

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Ympäristötekniikan koulutusohjelma

BH10A0300 Ympäristötekniikan kandidaatintyö ja seminaari

## **SAKSAN PILAANTUNEIDEN MAIDEN KARTOITUS**

### **Mapping of polluted soil in Germany**

Tarkastaja: Professori, TkT Mika Horttanainen

Ohjaaja: Projektipäällikkö, DI Mari Hupponen

Lappeenrannassa 7.10.2011

Anni Heino

# SISÄLLYSLUETTELO

KÄSITELUETTELO.....	3
1 JOHDANTO .....	5
1.1 Työn tausta.....	5
1.2 Työn tavoitteet .....	5
1.3 Työn toteutus .....	6
2 MAAPERÄN PILAANTUMINEN.....	7
2.1 Lainsäädäntö .....	8
2.2 Maaperää pilaavat aineet .....	10
2.3 Maaperän kunnostaminen .....	12
2.3.1 Luontaiseen biohajoamiseen perustuvat puhdistusmenetelmät .....	12
2.3.2 Huokosilma- tai huokoskaasukäsittely .....	13
2.3.3 Kompostointi .....	14
2.3.4 Maan pesu tai huuhtelu .....	15
2.3.5 Elektrokineettiset menetelmät.....	15
2.3.6 Termodesorptio.....	16
2.3.7 Kiinteytys ja stabilointi.....	16
2.3.8 Sijoittaminen kaatopaikalle.....	17
2.3.9 Eristäminen eli kapselointi.....	17
3 MZYMES OY:N INNOVAATIO .....	18
3.1 Yritys .....	18
3.2 Rihmastoputkimenetelmä .....	18
4 SAKSAN PILAANTUNEET MAAT .....	19
5 KYSELY.....	25
5.1 Kyselyn tausta.....	25
5.2 Kyselyn toteuttaminen .....	26
5.3 Kyselyn tulokset .....	26
5.3.1 Yritykset.....	27
5.3.2 Käsiteltävät pilaantuneet maat.....	28
5.3.3 Käytetyt menetelmät .....	28
5.3.4 Tulevaisuus .....	29

5.4	Vastausten analysointi .....	31
6	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	32
7	YHTEENVETO.....	33
	LÄHTEET .....	34

## LIITTEET

Liite 1. Kysely saksaksi

Liite 2. Kysely käännettynä suomeksi

## KÄSITELUETTELO

Biosidit	Kemiallisia tai biologisia yhdisteitä, joilla tuhotaan ja torjutaan haitallisia eliöitä
BTEX	Bentseeni, tolueni, etyylibentseeni, ja ksyleeni, haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, lyhennettä käytetään Saksassa
CEN	European Committee for Standardization eli Eurooppalainen standardisointikomitea
Dioksiinit	Polykloorattuja dibentso-p-dioksiinit kloorausprosesseissa ja epätäydellisessä palamisessa syntyviä myrkyllisiä yhdisteitä
ENA	Enhanced Natural Attenuationin, tehostettu luontainen biohajoaminen
Furaanit	Polyklooratut dibentsofuraanit, teollisuudessa, esim. lääke-, lakka- ja maatalouskemikaaliteollisuudessa, valmistuksessa käytettäviä tai epätäydellisessä palamisessa syntyviä myrkyllisiä aineita
Klooribentseeni	Myrkyllinen yhdiste, jota käytetään esim. liuottimena ja rasvanpoistoaineena
Kloorifenolit	Mikrobeja tappavia yhdisteitä, joita on käytetty useilla teollisuuden aloilla
Kreosiitti	Kutsutaan myös kreosootiksi, puunkyllästysaine
PAH-yhdisteet	Polysykliset aromaattiset hiilivedyt, joilla usein karsinogeeninen vaikutus, syntyvät epätäydellisessä palamisessa, teollisuudessa, liikenteessä ja energiantuotannossa
PCB	Polykloorattu bifenyylä, myrkyllinen aine, jota käytetään eristeenä muuntajissa ja kondensaattoreissa, jäähdytysnesteenä, hydraulikkaöljynä tai voiteluaineena
PFDD	Polykloorattuja dibentso-p-dioksiini
PCDF	Polyklooratut dibentsofuraani
PCP	Pentaklorofenoli, pestisidi ja puunsuoja-aine
Pestisidit	Torjunta-aineet
Syanidi	Erittäin myrkyllinen yhdiste, jota käytetään esim. kaivosteollisuudessa

SVOC	Puolihaihtuvat orgaaniset yhdisteet, haituvien orgaanisten yhdisteiden, VOC, alakäsite
TNT	Trinitrotolueeni      Räjähdysaine,      trotyyli,      2,4,6-trinitrometylibentseeni
VOC	Haihtuvat orgaaniset yhdisteet, liikenteen polttoainejäämistä ja kemiallisten liuottimien käytöstä, aiheuttavat alailmakehän otsonia

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn tausta

Maaperä on kaiken toiminnan pohja, sillä asutaan, sitä viljellään ja siinä tuotetaan hyödykkeitä. Vaikka maaperä on usein piilossa, jokainen meistä on monin tavoin riippuvainen maaperästä. Tästä syystä maaperän hyvinvointi on tärkeää. Maaperä on jatkuvasti altistunut ihmisen toiminnan aiheuttamille erilaisille kuormituksille ja voi herkästi muuttua siten, ettei se enää pysty toimimaan tyydyttävästi alustana ihmisen toiminnalle.

Saksassa maaperä on ollut tärkeässä roolissa maan taloudelliselle kehitykselle. Saksan korkeasta asukastiheydestä johtuen maa on tiheästi rakennettua ja sen maaperä joutuu siksi jatkuvasti kovan rasituksen alaiseksi. Saksassa on pilaantuneiksi epäiltyjä mutta käsittelemättömiä maa-alueita paljon. Niiden määrä ei ole tietämyksen lisääntyessä kasvanut. Maaperää osataan siis suojella Saksassa nykyään paremmin. Haasteena ovat edelleen jo pilaantuneet maa-alueet, joiden puhdistamiseen tarvitaan sekä keinot että rahoitusta.

Tämä kandidaatintyö käsittelee maaperän puhdistusta ja pilaantuneita maa-alueita Saksassa pilaantuneiden maiden puhdistukseen erikoistuneen yrityksen näkökulmasta. Mzymes Oy on kehittänyt uuden innovatiivisen sienirihmastokasvustoon perustuvan biologisen puhdistusmenetelmän pilaantuneelle maaperälle. Yritys tarjoaa maaperän kunnostuksen alalla toimiville yrityksille uuden ekologisen ja kustannustehokkaan maankunnostusmenetelmän. Yrityksen toiminta on toistaiseksi keskittynyt Suomeen, mutta yhtiöllä on aikeissa laajentaa toimintaansa muuallekin Eurooppaan. Työssä kartoitetaan Saksan tilannetta pilaantuneiden maiden osalta ja tutkitaan yrityksen mahdollisuuksia laajentaa toimintaansa Saksaan.

## 1.2 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on luoda pohja pilaantuneen maaperän puhdistuksen ymmärtämiselle, esitellä EU:n, Suomen ja Saksan lainsäädäntöä maanpuhdistuksen alalla, koska lainsäädäntö esittää perimmäiset vaatimukset sille, miksi maaperä puhdistetaan, kertoa pilaavista haitta-aineista sekä esitellä yleisimmin käytettyjä maaperän puhdistusmenetelmiä. Tavoitteena

on myös kartoittaa Mzymes Oy:n tarkoituksiin Saksan pilaantuneiden maiden tilannetta sekä tutkia mahdollisuuksia laajentaa toimintaa Saksaan selvittämällä tämänhetkistä yritystoimintaan pilaantuneen maan käsittelyssä Saksassa.

### **1.3 Työn toteutus**

Ensin työssä käsitellään pilaantunutta maaperää yleisesti, pilaantuneeseen maaperään liittyvää lainsäädäntöä EU:n, Suomen ja Saksan osalta sekä pilaavia haitta-aineita ja puhdistusmenetelmiä erityisesti orgaanisten aineiden osalta, koska niistä osaa voidaan rihmasto-putkimenetelmälläkin puhdistaa. Suomen pilaantuneisiin maaperiin liittyvät tiedot on otettu työhön mukaan vertailukohdaksi.

Saksan pilaantuneista maista ensin käsitellään tilannetta yleisesti: millaisia pilaantuneita maita Saksassa on, kuinka paljon ja missä osissa maata ne sijaitsevat. Yrityksen kannalta tärkeä osa työtä on tieto Saksan tilanteesta maanpuhdistuksen alalla. Tämä tieto on kerätty tekemällä kysely Saksan maanpuhdistuksen toimialalla toimiville yrityksille, niin itse maaperän kunnostajille kuin konsulttifirmoillekin kyselemällä tietoja heidän yrityksistään, toiminnastaan sekä tulevaisuuden näkymistä Saksan maanpuhdistuksen alalla. Lopuksi arvioidaan yrityksen mahdollisuuksia laajentaa toimintaansa Saksaan saatujen tietojen perusteella.

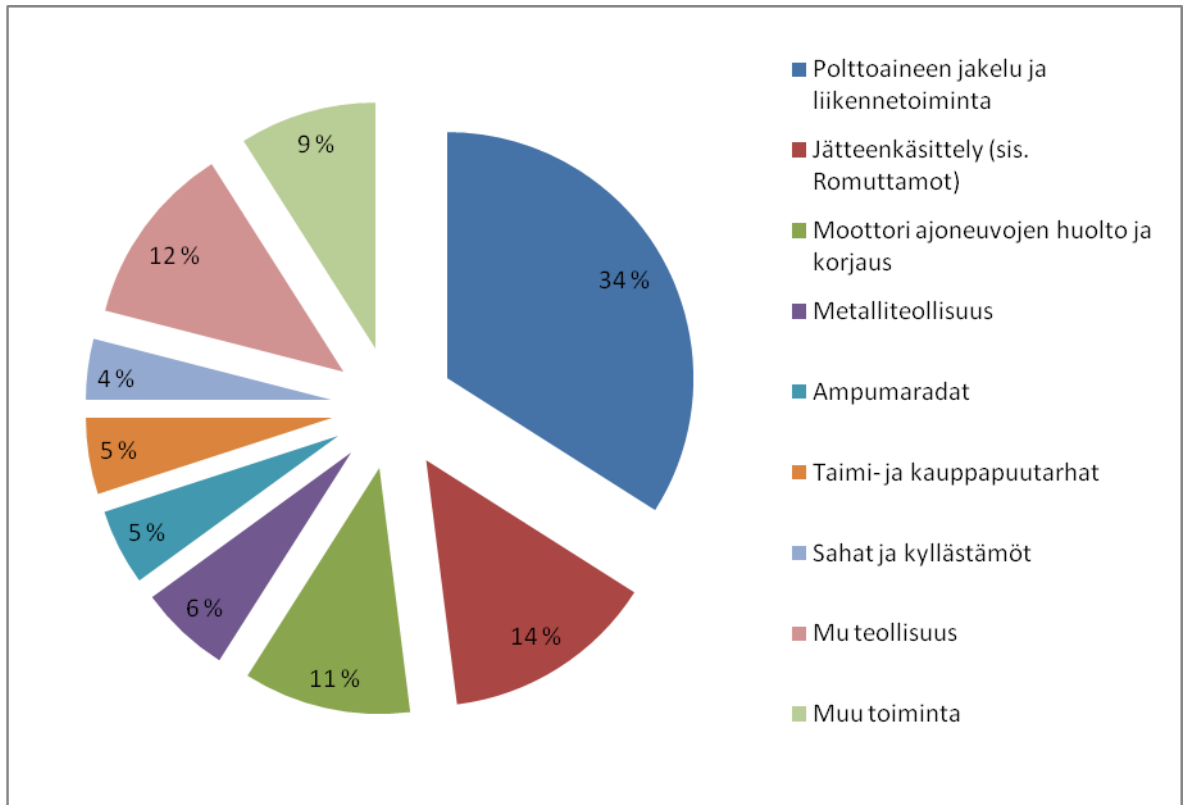
## 2 MAAPERÄN PILAANTUMINEN

Maaperän katsotaan olevan pilaantunutta, jos se ei sovellu alkuperäiseen käyttötarkoitukseensa ja haitallisen aineen pitoisuus maaperässä ylittää merkittävästi luonnollisen pitoisuuden. Maaperä on pilaantunutta, jos aineen kokonaismäärä on huomattava tai haitallinen aine aiheuttaa välitöntä vaaraa ihmisten terveydelle tai ympäristölle. Maaperää kutsutaan pilaantuneeksi, kun haitallinen aine on joutunut maaperään ihmisen toiminnasta johtuen. Maaperän pilaantumista kartoitettaessa arviointiin vaikuttaa tutkittavan alueen käyttötarkoitus. (Luntinen 2006, 6.)

Maaperän pilaantuminen voi johtua yksityisen henkilön tai toiminnanharjoittajan toiminnasta. Pilaantuminen tapahtuu joko onnettomuuden yhteydessä tai pitkäaikaisien päästöjen vaikutuksesta. Pilaantumista aiheuttavat yleensä samantyyppiset toiminnanlajit, joten alueella harjoitetun tai harjoitettavan toiminnan mukaan voidaan epäillä maaperän pilaantumista. Useat maaperän pilaantumistapaukset ovat vanhoja. Tällaisessa tapauksessa maaperä on pilaantunut aikana, jolloin ei ole tiedetty maaperään joutuneen aineen olevan haitallista terveydelle ja ympäristölle tai mitään ainetta ei edes ole tiedetty joutuneen maaperään. (Luntinen 2006, 7.)

Kun ei voida olla varmoja, onko haitallisia aineita käytettäessä toiminta tapahtunut sisätiloissa ja eikä niiden leviämistä ympäristöön ole kokonaan saatu estettyä, voidaan epäillä maaperän pilaantumista. Yleensä pilaantuneen maaperän alueella on ollut jotain teollista toimintaa, maa-, ilma-, tai vesiliikennettä tai niihin liittyviä toimintoja, jätteiden käsittelyä, öljyjen tai kemikaalien varastointia ja kuljetusta, kaivostoimintaa tai ampumarata. Kuvassa 1 on esitetty Suomen pilaantuneiden maiden pilaantumisen aiheuttaneet toiminnat osuuksina kaikista Suomessa kartoitetuista pilaantuneista maista. (Valtion ympäristöhallinto 2009.)





**Kuva 1.** Pilaantuneiden maiden jakaantuminen pilaaviin toimintoihin Suomessa (Valtion ympäristöhallinto 2009)

Maaperän pilaantumiseen vaikuttavat seuraavat haitta-aineiden ja maaperän ominaisuudet: tiheys, liukoisuus, haihtuvuus, biohajoavuus, maalaji, maan pH, hapetus-pelkistysolosuhteet ja kosteus. Nämä ominaisuudet vaikuttavat miten pilaantuminen tapahtuu ja siihen, millainen kunnostusmenetelmä maaperälle valitaan. (Penttinen 2001, 7.)

## 2.1 Lainsäädäntö

Suomen ja Saksan lainsäädäntö pilaantuneen maaperän osalta pohjautuu EU:n direktiiville 2004/35/EY ympäristövastuusta ympäristövahinkojen ehkäisemisen ja korjaamisen osalta. Direktiivin tarkoituksena on luoda aiheuttamisperiaatteeseen perustuva ympäristöjärjestelmä ympäristövahinkojen osalle. Aiheuttamisperiaatteella tarkoitetaan sitä, että ympäristövahingon tai välittömän uhan aiheuttava toiminnanharjoittaja on ensisijaisesti vastuussa ehkäisevien ja korvaavien toimenpiteiden kustannuksista. Direktiivissä säädetään laajasti siitä, miten erilaisten ympäristövahinkojen kohdalla tulisi toimia. Erityisesti maaperälle aiheutuneiden vahinkojen osalta direktiivissä vaaditaan toimenpiteitä, joilla varmistetaan

haitta-aineiden poisto, valvonta, vähentäminen tai eristys. Käyttötarkoituksesta riippuen on myös varmistuttava, ettei pilaantunut maaperä aiheuta huomattavaa vaaraa ihmisen terveydelle. (2004/35/EY.)

Suomessa direktiivin täytäntöönpano on suoritettu lukuisien eri säädösten kautta, mm. laki ympäristövahinkovakuutuksesta sekä vahingonkorvaus-, luonnonsuojelu ja ympäristölaki. Pilaantuneesta maaperästä on säädetty Suomessa valtioneuvoston asetuksessa 214/2007 maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista. (EUR-Lex 2010.)

Saksassa lainsäädännössä pilaantunutta maaperää koskevat erityisesti ”Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung” (BBodSchV) joka on asetus maaperän suojelusta ja pilaantuneesta maaperästä ja ”Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten” (Bundesbodenschutzgesetz, BBodSchG) joka on laki haitallisten maaperän muutoksien torjumisesta ja pilaantuneen maaperän kunnostamisesta. Saksan lainsäädännön mukaan 1.4.1999 jälkeen tapahtuneesta maaperän pilaantumisesta ja siihen liittyvistä ympäristöä suojelevista toimenpiteistä on vastuussa maanomistaja ja hallinto-oikeuden omistaja. Samat tahot ovat myös velvollisia ennaltaehkäiseviin toimiin maaperän suojelemiseksi pilaantumiselta. (BBodSchV ; BBodSchG 4 §.) Jokaisella osavaltiollla on erikseen maaperän pilaantumisesta ja kunnostuksesta määräävät lait ja asetukset liittovaltion lakien täytäntöönpanoa ja täydentämistä varten. Ensisijaisesti nämä lait ja asetukset toimeenpanevat kansallisen lainsäädännön suoraan osavaltiokohtaiseen lainsäädäntöön, mutta joissakin voi olla tarkennuksia tai lisäyksiä. (BMU 2009, 12-24.)

BBodSchV, joka on asetus maaperän suojelusta ja pilaantuneesta maasta, ohjaa tarkemmin maaperään liittyvissä asioissa. Asetuksessa ohjeistetaan maaperän tilan arvioinnista, kunnostuksesta ja laadunvarmennuksesta. Siinä käsitellään tarkemmin myös näytteiden ottoa pilaantuneesta maaperästä sekä raja-arvoja erilaisille haitta-aineille erilaisissa maalueiden käyttötarkoituksissa. (BBodSchV).

Saksalaiseen maaperää koskevaan lainsäädäntöön on tulevaisuudessa odotettavissa muutoksia, koska Saksassa on 6.1.2011 esitetty uutta asetusta ”Mantelverordnungia” eli vaippa-asetusta. Vaippa viittaa siihen, että asetus tulisi tekemään muutoksia kolmeen muuhun asetukseen. Asetus koskisi maaperää, pohjavesiä sekä rakennustoimintaa ja tekisi muutoksia pohjavesisäädökseen ”Grundwasserverordnung” (GrwV) ja mainittuun säädökseen

maaperän suojelusta ja pilaantuneesta maaperästä (BBodSchV) sekä asettaisi uuden säädöksen nk. korvaavien rakennusaineiden käytöstä ”Ersatzbaustoffverordnung”. (Necker 2011.)

Säädöksen tarkoitus on tarkentaa ohjeita koskien pohjaveden ja maaperän suojelua. Säädöksellä asetettaisiin ohjeet, joilla voitaisiin pienentää edellä mainittujen korvaavien rakennusaineiden sisältämien vaarallisten aineiden pääsyä maaperään ja edelleen pohjaveeseen. Korvaavilla rakennusaineilla tarkoitetaan rakentamistoiminnassa käytettäviä mineraalijätteitä (esim. kuonat ja tuhkat), teollisuuden sivutuotteita sekä kierrätettyjä rakennusmateriaaleja ja maa-ainesta. (BMU 2011a)

Standardisoinnissa Euroopan standardisointikomitea (European Committee for Standardization – CEN) on laatinut standardin CEN TC 345 koskien maaperän laatua. Se pohjautuu kansainväliselle standardille TC 190, joka käsittelee samaa aihetta. (Bundesbodenbericht 2009, 26.)

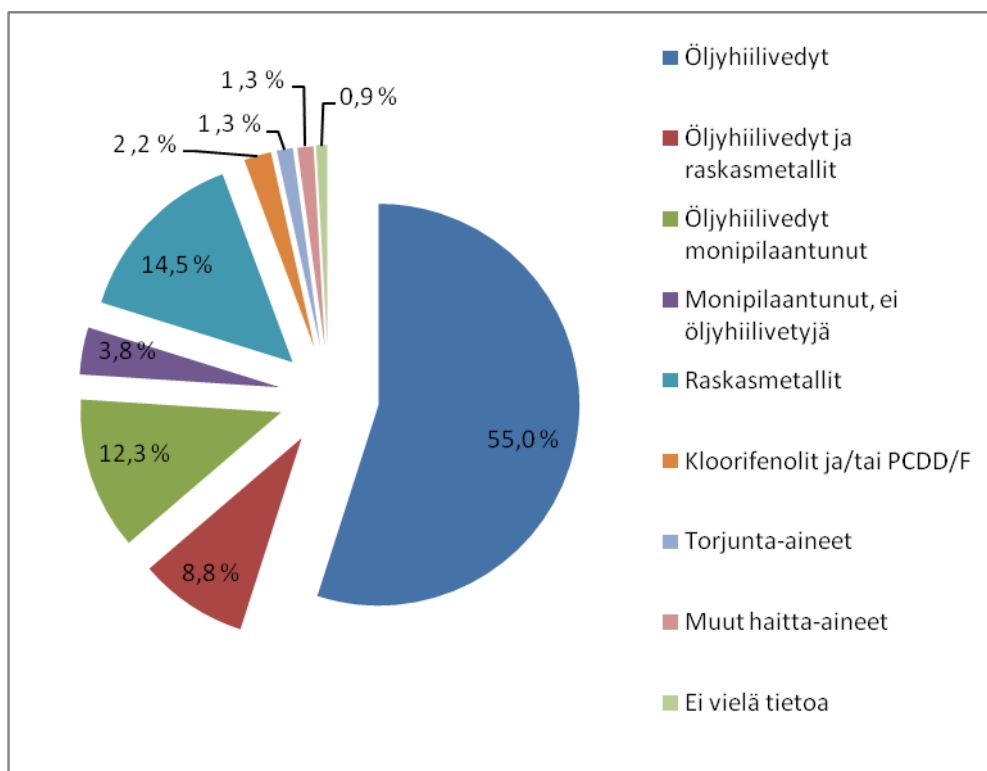
## 2.2 Maaperää pilaavat aineet

Maaperä voi olla pilaantunut monien erilaisten aineiden johdosta. Suomen ja Saksan lainsäädännöissä on annettu kynnys- ja raja-arvoja seuraaville maaperää pilaaville aineryhmille: Seuraavassa on esitetty haitta-aineet Suomen lainsäädännön tapaan:

- metallit ja puolimetallit
- syanidi
- aromaattiset hiilivedyt
- polyaromaattiset hiilivedyt
- polyklooratut bifenyylit (PCB) sekä polyklooratut dibentso-p-dioksiinit ja furaanit (PCDD/F)
- klooratut alifaattiset hiilivedyt
- klooribentseenit
- kloorifenolit
- torjunta-aineet ja biosidit
- öljyhiilivetyjakeet ja hapettimet. (VNa 214/2007; BBodSchV.)

Taustapitoisuudella tarkoitetaan sitä haitta-aineen pitoisuutta, joka maaperässä luonnollisesti on. Ohjearvot taas ovat niitä raja-arvoja, joiden ylittyessä maaperän katsotaan olevan pilaantunutta. Kynnysarvon ylittyessä maaperän pilaantuneisuus ja puhdistustarve on selvitettävä. Maaperää, joka on toiminut teollisuus-, varasto-, liikennealueena tai muun vastaavana, pidetään pilaantuneena, kun ylempi ohjearvo yhden tai useamman aineen kohdalla ylittyy. Muilla alueilla käytetään alempia ohjearvoja. (VNa 214/2007.) Saksan lainsäädännössä ohjearvot on laadittu erikseen lasten leikkikenttinä, asuinalueina, virkistysalueina ja teollisuusalueena tai vastaavana toimiville alueille sekä erikseen pohjavesialueille (BBodSchV).

Ainoastaan edelliset haitta-aineet on esitetty lainsäädännössä, mutta myös muutkin aineet voivat pilata maaperää. Esimerkiksi silloin, kun maahan joutuneen aineen ei vielä tiedetä olevan haitallista. Suomen tilanne pilaantuneiden maiden jakaantumisesta pilaaviin aineisiin nähdään kuvasta 2. Siitä nähdään, että pilaantunut maaperä voi olla pilaantunut samaan aikaan monen eri haitta-aineen osalta.



**Kuva 2.** Pilaantuneen maaperän pilaavat aineet osuuksina kaikista pilaantuneista maaperistä Suomessa (Valtion ympäristöhallinto 2009)

## 2.3 Maaperän kunnostaminen

Maaperän puhdistusmenetelmä on valittava aiemmin mainittujen haitta-aineiden ja maaperän ominaisuuksien takia aina kohdekohtaisesti. Kunnostamisessa käytetään kolmea termiä kuvaamaan, missä kunnostus tapahtuu kunnostuskohteeseen nähden:

- in situ (maata siirtämättä)
- on site (kunnostuskohteen luona, paikan päällä)
- ex situ (maa siirretään muualle käsiteltäväksi).

Maaperän kunnostusmenetelmät perustuvat fysikaalisiin, kemiallisiin tai biologisiin reaktioihin. Seuraavassa käsitellään ensisijaisesti orgaanisille haitta-aineille tarkoitettuja puhdistusmenetelmiä, mutta useat menetelmät sopivat myös epäorgaanisille haitta-aineille (Penttinen 2001, 8.). Kappaleen lopussa käsitellään myös menetelmiä, joita käytetään kun kunnostusmenetelmiä ei voida tai ei ole järkevää käyttää. Näitä menetelmiä ovat sijoittaminen kaatopaikalle ja eristäminen eli kapselointi.

### 2.3.1 Luontaiseen biohajoamiseen perustuvat puhdistusmenetelmät

Maaperä voidaan puhdistaa antamalla luontaisten maaperän prosessien hajottaa haitta-aineet. Luontaista biohajoamisen käyttämistä puhdistusmenetelmänä on arvioitava ensisijaisesti siltä kannalta, vähenevätkö haitta-ainepitoisuudet riittävän nopeasti. Luontaista biohajoamista on seurattava puhdistuksen aikana, jotta voitaisiin varmistua siitä, että puhdistumista todella tapahtuu ja että haitta-aineet eivät leviä tai kulkeudu muualle. Puhdistusprosessissa on myös varmistuttava, etteivät ihmiset tai ympäristö altistu haitta-aineille. Luontainen biohajoaminen puhdistusmenetelmänä soveltuu esim. osalle öljyhiilivedyistä ja klooratuille liuottimille. (Penttinen 2001,10.)

Luontaista biohajoamista otetaan harvoin harkintaan maaperän puhdistusta suunniteltaessa, koska hajoamisen hitauden ja epävarmuuden takia kohteen selvittäminen ja seuranta voivat tulla aktiivista kunnostusta kalliimmaksi. Haitta-aineet voivat myös kulkeutua pois maaperästä ennen kuin hajoamista ehtii tapahtua. Hajoamistuotteet voivat olla myös haitallisia ihmisille ja ympäristölle. Myös muuttuvat olosuhteet puhdistuskohteessa tekevät puhdistusmenetelmästä epävarman. (Penttinen 2001, 11.) Öljyjä puhdistettaessa on huomattu, että maaperän mikrobit ovat hapellisissa olosuhteissa aktiivisempia kuin hapettomissa,

mutta hajoamisesta syntyy molemmissa hajoamistuotetta, hapellisissa olosuhteissa hiilidioksidia ja hapettamissa metaania. Mikrobit hajottavat ensin helposti hajoavat yhdisteet. Vaikeasti hajoavien yhdisteiden pilkkomisessa voi kestää pitkiäkin aikoja ja siksi puhdistusprosessi kestää kauan. (Valtion ympäristöhallinto 2006.)

Muita luontaiseen biohajoamiseen perustuvia puhdistusmenetelmiä ovat menetelmät, joissa luontaista biohajoamista vauhditetaan tai tehostetaan jollakin tekniikalla. Yksi tällainen tekniikka on biologinen ilmanhuuhtelu, jossa pohjaveden yläpuoliseen kerrokseen johdetaan happea tai ilmaa, jolloin maaperän luontainen biohajoaminen nopeutuu. Biologista ilmanhuuhtelua voidaan käyttää esim. polttoaineille ja PAH-yhdisteille. (Penttinen 2001, 12.)

Toinen luontaisen biohajoamisen vauhdittamiseen perustuva puhdistusmenetelmä on tehostettu biologinen puhdistus. Menetelmä on samankaltainen kuin yllämainittu biologinen ilmanhuuhtelu, mutta siinä puhdistusta vauhdittamaan ei käytetä vain happea vaan myös muita aineita. Menetelmässä maaperään johdetaan happea öljyhiilivedyille tai emäksistä ainetta klooratuilla hiilivedyille pilaantuneeseen maaperään kaivojen ja putkilinjojen avulla. Maaperään syötetään myös mikro-organismeille sopivasti ravinteita eli fosforia ja typpeä. Menetelmä soveltuu erilaisille öljy-yhdisteille, PAH-yhdisteille ja klooratuille hiilivedyille mutta vain suhteellisen alhaisten haitta-ainepitoisuuksien käsittelyyn. Menetelmän käytön aikana alueella tapahtuvat toiminnot voivat jatkua tavalliseen tapaan. (Penttinen 2001, 14-15.)

### **2.3.2 Huokosilma- tai huokoskaasukäsittely**

Huokosilmäkäsittelyssä maasta poistetaan alipaineen avulla haihtuvia tai puolihaihtuvia yhdisteitä. Puolihaihtuvia yhdisteitä käsitellessä haihtumista joudutaan tehostamaan esim. lämmittämällä. Maahan asennetaan alipaineimukaivot ja poistuvasta kaasusta erotetaan kosteus. Sen jälkeen kaasu käsitellään esim. aktiivihiiisuodatuksella tai katalyyttisellä poltolla. Maaperän ominaisuudet, kuten tiiveys, läpäisevyys, kerrostuneisuus, hienoainepitoisuus ja kosteus, voivat estää menetelmän käytön. Huokosilmäkäsittely voidaan tehdä joko in situ tai ex situ. Ex situ -käsittelyssä menetelmään voidaan yhdistää myös biologinen hajottaminen kompostoimalla. Parhaiten menetelmä soveltuu helposti haihtuville yhdisteille,

kuten liuottimille ja bensiinihiilivedyille. Huokosilmamennetelmällä saadaan maaperä puhdistettua tiettyyn haitta-ainepitoisuuteen, jonka jälkeen käsittelyn jatkaminen ei enää merkittävästi paranna puhdistustulosta. (VTT 2004, 217–220.)

### 2.3.3 Kompostointi

Kompostoinnissa pilaantunut maa-aines kaivetaan ylös ja sijoitetaan kompostoitumaan yleensä aumoihin. Aumakompostointia voidaan käyttää matalille haitta-ainepitoisuuksille. Kompostoinnissa mikrobit hajottavat maaperän orgaanisia haitta-aineita. Haitta-ainetta sisältävään jätteeseen täytyy ilmavuuden varmistamiseksi sekoittaa jotain kuohkeaa aineosaa kuten puun kuorta. Kompostointiprosessin ilmansaanti varmistetaan myös aumojen kääntämisellä tai ilmastointi- tai huokosilmaputkilla. Kompostointiprosessin aikana haitta-aineiden hajoamista on seurattava. Kompostointiolosuhteita voidaan joutua säätämään kosteuden, ravinteiden, happipitoisuuden ja pH:n suhteen. Menetelmä sopii parhaiten helposti hajoaville ja ainakin jossain määrin vesiliukoisille biohajoaville haitta-aineille, kuten poltto- ja voiteluaineille, kreosiittiöljyille ja kloorifenoleille. Jos kompostoinnilla hajotetaan haihtuvia haitta-aineita, puhdistuksesta syntyvät kaasut on kerättävä ja käsiteltävä. Yleensä kompostointi tehdään ex situ. (Penttinen 2001, 22-23; VTT 2004, 196-197.)

Suljetuilla kompostilaitoksilla, bioreaktoreilla, voidaan myös kompostoida pilaantunutta maa-ainesta. Bioreaktori on täyssekoitteinen suljettu systeemi, jossa kompostointiolosuhteet saadaan säädettyä lämpötilan, happipitoisuuden, kosteuden ja ravinteiden suhteen kullekin tilanteelle sopiviksi. Hajoaminen on nopeaa ja tästä syystä menetelmää käytetään vaikeasti hajoaville aineille. Erilaisia bioreaktoreja ovat rumpukompostori ja märkäreaktori. Rumpukompostointimenetelmää voidaan käyttää biohajoaville orgaanisille yhdisteille, kuten öljyhiilivedyille, kloorifenoleille ja PAH-yhdisteille erityisesti silloin kun pilaantunutta maa-ainesta on vähän ja orgaanisen aineksen osuus merkittävä. Bioreaktorilla puhdistetaan maaperään joko on site tai ex situ. (Penttinen 2001, 24-25; VTT 2004, 197.)

### 2.3.4 Maan pesu tai huuhtelu

Maaperä voidaan puhdistaa pesemällä, jolloin maa-aineksen partikkeleihin sitoutuneet haitta-aineet huuhtoutuvat veden mukana. Pesu tapahtuu erillisessä pesulaitteistossa, joka on kiinteä tai siirrettävissä. Pesuteho paranee, jos pesuvesi kuumennetaan ennen käsittelyä, jolloin yhdisteet saadaan irtoamaan paremmin maaperästä. Haitta-aineita sisältävästä pesuvedestä erotetaan haitta-aineet puhdistuksen jälkeen esim. saostuksella ja puhdas vesi voidaan kierrättää takaisin pesuprosessiin. Haitta-aineet täytyy jälkikäsitellä esim. jälkipoltossa. Pesulla maaperästä voidaan poistaa öljyhiilivetyjä, PAH-yhdisteitä, PCB:tä eli polykloorattuja bifenyyleitä, PCP:tä eli pentaklorofenoleita, pestisidejä ja kreositteja. Maan pesu tehdään ex situ tai on site. (Penttinen 2001, 26-27; VTT 2004, 163.)

Maahaan voidaan myös johtaa vettä imeyttämällä tai injektoimalla. Kun pohjaveden pinta nousee, haitta-aineet irtoavat pohjaveteen. Haitta-aineita sisältävä pohjavesi johdetaan käsiteltäväksi. Tätä menetelmää kutsutaan maan huuhteluksi. Maan huuhtelu sopii VOC- ja SVOC-yhdisteille eli puolihaihtuville orgaanisille yhdisteille, polttoaineille sekä pestisideille. Menetelmää voidaan käyttää in situ tai on site. (Penttinen 2001, 28-29.)

### 2.3.5 Elektrokineettiset menetelmät

Elektrokineettisillä menetelmillä tarkoitetaan sähkökemiallisiin ja -kineettisiin prosesseihin pohjautuvia puhdistusmenetelmiä. Elektrokineettiset menetelmät toimivat hyvin esim. savimaihin ja muihin huonosti läpäiseviin maaperiin. Menetelmässä käsiteltävään maa-ainekseen asetetaan elektrodit, anodi ja katodi, joiden välille johdetaan virta. Sähkövirran voimasta varautuneet aineet siirtyvät kohti elektrodeja, positiivisesti varautuneet yhdisteet kulkevat kohti katodia ja negatiivisesti varautuneet kohti anodia. Haitta-aineet voidaan poistaa maaperästä pumppaamalla vettä elektrodien läheisyydestä tai saostamalla. Orgaanisten aineiden kohdalla elektrokineettiikkaa voidaan käyttää biologisen hajoamisen tehostamiseen, jolloin sähkövirran avulla haitta-aineet saadaan irtoamaan ja siten ne ovat paremmin mikrobien hajotettavissa. Elektrokineettiikkaa voidaan käyttää in situ, on site tai ex situ ja se soveltuu vain polaarisille orgaanisille yhdisteille. (Penttinen 2001, 30-31.)



### 2.3.6 Termodesorptio

Lämmittämiseen perustuvassa termodesorptiossa haitta-aineet poistetaan maa-aineksesta haihduttamalla riittävän korkeassa lämpötilassa. Termodesorptio ei suoranaisesti tuhoa haitta-aineita, vaan siirtää ne kaasuvirtaan, josta ne voidaan polttaa, kondensoida, käsitellä aktiivihiihellä tai hapettaa katalyyttisesti. Termodesorptio tehdään joko siirrettävässä laitteistossa on site tai erillisessä kiinteässä laitteistossa ex situ. Termodesorptiota, joka tapahtuu 320–800 °C:n lämpötilassa kutsutaan korkealämpödesorptioksi. Matalalämpödesorptio tapahtuu 90–320 °C:n lämpötilassa, jossa maa-aineksen fysikaaliset ominaisuudet pysyvät lähes ennallaan. Termodesorptiota tehdään joko suorassa poltossa, jolloin pilaantunut maa-aines altistetaan suoraan kontaktiin avoliekin kanssa tai epäsuorassa poltossa, jolloin lämmitetty ilmavirta (rumpukuivain) tai tulistettu höyry (höyrykeitin) johdetaan pilaantuneen maa-aineksen joukkoon. Epäsuoraa lämmitystä käyttävässä termodesorptiossa taas ulkopuolelta lämmitettävä rumpukuivain haihduttaa vettä ja orgaanisia yhdisteitä pilaantuneesta maa-aineesta reagoimattomaan kantajakaasuun. Termodesorptio soveltuu öljyhiilivedyille, haihtuville ja puolihaihtuville orgaanisille yhdisteille. (VTT 2004, 129-135.)

### 2.3.7 Kiinteytys ja stabilointi

Kiinteytyksessä ja stabiloinnissa haitta-ainepitoisuutta ei pienennetä, vaan niiden kulkeutumista, leviämistä ja liukoisuutta vähennetään. Kiinteytyksessä sideaine sitoo haitta-aineet estäen niiden kulkeutumisen, jolloin ainoastaan maa-aineksen fysikaaliset ominaisuudet muuttuvat. Stabiloinnissa taas haitta-aineet muutetaan vähemmän liukoisiksi, huonommin kulkeutuviksi ja vähemmän toksisiksi aineiksi sekoittamalla maa-ainekseen epäorgaanisia tai orgaanisia sideaineita, jolloin niiden haitta-aineiden aiheuttama ympäristöriski pienee. Molemmissa menetelmissä pilaantuneeseen maahan lisätään sideainetta, sementtiä, betonia, kalkkia, bentoniittia, silikaatteja tai orgaanisia polymeerejä. Käsiteltävissä oleva orgaaninen aine määrittää, mitä sidosainetta tulee käyttää. Kiinteytys ja stabilointi tapahtuu yleensä on site tai ex situ. (Penttinen 2001, 36-37; VTT 2004, 93.)

### **2.3.8 Sijoittaminen kaatopaikalle**

Pilaantunut maaperä tulee ensisijaisesti käsitellä tai hyötykäyttää. Kun maa-aineksen käsitteleminen tai hyötykäyttö ei ole mahdollista, pilaantuneet maamassat sijoitetaan kaatopaikalle. Kaatopaikalle sijoitettava maa-aines voi olla esikäsiteltyä tai esikäsittelemätöntä. Kaatopaikan rakenteiden on estettävä maa-aineksen sisältämien haitta-ainesten kulkeutuminen. Kaatopaikkasijoitus ei ole varsinainen maaperän kunnostusmenetelmä, koska siinä maaperää ei puhdisteta haitta-aineista. Ylös kaivettu pilaantunut maa-aines luokitellaan jätteeksi ja sen käsittelemistä ja sijoittamista säätelee jätelaki. Lähes kaikki orgaaniset haitta-aineet voidaan loppusijoittaa kaatopaikalle. (Penttinen 2001, 42-43; VTT 2004, 267-265.)

### **2.3.9 Eristäminen eli kapselointi**

Eristyksellä ei pyritä poistamaan haitta-aineita maaperästä, vaan estämään niiden leviäminen ja kulkeutuminen muualle ympäristöön. Eristämistä voidaan käyttää maaperän kunnostusmenetelmänä sinänsä, jolloin eristysalue tehdään kaatopaikalle tai kunnostamisen yhtenä vaiheena eli välivarastona tai käsittelyalueen käsittelynä. Maa-aines voidaan eristää monella tapaa usein niin, ettei sade-, pinta-, ja pohjavedellä ole pääsyä pilaantuneeseen maahan. Myös reagointia hapen kanssa rajoitetaan. Eläimet ja ihmiset eivät saa päästä kosketuksiin haitta-aineen kanssa. Eristämisessä käytetään esim. sementtiä, bentoniittia eli luonnon savea, tai muovisia tai kumisia geomembraameja eli tiivistyskalvoja. Tiivistysrakenteet koostuvat usein erityyppisistä kerroksista. Erityis käy ainoastaan haitta-aineille, joiden liikkuvuus on alhainen, joten orgaanisista aineista esim. klooratuille liuottimille eristys ei sovellu. Eristys voidaan tehdä in situ tai ex situ. (Penttinen 2001, 40-41; VTT 2004, 224-228.)

## **3 MZYMES OY:N INNOVAATIO**

### **3.1 Yritys**

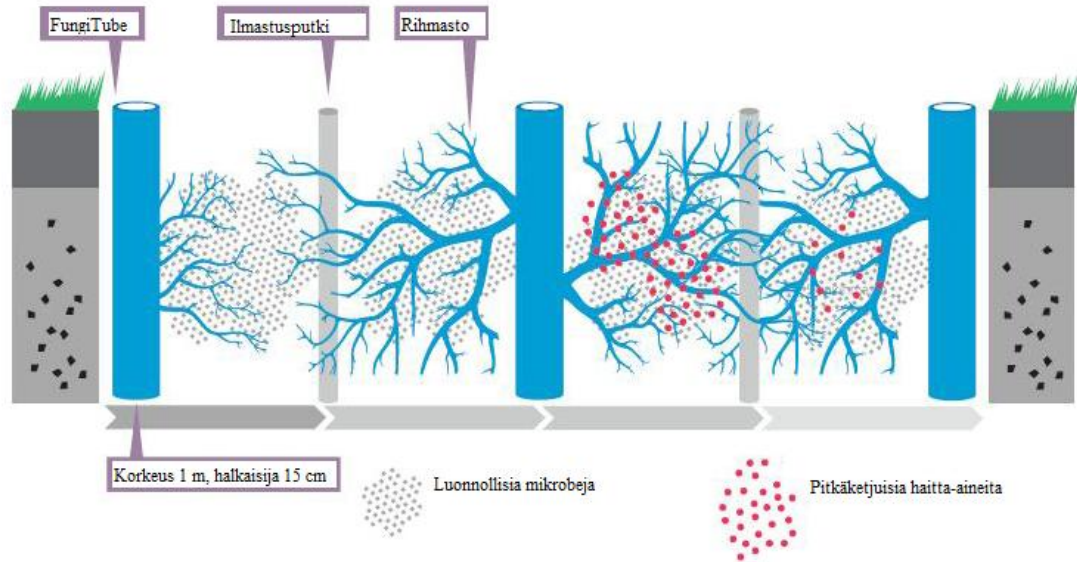
Mzymes on suomalainen vuonna 2002 perustettu yritys, jolla on toimipisteet Joensuussa ja Oulussa. Yrityksen toimisto sijaitsee Joensuussa, jossa työntekijöitä on viisi. Yrityksen tuotanto- ja tuotekehitysyksikkö MLAB on Oulussa. MLABissa kehitetään innovaatioita ja tuotetaan FungiTubeja eli sienirihmastoputkia. Mzymes Oy toimii teollisen ja ympäristöbiotekniikan alalla kehittäen uusia ympäristöystävällisiä ja energiatehokkaita tuotteita ja menetelmiä. Yrityksen kehittämät teknologiat perustuvat erilaisten mikrobien ja entsyymien hyödyntämiseen prosesseissa. Yrityksellä on tällä hetkellä kaksi innovaatiota, joista toinen on maaperän kunnostukseen käytettävä FungiTube-menetelmä ja toinen selluteollisuudelle tarkoitettu entsyymimekaaninen esikäsittely lignoselluloosamassoille, jossa selumassaa käsitellään sekä entsyymaattisesti että mekaanisesti pyrkien materiaali- ja energiatehokkaaseen prosessiin. (Mzymes Oy 2010, 4.)

### **3.2 Rihmastoputkimenetelmä**

Mzymes Oy:n kehittämä ja patentoima rihmastoputkimenetelmä perustuu sienirihmastojen entsyymien kykyyn katkoa haitta-aineiden pitkiä ketjuja, mistä syntyy lyhyempiä aineita, joita maaperän omat mikrobit kykenevät helpommin pilkkomaan. Kunnostus voidaan suorittaa in-situ, on-site tai ex-situ. Tällä hetkellä menetelmää voidaan käyttää kreosiiteille ja öljyille. Yritys tutkii parhaillaan mahdollisuuksia käyttää menetelmäänsä TNT:lle, dioksiinille ja furaanille sekä muille saasteille. (Mzymes Oy 2010, 4, 11.)

Kuvassa 3. nähdään rihmastoputkimenetelmän toimintaperiaate. Maahan asetetaan metrin korkuisia ja halkaisijaltaan 15 cm:n paksuisia rihmastoputkia, FungiTubeja, niille porattuihin reikiin. Maahan asetetaan rihmastoputkien väliin myös ilmastusputkia sienikasvuston toiminnan tehostamiseksi. Sienirihmasto lähtee kasvamaan putkien ulkopuolelle, jolloin haitta-aineiden hajoamista alkaa tapahtua. Kun haitta-aineet ovat pilkkoutuneet pienemmiksi, maaperän luontaiset mikrobit jatkavat haitta-aineiden niiden hajottamista. Tässäkin

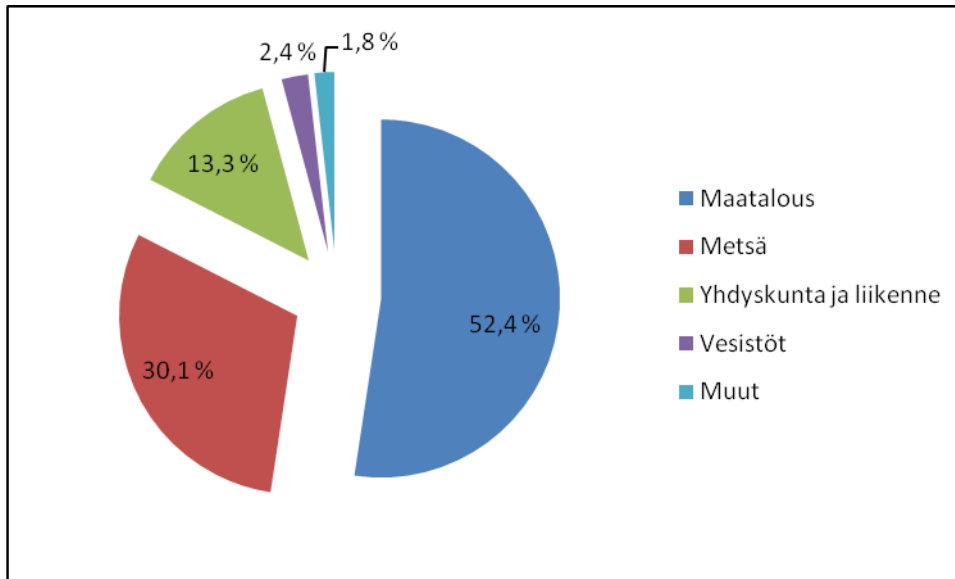
vaiheessa ilmastusputket auttavat hajotuksessa tehostaen mikrobien toimintaa. (Mzymes Oy 2010,5.)



**Kuva 3.** Rihmastoputkimenetelmän toimintaperiaate (mukaellen Mzymes 2011)

#### 4 SAKSAN PILAANTUNEET MAAT

Saksan korkeasta asukastieheydestä, 229 as/km<sup>2</sup>, johtuen Saksan maaperä on kovan rasi-  
tuksen alla. Suomen asukastiheys on huomattavasti matalampi, 18 as/km<sup>2</sup> (Tilastokeskus  
2011). Kuvasta 4 nähdään, miten Saksan maaperän käyttö jakautuu eri käyttötarkoituksiin.  
Yhdyskunnan ja liikenteen käytössä Saksassa on 13,3 % koko maan pinta-alasta, kun vas-  
taava luku Suomessa on 4 %. Rakennettu maapinta-ala on Saksassa kasvanut vuosina  
1992–2007 vuosittain 1,1 %. Suurin osa Saksan maaperästä, 52,4 %, on maatalouden käy-  
tössä, kun taas metsää Saksan maa-alueista on 30,2 %. Suomessa maatalouden käyttämän  
maaperän osuus on huomattavasti Saksaa pienempi eli 9 %. Metsää Suomessa kokonais-  
pinta-alasta on 77 %. (Tilastokeskus 2007; Statistische Ämter 2008.)



**Kuva 4.** Maankäyttö Saksassa (BMU 2011b)

Saksan maa-alue on ollut jo kauan asuttua, teollinen toiminta sillä on ollut aktiivista ja historian erilaiset tapahtumat ovat rasittaneet Saksan maaperää. Näistä syistä Saksassa pilaantuneita maa-alueita on paljon ja niiden pilaantumisen aiheuttama haitta-aineiden kirjo on laaja. (BMU 2009, 56.)

Arvellaan, että Saksan maaperässä on ihmisen toiminnasta maaperään joutuneita haitta-aineita peräti 150 viimeisen vuoden ajalta. Suurimman osan ajasta maaperän haitta-aineisiin ei Saksassa ole kiinnitetty huomiota. Maaperän pilaantuminen alettiin nähdä ympäristöongelmana vasta seitsemänkymmentäluvun loppupuolella. Ensin Saksassa oltiin huolestuneita kaatopaikkojen maaperän pilaantumisesta, mistä tulee Saksassa yleisesti pilaantuneille maa-alueille edelleen tänä päivänäkin käytetty sana ”Altlast”. Myöhemmin huomattiin myös muiden toimintojen, joissa käytetään haitta-aineita, mahdollinen maaperää pilaava vaikutus. Tärkeä muutos Saksan maaperän historiassa oli Saksan demokraattisen tasavallan, Itä-Saksan, alueiden liittyminen Saksan liittotasavaltaan. Niin kutsuttujen uusien osavaltioiden alueella, jotka ennen kuuluivat Saksan demokraattiseen tasavaltaan, löytyi Saksojen yhdistymisen jälkeen paljon pilaantuneita maa-alueita, joita ei oltu käsitelty ollenkaan. Osa näistä maa-alueista odottaa edelleen käsittelyä. (BMU 2010.)

Yhteiskunnallisen toiminnan ohella Saksassa on entisiä sotilaallisia alueita, joiden maaperä saattaa olla pilaantunut. Sotilaallisessa käytössä olevat alueet vähenivät miljoonasta hehtaarista puoleen miljoonaan hehtaariin, kun Saksan demokraattisen tasavallan alueet liittyi-

vät Saksan liittotasavaltaan aseistariisunnan yhteydessä. Näille sotilaallisille alueille on voinut koitua vahinkoa jo ennen toista maailmansotaa, sen aikana ja sen jälkeen. Sotilaallisten alueiden käsittelyä maaperän kunnan selvityksessä ja kunnostuksessa helpottaa niiden maantieteellisen rajaamisen helppous. Toisaalta nämä alueet ovat haasteellisia maaperän kunnostukselle, koska niitä on Saksassa paljon. Sotilaallisessa käytössä olevien alueiden haitta-aineet ovat pääosin mineraaliöljyhiilivetyjä, muita samankaltaisia polttoaineita ja halogenoituja hiilivetyjä. Sotilaallisilla alueilla maaperän pilaantumisen on usein aiheuttanut haitta-aineen vuotaminen maahan. Vuotoa ei ole välttämättä heti huomattu, ja siksi haitta-ainetta on voinut olla pitkiäkin aikoja maaperässä. Ensimmäisen ja toisen maailmasodan aikana maaperään on asevarusteluun liittyvästä teollisuudesta voinut joutua myös erilaisia erityisesti asevarustelulle tyypillisiä aineita, kuten räjähteitä, taistelussa käytettäviä kemiallisia aineita ja sotilaallisesta toiminnasta syntyviä jätteitä. Johtuen sotilaallisten alueiden syrjäisestä sijainnista ja kelpaamattomuudesta muuhun käyttöön alueiden puhdistaminen ei aina ole mielekäästä tai taloudellisesti kannattavaa. (BMU 2010.)

Saksassa on viimeisten kartoitusten mukaan n. 320 000 pilaantuneeksi epäiltyä ja n. 13 400 pilaantuneeksi luokiteltua maa-aluetta. Pilaantuneiksi epäiltyjen maa-alueiden määrä on pysynyt jo vuosia suurin piirtein samana, mutta valmiiksi saatettujen vaarallisuusarviointien (nykyään n. 20 % pilaantuneeksi epäillyistä maa-alueista) ja kunnostamisten (nykyään n. 10 % arvioituista maa-alueista) alalla on tapahtunut suurta edistystä. Kaikkia pilaantuneeksi epäiltyjä maita ei tarvitse tai ei ole hyödyllistä tai kannattavaa kunnostaa. (Umweltbundesamt 2011; BMU 2009, 86.) Suomessa pilaantuneiksi epäiltyjä maa-alueita on n. 23 000, vaikka Suomen pinta-ala on vain 5 % Saksan pinta-alaa pienempi (Tilastokeskus 2011; Haavisto 2011). Nämä luvut kuvaavat korkean asukastiheyden ja pitkän asutushistorian vaikutusta maaperän kuormitukseen.

Taulukossa 1 on esitetty Saksan pilaantuneet maa-alueet osavaltioittain, luvuissa voi olla osittain päällekkäisyyksiä ja kuvassa 4 nähdään Saksan osavaltiot kartalla.

**Taulukko 1.** Pilaantuneet maat Saksassa osavaltioittain (Tiedot vuosilta 2009-2010) (Umweltbundesamt 2011; Statistische Ämter 2008)

	Pinta-ala [km]	Epäillyt pilaantuneet maa-alueet	Pilaantuneet maa-alueet	Kunnostus päättynyt	Vaarallisuuden arvioinnista päätetty	Kunnostus käynnissä	Valvonta käynnissä
Baden-Württemberg	35751	14472	1968	2445	14312	635	413
Bayern	70552	16545	1084	1490	4590	1006	78
Berlin	892	4978	911	187	-	68	75
Brandenburg	29481	19885	1454	3997	4327	127	214
Bremen	404	3560	432	596	898	43	170
Hamburg	755	1876	519	429	3024	135	139
Hessen	21114	1044	424	812	1624	181	40
Mecklenburg-Vorpommern	23186	5907	1049	1222	284	341	429
Niedersachsen	47627	99783	2948	1478	4095	360	325
Nordrhein-Westfalen	34088	75370	-	6158	17969	-	-
Rheinland-Pfalz	19854	11947	294	127	6305	167	57
Saarland	2569	1977	456	156	379	35	64
Sachsen	18419	20018	667	2836	6474	468	1393
Sachsen-Anhalt	20448	17210	173	1436	3271	74	27
Schleswig-Holstein	15799	13682	311	951	2585	69	42
Thüringen	16172	14802	692	837	3261	-	51
<b>Yhteensä</b>	<b>357111</b>	<b>323056</b>	<b>13382</b>	<b>25157</b>	<b>73398</b>	<b>3709</b>	<b>3517</b>



**Kuva 4.** Saksan osavaltiot (Reiseziel Erde 2010)

Saksassa tiheimmin pilaantuneita maa-alueita on pienissä yhden kaupungin osavaltioissa, joita ovat Berliini, Bremen ja Hampuri. Tämä selittyy sillä, että kaupunkien alueet ovat tiheään rakennettuja. Kaupungeista eniten pilaantuneita maa-alueita on Bremenissä johtuen sen pienestä pinta-alasta.

Muiden, ns. tavallisten, osavaltioiden alueella eniten pilaantuneita maita pinta-alaan nähden on läntisen Saksan osavaltiossa Nordrhein-Westfalenissa. Korkea tiheys pilaantuneissa maa-alueissa johtuu alueen pitkästä teollisesta historiasta ja korkeasta väestötiheydestä. Aivan Nordrhein-Westfalenin osavaltion pohjoispuolella olevassa Niedersachsenin osavaltiossa on myös korkea pilaantuneiden maa-alueiden tiheys luultavasti johtuen myös teollisuudesta ja väenpaljoudesta.

Saksan toisella laidalla oleva Sachsenin osavaltio on myös yksi tiheimmin pilaantuneista isoista osavaltioista. Sachsenin alueen korkea pilaantuneiden maa-alueiden tiheys voi esi-



merkiksi selittyä sillä, että alue kuului Itä-Saksaan, jossa maaperää ei osattu varjella yhtä hyvin kuin lännessä. Myös muissa entisen Itä-Saksan osavaltioissa, Thüringenissä, Sachsen-Anhaltissa ja Brandenburgissa on pilaantuneiden maa-alueiden tiheys pinta-alaan verrattuna korkeampi kuin esimerkiksi Baijerissa tai Baden-Württembergissa. Tällainen itä-länsi-vastakkainasettelu ei kuitenkaan ole aivan yksiselitteistä johtuen erikokoisista osavaltioista ja niiden erikorkuisista asukastiheyksistään sekä pilaantuneiden maa-alueiden keskinäisistä eroista. Myös entisen Länsi-Saksan alueella, Niedersachsenin ja Nordrhein-Westfalenin osavaltioissa, on tiheästi pilaantuneita maa-alueita.

Ylivoimaisesti vähiten pilaantuneita maa-alueita pinta-alaan kohti on Hessenin osavaltion alueella. Suhteellisen vähän pilaantuneita alueita on myös Baijerin ja Mecklenburg-Vorpommernin alueilla.

Aktiivisinta puhdistustoimintaa on Hessenin osavaltion alueella. Huomattavan aktiivisesti pilaantuneita maa-alueita puhdistetaan myös Baijerin ja Mecklenburg-Vorpommernin alueilla. Vähiten puhdistusta on käynnissä Sachsen-Anhaltin ja Brandenburgin osavaltioiden alueilla.

Saksassa ei ole virallista tietoa siitä, kuinka paljon kullakin haitta-aineella pilaantuneita maita maan alueella on. Tällaista haitta-aineista kertovaa tilastoa ei ole voitu tehdä, koska haitta-aineiden kirjo on niin laaja ja monet pilaantuneet maat ovat pilaantuneet monella haitta-aineella samaan aikaan. Jonkinlainen jaottelu on kuitenkin olemassa, alueiden, joilla on ennen käsitelty tai loppusijoitettu jätteitä ja alueiden, joilla on ennen harjoitettu teollisuutta tai muuta elinkeinoa, välillä. Valitettavasti nämäkään tiedot eivät anna tarkempaa viihettä siitä, millä tai minkä tyyppisillä haitta-aineilla nämä alueet ovat pilaantuneet, koska toiminnan harjoittamisesta eli teollisuus tai muu elinkeino on voinut pilata maata hyvin monenlaisilla haitta-aineilla. Vastaavasti jätteiden loppusijoitukseen tai käsittelyyn käytyillä alueilla on mahdollisten pilaavien haitta-aineiden kirjo myös laaja, koska alueella on voitu käsitellä esimerkiksi yhdyskuntajätettä tai jo keskenäänkin erilaisia toiminnan harjoittamisesta syntyneitä jätteitä. (Bieber 2011.)

Noin 30 % Saksan kaikista pilaantuneista maista on syntynyt entisten jätteenkäsittelyalueiden takia ja 70 % on syntynyt toiminnan harjoittamisesta. Melkein kaikki osavaltiot noudattavat suurin piirtein tätä jakaumaa. Eriyksen paljon jätteenkäsittelystä syntyneitä pi-

laantuneita maa-alueita on Rheinland-Pfalzin alueella, 95 % kaikista pilaantuneista maa-alueista ja Saarlandin alueella, 83 % kaikista pilaantuneista maa-alueista. Bremenin, Hampurin ja Niedersachsenin alueilla taas suurin osa pilaantumisista johtuu toiminnan harjoittamisesta. Näissä osavaltioissa toiminnan harjoittamisesta johtuu 86 % pilaantumisista tai enemmän. (Umweltbundesamt 2011)

## **5 KYSELY**

### **5.1 Kyselyn tausta**

Mzymes Oy:n kannalta Saksan pilaantuneiden maiden puhdistajista mielenkiintoisia ovat mahdolliset yhteistyökumppanit ja toisaalta sellaiset yritykset, jotka kilpailevat samojen haitta-aineiden puhdistamisesta luonnollisin hajotusmenetelmin. Erityisesti kiinnostavia ovat ne yritykset, joilla on samanlaisia sienikasvustoihin perustuvia menetelmiä käytössään. Sienien käyttöä maanpuhdistuksessa on tutkittu Saksassa jo yhdeksänkymmentäluvulta asti. Haitta-aineista esim. TNT ja raskasmetallit ovat olleet tutkimuksen kohteena. (Berliner Zeitung 1998). Sienikasvustoja maaperän puhdistuksessa käyttävistä yrityksistä ei löytynyt kuitenkaan esimerkkejä. Saksassa on yrityksiä, jotka hyödyntävät sienikasvustoa maaperän ominaisuuksien parantamisessa, kun maata käytetään kasvualustana hyötykasveille.

Internet ei tarjoa kattavaa tietoa Saksan pilaantuneiden maiden puhdistajista. Yrityksiä, jotka puhdistavat maaperää erilaisin menetelmin, on paljon, mutta Internetin kautta saatava tieto niistä on vajavaista. Suuri osa pilaantunutta maata puhdistavista yrityksistä ei ole tehnyt kotisivuja, joten Saksan maanpuhdistuksen yritys kenttää oli lähdettävä tutkimaan tekemällä kysely maanpuhdistuksen alalla toimiville yrityksille.

## 5.2 Kyselyn toteuttaminen

Mahdollisimman tuoretta ja totuudenmukaista tietoa saksalaisesta maanpuhdistuksesta haettiin lähettämällä sähköpostilla kyselyn alan erilaisille toimijoille (LIITTEET 1 ja 2). Maanpuhdistus- ja konsulttiyritysten erottelu toisistaan oli hankalaa, koska niiden verkosto ja yhteydet toisiinsa ovat niin läheiset. Pääteltiin, että saataisiin mahdollisimman laajaa tietoa alasta, jos sisällytettäisiin kaikenlaiset maanpuhdistuksen alalla toimivat yritykset kyselyyni.

Internetistä löydetyn tietokannan saksalaisista ympäristöalan yrityksistä avulla 137 yritystä, joille lähetin kyselyni. Kysymyksiini vastasi 13 alan yritystä, mikä on noin 10 % kaikista yrityksistä, joille kysely lähetettiin ja muita vastauksia saatiin 11. Suurimmassa osassa muita vastauksia kerrottiin, että maanpuhdistus ei kuulu enää tai ei ole ikinä kuulunut yrityksen toimialaan. Jotkin yritykset vastasivat, että ne eivät voi antaa sellaisia tietoja eteenpäin, joita kyselyssäni kysytään. Aivan ensimmäisten joukossa saatiin vastaus, jossa kerrottiin, että kyselyyn olisi ollut nopeampi ja helpompi vastata, jos oikean vastauksen olisi voinut valita muiden vaihtoehtojen joukosta. Siinä vaiheessa ei kyselyä pystytty muuttamaan tämän vastauksen toiveita vastaavaksi, koska etsimääni tietoa ei tämän kaltaisilla kysymyksillä olisi voinut kerätä.

## 5.3 Kyselyn tulokset

Kyselyn tuloksena saatiin sellaista tietoa maanpuhdistuksessa Saksassa, jota olisi ollut hankala mistään muualta löytää. Kyselyn vastauksista löytyi myös joitakin tietoja, joista syntyi tutkimuksen kannalta merkittäviä yksityiskohtia kerrottavaksi alasta Saksassa, kuten Dierichs & Hagedorn Consulting GmbH:n rekisteröimä haitta-aineiden luonnollista hajoamista hyödyntävä terraclean®-prosessi. Kyselyssä tuli myös ilmi mahdollinen muutos Saksan lainsäädäntöön, nk. Mantelverordnung eli vaippa-asetus, joka vaikuttaisi useaankin lakiin. Näistä yksityiskohdista kerrotaan lisää myöhemmin.

### 5.3.1 Yritykset

Kahdella ensimmäisellä kysymyksellä yrityksen liikevaihdosta ja työntekijöiden määrästä olen selvittänyt kuinka isoja yritykset, jotka kyselyyni vastasivat, ovat. Vastaukset esittelen taulukossa 2.

**Taulukko 2.** Yritysten liikevaihdot ja työntekijämäärät (Breternitz 2011; Dietrichs 2011; Edel 2011; Lenz 2011; Lüttel 2011; Necker 2011; Pudig 2011; Rieder 2011; Riemann 2011; Schoger 2011; Schulte-Kalthof 2011; Trosky 2011; Wegele 2011)

Yritys	Liikevaihto [milj. €]	Työntekijät/työntekijät maaperän kunnostuk- sessa
ASCA Altlasten-Sanierungs-Center Aachen GmbH & Co. KG	1,8-2,2	7/4
BAUMANAGEMENT RIEDER GmbH*	0,5	6/-
Dierichs & Hagedorn Consulting GmbH	1	7/2
Ed. Züblin AG	-	120/120
Geologisch-Technische Gesellschaft mbH	0,3-0,35	11/11
Gibs geologen + ingenieure	5	28/2
HIM GmbH	85	290/15
HG Büro für Hydrogeologie und Umwelt GmbH	1,5	13/3
Lobbe Holding GmbH & Co KG	2,0-3,0	7-8/-
Menteroda Recycling GmbH	0,2	20/20
Tauw GmbH *	117	1200/-
TERRA Umweltservice GmbH & Co. KG	3	11/11
UMWELTSCHUTZ UBP AG	-	15/2-3

\*Kansainvälinen yritys  
- ei tietoja

Taulukosta nähdään, että suurin osa haastattelemistani yrityksistä on mikroyrityksiä tai pieniä yrityksiä, joukossa on vain yksi keskisuuri ja kaksi suurta yritystä. Se on huomattavissa niin liikevaihdossa kuin työntekijämäärässäkin. (Europa 2011.) Työntekijämäärän ja työntekijöiden sijoittumisessa maanpuhdistuksen alalla taas huomataan, toimiiko yritys muillakin toimialoilla kuin maaperän kunnostamisessa. Ainakin neljän yrityksen vastauksista on suoraan pääteltävissä, että heidän toimintansa on keskittynyt vain maanpuhdistukseen, kun taas kuudella yrityksellä on myös muuta liiketoimintaa.

### 5.3.2 Käsiteltävät pilaantuneet maat

Kyselyyn vastanneista yrityksistä neljä kertoi käsittelevänsä kaikenlaisilla haitta-aineilla pilaantuneita maa-alueita, ensisijaisesti öljyhiilivedyillä, aromaattisilla ja polyaromaattisilla hiilivedyillä, halogenoiduilla hiilivedyillä ja metalleilla pilaantuneita maa-alueita (Edel 2011; Lüttel 2011; Necker 2011; Riemann 2011). Nämä haitta-aineet tulivat esiin myös muiden yritysten vastauksista, joten oletettavasti näillä haitta-aineilla pilaantuneita maa-alueita on eniten. Gibbs geologin + ingenieuren edustaja kertoi heidän yrityksensä erityisosaamisalueensa olevan sotilaallisen toiminnan tuloksena pilaantuneet maaperät ja vanhojen ennen vuotta 1971 kaatopaikkoina käytetyt alueet (Schoger 2011). Züblin AG:n edustaja kertoi yrityksensä puhdistavan myös BTEX-ryhmän aineilla pilaantuvia maita. BTEX-aineisiin kuuluvat bentseeni, tolueni, etyylibentseen ja ksyleeni. (Edel 2011.)

### 5.3.3 Käytetyt menetelmät

Kyselyyni vastanneiden yritysten käyttämät puhdistusmenetelmät ovat hyvin monenlaisia. Konsulttifirmat eivät päättä, millä menetelmällä maata puhdistetaan, vaan sopivan menetelmän arviointi kuuluu yritykselle, joka lopulta tekee maan puhdistuksen (Schoger 2011). Edelleen yritykset kertoivat käytettävän paljon kaatopaikkasijoitusta pilaantuneen maan käsittelyssä. Kunnostusmenetelmissä käytetään eniten mikrobiologisia menetelmiä ja termistä käsittelyä sekä huokosilmäkäsittelyä ja maaperän huuhtelua. Moni yritys sanoi käytössä olevan myös uusia innovatiivisia menetelmiä, jotka perustuvat termisen käsittelyyn tai biologiseen tai kemialliseen hapetukseen. (Breternitz 2011; Dietrichs 2011; Edel 2011; Lenz 2011; Lüttel 2011; Necker 2011; Pudig 2011; Rieder 2011; Riemann 2011; Schoger 2011; Schulte-Kalthof 2011; Trosky 2011; Wegele 2011.)

Vaikka yritys ei kehitelisi eikä ottaisi käyttöönsä uusia menetelmiä maanpuhdistuksessa, voidaan tutkimusta tehdä jo käytettyjen menetelmien osalta. Esimerkiksi ASCA Altlasten-Sanierungs-Center Aachen GmbH:ssä kehitetään jo käytössä olevia mikrobiologisia ja fysikaaliskemiallisia puhdistusmenetelmiä. Samalla tutkitaan voitaisiinko niitä käyttää myös sellaisille haitta-aineille, joille niitä ei ole ennen käytetty. (Necker 2011.)

Saksan maanpuhdistuksen alalla on myös patentoituja puhdistusmenetelmiä kuten Mzymes Oy:n FungiTube. Dierichs & Hagedorn Consulting GmbH kertoi käyttävänsä rekisteröimäänsä terraclean®-prosessia, jolla maaperä voidaan puhdistaa monista orgaanisista haitta-aineista off tai on site. Prosessissa käytetään hyväksi luonnollisesti esiintyviä mikro-organismeja, joiden toimintaa tehostetaan hapen ja ravintoaineiden avulla. Tällä menetelmällä voidaan puhdistaa erilaisia hiilivetyjä kuten polyaromaattisia hiilivetyjä sekä fenoleja ja BTEX-aineita. Menetelmällä on viimeisen viidentoista vuoden aikana puhdistettu n. miljoona tonnia pilaantunutta maa-ainesta, esimerkiksi vanhojen huolto-aremien alueita, sotilaallisen toiminnan seurauksena pilaantuneita alueita, lentokenttiä ja teollisuusalueita. Terraclean®-prosessia käyttävä yrityksen puhdistuslaitos sijaitsee Schil-daussa. (Dierichs 2011.)

#### **5.3.4 Tulevaisuus**

Saksan maanpuhdistuksen tulevaisuudennäkymistä yritykset antoivat hyvin erilaisia vastauksia. Kolme yritystä kahdestatoista arveli maaperänkunnostuksen Saksassa vähenevän. Saksan maanpuhdistuksen kerrottiin olevan jo pitkälle kehittynyttä (Edel 2011), josta on pääteltävissä, että kriittisimmät maa-alueet on jo puhdistettu. Vaikka maaperän kunnostus Saksassa väheneekin, arveltiin kansainvälisten projektien tulevan kompensoimaan markkinoiden vähenemistä Saksassa. ( Edel 2011.)

Kolme yritystä otti esille rahoituksen tärkeyden maaperän kunnostamiselle. Jos pilaantunut maa-alue on sijoittajien mielestä kiinnostava ja sen puhdistaminen katsotaan kannattavaksi, saksalaisella maanpuhdistuksella on paikkansa markkinoilla (Schoger 2011). Toisaalta jatkuvasti muuttuvassa maailmassa maaperänpuhdistukselle ei löydy tulevaisuudessa niin paljon rahoitusta kuin ennen ja ympäristöpoliittiset painopisteet ovat jo siirtyneet pois maaperän puhdistuksesta (Lenz 2011.) Esimerkiksi ilmastonmuutoksen torjuntaan keskitytään nyt enemmän ja tämä trendi jatkunee myös tulevaisuudessa tai tilalle tulee yhä uusia ympäristönäkökohtia, joihin huomio kiinnittyy maaperänpilaantumisen asemesta. Toisaalta maaperä on tärkeä väline ympäristönmuutoksen torjunnassa, koska se itsessään ja sillä kasvavat kasvit sitovat hiiltä.

Kaikki yritykset eivät nähneet Saksan maanpuhdistuksen tulevaisuutta synkkänä. Bau-management Riederin edustaja uskoi Saksassa olevan aina riittävästi tarvetta maanpuhdistukseen (Rieder 2011). Lobbe Holdingin edustaja kertoi tulevaisuuden näkymien olevan kohtuulliset (Schulte-Kalthof 2011).

Yritysten vastauksista oli huomattavissa, että voidaan olettaa in-situ-kunnostamisen ja ns. luonnollisten prosessien hyödyntämisen käytön lisääntyvän. Geologisch-Technische Gesellschaft mbH:n edustaja kertoi yritykseen olleen mukana projekteissa, joissa on edistetty biologisen in-situ-kunnostamisen käyttöä ja näki tälle kunnostustavalle paljon käyttömahdollisuuksia tulevaisuudessa (Pudig 2011). Myös Umweltschutz UBP AG:n edustaja arveli, että tulevaisuudessa kehitetään uusia innovatiivisia kunnostustapoja, joissa pääperiaatteena on haitta-aineiden luonnollinen hajoaminen, Enhanced Natural Attenuationin (ENA) eli aikaisemmin työssä mainittu tehostettu luontainen biohajoaminen (Lüttel 2011).

ASCA Altlasten-Sanierungs-Centerin edustaja kertoi, että Saksan maanpuhdistuksen tulevaisuus riippuu paljolti uuden, aiemmin työssä mainitun, vaippa-asetuksen eli Mantelverordnungin voimaantulemisesta. Yritykselle nämä muutokset lainsäädännössä ASCA Altlasten-Sanierungs-Centerin edustajan mukaan olisivat epätoivottuja. Yritykset joutuisivat käyttämään enemmän rahaa ja aikaa analyysihin varmistaakseen raja-arvojen alittumisen käyttämässään aineissa. Asetus rajoittaisi myös rakennuksessa käytettävien materiaalien kierrätystä ja näin ollen primääriraaka-aineita jouduttaisiin käyttämään enemmän. Tällöin myös suurempi osa materiaaleja jouduttaisiin loppusijoittamaan niiden hyötykäyttöön soveltumattomuuden takia, joka myös lisäisi kuluja. (Necker 2011). Toisaalta Menteroda Recycling GmbH:n edustajan mielestä Euroopan Unionin politiikan mukaan tulevaisuus maaperän kunnostuksen alalla Saksassa näyttää enemmänkin positiiviselta ja hän näkee alan myös kehittämis- ja laajentamiskelpoisena (Breternitz 2011).

## 5.4 Vastausten analysointi

Kyselyyn vastanneiden 13 yrityksen antama kuva saksalaisesta pilaantuneen maaperän käsitteystä on vain pieni otos koko alasta maassa. Koska otos on niin pieni, vastauksiin täytyy suhtautua kriittisesti, kun niiden avulla halutaan ymmärtää alan toimintaa Saksassa. Vastaukset kuitenkin osoittavat selkeitä suuntaviivoja alan toiminnalle tällä hetkellä sekä alan tulevaisuudelle Saksassa.

Vastausten analysointia hankaloitti se, että yritykset vastasivat keskenään hyvin eri tavoilla esitettyihin kysymyksiin, jolloin vastausten ymmärtäminen toisiinsa nähden oli hankalaa. Tästä syystä myös muiden kuin yritystietojen esittäminen taulukon avulla oli mahdotonta. Analysoinnin aikana erilaiset ilmaisutavat ja alakohtainen sanasto toisella kielellä aiheuttivat niin ikään ongelmia löytää vastauksista yhteisiä piirteitä. Toisaalta kun yrityksille annettiin vapaa vastausmahdollisuus vaihtoehtojen sijaan, saatiin vastauksista laajempia sekä kattavampia, mikä oli otoksen pienuuden takia hyvä. Näin saatiin enemmän tietoa yksittäisiltä yrityksiltä kuin vaihtoehtoihin pohjautuvalla kyselyllä olisi saatu, vaikka otos olisikin ollut isompi.



## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Saksassa on paljon pilaantuneita maita historiansa ja tiheän asutuksensa vuoksi. Tästä johtuen Saksa olisi Mzymes Oy:lle erittäin sopiva markkina-alue. Saksassa on 14-kertainen määrä Suomeen verrattuna pilaantuneeksi arvioituja maita, joten luultavasti myös Fungi-Tubesta kiinnostuneita alan yrityksiä olisi Saksassa mahdollista löytää. Saksalaiset maanpuhdistuksen alalla toimivat yritykset kertovat käyttävänsä tällä hetkellä uusia innovaatioita ja olevansa kiinnostuneita niistä myös tulevaisuudessa, joten rihmastoputkimenetelmä voi olla tästä syystä mielenkiintoinen Saksalaisille yrityksille. Saksassa on kokemusta sienirihmaston käyttämisestä maanparannuksesta, joten aivan uudesta asiasta ei olisi Fungi-Tubessa heille kyse. EU:n yhteisestä lainsäädännöstä johtuen maaperän pilaantuminen ja kunnostus on samankaltaista Saksassa ja Suomessa, joten yrityksen on helppo laajentaa toimintaansa Saksaan.

Yhteistyökumppaneiden löytäminen voi osoittautua hankalaksi, koska puhdistusta harjoitavilla yrityksillä on usein jo valmiit toimintamallit maaperän puhdistukselle, jolloin uusien menetelmien käyttöönotto voi olla niiden mielestä epäedullista. Joidenkin yritysten mielestä liiketoiminta tulee Saksassa maanpuhdistuksen alalla hiipumaan, joten tarvetta uusille menetelmille ei tästä syystä saata olla. Toisaalta halpa puhdistusmenetelmä voi kiinnostaa yrityksiä tiukentuneen kilpailun ja ympäristöpoliittisten näkökulmien muutosten takia. Mzymes Oy:n voi olla helppoakin laajentaa toimintaansa Saksaan, koska yhteistyö voi lähteä hitaasti liikkeelle vain joistakin yrityksistä ja laajentua siitä tarpeen ja voimavarojen mukaan.

Mikäli Mzymes Oy aikoo lähteä laajentamaan toimintaansa Saksaan, on yrityksen otettava selvää siitä miten liiketoiminta alalla Saksassa toimii. Millä tavalla konsulttiyritykset ottavat vastaan pilaantuneita kohteita tehtävikseen ja miten urakoitsijat suhteutuvat toimintaan. Yrityksen on hyvä tietää, mikä on Mzymes Oy:n paikka tässä ketjussa ja mitä liiketoiminnalta Saksassa odotetaan. Mzymes Oy:n on pystyttävä osoittamaan, että sen puhdistusmenetelmä on parempi kuin tällä hetkellä käytössä olevat puhdistusmenetelmät, jotta laajentuminen Saksaan olisi realistista tulevaisuudessa.

## 7 YHTEENVETO

Maaperää voi pilata monenlainen toiminnanharjoittaminen. Pilaantumisen voi aiheuttaa lyhytaikainen päästö tai pitkäaikainen toiminnan harjoittaminen. Maaperä voi olla pilaantunut monenlaisilla aineilla ja näiden erilaisilla pitoisuuksilla. Yleisimpiä pilaavia aineita ovat erilaiset hiilivedyt. Euroopan unioni on säätänyt direktiivin ympäristövahingoista, jonka pohjalta saksalainen ja suomalainen lainsäädäntö maaperän pilaantumisesta ja kunnostuksesta on laadittu.

Pilaantunutta maaperää voidaan puhdistaa monella eri menetelmällä, joiden prosessit perustuvat fysikaalisiin, kemiallisiin ja biologisiin reaktioihin. Monien eri pilaavien haitta-aineiden kirjon sekä haitta-aineiden erilaisten pitoisuuksien takia puhdistukseen on täytynyt kehittää paljon erilaisia menetelmiä. Kunnostusmenetelmä valitaan aina tapauskohtaisesti vastaamaan pilaantuneen kohteen erityispiirteitä. Kaikkia pilaantuneita maa-alueita ei voida, ei pystytä, ei ole taloudellisesti kannattavaa tai esim. alueen syrjäisen sijainnin takia järkevää puhdistaa.

Saksan maa-alueen keskeinen sijainti ja pitkä historia ovat aiheuttaneet maaperään paljon rasiitusta. Tästä johtuen Saksassa on huomattavasti enemmän pilaantuneiksi epäiltyjä maa-alueita kuin Suomessa. Tästä syystä Saksa on Mzymes Oy:lle varteenotettava markkina-alue. Saksalaiset yritykset ovat kiinnostuneita uusista innovatiivisista ja erityisesti luonnolliseen hajoamiseen perustuvista puhdistusmenetelmistä, jollainen rihmastoputkimenetelmä juuri on. Saksan tilanne maanpuhdistuksen alalla on viimeaikoina tiukentunut, joten Mzymes Oy:n on tarjottava yrityksille kilpailukykyinen puhdistusmenetelmä, jos se aikoo pärjätä Saksan markkinoilla.

## LÄHTEET

2004/35/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 21.4.2004 ympäristövastuusta ympäristövahinkojen ehkäisemisen ja korjaamisen osalta. Euroopan unionin virallinen lehti. 20 s. [verkkojulkaisu]. [viitattu 20.05.2010]. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:143:0056:0075:fi:PDF>.

BBodSchG. 17.3.1999. Bundesbodenschutzgesetz. Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten. [verkkojulkaisu]. [viitattu 20.05.2010]. Saatavissa: <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bbodschg/gesamt.pdf>.

BBodSchV. 12.7.1999. Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. [verkkojulkaisu]. [viitattu 20.5.2010]. Saatavissa: <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bbodschv/gesamt.pdf>.

Berliner Zeitung. 1998. Speisepilze und Bakterien sanieren sprengstoffverseuchte Böden. 15.4.1998. [verkkojulkaisu]. [viitattu 25.5.2010]. Saatavissa: <http://www.berlinonline.de/berliner-zeitung/archiv/.bin/dump.fcgi/1998/0415/wissenschaft/0005/index.html>.

Bieber, Andreas. 2011. Saksan ympäristöministeriön vastaus. [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Anni Heino. Lähetetty 12.9.2011 klo 12.21 (GMT +0200).

BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit). 2009. Zweiter Bodenschutzbericht der Bundesregierung. 119 s. [verkkojulkaisu]. [viitattu 20.5.2010]. <http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/2bodenschutzbericht.pdf>.

BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit). 2010. Bodenschutz – Altlasten – Fachinfo – Situation und Maßnahmen. [verkkojulkaisu]. [viitattu 18.5.2010]. Saatavissa: <http://www.bmu.de/bodenschutz/doc/2494.php>.

BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit). 2011a. Arbeitentwurf: Verordnung zur Festlegung von Anforderung für das Einbringen und das Einleiten von Stoffen in das Grundwasser, and den Einbau von Ersatzbaustoffen und die Verwendung von Boden und bodenähnlichem Material. Julkistettu: 6.1.2011. [pdf-tiedosto]. [viitattu 1.8.2011]. Saatavissa: [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/entw\\_mantelverordnung.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/entw_mantelverordnung.pdf).

BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit). 2011b. Flächennutzung 2009. [verkkajulkaisu]. [viitattu 27.7.2011]. Saatavissa: [http://www.bmu.de/files/bilder/allgemein/image/jpeg/grafik\\_bodenschutz.jpg](http://www.bmu.de/files/bilder/allgemein/image/jpeg/grafik_bodenschutz.jpg).

Breternitz, Astrid. 2011. Menteroda Recycling GmbH:n vastaus kyselyyn liiketoiminnasta. [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Anni Heino. Lähetetty 9.6.2011 klo 10.57 (GMT +0200).

Dietrichs, Dieter. 2011. Dietrichs & Hagedorn Consulting GmbH:n vastaus kyselyyn liiketoiminnasta. [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Anni Heino. Lähetetty 6.6.2011 klo 14.07 (GMT +0200).

Edel, Hans-Georg. 2011. Züblin Umwelttechnik GmbH:n vastaus kyselyyn liiketoiminnasta. [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Anni Heino. Lähetetty 31.5.2011 klo 18.37 (GMT +0200).

EUR-Lex. 2010. Jäsenvaltioiden ilmoittamat kansalliset säännökset, jotka liittyvät säädöksen: Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2004/35/EY, annettu 21 päivänä huhtikuuta 2004, ympäristövastuusta ympäristövahinkojen ehkäisemisen ja korjaamisen osalta. [verkkajulkaisu]. [viitattu 20.5.2010]. Saatavissa: [http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:72004L0035:FI:NOT#FIELD\\_FI](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:72004L0035:FI:NOT#FIELD_FI).

Europa. 2011. Tiivistelmät EU:n lainsäädännöstä. Mikroyritysten sekä pienten ja keski suurten yritysten määritelmä. [verkkajulkaisu]. [viitattu 13.8.2011]. Saatavissa: [http://europa.eu/legislation\\_summaries/enterprise/business\\_environment/n26026\\_fi.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/enterprise/business_environment/n26026_fi.htm).

Haavisto, Teija . 2011. Vastaus kysymykseen Suomen pilaantuneista maa-alueista. [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Anni Heino, Lähetetty 16.9.2011 klo 15.31 (GMT +0200).

Lenz, Walter. 2011. HG Büro für Hydrologie und Umwelt GmbH:n vastaus kyselyyn liiketoiminnasta. [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Anni Heino. Lähetetty 23.5.2011 klo 9.04 (GMT +0200).

Luntinen, M. 2006. Kunta ja pilaantunut maaperä. Kuntaliitto. 64 s. ISBN 952-213-140-7. [viitattu 7.4.2010]. [verkkopublication]. Saatavissa: <http://www.kunnat.net/fi/asiantuntijapalvelut/tyt/ymparistonsuojelu/pilaantuneet-maa-alueet/Documents/Kunta%20ja%20pilaantunut%20maaper%C3%A4.pdf>.

Lüttel, Ulrich. 2011. Umweltschutz UBP AG:n vastaus kyselyyn liiketoiminnasta. [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Anni Heino. Lähetetty 16.5.2011 klo 20.52 (GMT +0200).

Mzymes Oy. 2010. Rihmastoputkimenetelmä. 38 s. Julkaistu: 3.2.2010. Yksityinen asiakirja yrityksen sisäiseen käyttöön.

Mzymes Oy. 2011. Teknologiat. [Mzymes Oy:n www-sivuilla]. [viitattu 22.7.2011]. Saatavissa: <http://www.mzymes.fi/fi/technologies.php>.

Necker, York. 2011. ASCA Altlasten-Sanierungs-Center-Aachen GmbH & Co. KG:n vastaus kyselyyn liiketoiminnasta. [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Anni Heino. Lähetetty 26.5.2011 klo 14.23 (GMT +0200).

Penttinen R. 2001. Maaperän ja pohjaveden kunnostus – Yleisimpien menetelmien esittely. Suomen ympäristökeskus. 53 s. Oy Edita Ab. Helsinki. ISBN 952-11-0943-2.. [verkkopublication]. [viitattu 9.4.2010]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=12461>.

Pudig, Peter. 2011. Geologisch-Technische Gesellschaft mbH:n vastaus kyselyyn liiketoiminnasta. [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Anni Heino. Lähetetty 8.6.2011 klo 15.35 (GMT +0200).

Reiseziel Erde. 2010. Deutschland – Bundesländer. [verkkajulkaisu] [viitattu 18.5.2010] saatavissa: <http://www.reiseziel-erde.de/laender/deutschland/bundeslaender/index.php>.

Rieder Bernhard. 2011. Baumanagement Rieder GmbH:n vastaus kyselyyn liiketoiminnasta. [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Anni Heino. Lähetetty 25.5.2011 klo 20.53 (GMT +0200).

Riemann, Dieter. 2011. HIM GmbH:n vastaus kyselyyn liiketoiminnasta. [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Anni Heino. Lähetetty 28.6.2011 klo 13.07 (GMT +0200).

Schoger, Heinrich. 2011. GIBS geologen + ingenieuren vastaus kyselyyn liiketoiminnasta. [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Anni Heino. Lähetetty 25.5.2011 klo 10.33 (GMT +0200).

Schulte-Kalthof, Dirk. 2011. Lobbe Holding GmbH & Co. KG:n vastaus kyselyyn liiketoiminnasta. [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Anni Heino. Lähetetty 7.6.2011 klo 9.22 (GMT +0200).

Statistische Ämter. 2008. Gebiet und Bevölkerung – Fläche und Bevölkerung. Päivitetty: 31.12.2008. [verkkajulkaisu]. [viitattu 20.05.2010]. Saatavissa: [http://www.statistikportal.de/statistik-portal/de\\_jb01\\_jahrta1.asp](http://www.statistikportal.de/statistik-portal/de_jb01_jahrta1.asp).

Statistische Ämter. 2010. Bevölkerung – Deutschland. [verkkajulkaisu]. [viitattu 19.05.2010]. Saatavissa: [http://www.statistikportal.de/Statistik-Portal/de\\_zs01\\_bund.asp](http://www.statistikportal.de/Statistik-Portal/de_zs01_bund.asp).

Tilastokeskus 2011. Maakuntien pinta-ala, väestö ja bruttokansantuote. 22.3.2011. [verkkajulkaisu]. [viitattu 29.9.2011]. Saatavissa: [http://www.stat.fi/tup/suoluk/suoluk\\_vaesto.html#bruttokansantuote](http://www.stat.fi/tup/suoluk/suoluk_vaesto.html#bruttokansantuote).

Tilastokeskus. 2007. Suomen maapinta-alasta runsas neljä prosenttia rakennettua maata. 5.7.2007. [verkkojulkaisu]. [viitattu 22.5.2010]. Saatavissa: [http://www.stat.fi/ajk/tiedotteet/v2007/tiedote\\_019\\_2007-07-05.html](http://www.stat.fi/ajk/tiedotteet/v2007/tiedote_019_2007-07-05.html).

Trosky, Maria. 2011. Tauw GmbH:n vastaus kyselyyn liiketoiminnasta. [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Anni Heino. Lähetetty 20.5.2011 klo 10.46 (GMT +0200).

Umweltbundesamt. 2011. Bundesweite Übersicht zur Altlastenstatistik. [verkkojulkaisu]. [viitattu 18.5.2010]. 4 s. Saatavissa: [http://www.umweltbundesamt.de/boden-und-altlasten/altlast/web1/deutsch/1\\_3.htm](http://www.umweltbundesamt.de/boden-und-altlasten/altlast/web1/deutsch/1_3.htm).

Valtion ympäristöhallinto. 2005. Maaperän omat mikrobit kunnostavat tehokkaasti pilaantunutta maaperää. 30.11.2006. [verkkojulkaisu]. [viitattu 19.05.2010]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=160987&lan=FI>.

Valtion ympäristöhallinto. 2006. Luontaista maaperän puhdistusta tutkitaan Suomessa. 14.9.2006. [verkkojulkaisu]. [viitattu 20.05.2010]. Saatavissa: <http://www.environment.fi/print.asp?contentid=201203&lan=fi&clan=fi>.

Valtion ympäristöhallinto. 2009. Maaperän pilaantumisen syyt ja esiintyminen Suomessa. 10.12.2009. [verkkojulkaisu]. [viitattu 08.04.2010]. saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=11121&lan=fi>.

VNa. 214/2007. Maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista. Liite. [verkkojulkaisu]. [viitattu 09.04.2010]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/sdliite/liite/5382.pdf>.

VTT. 2004. Pilaantuneiden maiden kunnostushankkeiden hallinta. VTT tiedotteita 2245, VTT, Yleinen Teollisuusliitto YTL, Ympäristöyritysten Liitty ry. VTT, Suomi. ISBN 951-38-6469-3. 315 s. [verkkojulkaisu] [viitattu 22.05.2010] Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2004/T2245.pdf>

Wegele, Steffen. 2011. Terra Umweltservice GmbH & Co. KG:n vastaus kyselyyn liiketoiminnasta. [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Anni Heino. Lähetetty 18.5.2011 klo 19.49 (GMT +0200)



## LIITE 1. Kysely saksaksi

Sehr geehrte Kontaktperson der Firma X

Ich studiere an der Technischen Universität Lappeenranta Umwelttechnik in Finnland. Ich mache meine Bachelorarbeit über Altlasten und Bodensanierung in Deutschland.

Ich möchte gerne um Information zu sammeln einige Fragen an Ihre Firma stellen. Es wäre eine sehr große Hilfe für mein Studium.

**Sie können beliebige Menge von diesen Fragen beantworten je nach dem wie viel Zeit Sie haben.**

1. Wie groß ist Ihr Umsatz?
2. Wie viele Mitarbeiter haben Sie? Wie viele von denen arbeiten in der Bodensanierung?
3. Welche Arten von Altlasten behandeln Sie?
4. Was für Technologien benutzen Sie für Bodensanierung? Welche Technologien glauben Sie in der Zukunft zu benutzen? Könnten Sie sich vorstellen neue innovative Technologien zu benutzen?
5. Wie sieht die Zukunft aus für die Bodensanierung in Deutschland?

Vielen Dank für Ihre Antwort!

Mit freundlichen Grüßen,

Anni Heino

anni.heino@lut.fi

+358440650734

## LIITE 2. Kysely käännettynä suomeksi

Arvoisa yrityksen X yhteyshenkilö,

Opiskelen Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa Suomessa ympäristötekniikkaa. Teen kandidaatintyötäni maanpuhdistuksesta Saksassa.

Kerätäkseni tietoa haluaisin esittää yrityksellenne joitakin kysymyksiä. Se olisi suureksi avuksi opintojeni edistymiselle.

**Te voitte vastata haluamaanne määrään kysymyksiä riippuen siitä kuinka paljon aikaa teillä on käytössä.**

1. Minkä kokoinen teidän liikevaihtonne on?
2. Kuinka monta työntekijää teillä on? Kuinka moni heistä työskentelee maanpuhdistuksen saralla?
3. Minkälaisia pilaantuneita maaperiä puhdistatte?
4. Mitä tekniikoita käytätte maaperän puhdistamiseen? Mitä tekniikoita luulette käyttävänne tulevaisuudessa? Voitteko kuvitella käyttävänne uusia, innovatiivisia tekniikoita?
5. Miltä Saksan maaperän puhdistuksen tulevaisuus näyttää?

Paljon kiitoksia vastauksestanne!

Ystävällisin terveisin,

Anni Heino

anni.heino@lut.fi

+358440650734