

# Öljyhiilivedyillä pilaantuneen maan kunnostus lihaluujauhol- la

LAHDEN AMMATTIKORKEA-  
KOULU

Tekniikan ala

Ympäristötekniikka

Ympäristönsuojelutekniikka

Opinnäytetyö

Kevät 2017

Mea Surakka

Lahden ammattikorkeakoulu  
Ympäristötekniikka

SURAKKA, MEA:

Öljyhiilivedyillä pilaantuneen maan  
kunnostus lihaluujauholla

Ympäristönsuojelutekniikan opinnäytetyö, 66 sivua, 14 liitesivua

Kevät 2017

TIIVISTELMÄ

---

Karkeiden arvioiden mukaan Suomessa on yli 10 000 jollakin haitta-aineella pilaantunutta aluetta. Kaikista eniten alueita pilaa huoltamotoinnista, josta maaperään voi päästä polttoaineita ja öljyjä. Useat pilaantumispaukset ovat vanhoja, ja ne havaitaan uudisrakentamisen yhteydessä. Suomessa aloitetaan noin 250 kunnostusprojektia vuodessa.

Pilaantuneiden maiden puhdistusprosessi etenee alkuvaiheesta riskinarviointiin ja kunnostukseen. Pilaantuneiden maiden kunnostus on monivaiheinen prosessi, jota ohjaavat erilaiset lait ja säännökset. Haitta-aineen ominaisuudet ja pitoisuudet vaikuttavat kunnostusmenetelmän valintaan. Pilaantuneen maan kunnostus on liiketoimintaa, jonka kehittymistä ohjataan kestävä kehityksen suuntaan. Kunnostamiseen on monia menetelmiä, jotka voi jakaa kolmeen tyyppiin: off-site, on-site ja in-situ.

Opinnäytetyö tehtiin yhteistyössä Helsingin yliopiston REMSOIL-hankkeen kanssa. REMSOIL tutkii ja kehittää biostimulointiin perustuvaa maanpuhdistusmenetelmää, jossa maan mikrobiotoimintaa tehostetaan teurasjätteestä saatavalla sivutuotteella, lihaluujauholla. Lihaluujauho sisältää fosforia ja typpeä, joilla on todettu olevan positiivinen vaikutus maan puhdistuksessa. Menetelmä on patentoitu. Opinnäytetyössä tutkittiin menetelmän toimivuutta kahdella kokeella. Kummassakin kokeessa oli kuusi käsittelyä, joissa osassa käytettiin kalsiumperoksidia tai puuhaketta tueksi hapensaantiin.

Öljyhiilivedyjen määrä putosi kaikissa kahdessatoista käsittelyssä vähintään puoleen alkuperäisestä. Opinnäytetyössä tehtyjen koejärjestelyiden pohjalta osoitettiin lihaluujauhon lisäävän maaperän puhdistumista ensimmäisten neljän viikon aikana. Lihaluujauho kumosi kalsiumperoksidin pH:ta nostavan vaikutuksen. Menetelmässä on potentiaalia, sillä se on edullinen ja kiertotaloutta tukeva.

Asiasanat: pilaantuneet maat, biologinen kunnostus, öljyhiilivedyt, lihaluujauho

Lahti University of Applied Sciences  
Degree Programme in Environmental Technology

SURAKKA, MEA:

Bioremediation of oil-contaminated  
soil by meat and bone meal

Bachelor's Thesis in Environmental Technology, 66 pages, 14 pages of  
appendices

Spring 2017

ABSTRACT

---

It is estimated that there are over 10 000 contaminated areas in Finland. These are areas where the soil has been contaminated by harmful substances. The operation of gas stations is the biggest cause of pollution. Many soil contamination cases are old and usually pollution is detected during construction. In Finland, approximately 250 remediation projects are started every year.

A project of cleaning contaminated soil starts with perception of contamination and risk assessment. If there are risks caused by hazardous substances, the area needs to be remediated. Remediation of contaminated soil is business, which is guided by the principles of sustainable development in Finland. There are different methods of remediation of contaminated soils, and the methods can be divided into three categories: off-site, on-site and in-site.

This thesis was a part of Helsinki University's project called REMSOIL. REMSOIL is investigating a new bioremediation method, which intensifies the soil's own microbiological life. The method is based on a new additive, meat and bone meal (MBM), which is a by-product of the food industry. The Finnish MBM contains a lot of phosphorus and nitrogen, which are important to bioremediation. REMSOIL has a patent for this method. The goal of the thesis was to investigate the use of MBM to remediate soil contaminated by fuel-based hydrocarbons. There were two experiments, which both had six treatments. MBM was also used with calcium peroxide or wood for improved oxygen supply.

The content of fuels was decreased in all twelve treatments at least by half. The experiments showed that MBM increased soil bioremediation in the first four weeks. MBM had also prevented pH from increasing in the calcium peroxide treatment. There is potential in this method, because it would be an easy and cheap way to remediate soils, which also supports circular economy.

Key words: contaminated soils, bioremediation, fuel based hydrocarbons, meat and bone meal

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	PILAANTUNEET MAA-ALUEET	3
2.1	Lainsäädännön tausta Suomessa	4
2.2	MATTI-tietojärjestelmä	5
3	PILAANTUNEEN MAA-ALUEEN KUNNOSTUSPROSESSI JA KUNNOSTAMISEEN LIITTYVÄ LAINSÄÄDÄNTÖ	7
3.1	Kunnostusvastuu	8
3.2	Historia- ja esiselvitys	9
3.3	Pilaantuneisuustutkimukset	9
3.4	Riskinarviointi ja kunnostussuunnitelma	13
3.5	PIMA-ilmoitus	14
3.6	Toteutussuunnitelma	15
3.7	Kunnostus	15
3.8	Loppuraportti ja jälkiseuranta	16
4	MAAPERÄÄ PILAAVA TOIMINTA, HAITTA-AINEET JA NIIDEN VAIKUTUS IHMISEEN JA YMPÄRISTÖÖN	17
4.1	Huoltoasemat	18
4.2	Korjaamot, maalaamot ja romuttamot	20
4.3	Sahat ja kyllästämöt	21
4.4	Ampumaradat	22
4.5	Pesulat	23
4.6	Kaatopaikat	24
5	PILAANTUNEEN MAA-ALUEEN KUNNOSTUSMENETELMÄT	25
5.1	Off-site	25
5.2	On-site	26
5.3	In-situ	27
6	REMSOIL: MAA-AINEKSEN KUNNOSTAMINEN LIHALUJUJAUHOLLA	30
6.1	Kokeiden taustaa	30
6.2	Lihaluujauho	31
7	MENETELMÄN TESTAAMINEN KENTÄLLÄ	35
7.1	Suunnittelu ja aloitus	35
7.2	Kokeen kulku ja havainnot	37

7.3	pH-seuranta	38
8	MENETELMÄN TESTAAMINEN LABORATORIOSSA	39
8.1	Suunnittelu ja aloitus	39
8.2	Kokeen kulku ja havainnot	41
8.3	pH-seuranta	44
9	KOKEIDEN TULOKSET	45
9.1	Kontrolli	46
9.2	Kalsiumperoksidikäsittely	47
9.3	Puuhakekäsittely	49
9.4	Lihaluujauhokäsittelyt	50
9.5	Tulosten yhteenveto	55
10	YHTEENVETO	60
	LÄHTEET	61
	LIITTEET	67

## 1 JOHDANTO

Maaperän pilaantuminen on Suomenkin kokoisessa maassa ongelma. Pilaantuneiden maiden puhdistusprosessiin kuluu paljon rahaa niin valtion, kunnan kuin yksityisten henkilöiden budjetista. Pilaantuneet maa-alueet hidastavat uudelleenrakentamista, mutta ennen kaikkea aiheuttavat ylimääräisiä riskitekijöitä ympäristölle. Poikkeustilanteisiin olisi hyvä varautua, jos toiminnassa käytetään ympäristölle haitallisia aineita. Ongelmat öljysäiliöissä, kemikaalien kuljetuksessa ja kaivostoiminnassa voivat koitua kohtalokkaiksi alueen ympäristölle.

Pilaantuneiden maiden lukumäärää voidaan osin selittää löyhällä lainsäädännöllä vuosikymmeniä sitten. Silloin ei täysin tiedostettu erityisesti teollisuuden aiheuttamia riskejä ympäristölle. Nykyään toimintaa tarkkaillaan ainakin kunta-, ELY- ja EU-tasolla. Mitkään säännökset, lait ja valvojat eivät silti voi estää vahinkoja täysin. Poikkeustilanteen sattuessa pyritään ensisijaisesti suojelemaan ihmistä ja omaisuutta kaikilta vaurioilta, ja vastan jälkeen huomio kiinnittyy muihin haittoihin.

Tyypillinen suomalainen kunnioittaa puhdasta luontoa eikä halua toiminnallaan saattaa sitä välittömään vaaraan. Siitä huolimatta Suomessa on ympäristöongelmia. Vahinkojen tai laiminlyöntien sattuessa pelätään ympäristöriskolliseksi leimautumista ja oman toimeentulon vaarantumista. Syyllinen ja vahingonkorvaaja yleensä löytyvät, mutta vaikeinta on pilaantumisen havaitseminen. Yleensä potentiaaliset pilaantumisen aiheuttajat ovat omilla teollisuusalueillaan, joissa vahvat hajut, mustat savut ja vesien värjäytyminen ovat hyväksytyjä ilmiöitä. Ihmiseen kohdistuvien haittojen minimoimiseksi ne sijoitetaan asutusalueen ulkopuolelle. Pilaantuma voi olla myös seurausta pienistä, mutta hyvin pitkäaikaisista päästöistä. Puhumattakaan, jos yhdellä alueella toimii monta tällaista niin sanottua pieniä päästöistä toimijaa. Yhteensä tämä ympäristöön kohdistuva kuormitus alueella voi olla huomattava.

Kun vahinkoja tai maaperän pilaantumista ei voida täysin estää, on oltava olemassa hyviä keinoja poistaa terveys- ja ympäristöriskit ja minimoida

vahingot. Tätä kutsutaan pilaantuneen maan kunnostamiseksi. Se on yleensä pitkä ja kallis prosessi.

Tällä hetkellä eniten maankunnostuksessa käytetään sitä nopeinta ja yksinkertaisinta keinoa: pilaantuneen maamassan korvaamista puhtaalla. Pilaantumisen kaivuu puhdistaa alueen haitta-aineesta, mutta ei kaivettua maata. Kaivettu maa kuljetetaan usein kaatopaikalle, jossa se haitta-ainepitoisuuden perusteella sijoitetaan kaatopaikan alueelle tai käsitellään puhtaammaksi. Muitakin kunnostustapoja on, mutta ne koetaan usein hitaiksi tai epävarmoiksi.

Muutama vuosi sitten laadittiin Suomeen pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallintastrategia, joka ohjaa pilaantuneiden maiden kunnostamista. Strategian mukaan pilaantuneen maan kunnostusmenetelmän tulisi olla kustannustehokas, luonnonvaroja säästävä ja kiertotaloutta edistävä (Ympäristöministeriö 2015, 9). Opinnäytetyössäni olin osaltani kehittämässä maanpuhdistusmenetelmää, joka toimiessaan vastaa riskienhallintastrategian asettamia tavoitteita.

Opinnäytetyö on osa Helsingin yliopiston REMSOIL-hanketta, jossa kehitetään uutta biostimulaation perustuvaa maanpuhdistusmenetelmää. Maaperän haitta-aineet hajoavat aktiivisen mikrobitoiminnan seurauksena, mihin voidaan vaikuttaa esimerkiksi muuttamalla lämpötilaa tai pH:ta sekä lisäämällä kosteutta tai ravinteita. REMSOIL tutkii ja kehittää kunnostusmenetelmää, jossa mikrobien toimintaa tehostetaan teurasjätteestä saatavalla lihaluujauholla. Tavoitteena on kehittää menetelmää ja saada yksityiskohtaisempia tietoja lihaluujauhon toimivuudesta maanpuhdistuksessa. Kokeissa myös tarkkaillaan maan pH:ta, sillä liian korkea tai matala pH saattaa heikentää mikrobitoimintaa. Opinnäytetyössäni tutkin lihaluujauhon toimivuutta myös kahden muun lisäaineen kanssa.

## 2 PILAANTUNEET MAA-ALUEET

Maa-alue määritellään pilaantuneeksi, jos sen maaperässä on haitallisia aineita pitoisuuksina, joista aiheutuu haittaa ympäristölle (Ympäristöministeriö 2014, 13). Haitta voi olla esimerkiksi poikkeava haju, alueen arvon tai maineen heikentyminen, epäesteettinen maisema tai terveysriski. Jonkun verran haittoja ja riskejä voidaan vähentää yhdyskuntasuunnittelulla. Korkeapäästöinen teollisuustoiminta on erillään asutusalueista sekä tärkeille pohjavesialueille ei hyväksytä toimintaa, jossa pohjaveden pilaantumisriski on korkea. Ympäristöä pyritään kuormittamaan mahdollisimman vähän, ja yritykset ovat vastuussa ympäristövaikutusten arvioinnista ennen toimintaa ja sen aikana.

Maaperän pilaantumisriski aiheutuu haitallisen aineen käytöstä, käsittelystä, valmistuksesta, kuljetuksesta tai varastoinnista. Joskus pilaantuminen on vahinko tai tapaturma, ja taas toisinaan se on seurausta hyvin pienistä, pitkäaikaisista päästöistä tai välinpitämättömyydestä. On varsin yleistä, että pilaantunut alue on ollut siinä tilassaan jo vuosikymmeniä. (Ympäristöministeriö 2015, 12.)

Usein maankäytön muutos käynnistää puhdistustoimet, eli esimerkiksi, jos vanha satama-alue koetaan jollakin tapaa arvokkaaksi, ja alueelle halutaan rakentaa asuinrakennuksia. Vanhojen satama- ja teollisuusalueiden historian takia on erittäin todennäköistä, että sieltä löytyy ainakin jossain määrin pilaantuneisuutta. Puhdistushankkeita käynnistävät myös ympäristöonnettomuudet, esimerkiksi kuljetuksen aikana sattuneet tapaturmat, ja niistä johtuneet vuodot. Kunnostuksia tapahtuu eniten asutusalueilla tai pohjavesialueilla, joissa kunnostamalla halutaan vähentää alueen terveysriskejä. (Ympäristöministeriö 2015, 15.)

Ympäristöviranomaisten antamien kunnostuspäätösten perusteella voidaan arvioida, että Suomessa aloitetaan uusia pilaantuneiden maiden kunnostushankkeita noin 250 vuodessa. Luku on ollut laskemaan päin, sillä 2000-luvun alussa hankkeita aloitettiin parhaimpana vuotena lähes 450. Jos pilaantuneiden maiden kunnostus- ja selvitystyö jatkuisi saman-



kaltaisesti, on arvioitu, että noin 20 000 aluetta olisi tutkittu ja tarvittavat alueet kunnostettu vuoteen 2110 mennessä. Karkeiden arvioiden mukaan kunnostamista tarvitsisi noin 11 000 aluetta. Tutkimuksista ja kunnostamisista syntyisi yhteensä 4 miljardin euron kustannukset. (Pyy, Haavisto, Niskala & Silvola 2013, 29–30.)

## 2.1 Lainsäädännön tausta Suomessa

Ennen vuotta 1979 laki suojeli tavoitteellisesti lähinnä ihmisten terveyttä ja omaisuutta. Ympäristön pilaantumisesta ei ollut vain yhtä lakia vaan pilaantumistapauksissa sovellettiin lakeja terveydensuojelusta, vesiensuojelusta tai rakentamisesta, joista terveydenhoitolaki ja -asetus olivat keskeisimmät. Ensimmäiset viittaukset maaperässä piileviin ongelmiin sisältyivät jätehuoltolakiin 773/1978, ja se tuli voimaan 1979. Siinä säädettiin muun muassa roskaamiskiellosta ja roskaajan vastuusta puhdistukseen. Jätehuoltolaki kumoutui vuonna 1994 jätelailla. Jätelaissa oli jo selvästi kirjattu säännökset maaperän pilaamiskiellosta ja puhdistusvastuusta. Vuonna 2000 nämä säännökset siirrettiin edelleen ympäristönsuojelulakiin. (Pyy ym. 2013, 6–7.)

Ennen jätehuoltolakia ympäristöongelmia ei tiedostettu samalla tavalla. Nykyaikaista tietoa haitta-aineiden vaaroista ei ollut, eikä niiden ajateltu aiheuttavan merkittäviä haittoja myöskään tulevaisuudessa. Toiminnasta syntyviä jätteitä saatettiin päästää maaperään toistuvasti sekä teollisuuden että tavallisen kansalaisen toimesta. Haitta-aineiden käsittely ja jätteiden säilytys olivat huolimattomampaa, eikä niistä aiheutuvia riskejä osattu aavistaa. Esimerkiksi kaatopaikkojen vaikutuksia ympäristöön ei valvottu, vaikka ne sisälsivät käytännössä kaikenlaista jätettä. On tärkeää tiedostaa vuosikymmenten löyhästä lainsäädännöstä koituneet riskit. Nykyään laki suojelee maaperää ja pohjavettä pilaantumiselta, mutta ympäristön kanalta kohtalokkaita vahinkoja sattuu edelleen.

Maaperän pilaantumista on tutkittu Suomessa jo yli 30 vuotta. SAMASE-projekti eli SAastuneiden MAa-alueiden SELvitys- ja kunnostusprojekti oli vastaus valtioneuvoston vuonna 1988 asettamalle selonteolle, joka lupasi

selvittää pilaantuneet alueet ja puhdistaa ne tarvittaessa. Selontekoa edelsi vuonna 1987 ensimmäiset pilaantuneen maaperän puhdistamista koskevat säädökset jätehuoltolakiin, vaikka roskaamisvastuusta säädettiin jo edellisellä vuosikymmenellä. Roskaamiskiellon soveltamisalaa laajennettiin koskemaan myös käytöstä poistettuja tavaroita ja aineita. SAMASE-projektin tarkoituksena oli koota rekisteriin tietoja pilaantuneista tai pilaantuneiksi epäillyistä alueista. Se alkoi vuonna 1989. Lähteenä käytettiin eri tahojen lupa- ja valvonta-asiakirjoja ja projektin aikana kartoitettiin yli 10 000 aluetta. Valtakunnallinen yhteenveto julkaistiin 1994. Sen jälkeen kartoitus- ja selvitystyö jatkui lupa- ja valvontatyön ohella kuntien kanssa. (Pyy ym. 2013, 6.)

## 2.2 MATTI-tietojärjestelmä

SAMASE-rekisteri muuttui valtakunnalliseksi ympäristöhallinnon ylläpitämäksi MATTI- eli MAaperän Tilan Tietojärjestelmäksi vuonna 2007. Suomessa edelleen ELY-keskukset keräävät tietoa maa-alueista MATTI-järjestelmään. Järjestelmä kokoaa manner-Suomen pilaantuneet, puhdistetut ja pilaantuneiksi epäillyt alueet ja niistä selvillä olevan tiedon yhteen palveluun. Tietoja on alueen historiasta, sijainnista, toiminnasta ja kiinteistöistä sekä ympäristöolosuhteista muun muassa maalajista. Järjestelmässä on myös tietoja, mikäli alueella on tehty tutkimuksia, kunnostuksia tai muita viranomaistoimia. MATTI-tietojärjestelmä helpottaa nykyistä maankäytön suunnittelua ja rakennusvalvontaa. (Pyy ym. 2013, 8.)

Vuonna 2015 kohteita oli kirjattu järjestelmään lähes 25 000. MATTI-kohteet ovat selvästi keskittyneet väestön ja teollisuuden suosimille alueille; Etelä-Suomeen ja rannikkoseudulle. MATTI-kohteet on jaettu neljään luokkaan sen perusteella, missä vaiheessa mahdollista pilaantuneen maa-alueen kunnostusprosessia se on (taulukko 1). (Pyy ym. 2013, 9; Ympäristöministeriö 2015, 12.)

TAULUKKO 1. MATTI-kohteiden luokittelu (Ympäristöministeriö 2015, 12)

<b>Nimitys</b>	<b>Määrittys</b>	<b>Määrä (kpl)</b>	<b>Määrä (%)</b>
Toimivat kohteet	Maaperän tila selvittämättä; toiminta jatkuu.	9 000	36
Selvitettävät kohteet	Maaperän tila selvittämättä; toiminta on päättynyt.	8 500	34
Arvioitavat tai puhdistettavat kohteet	Maaperän tila selvitetty ja pilaantuma on havaittu.	2 100	8
Ei puhdistustarvetta	Puhdistetut tai puhtaat kohteet.	5 400	22

Maaperää on kunnostettu muutamien projektien voimin. SOILI-kunnostusohjelmassa kunnostettiin öljyllä pilaantuneita, suljettuja huolto- ja jakeluasemia. Ohjelma ehti tutkia ja kunnostaa noin sadan alueen maaperän. Tällä hetkellä on käynnissä öljysuojarahaston tutkimus- ja kunnostushanke JASKA, jossa tehostetaan vanhojen öljyllä pilaantuneiden maiden kunnostustarpeen selvittämistä ja tarpeen vaatiessa kunnostamista. (Öljy- ja biopolttoaineala ry 2016.)

### 3 PILAANTUNEEN MAA-ALUEEN KUNNOSTUSPROSESSI JA KUNNOSTAMISEEN LIITTYVÄ LAINSÄÄDÄNTÖ

Lait ohjaavat suojelemaan maaperää pilaantumiselta tai edesauttavat pilaantuneen maan puhdistamista. **Ympäristönsuojelulaki 527/2014** on yleislaki, jonka tarkoituksena on torjua pilaantumista. Se sisältää säädöksiä maaperän, vesien ja ilman suojelusta, ja sitä sovelletaan kaikkeen toimintaan, josta voi aiheutua ympäristön pilaantumista. Lain tavoitteena on poistaa, vähentää ja ennakoida pilaantumista ja pilaantumiseen johtavia vahinkoja ja turvata terveellinen, viihtyisä ja monimuotoinen ympäristö. (Ympäristöministeriö 2014, 19.)

Yritysten on tiedettävä, miten heidän toimintansa vaikuttaa ympäristöön. Jos vaarana on ympäristön pilaantuminen, toimijan on oltava selvillä ympäristövaikutuksista ja niistä riskeistä, joita toiminnasta aiheutuu (YSL 527/2014, 6 §). Lisäksi toimijan on ehkäistävä ympäristön pilaantumista sekä rajoitettava toiminnastaan johtuvat päästöt sekä ympäristöön että viemäriverkostoon mahdollisimman vähäisiksi (YSL 527/2014, 7 §). Jos toimintaan liittyy vaarallisia aineita, on toimijan liitettävä ympäristölupahakemukseen dokumentti maaperän ja pohjaveden perustilaselvityksestä, jossa on selvitettyjen tietojen pohjalta laadittu arvio maaperän ja pohjaveden nykyisestä kunnosta (YSL 527/2014, 82 §). Toiminnalle, joka aiheuttaa maaperän tai pohjaveden pilaamista, ei voida myöntää ympäristölupaa (YSL 527/2014, 16–17 §). Maaperän ja pohjaveden pilaaminen on ympäristönsuojelulain nojalla kiellettyä. Jos kuitenkin onnettomuuden tai inhimillisen virheen johdosta maaperä pilaantuu, pilaamisen aiheuttajalla, kiinteistön omistajalla tai kunnalla on velvollisuus puhdistaa se tilaan, jossa ympäristö- ja terveysriskit saadaan hyväksyttävälle tasolle. (YSL 527/2014, 133 §.) Jos pilaavaa tai mahdollisesti pilaavaa ainetta pääsee maaperään tai pohjaveteen, aiheuttajan on ilmoitettava siitä valvontaviranomaiselle välittömästi (YSL 527/2014, 134 §).

Jätehuoltolaki tuli voimaan huhtikuussa 1979. Jos maaperää pilannut toimija on lopettanut toimintansa alueella ennen lain voimaantuloa, katsotaan, että toimija ei ole vastuussa alueen puhdistamisesta. Lakia ei voida

soveltaa taannehtivasti. (Kuusiniemi, Leinonen, Marttinen, Salila, Seppälä & Siitari 2015, 323.)

### 3.1 Kunnostusvastuu

**Jätelaki 646/2011** ehkäisee jätteistä aiheutuvia riskejä ja jätehuollosta aiheutuvaa vaaraa. Jätelaki ohjaa maamassojen jatkokäsittelyä, sillä kaivettu pilaantunut maa-aines luokitellaan jätteeksi. (Jätelaki 646/2011.)

Kaikenlainen roskaaminen on kielletty. Roskaamiskiellon mukaan ympäristöön ei saa jättää sellaisia jätteitä tai päästää haitta-ainetta niin, että siitä riskinä olisi vaaraa tai haittaa (Jätelaki 646/2011, 72 §). Jos roskaamista tapahtuu, roskaajan siivoamisvelvollisuus asettaa roskaajan vastuuseen alueen siivoamiseen. Kunnan ympäristöviranomaisen voi määrätä roskaajaa täyttämään siivoamisvelvollisuutensa. Maaperän pilaantumistapauksissa aiheuttaja on vastuussa alueen kunnostamisesta. Tapauksissa, joissa tekijää ei saada selville tai roskaaja ei jostain syystä huolehdi siivoamisvelvollisuudestaan, sovelletaan toissijaista siivoamisvelvollisuutta. Siinä asetetaan alueella toimintaa harjoittavan tai alueen omistajan vastuu huolehtia alueen siisteydestä. Jos alueella toimija ei huolehdi siivoamisvelvollisuudestaan, alueen haltija on vastuussa siivoamisesta. Jos siivoaminen tai maaperän pilaantumistapauksissa kunnostaminen koituu alueen haltijalle liian kohtuuttomaksi tai voidaan osoittaa, että alueen haltija ei tiennyt tai ei voida olettaa, että haltijalla olisi ollut syy tietää alueen roskaavasta toiminnasta, siivoamisvelvollinen on lopulta kunta. (Jätelaki 646/2011, 73–74 §.)

Suurimman osan kunnostuskohteista, noin kaksi kolmasosaa, kunnostaa yritykset ja yksityishenkilöt. Lopuista kohteista vastaavat lähinnä kunnat ja valtio. Kuntien ja valtion lisäksi Liikennevirasto, Metsähallitus ja Puolustusvoimat kunnostavat useita kymmeniä kohteita vuosittain. (Ympäristöministeriö 2015, 15.)

Pilaantuneen maa-alueen kunnostamiseen liittyy monia vaiheita ja eri tahoja, joita on eritelty vaihe vaiheelta seuraavissa luvuissa.

### 3.2 Historia- ja esiselvitys

Kun epäillään pilaantumista omien havaintojen pohjalta tai suunnitellaan alueella harjoitetun toiminnan lopettamista tai alueen ostamista tai myymistä, on hyvä selvittää, onko maa-alue pilaantunut. Selvitys on myös paikallaan, kun suunnitellaan muutosta alueen maankäyttöön, ja nimenomaan sellaisissa tapauksissa, jolloin käyttö muuttuu epäherkemmästä herkempään, eli esimerkiksi jos vanha teollisuusalue halutaan asuinalueeksi. (Ympäristöministeriö 2014, 9.)

Kun pilaantuneisuus selvitetään muutosten yhteydessä, voidaan paremmin täsmentää pilaantumisen aiheuttanut toimija tai toiminto. Maaperän pilaaja on vastuussa alueen puhdistamisesta.

Kun epäily pilaantuneisuudesta syntyy, on hyvä selvittää alueen toimintahistoriaa. Tavoitteena on saada mahdollisimman laaja kuva siitä, millä haitta-aineilla maaperä on mahdollisesti pilaantunut. Voi olla, että aluetta on jo aiemmin tutkittu pilaantuneisuuden varalta tai sitä on mahdollisesti jo kunnostettu. Historiaselvitykseksi kutsuttavasta katselmuksesta on apua muun muassa näytepisteiden paikkoja suunniteltaessa. Sen perusteella voidaan myös todeta, että alueella ei ole ollut pilaavaa toimintaa, ja näin ollen tutkimustarve kumoutuu. Historiaselvityksen voi tehdä itse tai sen voi tilata ympäristöasiantuntijalta. (Vepsäläinen, Pyy, Sjölund, Nikunen, Rajala, & Reinikainen 2016, 26.)

Alueen historiaan tutustumisen jälkeen laaditaan tutkimussuunnitelma. Se on arvio tulevasta työstä ja sisältää alustavia tietoja muun muassa näytteenotoista, analysoitavista haitta-aineista ja aikatauluista. (Vepsäläinen ym. 2016, 26–27.)

### 3.3 Pilaantuneisuustutkimukset

Ympäristöasiantuntija suorittaa maanomistajan luvalla pilaantuneisuustutkimukset alueella. Alueelta tutkitaan haitta-aineiden esiintymistä maaperästä sekä tarvittaessa myös muualta ympäristöstä, esimerkiksi pohjavedestä. Tutkimusten tavoitteena on selvittää haitta-aineiden pitoisuuksia,

kokonaismääriä ja sijaintia. Kiinnostavia tietoja ovat myös haitta-aineiden muuntuminen ja kulkeutuminen ympäristössä, jotka ovat ainekohtaisia ominaisuuksia. Haastavissa kohteissa tutkimukset voidaan tehdä osissa tietojen tarkentuessa, mutta pienissä kohteissa pyritään toteuttamaan kattavat tutkimukset kerralla. Tutkimuksesta saatavia tietoja käytetään pilaantuneisuuden ja kunnostustarpeen arvioinnissa sekä laadittaessa kunnostussuunnitelmaa. Tutkimuksista ympäristöasiantuntija laatii raportin, jossa on kirjattuna muun muassa asianomaiset, tiedot maaperästä, suoritettut tutkimukset ja saadut tulokset. (Vepsäläinen ym. 2016, 27.)

Ympäristöasiantuntija jatkaa historiaselvityksen ja tehtyjen tutkimusten perusteella työtään riskinarviointiin, jos maaperässä todetaan haitta-ainepitoisuuksia, jotka ylittävät PIMA-asetuksessa määritetyt sallitut arvot (Vepsäläinen ym. 2016, 28).

**Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista (VNA 214/2007) eli PIMA-asetus** asettaa yli 50:lle maaperän haitta-aineelle kynnysarvoja. Taulukossa 2 on lueteltu joitakin PIMA-asetuksessa määriteltyjä arvoja. Asetuksen ohjearvoja käytetään pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnin apuna, ja näin se asettaa pilaantuneisuuden arvioinnille yhteiset raamit.

PIMA-asetuksessa on määritelty aineille kolme arvoa: kynnysarvo, alempi ohjearvo ja ylempi ohjearvo. Kynnysarvon ylittävä pitoisuus maaperässä käynnistää riskinarvioinnin. Se ei välttämättä vielä johda alueen kunnostukseen, vaan se käynnistää prosessin, jossa arvioidaan haitta-aineesta johtuvia riskejä.

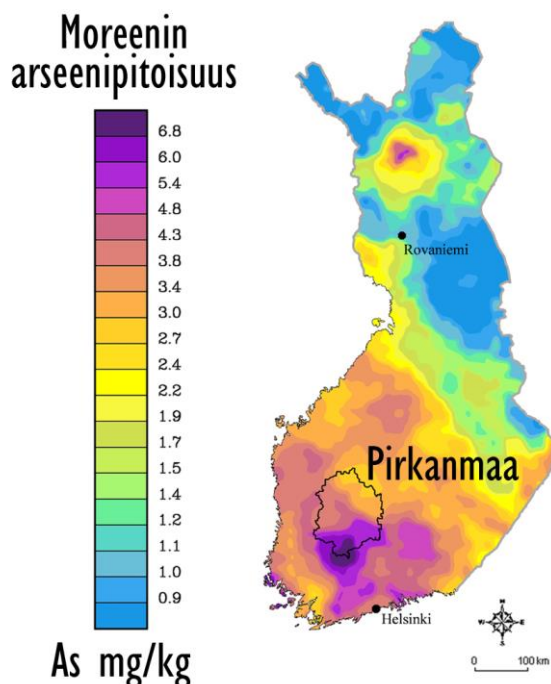
TAULUKKO 2. Eräitä PIMA-asetuksen liitteessä määriteltyjä arvoja (VNA 214/2007)

Aine	Luontainen pitoisuus (mg/kg)	Kynnysarvo (mg/kg)	Alempi oh- jearvo (mg/kg)	Ylempi oh- jearvo (mg/kg)
Arseeni	1 (0,1-25)	5	50	100
Lyijy	5 (0,1-5)	60	200	750
Bentseeni		0,02	0,2	1
Polyaromaattiset hiilivedyt (PAH)		15	30	100
Bensiinijakeet (C <sub>5</sub> -C <sub>10</sub> )			100	500
Keskitisleet (>C <sub>10</sub> -C <sub>21</sub> )			300	1000
Raskaat öljyjakeet (>C <sub>21</sub> -C <sub>40</sub> )			600	2000
Öljyjakeet (>C <sub>10</sub> -C <sub>40</sub> )		300		

Joillekin metalleille ja puolimetalleille on myös määritelty neljäs arvo, luontainen pitoisuus eli taustapitoisuus, joka tarkoittaa alueella yleisesti esiintyvää aineen pitoisuutta. Esimerkiksi Pirkanmaan maaperässä on havaittu verrattain suuria pitoisuuksia arseenia (kuvio 1). Näillä alueilla arviointikynnyksenä käytetään taustapitoisuutta (Ympäristöministeriö 2007, 14; VNA 214/2007.)

Maaperän pilaantuneisuus ja puhdistustarve on arvioitava, jos yksi tai useampi aine ylittää PIMA-asetuksessa määritellyn kynnysarvon. Kynnysarvo rajoittaa myös pilaantuneen maamassan jatkokäyttöä. Maa-ainesta, joka ylittää jonkin kynnysarvon, ei voida sijoittaa ilman tapauskohtaista harkintaa niin sanotulle herkälle alueelle, joka on esimerkiksi tarkoitettu lasten käyttöön tai ravintokasvien viljelyyn. Näin ollen myös luonnontilainen maa-aines saattaa sisältää käyttörajoituksia. (Kuusiniemi ym. 2015, 330; Vepsäläinen ym. 2016, 14.)





KUVIO 1. Moreenin arseenipitoisuus Suomen maaperässä, arseenille asetettu kynnyksarvo on 5 mg/kg (Geologian tutkimuskeskus 2016; VNA 214/2007).

PIMA-asetus määrittää myös ohjearvon alueen käytön mukaan. Asetuksen 4 §:n mukaan maaperää pidetään pilaantuneena, jos aineen pitoisuus ylittää

- 1) **ylemmän ohjearvon** teollisuus-, varasto- ja liikenne- tai muulla vastaavalla alueella tai
- 2) **alemman ohjearvon** muilla alueilla (asuin-, liike- ja toimistoalueella).

Eroavat ohjearvot perustuvat siihen, että esimerkiksi teollisuusalueilla altistumisriski on pienempi ja siellä sallitaan suurempia pitoisuuksia kuin asuinalueilla (Kuusiniemi ym. 2015, 330). Teollisuusalueet ovat usein aidattu ulkopuolisilta, ja alueella työskentelevät ovat yleisesti koulutettuja työntekijöitä. Altistusaika haitta-aineelle on teollisuusalueella verrattain pienempi, joten siellä voidaan sallia suurempia pitoisuuksia kuin asuinalueilla.

### 3.4 Riskinarviointi ja kunnostussuunnitelma

Riskinarvioinnissa tunnistetaan mahdolliset haitta-aineesta kohdistuvat haitat ympäristöön ja ihmisten terveyteen. Pilaantuneen alueen sijoittuminen merkittävälle pohjavesialueelle tai välittömästi asutusalueen läheisyyteen vaatii tarkempaa tarkastelua riskinarvioinnissa. Riskinarvioinnin perusteella arvioidaan maan pilaantuneisuus, kunnostustarve ja ne tavoitteet, jotka halutaan mahdollisella tulevalla kunnostuksella saavuttaa. Tilaajan ja ympäristöasiantuntijan on syytä keskustella tavoitteista, sillä ne ovat oleellinen osa kunnostuksen etenemistä. Tavoitteet määrittävät pitkälti työn kustannukset ja työhön kuluvan ajan. Joissain tapauksissa tavoitteena on tulos, joka vastaa kynnyks- tai ohjearvon asettamia vaatimuksia, tai joissain tapauksissa maaperään voidaan jättää korkeampiakin haitta-ainepitoisuuksia. Usein tavoite riippuu tulevasta maankäyttötarkoituksesta. (Vepsäläinen ym. 2016, 28.)

Riskinarviointi on dokumentti, joka toimitetaan ympäristöviranomaiselle. Se voi olla oma raporttinsa tai osa kunnostussuunnitelmaa. Maaperän kunnostaminen on tarpeellista, jos riskinarvioinnin jälkeen todetaan haitta-aineiden aiheuttavan merkittävän ympäristö- tai terveysriskin. Ennen kunnostuksen aloittamista laaditaan kaikki kunnostuksen toteutuksen ja viranomaispäätöksen kannalta tärkeä tieto kunnostussuunnitelmaksi. Sitä voidaan kutsua myös kunnostuksen yleissuunnitelmaksi. Sen laatii ympäristöasiantuntija ja se toimitetaan viranomaiselle PIMA-ilmoituksen liitteenä. (Vepsäläinen ym. 2016, 28–29.)

Kunnostussuunnitelma sisältää paljon tietoa mm. kohteen historiasta, maaperätiedoista, haitta-ainetutkimuksista, riskinarvioinnista, kunnostuksen tarpeesta, tavoitteesta ja toteutuksesta, kunnostusvaihtoehdoista, työsuojelusta ja jälkiseurannasta. Lisäksi siinä on karttoja ja hankkeen aikatauluja. Ympäristöasiantuntija arvioi myös hankkeen kustannuksia kunnostussuunnitelmaan. (Vepsäläinen ym. 2016, 28–29.)

Tilaajan tulee varmistaa kunnostussuunnitelmasta esitetyt kunnostusmenetelmät ja kunnostuksen tavoitteet. On tärkeää, että tilaajan ja asiantunti-

jan välillä vallitsee ymmärrys tulevasta. Kunnostaminen voidaan toteuttaa monella tavalla, sillä kunnostamiseen voidaan käyttää yhtä menetelmää tai eri menetelmien yhdistelmää. Tilaajan kannattaa vaatia menetelmien vertailua, sillä menetelmän valinta riippuu pitkälti alueesta ja tavoitteista. Menetelmillä on erilaisia haittoja ja hyötyjä, ja ne ovat kustannuksiltaan ja aikatauluiltaan eroavia. (Vepsäläinen ym. 2016, 28–29.)

Jos alue kunnostetaan kuljettamalla maa-ainesta kaatopaikalle, kunnostussuunnitelmassa olisi hyvä olla myös tietoja kaatopaikkakelpoisuuden osoittamisesta. Pilaantunut maa-aines on jätettä, ja sen kaatopaikkakelpoisuus arvioidaan ennen sijoittamista kaatopaikalle. (Wahlström, Laine-Ylijoki, Vestola, Vaajasaari & Joutti 2006, 37.)

### 3.5 PIMA-ilmoitus

Ympäristöasiantuntija laatii myös PIMA-ilmoituksen, joka on ennen kunnostuksen aloittamista laadittava asiakirja ympäristöviranomaiselle. Lupa- ja valvontaviranomaisina toimivat elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukset (ELY), aluehallintovirastot (AVI) ja myös isoimmat kunnat, Helsinki ja Turku. Ilmoitus tulee jättää 45 vuorokautta ennen työn aloittamista. Kunnostussuunnitelma on ilmoituksen liitteenä. Ympäristöviranomaisen rooli on tarkistaa asiakirjat ja tehdä niiden pohjalta määräykset käytettävästä menetelmästä, kunnostamisen tavoitteista ja maa-aineksen hyödyntämisestä. (Vepsäläinen ym. 2016, 29–30.)

Ilmoitusmenettely edellyttää, että pilaantuneen alueen laajuus on riittävästi selvillä, käytettävä puhdistusmenetelmä on yleisesti hyväksytty ja toiminnasta ei aiheudu ympäristön muuta pilaantumista tai kohtuutonta rasisitusta. Melkein kaikissa tapauksissa nämä ehdot täyttyvät. Jos näin ei kuitenkaan ole, asia on ratkaistava ympäristölupamenettelyssä, eli hankkeelle on haettava ympäristölupaa. (Ympäristöministeriö 2007, 19.)

Luvantarpeesta määrää ELY-keskukset ja lupahakemukset käsittelee AVI (Vepsäläinen ym. 2016, 33). Ilmoitusmenettely on kuitenkin muodostunut

pääsäännöksi jo aiemman ympäristösuojelulain aikana, sillä ympäristöluvan tarpeen vaatimukset eivät yleensä täyty (Kuusiniemi ym. 2015, 328).

### 3.6 Toteutussuunnitelma

Ilmoituksen ja viranomaispäätösten jälkeen laaditaan tietojen ja määräysten perusteella toteutukselle yksityiskohtaisempi suunnitelma. Sen voi laatia ympäristöasiantuntija tai urakoitsija. Tavanomaisesti kunnostussuunnitelmaa voidaan käyttää myös toteutussuunnitelmana, jolloin hankkeeseen kilpailutuksen kautta valikoitunut urakoitsija vain täydentää hankkeessa tapahtuvia suunnitelmasta poikkeavia toimintoja työmaasuunnitelmana. Kunnostusalueella toimiva valvoja toimii myös suunnitelman valvojana ja hyväksyy urakoitsijan toiminnat. Joskus toteutussuunnitelma pitää toimittaa viranomaiselle tarkastettavaksi ennen kunnostuksen aloittamista. (Vepsäläinen ym. 2016, 30.)

### 3.7 Kunnostus

Kunnostushanke tarvitsee aina valvojan ja työmaalle turvallisuudesta vastaavan koordinaattorin. Kunnostusta valvomaan nimetään ympäristöasiantuntija, joka on paikalla aina kun pilaantunutta maata kaivetaan tai kuormataan. Valvoja varmistaa lupapäätöksessä asetettujen määräysten toteuttamista, ohjaa maa-aineksia, laatii asiakirjoja, huolehtii näytteistä ja raportoi tuloksista. (Vepsäläinen ym. 2016, 32.)

Jätelaki 646/2011 ohjaa sekä kunnostusvastuusta että edelleen kaivettujen pilaantuneiden maamassojen jatkokäsittelystä. Laki ohjaa esimerkiksi maan varastointia, kuljettamista, käsittelyä, hyödyntämistä ja sijoittamista. (Pyy ym. 2013, 7.)

Kaatopaikalle kuljetettavia maa-aineksia käsitellään samoja periaatteita noudattaen kuin muitakin jätteitä. Pilaantuneiden maiden kaatopaikkakelpoisuuden mukaan ne jaetaan kolmeen eri luokkaan; pysyvän jätteen kaatopaikalle, vaarallisen jätteen kaatopaikalle ja tavanomaisen jätteen kaatopaikalle. Luokka määräytyy maa-aineksen haitta-ainepitoisuuksien mu-

kaan. Pilaantuneet maat ovat jätteitä, joita ei synny säännöllisesti, joten niiden tapauksessa jokainen jäte-erä on määriteltävä erikseen. (Wahlström ym. 2006, 37.)

### 3.8 Loppuraportti ja jälkiseuranta

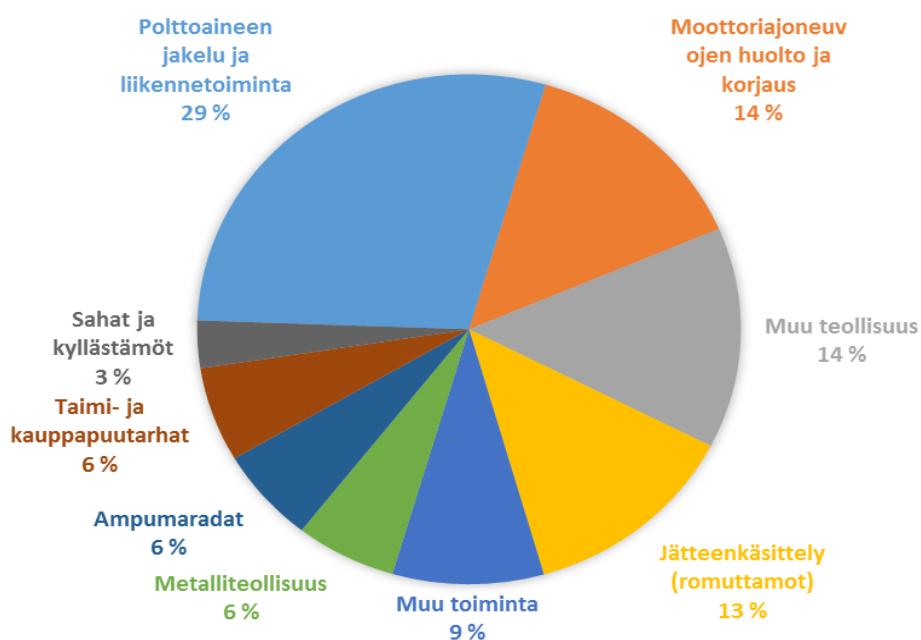
Työn valmistuttua kunnostuksesta vastuussa oleva kokoaa loppuraportin. Siinä on kuvattuna työn toteutus ja lopputulos. Loppuraportin tarkoituksena on varmistaa annettujen tavoitteiden saavuttaminen. Se toimitetaan valvovalle viranomaiselle viranomaispäätöksessä mainitun määräajan kuluessa. Loppuraportti on pysyvästi säilytettävä asiakirja, jonka hyväksyy puhdistamista koskevan päätöksen tehnyt viranomainen. Viranomaisen tehtävänä on varmistaa, että työ on edennyt hyväksytyyn kunnostussuunnitelman ja annettujen ohjeiden mukaisesti. (Vepsäläinen ym. 2016, 32.)

Hyväksytyään loppuraportin viranomainen täydentää sen tiedot MATTI-järjestelmään ja kirjoittaa hankkeen loppuraportista tilaajalle lausunnon. Joissakin tapauksissa hankkeen luonne voi edellyttää jälkiseurantaa. Hanke päättyy hyväksytyyn loppuraporttiin. (Vepsäläinen ym. 2016, 32.)

#### 4 MAAPERÄÄ PILAAVA TOIMINTA, HAITTA-AINEET JA NIIDEN VAIKUTUS IHMISEEN JA YMPÄRISTÖÖN

Pilaantunut maa voi muodostua ongelmaksi, sillä maaperän sisältämät haitta-aineet saattavat aiheuttaa ympäristöongelmia ja ihmiselle terveysongelmia. Ihmisenkin kannalta altistumisreittejä on useita. Haitta-aineita voi päätyä pohjaveden kautta juomaveteen tai maaperästä saattaa kertyä haitta-aineita syötäviin kasveihin. Lisäksi hengityksen kautta haitta-aineen pienhiukkasia voi päätyä elimistöön, jos haitta-ainepitoisuus on korkea. Ihokontaktista ei koeta olevan merkittävää haittaa, sillä useimmat aineet imeytyvät huonosti ihon läpi eikä ihokontakti maahan ole niin tavanomaista. (Jantunen, Komulainen, Nevalainen, Tuomisto, Venäläinen & Viluksela 2005, 211.)

Polttoaineen jakelu ja huoltamatoiminta on suurin pilaantuneisuutta aiheuttava taho Suomessa (kuvio 2). Muita toimintoja ovat mm. saha- ja kyllästämötoiminta, ampumaradat ja jätteenkäsittely. Kuviossa 2 kohta ”muu teollisuus” ilmentää mm. puutuote-, tekstiili-, kemian- ja muoviteollisuutta ja kohta ”muu toiminta” öljy- ja kemikaalivahinkoalueita sekä kemiallisia pesuloita ja puolustusvoimien alueita.



KUVIO 2. MATTI-kohteiden toimialajakauma (Ympäristöministeriö 2015, 13)

Pelastustoimen vuoden 2013 resurssi- ja toimenpidetilasto kirjasi rekisteeriinsä vuonna 2012 yli 2600 öljyvahinkoa. Näistä merkittäviä oli kuitenkin vain noin 110. Kaikista eniten onnettomuuksia aiheutui tieliikenteessä. (Tuomainen, Retkin, Knuutila, Pennanen, Mäenpää & Särkkä 2013, 21.)

#### 4.1 Huoltoasemat

Polttoaineen jakelu on suurin pilaantuneisuuden aiheuttaja Suomessa. Tontteja, joissa käsitellään polttoaineita ja öljyä, on paljon. Vaikka suurempia vuotoja ei tapahtuisikaan, alue saa osansa toiminnan seurauksena, kun jatkuvan polttoaineen käsittelyn ja runsaan liikenteen seurauksena aineita päätyy ympäristöön. (Jantunen ym. 2005, 217.)

Suomessa on tällä hetkellä yli 1800 huoltoasemaa, joista suurin osa on automaattiasemia (Öljy- ja biopolttoaineala ry 2015). Polttoaineet ovat tällä hetkellä välttämättömiä, vaikka ne ovat ympäristön kannalta kyseenalaisia. Polttoaineen jakelusta maaperään saattaa joutua joukko erilaisia öljyhiilivetyjä ja polttoaineiden lisäaineita, kuten MTBE:tä.

Öljy muodostuu isosta joukosta erilaisia hiilivetyjä. Ne jaetaan kolmeen eri ryhmään: bensiinijakeisiin ( $C_5-C_{10}$ ), keskitisleisiin ( $>C_{10}-C_{21}$ ) ja raskaisiin öljyjakeisiin ( $>C_{21}-C_{40}$ ). Öljyhiilivedyissä on iso kirjo tyydyttyneitä ja tyydyttymättömiä, suoria ja haaroittuneita sekä yksi- ja monirenkaisia yhdisteitä. Monet maaperän mikrobit pystyvät käyttämään öljyhiilivety-yhdisteitä hiilen ja energian lähteenä. Lyhytketjuiset alkaanit eli yksinkertaisella sidoksella esiintyvät lyhytketjuiset hiilivedyt hajoavat nopeasti. Haaroittuvat hajoavat hitaammin. Siitä johtuen polttoöljyt hajoavat yleensä nopeasti ja voiteluöljyt hitaasti. (Tuomi & Vaajasaari 2004, 15–16.)

Öljyhiilivedyissä ei ole typpeä tai fosforia, joiden puute voi estää yhdisteiden hajoamista maaperässä luonnollisesti. Yleensä ravinnelisäyksellä on ollut positiivinen vaikutus biohajoamiseen. Hajoamista saattaa myös osaltaan hidastaa niiden sitoutuminen maapartikkeleihin, sillä mikrobit tarvitsevat ravintonsa liukoisessa muodossa. Monet mikrobit tuottavat pinta-

aktiivisia yhdisteitä, joiden avulla ne pystyvät hyödyntämään myös näitä maapartikkeleihin sitoutuneita yhdisteitä. (Tuomi & Vaajasaari 2004, 16.)

Polttoaineille altistuminen ei ole terveellistä. Altistuminen höyryille voi vaikuttaa keskushermostoon. Bensiinin tai dieselin höyryjen hengittäminen voi johtaa esimerkiksi päänsärkyyn tai pahoinvointiin. Dieselin haihtuminen huoneenlämmössä on vähäisempää, ja se aiheuttaakin yleensä suurempia terveysoireita vain nieltynä. Toistuva ihokosketus aiheuttaa ihottumaa. (Työterveyslaitos 2015a; Työterveyslaitos 2016b.)

**Bensiini** on hiilivetyjen C<sub>4</sub> – C<sub>12</sub> ja lisäaineiden seos. Aromaattisten hiilivetyjen osuus on maksimissaan noin 40 %. Ne eivät ole erityisen reaktiivisia kestävän bentseenirengasrakenteensa ansiosta. Bensiini on hyvin haihtuvaa. Haihtuvat hiilivedyt voivat reagoida ilman epäpuhtauksien kanssa, jolloin vaarana on muiden vaarallisten aineiden esimerkiksi otsonin syntyminen. Kylmissä oloissa haihtuminen hidastuu. Maaperästä bensiini voi kuitenkin kulkeutua pohjaveteen. (Antila, Karppinen, Leskelä, Mölsä, & Pohjakallio 2010, 277; Työterveyslaitos 2016b.)

**Bentseeni, tolueni, etylibentseeni ja ksyleenit eli BTEX-yhdisteet** ovat aromaattisia hiilivetyjä ja bensiinin lisäaineita. Ne ovat vettä kevyempiä, mutta kuitenkin jossain määrin vesiliukoisia ja ne voivat kulkeutua laajallekin alueelle pohjaveteen päästessään. Kaikki BTEX-yhdisteet ovat vähintään kohtalaisesti kulkeutuvia ja myrkyllisiä vesieliöille. Ympäristössä ne hajoavat aerobisissa olosuhteissa. (Työterveyslaitos 2016b.)

Ei-aromaattisia bensiinin komponentteja ovat MTBE ja TAME. **Metyyli-tert-butyylietteriä eli MTBE:tä** käytetään moottoribensiinissä lisäaineenä nakutuksen estoon, palamisen tehostamiseen ja pakokaasupäästöjen vähentämiseen. Se on synteettinen yhdiste, joka kehitettiin lyijyn tilalle nostamaan bensiinin oktaanilukua. MTBE:n suurin sallittu pitoisuus bensiinissä on 15 %. Ympäristön kannalta ongelmallista on MTBE:n erittäin hidas hajoavuus maaperästä, riippumatta siitä, ovatko olosuhteet aerobiset tai anaerobiset. Se on kuitenkin luokiteltu vain lievästi myrkylliseksi ve-



sieliöille. (Tidenberg, Taipale & Gustafsson 2009, 7; Työterveyslaitos 2016a.)

Maaperään joutuessaan MTBE läpäisee hyvin maakerroksia ja voi päätyä pohjaveteen, jossa se aiheuttaa pieninäkin pitoisuuksina haju- ja makuhaittoja (hajukynnys 15 µg/l ja makukynnys 40 µg/l). Tästä syystä terveydelle haitallisille pitoisuuksille altistuminen juomaveden kautta koetaan epätodennäköiseksi, sillä pilaantumaa havaitsee herkästi. (Jantunen ym. 2005, 106; Tidenberg ym. 2009, 20.)

**Tert-amyyylimetyylieetteri eli TAME** hajoaa biologisesti hitaasti, ja erityisen hidasta sen hajoaminen on maaperässä tai sedimentissä. Se on hyvin veteen liukenevaa ja kulkeutuvaa, ja se joutuu helposti pohjaveteen. TAME:n on todettu olevan hieman myrkyllisempää vesieliöille kuin MTBE. (Työterveyslaitos 2016c.)

**Dieselöljy** on maaöljytuotteiden ja lisäaineiden seos, joka koostuu hiilivedyistä C<sub>9</sub>-C<sub>25</sub>. Se on kirkasta tai kellertävää nestettä, jolla on miesto hiilivedyille ominainen haju. Diesel sisältää pidempiketjuisia hiilikomponentteja, jotka sitoutuvat tiukasti maa-ainekseen. Se vaikeuttaa sekä haihtumista että öljyn biologista hajoamista maaperässä. Se on luokiteltu huonosti hajoavaksi aineeksi. Diesel liukenee jonkin verran veteen, ja osa sen komponenteista voi kulkeutua pohjaveteen. Dieselöljyn komponentit ovat myrkyllisiä tai haitallisia vesieliöille, ja osa niistä on vesieliöihin kertyviä. (Työterveyslaitos 2015a.)

#### 4.2 Korjaamot, maalaamot ja romuttamot

Autojen huoltamotoiminnasta ja romuautoista syntyy paljon ongelmallisia jätteitä, jotka saattavat pilata maaperää. **Polysyklisiä aromaattisia hiilivetyjä eli PAH-yhdisteitä** syntyy epätäydellisen palamisen seurauksena, ja niitä esiintyy laajalti elinympäristössämme. PAH-yhdisteitä on mm. raakaöljyssä, poltto- ja dieselöljyissä ja tupakansavussa. Suomen työturvallisuuslainsäädännön mukaan kaikki PAH-yhdisteet ovat syöpävaarallisia

aineita. (Vainio, Liesivuori, Lehtola, Louekari, Engström, Kauppinen, Kurppa, Riipinen, Savolainen & Tossavainen 2005, 121–123.)

**Polyklooratut bifenyylit eli PCB-yhdisteet** ehtivät olla Suomen markkinoilla noin 60 vuotta. Kuitenkin jo 1970-luvulla alettiin kiinnittää huomiota yhdisteiden haittoihin, ja käyttö vähenikin. Lopulta PCB-yhdisteiden ja niitä sisältävien tuotteiden mm. rakennusten saumausmassan, kondensaattoreiden ja muuntajien valmistus, maahantuonti ja myynti kiellettiin kokonaan 1990-luvun alussa. PCB-yhdisteiden vaikutukset riippuvat sen kloorimäärästä ja kloorien sijainnista bifenyylimolekyylissä. Voimakas ihoaltistus saattaa aiheuttaa klooriaknea. Niiden on todettu myös aiheuttavan syöpää. Ympäristössä PCB-yhdisteet ovat pääosin veteen niukkaliukoisia; mitä enemmän yhdisteessä on klooria, sitä niukkaliukoisempi se on. Paljon klooria sisältävät yhdisteet ovat ongelmallisia, sillä kloori lisää aineen pysyvyyttä. PCB-yhdisteet ovat erittäin myrkyllistä vesieliöille. Yhdisteet pyrkivät varastoitumaan rasvakudokseen ja maksaan. Lisäksi yhdisteet kertyvät ravintoketjussa. Altistuminen yhdisteille on aiheuttanut lisääntymis- ja kehityshäiriöitä. (Seppälä & Munne 2013b.)

Polyklooratut dibentso-p-dioksiinit, **PCDD** ja polyklooratut dibentsofuraanit, **PCDF** ovat rakenteeltaan ja ominaisuuksiltaan hyvin samanlaisia. Yhdisteet sisältävät 1-8 klooriatomia. PCDD/F-yhdisteitä ei ole valmistettu varta vasten mihinkään, vaan ne esiintyvät epäpuhtauksina muissa kemikaaleissa poltto- ja teollisuusprosesseissa, esimerkiksi PCB-yhdisteet, kloorifenolit ja fenoksihapot saattavat sisältää PCDD/F-yhdisteitä. Eläinkokeissa dioksiinien on todettu aiheuttavan mm. maksavaurioita ja syöpää. Dioksiinit ovat veteen niukkaliukoisia, ja liukoisuus niin ikään vähenee klooripitoisuuden kasvaessa. Ne voivat kulkeutua ilmassa pitkä matkoja ja ovat ympäristössä erittäin pysyviä ja siksi kertyviä. Vesieliöille PCDD/F-yhdisteet ovat erittäin myrkyllisiä. (Seppälä & Munne 2013a.)

#### 4.3 Sahat ja kyllästämöt

Suomessa on noin pari sataa saha-aluetta, joista osa on jo lopettanut toimintansa. Sahojen toiminta on ollut ongelma myös sedimentille, joista lä-

hes poikkeuksetta löydetään haitta-aineita entisten sahojen läheisyydestä. (Jantunen ym. 2005, 221–222.)

**Polyklooratut fenolit eli PCP-yhdisteet** ovat synteettisiä orgaanisia yhdisteitä. Niitä kutsutaan myös **kloorifenoleiksi**. Niitä sisältäviä valmisteita on käytetty erityisesti puunsuojaukseen, joista yleisin oli sinistymisen ja homehtumisen estoon käytetty KY-5. Sitä käytettiin 1940-luvulta 1980-luvun puoleen väliin. Kloorifenolit voivat aiheuttaa syöpää. Maahan joutuessaan ne pilaavat vähitellen pohjaveden, jossa niiden hajoaminen on hyvin hidasta. 1990-luvulla kloorifenoleita käytettiin myös termiittimyrkyissä vaneriteollisuudessa. Muita käyttökohteita on ollut mm. liimat, maalit, nahan käsittely, rakennusmateriaalit ja tekstiilit. (Vainio ym. 2005, 271.)

Suomessa tunnetuin kloorifenoleilla pilaantunut tapaus havaittiin Kärkölässä vuonna 1980-luvun loppupuolella. Alueella sijaitsee saha, joka oli käyttänyt toiminnassaan KY-5-valmistetta. Alueelta jouduttiin sulkemaan pohjavedenottamo, sillä pohjavesi todettiin pilaantuneeksi. (Järvinen 2001, 5.)

#### 4.4 Ampumaradat

Arvioiden mukaan Suomessa on 600–1 000 ampumarataa. Suurin yksittäinen toiminnanharjoittaja on puolustusvoimat, jolla on noin 50 ampumarataa. (Kajander & Parri 2014, 15.)

Suuri osa radoista on perustettu ennen tietämystä ympäristöriskeistä tai -ongelmista, joten merkittävä osa sijaitsee pohjavesialueilla. Maaperän sisältämät haitalliset aineet aiheuttavat veden pilaantumisriskiä. Ampumaratojen haitta-aineita ovat **raskasmetallit**, joista yleisin on lyijy. Metallit ovat pääosin peräisin ammunталajeissa käytettävistä luodeista ja hauleista. Ammunталajista riippuen maaperästä on löydetty myös kuparia, arseenia, nikkeliä ja PAH-yhdisteitä. (Kajava 2012, 16.)

**Lyijy** sitoutuu voimakkaasti orgaaniseen ainekseen eikä se kulkeudu helposti maaperässä. Lyijy vaatii hyvin alhaista pH:ta (3,0–3,5) vapautuakseen. Eliöstön lyijypitoisuudet ovat laskeneet bensiinin lisäainemuutosten

johdosta. Ennen käytettiin lyijyä bensiinin lisäaineena, mutta nykyään se on kielletty. Lyijy on ravintoketjussa kulkeutuva aine. (Kajava 2012, 19.)

**Kupari** esiintyy maaperässä monissa muodoissa esimerkiksi sitoutuneena orgaaniseen ainekseen tai saveen. Maaperän happamuus tai kuparia sitovien aineiden vähäisyys lisää kuparin liikkuvuutta. Suomen maaperässä kuparia on keskimäärin 25 mg/kg ka. (Kajava 2012, 21.)

**Arseenin** kulkeutuminen ympäristössä riippuu maalajista. Arseeni sitoutuu voimakkaasti savimineraaleihin ja orgaaniseen ainekseen. Muissa maala-jeissa arseeni liikkuu hyvin ja voi kulkeutua pohjaveteen. Suomessa arseenin keskimääräinen taustapitoisuus on maaperässä 5 mg/kg ka. Arseeni on todettu syöpää aiheuttavaksi aineeksi. (Kajava 2012, 20–21.)

**Nikkelin** liikkuvuus maaperässä riippuu pH:sta ja orgaanisen aineksen määrästä. Nikkeli kertyy kasveihin ja aiheuttaa syöpää. Keskimääräinen nikkelpitoisuus Suomen maaperässä on 20 mg/kg ka. (Kajava 2012, 22.)

#### 4.5 Pesulat

Suomessa on todettu muutamia tapauksia, joissa ympäristön pilaantuminen on johtunut ammattimaisesta pesulatoiminnasta. Pilaantuminen on aiheutunut kloorieteeneistä; **trikloori- ja tetrakloorieteeneistä**. Yhdisteitä käytetään pesuaineissa ja liuottimissa. Kloorietenit liikkuvat maaperässä hyvin ja päätyvät helposti pohjaveteen maaperään joutuessaan. (Jantunen ym. 2005, 219.)

Trikloori- ja tetrakloorietenin hajoaminen maaperässä on hidasta. Trikloorietenin tapauksessa hapen saatavuudella ei ole hajoamiselle merkitystä, mutta tetrakloorietenin on todettu hajoavan paremmin anaerobisissa olosuhteissa. Se kuitenkin muodostaa hajotessaan pääasiassa trikloorieteeniä, dikloorieteeniä, vinylikloridia, eteenia ja etaania. Yhdisteet ovat haitallisia vesieliöille, mutta niiden ei ole havaittu kertyvän ravintoketjussa. (Työterveyslaitos, 2015b; Työterveyslaitos 2016d.)

#### 4.6 Kaatopaikat

Kaatopaikkojen riskit on nykyään hyvin tiedossa. Käytöstä poistetun kaatopaikan päästöt ovat lähinnä kaasu- ja nestemuotoisia. Päästöjen määrä riippuu jätteiden määrästä ja koostumuksesta, kosteudesta, ilmavuudesta sekä hajoamiskelpoisen jätteen määrästä. Uusia kaatopaikkoja syntyy harvaksen, ja niiden lupasääntelyt ovatkin hyvin tiukkoja ja tarkoin säädeltyjä. Kaatopaikan sijaintia mietitään harkiten, kaatopaikan pohjarakenteet tulee perustaa asianmukaisesti ja järjestää alueelle suodosvesien keräily, puhdistus ja tarkkailu. Vanhat kaatopaikat, joita ei ole suunniteltu nykyaikaisesti, muodostavat vähintään pohjavesiriskin. Vanha kaatopaikka on saatettu vain peittää ja alue ottaa uuteen käyttöön. Tällaisesta toiminnasta saatiin varoittava esimerkki, kun Helsingin Myllypuroon rakennettiin 1970-luvulla asuinalue, joka sai purkupäätöksen vuonna 1999. Asuinalue oli rakennettu vanhan kaatopaikan päälle, jonka toiminta oli loppunut 1960-luvun alussa. (SYKE 2001, 11; Jantunen ym. 2005, 216; YLE 2015.)

## 5 PILAANTUNEEN MAA-ALUEEN KUNNOSTUSMENETELMÄT

Maaperän puhdistusmenetelmät jaetaan yleisesti in-situ- ja ex-situ-menetelmiin. Ex-situ-menetelmissä maata siirretään tai kaivetaan, ja ne voidaan tämän perusteella jakaa on-site- ja off-site-menetelmiin. Off-site-puhdistaminen on toimintaa, jossa pilaantunut maa viedään alueen ulkopuolelle puhdistettavaksi. On-site-puhdistamisessa pilaantunut maa kaivetaan ylös, mutta puhdistetaan paikan päällä. In-situ-menetelmät puolestaan puhdistavat aluetta maaperää siirtämättä. Menetelmät perustuvat biologisiin, fysikaalisiin tai kemiallisiin reaktioihin. (Simpanen 2016, 12.)

Maaperän puhdistustapa valitaan aina kohdekohtaisesti. Ympäristöasiantuntija esittelee kohteeseen soveltuvia menetelmiä kunnostussuunnitelmassa ennen kunnostuksen aloittamista. Menetelmistä valikoituu tavoitteita tukevin vaihtoehto. Osa menetelmistä ei tähtää haitta-aineen täydelliseen hävittämiseen vaan tavoitteena on lähinnä poistaa tai vähentää haitta-aineen aiheuttamia terveys- ja ympäristöriskejä estämällä sen leviäminen laajemmalle alueelle. (Penttinen 2001, 8.)

### 5.1 Off-site

Ylivoimaisesti yleisin kunnostusmenetelmä on tällä hetkellä massanvaihto, jossa pilaantunut maa kaivetaan pois ja toimitetaan muualle käsiteltäväksi. Nämä maamassat ovat kuitenkin jätteitä, joita koskee jätelainsäädäntö. Kaivettuja maa-aineksia viedään vuosittain 1-1,5 miljoonaa tonnia kaatopaikalle tai muulle käsittelylaitokselle. Siellä maata odottaa käsittely tai loppusijoitus kaatopaikan alueelle. (Ympäristöministeriö 2015, 15–16.)

Massanvaihtoa ei voida varsinaisesti pitää puhdistusmenetelmänä, koska maan puhdistaminen haitta-aineesta tapahtuu vasta käsittelylaitoksella. Käsittelylaitokselle maata voidaan puhdistaa esimerkiksi termisellä menetelmällä tai kompostoimalla.

**Termiset menetelmät eli lämpökäsittelymenetelmät** perustuvat haitta-aineen puhdistamiseen korkeiden lämpötilojen avulla (yleensä 400–700 °C). Ne vaativat apupolttoaineita ja paljon energiaa, mutta ovat tehokkaita

puhdistamaan orgaanisia haitta-aineita esimerkiksi öljyonnettomuusjätteitä. Yleensä termisiä menetelmiä käytetäänkin suurilla haitta-ainepitoisuuksilla pilaantuneeseen maahan. (Kymenlaakson ammattikorkeakoulu 2011, 7.)

**Kompostointi** hajottaa orgaanisia haitta-aineita mikrobitoiminnan avulla. Tavallisessa kompostoinnissa pilaantuneesta maa-aineksesta luodaan kompostointiaumoja vettä läpäisemättömällä kentällä, jolloin pohjaveden pilaantuminen estetään. Kompostoinnin kulkua valvotaan esimerkiksi pH:n osalta, ja maata käännellään hapensaannin turvaamiseksi. Ilmavuuden parantamiseksi maamassaan voidaan myös sekoittaa mikrobeja ravitsevia lisäaineita tai kuohkeuttavia aineita, esimerkiksi puuhaketta. Kompostoinnin tehostamiseksi voidaan asentaa myös ilmastointi- tai huokosimuputkia, joiden avulla kompostia voidaan myös lämmittää. **Bioreaktorit** ovat suljettuja komposteja, joissa käsittelyn olosuhteet ovat helpommin hallittavissa. (Penttinen 2001, 22–24.)

Kaatopaikan olosuhteet soveltuvat pilaantuneiden maiden käsittelyyn. Jos pilaantunutta maata on paljon ja kaatopaikalle on matkaa, kilometrejä voi kertyä huomattava määrä. Pilaantuneisiin maihin sovelletaan samoja kaatopaikkakelpoisuuden toteamisen ohjeita kuin muihinkin jätteisiin.

Öljyvahingot ovat yleisimpiä ympäristöonnettomuuksia Suomessa. Öljyvahinkojätteet tulee toimittaa käsiteltäviksi onnettomuusalueen kunnan toimesta käsittelylaitokselle, eli onnettomuustilanteet vaativat off-site-tyyppistä kunnostamista. Öljyonnettomuudesta syntyvä maa-aines voi olla jäteluokitukseltaan vaarallista jätettä, ja ympäristölupansa puolesta vain Riihimäen Ekokem Oy pystyy vastaanottamaan sitä. (Kymenlaakson ammattikorkeakoulu 2011, 6–7.)

## 5.2 On-site

**Maan pesussa** partikkeleihin, yleensä savi- tai silttihiukkasiin, sitoutuneet haitta-aineet erotellaan maa-aineksesta veden avulla, jota voidaan tehostaa esimerkiksi uuttoliuosten tai veden kuumentamisen avulla. Maan pe-

ussa voidaan erotella hienot maahiukkaset raskaammista, jolloin myös haitta-aineet konsentroituvat pienempään määrään maata. Näin puhdistettavan maa-aineksen määrä pienenee. Laitteisto voi olla siirreltävä tai kiinteä. Käsittelyalueen tulee olla esimerkiksi asfaltoitu, jolloin pesuvesien kulkeutuminen ympäristöön estyy. Menetelmä soveltuu vähintään 50 % hiekkaa ja soraa sisältävälle maalle. (Penttinen 2001, 26–27.)

**Elektrokineettiset menetelmät** perustuvat maahan asennettuihin elektrodeihin, anodiin ja katodiin, joiden välillä kulkee heikko tasavirta. Menetelmä soveltuu erityisesti metallilla pilaantuneelle maalle, jossa on muutoin heikko läpäiseväisyys. Käsittelyllä voidaan poistaa metalleja ja polaarisia orgaanisia aineita maasta. Sähkövirta vaikuttaa varautuneisiin aineisiin niin, että ne kulkeutuvat kohti elektrodeja. Menetelmää voidaan käyttää myös in-situ. (Penttinen 2001, 30; Simpanen 2016, 21–22.)

### 5.3 In-situ

Kun puhdistetaan maata in-situ-menetelmällä, maata ei kaiveta tai kuljeteta. Menetelmät eivät järkytä maan luonnollista tilaa niin merkittävästi kuin esimerkiksi maan kaivaminen ja korvaaminen puhtaalla. Lisäksi in-situ-menetelmät aiheuttavat vähemmän negatiivisia ympäristövaikutuksia, kun vältytään kuljetuksesta syntyviltä päästöiltä. (Romantschuk, Galitskaya, Talvenmäki, Selivanovskaya, Simpanen, Sinkkonen & Yrjälä 2017.)

In-situ-menetelmien käyttö maanpuhdistuksessa säästää luonnonvaroja. Joissakin tapauksissa se on myös ainoa keino maan puhdistukseen, sillä pilaantuma voi sijaita osittain tai kokonaan rakennuksen alla. Maankaivuu vie aikaa ja energiaa, sekä ajoneuvot ja työkoneet vaativat toimiakseen polttoaineita. Jos maata joudutaan vielä siirtämään alueen ulkopuolelle, kuljetuksesta syntyy päästöjä. Varsinkin sellaisissa tapauksissa, joissa pilaantunutta maata on paljon, ja sitä jouduttaisiin kускаamaan useita kymmeniä kilometrejä kaatopaikalle, olisi syytä miettiä puhdistukseen jotakin in-situ-menetelmää.



TANKKI-hanke kokosi in-situ-menetelmiä vuonna 2014. Siihen koottujen asiantuntijahaastatteluiden perusteella voidaan todeta, että in-situ-menetelmät vaativat huolellisempia tutkimuksia erityisesti projektin alussa kuin off-site-kunnostusprojektit. Ennen kunnostuksen aloittamista on selvitettävä esimerkiksi haitta-aineen laajuus ja alueen geologiset ja hydrogeologiset ominaisuudet. Tutkimusten jälkeen jotkut in-situ-menetelmät vaativat laitteistojen asennusta. Suurimmat kustannukset syntyvät kunnostuksen alussa. (Lehtinen, Pöyhönen, Raatikainen, Loukiainen & Ylitalo 2014, 44–61.)

Haitta-ainetta sisältävä maa pyrkii puhdistumaan. Optimaaliset olosuhteet hajoamiselle vaihtelevat eri aineiden kesken. Maassa tapahtuu haitta-aineen luonnollista biologista hajoamista oikeanlaisen mikrobikannan ansiosta. **Biostimulaatio eli tehostettu biologinen puhdistus** perustuu maaperän luonnollisen hajotustoiminnan optimointiin. Maaperä sisältää mikrobeita, mm. bakteereita ja sieniä, jotka pystyvät käyttämään joitakin haitta-aineita energian ja hiilen lähteinä. Lisäämällä näiden mikrobien lisääntymismahdollisuuksia ja tekemällä niiden olosuhteista mahdollisimman hyvät voidaan maaperän biologista puhdistumista tehostaa. Menetelmän toimivuuden kannalta on myös tärkeää, että haitta-aineen biosaattavuus huomioidaan. Se tarkoittaa sitä, miten hyvin haitta-ainetta hajottavat mikrobit pääsevät hyödyntämään niitä. Biosaattavuuteen vaikuttaa haitta-aineen molekyyli rakenne ja ikä. Pitempi kontakti maahan saa haitta-aineen sitoutumaan maapartikkeleihin tiukemmin. Mikrobit pystyvät parhaiten hyödyntämään vesiliukoisia aineita. Menetelmällä voidaan puhdistaa samalla tai erikseen myös pohjavettä. Biostimulaatio soveltuu dieselöljyn, bensiinin, kreosoottien, PAH-yhdisteiden ja kloorattujen hiilivetyjen pilaa-malle alueelle. Menetelmä soveltuu parhaiten pienten pitoisuuksien käsittelyyn. (Penttinen 2001, 14–15; Simpanen 2016, 9–10.)

**Huokosilmakäsittely** perustuu alipaineeseen, jonka avulla maasta poistetaan haihtuvia yhdisteitä. Menetelmästä syntyvä kaasu johdetaan käsiteltäväksi. Käsittely soveltuu helposti orgaanisille, haihtuville ja veteen huonosti liukeneville yhdisteille. Haihtumista voidaan tehostaa lämmittämällä. (Penttinen 2001, 16–17.)

**Fytoremediaatio**ssa käytetään kasveja maaperän, pohjaveden tai sedimentin kunnostamiseen. Puhdistettava aine voi olla orgaanista tai epäorgaanista. Menetelmällä ei ole suuria kustannuksia eikä se vaadi aktiivista huoltotoimintaa tai aiheuta maalle häiriöitä (Romantschuk ym. 2017). Menetelmän heikkous on pitkä käsittelu-aika; joissakin tapauksissa yli 10 vuotta, ja siksi se ei sovellu kiireisille tapauksille. Myös kasvukauden pituus rajoittaa toimintaa Suomessa. Esimerkiksi Metla on käyttänyt haapaa maan puhdistajana. Haitta-aineesta riippuen apuna käytetään myös sienijuuria sekä bakteereita. Haapa on Metlan (2011) mukaan menetelmään soveltuva; sillä on laaja ja aktiivinen juuriverkosto, se kasvaa huonoillakin kasvupaikoilla. Lisäksi sen kasvu on nopeaa ja sillä on maan pH:ta parantava vaikutus. (Penttinen 2001, 18–19; Metla 2011.)

**Maan huuhtelussa** maahan tai pohjaveteen johdetaan vettä, jossa voi olla haitta-aineen liukoisuutta lisäävää ainetta esimerkiksi alkoholia. Menetelmä perustuu veden pinnan nousuun, joka samalla ”huuhtelee” pilaantuneen maakerroksen irrottamalla haitta-aineet. Vesi tulee luonnollisesti käsitellä, sillä käsittelyn jälkeen se sisältää haitta-aineita ja liuotinta. Usein se pumpataan maan pinnalla olevaan aktiivihiihluodatinlaitokseen, josta se johdetaan ympäristöön tai jatkokäsittelyyn kunnalliselle jätevedenpuhdistamolle. (Penttinen 2001, 28.)

**Eristäminen** soveltuu haitta-aineille, joiden kulkeutuminen on vähäistä, esimerkiksi raskasmetalleille ja asbestille. Menetelmä perustuu siihen, että haitta-ainetta sisältävä alue rajataan jollakin materiaalilla niin, että pilaantumisen leviäminen laajemmalle estyy. Kyse ei siis ole alueen puhdistamisesta, vaan haitta-aine jätetään maaperään, mutta sen liikkeet estetään. Suomessa eristysmateriaalina on käytetty mm. sementtiä, bentoniittia, savea ja kivihiilen lentotuhkaa. Menetelmää käytetään mm. kaatopaikkarakenteissa. (Penttinen 2001, 40.)

## 6 REMSOIL: MAA-AINEKSEN KUNNOSTAMINEN LIHALUUVUJAUHOLLA

Vuosina 2014–2015 laadittiin Suomen valtakunnallinen pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallintastrategia, jonka työryhmä koostui ympäristöministeriön kokoomasta ympäristöasiantuntijajoukosta. Strategian päämääränä on saada pilaantuneiden maiden riskit hallintaan kestävällä tavalla vuoteen 2040 mennessä ja yksi strategian tavoitteista asettaa kunnostusmenetelmille selkeät raamit. Strategian mukaan pilaantuneen maan kunnostusmenetelmän tulisi olla kustannustehokas, luonnonvaroja säästävä, haitallisia ympäristövaikutuksia minimoiva sekä edistää kiertotaloutta. (Ympäristöministeriö 2015, 9.)

REMSOIL-hanke alkoi vuoden 2016 alussa. Se on Helsingin yliopiston hanke, jossa kehitetään uutta biostimulaatioon perustuvaa maanpuhdistusmenetelmää. Menetelmä siis kiihdyttää maaperän luontaista hajotustoimintaa tekemällä maaperän hajottaville mikrobeille mahdollisimman suotuisat olosuhteet. Mikrobien aktiivisuus pilaantuneessa maaperässä riippuu esimerkiksi lämpötilasta, haitta-aineesta ja sen pitoisuudesta, pH:sta, kosteudesta ja haitta-aineen biosaatavuudesta. Lopullisena tavoitteena on saada menetelmästä tuote, joka puhdistaa pilaantuneen maan yhtä tehokkaasti kuin muut in-situ- tai on-site-menetelmät.

REMSOIL-hankkeen menetelmä vastaa hyvin riskienhallintastrategian kunnostusmenetelmiä koskevaa tavoitetta. Puhdistuksessa lisäaineena käytetään teurastusjätteestä valmistettua lihaluujauhoa. Menetelmä patentoitiin marraskuussa 2016 ja vielä samana vuonna se oli esillä SLUSH-tapahtumassa Helsingissä.

### 6.1 Kokeiden taustaa

Opinnäytetyössä kokeellisena osana seurattiin kahden erilaisen kokeen öljyhiilivetyypitoisuuksia (C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub>) ja pH:ta 22 viikkoa. Opinnäytetyössä seurattavat kokeet olivat pitkäkestoisia verrattuna aikaisempiin menetelmän kokeisiin. Menetelmän toimivuutta haluttiin testata ulkona koko kesän kes-

tävällä kokeella. Kesäkuukaudet ovat optimaalisinta aikaa maaperän mikrobien toiminnalle Suomessa.

Kokeissa puhdistetaan pilaantunutta maata, joka on aidosti kontaminoitunutta öljyhiilivedyillä. Maa-aines on peräisin pilaantuneelta alueelta. Aidosti kontaminoitunut maa-aines ja laboratorio-olosuhteissa ”pilattu” eli spiikattu maa-aines eroavat huomattavasti, sillä pilaantuneelta alueelta peräisin olevassa maassa hajoamista on jo tapahtunut kevyempien tisleiden osalta. Maa-aineksessa on jäljellä keskiraskaita ja raskaita tisleitä, joiden hajoaminen on vaikeampaa. Öljyjakeilla on ollut myös aikaa kiinnittyä maapartikkeleihin hyvinkin tiiviisti. Oletettavasti tällaisen maan puhdistaminen biologisesti on vaikeampaa.

Kalsiumperoksidi ( $\text{CaO}_2$ ) ja puuhake ovat tuomassa käsittelyihin happea. Kalsiumperoksidi on vaaleaa rautaa. Se reagoi hitaasti veden kanssa vapauttaen happea ja kalsiumhydroksidia ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). Kalsiumhydroksidi on vahva emäs, joka esiintyy vedessä kalsiumioneina ja hydroksidi-ioneina. Hydroksidi-ioneiden johdosta yhdisteellä on pH:ta nostava vaikutus, joka voi hidastaa tai estää mikrobien toimintaa. Kalsiumperoksidia on käytetty Suomessa muutamassa järven kunnostusprojektissa. Vähähappisten järvien kunnostamiseen se soveltuu, koska se vapauttaa happea hyvin pitkäaikaisesti (5-7 kuukautta) eikä se vaadi sedimentin sekoittamista. (ELY 2010, 35–36; Nykänen, Kontio, Klutas, Penttinen, Kostia, Mikola & Romantschuk 2012.)

Kokeessa käytetty puuhake on puujätettä. Sen tarkoituksena on muokata maan rakennetta ilmavammaksi.

## 6.2 Lihaluujauho

Kokeissa käytetty lihaluujauho on peräisin Honkajoki Oy:ltä. Yritys valmistaa lihaluujauhoa Suomessa Honkajoella. Lihankulutuksen suunta henkilöä kohden on ollut kasvava 2000-luvulla. Lihantuotannon seurauksena Suomessa syntyy 200 miljoonaa kiloa teurastamoteollisuuden sivutuotteita, josta suurin osa on syötäväksi kelpaamatonta ainesta eli luita ja muita

ruhonosia. Esimerkiksi naudan elopainosta saatavien sivutuotteiden osuus on jopa 46 %, siialla 38 % ja broilerilla 32 %. (Kivelä 2007, 12; Aalto 2010, 6.)

Lihaluujauhoa (meat and bone meal, MBM) valmistetaan sivutuotteena kuolleiden tuotantoeläinten ruhoista. Suurin osa teurasjätteestä käsitellään lihaluujauhoksi viranomaisten hyväksymässä renderointilaitoksessa. Lihaluujauhoa käytetään mm. turkiseläinten rehuna ja lannoitteena, mutta suurin osa tuhoetaan polttamalla tai varastoidaan. Lihaluujauho sisältää kuitenkin paljon ravinteita eli fosforia, typpeä ja kaliumia, joita kannattaisi hyödyntää. Valmistus ja käyttö ovat tarkkaan säädeltyjä, sillä 1990-luvun alussa teurasjätteen vääränlainen käsittely aiheutti mittavan tautiepidemian Euroopassa. (Kivelä 2007, 12, 49.)

BSE (Bovine Spongiform Encephalopathy) eli hullun lehmän tauti on nautoilla esiintyvä kuolemaan johtava sairaus. Se johtuu muuntuneesta prioniproteiinista, ja se on hyvin hitaasti etenevä tauti. BSE kuuluu TSE-tauteihin (transmissible spongiform encephalopathies). Lampailla ja vuohilla tauti tunnetaan nimellä scrapie ja minkeillä TME (transmissible mink encephalopathy). Kaikkiaan BSE-tapauksia on todettu Euroopassa 190 000, joista suurin osa Iso-Britanniassa 1990-luvun alussa. Vuonna 2012 todettiin vain 18 tapaus. Suomessa on todettu vain yksi tapaus vuonna 2001. Nykykäsityksen mukaan BSE leviää saastuneen märehittäjäperäisen rehun välityksellä. Tämän johdosta lihaluujauhon käyttö on kielletty tuotantoeläinten rehun ainesosana. (Evira 2016.)

Lihaluujauho käsitellään sen luokkanumeron perusteella (taulukko 3). Luokkia on kolme. Ensimmäinen luokka sisältää TSE-riskiainesta, joten se käsitellään ja tuhoetaan polttamalla, jolla estetään TSE-tautien leviäminen. Eläinjätteen käsittelylaitosten toimintaa valvoo Evira. (Evira 2016.)

TAULUKKO 3. Lihaluujauhon luokitus ja käyttö

Luokka	Sisältö	Käyttö
1 Riskiaines	- Eläimet, joilla on todettu tai on syytä epäillä TSE-tartuntaa - Märehtijöiltä ns. riskiaines: kallo, selkäranka, suolet ja ruu-ansulatuskanava	- Tuhotaan polttamalla, jotta TSE-taudit eivät pysty kulkeutumaan ravintoketjussa - Energiakäyttö
2	- Tiloilla kuolleet siat ja siipikarja - Hevoset, turkiseläinten ruhot - Teurastamoiden sika- ja siipikarjateurasjäte	- Lannoitekäyttö
3	- Elintarvikekäyttöön sopimattomat ruhonosat	- Lemmikkien ruoka-aineen ainesosana

Lihaluujauhon käyttö aiheuttaa edelleen hämmennystä. Sen kaikenlainen käyttö voidaan kokea tautiepidemian takia kyseenalaisena. Kuitenkin jatkuvasti kasvava lihan kysyntä ja lihantuotanto edellyttävät kehittämään lihaluujauhollekin järkevää käyttöä.

Ihminen on myös osaltaan häirinnyt luonnollista ravinteiden kiertoa ympäristössä, sillä nykyaikaisessa maataloustoiminnassa ravinteiden kierrätys on vajavaista. Lihaluujauhoon kertyy ravinteita, sillä Suomessa maatalous on kotieläinvaltaista, ja suurin osa peltoalasta on rehu- tuotannossa. Rehu- kasveihin kertyvät ravinteet kulkeutuvat siis tuotantoeläimiin, joista ravinteet jatkavat osin ihmiseen ravinnon kautta ja osin jäävät eläimen luihin ja muihin tukikudoksiin. Erityisesti fosfori tuottaa huolta, sillä sen varastot ovat maapallolla rajalliset. On arveltu, että fosfori tulee loppumaan 50 vuodessa. Suomen maatalous ja metsätalousministeriö (MMM) kommentoi

vuonna 2009 Ylen haastattelussa lihaluujauhon lannoitekäytön olevan mahdollinen ratkaisu fosforiongelmaan. (Kivelä 2005, 9-10; YLE 2009.)

Maanpuhdistuksessa voidaan hyödyntää ainakin luokkien 2 ja 3 lihaluujauhoa. Luokan 2 lihaluujauhoa käytetään luomuviljelyssä lannoitteena, mutta lihaluujauhon levityksen jälkeen aluetta ei saa laiduntaa 21 päivään. Laiduntamiskiellolla estetään riskit lihaluujauhon kulkeutumisesta kasvien pinnoilta eläimiin.

## 7 MENETELMÄN TESTAAMINEN KENTÄLLÄ

### 7.1 Suunnittelu ja aloitus

Koe toteutettiin yhteistyössä Nordic Envicon Oy:n kanssa. Nordic Envicon Oy on yritys, joka tuottaa palveluja ympäristön kunnostukseen ja tutkimukseen. Yritys tekee yhteistyötä erilaisten tutkimuslaitosten ja yliopistojen kanssa.

Koe käynnistettiin kesäkuun alkupuolella. Koealueena toimi Nordic Enviconi Oy:n vuokraama kenttä Nurmijärvellä Metsä-Tuomelan jäteaseman alueella. Pilaantunut maa oli peräisin öljyhiilivedyillä pilaantuneelta alueelta, ja sitä oli arvioiden mukaan noin 60 tonnia. Maalajiksi arvioitiin silttistä hiekkaa. Aluksi pilaantunut maa seulottiin kaivinkoneen avulla ja isommat kivet eroteltiin (kuva 1). Seulonnan jälkeen maa jaettiin kuuteen eri kasaan käsittelyjä varten. Maata oli yhdessä kasassa noin 9 tonnia. Viimeisiin kassoihin, joihin tuli myös puuhaketta, maata tuli noin 5-10 % vähemmän.



KUVA 1. Kivien erottelu kaivinkoneella



Kasoihin jakamisen jälkeen lisättiin muut aineet: kalsiumperoksidi, lihaluujauho ja puuhake (kuva 2). Kontrollikasa sijaitsi kuvasta 2 katsottuna kalsiumperoksidikäsitteilyn vasemmalla puolella, joten se jää kuvan ulkopuolelle.



KUVA 2. Lisäaineelliset kenttäkokeen käsitteilyt (vasemmalta oikealle: kalsiumperoksidi, lihaluujauho-kalsiumperoksidi, lihaluujauho, lihaluujauho-puuhake ja puuhake) ennen sekoitusta

Puuhake oli peräisin Matsä-Tuomelan kaatopaikan alueelta, sillä alueella kerättiin puujätettä. Lisäaineiden lisäysten jälkeen kasat sekoitettiin. Käsitteilyt on eritelty taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Nurmijärven käsittelyt

Käsittely	Maa, t	CaO <sub>2</sub> , %	Lihaluujauho, %	Maan ja puuhakkeen tilavuuden suhde
Kontrolli	9	-	-	-
CaO <sub>2</sub>	9	0,5 (45 kg)	-	-
Lihaluujauho + CaO <sub>2</sub>	9	0,5 (45 kg)	2 (180 kg)	-
Lihaluujauho	9	-	2 (180 kg)	-
Lihaluujauho + puuhake	8,5	-	2 (180 kg)	2:1
Puuhake	8,5	-	-	2:1

Lopuksi käsittelyistä otettiin ensimmäiset näytteet, minkä jälkeen käsittelyt peitettiin pressuilla. Pressut estivät käsittelyiden sekoittumista tuulen vaikutuksesta ja osittain myös haihtumista.

## 7.2 Kokeen kulku ja havainnot

Näytteitä otettiin kuukausittain. Heinäkuussa käsittelyitä myös kasteltiin pumpulla, mutta se osoittautui hankalaksi. Käsittelyiden havaittiin kuukausien kesäkuukausien jälkeen pysyvän kosteina pressun alla, ja kasteluita ei jatkettu.

Näytteenottopäivinä kaivinkone sekoitti kasat yksitellen. Näyte rakentui sekoituksen eri vaiheista otetuista osanäytteistä. Näytettä otettiin yhdestä kasasta yhteensä noin 500 grammaa. Sekoituksen yhteydessä havaittiin lihaluujauho-käsittelyistä vahvoja hajuja. Haju oli pistävä ja muistutti am-

moniakkia. Lisäksi näiden kasojen pohjassa, anaerobisessa osassa ka-saa, oli hyvin tummaa, lähes mustaa maata. Näytteenottopäiviä oli viisi (viikoilla 0, 4, 12, 18 ja 22).

Kaasukromatografiaa varten valmistettiin standardiliuokset sekä uutettiin näytteet ISO 16703:2004 –standardin pohjalta tehdyn ohjeen mukaan. Maanäytettä punnittiin noin 2 g, jonka jälkeen lisättiin asetonia ja uuttoliu-osta, joka sisälsi n-heksaania, n-nonaania ja n-tetrakontaania. Ravistelun ja tasauksen jälkeen liuosfaasi siirrettiin toiseen koeputkeen, johon lisättiin puhdistettua vettä 2 ml. Ravistelun ja kerrosten muodostumisen jälkeen vesikerros pipetoitiin pois, minkä jälkeen vesilisäys ja ravistelu toistettiin. Heksaanikerros siirrettiin toiseen koeputkeen, johon lisättiin kuivausai-neeksi vedetöntä natriumsulfaattia ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ). Lopulta näytteille tehtiin Flo-risil-kolonnipuhdistus, jossa lasiseen Pasteur-pipettiin laitettiin heksaani-pestyä pumpulia ja Florisiilia. Näytteet pipetoitiin puhdistuskolonnin läpi. Valmiit näytteet ja standardiliuokset säilytettiin jääkaapissa.

Kaasukromatografi liekki-ionisaatiodektoilla (GC-FID) erotteli näytteestä öljyhiilivety-yhdisteet ( $\text{C}_{10}$ - $\text{C}_{40}$ ). Näytteiden ja standardiliuosten pinta-alojen perusteella laskettiin lopullinen öljyhiilivetyjen yhteispitoisuus.

### 7.3 pH-seuranta

pH-mittaukset tehtiin aina niin, että maanäytettä punnittiin 10 g korkilliseen näytepulloon. Näytepulloihin lisättiin 75 ml 0,01 molaarista  $\text{CaCl}_2$ -liuosta, minkä jälkeen niitä ravisteltiin (250 rpm) tunti. Näytteitä seisotettiin vähin-tään kaksi tuntia ennen pH-mittausta. Mittaus tehtiin InoLab pH 720 -laitteella. Jokaisen mittauskerran yhteydessä tarkastettiin myös pelkän  $\text{CaCl}_2$ -liuoksen pH, jonka tuli pysyä vakiona. Kenttäkokeen ensimmäisistä näytteistä (viikolta 0) mitattiin pH-arvot seurannan loppupuolella, joulukuun alussa. Muutoin pH-näytteet otettiin aina näytteenotosta seuraavana päi-vänä, jolloin maanäytteitä oli säilytetty yön yli jääkaapissa. pH-mittauksia tehtiin yhteensä viisi (viikoilla 0, 4, 12, 18 ja 22).

## 8 MENETELMÄN TESTAAMINEN LABORATORIOSSA

### 8.1 Suunnittelu ja aloitus

Koe käynnistettiin kesäkuun loppupuolella ympäristölaboratorio AlmaLabin tiloissa Lahden ympäristökampuksella. Ennen kokeen aloitusta maasta selvitettiin vesipitoisuus, orgaanisen aineksen pitoisuus ja vedenpidätyskyky.

Lähtökohtana oli toistaa kolme viikkoa aiemmin käynnistetty Nurmijärven koe laboratorio-olosuhteissa, joten käsittelyt olivat koejärjestelyillä samoja. Koeastioiksi valittiin laboratoriosta löytyneet kannelliset, isot pöntöt, joiden tilavuus on noin 20 litraa (kuva 3).



KUVA 3. Laboratoriokokeen koeastiat

Koejärjestelyt alkoivat pönttöjen huolellisella puhdistuksella. Jokaisessa astiassa oli kaksi ilmareikää, joten käsittelyissä kiersi ilma koko ajan. Kokeessa käytettiin samaa pilaantunutta maata kuin Nurmijärven kenttäko-

keessa. Maa otettiin Nurmijärvellä olevasta kontrollikäsitteystä eri puolilta kasaa kenttäkokeen käynnistyspäivänä. Myös muut käytettävät aineet olivat samoja kuin Nurmijärvellä. Ainoana erona oli hake, sillä sitä otettiin mukaan Nurmijärveltä liian vähän. Haketta jatkettiin tavanomaisella puupurulla, joka oli raekooltaan huomattavasti pienempää kuin Nurmijärvellä käytetty. Ennen maan siirtämistä koeastioihin se seulottiin 1 cm<sup>3</sup>-reikäisellä seulalla isoon saaviin (kuva 4). Ämpäreistä otettiin vuorotellen maata seulaan, joten samalla ne sekoittuivat.



KUVA 4. Maan seulontaa laboratorikoetta varten

Maa siirrettiin vaa'an kautta koeastioihin, ja sitä tuli noin 10 kg tai 12 kg käsittelyyn riippuen siitä, sisältääkö käsittely haketta. Astiat tulivat noin puolilleen. Hakkeen ajateltiin lisäävän tilavuutta siinä määrin, että sekoitus olisi ollut haastavaa, joten hakekäsittelyissä käytettiin vähemmän maata. Samaa periaatetta noudatettiin myös kenttäkokeessa. Käsittelyt on eritelty taulukossa 5.

TAULUKKO 5. Laboratoriokokeen käsittelyt

Käsittely	Maa, kg	CaO <sub>2</sub> , %	Lihaluujauho, %	Maan ja hakkeen tilavuuksien suhde
Kontrolli	12	-	-	-
Kalsiumperoksidi, CaO <sub>2</sub>	12	0,5 (0,06 kg)	-	-
Lihaluujauho + CaO <sub>2</sub>	12	0,5 (0,06 kg)	2,0 (0,24 kg)	-
Lihaluujauho	12	-	2,0 (0,24 kg)	-
Lihaluujauho + Puuhake	10	-	2,4 (0,24 kg)	2:1
Puuhake	10	-	-	2:1

Lisäaineiden lisäämisen ja huolellisen sekoituksen jälkeen jokaiseen käsittelyyn lisättiin kraanavettä 600 ml. Astioiden kannet päätettiin jättää auki, sillä käsitellyt tulivat vesilisäyksestä hyvin kosteiksi. Kannet suljettiin vasta kahden vuorokauden kuluttua. Kontrollikäsitteily oli edelleen muita kosteampi ja sen kanta pidettiin raollaan lähes viikko.

## 8.2 Kokeen kulku ja havainnot

Koe eteni tarkkailemalla pH:ta ja kosteutta. Laboratorion lämpötila oli koko kokeen ajan tiedossa, ja se pidettiin vakiona (noin 21 °C). Näytteet pyrittiin ottamaan niin, että samalla otettiin myös pH-mittaukseen maata, sillä kä-



sittelyn huolellinen sekoittaminen oli työlästä ja aikaa vievää. Lisäksi sekoittaminen toi joka kerta käsittelyyn lisähappea.

Maata kasteltiin tavallisella kraanavedellä. Yleisesti maata kasteltiin suihkupullolla vain pinnalta. Noin kahden kuukauden kuluttua vettä lisättiin reilummin, noin 200–300 ml. Suihkupullokastelu osoittautui toimivaksi, sillä kosketus tuntui asettuvan tasaisesti koko käsittelyyn. Haihtuminen oli loppujen lopuksi vähäistä. Puuhakekäsittelyt kuivuivat muita enemmän.

Käsittelyistä tarkkailtiin myös hajua ja ulkoisia muutoksia. Lihaluujauho- ja lihaluujauho-puuhakekäsittelyissä havaittiin pinnalla harmaata rihmastoja ensimmäisten kuukausien aikana. Havaintona tehtiin myös jonkun verran lämmön vapautumista. Nurmijärvellä havaittiin sekoituksen yhteydessä vahvoja hajuja, mutta laboratorion käsittelyissä ei havaittu merkittäviä hajumuutoksia.



KUVA 5. Laboratoriokokeen lihaluujauhokäsittely viikolla 1



KUVA 6. Laboratoriokokeen lihaluujauho-puuhakekäsittely viikolla 8, kuvassa näkyy myös puuhakkeen kokoluokkaa

Lisäksi käsittelyiden erona oli paakkuisuus. Erityisesti käsittelyssä, jossa oli kalsiumperoksidia, havaittiin paljon paakkuuntumista, mitä ei lihaluujauhokäsittelyissä havaittu samassa mittakaavassa. Myös lihaluujauhokäsittely paakkuuntui, mutta paakut olivat pienempiä, ja normaalia maata oli enemmän. Käsittely, jossa oli molempia lisäaineita, sekä kalsiumperoksidia ja lihaluujauhoa, oli kuudennella näytteenotokerralla näistä kolmesta käsittelystä hienojakoisin (kuva 7).



KUVA 7. Käsittelyiden paakkuisuus eroaa lisäaineista riippuen, käsittelyt vasemmalta oikealle: kalsiumperoksidi-lihaluujauho, lihaluujauho ja kalsiumperoksidi



Kokeen seuranta lopetettiin joulukuun alussa. Kokeen kesto oli kenttäkokeen lailla 22 viikkoa. GC-FID-menetelmää varten näytteitä otettiin seitsemän (viikoilla 0, 4, 7, 10, 15, 18 ja 22). Näytettä otettiin noin 20 grammaa. Näytteet uutettiin kenttäkokeen lailla ISO 16703:2004 –standardin pohjalta tehdyn ohjeen mukaan.

### 8.3 pH-seuranta

pH:ta seurattiin aluksi viikoittain, ja sen jälkeen vähintään neljän viikon välein. Näytteet otettiin kokoomanäytteenä eri puolita käsittelyä petrimaljalle noin 50 grammaa, josta korkilliseen astiaan siirrettiin sekoituksen jälkeen 10 grammaa. pH-mittaukset tehtiin samalla mittarilla ja samoja käytäntöjä noudattaen kuin kenttäkokeessakin. Ensimmäiset pH-näytteet otettiin neljä päivää kokeen käynnistämisen jälkeen, kuitenkin samalla viikolla käynnistämisen kanssa. pH-mittauksia tehtiin yhteensä 13 (viikoilla 0, 1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 13, 16, 18 ja 22).

## 9 KOKEIDEN TULOKSET

Menetelmä on suunniteltu toimivan yhden kasvukauden aikana eli Suomessa noin viiden tai kuuden kuukauden kuluessa (huhti/toukokuusta syys/lokakuuhun). Tätä ajatellen kesäkuun alussa käynnistetty Nurmijärven kenttäkoe aloitettiin myöhään. Kokeissa käytetty pilaantunut maa oli heikosti pilaantunut ja oletettavasti maan pilaantuma oli jo hyvin vanha. Maassa jäljellä olevat öljyhiilivetyjakeet olivat todennäköisesti niitä kaikkein vaikeiten hajotettavia, pitkiä ja haarautuvia hiilivetyjä.

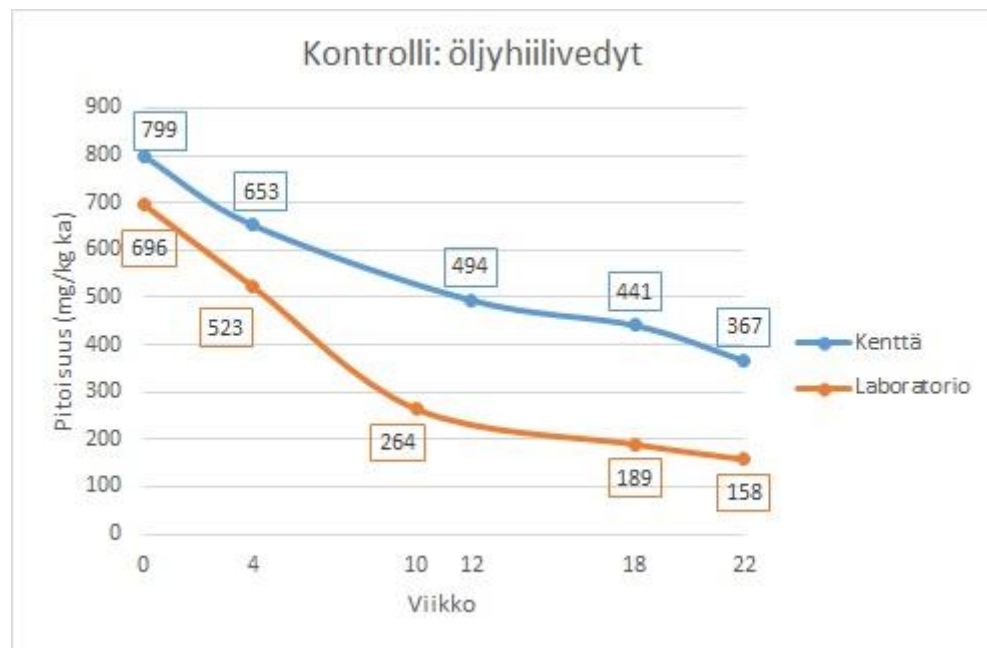
Näytteenotto eteni kokeilla hieman eri tavoilla. Kenttäkokeessa näytteitä otettiin viisi, eli viikoilla 0, 4, 12, 18 ja 22. Laboratoriokokeessa näytteitä otettiin seitsemän ja näytteidenotto viikot olivat 0, 4, 7, 10, 15, 18 ja 22. Puhdistustuloksia on käyty läpi kuvioissa 3-18 käsittelykohtaisesti. Kuvioissa on esitetty kenttäkokeen kaikkien näytteiden öljyhiilivetypitoisuudet sekä laboratoriokokeen vastaavien viikkojen (0, 4, 18 ja 22) lisäksi tulokset viikolta 10. Koekohtaisesti tuloksia arvioidaan kaikkien näytteiden osalta lopussa.

Laboratoriokokeen lämpötila oli noin 21 °C ja se pysyi vakiona koko kokeen ajan. Kenttäkokeen keskimääräinen lämpötila kokeen aikana oli noin 11 °C (mitattu Helsinki-Vantaan lentoasemalla kesäkuusta marraskuuhun). Kuukauden keskimääräinen lämpötila vaihteli heinäkuun 18 °C:sta marraskuun yhden asteen pakkaseen. (Ilmatieteen laitos, 2016b.)

Lisäksi kokeiden kosteuden ylläpito erosi. Laboratoriokokeessa käsittelyjä sekoitettiin pH-kokeiden takia, ja käsittelyt saivat sekoituksista happea. Kuivumisen estämiseksi käsittelyitä kasteltiin viikoittain. Kenttäkokeen käsittelyitä kasteltiin vain kerran. Kenttäkokeen käsittelyt olivat isompia, ja näin ollen anaerobista eli ilmatonta maamassaa oli enemmän. Kenttäkokeesta voitiin olettaa huonompia tuloksia kuin laboratoriokokeesta, sillä ilma ja lämpötila ovat merkittäviä tekijöitä mikrobien hajotustoiminnassa.

## 9.1 Kontrolli

Kontrolli oli pelkkää öljyhiilivedyillä pilaantunutta maata. Oletuksena oli, että se puhdistuisi vähiten. Kuitenkin laboratorionkokeessa kontrollikäsitte-lyä sekoitettiin aluksi viikoittain, ja sekoitus toi käsittelyyn happea. Lisäksi laboratorionkokeessa lämpötila oli mikrobitoiminnalle suotuisampi. Olosuh- teet pitivät mikrobit aktiivisina, ja tehtyjen mittausten perusteella haitta- aineet hajosivat kokeen aikana hyvin ilman mitään lisäaineitakin (kuvio 3).



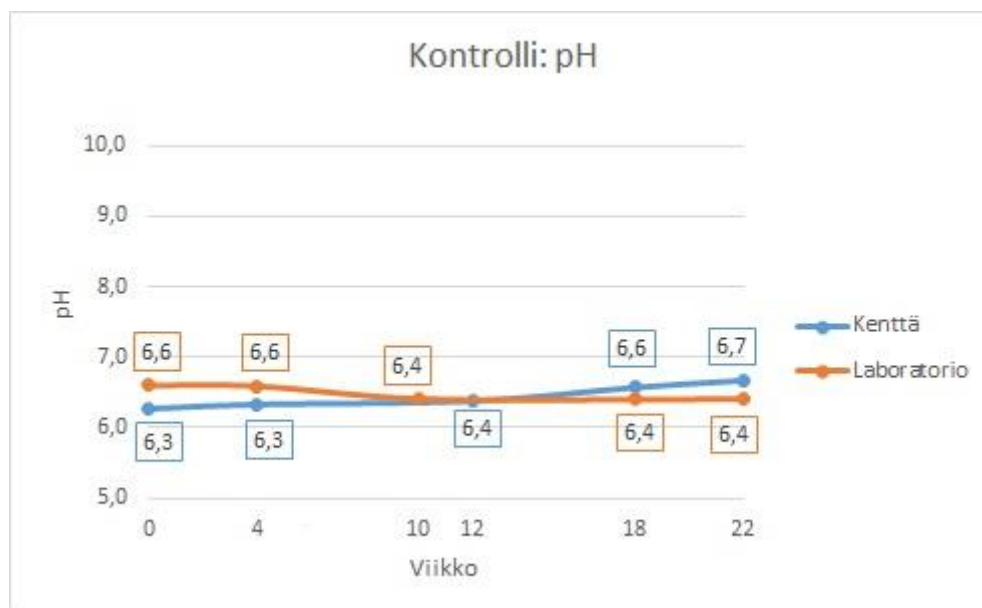
KUVIO 3. Kontrollikäsitteilyiden haitta-ainepitoisuudet (mg/kg ka)

Kenttäkokeen kontrollikasan puhdistustulosta voidaan selittää hapen li- sääntymisellä. Kasoja sekoitettiin näytteenoton yhteydessä, ja mikrobit saivat happea. Öljyhiilivetyjen pitoisuus laski kokeen aikana 54 %.

Kontrollikäsitteilyiden puhdistumista voidaan laboratorionkäsittelyssä selittää ilmastuksella, lämpötilalla ja käynnistyksen jälkeisellä, melko suurella vesi- lisäyksellä. Kontrolli vaikutti hyvin kostealta ensimmäiset viikot, mutta se ei vaikuttanut tulosten perusteella ainakaan negatiivisesti mikrobeihin. Öljyhiilivetyjen pitoisuus oli lopussa 77 % pienempi kuin alussa. Sitä voidaan pitää hyvänä puhdistustuloksena.

pH pysyi koko kokeen aikana mittausten perusteella samoissa arvoissa (kuvio 4). Kokeiden pH-tulokset tukevat toisiaan. Mittausten perusteella

kokeiden pH:t olivat samanlaiset, vaikka happi- ja lämpötilaolosuhteet vaihtelivat.



KUVIO 4. Kontrollikäsittelyiden pH-arvot

## 9.2 Kalsiumperoksidikäsittely

Kalsiumperoksidi ( $\text{CaO}_2$ ) valikoitui kokeeseen sen happea vapauttavan ominaisuutensa takia. Ongelmaksi arvioitiin kalsiumperoksidin pH:ta nostava vaikutus, mikä on mikrobien toiminnan kannalta ongelmallista.

Pelkkä kalsiumperoksidin lisäys toimi korkeasta pH:sta huolimatta hyvin maaperän puhdistajana (kuvio 5). Kenttäkokeen maa puhdistui pelkän kalsiumperoksidin avulla 62 % alkutilanteesta ja laboratorion maa-aines jopa 91 %.



KUVIO 5. Kalsiumperoksidikäsitteilyiden haitta-ainepitoisuudet (mg/kg ka)

Kalsiumperoksidin lisäys nosti maan pH:ta merkittävästi (kuvio 6). Alkutilanteessa molempien maiden pH oli 10,5. Kuitenkin viikolla 10 laboratoriokeksen pH oli alle kahdeksan. Kentällä pH oli edelleen viikolla 18 yli 10. Kenttäkokeen huonompi puhdistustulos johtui osaltaan todennäköisesti korkeasta pH:sta.



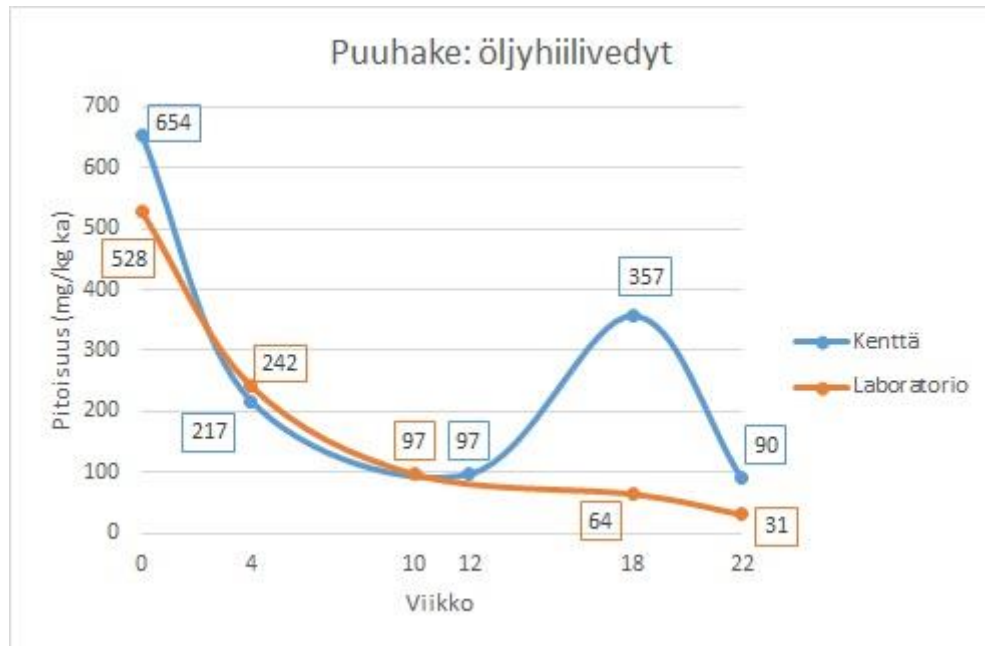
KUVIO 6. Kalsiumperoksidikäsitteilyiden pH-arvot

### 9.3 Puuhakekäsittely

Molempien kokeiden osalta voidaan todeta, että puuhakkeen käyttö käsittelyn ilmastajana oli monelta osin huono idea. Maa tuntui puhdistuvan hyvin, mutta se johtui öljyjakeiden ominaisuudesta kiinnittyä orgaaniseen ainekseen. Käsittelystä saatiin hyviä tuloksia, kun uutettavaan näytteen otettiin maata vältellen puupaloja. Puupaloja yksistään analysoitaessa voitiin kuitenkin osoittaa, että puuaineksesta löytyi huomattava määrä öljyjä. Oikeaoppisesta puuaineksen uutosta ei ollut varmuutta, joten tuloksia ei käsitellä tässä työssä tarkemmin. Öljyjakeet eivät siis hajonneet mikrobien toimesta vaan kiinnittyivät ainakin osin orgaaniseen puuainekseen. Lisäksi käyttämämme silputtu puujäte oli peräisin kaatopaikalta. Se oli käsiteltyä puuta ja saattoi sisältää kaikenlaisia muita haitta-aineita esimerkiksi maaleista, lakoista ja kyllästysaineista.

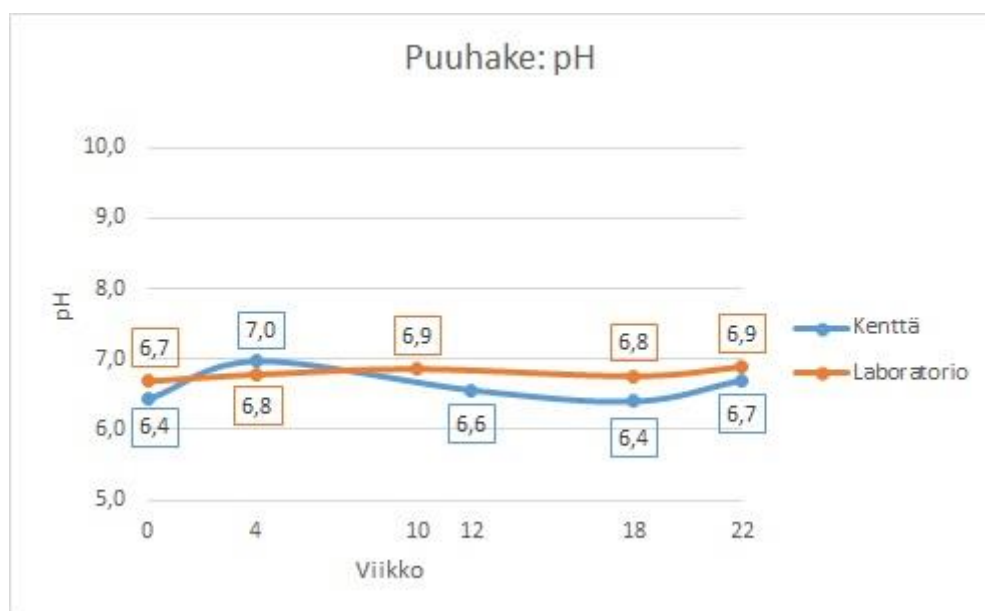
Myöskin jatkokäytön kannalta puupalaset hiekan joukossa ovat erittäin epäkäytännöllisiä, ja ne rajoittavat maan jatkosijoittelua. Laboratorioko-keessa puuhakkeen joukkoon lisättiin purumaista puu-ainesta, joka voisi kokonaisuudessa olla parempi vaihtoehto kuin jätepuu.

Kuviosta 7 nähdään puuhakekäsittelyn varsin nopea puhdistustulos. Jo viikolla neljä se on molempien kokeiden osalta alle PIMA-asetuksen kynnyksarvon (300 mg/kg ka). Kenttäkokeen tapauksessa pitoisuuden nousu viikolla 18 johtuu todennäköisesti siitä, että GC-FID-menetelmää varten uutettavan maanäytteen joukkoon oli päässyt erityisen paljon puuainesta. Uutettava maanäyte pyrittiin ottamaan nimenomaan maa-aineksesta puupalasia vältellen. Viikolla 18 pienimmät puupalaset olivat jo hyvin hiekkaisia ja vaikeasti havaittavia.



KUVIO 7. Puuhakekäsittelyn haitta-ainepitoisuudet (mg/kg ka)

Puuhakkeen lisäys ei nostanut pH:ta (kuvio 8). pH-tulokset ovat hyvin samankaltaisia kuin kontrollikäsitellyssä.



KUVIO 8. Puuhakekäsittelyiden pH-arvot

#### 9.4 Lihaluujuuhokäsittelyt

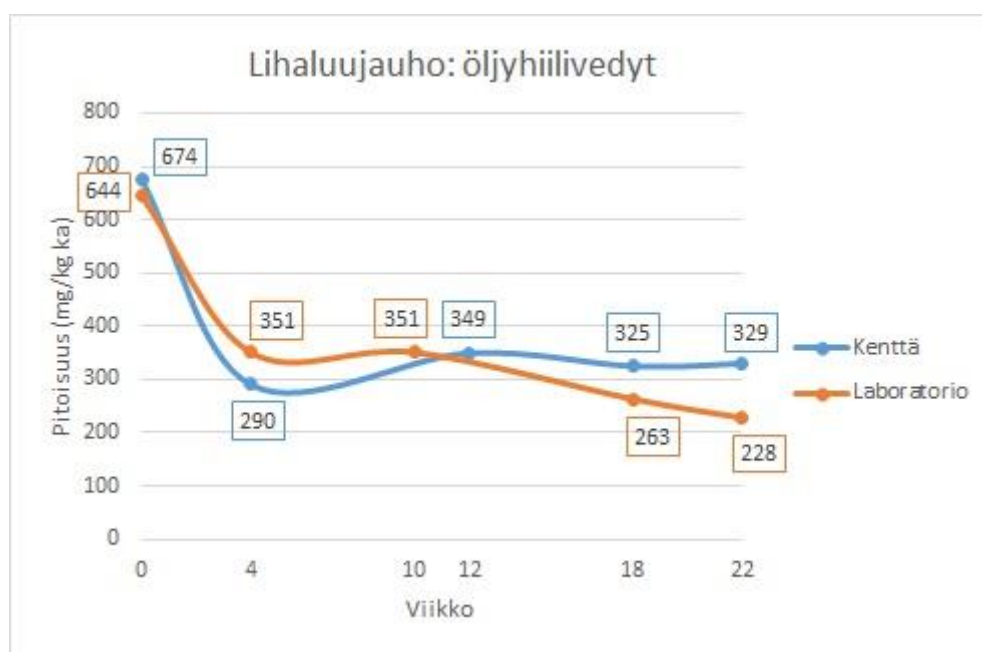
Kokeen tarkoituksena oli tutkia, tehostaako lihaluujuuho maan biologista puhdistumista. Aiemmissa menetelmää testaavissa kokeissa on todettu

kahden prosentin lihaluujauhoholisäyksen olevan optimaalisin. Liian suuri lisäys saattaa järkyttää maan hiili-tyyppi-tasapainoa.

Lihaluujauhokäsittelyn alku oli lupaava. Viikolla neljä lihaluujauhokäsittely oli puhdistunut prosentuaalisesti kenttäkokeen osalta toiseksi parhaiten ja laboratorikokeessa parhaiten. Käsittelyiden pinnalla näkyi harmaata sienimäistä rihmastoja, joka kertoi aktiivisesta mikrobitoiminnasta. Alun jälkeen molempien kokeiden osalta puhdistuminen heikkeni huomattavasti (kuvio 9). Kenttäkokeen osalta tehokas alku saattoi johtua osaltaan myös mikrobeille suotuisasta lämpötilasta. Kesäkuun keskilämpötila oli noin 16 °C (Ilmatieteen laitos 2016a).

Lopputuloksena pelkällä lihaluujauholla saatiin kohtalaisia tuloksia, vaikka se oli kuutta käsittelyä vertailtaessa tuloksiltaan huonoin. Kenttäkokeen maa puhdistui 51 % ja laboratoriossa 65 %. Kenttäkokeen osalta maa ei saavuttanut PIMA-asetuksen kynnsarvoa.

Kenttäkokeen osalta haitta-ainepitoisuus nousi hieman viikon neljä jälkeen (kuvio 9). Tämä johtunee siitä, että öljyä on käsittelyssä epätasaisesti, ja viikolla 4 otettuun näytteeseen on sattunut niin sanotusti puhtaampi kohta.



KUVIO 9. Lihaluujauhokäsittelyn haitta-ainepitoisuudet (mg/kg ka)



Jo ennen laboratoriokokeen käynnistämistä, kokeissa käytettävästä, pelkistä lihaluujauhosta (luokka 3) oli mitattu pH. Tulokseksi saatiin lievästi hapan, 5,2.

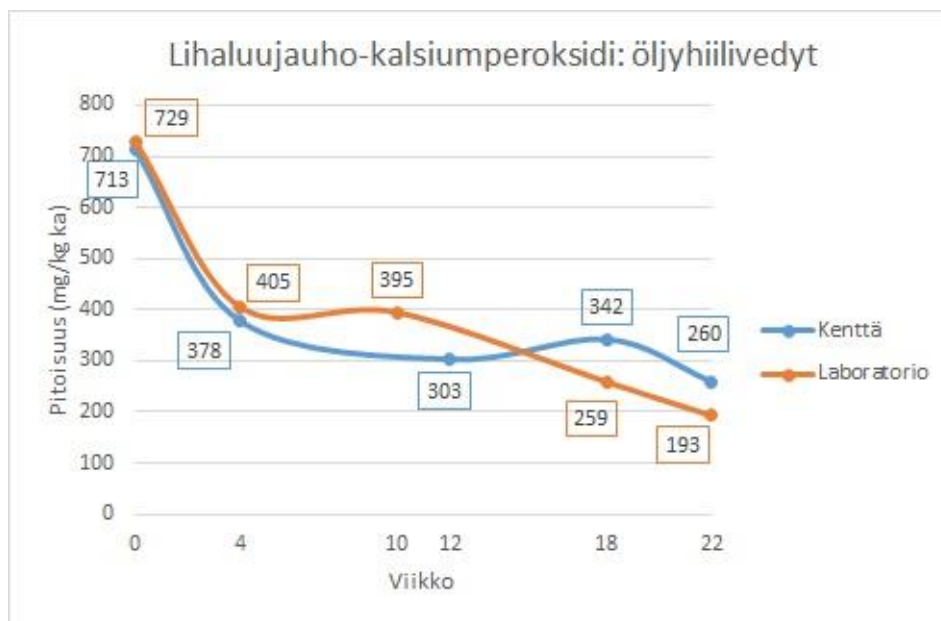
pH pysyi mikrobin kannalta hyvänä. Molempien käsittelyiden osalta lihaluujauho nosti hiukan pH:ta aluksi (kuvio 10). Se näytti vaikuttavan puhdistustuloksiin positiivisesti, koska ensimmäisen kuukauden aikana maa puhdistui tehokkaasti.



KUVIO 10. Lihaluujauho-käsittelyiden pH-arvot

Käsittely, jossa käytettiin lihaluujauhon lisäksi kalsiumperoksidia, puhdistui lopulta paremmin kuin pelkällä lihaluujauholla käsitelty maa.

Kalsiumperoksidikäsittelyissä kosteus oli hyvin tärkeää, sillä se vapauttaa happea vain veden vaikutuksesta. Kosteuden säätelyä voidaan pitää onnistuneena, sillä molemmat käsittelyt puhdistuivat hyvin. Kokeiden puhdistustulos oli lähes identtinen lähtötilanteesta neljänteen viikkoon, jolloin käsittely puhdistui tehokkaasti (kuvio 11). Lihaluujauhokäsittelyn tavoin myös tässä käsittelyssä puhdistustehokkuus heikkeni merkittävästi sen jälkeen. Laboratoriokokeen puhdistustehokkuus säilyi paremmin. Siinä saavutettiin 74 % haitta-ainepitoisuuden väheneminen, kun kenttäkokeessa tulos oli 64 %.



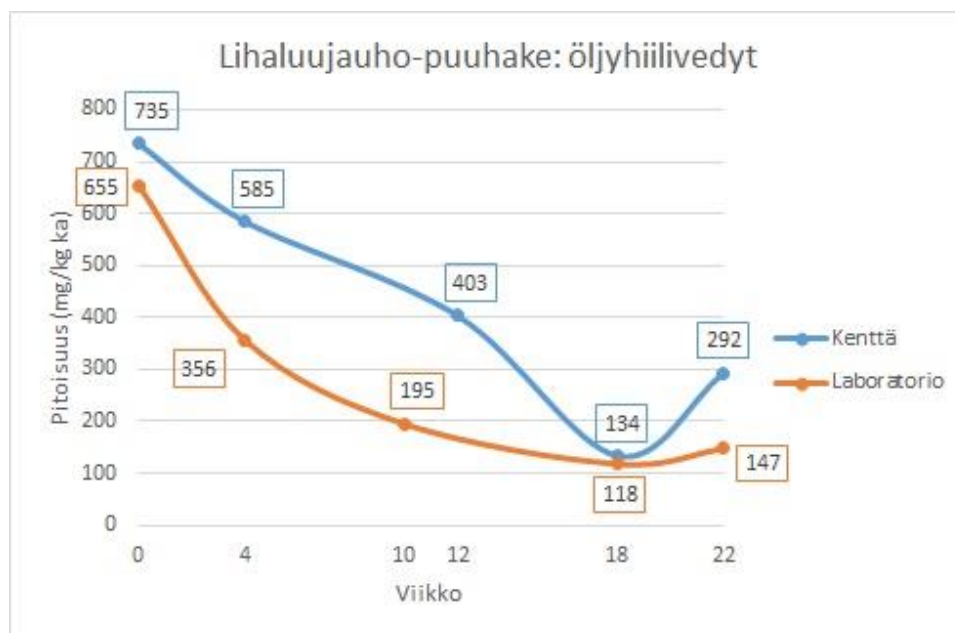
KUVIO 11. Lihaluujauho-kalsiumperoksidikäsittelyn haitta-ainepitoisuudet (mg/kg ka)

Käsittelyiden erilainen pH:n lähtötilanne saattaa johtua siitä, että laboratorioista otettiin pH-arvot vasta käynnistyksestä neljäntenä päivänä, kun taas kenttäkokeen pH otettiin heti käynnistyksen jälkeen otetuista näytteistä. Mittausten perusteella muutamalla päivällä oli vaikutusta pH:seen tässä käsittelyssä (kuvio 12). pH-mittauksista huomataan, että lihaluujauho hillitsee merkittävästi kalsiumperoksidin pH:ta nostavaa vaikutusta. Se voi olla positiivisesti vaikuttava asia mikrobien toiminnassa.



KUVIO 12. Lihaluujauho-kalsiumperoksidikäsittelyiden pH-arvot

Lihaluujauho-puuhakekäsittelyssä voidaan todeta samaa kuin puuhakekäsittelyssä; puhdistustulos on hyvä, mutta se johtuu öljyn ominaisuudesta tarttua orgaaniseen ainekseen (kuvio 13).



KUVIO 13. Lihaluujauho-puuhakekäsittelyn haitta-ainepitoisuudet (mg/kg ka)

Lihaluujauho-puuhakekäsittelyn pH oli kokeiden alussa hieman suurempi verrattuna vain puuhaketta sisältävään käsittelyyn (kuvio 14). Erot käsittelyiden välillä ovat kuitenkin pieniä.

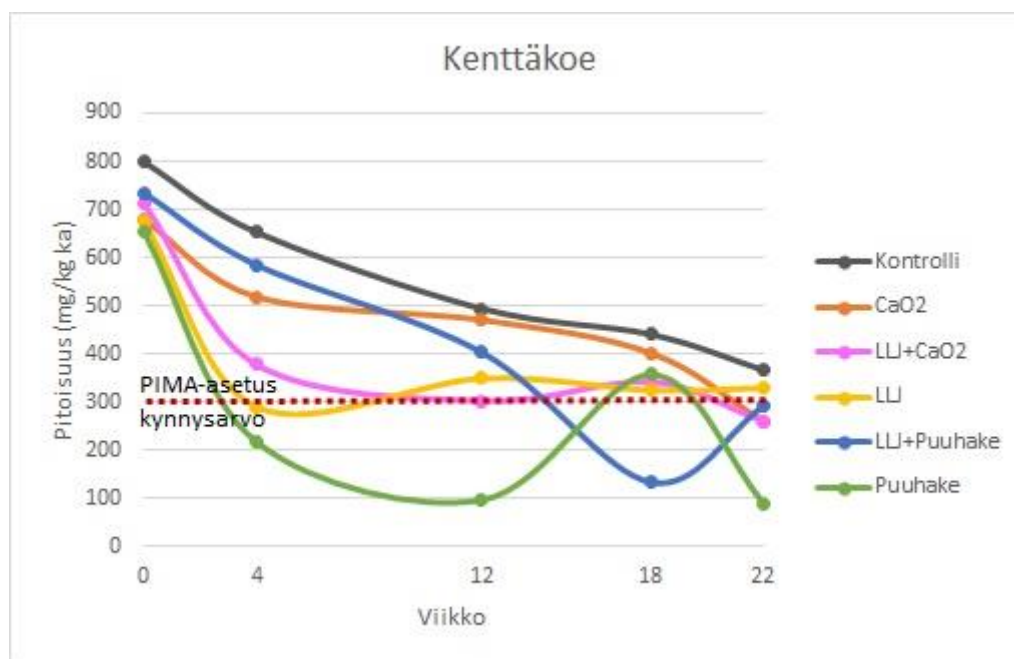


KUVIO 14. Lihaluujauho-puuhakekäsittelyiden pH-arvot

## 9.5 Tulosten yhteenveto

Kokeiden alkutilanteen öljyhiilivetyypitoisuus vaihteli jonkin verran. Käytetty maaperä oli hieman silttistä, ja haitta-aine saattoi olla levittäytynyt hyvin epätasaisesti maa-ainekseen. Tuloksia käsitellään jatkossa koekohtaisesti. Kokeiden aikana saatuja pitoisuustuloksia on eritelty kaikkien tehtyjen uutujen osalta liitteissä 1 ja 2.

PIMA-asetuksen kynnyсарvo öljyhiilivedyille (C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub>) on 300 mg/kg ka. Kenttäkokeen osalta saavutettiin PIMA-asetuksen kynnyсарvo neljässä käsittelyssä: molemmissa kalsiumperoksidikäsittelyissä ja molemmissa puuhakekäsittelyissä. Kuitenkin sekä lihaluujauhokäsittely että kontrolli pääsivät hyvin lähelle kynnyсарvoa (kuvio 15).

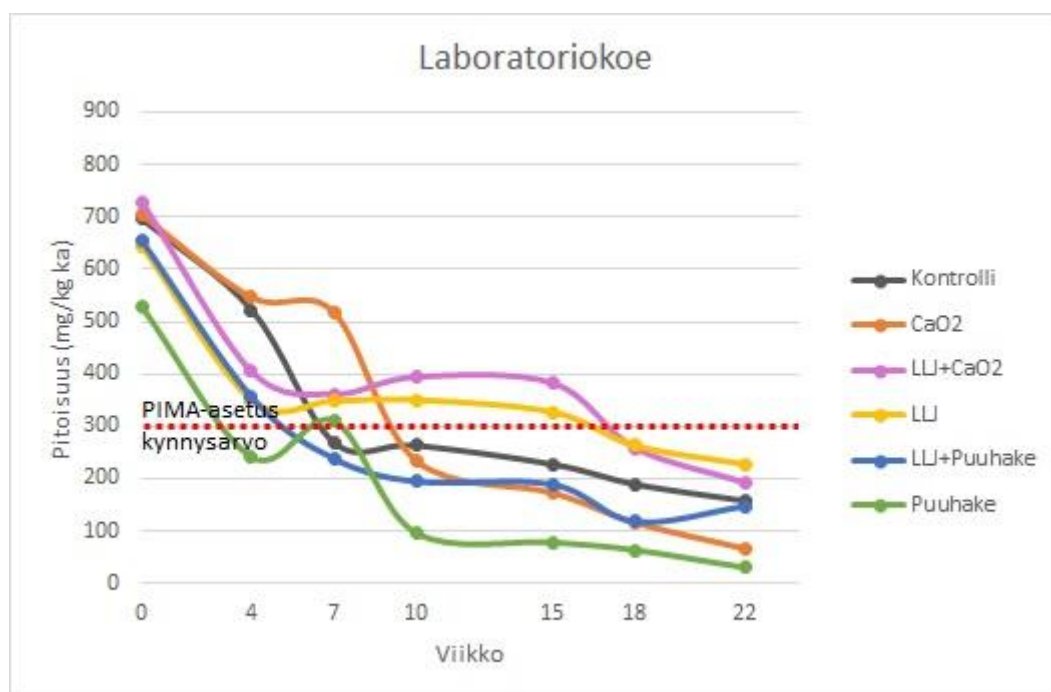


KUVIO 15. Kenttäkokeen käsittelyiden haitta-ainepitoisuudet viikoilla 0-22

Puuhakekäsittelyiden tuloksia voidaan pitää epävarmoina, sillä puuaineksen sisältämää öljyhiilivetyypitoisuutta ei tarkasteltu tässä työssä tarkemmin. Teorian pohjalta voidaan kuitenkin todeta, että puuaines sisälsi öljyjä. Puuhakkeen tulokset olivat myös epäjohdonmukaisia ja lopputulos epävarma. Puujätteestä valmistettu puuhake ei sovellu menetelmän ilmastajaksi.

Puuhakekäsittely puhdistui parhaiten prosentuaalisesti, 86 %. Toiseksi parhaiten puhdistui lihaluujauho-kalsiumperoksidikäsittely, 64 %, ja huonoiten lihaluujauhokäsittely, 51 %.

Laboratoriokokeen osalta kaikki kuusi käsittelyä saavuttivat kynnyсарvon (kuvio 16). Kenttäkokeeseen verrattuna laboratoriokokeen parempia tuloksia voidaan pitää useiden sekoitusten ja kasteluiden sekä lämpötilan ansiiona. Parhaimmat tulokset saavutettiin puuhakeella ja kalsiumperoksidilla. Kontrollikäsittely puhdistui jopa paremmin kuin lihaluujauho- ja lihaluujauho-kalsiumperoksidikäsittelyt. Erot ovat kuitenkin pieniä. Lihaluujauhokäsittely puhdistui 51 %.



KUVIO 16. Laboratoriokokeen käsittelyiden haitta-ainepitoisuudet viikoilla 0-22

Prosentuaalisesti parhaiten puhdistui puuhakekäsittely, joka puhdistui jopa 94 %. Toiseksi parhaiten puhdistui kalsiumperoksidikäsittely. Lihaluujauho toimi yksinään huonoiten, ja se puhdistui 65 %.

Syy kontrollikäsittelyn hyvään puhdistustulokseen molempien kokeiden osalta voi olla pelkän ilmastuksen riittävyys käytettyyn maalajiin nähden. Kokeissa käytettävä maalaji oli hieman silttinen, eli se sisälsi jossain mää-

rin savista ainesta. Maa oli paikoittain hyvin tiivistä. Maaperän mikrobit tarvitsivat toimiakseen happea, jota alun seulonta ja kokeen aikana tehdyt sekoitukset toivat käsittelyihin. Lisäksi laboratoriokokeen alussa kontrollikäsittely oli pitkään muita käsittelyitä huomattavasti kosteampi, vaikka vesilisäys käsittelyihin oli vakio ja maa-aines oli huolellisesti sekoitettu ja silmämääräisesti samanlaista kaikissa käsittelyissä. Kannen auki pitäminen toi kontrolliin enemmän happea, ja se puhdistuikin viikkojen 0-7 aikana hyvin tehokkaasti. Viikolla 7 haitta-ainepitoisuus oli 61 % vähemmän kuin alussa.

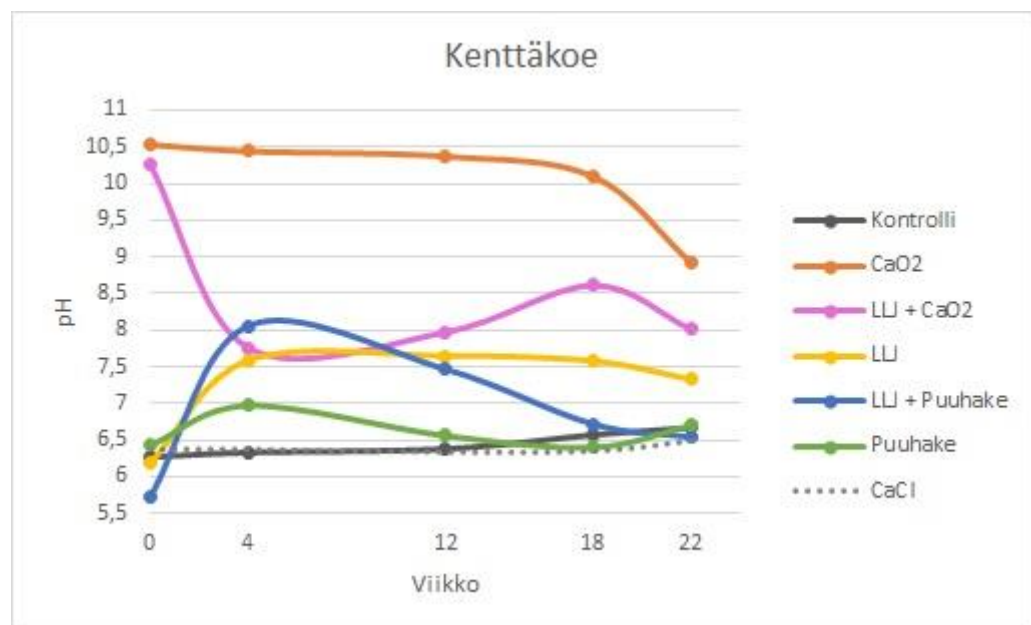
Ilmastuksen lisääntyminen ei kuitenkaan selitä sitä, miksi lihaluujauho-käsittely ei toiminut prosentuaalisesti yhtä hyvin. Lihaluujauhoa saatettiin lisätä liikaa tai liian vähän käsittelyyn. Kokeessa käytetty 2 % lihaluujauhoa maan massasta oli aiemmissa kokeissa havaittu optimaaliseksi. Lihaluujauho lisäsi maahan orgaanista aineista, jonka hajotus kilpailee hapesta. Hyvät happiolosuhteet paransivat puhdistustehokkuutta. Molempien kokeiden osalta lihaluujauhokäsittely vaikutti aluksi tehokkaalta, sillä kenttäkokeessa maa puhdistui ensimmäisen neljän viikon aikana 57 % ja laboratoriokokeen osalta tulos oli 45 %. Kontrolli puhdistui neljän viikon aikana kentällä 18 % ja laboratoriossa 25 %.

Kaikki muut lihaluujauhokäsittelyt, paitsi kenttäkokeen lihaluujauho-puuhakekäsittely, puhdistuivat 44–57 % ensimmäisten neljän viikon aikana. Sitä voidaan pitää tehokkaana puhdistumisena. Lihaluujauhon lisääminen käsittelyyn neljännen viikon jälkeen olisi saattanut vaikuttaa puhdistustulokseen positiivisesti. Puhdistustuloksia on käsitelty prosentuaalisesti tarkemmin liitteissä 3 ja 4.

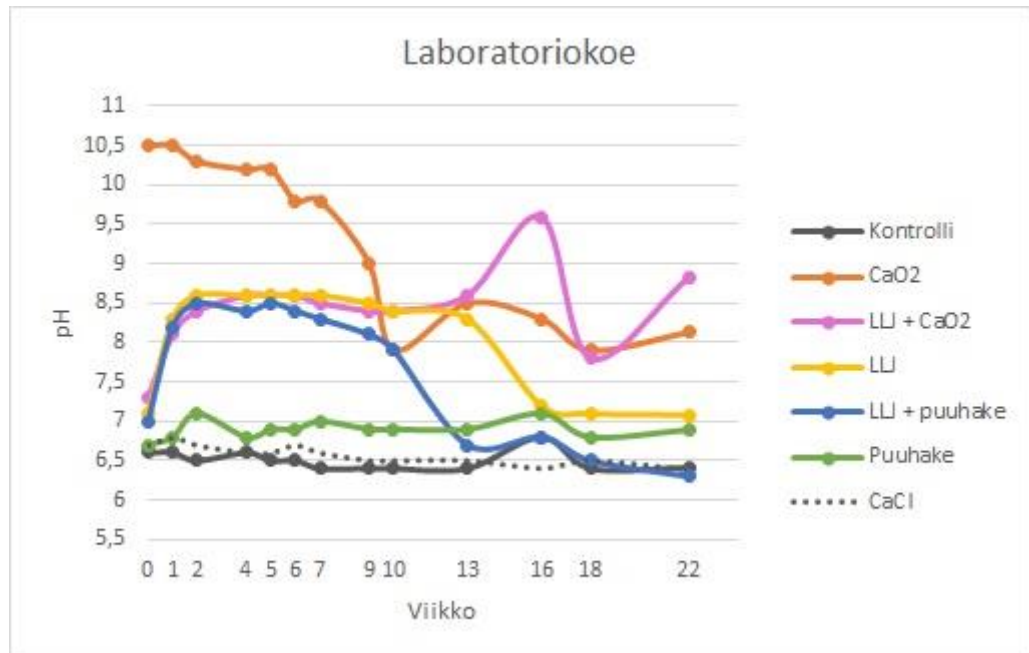
Kontrollin ja puuhakekäsittelyn pH pysyi lähes samana molempien kokeiden osalta. Puuhakekäsittelyiden pH oli 6,5-7,0 ja kontrollien noin 6,5. Kokeiden perusteella kalsiumperoksidi nostaa maan pH:ta yli kymmeneen. Kenttäkokeessa pH oli yli 10 viikolle 18 asti ja laboratoriokokeessa noin viikolle 6. Laboratoriokokeen kalsiumperoksidikäsittely oli viikolla 10 laskeutunut noin kahdeksaan. Kalsiumperoksidi todennäköisesti kului loppuun

aiemmin kuin kenttäkokeessa, sillä maa oli alussa kosteaa reilusta vesili-  
säyksestä johtuen.

pH-mittauksien osalta kokeiden merkittävin tulos on lihaluujauhon vaikutus alentaa tai heikosti nostaa pH:ta (kuviot 17 ja 18). Lihaluujauho-  
kalsiumperoksidikäsitteystä voidaan molempien kokeiden perusteella to-  
deta, että lihaluujauhossa jokin ainesosa neutraloi hydroksidi-ioneita ja  
kumooa pH:ta nostavaa vaikutusta. Kaikki kolme lihaluujauhokäsittelyä  
käyttäytyivät pH:n osalta hyvin samanlaisesti viikolle 10 asti (kuvio 18).  
Tämä ilmenee erityisesti laboratoriokokeen osalta, jossa pH:n tarkkailu oli  
huomattavasti aktiivisempaa kuin kenttäkokeessa.



KUVIO 17. Kenttäkokeen pH-mittauksien tulokset viikoilla 0-22 (viisi  
mittausta)



KUVIO 18. Laboratoriokokeen pH-mittauksien tulokset viikoilla 0-22 (kolmetoista mittausta)

Viikon 10 jälkeen pH alkoi käyttäytyä käsittelyn muiden aineiden mukaisesti: pH lihaluujauho-kalsiumperoksidikäsittelyssä nousee ja lihaluujauho-puuhakekäsittely laskee. Lihaluujauhokäsittelyssä pH laskee myös ja se tasaantuu neutraaliin. pH-tuloksia on käsitelty tarkemmin liitteissä 5 ja 6.

pH-tulokset tukevat osaltaan sitä teoriaa, että lihaluujauhon lisääminen kokeen aikana olisi voinut tuottaa parempia puhdistustuloksia. Kokeiden perusteella voidaan olettaa lihaluujauhon ”loppuneen” käsittelyistä noin kymmenen viikon kuluessa, joka selittäisi sekä puhdistustuloksia että pH:n käytöstä.

Tällä hetkellä lihaluujauhoa on käytetty tutkimuksissa vain maan kunnostamiseen. Sen toimivuudesta tai vaikutuksista pohjaveteen ei ole varmuutta. Lihaluujauhon käyttämistä kunnostamisessa jonkin toisen menetelmän tukena ei ole myöskään poissuljettu.



## 10 YHTEENVETO

Uusien puhdistusmenetelmien kehittäminen on tärkeä osa maan puhdistukseen liittyvästä tutkimustyöstä. Olosuhteet vaihtelevat hyvinkin paljon alueiden kesken, ja hyväksi havaittu kunnostusmenetelmä ei välttämättä toimi tai se on alueen tai projektin ominaisuuksien kannalta epäkäytännöllinen tai mahdoton toteuttaa. Suomessa in-situ-maanpuhdistusta hidastaa osaltaan myös kylmä talvi. On hyvä, että monin tavoin tehokkaita tapoja löydetään lisää. Yleisin kunnostusmenetelmä massanvaihto on toki tehokas, ja pilaantuma saadaan pois rakentamisen tieltä nopeasti, mutta usein on muitakin keinoja päästä samaan lopputulokseen. Massanvaihtoa tulisi toteuttaa vain erittäin kiireellisissä tapauksissa.

REMSOIL-hankkeen puhdistusmenetelmä vastaisi muutamaan ongelmaan. Se synnyttäisi kysyntää ja tarvetta muutoin huonosti hyödynnettävälle lihaluujauholla ja puhdistaisi maa-aineet riskittömästi ilman kemikalleja. Menetelmän toimivuus ei riippuisi paikasta, vaan sitä voitaisiin käyttää kaikissa eri maanpuhdistuksen muodoissa: putkistojen avulla pumppamalla ravinteita maaperään tai kaivettua maata käsittelemällä paikan päällä tai kaatopaikalla.

Kokeiden tarkoituksena ja tavoitteena oli olla osana REMSOIL-hankkeen tutkimus- ja kehitystyötä. Tuloksista on apua seuraavia kokeita suunniteltaessa. Lihaluujauho on teoriassa hyvä lisäaine biologiseen puhdistukseen, mutta käytännön saavuttaminen vaatii vielä menetelmän testausta. On todennäköistä, että lihaluujauhoa ei tulla käyttämään maanpuhdistuksessa yksinään, vaan sen tukena käytetään muita lisäaineita ja ilmastusputkia. Opinnäytetyössä seurattu kenttäkoe oli ensimmäinen ulkoilmassa suoritettu kokeilu menetelmälle, ja se on tehdyistä kokeista kaikista lähimpänä kunnostuksen käytäntöä tulevaisuudessa. Suomessa ulkoilma suosii mikrobien toimintaa vain kasvukautena, ja menetelmällä voikin olla toisenlaista, ympärivuotista potentiaalia ulkomailla. Lihaluujauhosta ei liene pulaa.

## LÄHTEET

Aalto, S. 2010. Teurassivutuotteiden hyötykäytön tehostaminen, syötäväksi kelpaamattomat jakeet. HAMK: Ympäristöbioteknologian opinnäytetyö [viitattu 13.12.2016]. Saatavissa:

<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/16628/SuviAalto.pdf?sequence=1>

Antila, A., Karppinen, M., Leskelä, M., Mölsä, H. & Pohjakallio, M. 2010. Tekniikan kemia. Helsinki: Edita Prima Oy.

ELY 2010. Lohjan Pikkujärven kunnostussuunnitelma [viitattu 1.12.2016]. Saatavissa:

[https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/93506/Pikkuj%C3%A4rven%20kunnostussuunnitelma\\_pakattu.pdf?sequence=2](https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/93506/Pikkuj%C3%A4rven%20kunnostussuunnitelma_pakattu.pdf?sequence=2)

Evira 2016. BSE eli hullun lehmän tauti [viitattu 4.11.2016]. Saatavissa:

<https://www.evira.fi/elaimet/elainten-terveys-ja-elaintaudit/elaintaudit/naudat-ja-biisonit/bse/>

Geologian tutkimuskeskus 2016. Moreenin arseenipitoisuus maaperässä [viitattu 3.1.2017]. Saatavissa:

[http://www.gtk.fi/system/print.html?from=/system/PressReleases/news\\_0354.html](http://www.gtk.fi/system/print.html?from=/system/PressReleases/news_0354.html)

Ilmatieteen laitos 2016a. Kesäkuun 2016 sää ja tilastot (Helsinki-Vantaa lentoasema) [viitattu 14.12.2016]. Saatavissa:

<http://ilmatieteenlaitos.fi/kesakuu>

Ilmatieteen laitos 2016b. Kuukausitilastot [viitattu 2.12.2016]. Saatavissa:

<http://ilmatieteenlaitos.fi/kuukausitilastot>

Jantunen, M., Komulainen H., Nevalainen A., Tuomisto, J., Venäläinen, R. & Viluksela, M. 2005. Selvitys elinympäristön kemikaaliriskeistä - Kansallisen kemikaaliohjelman taustaselvitys [viitattu 13.12.2016]. Saatavissa:

<http://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/78735/2005b11.pdf?sequence=1>

Järvinen, K. 2001. Bioreaktioprosessi kloorifenoleilla pilaantuneen pohjaveden puhdistuksessa – Kärkölä. Helsinki: Edita Oyj.

Jätelaki 646/2011. Saatavissa:

<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20110646>

Kajander, S. & Parri, A. 2014. Ampumaratojen ympäristövaikutusten hallinta [viitattu 13.12.2016]. Saatavissa:

[https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/136000/SY\\_4\\_2014.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/136000/SY_4_2014.pdf?sequence=1)

Kajava, A. 2012. Ampumaratojen kunnostustarpeen selvittäminen. Lappeenrannan teknillinen yliopisto: Ympäristötekniikan diplomityö [viitattu 1.11.2016]. Saatavissa:

<http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/101791/Albert%20Kajava%20-%20Diplomity%C3%B6%20-%20Ampumaratojen%20kunnostustarpeen%20selvitt%C3%A4minen.pdf?sequence=2>

Kivelä, J. 2007. Lihaluujauho kauran lannoitteena. Helsingin yliopisto: Agroekologian maisterintutkielma [viitattu 25.11.2016]. Saatavissa:

<https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/1975/7807/LIHALUJUJAUHO+KAURAN+LANNOITTEENA,+pdf+versio.pdf?sequence=3>

Kuusiniemi, K. (toim.), Leinonen, J., Marttinen, K., Salila, J., Seppälä, M. & Siitari, E. 2015. Ympäristösuojelulainsäädäntö. Helsinki: Edita.

Kymenlaakson ammattikorkeakoulu 2011. Jätteen loppukäsittely ja loppukäsittelypaikat - SÖKÖ II -manuaali: Ohjeistusta alusöljyvahingon rantatorjuntaan [viitattu 12.12.2016]. Saatavissa:

[https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwj8ZjinjHQAWhF5wKHXtAxEQFggZMAA&url=https%3A%2F%2Fwww.kyamk.fi%2Ffolders%2FFiles%2Fmerenkulku%2Fmerenkulku%2FSokoll%2FVihot%2FKevytversiot%2FSoko\\_II\\_manuaali\\_vihko\\_012.pdf&usq=AFQjCNEExlejiCsj4UD0CqOyP1ubGwo9yXQ&bvm=bv.141320020,d.bGg](https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwj8ZjinjHQAWhF5wKHXtAxEQFggZMAA&url=https%3A%2F%2Fwww.kyamk.fi%2Ffolders%2FFiles%2Fmerenkulku%2Fmerenkulku%2FSokoll%2FVihot%2FKevytversiot%2FSoko_II_manuaali_vihko_012.pdf&usq=AFQjCNEExlejiCsj4UD0CqOyP1ubGwo9yXQ&bvm=bv.141320020,d.bGg)

Lehtinen, T., Pöyhönen, T., Raatikainen, V., Loukiainen, H. & Ylitalo, S. 2014. TANKKI-hanke: In-situ puhtaamman maan ja veden puolesta [viitattu 14.12.2016]. Saatavissa: <http://www.lamk.fi/projektit/tankki/maaperan-pilot-kunnostukset/Documents/In-situ%20puhtaamman%20maan.pdf>

Metla 2011. Miksi maata puhdistetaan puilla? [viitattu 28.10.2016]. Saatavissa: <http://www.metla.fi/metinfo/fytorem/>

Nykänen, A., Kontio, H., Klutas, O., Penttinen, O., Kostia, S., Mikola, J. & Romantschuk, M. 2012. Increasing lake water and sediment oxygen levels using slow release peroxide [viitattu 5.1.2017]. Saatavissa: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969712005761>

Penttinen, R. 2001. Maaperän ja pohjaveden kunnostus, yleisimpien menetelmien esittely [viitattu 13.12.2016]. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40841/SYKEmo\\_227.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40841/SYKEmo_227.pdf?sequence=1)

Pyy, O., Haavisto, T., Niskala, K. & Silvola, M. 2013. Pilaantuneet maa-alueet Suomessa [viitattu 13.12.2016]. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/41048/SYKEra\\_27\\_2013.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/41048/SYKEra_27_2013.pdf?sequence=1)

Romantschuk, M., Galitskaya, P., Talvenmäki, H., Selivanovskaya, S., Simpanen, S., Sinkkonen, A. & Yrjälä, K. 2017. In situ remediation of contaminated soil – case by case decisions for different situations. *Luonnos*.

Seppälä, T. & Munne, P. 2013a. Dioksiinit ja furaanit, PCDD/F-yhdisteet [viitattu 3.11.2016]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B023F2743-DD13-4DAC-8C34-23E22542BE64%7D/94311>

Seppälä, T. & Munne, P. 2013b. Polyklooratut bifenyylit eli PCB-yhdisteet [viitattu 3.11.2016]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B52DF81C8-DB6F-4A71-8E51-0BD7CB86C708%7D/94325>

Simpanen, S. 2016. Evaluation of in situ remediation methods in soils contaminated with organic pollutants. Helsingin yliopisto: Väitöskirja. Helsinki: Unigrafia.

SYKE 2001. Kaatopaikkojen lopettamisopas [viitattu 13.12.2016]. Saatavissa:

[https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/41633/Ymp%c3%a4rist%c3%b6opas\\_89.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/41633/Ymp%c3%a4rist%c3%b6opas_89.pdf?sequence=1)

Tidenberg, S., Taipale, T. & Gustafsson J. 2009. MTBE ja TAME pohjavesiriskinä Suomessa [viitattu 13.12.2016]. Saatavissa:

[https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38015/SY29\\_2009\\_MTBE\\_ja\\_TAME\\_pohjavesiriskina\\_Suomessa.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38015/SY29_2009_MTBE_ja_TAME_pohjavesiriskina_Suomessa.pdf?sequence=1)

Tuomainen, J., Retkin, R., Knuutila, J., Pennanen, J., Mäenpää, M. & Särkkä, E. 2013. Ympäristövahingot Suomessa vuosina 2006–2012 [viitattu 12.12.2016]. Saatavissa:

[https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/41754/SYKEra\\_35\\_2013.pdf?sequence=4](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/41754/SYKEra_35_2013.pdf?sequence=4)

Tuomi, P. & Vaajasaari, K. 2004. Monitoroidun luontaisen puhdistumisen (MLP) käyttö pilaantuneiden alueiden kunnostuksessa [viitattu 28.11.2016]. Saatavissa:

[https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40499/SY\\_681.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40499/SY_681.pdf?sequence=1)

Työterveyslaitos 2015a. OVA-ohje: Dieselöljy [viitattu 25.10.2016]. Saatavissa: <http://partner.ttl.fi/ova/diesel.html>

Työterveyslaitos 2015b. OVA-ohje: Trikloorietyleeni [viitattu 10.12.2016]. Saatavissa: <http://partner.ttl.fi/ova/trikloorietyl.html>

Työterveyslaitos 2016a. OVA-ohje: Metyyli-tert-butyylieetteri [viitattu 25.10.2016]. Saatavissa: <http://partner.ttl.fi/ova/mtbe.html>

Työterveyslaitos 2016b. OVA-ohje: Moottoribensiini [viitattu 25.10.2016]. Saatavissa: <http://partner.ttl.fi/ova/moottben.html>

Työterveyslaitos 2016c. OVA-ohje: Tert-amyyliimetyylieetteri (tekninen) [viitattu 25.10.2016]. Saatavissa: <http://partner.ttl.fi/ova/tame.html>

Työterveyslaitos 2016d. OVA-ohje: Tetrakloorietyleeni [viitattu 10.12.2016]. Saatavissa: <https://partner.ttl.fi/ova/tetrakloorietyl.html>

Vainio, H., Liesivuori, J., Lehtola, M., Louekari, K., Engström, K., Kauppinen, T., Kurppa, K., Riipinen, H., Savolainen, K. & Tossavainen, A. 2005. Kemikaalit ja työ – Selvitys työympäristön kemikaaliriskeistä [viitattu 13.12.2016]. Saatavissa: [http://partner.ttl.fi/fi/kemikaaliturvallisuus/ainekohtaista\\_kemikaalitietoa/kemikaalit\\_ja\\_ty%C3%B6/Documents/Kemikaalit\\_jaTyo.pdf](http://partner.ttl.fi/fi/kemikaaliturvallisuus/ainekohtaista_kemikaalitietoa/kemikaalit_ja_ty%C3%B6/Documents/Kemikaalit_jaTyo.pdf)

VNA 214/2007. Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista. Maaperän haitallisten aineiden kynnys- ja ohjearvot. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2007/20070214>

Vepsäläinen, M., Pyy, O., Sjölund, M., Nikunen, S., Rajala, A. & Reinikainen, J. 2016. Pilaantuneen maa-alueen kunnostushankkeen tilaaminen [viitattu 7.10.2016]. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/159799/SYKEra\\_1\\_2016.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/159799/SYKEra_1_2016.pdf?sequence=1)

Wahlström, M., Laine-Ylijoki, J., Vestola, E., Vaajasaari, K. & Joutti, A. 2006. Jätteiden kaatopaikkakelpoisuuden toteaminen [viitattu 1.12.2016]. Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/noname/%7BF83F4787-0B71-4C29-A4BE-8390DEEB036A%7D/37516>

YLE 2009. Fosfori loppumassa maapallolta, maataloutta uhkaa romahdus [viitattu 28.11.2016]. Saatavissa: <http://yle.fi/uutiset/3-5898054>

YLE 2015. Myrkkymaa uhkasi tuhansien terveyttä Helsingin Myllypurossa [viitattu 14.12.2016]. Saatavissa: <http://yle.fi/aihe/artikkeli/2014/11/28/myrkkymaa-uhkasi-tuhansien-terveytta-helsingin-myllypurossa>

Ympäristöministeriö 2007. Maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointi [viitattu 19.10.2016]. Saatavissa:

<http://www.ym.fi/download/noname/%7B10B8A9E3-C9CE-41AF-91D9-B505F5C5E9C3%7D/37541>

Ympäristöministeriö 2014. Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta [viitattu 13.12.2016]. Saatavissa:

[https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/136564/OH\\_6\\_2014.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/136564/OH_6_2014.pdf?sequence=1)

Ympäristöministeriö 2015. Valtakunnallinen pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallintastrategia [viitattu 13.12.2016]. Saatavissa:

[https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/159058/SY\\_10\\_2015.pdf?sequence=3](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/159058/SY_10_2015.pdf?sequence=3)

YSL 527/2014. Ympäristönsuojelulaki. Saatavissa:

<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140527>

Öljy- ja biopolttoaineala ry 2015. Huoltoasemien määrä –tilasto [viitattu 28.11.2016]. Saatavissa: <http://www.oil.fi/fi/tilastot-4-huoltoasemat/41-huoltoasemien-maara>

<http://www.oil.fi/fi/tilastot-4-huoltoasemat/41-huoltoasemien-maara>

Öljy- ja biopolttoaineala ry 2016. Maaperänkunnostusohjelmat [viitattu 5.12.2016]. Saatavissa:

<http://www.oil.fi/fi/ymparisto/maaperankunnostusohjelmat>

## LIITTEET

LIITE 1. Kenttäkokeen öljyhiilivetyjen C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub> pitoisuustulokset (mg/kg ka)

LIITE 2. Laboratoriokokeen öljyhiilivetyjen C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub> pitoisuustulokset (mg/kg ka)

LIITE 3. Kenttäkokeen öljyhiilivetypitoisuudet (mg/kg ka) prosentteina

LIITE 4. Laboratoriokokeen öljyhiilivetypitoisuudet (mg/kg ka) prosentteina

LIITE 5. Kenttäkokeen tarkemmat pH-tulokset

LIITE 6. Laboratoriokokeen tarkemmat pH-tulokset



LIITE 1. Kenttäkokeen öljyhiilivetyjen C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub> pitoisuustulokset (mg/kg ka)

<b>Kontrolli</b>				
Näytteenotto-päivämäärä	Osanäytteen tunnus	Viikko	Pitoisuus (mg/kg ka)	Kolmen osanäytteen keskiarvo (mg/kg ka)
7.6.	0A	0	1040,84	
7.6.	0B	0	447,60	
7.6.	0C	0	908,19	<b>798,9</b>
8.7.	1A	4	967,34	
8.7.	1B	4	553,85	
8.7.	1C	4	437,37	<b>652,9</b>
29.8.	2A	12	566,76	
29.8.	2B	12	477,71	
29.8.	2C	12	437,73	<b>494,1</b>
12.10.	3A	18	403,47	
12.10.	3B	18	473,25	
12.10.	3C	18	445,80	<b>440,8</b>
10.11.	4A	22	240,71	
10.11.	4B	22	339,58	
10.11.	4C	22	520,21	<b>366,8</b>
<b>Öljyhiilivetyjen pitoisuus putosi 54 %</b>				

<b>Kalsiumperoksidi</b>				
Näytteenotto-päivämäärä	Osanäytteen tunnus	Viikko	Pitoisuus (mg/kg ka)	Kolmen osanäytteen keskiarvo (mg/kg ka)
7.6.	0A	0	890,51	
7.6.	0B	0	513,96	
7.6.	0C	0	630,94	<b>678,5</b>
8.7.	1A	4	814,09	
8.7.	1B	4	341,34	
8.7.	1C	4	401,32	<b>518,9</b>
29.8.	2A	12	475,31	
29.8.	2B	12	453,29	
29.8.	2C	12	483,76	<b>470,8</b>
12.10.	3A	18	421,22	
12.10.	3B	18	382,50	
12.10.	3C	18	402,81	<b>402,2</b>
10.11.	4A	22	255,57	
10.11.	4B	22	274,32	
10.11.	4C	22	249,63	<b>259,8</b>
<b>Öljyhiilivetyjen pitoisuus putosi 62 %</b>				

<b>Lihaluujauho+kalsiumperoksidi</b>				
<b>Näytteenotto-päivämäärä</b>	<b>Osanäytteen tunnus</b>	<b>Viikko</b>	<b>Pitoisuus (mg/kg ka)</b>	<b>Kolmen osanäytteen keskiarvo (mg/kg ka)</b>
7.6.	0A	0	1211,41	
7.6.	0B	0	461,59	
7.6.	0C	0	466,44	<b>713,2</b>
8.7.	1A	4	614,49	
8.7.	1B	4	255,06	
8.7.	1C	4	264,15	<b>377,9</b>
29.8.	2A	12	305,94	
29.8.	2B	12	265,24	
29.8.	2C	12	337,26	<b>302,8</b>
12.10.	3A	18	315,01	
12.10.	3B	18	388,79	
12.10.	3C	18	322,81	<b>342,2</b>
10.11.	4A	22	284,55	
10.11.	4B	22	285,88	
10.11.	4C	22	322,44	<b>297,6</b>
<b>Öljihiilivetyjen pitoisuus putosi 58 %</b>				

<b>Lihaluujauho</b>				
<b>Näytteenotto-päivämäärä</b>	<b>Osanäytteen tunnus</b>	<b>Viikko</b>	<b>Pitoisuus (mg/kg ka)</b>	<b>Kolmen osanäytteen keskiarvo (mg/kg ka)</b>
7.6.	0A	0	933,08	
7.6.	0B	0	603,69	
7.6.	0C	0	486,60	<b>674,5</b>
8.7.	1A	4	469,12	
8.7.	1B	4	202,06	
8.7.	1C	4	198,87	<b>290,0</b>
29.8.	2A	12	348,32	
29.8.	2B	12	356,97	
29.8.	2C	12	342,65	<b>349,3</b>
12.10.	3A	18	316,13	
12.10.	3B	18	338,34	
12.10.	3C	18	319,84	<b>324,8</b>
10.11.	4A	22	339,22	
10.11.	4B	22	281,30	
10.11.	4C	22	367,20	<b>329,2</b>
<b>Öljihiilivetyjen pitoisuus putosi 51 %</b>				

<b>Lihaluujauho+puuhake</b>				
<b>Näytteenotto-päivämäärä</b>	<b>Osanäytteen tunnus</b>	<b>Viikko</b>	<b>Pitoisuus (mg/kg ka)</b>	<b>Kolmen osanäytteen keskiarvo (mg/kg ka)</b>
7.6.	0A	0	1175,74	
7.6.	0B	0	679,52	
7.6.	0C	0	348,44	<b>734,6</b>
8.7.	1A	4	818,60	
8.7.	1B	4	454,15	
8.7.	1C	4	481,78	<b>584,8</b>
29.8.	2A	12	135,62	
29.8.	2B	12	333,92	
29.8.	2C	12	740,21	<b>403,3</b>
12.10.	3A	18	94,18	
12.10.	3B	18	145,61	
12.10.	3C	18	161,36	<b>133,7</b>
10.11.	4A	22	303,03	
10.11.	4B	22	297,44	
10.11.	4C	22	277,00	<b>292,5</b>
<b>Öljihiilivetyjen pitoisuus putosi 60 %</b>				

<b>Puuhake</b>				
<b>Näytteenotto-päivämäärä</b>	<b>Osanäytteen tunnus</b>	<b>Viikko</b>	<b>Pitoisuus (mg/kg ka)</b>	<b>Kolmen osanäytteen keskiarvo (mg/kg ka)</b>
7.6.	0A	0	960,95	
7.6.	0B	0	437,20	
7.6.	0C	0	563,42	<b>653,9</b>
8.7.	1A	4	319,08	
8.7.	1B	4	162,79	
8.7.	1C	4	169,86	<b>217,2</b>
29.8.	2A	12	89,21	
29.8.	2B	12	99,46	
29.8.	2C	12	102,46	<b>97,0</b>
12.10.	3A	18	421,74	
12.10.	3B	18	343,62	
12.10.	3C	18	306,51	<b>357,3</b>
10.11.	4A	22	94,87	
10.11.	4B	22	62,31	
10.11.	4C	22	113,40	<b>90,2</b>
<b>Öljihiilivetyjen pitoisuus putosi 86 %</b>				

LIITE 2. Laboratoriokokeen öljyhiilivetyjen C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub> pitoisuustulokset (mg/kg ka)

<b>Kontrolli</b>				
<b>Näytteenotto-päivämäärä</b>	<b>Näyte tunnus (0-6/ABC)</b>	<b>Viikko (0-22)</b>	<b>mg/kg ka. (a-c)</b>	<b>mg/kg ka. keskiarvo</b>
29.6.	0A	0	752,77	
29.6.	0B	0	691,65	
29.6.	0C	0	643,14	695,9
27.7.	1A	4	447,69	
27.7.	1B	4	654,63	
27.7.	1C	4	465,22	522,5
18.8.	2A	7	223,11	
18.8.	2B	7	324,27	
18.8.	2C	7	261,84	269,7
9.9.	3A	10	277,29	
9.9.	3B	10	243,9	
9.9.	3C	10	270,05	263,8
10.10.	4A	15	253,18	
10.10.	4B	15	197,83	
10.10.	4C	15	231,46	227,5
4.11.	5A	18	200,69	
4.11.	5B	18	192,3	
4.11.	5C	18	175,33	189,4
1.12.	6A	22	155,25	
1.12.	6B	22	147,51	
1.12.	6C	22	170,4	157,7
<b>Öljyhiilivetypitoisuus putosi 77 %</b>				

<b>Kalsiumperoksidi</b>				
<b>Näytteenotto- päivämäärä</b>	<b>Näyte tunnus (0-6/ABC)</b>	<b>Viikko (0-22)</b>	<b>mg/kg ka. (a-c)</b>	<b>mg/kg ka. keskiarvo</b>
29.6.	0A	0	845,88	
29.6.	0B	0	657,92	
29.6.	0C	0	606,85	703,6
27.7.	1A	4	633,51	
27.7.	1B	4	491,65	
27.7.	1C	4	514,75	546,6
18.8.	2A	7	572,88	
18.8.	2B	7	354,34	
18.8.	2C	7	626,08	517,8
9.9.	3A	10	221,66	
9.9.	3B	10	209,81	
9.9.	3C	10	273,12	234,9
10.10.	4A	15	174,39	
10.10.	4B	15	178,5	
10.10.	4C	15	165,89	172,9
4.11.	5A	18	118,39	
4.11.	5B	18	95,85	
4.11.	5C	18	134,52	116,3
1.12.	6A	22	58,51	
1.12.	6B	22	68,25	
1.12.	6C	22	72,99	66,6
<b>Öljyhiilivetyttöisyys putosi 91 %</b>				

<b>Lihaluujauho+kalsiumperoksidi</b>				
<b>Näytteenotto-päivämäärä</b>	<b>Näyte tunnus (0-6/ABC)</b>	<b>Viikko (0-22)</b>	<b>mg/kg ka. (a-c)</b>	<b>mg/kg ka. keskiarvo</b>
29.6.	0A	0	765,42	
29.6.	0B	0	708,52	
29.6.	0C	0	711,62	728,5
27.7.	1A	4	390,46	
27.7.	1B	4	405,41	
27.7.	1C	4	419,67	405,2
18.8.	2A	7	369,9	
18.8.	2B	7	359,22	
18.8.	2C	7	356,17	361,8
9.9.	3A	10	413,12	
9.9.	3B	10	422,94	
9.9.	3C	10	347,78	394,6
10.10.	4A	15	416,85	
10.10.	4B	15	375,03	
10.10.	4C	15	356,53	382,8
4.11.	5A	18	252,04	
4.11.	5B	18	279,97	
4.11.	5C	18	244,32	258,8
1.12.	6A	22	180,45	
1.12.	6B	22	209,86	
1.12.	6C	22	188,46	192,9
<b>Öljyhiilivetyttöisyys putosi 74 %</b>				

<b>Lihaluu jauho</b>				
<b>Näytteenotto-päivämäärä</b>	<b>Näyte tunnus (0-6/ABC)</b>	<b>Viikko (0-22)</b>	<b>mg/kg ka. (a-c)</b>	<b>mg/kg ka. keskiarvo</b>
29.6.	0A	0	598,06	
29.6.	0B	0	665,98	
29.6.	0C	0	668,38	644,1
27.7.	1A	4	329,27	
27.7.	1B	4	352,43	
27.7.	1C	4	370,04	350,6
18.8.	2A	7	359,47	
18.8.	2B	7	399,13	
18.8.	2C	7	288,29	349,0
9.9.	3A	10	369,03	
9.9.	3B	10	275,85	
9.9.	3C	10	407,29	350,7
10.10.	4A	15	321,2	
10.10.	4B	15	298,46	
10.10.	4C	15	362,38	327,4
4.11.	5A	18	226,72	
4.11.	5B	18	248,85	
4.11.	5C	18	314,29	263,3
1.12.	6A	22	271,64	
1.12.	6B	22	199,52	
1.12.	6C	22	212,62	227,9
<b>Öljyhiilivetyttöisyys putosi 65 %</b>				

<b>Lihaluujauho+puuhake</b>				
<b>Näytteenotto- päivämäärä</b>	<b>Näyte tunnus (0-6/ABC)</b>	<b>Viikko (0-22)</b>	<b>mg/kg ka. (a-c)</b>	<b>mg/kg ka. keskiarvo</b>
29.6.	0A	0	530,73	
29.6.	0B	0	755,18	
29.6.	0C	0	677,77	654,6
27.7.	1A	4	414,21	
27.7.	1B	4	348,89	
27.7.	1C	4	305,28	356,1
18.8.	2A	7	181,94	
18.8.	2B	7	292,71	
18.8.	2C	7	240,93	238,5
9.9.	3A	10	155,72	
9.9.	3B	10	202,84	
9.9.	3C	10	225,81	194,8
10.10.	4A	15	180,34	
10.10.	4B	15	162,61	
10.10.	4C	15	224,79	189,3
4.11.	5A	18	111,51	
4.11.	5B	18	119,34	
4.11.	5C	18	122,7	117,9
1.12.	6A	22	116,28	
1.12.	6B	22	105,13	
1.12.	6C	22	220,73	147,4
<b>Öljyhiilivetyttöisyys putosi 77 %</b>				



<b>Puuhake</b>				
<b>Näytteenotto- päivämäärä</b>	<b>Näyte tunnus (0-6/ABC)</b>	<b>Viikko (0-22)</b>	<b>mg/kg ka. (a-c)</b>	<b>mg/kg ka. keskiarvo</b>
29.6.	0A	0	514,73	
29.6.	0B	0	552,66	
29.6.	0C	0	517,44	528,3
27.7.	1A	4	231,79	
27.7.	1B	4	234,28	
27.7.	1C	4	258,78	241,6
18.8.	2A	7	165,25	
18.8.	2B	7	642,38	
18.8.	2C	7	123,91	310,5
9.9.	3A	10	76,48	
9.9.	3B	10	65,98	
9.9.	3C	10	147,37	96,6
10.10.	4A	15	38,31	
10.10.	4B	15	105,11	
10.10.	4C	15	92,52	78,7
4.11.	5A	18	59,18	
4.11.	5B	18	61,34	
4.11.	5C	18	71,29	63,9
1.12.	6A	22	35,2	
1.12.	6B	22	56,5	
1.12.	6C	22	0	30,6
<b>Öljyhiilivetyttöisyys putosi 94 %</b>				

LIITE 3. Kenttäkokeen öljyhiilivetyypitoisuudet (mg/kg ka) prosentteina

	Alkutilanne	Viikko 4	Viikko 12	Viikko 18	Viikko 22	Tulokset (%)
<b>Kontrolli</b>	<b>799</b>	<b>653</b>	<b>494</b>	<b>441</b>	<b>367</b>	
Haitta-ainetta jäljellä	100 %	81,7 %	61,8 %	55,2 %	45,9 %	45,9 %
Haitta-ainetta puhdistunut	0 %	18,3 %	38,2 %	44,8 %	54,1 %	<b>54,1 %</b>
<b>CaO<sub>2</sub></b>	<b>678</b>	<b>519</b>	<b>471</b>	<b>402</b>	<b>260</b>	
Jäljellä	100 %	76,5 %	69,4 %	59,3 %	38,3 %	38,3 %
Puhdistunut	0 %	23,5 %	30,6 %	40,7 %	61,7 %	<b>61,7 %</b>
<b>LLJ+CaO<sub>2</sub></b>	<b>713</b>	<b>378</b>	<b>303</b>	<b>342</b>	<b>260</b>	
Jäljellä	100 %	53,0 %	42,5 %	48,0 %	36,4 %	36,4 %
Puhdistunut	0 %	47,0 %	57,5 %	52,0 %	63,6 %	<b>63,6 %</b>
<b>LLJ</b>	<b>674</b>	<b>290</b>	<b>349</b>	<b>325</b>	<b>329</b>	
Jäljellä	100 %	43,0 %	51,8 %	48,2 %	48,8 %	48,8 %
Puhdistunut	0 %	57,0 %	48,2 %	51,8 %	51,2 %	<b>51,2 %</b>
<b>LLJ+Puuhake</b>	<b>735</b>	<b>585</b>	<b>403</b>	<b>134</b>	<b>292</b>	
Jäljellä	100 %	79,6 %	54,9 %	18,2 %	39,8 %	39,8 %
Puhdistunut	0 %	20,4 %	45,1 %	81,8 %	60,2 %	<b>60,2 %</b>
<b>Puuhake</b>	<b>654</b>	<b>217</b>	<b>97</b>	<b>357</b>	<b>90</b>	
Jäljellä	100 %	33,2 %	14,8 %	54,6 %	13,8 %	13,8 %
Puhdistunut	0 %	66,8 %	85,2 %	45,4 %	86,2 %	<b>86,2 %</b>

LIITE 4. Laboratoriokokeen öljyhiilivetytitoisuudet (mg/kg ka) prosentteina

	Alku-tilanne	Viikko 4	Viikko 7	Viikko 10	Viikko 15	Viikko 18	Viikko 22	Tulokset (%)
<b>Kontrolli</b>	<b>696</b>	<b>523</b>	<b>270</b>	<b>264</b>	<b>227</b>	<b>189</b>	<b>158</b>	
Haitta-ainetta jäljellä	100 %	75,1 %	38,8 %	37,9 %	32,7 %	27,2 %	22,7 %	22,7 %
Haitta-ainetta puhdistunut	0 %	24,9 %	61,2 %	62,1 %	67,3 %	72,8 %	77,3 %	<b>77,3 %</b>
<b>CaO<sub>2</sub></b>	<b>704</b>	<b>547</b>	<b>518</b>	<b>235</b>	<b>173</b>	<b>116</b>	<b>67</b>	
Jäljellä	100 %	77,7 %	73,6 %	33,4 %	24,6 %	16,5 %	9,5 %	9,5 %
Puhdistunut	0 %	22,3 %	26,4 %	66,6 %	75,4 %	83,5 %	90,5 %	<b>90,5 %</b>
<b>LLJ+CaO<sub>2</sub></b>	<b>729</b>	<b>405</b>	<b>362</b>	<b>395</b>	<b>383</b>	<b>259</b>	<b>193</b>	
Jäljellä	100 %	55,6 %	49,7 %	54,2 %	52,5 %	35,5 %	26,5 %	26,5 %
Puhdistunut	0 %	44,4 %	50,3 %	45,8 %	47,5 %	64,5 %	73,5 %	<b>73,5 %</b>
<b>LLJ</b>	<b>644</b>	<b>351</b>	<b>349</b>	<b>351</b>	<b>327</b>	<b>263</b>	<b>228</b>	
Jäljellä	100 %	54,4 %	54,2 %	54,4 %	50,8 %	40,9 %	35,4 %	35,4 %
Puhdistunut	0 %	45,6 %	45,8 %	45,6 %	49,2 %	59,1 %	64,6 %	<b>64,6 %</b>
<b>LLJ+Puuhake</b>	<b>655</b>	<b>356</b>	<b>239</b>	<b>195</b>	<b>189</b>	<b>118</b>	<b>147</b>	
Jäljellä	100 %	54,4 %	36,4 %	29,8 %	28,9 %	18,0 %	22,5 %	22,5 %
Puhdistunut	0 %	45,6 %	63,6 %	70,2 %	71,1 %	82,0 %	77,5 %	<b>77,5 %</b>
<b>Puuhake</b>	<b>528</b>	<b>242</b>	<b>311</b>	<b>97</b>	<b>79</b>	<b>64</b>	<b>31</b>	
Jäljellä	100 %	45,7 %	58,8 %	18,3 %	14,9 %	12,1 %	5,8 %	5,8 %
Puhdistunut	0 %	54,3 %	41,2 %	81,7 %	85,1 %	87,9 %	94,2 %	<b>94,2 %</b>

LIITE 5. Kenttäkokeen tarkemmat pH-tulokset

Päivämäärä	Viikko	Kontrolli	CaO <sub>2</sub>	LLJ+CaO <sub>2</sub>	LLJ	LLJ+Puuhake	Puuhake	CaCl
8.6.16	0	6,27	10,53	10,26	6,18	5,72	6,43	6,38
12.7.16	4	6,33	10,44	7,76	7,59	8,06	6,97	6,38
30.8.16	12	6,38	10,37	7,97	7,65	7,47	6,56	6,35
13.10.16	18	6,57	10,10	8,61	7,58	6,72	6,40	6,36
11.11.16	22	6,67	8,92	8,01	7,33	6,54	6,70	6,48

LIITE 6. Laboratoriokokeen tarkemmat pH-tulokset

Päivämäärä	Viikko	Kontrolli	CaO <sub>2</sub>	LLJ+CaO <sub>2</sub>	LLJ	LLJ+Puuhake	Puuhake	CaCl
1.7.16	0	6,60	10,54	7,25	7,12	7,03	6,69	6,66
7.7.16	1	6,57	10,47	8,05	8,26	8,24	6,75	6,76
14.7.16	2	6,51	10,32	8,41	8,59	8,48	7,09	6,70
27.7.16	4	6,59	10,22	8,58	8,58	8,43	6,78	6,60
4.8.16	5	6,47	10,19	8,62	8,62	8,48	6,86	6,59
11.8.16	6	6,50	9,83	8,59	8,60	8,38	6,92	6,66
18.8.16	7	6,40	9,78	8,52	8,60	8,33	6,98	6,60
1.9.16	9	6,43	9,04	8,42	8,47	8,08	6,87	6,54
9.9.16	10	6,41	7,88	8,44	8,43	7,94	6,86	6,50
30.9.16	13	6,38	8,52	8,61	8,33	6,71	6,90	6,54
21.10.16	16	6,84	8,28	9,56	7,15	6,80	7,06	6,38
4.11.16	18	6,40	7,92	7,84	7,06	6,47	6,76	6,45
1.12.16	22	6,41	8,13	8,83	7,08	6,30	6,89	6,38