitoisuuserot ovat suuria tai jos maata on sen fysikaalisten ominaisuuksien kuten korkean savi- tai orgaanisen aineen pitoisuuden vuoksi hankala käsitellä.

Kaikki haitalliset lopputuotteet, jotka käsitte-lyprosesseissa muodostuvat, kuten märkäerotuksessa tai poltossa syntyvä haitta-aineilla rikastunut fraktio, vaativat joko jatkokäsittelyä tai sijoittamista ongelmajätteen kaatopaikalle.

3.4 Kunnostusmenetelmät

Kunnostusmenetelmät voidaan jakaa kunnostuksen lopputuloksen mukaan haitta-aineet poistaviin menetelmiin ja menetelmiin, jotka tähtäävät aineiden leviämisen estämiseen. Sen mukaan missä puhdistusta tehdään, puhutaan *in situ* ja *on* tai *off site* -käsittelystä. *In situ* -käsitte-lyllä tarkoitetaan pilaantuneen maa-aineksen puhdistamista kohteessa ilman maa-aineksen irrotusta. *On* ja *off site* -käsitte-ly tarkoittaa kaive- tun maa-aineksen käsittelyä kunnostuskohteessa (*on site*) tai kunnostettavan alueen ulkopuo- lella sijaitsevassa käsittelylaitoksessa (*off site*).

Seuraavassa on esitelty Suomessa yleisimmin käytettyjä pilaantuneen maaperän kunnos- tusmenetelmiä, jotka voidaan ryhmitellä seuraavasti:

- eristäminen
- stabilointi/kiinteytys
- terminen käsittely

- märkäerotus/pesu
- huokosilmatekniikat
- biologiset menetelmät.

Eristäminen

Eristämisratkaisulla estetään maaperän sisältä- mien haitta-aineiden leviäminen ja kulkeutumisen ympäristöön. Eristäminen ei poista hait- ta-aineita maaperästä. Siksi maaperään jäävät haitta-aineet muodostavat edelleen tietyn ympä- ristöriskin esimerkiksi silloin, kun eristys vauri- oituu.

Menetelmässä pilaantunut maa-aines eriste- tään ympäristöstään paikassaan tai se siirretään ja eristetään toisaalla niin, että vesien (sade-, pinta- ja pohjavesi) pääsy pilaantuneeseen maa- ainekseen estyy. Samalla rajoitetaan ilman pää- syä kohteeseen ja vähennetään jätteen tai hait- ta-aineen reagointia hapen kanssa. Myös eläin- ten ja ihmisten mahdollisuus joutua suoraan kosketukseen jätteen tai pilaantuneen maa- aineksen kanssa estyy. Eristettävän kohteen pinta- ja pohjavesien hallinta on osa kunnostusratka- isua. Se on suunniteltava itse eristerakenteiden suunnittelun lisäksi.

Eristämistä voidaan käyttää melkein kaikille pilaantuneille maa-aineksille. Yleisimmin eris- tystä käytetään, kun läjitetään sellaisia maita, jotka ovat pilaantuneet epäorgaanisilla aineilla kuten metalleilla ja syanideilla. Menetelmä so- veltuu hyvin myös asbestilla pilaantuneille maa- aineksille.

Eristysmateriaaleina voidaan käyttää joko luonnon- tai synteettisiä materiaaleja. Sopivia luonnonmateriaaleja ovat esimerkiksi savi, bentoniitti ja bentoniitin kanssa sekoitettu maa-aines. Synteettisistä materiaaleista tavallisimpia ovat geomembraanit, jotka on valmistettu joko muovista tai kumimateriaalista. Viime aikoina eristämiseen on alettu käyttää myös teollisuudessa syntyviä jätemateriaaleja kuten lentotuhkaa ja massateollisuuden kuitu- ja siistauslietettä.

Pintaeristystyksen tarkoitus on ensisijaisesti estää sadevesien imeytyminen maa-ainekseen. Sitä käytetään kohteissa, joissa sadevesi muuten huuhtoutisi mukaansa haitta-aineita ja suotovesi kuormittaisi ympäristöä haitallisesti.

Pystyeristyksen tehtävänä on eristää pilaantunut kohde pohjavedestä ja kohteen sivulta tulevilta vesiltä sekä estää likaisen suotoveden pääsy ympäristöön. Samalla pystyeristys rajoittaa kaasupäästöjä, muuttaa pohjaveden virtausta ja pinnan tasoa sekä lisää maan vakavuutta. Ellei pilaantuneen maaperän alla ole eristävää pohjakerrosta tai se ei ole riittävän eheä ja tiivis, voidaan olemassa olevan pohjamaan tiiveyttä parantaa tai tehdä tiivis pohja kokonaan keinotekoisesti, jos se haitta-aineiden kulkeutumisen estämiseksi on perusteltua. Injektointiaineena voidaan käyttää esimerkiksi sementtiä ja bentoniittia.

Silloin kun pilaantunut maa-aines kaivetaan pois ja läjitetään toisaalle, pitää läjitysalueelle pääsääntöisesti tehdä *pohjaeristys*, joka estää pilaantuneen maa-aineksen joutumisen kosketuksiin pohjaveden kanssa.

Stabilointi

Stabilointia voidaan pitää yleiskäsitteenä kaikille niille menetelmille, joilla pyritään estämään haitta-aineiden liikkuminen ja leviäminen ympäristöön kiinnittämällä ne maa-ainekseen. Stabiloinnissa haitta-aineita ei poisteta maa-aineksestä eikä niitä muuteta vähemmän myrkyllisiksi yhdisteiksi. Stabiloinnilla pyritään parantamaan maa-aineksen ja käsiteltävien aineiden fyysikaalisia ja teknisiä ominaisuuksia, vähentämään jätteen tai maa-aineksen vedenläpäisevyyttä ja siten minimoimaan haitta-aineiden liukenemista sade- ja valumavesiin sekä estämään eroosiota.

Stabilointi soveltuu parhaiten raskasmetalleja, asbestia ja epäorgaanisia syanideja sisältäville maa-aineksille. Sitä käytetään lähes kaikille maatyypeille. Runsaasti hienojakoista tai orgaanista ainetta sisältävien maa-ainesten stabiloinnissa saattaa ilmetä ongelmia varsinkin, jos käytetään sementti- tai silikaattipohjaisia kiinteytysprosesseja. Menetelmä on herkkä pilaantuneen materiaalin koostumuksen ja massan seossuhteen muutoksille. Se edellyttää poik-

keuksetta tapauskohtaista seosaineiden ja suhteiden määrätilyä.

Kiinteytyksellä tarkoitetaan pilaantuneen maan ja haitta-aineiden kiinnittämistä fyysikaalisiin keinoihin maaperän rakenteeseen siten, että niiden liukeneminen ja kulkeutuminen ympäristöön estyy. Yleensä kiinteytyksen vaikutus kohdistuu maaperän fyysikaalisiin ominaisuuksiin kuten vedenläpäisevyyteen ja lujuuteen. Useimpien kiinteytysmenetelmien yhteydessä tapahtuu fyysikaalisen kiinteytyksen lisäksi myös haitta-aineiden kemiallisia muutoksia. Kiinteytyskäsitteilyssä käytetään erilaisia sidosaineita, jotka voidaan ryhmitellä orgaanisiin aineisiin kuten bitumi ja epäorgaanisiin aineisiin kuten sementti, kalkki ja bentoniitti. Edellä mainittujen aineiden lisäksi on viime aikoina kokeiltu myös teollisuudessa syntyvien jätteiden ja sivutuotteiden käyttöä kiinteytysprosessin sidosaineina. Tällaisia aineita ovat esimerkiksi lentotuhka ja masuunikuona.

Yksi yleisimmistä pilaantuneen maan stabilointimenetelmistä on betonointi. Sementillä on korkea pH-arvo, joka nostaa samalla kiinteytettävän jätteen tai pilaantuneen maan omaa pH:ta ja puskurointikykyä. Betonointi eroaa muista kiinteytysmenetelmistä siinä, että lopputulokseksi saatu massa on ominaisuuksiltaan haitta-aineita sisältävää betonia eikä kiinteytettyä massaa. Sitä voidaan tietyn edellytyksin käyttää hyväksi mm. kaatopaikkarakenteissa. Bitumistabilointi kapseloi tehokkaasti haitta-aineita ja näin saatuun massaan voidaan käyttää asfalttirakenteissa.

Terminen eli lämpökäsittelymenetelmä

Termitse menetelmät voidaan jakaa alhaisissa lämpötiloissa tapahtuvaan haitta-aineen desorptioon maa-aineksestä ja korkeissa lämpötiloissa toteutettavaan polttoon. Terminen käsittely toteutetaan yleensä kaksivaiheisena. Ensimmäisessä vaiheessa haitalliset yhdisteet poistetaan maa-aineksestä lämmön avulla. Toisessa vaiheessa ne tuhoataan poistokaasuista erillisen jälkipolton avulla.

Lämpötilan korkeuden ja vaikutuksen perusteella prosessi voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen. Alle 300 °C lämpötilassa orgaaniset aineet eivät merkittävästi hajoa, mutta erittäin helposti hajoavat yhdisteet pyrolysoituvat ja pyrolyysituotteet siirtyvät kaasufaasiin. Kaasufaasiin siirtyvät myös helposti haihtuvat orgaaniset aineet (VOC), josta ne voidaan myöhemmin tuhoata savukaasujen jälkipolton yhteydessä. Myös erät orgaaniset metalliyhdisteet kuten arseeni haihtuvat osittain.

Lämpötilavälillä 400–700 °C irtoavat orgaaniset aineet sekä haihtuvat hajoamatta että pyrolysoituvat. Maa-aineksen sisältämä humus hajoaa osittain pienemmiksi orgaanisiksi molekyyleiksi. Yhdisteiden osittaisen hajoamisen perus-

teella prosessia kutsutaan *pyrolyysiksi* eritoten silloin, kun prosessi on anaerobinen. Tätä lämpötila-alueita käytetään yleisimmin pilaantuneiden maa-ainesten puhdistamiseen.

Huonosti haihtuvien orgaanisten aineiden poisto maaperästä tapahtuu vasta yli 700 °C lämpötilassa. Tällöin myös maan sisältämä humus yleensä palaa kokonaan tai hiiltyy. Lämpötila-alue 700–900 °C vastaa varsinaista *polttoa*.

Mikäli edellä mainituissa lämpötiloissa syntyneet kaasut täytyy käsitellä edelleen, *jälkipolto* toteutetaan lämpötilassa (1000–1200 °C), jossa kaikki orgaaniset aineet hapettuvat täydellisesti. Jälkipolton lisäksi tulee savukaasut puhdistaa kiinteistä hiukkasista ja haitallisista yhdisteistä (SO₂, NO_x jne.).

Kun pilaantunutta maa-ainesta käsitellään termisesti, on tunnettava tarkoin käsittelyyn tulevat haitta-aineet ja niiden käsittelyyn tarvittavat lämpötila-alueet, sillä epäonnistuneessa käsittelyssä saattaa syntyä alkuperäisiä hävitettäviä aineita haitallisempia yhdisteitä kuten dioksiineja.

Märkäerotusmenetelmät (Pesu)

Märkäerotuksessa maan sisältämät haitta-aineet siirtyvät pilaantuneen maa-aineksen läpi suotautuvaan pesunesteseen. Erottamalla haitta-aineet maamassasta saadaan erotetuksi puhdas jae ja haitta-aineet sisältävä likainen jae eli puhdistusrejekti (puhdistusjäännös). Puhdistusrejekti on vielä erikseen hävitettävä tai loppusijoitettava haitattomalla tavalla.

Haitta-aineiden siirtyminen nestefaasiin voi tapahtua kahdella eri tavalla. Hiukkasina esiintyvät tai hiukkasien adsorboituneet haitta-aineet siirretään suspensiona tai kolloidina uuttavaan nestefaasiin. Suspensiota voidaan edesauttaa erilaisilla tensideillä. Erottaminen pilaantuneisiin ja puhtaisiin partikkeleihin perustuu eroihin rakoissa, laskeutumismopeudessa ja pintaominaisuuksissa tai näiden yhdistelmien eroihin. Pilaantuneen maan pesu tapahtuu yleensä erillisissä pesulaiteissa.

Huokosilmatekniikat

Huokosilmatekniikka on maaperän *in situ* -käsitteily, jossa haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC) poistetaan pilaantuneen maaperän vedellä kyllästämättömän kerroksen huokostilasta. Maaperään rakennetaan kaivoja, joista huokosilmaa imetään. Haihtuvat yhdisteet kulkeutuvat ilmavirran mukana imukaivoihin, josta ilma johdetaan edelleen vedenerottimeen ja kaasunkäsittelyyn.

Huokosilmatekniikka soveltuu parhaiten helposti haihtuvien yhdisteiden kuten hiilivetyjen poistamiseen tasalaatuisista hiekka- ja sora- maista. Orgaanisten yhdisteiden poisto maaperästä vaikeutuu, jos maaperä sisältää runsaasti humusta ja turvetta, johon yhdisteet ovat sitou-

tuneet. Myös maaperän kosteus vaikeuttaa puhdistamista.

Huokosilmakäsittelytekniikat voidaan jakaa kolmeen eri päätyyppiin: alipaine-, ylipaine- ja höyrykäsittely. *Alipainekäsittelyssä* haihtuvat aineet poistetaan vedellä kyllästämättömästä maakerroksesta imun avulla. Käsiteltävä maa-alue voidaan peittää oikovirtausten estämiseksi ilmatiiviillä muovikalvolla ennen kuin maahan asennettuun putkistoon tai imukaivoon synnytetään imu. Alipaine saa maaperän huokosilman virtaamaan putkistoon ja puhtaan korvausilman tunkeutumaan pilaantuneen maaperän läpi. Puhtaan ilman kierto maaperässä häiritsee nestefaasin ja kaasufaasin välistä tasapainoa ja aikaansaa myös huonommin haihtuvien yhdisteiden kaasuuntumisen.

Ylipainekäsittelyssä pilaantuneeseen maakerrokseen syötetään ilmaa maahan asennettujen putkistojen kautta. Ilma poistetaan vastavasti imemällä ilmaa siiviläputkien kautta. Oikovirtausten muodostumista voidaan estää peittämällä kunnostettava alue muovikalvolla. Ilman syöttö- ja imuputket sijoitetaan maahan siten, että ilman syöttöalue on kokonaan imuputkien ympäröimä. Näin estetään haitallisten yhdisteiden kulku puhtaaseen maaperään.

Höyrykäsittelyssä haihtuvat orgaaniset aineet poistetaan maaperästä kuuman (130–180 °C) vesihöyryn avulla. Höyry johdetaan jakoputkiston välityksellä maahan ja imetään maasta alipaineen avulla samalla tavalla kuin paineilmakäsittelyssä.

Ennen maaperästä imetyn huokosilman päästämistä ilmaan siitä on poistettava haitta-aineet. Yleisimmin käytetään aktiivihiiliisuodattimia. Myös katalyyttistä polttoa ja biosuodattimia käytetään. Huokosilmatekniikoissa maaperään kulkeutuva happi ja lämpö voivat nopeuttaa maaperän mikrobiologista puhdistumista.

Biologiset menetelmät

Pilaantunut maaperä sisältää useissa tapauksissa mikrobiologisesti hajoavia haitta-aineita. Niiden luonnollinen hajoaminen voi kuitenkin olla hidasta, vaikka orgaanisia yhdisteitä hajottavia mikro-organismieja esiintyisikin maaperässä. Lisäämällä pilaantuneen maa-aineksen joukkoon mikro-organismeja, jotka käyttävät ravinteenaan kemikaaleja, ja säätämällä maa-aineksen fyysikaalis-kemialliset olosuhteet niille suotuisiksi joudutetaan maa-aineksen mikrobiologista puhdistumista.

Täydellisessä mikrobiologisessa hajotuksessa orgaaniset aineet mineralisoituvat epäorgaanisiksi yhdisteiksi. Joskus hajotusprosessissa voi syntyä kooltaan alkuperäistä pienempiä orgaanisia yhdisteitä, jolloin puhutaan osittaisesta mikrobiologisesta hajoamisesta. Polymeeraation tai metylaation kautta mikrobin toiminta voi johtaa myös rakenteeltaan alkuperäisiä ai-

neita suurempiin yhdisteisiin. Epäonnistunut mikrobiologinen käsittely voi synnyttää alkupe- räisiä haitta-aineita haitallisempia yhdisteitä. Siksi mikrobiologisten menetelmien käyttö vaatii monissa tapauksissa varovaisuutta.

Biologiset käsittelymenetelmät voidaan jakaa kahteen eri päätyyppiin eli *in situ* -käsittelyyn ja *on site* -käsittelyyn (mm. kompostointi, bioreaktori). *In situ* -käsittelyssä koko pilaantunut alue toimii bioreaktorina. Maaperän olosuhteet säädetään suotuisiksi mikrobiologiselle toiminnalle. Jos pilaantuminen on rajoittunut maaperän pintakerrokseen, tarvittavat ravinteet ja mikrobit levitetään pilaantuneen maa-alueen pinnalle ja sekoitetaan käsiteltävään maahan. Käsiteltäviä voidaan käyttää myös syvemmillä maaperässä sijaitsevien haitta-aineiden hajottamiseen joko yksinään tai yhdessä muiden menetelmien kanssa. Hajotusmenetelmät perustuvat tällöin usein veden ja ilman hyväksikäyttöön ja kierrätykseen. Maaperässä olevien haitta-aineiden poisto suoritetaan esimerkiksi kierrättämällä vettä, johon on lisätty biologiselle toiminnalle tarpeellisia aineita. Kiertoveden mukana maaperästä huuhoutuu pois osa haitta-aineista.

On site -käsittelyssä pilaantunut maa-aines käsitellään mikrobiologisesti joko kompostoinnalla (aumakompostointi), rumpukompostoris- sa tai bioreaktorissa. *Kompostointi* on orgaanisten jätteiden hajotuksessa yleisesti käytössä oleva menetelmä. Pilaantunut maa kaivetaan ja kasataan joko altaisiin tai 1,5–2,5 m korkeisiin aumoihin. Hapen saannin varmistamiseksi kasoihin voidaan asentaa ilmastointiputkia (esim. salaojaputkia) ja maamassan joukkoon sekoitetaan puun kuorta tai turvetta maata kuohkeutta- maan ja lisäämään hiilen määrää. Tarpeen mukaan komposti varustetaan kastelu- ja/tai ilmastointilaitteella sekä lämpöä eristävällä kerroksella. Kompostia rakennettaessa siihen voidaan sekoittaa (ympätä) sopivia mikrobeja, ravinteita ja hivenaineita.

Rumpukompostoria on kokeiltu öljyisten maamassojen käsittelyyn jo 1980-luvulla. Rumpukompostoris- sa mikrobiologisia hajotusolo- suhteita, kuten kosteutta, lämpötilaa, happi- ja ravinnepitoisuutta on helppo säätää ja kontro- loida. Rummun pyörimisliikkeen ansiosta maamassa ja lisäaineet sekoittuvat tasaisesti.

Bioreaktori on kehittyneempi versio rumpu- kompostoris- ta. Bioreaktori toimii rummun ta- voin panosperiaatteella. Bioreaktorissa kuten rumpukompostoris- sakin voidaan hajotus- toiminnalle välttämättömiä mikrobiologia- toimintoja säätää tarkasti ja luotettavasti. Bioreak- torissa syntyvät haihtuvat yhdisteet ja pahan ha- juiset kaasut puhdistetaan ennen ilman päästä- mistä esimerkiksi aktiivihilisuodattimella. Viime aikoina on käyttöön tullut mm. helposti siir- rettäviä kontteja, jotka on rakennettu bioreakto- riksi.

3.5 Kunnostuksen aikainen työsuojelu, kemialliset riskit

Turvallisuussuunnitelma

Pilaantuneiden maiden tutkimuksessa ja puh- distamisessa kohdistuu työntekijöihin vaarate- kijöitä sekä maarakennustoiminnasta että alu- een haitallisista aineista. Jotta työnaikaisiin vaate- kijöihin voitaisiin varautua etukäteen, on ra- kennuttajan tai muun kunnostushanketta ohjaa- van tai valvovan tahon huolehdittava siitä, että työmaalle laaditaan turvallisuussuunnitelma. Siinä pyritään vaarojen tunnistamiseen, välttä- miseen ja oikeanlaiseen suojautumiseen. Apuna voi käyttää esimerkiksi Saastuneen maa-alueen tutkimuksen ja kunnostuksen työsuojeluopasta. Myös työsuojeluviranomaiset voivat opastaa työmaan turvallisuussuunnitelman laadinnassa.

Altistuminen kemikaaleille

Kunnostustyömaalla voi esiintyä terveydelle haitallisia aineita maassa, vedessä ja ilmassa. Sieltä ne voivat päästä ihmisen elimistöön hengityksen mukana (kaasuna, höyrynä tai pölynä), ihon läpi tai suun kautta. Altistuksen suuruuteen vaikuttavat haitta-aineen pitoisuus ja altistumis- aika. Hetkellisen altistumisen terveysvaikutuk- set poikkeavat yleensä pitkäaikaisen altistuksen seurauksista.

Pilaantuneilla maa-alueilla on tyypillistä alt- istumisen suuri vaihtelu kunnostuksen aikana eri työpäivinä ja työvaiheissa. Vaihtelua aiheut- tavia syitä ovat mm:

- aineiden laadulliset muutokset
 - suuret pitoisuusvaihtelut maaperässä
 - erot aineiden pölyävyydessä ja haihtuvuudes- sa
 - vuodenaika ja sää: ilman lämpötila, tuuli ja sade
 - kaivettavan tai käsiteltävän maamassan mää- rä aikayksikössä
 - kunnostusmenetelmät ja työtavat.
- Pilaantuneilla alueilla voi esiintyä muitakin ai- neita kuin niitä, joihin on etukäteen varauduttu. Myös työkoneiden pakokaasut voivat muodos- taa ongelman varsinkin, jos kunnostustyö teh- dään teltassa tai hallissa.

Palo- ja räjähdysvaara

Palovaarallisia aineita ovat monet orgaaniset ai- neet, joilla on suuri höyrynpaine (haihtuvia) ja alhainen leimahduspiste (alhaisin lämpötila, jossa höyryn ja ilman seos syttyy). Nämä aineet muodostavat ilman kanssa seoksia, jotka voivat syttyä kipinästä tai lämmön vaikutuksesta. Esi- merkiksi kunnostettavat huoltoasemat ovat koh- teita, joissa palovaarallisia aineita voi maassa esiintyä suurina pitoisuuksina. Tällaisella alu- eella käytettävien koneiden ja laitteiden tulee olla kipinöimättömiä ja räjähdysuojattuja. Rä-

jähdysvaaraa voi valvoa sopivalla varoittavalla mittarilla.

Alhainen ilman happipitoisuus

Ilman happipitoisuus voi laskea terveydelle vaaralliseksi tasolle suljetuissa tai syvässä tiloissa kuten säiliöissä, kaivoissa, kaivannoissa ja tunneleissa, joissa ilma osittain tai kokonaan korvautuu muilla kaasuilla. Ilman happipitoisuutta voi valvoa sopivalla varoittavalla mittarilla.

Altistumisen vähentäminen ja suojautuminen

Työntekijöiden altistumista on ensisijaisesti pyrittävä vähentämään teknisin ratkaisuin kuten estämällä pölyämistä kostuttamalla tai suolamalla, varustamalla työkoneiden ohjaamot sopivilla suodattimilla ja ylipaineistuksella sekä järjestämällä työolosuhteet tarkoituksenmukaisesti. Kunnostustyöissä on kuitenkin syytä käyttää myös henkilökohtaisia suojaimia. Koska suojaaminen käyttää resurssia työntekijöitä ja voi siten myös aiheuttaa vaaratilanteita, on ylisuojautumistakin vältettävä.

Työntekijöiden kemikaalialtistusta pilaantuneiden maiden kunnostustöiden aikana on mitattava eräissä suomalaisissa kohteissa. Mittaustulosten perusteella on laadittu suojautumisen ja turvaohjeet kunnostustöihin maa-alueille, jotka ovat likaantuneet moottoripolttoaineilla, kloorifenoleilla, CCA-suolakyllästeillä ja kreosootilla sekä tetra- ja trikloorieteenillä.

Maaperän puhtaudesta ei voi varmistua aistinvaraisesti, joten työmaa-alueella ei puhtailtaakaan näyttäviä maamassoja pidä kosketella paljain käsin tai käsitellä muuten varomattomasti. Altistumista voi vähentää myös välttämällä turhaa oleskelua pilaantuneella alueella, estämällä pölyn kulkeutuminen työvälineiden, varusteiden ja vaatteiden mukana sekä välttämällä syömistä ja juomista työmaalla.

Työpaikan ilman ohjeraja-arvoja (haitalliseksi tunnetut pitoisuudet, HTP) on annettu työministeriön julkaisemassa turvallisuustiedotteessa. Kemikaalivalmistajien haitallisille aineille laatimissa käyttöturvallisuustiedotteista/kemikaalitietojen ilmoituslomakkeissa on tietoja mm. kemikaaliriskeistä, suojaumisesta ja toiminnasta vahinkotilanteissa. Altistumisarviointia ja -mittauksia tekevät esimerkiksi alueterveystieteilaitokset.

KIRJALLISUUTTA

Ahonen, I., Jalkanen, A. ja Vähäsöyrinki, A. 1998, Työntekijöiden kemikaalialtistuminen saastuneiden maa-alueiden kunnostuksessa,

Suomen ympäristö 197, Suomen ympäristökeskus, 50 s.

Assmuth, T., Selvitys ja ehdotuksia ympäristövaarallisten aineiden pitoisuuksien ohjearvoista maaperässä, Suomen ympäristökeskuksen moniste 92, Oy Edita Ab, Helsinki 1997, 57s.

Assmuth, T., Strandberg, T., Joutti, A. ja Kalevi, K. 1992, Kemiallisesti saastuneen maaperän tutkimusmenetelmät, Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja - sarja A ,97, vesi- ja ympäristöhallitus, 101 s.

Laakso, K. 1999, Saastuneiden maiden tutkimiseen soveltuvia kenttämittareita, Ympäristöopas 60, Suomen ympäristökeskus, 88 s.

Lehto, O., Järvinen, H.-L., Breilin, O., Dahlbo, K., Nevalainen, J. ja Dahlbo, H. 1998, Mallisuunnitelma suolakyllästäväalueen maaperän tutkimiseen ja kunnostamiseen, Suomen Ympäristö 245, Suomen ympäristökeskus, 173 s.

Mroueh, U.-M., Järvinen, H.-L., Lehto, O. 1996, Saastuneiden maiden tutkiminen ja kunnostus, Teknologiatiedotus 47/96, Tekes, 194 s.

Nikulainen V. ja Kalevi, K. (toim.) 1997, Saastuneen maa-alueen tutkimuksen ja kunnostuksen työsuojeluopas, Ympäristöopas 17, Suomen ympäristökeskus, 83 s.

Nikunen, E., Ympäristölle vaaralliset kemikaalit, Kemianteollisuus ry, Chemas Oy, Helsinki.

Priha, E. ja Ahonen, I. 1998, Kemialliset riskit saastuneen maa-alueen kunnostuksessa, Työsuojelujulkaisuja 14, Sosiaali- ja terveysministeriö, Työsuojeluosasto

Puolanne J., Pyy, O. ja Jeltsch, U. (toim.), Saastuneet maa-alueet ja niiden käsittely Suomessa. Muistio 5 1994, Ympäristöministeriö, Painatuskeskus Oy, Helsinki 1994.

Silvola, M. Saastuneiden maa-alueiden priorisointimallien arviointi - HRS/SASSIT, AGAPE ja PRIORI. Suomen ympäristö 310. Pirkanmaan ympäristökeskus, Tampere 1999.

Sorvari J. ja Assmuth, T. Saastuneiden alueiden riskinarviointi - mitä, miksi, miten, Ympäristöopas 50, Suomen ympäristökeskus, Helsinki 1998.

LISÄTIETOJA

1. Maaperän pilaantuminen: MMM Teija Haavisto.
2. Lainsäädäntö ja hallinto: VT Jouko Tuomainen.
3. Pilaantuneen maaperän tutkiminen ja kunnostaminen: DI Kaarina Laakso (3.1, 3.5), Tekn.lis Jaana Sorvari (3.2), DI Outi Pyy (3.3, 3.4).