

**ÖLJYHIILIVEDYILLÄ PILAANTUNEEN MAAPERÄN
RISKINARVIOINTI**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Forssa, Kestävän kehitys

Kevät, 2020

Meri Helmi

Kestävä Kehitys

Forssa

Tekijä	Meri Helmi	Vuosi 2020
Työn nimi	Öljihiilivedyillä pilaantuneen maaperän riskinarviointi	
Työn ohjaaja	Rauni Varkia	

TIIVISTELMÄ

Etelä-Suomessa sijaitsevalla tehdaskiinteistöllä kunnostettiin öljyhiilivedyillä pilaantunutta maaperää syksyllä 2018. Rakenneteknisistä syistä tehdasrakennuksen alla olevaa öljyhiilivedyillä pilaantunutta maata ei saatu poistettua. Opinnäytetyön tavoitteena oli laatia kohteeseen riskinarviointi, jossa määritetään maaperään jääneiden öljyhiilivetyjen aiheuttamat terveydelliset riskit, kulkeutumiskit sekä ekologiset riskit. Riskinarvioinnissa huomioitiin rakennuksen ja sen ympäristön käyttötarkoitus.

Työn tilaaja on PH Ympäristötekniikka Oy, joka valvoi myös kohteen pilaantuneen maaperän kunnostuksen. Opinnäytetyössä riskinarviointia taustoitetaan teorian avulla maaperänsuojelun lainsäädännöstä, öljyhiilivetyjen ominaisuuksista, pilaantuneen maaperän kunnostuksesta sekä riskinarvioinnin käsitteellisen mallin menetelmästä.

Riskinarviointi on tehty käsitteellisen mallin menetelmällä. Riskinarvioinnin lähtötietoina käytettiin maaperän ja vesistön haitta-ainetutkimusten tuloksia, alueen maankäytön tietoja, toimintahistoriatietoja, maaperäolosuhteita, alueen pohjavesi- ja pintavesitietoja sekä öljyhiilivetyjen ominaisuuksiin liittyvää teoriaa.

Riskinarvioinnin johtopäätöksenä voidaan todeta, että maaperään jääneillä haitta-aineilla ei arvioida olevan kulkeutumiskit, joka aiheuttaisi terveys- tai ekologisia riskejä. Riskinarvioinnin tulosten perusteella kohteessa ei tutkitun alueen osalta ole maaperän jatkokunnostustarvetta alueen käyttömuodon säilyessä ennallaan.

Avainsanat pilaantunut maaperä, pilaantuneen maaperän kunnostus, riskinarviointi, öljyhiilivedyt

Sivut 49 sivua

Degree Programme in Sustainable Development
Forssa

Author	Meri Helmi	Year 2020
Subject	Risk Assessment of Soil Contaminated with Petroleum Hydrocarbons	
Supervisor	Rauni Varkia	

ABSTRACT

A soil, contaminated with petroleum hydrocarbons, was remediated at factory premises in southern Finland during autumn 2018. For structural reasons, the contaminated soil under the factory building could not be removed. Therefore, the aim of the thesis was to prepare a risk assessment, where the health risks, spreading risks and ecological risks caused by petroleum hydrocarbons left in the soil were determined. The intended use of the site and its surroundings were also discussed in the risk assessment.

The commissioner of this work is PH Ympäristötekniikka Oy, which also supervised the remediation of the contaminated soil. In the thesis, the risk assessment was supported by theoretical information on soil protection legislation, the properties of petroleum hydrocarbons, the remediation of contaminated soil and the method of the conceptual model of the risk assessment.

The risk assessment was carried out by using the method of a conceptual model. The results of the risk assessment were based on the results of soil and water pollutant studies, land use data, operational history data, soil conditions, groundwater and surface water data and theory related to the properties of petroleum hydrocarbons.

The conclusion of the risk assessment was that the contaminants left in the soil were not considered to present any risk of spreading, which could constitute a health or ecological risk. Finally, based on the results of the risk assessment, there is no need for further soil remediation on the site of the studied area when the intended use of the site remains unchanged.

Keywords contaminated soil, remediation of contaminated soil, risk assessment, petroleum hydrocarbons

Pages 49 pages

ESIPUHE

Aloitin työni PH Ympäristötekniikka Oy:ssä vuonna 2018 muun muassa perehtymällä maaperän haitta-ainetutkimuksiin ja pilaantuneen maaperän kunnostuksen ohjaamiseen ja valvontaan, joista ensimmäisiä kohteita oli saamamme toimeksianto opinnäytetyöhöni liittyvän tehdasrakennuksen kiinteistöllä. Työssäni osallistuin yhdessä työnantajani kanssa öljyhiilivedyillä pilaantuneen maaperän kunnostuksen suunnitteluun, kenttätyössä valvontaan ja ohjaukseen sekä laadin loppuraportin.

Kohteeseen jäänyt pilaantunut maa edellytti riskinarvioinnin tekemistä. Riskinarvioinnin todettiin sopivan hyvin opinnäytetyön aiheeksi, joten sain sen tehtäväkseni. Erityisesti haluan kiittää työni ohjaamisesta ja asiantuntemuksen jakamisesta Petra Piirosta (diplomi-insinööri, Yhdyskunta- ja ympäristötekniikka). Sain Petralta riskinarvion teoriaan perehtymiseen ja laadittamiseen arvokasta tietoa sekä tukea myös opinnäytetyöprosessin läpiviemiseen.

Lisäksi haluan kiittää työnantajaani PH Ympäristötekniikka Oy:tä ja Paula Helmiä opinnäytetyöni aiheen antamisesta ja opinnäytetyöni ohjaamisesta. Haluan kiittää myös Hämeen ammattikorkeakoulun lehtoreita Rauni Varkiaa ja Sanna Hakkarasta opinnäytetyöni ohjaamisesta ja kommentoinista sekä koulutuksen aikaisista opinnoista.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	ÖLJYHIILIVEDYILLÄ PILAANTUNUT MAAPERÄ	2
2.1	Maaperänsuojeluun liittyvä lainsäädäntö.....	2
2.1.1	Ympäristönsuojelulaki	2
2.1.2	Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista.....	3
2.2	Öljyhiilivetyjen vaikutukset ja ominaisuudet	5
2.2.1	Öljyhiilivedyt maaperässä.....	5
2.2.2	Öljyhiilivedyt pohjavedessä	6
2.2.3	Öljyhiilivedyt pintavesissä	7
2.2.4	Yleisimmät öljyvahinkoyhdisteet ja niiden ominaisuudet	7
2.2.5	Haitta-aineiden ja ympäristön huomiointi näytteenotossa	8
2.3	Pilaantuneen maaperän kunnostus	9
2.3.1	Pilaantuneen maaperän kunnostushankkeen vaiheet.....	9
2.3.2	Näytteenotto	11
2.3.3	Pilaantuneen maaperän kunnostusmenetelmät.....	13
2.3.4	Pilaantuneiden maiden kunnostus Suomessa.....	16
2.3.5	Kestävä kunnostus.....	19
2.4	Pilaantuneen maaperän riskinarviointi	21
2.4.1	Menetelmät – käsitteellinen malli.....	21
2.4.2	Ohjearvojen käyttö riskinarvioinnissa	23
2.4.3	Riskinarvioinnin tavoitteet ja lähtötiedot	23
2.4.4	Kulkeutumis- ja altistumisreitit	25
2.4.5	Öljyhiilivedyt riskinarvioinnissa	26
2.4.6	Öljyhiilivetyjen aiheuttamat riskit	27
2.4.7	Riskinarvioinnin luotettavuuden arviointi	28
3	KEHITTÄMISTYÖN TAVOITE JA TARKOITUS	29
3.1	Riskinarvioinnin tavoite ja tarkoitus.....	29
3.2	Käytetty menetelmä.....	30
3.3	Kohteen yleistiedot riskinarvioinnin perustaksi.....	30
3.3.1	Maankäyttö	30
3.3.2	Maaperätiedot.....	31
3.3.3	Pohjavesitiedot.....	32
3.3.4	Vesistötiedot.....	32
4	KOHDEKOHTAINEN RISKINARVIOINTI	33
4.1	Riskinarvioinnin lähtötiedot	33
4.1.1	Kohteen kunnostushistoria	34
4.1.2	Vaihtoehtoisten kunnostusmenetelmien arviointi	35
4.1.3	Riskinarvioinnin tavoite	36
4.1.4	Näytteenotto	36
4.1.5	Haitta-aineiden esiintyminen	39
4.2	Kulkeutumis- ja altistumisreitit	40

4.2.1	Suora kosketus.....	41
4.2.2	Haihtuminen sisäilmaan	41
4.2.3	Haihtuminen ulkoilmaan	41
4.2.4	Pölyäminen	41
4.2.5	Pintavalunta.....	41
4.2.6	Kulkeutuminen pohjaveden mukana	42
4.3	Kohdekohtaisen riskinarvion riskit	42
4.3.1	Terveysriskit.....	42
4.3.2	Ekologiset riskit.....	42
4.3.3	Kulkeutumisriskit	43
4.4	Epävarmuustarkastelu	43
5	RISKINARVION JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	44
	LÄHTEET	47

1 JOHDANTO

Etelä-Suomessa sijaitsevalla tehdaskiinteistöllä kunnostettiin öljyhiilivedyillä pilaantunutta maaperää tutkimuskaivuuna syksyllä 2018. Kiinteistöllä on historiaa teollisuusalueena, ja konepajatoiminta alueella on alkanut riskinarvion tilaajalta saatujen tietojen mukaan 1970-luvun alussa.

Tehdasrakennuksen laajennusosan pohjarakennustöiden yhteydessä poistettiin kaksi maanalaista työstö-öljysäiliötä, jolloin hallin itäpäädyssä sijainneen öljysäiliön ympärillä havaittiin maaperässä öljyä. Säiliöön oli johdettu työstö-öljyseosta, joka koostui hydraulioöljystä ja lastuamiseen käytettävistä lisäaineista.

Öljyhiilivedyillä pilaantuneen maa-aineksen massanvaihto suoritettiin 17.8.2018–5.10.2018. Massanvaihdon yhteydessä selvitettiin maaperän pilaantuneisuutta kenttämittauksin ja laboratorioanalysein. Kunnostuksen ohjasi ja valvoi PH Ympäristötekniikka Oy ELY-keskuksen päätöksen vaatimusten mukaisesti.

Rakenneteknisistä syistä tehdasrakennuksen alla olevaa öljyhiilivedyillä pilaantunutta maata ei saatu poistettua. Rakennuksen alle jäänyttä aluetta lukuun ottamatta kunnostustavoitteet saavutettiin C₁₀–C₄₀ öljyhiilivedyille *Valtioneuvoston asetuksen maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista (214/2007)* ylempien ohjearvojen mukaisesti. ”Ylempi ohjevaro on haitallisen aineen pitoisuusarvo, jonka ylittyessä maaperää pidetään yleensä pilaantuneena alueella, jota käytetään teollisuus-, varastotai liikennealueena taikka muuna vastaavana alueena, ellei kohdekohtaisella riskinarvioinnilla ole toisin osoitettu” (Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista 214/2007).

Haitta-aineiden jääminen kunnostetun alueen ulkopuolelle edellytti riskinarvioinnin laatimista ympäristö- ja terveyshaittojen merkittävyyden määrittämiseksi. Työn tavoitteena on arvioida maaperään jääneiden haitta-aineiden aiheuttamat terveydelliset riskit, kulkeutumisriskit sekä ekologiset riskit. Riskinarvioinnissa huomioidaan rakennuksen ja sen ympäristön käytötarkoitus.

Opinnäytetyön tilaaja on PH Ympäristötekniikka Oy. Opinnäytetyö pitää sisällään maaperänsuojeluun liittyvän lainsäädännön perusteet, öljyhiilivedyiden ympäristö- ja terveysvaikutusten ja niiden ominaisuuksien teoriaa, pilaantuneen maaperän kunnostuksen sekä pilaantuneita maita koskevan riskinarvioinnin menetelmän esittelyn ja tavoitteet. Kohdekohtaisessa riskinarvioinnissa sovelletaan teoria- ja taustatietoa Etelä-Suomessa sijaitsevan tehdaskiinteistön riskinarviointiin. Opinnäytetyön lopussa esitellään riskinarvioinnin johtopäätökset.

2 ÖLJYHIILIVEDYILLÄ PILAANTUNUT MAAPERÄ

Maaperän puhdistustarvetta arvioitaessa tulee maaperää pilaavat haitta-aineet tunnistaa ja ymmärtää niiden ominaisuudet sekä tiedostaa maaperänsuojeluun liittyvän lainsäädännön vaatimukset. Eri haitta-aineet käyttäytyvät eri tavoin maaperässä ja pohja- ja pintavesissä. Haitta-aineiden käyttäytymismallit tuntemalla voidaan pilaantuneen maaperän kunnostus suunnitella ja ohjata tehokkaasti. Tässä luvussa kootaan yhteen öljyhiilivedyillä pilaantuneen maaperän kunnostamiseen ja pilaantuneen maaperän riskinarviointiin liittyvä teoretinen opinnäytetyön toiminnallisen osuuden pohjaksi.

2.1 Maaperänsuojeluun liittyvä lainsäädäntö

Pilaantuneen maaperän lainsäädännölliset asiat liittyvät kiinteästi maaperänsuojelun lainsäädäntöön. Seuraavissa alaluvuissa käsitellään maaperänsuojeluun liittyvää lainsäädäntöä ympäristönsuojelulain 527/2014 sekä Valtioneuvoston asetuksen maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista 214/2007, eli niin sanotun ”PIMA-asetuksen” avulla.

2.1.1 Ympäristönsuojelulaki

Keskeisin maaperän pilaamista ja pilaantuneiden alueiden kunnostusta ohjaavista säädöksistä on ympäristönsuojelulaki 527/2014. Pilaantuneen maaperän kunnostuksessa pois kaivettavat pilaantuneet maamassat ovat jätteitä, joiden käsittelyä ohjaa jätelainsäädäntö. (Ympäristöministeriö, 2019)

Ympäristönsuojelulakia sovelletaan toimintaan, joka saattaa aiheuttaa ympäristön pilaantumista (Ympäristönsuojelulaki 527/2014, §2). Ympäristönsuojelulain tarkoituksena on:

- ennaltaehkäistä ympäristön pilaantumista, vähentää tai ehkäistä päästöjä ja poistaa ympäristön pilaantumisesta aiheutuvia haittoja
- luoda olosuhteet terveelliselle ja monimuotoiselle ympäristölle
- tukea kestävästä kehityksestä ja edistää luonnonvarojen kestävästä käytöstä
- vähentää jätteen määrää sekä ehkäistä jätteiden vaikutuksia ympäristöön
- torjua ilmastonmuutosta
- parantaa ympäristölle haitallisen toiminnan vaikutusten arviointia sekä
- tehostaa yksilöiden mahdollisuuksia vaikuttaa ympäristöön liittyvään päätöksentekoon. (Ympäristönsuojelulaki 527/2014, §1)

Ympäristönsuojelulaissa on määritelty maaperän ja pohjaveden pilaamis-kielto (Ympäristönsuojelulaki 527/2014, §16 ja §17). Maaperän pilaamis-kiellon mukaan maahan ei saa päästää tai jättää jätettä tai muuta ainetta,

jonka seurauksena maaperän laatu voi heiketä aiheuttaen haittaa tai vaaraa ympäristölle tai vähentää viihtyisyyttä (Ympäristönsuojelulaki 527/2014, §16).

Pohjaveden pilaamiskielto pyrkii suojelemaan pohjaveden laatua. Se kieltää vaaraa aiheuttavien aineiden, energian tai pieneliöiden käsittelyn tai päästön sellaiseen paikkaan, että tärkeällä tai vedenhankintaan soveltuvalla pohjavesialueella voi aiheutua vaaraa tai haittaa aiheuttava veden laadun muutos, tai pohjaveden laatu voi muuten olennaisesti huonontua. Näiden aineiden käsittely tai päästö pohjaveteen ei saa aiheuttaa toisen kiinteistön pohjaveden laadun muutoksen kautta vaaraa tai haittaa ympäristölle tai terveydelle, eivätkä toimenpiteet saa muutoin loukata yleistä tai toisen yksityistä etua. (Ympäristönsuojelulaki 527/2014, §17).

Ympäristönsuojelulain 14 luku määrää pilaantuneen maaperän ja pohjaveden puhdistamisvelvollisuudesta. Ympäristönsuojelulain §133 mukaan pilaantuneen maaperän tai pohjaveden puhdistamisesta vastaa se taho, jonka toiminnasta pilaantuminen on aiheutunut. Pilaantunut alue tulee saattaa siihen tilaan, että siitä ei aiheudu vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle.

Joskus ympäristön pilaantumisen aiheuttajaa ei saada selville tai vastamaan puhdistusvelvollisuudestaan. Tällöin on kunnan vastuulla puhdistaa pilaantunut maaperä. (Ympäristönsuojelulaki 527/2014, §133)

2.1.2 Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista

Valtioneuvoston asetuksen maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista 214/2007 §2 mukaan arviointi perustuu arvioon maaperässä olevien haitta-aineiden aiheuttamasta haitasta tai vaarasta ympäristölle ja terveydelle. Arvioinnissa huomioidaan:

- haitta-aineiden määrät, ominaisuudet, pitoisuudet ja sijainti. Pitoisuuksia arvioitaessa tulee huomioida myös kyseisen aineen luontainen taustapitoisuus maaperässä
- pilaantuneen tai pilaantuneeksi epäillyn alueen maaperä- ja pohjavesitekijät. Lisäksi huomioidaan haitta-aineiden kulkeutumiseen ja leviämiseen vaikuttavat tekijät
- pilaantuneen alueen tai pilaantuneeksi epäillyn alueen nykyinen ja suunniteltu maankäyttömuoto
- pitkän ja lyhyen aikavälin altistumismahdollisuus sekä altistumisen terveydelle ja ympäristölle aiheutuvan haitan vakavuus ja todennäköisyys
- arviointimenetelmien ja käytettävissä olevien lähtö- ja tutkimustietojen epävarmuustekijät.

Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista sisältää liitteen, jossa on esitettyinä eräiden yleisesti

esiintyvien maaperän haitta-aineiden pitoisuuksien kynnys- ja ohjearvot. Liitteessä eritellään myös eri öljyhiilivetyjakeiden kynnys- ja ohjearvot. (Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista 214/2007)

Jos yhden tai useamman haitta-aineen pitoisuus ylittää asetuksen liitteessä säädetyn kynnysarvon, tulee pilaantuneisuus ja puhdistustarve arvioida. Haitta-aineen luontaisen alueellisen taustapitoisuuden ollessa kynnysarvoa korkeampi, käytetään arviointikynnyksenä taustapitoisuutta. (Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista 214/2007, §3) Mikäli olosuhteet muuttuvat, arvioidaan maaperän pilaantuneisuus ja puhdistustarve tarvittaessa uudestaan (Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista 214/2007, §2).

Kynnysarvon ylittävien pitoisuuksien arvioinnissa käytetään hyödyksi asetuksen liitteen mukaisia ohjearvoja. Maaperää, jota käytetään teollisuus-, varasto- tai liikennealueena tai muuna vastaavana alueena pidetään pilaantuneena, mikäli yhden tai useamman liitteessä esitetyn haitta-aineen pitoisuus ylittää ylemmän ohjearvon. Alempaa ohjearvoa hyödynnetään arvioitaessa muussa käytössä olevien alueiden puhdistustarvetta. (Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista 214/2007, §4)

Asetuksen liitteessä on öljyhiilivedyillä pilaantuneille maille annettu taulukossa 1 olevat kynnys- ja ohjearvot. Kynnysarvona voidaan pitää 300 mg/kg, jonka ylittyessä voidaan maaperässä epäillä olevan öljyhiilivetyjä. Teollisuus-, varasto- tai liikennekäytössä olevalla alueella maaperän haitta-ainepitoisuuksien tulee alittaa ylemmän ohjearvon pitoisuudet. (Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista 214/2007)

Taulukko 1. Maaperän haitallisten aineiden pitoisuuksien kynnys- ja ohjearvot, öljyhiilivedyt (Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista 214/2007)

Öljyhiilivetyjakeet, mg/kg	Kynnys-arvo	Alempi ohjearvo	Ylempi ohjearvo
Bensiinijakeet, (C ₅ –C ₁₀)		100	500
Keskitisleat, (>C ₁₀ –C ₂₁)		300	1000
Raskaat öljyjakeet, (>C ₂₁ –C ₄₀)		600	2000
Öljyjakeet, (>C ₁₀ –C ₄₀)	300		

2.2 Öljyhiilivetyjen vaikutukset ja ominaisuudet

Öljyhiilivetyjen käyttäytymiseen maaperässä, pintavesissä ja pohjavesissä vaikuttavat öljyhiilivetyjen ominaisuudet, maaperä-, pintavesi- ja pohjavesiolosuhteet sekä erilaiset fysikaaliset ja kemialliset prosessit. Jotta öljyhiilivetyjen vaikutuksia voidaan arvioida ja näytteenottoa suunnitella, tulee öljyhiilivetyjen käyttäytymismallit maaperässä, vesistöissä ja pohjavedessä tuntea.

2.2.1 Öljyhiilivedyt maaperässä

Öljyhiilivetyjen, kuten muidenkin haitta-aineiden, kulkeutumiseen maaperässä vaikuttavat erilaiset fysikaaliset ja kemialliset prosessit. Prosessien tehokkuuteen vaikuttavat haitta-aineen ja maaperän ominaisuudet sekä ilmastolliset tekijät. (Heikkinen, 2000, s. 11)

Valtioneuvoston asetuksessa maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista 214/2007 öljyhiilivetyjakeille ei ole määritelty riskiperustaisia viitearvoja. Asetuksen ohjearvot öljyhiilivedyille on jaoteltu hiililuvun perusteella kolmeen jakeeseen, jotka ovat bensiinijakeet (C_5-C_{10}), keskitysleht ($>C_{10}-C_{21}$) ja raskaat öljyjakeet ($>C_{21}-C_{40}$). (Reinikainen, 2007, s. 77) Eri öljytuotteiden hiilivetykoostumus ja niiden käyttäytymisominaisuudet sekä haitallisuus vaihtelevat. Tämän vuoksi öljyjen ympäristö- ja terveysriskejä arvioidaan kokonaisöljyhiilivetytitoisuuden sijaan tavallisesti öljykomponentteittain. (Reinikainen, 2007, s. 150)

Vesi lisää haitta-aineiden kulkeutumista maaperässä. Haitta-aineiden kulkeutumiseen vaikuttavat maaperän vedenläpäisevyys, kemialliset olot, maaperän kerrosrakenne ja ilmastolliset tekijät, kuten sadanta ja lämpötila. (Heikkinen, 2000, s. 11) Nopeinta haitta-aineiden kulkeutuminen on hyvin vettä läpäisevissä, karkeissa maalajeissa, kuten hiekassa ja sorassa. Karkearakeisissa maalajeissa veden virtaus on nopeinta ja haitta-aineen reaktiot maaperän eri komponenttien kanssa vähäisiä. Hitainta haitta-aineiden kulkeutuminen on vastaavasti huonosti vettä läpäisevissä maalajeissa, kuten savessa. Haitta-aineiden kulkeutuminen maaperässä voi pysähtyä tai hidastua merkittävästi, jos ne pidättyvät maaperään. (Heikkinen, 2000, ss. 20–21)

Poltto- ja voiteluaineina käytetyt mineraaliöljyt ovat vettä kevyempiä orgaanisia kemikaaleja, LNAPL-nesteitä (light non-aqueous phase liquids). Ne voivat esiintyä maaperässä myös veteen liukenemattomana faasina. LNAPL-faasin kulkeutumiseen maaperässä vaikuttaa öljyn ominaisuus ja päästön luonne sekä maaperän ominaisuudet. Faasin lisäksi öljyhiilivedyt voivat esiintyä maa-ainekseen sitoutuneena, pohja- ja huokosveteen liuenneena tai haihtuneena huokoskaasun mukana. Maaperässä öljy kulkeutuu painovoimaisesti alaspäin, imeytyen samalla maaperän huokosiin. Hienorakeisissa maalajeissa maan pidätyskapasiteetti on suurempi, kuin karkearakeisissa maalajeissa. (Reinikainen, 2007, s. 150)

Öljyn koostumus maaperässä muuttuu pääosin liukenemisen, haihtumisen ja biologisen hajoamisen tuloksena. Öljyhiilivetyjen vesiliukoisuus ja haihtuvuus vähentyvät niiden molekyylikoon kasvaessa. Myös hajoaminen hidastuu, kun molekyylikoko suurenee. Näiden ominaisuuksien seurauksena raskaimpien öljyjakeiden suhteellinen osuus maaperän öljypitoisuudesta kasvaa ajan kuluessa. (Reinikainen, 2007, s. 151)

Maan päällä tapahtuvissa öljyvahingoissa ilmaan haihtuu vain noin 1–2 % öljystä, suurimman osan imeytyessä suoraan maaperään. Imeytymisen nopeuteen vaikuttaa maaperän rakenne ja laatu sekä öljyn viskositeetti. Kevyet polttoaineet imeytyvät vettä hyvin läpäisevään maaperään hyvin nopeasti, minuuttien ja enimmillään joidenkin tuntien aikana. Tällöin öljy painuu maaperässä alaspäin, kunnes pidättyy öljyä läpäisemättömään maaperään, kuten saveen, tai kohtaa pohjaveden pinnan. Kohdatessaan läpäisemättömän pinnan tai pohjaveden, öljy tyypillisesti leviää pinnan suuntaisesti. Raskaat öljyjakeet, kuten voiteluöljyt, imeytyvät maaperään hyvin hitaasti. Mikäli öljyä pääsee syvälle hapettomaan maahan, saattaa se säilyä maassa vuosikymmeniä. Maaperän öljyesiintymistä liukenee jatkuvasti öljyhiilivetyjä maassa liikkuviin vesiin. (Gråsten & Kiukas, 2004, ss. 11–12)

Opinnäytetyön kohteena olevan alueen tutkimustulosten perusteella maaperään jääneet öljyhiilivedyt koostuivat suurimmaksi osaksi raskaista öljyjakeista ($>C_{21}-C_{40}$). Raskaiden polttoöljyjen ja voiteluöljyjen avainyhdisteitä ovat usein PAH-yhdisteet. Avainyhdisteellä tarkoitetaan yhdisteiden haitallisinta pääkomponenttia huomioiden sen myrkyllisyyden ja kulkeutumisen. Tutkimustulosten mukaan PAH-yhdisteiden summa kunnostuksen alussa tutkituista näytteistä oli hyvin pieni, ollen alle 0,5 mg/kg.

2.2.2 Öljyhiilivedyt pohjavedessä

Öljyhiilivetyjen aikaansaamaan pohjavesien pilaantumisriskiin vaikuttavat merkittävästi öljytuotteen ominaisuudet ja pilaantumisen tapahtuma-aika. Suurimman pohjaveden pilaantumisriskin aiheuttavat tyypillisesti tuoreet kevytöljytuotepäästöt, kuten diesel- tai bensiinipäästöt. Tällöin öljy saattaa kulkeutua nopeasti erillisfaasina maaperän ja vajovesikerroksen läpi pohjaveden pintaan, jossa se leviää. Raskaammat öljytuotteet, kuten raskas polttoöljy ja voiteluaineet, saattavat myös kulkeutua erillisfaasina pohjaveen asti. Ne kuitenkin sisältävät pääosin veteen niukkaliukoisia hiilivetyjä, jotka eivät leviä merkittävästi pohjaveden mukana. Näin ollen päästön lähteen, ajankohdan ja öljytuotteen koostumuksen selvittäminen toimivat lähtökohdana pohjaveden pilaantumisriskin ja pohjavesivaikutusten arvioinnissa. (Ympäristöministeriö, 2014, s. 215; Gråsten & Kiukas, 2004, s. 11) Mikäli päästö ei ole tuore tai päästöstä on kulunut pidemmän aikaa, eikä kulkeutumista pohjaveen ole tapahtunut, voidaan pohjaveden pilaantumisriskin olettaa olevan hyvin pieni (Ympäristöministeriö, 2014, s. 215).

Maaperän öljyllä pilaantunut alue rajautuu yleensä melko pieneksi, enimmillään muutamien satojen neliömetrien kokoiseen alueeseen. Pohjavesi-esiintymien koko taas on usein neliökilometrien luokassa. Öljy ei tyypillisesti kulje öljynä tai öljykalvona pohjavedessä kovinkaan pitkiä matkoja, vaan pidättyy vuotopaikan ja sen lähiympäristön maaperään. Öljyllä pilaantuneesta maaperästä pohjaveteen liukenevat öljyhiilivedyt voivat aiheuttaa maku- ja hajuhaittoja veteen, mikäli maaperää ei puhdisteta tai estetä pohjaveden virtaus pilaantuneen alueen kautta. (Gråsten & Kiukas, 2004, s. 12) Hyvinkin pienet öljymäärät (0,001–1,0 mg/l) aiheuttavat maku- ja hajuhaittoja pohjaveteen tehden juomaveden kelvottomaksi (Leinonen, Orava & Raatikainen, 2007, s. 19).

2.2.3 Öljyhiilivedyt pintavesissä

Pintavesiin joutuessaan öljyhiilivedyt voivat pilata vesistöjä ja niiden rantojen maaperää sekä kulkeutua alkuperäistä päästölähdettä huomattavasti pidemmälle. Pintavesiriskien arvioimiseksi tulee tietää vesialueiden sijainti sekä käyttö ja merkitys vedenhankinta-, kalastus- ja virkistysalueena. (Ympäristöministeriö, 2014, s. 54)

Haitta-aineet voivat kulkeutua maaperästä pintavesiin muun muassa hulevesien, pintakerrosvalunnan ja vesistöön purkavan pohjaveden kautta. Täten pintaveteen kohdistuvien riskien arvioimiseksi tulee selvittää vesien virtaamat, virtaussuunnat ja purkautumispaikat sekä alueen muut ominaisuudet, kuten läpäisemättömien pintojen määrä ja sijainti, maan kaltevuus, sadevesien viemärointi ja kasvillisuus. (Ympäristöministeriö, 2014, ss. 54–55)

2.2.4 Yleisimmät öljyvähinkoyhdisteet ja niiden ominaisuudet

Kevyisiin öljyjakeisiin kuuluva moottoribensiini on käytössä moottoripolttoaineena. Bensiini on C_4 – C_{12} hiilivetyjen seos, jossa käytetään bensinilaa-dusta riippuen myös erilaisia lisäaineita, kuten metyyli-tertiäri-ributyylieetteriä (MTBE) ja tertiäriamiyylimetyylieetteriä (TAME). Bensiini haihtuu helposti ilmaan sekä maasta että vedestä. Kylmät olosuhteet hidastavat haihtumista merkittävästi. Maaperään päästessään bensinin eri komponentit voivat kulkeutua pohjaveteen ja aiheuttaa merkittävän pohjaveden pilaantumisriskin. Esimerkiksi MTBE on erittäin vesiliukoinen yhdiste, joka maaperään päästyään kulkeutuu veteen liunneena helposti pohjaveteen ja rajoittaa jo hyvin alhaisissa pitoisuuksissa (15–40 $\mu\text{g/l}$) pohjaveden käyttöä talousvetenä. (Gråsten & Kiukas, 2004, s. 9; Tidenberg, Taipale & Gustafsson, 2009, s. 20)

Kevyt polttoöljy on käytössä sekä lämmityspolttoaineena että työkoneiden ja venemoottorien polttoaineena. Se on maaöljytuotteiden ja erilaisten lisäaineiden seos, joka koostuu pääosin C_{10} – C_{21} öljyhiilivedyistä (keskitisleet). Kevyen polttoöljyn tunnusmerkkinä on sen punainen väri sekä

bensiinin kaltainen haju. Dieselöljy on ajoneuvojen polttoaineena käytettävää kevyttä polttoöljyä, jota ei ole värjätty punavärillä. Maaperään joutuessaan kevyt polttoöljy sekä dieselöljy voivat haihtua osittain ilmaan, sitoutuen kuitenkin tiiviisti maaperään. Maaperässä kevyt polttoöljy ja diesel hajoavat biologisesti aerobisissa olosuhteissa, joskin hitaasti, sillä yhdisteiden komponenttien sitoutuminen maa-ainekseen estää hajoamista. Kevyen polttoöljyn ja dieselöljyn kulkeutuminen hiekka- ja soramaassa voi olla huomattavaa. Kevyt polttoöljy on vesieliöille haitallista ja niihin kertyvää. (Gråsten & Kiukas, 2004, s. 10; Leinonen ym., 2007, s. 22)

Raskaisiin öljyjakeisiin kuuluvat raskas polttoöljy ja voiteluaineina käytettävät öljyseokset koostuvat tyypillisesti C₁₉–C₄₀ hiilivetyjen seoksesta. Raskasta polttoöljyä käytetään laivojen ja voimalaitosten polttoaineena. Maaperään päästessään raskaat öljyjakeet sitoutuvat tiiviisti maaperän orgaaniseen ainekseen, ollen siten heikosti kulkeutuvia ja hyvin maaperässä pysyviä. Raskaat öljyjakeet hajoavat maaperässä hitaasti tai eivät hajoa lainkaan. Vedessä raskaat öljyjakeet ovat lähes liukenemattomia ja raskaimmat komponentit painuvat pohjaan ja sedimentoituvat. (Gråsten, 2008, s. 11)

2.2.5 Haitta-aineiden ja ympäristön huomiointi näytteenotossa

Haitta-aineiden kulkeutuminen maaperässä sekä leviäminen muuhun ympäristöön riippuu niiden kemiallisista ja fysikaalisista ominaisuuksista, maaperän ominaisuuksista sekä päästölähteen sijainnista ja olosuhteista. Pilaantuneisuustutkimuksissa tunnistetaan merkittävimmät haitta-aineet ja niiden kulkeutumisreitit. Tulosten avulla arvioidaan mahdolliset altistusreitit, haitat ja haittojen todennäköisyys. (Lepistö ym., 2014, ss. 9–10)

Haitta-aineiden fysikaalisista ominaisuuksista voidaan tehdä johtopäätöksiä, mistä maaperän kerroksesta tai ympäristön osasta niitä kannattaa lähteä tutkimaan. Osa haitta-aineista myös hajoaa tai muuntuu erilaisissa maaperän prosesseissa, mikä tulee ottaa huomioon tutkimusten suunnittelussa ja toteutuksessa. (Lepistö ym., 2014, s. 10)

Näytteenotossa tulee huomioida myös maaperän ominaisuudet. Tyypillisesti maaperässä on useita erilaisia maakerroksia päällekkäin. Eri maalajit ohjaavat haitta-aineiden, veden ja ilman kulkeutumista maaperässä. Esimerkiksi maaperän tiivis savi- tai silttikerrostuma saa aikaan monien haitta-aineiden, kuten öljyhiilivetyjen, kulkeutumista tiiviin kerroksen pinnassa sen viettosuuntaan. Haitta-aineet voivat kulkeutua tiiviiden maalajien pinnan suuntaisesti pitkiäkin matkoja. (Lepistö ym., 2014, s. 11)

Suomessa maalajien pääryhmiksi luokitellaan savi, siltti, hiekka, sora, moreeni ja eloperäiset maalajit kuten turve ja humus. Maaperän haitta-ainetutkimuksissa käytetään usein myös termiä täyttömaa, joka on ihmisen alueelle tuomaa maa-ainesta. Usein ihmisen rakentamalla ja muokkaamalla alueilla, joille pilaantumistutkimukset keskittyvät, on alkuperäisen maalajin

päällä karkea täyttö. Haitta-aineet liikkuvat täyttömaakerroksissa eri tavalla kuin alkuperäisessä maaperässä. Tyypillisesti esimerkiksi savimaaperää on rakentamisen yhteydessä muokattu karkeammilla ja kantavammilla maa-aineksilla, kuten hiekalla ja soralla. (Lepistö ym., 2014, ss. 12–13) Näin ollen esimerkiksi öljypäästöissä, jotka tapahtuvat savimaaperään tuodun täyttömaan päälle rakennetussa ympäristössä, öljy kulkeutuu ensin painovoimaisesti karkeamman täyttömaan läpi, kunnes kohtaa huonosti vettä läpäisevän savikerroksen. Savikerroksen kohdatessaan öljyhiilivedyt osin pidättyvät siihen ja osin leviävät savipinnan suuntaisesti. (Reinikainen, 2007, s. 150; Gråsten & Kiukas, 2004, ss. 11–12)

Pohjavesinäytteenotossa keskeisiä lähtökohtia ovat haitta-aine-esiintymän raja- ja pohjaveden laadun määrittäminen. Tietojen saamiseksi pohjaveden näytteenottopisteiden verkko on oltava riittävän tiheä, sillä pitoisuudet vaihtelevat ajallisesti havaintoputkittain. Pohjaveden näytteenottopisteet suunnitellaan päästölähteen sijainnin, haitta-aineiden ominaisuuksien ja pohjaveden virtausolosuhteiden perusteella. (Ympäristöministeriö, 2014, s. 70)

Pintavesinäytteenotossa on huomioitava pintaveden liukoiset ja kiintoaineeseen sitoutuneet haitta-aineet sekä pohjasedimenttiin kertyneet aineet. Pintavesivaikutusten arvioimiseksi näytepisteet sijoitetaan tyypillisesti pilaantuneen alueen valumavesien purkautumispaikkoihin ja pintaveden virtaussuunnan mukaisesti purkautumispaikkojen ylä- ja alapuolelle. (Ympäristöministeriö, 2014, s. 71)

Näytteenotossa tulee valita tutkittavien haitta-aineiden ominaispiirteille sopivat näytteenottomenetelmät, näytteenottimet ja keräysastiat. Riskinä väärin valittujen menetelmien, ottimien ja astioiden suhteen on näytteiden kontaminoituminen, reagointi esimerkiksi näytteenottimien kanssa tai haihtuminen näytteen keräysastian läpi. Tutkittaessa öljyhiilivedyt maanäytteet suositellaan otettavaksi kaasutiiviisiin muovipusseihin ja vesinäytteet lasipulloihin. (Lepistö ym., 2014, s. 10)

2.3 Pilaantuneen maaperän kunnostus

Tässä luvussa esitellään pilaantuneen maaperän kunnostuksen vaiheita, näytteenottoa sekä erilaisia kunnostusmenetelmiä. Kunnostusmenetelmät on jaoteltu in-situ -, on-site - ja off-site -menetelmiin. Lisäksi tässä luvussa kerrotaan lyhyesti pilaantuneiden maiden kunnostuksesta Suomessa sekä kestävä kunnostuksen periaatteet.

2.3.1 Pilaantuneen maaperän kunnostushankkeen vaiheet

Pilaantuneen maaperän kunnostus voidaan jakaa karkeasti 1. tutkimusvaiheeseen, 2. kunnostuksen suunnitteluun, 3. kunnostukseen ja 4. seurantaan. Pilaantuneen maaperän kunnostushanke alkaa lähtötietojen

kokoamisella. Alustavien selvitysten avulla kootaan tietoa mahdolliseen pilaantumiseen johtaneista tapahtumista. Tällöin pyritään selvittämään päästöjen määrät ja ajankohdat sekä päästöjen mahdolliset kulkeutumisreitit. Alustavat selvitykset perustuvat tyypillisesti haastatteluihin. (Sarkkila, Mroueh & Leino-Forsman, 2004, s. 17)

Lähtötietojen ja maaperän tutkimusten jälkeen tehdään arvio kunnostamisen tarpeellisuudesta, eli tehdään riskinarviointi ja puhdistustarpeen arviointi. Riskinarvioinnin tekee ympäristöasiantuntija. Maaperän pilaantuneisuus ja kunnostustarve tulee selvittää riskinarvioinnilla silloin, kun maaperässä on kynnyksarvot tai alueelliset taustapitoisuudet ylittäviä haitta-ainepitoisuuksia. Riskinarvioinnissa haitta-aineiden ympäristöön ja terveyteen vaikuttavat mahdolliset haitat tunnistetaan, määritellään ja kuvataan. Mikäli alueen kunnostus on tarpeellinen, laatii ympäristöasiantuntija kunnostussuunnitelman, joka esitetään tavoitteineen PIMA-ilmoituksen liitteenä toimivaltaiselle ympäristöviranomaiselle ennen työn aloitusta. Viranomainen asettaa kunnostuspäätöksessään ympäristö- ja terveydensuojeluun liittyvät tavoitteet ja määräykset. (Vepsäläinen ym., 2016, s. 25)

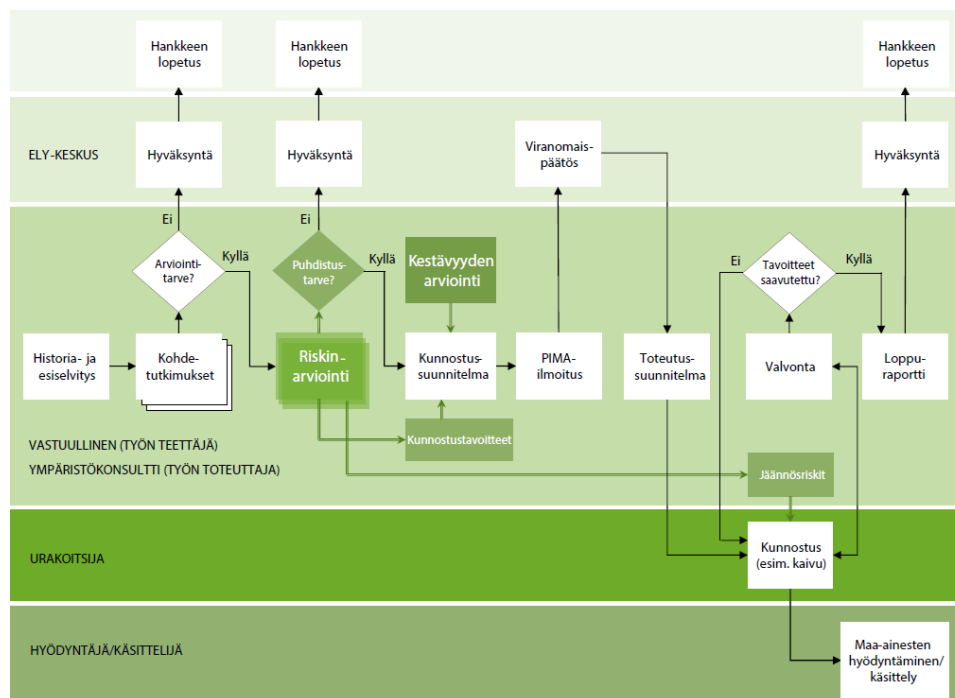
Kunnostussuunnitelman ja viranomaisen määräysten perusteella laaditaan kunnostuksen toteutussuunnitelma, jossa esitetään kunnostuksen toteutustapa mahdollisimman yksityiskohtaisesti. Toteutussuunnitelman laatii ympäristöasiantuntija tai urakoitsija. Kunnostus toteutetaan joko tilaajan tai hänen valitsemansa urakoitsijan toimesta toteutussuunnitelman mukaisesti. Kunnostusta valvoo siihen nimetty ympäristöasiantuntija. Kunnostuksen valvoja on paikalla aina kun pilaantunutta maata tutkitaan, kaivetaan tai kuormataan. Kunnostuksen valvojan tehtäviä ovat muun muassa kunnostuksen ohjaaminen, määräysten ja tavoitteiden toteutumisen valvominen, poistettavien maa-ainesten ohjaaminen oikeisiin maan vastaanottoaikoihin ja niihin tarvittavien siirtokirjojen laadinta, näytteenotto ja raportointi. (Vepsäläinen ym., 2016, ss. 29–32)

Pilaantuneen maaperän kunnostushankkeesta tulee laatia sen valmistumisen jälkeen loppuraportti, jossa esitetään hankkeen lähtö- ja lopputilanne, työn toteutus sekä tiedot kunnostuksessa syntyneen maamassan loppusijoituksesta. Loppuraportin tarkoituksena on osoittaa viranomaiselle ja tilaajalle hankkeen toteutuminen suunnitelmien ja lupaehtojen mukaisesti. Loppuraportti on säilytettävä asiakirja, jonka perustiedot viranomainen tallentaa ympäristöhallinnon Maaperän tilan tietojärjestelmään (MATTI). Kunnostushanke päättyy, kun viranomainen hyväksyy loppuraportin. (Sarkkila ym., 2004, ss. 22–23; Vepsäläinen ym., 2016, s. 32)

Kunnostushankkeen seurannan tarkoituksena on monitoroida kunnostuksen jälkeisiä ympäristövaikutuksia. Jälkiseurantaohjelma tehdään tarvittaessa kunnostuksen päätyttyä ja sille on esitettävä perusteet. Jälkiseuranta-suunnitelma pitää sisällään kunnostuksen jälkeiset toimenpiteet, joita voivat olla esimerkiksi pohja- tai pintavesien tarkkailu, maaperän haitta-ainepitoisuuksien mittaaminen tai ilmanlaadun seuranta. Suunnitelmassa

tulee esittää seuranta-toimenpiteiden kesto, aikataulusuunnitelma sekä mitä aineita tutkitaan ja mistä. Seurantasuunnitelmasta tulee käydä ilmi toimenpidekriteerit, joiden perusteella tulee ryhtyä tarvittaessa lisätoimiin. (Suomen Ympäristökeskus, 2010b, s. 60)

Kuvassa 1 on esitettyä maaperän kunnostushankkeen vaiheet ja niiden vastuutahot jälkiseurantaa lukuun ottamatta.



Kuva 1. Pilaantuneen maan kunnostuksen vaiheet (Ympäristöministeriö, 2014, s. 11).

2.3.2 Näytteenotto

Maaperän haitta-ainetutkimuksia tehdään erilaisista lähtökohdista. Näytteenottajan vastuu näytteenoton suunnittelusta on riippuvainen mahdollisesta päästölähteestä, kohteen historiatiedoista, tutkittavan alueen ominaisuuksista, tehtävän kiireellisyydestä ja näytteenottajan kokemuksesta. (Lepistö ym., 2014, s. 15) Erityisesti suurissa ja pilaantuneisuudeltaan haastavissa kohteissa tutkimukset tehdään usein vaiheittain tietojen tarkentumisen. Pienemmissä ja selkeämmissä kohteissa riittää usein kerralla toteutettu tarpeeksi kattava pilaantuneisuuden tutkiminen. (Vepsäläinen ym., 2016, s. 27)

Maaperän haitta-ainetutkimukset suorittaa tilaajan valitsema ympäristöasiantuntija. Tutkimusten tekemistä varten on oltava maanomistajan lupa. Tutkimusten tavoitteet ja tarkoitus vaikuttavat valittuihin tutkimusmenetelmiin ja analyysiin. (Vepsäläinen ym., 2016, s. 27) Kohdetutkimuksen kokonaispävarmuudesta näytteenoton osuus on tyypillisesti merkittävä. Näytteenottosuunnitelma tehdään virhelähteiden minimoimiseksi.

Näytteenoton tavoitteiden määrittely on suunnitelman tekemisen tärkein vaihe. Näytteenottosuunnitelmassa määritellään tavoitteiden ja kohteiden lisäksi näytteenottoaikat ja -tapa, näytteiden laatu, näytteiden käsittelymenetelmät, näytteiden kuljetus ja varastointi, tutkimus- ja analyysimenetelmät sekä miten tulokset käsitellään. (Ympäristöministeriö, 2014, ss. 60–61)

Näytteenoton lähtökohdat vaihtelevat suuresti ei kiireellisestä välittömästi tehtävään tutkimukseen. Maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnissa esimerkiksi maankäytön muutoksen yhteydessä on tarkoituksena selvittää maaperän pilaantuneisuus ja arvioida sen perusteella alueen puhdistustarve. Tällöin näytteenoton suunnittelijalla on usein aikaa käydä tutustumassa kohteeseen, tehdä historiaselvitys ja laatia kattava näytteenottosuunnitelma. Kunnostuksenaikainen seurantanäytteenotto tapahtuu kunnostuksen edetessä, toistuvasti samalla tekniikalla. Toteutuksen tekee näytteenottaja, joka tuntee alueen ja kunnostusprosessin ennestään. Aikaisemmat tulokset ja kunnostuksenaikaiset havainnot ohjaavat työn toteutusta. (Lepistö ym., 2014, s. 15)

Nopea tutkimuksen aloitus tapahtuu, kun tietoa maaperän tai vesistön pilaantuneisuudesta tarvitaan nopeasti, ja valmisteluun käytettävää aikaa on hyvin vähän. Näytteenottajalla ei tyypillisesti ole mahdollisuutta vierailta kohteessa etukäteen, eikä näytteenottoa ehditä suunnittelemaan ennakkoon kattavasti. Tyypillinen tilanne nopealle tutkimuksen aloitukselle on esimerkiksi silloin, kun rakennustyömaalla havaitaan maarakentamisen yhteydessä maaperässä epämääräistä materiaalia, jonka alkuperästä ei välttämättä ole tietoa. Tällöin näytteenottajan saamat lähtötiedot ovat usein puutteellisia. (Lepistö ym., 2014, s. 15)

Välitön tutkimuksen aloitus on kyseessä onnettomuustilanteissa esimerkiksi raskaan ajoneuvon kaatuessa ja polttoaineen levitessä ympäristöön. Suomessa tapahtuu vuosittain noin 2 000 öljyvahinkoa, joista suurin osa on pieniä maa-alueella tapahtuvia vuotoja. Maa-alueella tai sisävesillä sattunut öljyvahinko tulee aina ilmoittaa hätäkeskukseen. Öljyntorjunnasta vastaa maa-alueellaan, rannikollaan ja sisävesillään alueen pelastustoimi. Pelastuslaitoksen pelastusyksiköt on tyypillisesti varustettu imeytysaineilla ja muilla varusteilla, joilla pienet öljymäärät saadaan kerättyä maaperästä talteen. Pelastuslaitoksella on myös mahdollisuus asentaa öljyvuomeja ojiin ja vesialueille öljyn leviämisen estämiseksi. (Varsinais-Suomen Pelastuslaitos, n.d.) Välittömässä tutkimuksen aloituksessa näytteenottaja tarvitaan kohteeseen välittömästi selvittämään haitta-aineiden levinneisyyttä. Näytteenotto suunnitellaan ja ohjataan työn aikana. (Lepistö ym., 2014, s. 15)

Haitta-ainetutkimukset voivat kohdistua maaperään, pohjaveteen, pintaveteen, huokosilmaan, sedimentteihin, eliöstöön, rakennusten sisäilmaan tai rakenteisiin. Maaperänäytteenotto tapahtuu usein ensisijaisesti kaivinkoneella suoritettavilla koekuoppatutkimuksilla. Tällöin kaivinkoneella tehdään riittävän suuri kuoppa maaperään, jonka jälkeen kuopasta otetaan

maanäyte. Yhdestä kuopasta voidaan ottaa useita maanäytteitä eri syvyyksiltä. Koekuopista saadaan luotettavaa tietoa ja pystytään tekemään aistinvaraisia havaintoja. Kairaustutkimuksia käytetään tapauksissa, joissa tutkitavan alueen pintarakenteita ei haluta rikkoa tai jos näytteenotto joudutaan ulottamaan syvemmälle maaperään. Kairausnäytteenotto voidaan toteuttaa tarvittaessa myös sisätiloissa. Kairauksen etuna on näytteenotokohdan tutkimusreiän pienuus - näytteenottoreikä on usein halkaisijaltaan noin 10 cm. Kairaukselle haasteita asettaa näytteen kontaminoitumisriski, mikäli näytteenottoa ei toteuteta oikein. Pintamaasta näytteet voidaan ottaa myös lapiolla kaivamalla. (Vepsäläinen ym., 2016, s. 27; Lepistö ym., 2014, ss. 28 & 33) Näytteiden analysoimiseksi käytetään laboratorioita, joilla on tarpeeseen akkreditoitunut tai niitä luotettavuudeltaan vastaavat analyysimenetelmät ja laatujärjestelmä (Ympäristöministeriö, 2014, s. 61).

Pilaantuneen maaperän tutkimuksessa käytetään usein kenttämittauksia, erityisesti kunnostuksen aikaisen työn ohjaamisessa. Kenttämittauksissa käsittelemättömistä näytteistä tutkitaan välittömästi näytteenoton jälkeen valittujen haitta-aineiden pitoisuuksia kenttämittarin avulla. Kenttämittaustuloksia ei pidetä yhtä luotettavana kuin laboratorioanalyysija niiden oikeellisuus tulee osoittaa mittaamalla erilaisilla pitoisuusalueella olevia näytteitä sekä kenttämittarilla että laboratorioanalyysin. Öljyhiilivety-pitoisuuksien määrittämiseen maaperästä käytetään esimerkiksi Petro-Flag-kenttämittauslaitetta. Sen mittaus perustuu maaperästä tehtävän uutteen valmistamiseen ja uutteen valonläpäisevyyden mittaamiseen. (Lepistö ym., 2014, s. 48)

Ympäristöasiantuntija laatii alueella tehdyistä tutkimuksista raportin, johon kirjataan työn tavoite ja tutkimusten tekijät, kohteen kuvaus ja sijaintitiedot, toimintahistoriaselvitys, maankäyttötiedot, maaperä-, pohjavesi- ja pintavesitiedot, aikaisemmat tutkimukset ja tulokset, näytteenoton kuvaus ja kartta, tutkimustulokset, pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointi sekä jatkotoimenpide-esitys. (Vepsäläinen ym., 2016, s. 27)

2.3.3 Pilaantuneen maaperän kunnostusmenetelmät

Maaperää voidaan kunnostaa ja pilaantunutta maata käsitellä erilaisilla menetelmillä riippuen maaperän rakenteesta sekä maaperää pilaavista haitta-aineista ja niiden määrästä. Kunnostusmenetelmät tulee valita kohdekohtaisesti. Maaperän kunnostusmenetelmät perustuvat kemiallisiin, biologisiin tai fysikaalisiin reaktioihin. Pilaantuneen maan kunnostaminen voi tapahtua "in situ" eli maata siirtämättä, "on site" eli paikan päällä tai "off site" jolloin maa-aines siirretään muualle käsiteltäväksi. (Penttinen, 2001, s. 9) Maaperän eristämässä haitta-aineita ei poisteta vaan ne eristetään pilaantumattomasta maaperästä niin, että altistusreitti katkeaa (Pirkanmaan ELY-keskus, 2018).

Tässä luvussa esitellään öljyhiilivedyillä pilaantuneen maan kunnostukseen soveltuvat, yleisimmin käytössä olevat in situ -menetelmät, on site -menetelmät sekä off site -menetelmät.

In situ -menetelmistä esitellään luontainen biohajoaminen, tehostettu biologinen puhdistus, huokosilmakäsittely, peltohajotus ja erityis.

Luontaisella biohajoamisella tarkoitetaan maaperän puhdistumista hyväksyttävälle tasolle maaperässä luonnostaan tapahtuvien kemiallisten, fysikaalisten ja biologisten prosessien avulla. Menetelmää voidaan soveltaa esimerkiksi öljyhiilivedyillä pilaantuneen maaperän puhdistamiseen. Menetelmä vaatii prosessin huolellista seuranta, eikä se sovellu kulkeutumiskäsitteiden vuoksi pintamaiden kunnostamiseen. Tällöin riskinä on helposti liikkuvien, sitoutumattomien haitta-aineiden huuhtoutuminen ja haihtuminen. (Penttinen, 2001, s. 10)

Tehostetussa biologisessa puhdistuksessa hyödynnetään maaperän mikrobikantaa lisäämään haitta-aineiden luonnollista hajoamista maaperässä. Tehostetussa biologisessa puhdistuksessa maaperään syötetään happea lisäämään öljyhiilivetyjen hajoamista. Menetelmää käytetään pilaantuneilla alueilla, joissa maaperän kunnostaminen kaivamalla on teknisesti hankalaa tai kallista toteuttaa, kuten rakennusten alla tai syvällä maaperässä. (Penttinen, 2001, ss. 14–15)

Huokosilmakäsittelyssä maaperän huokostilassa olevat kaasumaiset aineet poistetaan alipaineen avulla. Maasta poistuva kaasu johdetaan jatkokäsittelyyn. Huokosilmamenetelmää käytetään erityisesti rakennetulle alueelle, joilla kaivu ei ole mahdollista rakenneteknisistä syistä. Menetelmää käytetään yleisimmin in situ, eli paikan päällä kunnostusmenetelmänä, mutta sitä voidaan käyttää myös jo kaivetuille maamassoille. (Penttinen, 2001, s. 16; Sarkkila ym., 2004, s. 104)

Peltohajotuskäsittelyssä maan pintaa muokataan, jotta maaperän haitta-aineita luontaisesti hajottavien mikrobien toiminta tehostuu. Se soveltuu lähinnä helposti hajoavien haitta-aineiden käsittelyyn, eikä sen teho ole esimerkiksi kompostoinnin veroinen. Suomessa peltohajotusta käytetään lähinnä öljyisten lietteiden käsittelyyn. Peltohajotuksessa haitta-aineiden hajoamisaika on pitkä, ja maaperän puhdistustaso jää usein alhaiseksi. (Penttinen, 2001, ss. 20–21)

Eristämisessä maaperän haitalliset aineet eristetään pysyvästi ympäristöstään sekä vaaka- että pystysuuntaisesti. Eristysrakenteiden tulee olla erittäin kestäviä ja monissa eristyskohteissa käytetäänkin usein keinotekoisesta eristeestä ja mineraalieristeestä tehtyjä yhdistelmäeristeitä. Keinotekoisena eristeenä käytetään usein muovikalvoa tai eristeasfalttia. Mineraalissa eristemateriaaleissa materiaalina on tyypillisesti savi. Yleisesti käytetty mineraalinen eristysmateriaali on bentoniittimatto. (Sarkkila ym., 2004, ss. 64–69)

On site -menetelmiin kuuluvat muun muassa alla esiteltyt maan huuhtelu ja kiinteytys/stabilointi.

Maan huuhtelussa maahan johdetaan joko injektoimalla tai imeyttämällä vettä, johon on mahdollisesti lisätty myös haitta-aineen liukoisuutta lisäävää ainetta. Kun pohjaveden pinta nousee, pilaantuneen maan haitta-aineet irtoavat pohjaveteen, joka edelleen johdetaan käsiteltäväksi. Maan huuhtelun riskinä on pilaantuneen alueen laajentuminen. (Penttinen, 2001, ss. 28–29)

Pilaantuneen maan **kiinteytys- ja stabilointimenetelmillä** saatetaan maaperän haitta-aineet tilaan, jossa ne eivät voi aiheuttaa haittaa ympäristölle tai ihmiselle. Maan haitta-ainepitoisuutta ei siis pyritä pienentämään, vaan niiden haitallisuutta vähennetään sitomalla ne maa-ainekseen. Stabiloinnissa haitta-aineet sidotaan maa-ainekseen tyypillisesti kemiallisesti, jolloin haitta-aineiden kulkeutuvuus, liukoisuus ja toksisuus vähenee. Kiinteytyksessä pilaantuneeseen maahan lisätään sideainetta, esimerkiksi sementtiä tai bitumia. Tällöin aineiden fysikaaliset ominaisuudet muuttuvat. (Penttinen, 2001, s. 36; Sarkkila ym., 2004, s. 77)

Off site -menetelmiin kuuluu yleisesti käytössä oleva massanvaihto. **Massanvaihdossa** pilaantunut maa-aines poistetaan ja välivarastoidaan tai sijoitetaan luvanvaraiseen vastaanottoaikaan. Pilaantunut maa-aines korvataan puhtaalla maalla. Massanvaihto sopii lähes kaikille haitta-aineille ja maalajeille. (Penttinen, 2001, s. 42)

Pilaantuneet maamassat voidaan poiston jälkeen käsitellä useilla eri menetelmillä. Tyypillisesti poistettu pilaantunut maa-aines sijoitetaan kaatopaikalle. Lievemmin pilaantuneen maan voidaan hyötykäyttää esimerkiksi kaatopaikan rakenteissa. Voimakkaasti pilaantuneet maa-ainekset sijoitetaan erityiskaatopaikoille tai käsitellään kiinteyttämällä, kompostoimalla tai polttamalla. Massanvaihtoa pidetään usein pilaantuneen alueen riskienhallinnan kannalta tehokkaimpana ratkaisuna. (Sorvari & Antikainen, 2004, ss. 41–42; Pyy ym., 2017, s. 10)

Massanvaihtoon voidaan yhdistää erilaisia pilaantuneen maa-aineksen käsittelyjä, kuten kompostointi, termiset käsittelyt ja maan pesu.

Kompostointikäsittelyssä hajotetaan orgaanista ainetta aerobisesti mikrobitoiminnan avulla. Pilaantunut maa-aines vietään kompostoitavaksi kompostointiaumoihin, kompostointialtisiin tai bioreaktoreihin. Jotta ilmaisuus parantuisi, sekoitetaan kompostoitavaan maamassaan kuohkeuttavia aineita, kuten puun kuorta tai lastuja. Öljyhiilivedyillä pilaantuneiden maamassojen kompostointia harjoitetaan Suomessa usealla kaatopaikalla. (Penttinen, 2001, ss. 22–23)

Termiset käsittelyt sisältävät useita erilaisia käsittelymenetelmiä, esimerkiksi polton ja termisen desorption. Poltossa korkeaa lämpötilaa käytetään

tuhoamaan ja haihduttamaan pilaantuneen maan haitta-aineita. Terminen desorptio taas on menetelmä, jonka avulla haitta-aineita erotetaan pilaantuneesta maasta lämmittämällä sitä. Terminen desorptio on esikäsittelemenetelmä, jonka jälkeen erotellut haitta-aineet jatkokäsittelään. Termiset käsittelyt tapahtuvat tyypillisesti joko kiinteissä tai siirrettävissä laitoksissa. (Penttinen, 2001, ss. 32–35; Sarkkila ym., 2004, s. 86)

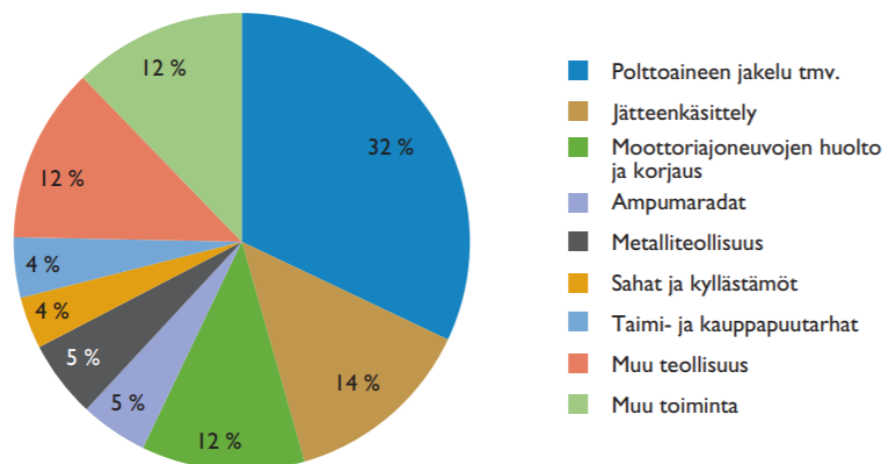
Maan pesussa pilaantuneen maan haitta-aineet liuotetaan tai lietetään pesuveteen, josta ne erotellaan jatkokäsittelyyn. Pesu tapahtuu vedellä, johon on lisätty haitta-aineita irrottavia aineita. Pilaantuneen maan pesu tapahtuu yleensä erillisissä kiinteissä tai siirrettävissä pesulaitoksissa. (Sarkkila ym., 2004, ss. 92–95)

Huolimatta erilaisten maaperän kunnostusmenetelmien viimeaikaisesta kehityksestä, on massanvaihto edelleen yleisimmin käytetty menetelmä. Massanvaihto on kunnostusmenetelmänä noin 90 %:ssa kunnostettavista kohteista. (Sorvari & Antikainen, 2004, ss. 41–42; Pyy ym., 2017, s. 10)

2.3.4 Pilaantuneiden maiden kunnostus Suomessa

Suomessa havaittiin maaperän pilaantumisen aiheuttamia ongelmia jo 1800-luvulla, jolloin huolta aiheuttivat asuin ympäristön eloperäiset jätteet. Haitallisista aineista johtuvaan maaperän pilaantumiseen ruvettiin kiinnittämään huomiota 1980-luvulla. Selvitystyö alkoi ongelmajätteen ja riskikaatopaikkojen kartoituksella. Samanaikaisesti alkoi pilaantuneen maaperän kunnostus yksittäisten ongelma-alueiden osalta. Valtioneuvosto antoi vuonna 1988 selonteon, jossa luvattiin kartoittaa ja kunnostaa pilaantuneet maa-alueet. Tätä tavoitetta varten perustettiin saastuneiden maa-alueiden selvitys- ja kunnostusprojekti (SAMASE), jonka loppuraportti valmistui vuonna 1994. SAMASE-rekisterin tiedot kerättiin vuonna 2007 ympäristöhallinnon ylläpitämäksi Maaperän tilan tietojärjestelmäksi (MATTI). (Pyy, Haavisto, Niskala & Silvola, 2013, ss. 5–6)

Pilaantuneeksi epäiltyjen tai tiedettyjen kohteiden selvitystyö aloitettiin toimialoista, joiden tiedettiin aiheuttavan maaperään pilaamisriskin. Pilaantuminen voi aiheutua joko yksittäisestä onnettomuudesta tai pitkäaikaisesta päästöistä. Kuvassa 2 (s.17) on esitettyä MATTI-tietokannasta vuoteen 2013 mennessä selvitettyjen kohteiden toimialajakauma. Polttoaineen jakelu tai muu vastaava toiminta muodosti vuoteen 2013 mennessä 32 % selvitettyjen kohteiden määrästä.

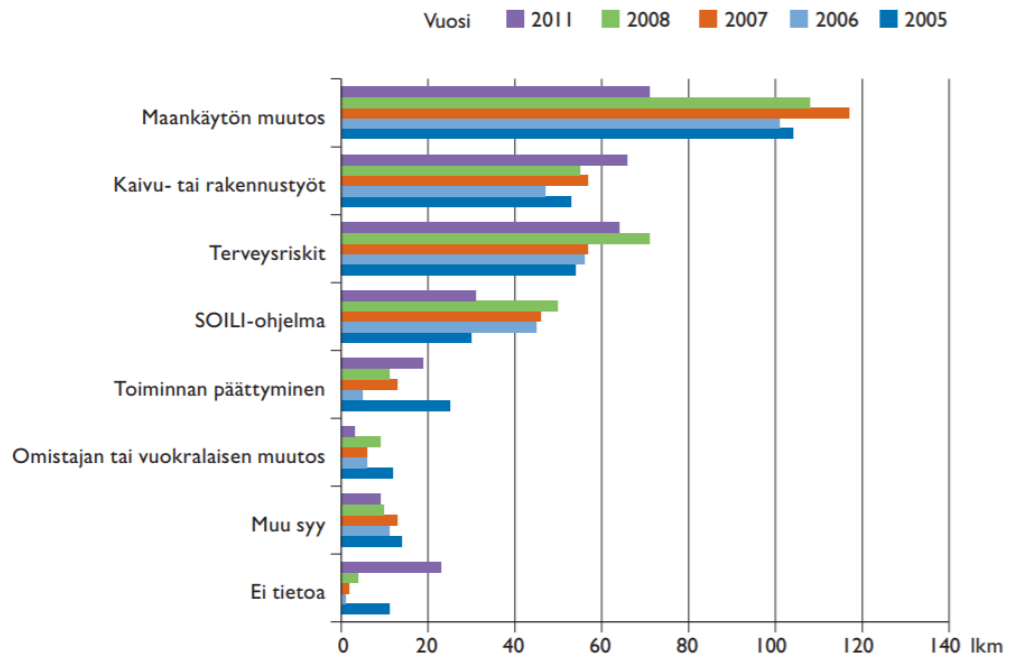


Kuva 2. Kaikkien selvitettyjen kohteiden toimialajakauma (MATTI-järjestelmän tiedot 12.2.2013) (Pyy ym., 2013, s. 14).

Suomessa aloitetaan vuosittain noin 250–300 eri alueella uusia pilaantuneiden maiden kunnostushankkeita. Arvio perustuu ympäristöviranomaisien kunnostuksesta tekemiin pilaantuneisiin maihin liittyviin päätöksiin, eli PIMA-päätöksiin. Hankkeisiin käytetään vuosittain noin 50–100 miljoonaa euroa. (Pirkanmaan ELY-keskus, 2018; Pyy ym., 2017, s. 9) Valtion teettämien PIMA-kunnostushankkeiden kunnostuskustannusten keskiarvo on ollut noin 180 000 euroa (Pyy ym., 2013, s. 42).

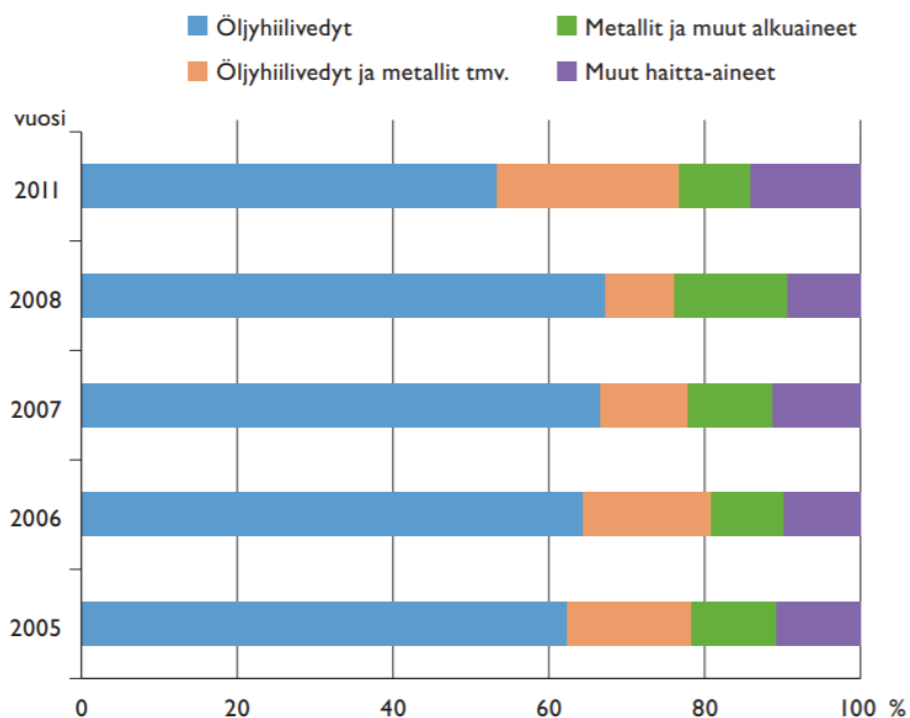
PIMA-päätöksiä on tehty vuosina 1986–2017 yli 5 500 kappaletta. Yleisimpiä pilaantuneen maan kunnostuksen käynnistäviä tekijöitä ovat olleet maankäytön muutos, kaivu- ja rakennustyöt sekä ympäristöluvan varaisen toiminnan päättymisen. Keskeisimpiä toimijoita pilaantuneen maaperän kunnostushankkeissa ovat yritykset ja yksityishenkilöt, jotka kunnostavat yhteensä noin kaksi kolmasosaa kunnostettavista kohteista. Lopun yhden kolmasosan kunnostavat kunnat ja valtio. Pilaantuneita maa-alueita kunnostetaan ympäristö- ja terveysriskien vähentämiseksi. (Pirkanmaan ELY-keskus, 2018; Pyy ym., 2017, s.9)

Kuvassa 3 (s. 18) on esitettyinä vuosina 2005–2008 ja 2011 kunnostuspäätöksissä esitettyjä kunnostuksen syitä.



Kuva 3. Vuosien 2005–2008 ja 2011 kunnostuspäätöksissä esitettyjä kunnostuksen syitä (Pyy ym., 2013, s. 31).

Alueen toimintahistorian perusteella pystytään alustavasti arvioimaan, mitä haitta-aineita maaperässä mahdollisesti esiintyy. Haitta-aineiden esiintymiseen maaperässä vaikuttavat haitta-aineiden ja maaperäolosuhteiden lisäksi sekä päästön suuruus että siitä kulunut aika. Kuvassa 4 (s. 19) on esitettyinä vuosina 2005–2008 ja 2011 annettujen kunnostuspäätösten haitta-ainetiedot. Kyseisinä vuosina annettiin yhteensä noin 1 200 kunnostuspäätöstä, joista noin 800 koski öljyhiilivedyillä pilaantuneita maa-alueita. Öljyhiilivetyihin on laskennassa luettu öljyjakeet, bensiinin lisäaineet, BTEX-yhdisteet, polyaromaattiset hiilivedyt ja haihtuvat orgaaniset yhdisteet. (Pyy ym., 2013, s. 32)



Kuva 4. Pilaantuneiden kohteiden kunnostuspäätöksissä esitetyt pilaantumista aiheuttaneet haitta-aineet vuosina 2005–2008 ja vuonna 2011 (Pyy ym., 2013, s. 32).

2.3.5 Kestävä kunnostus

Kestävällä kehityksellä tarkoitetaan yhteiskunnallisen toiminnan kehitystä, jonka tavoitteena on turvata sekä nykyisille että tuleville sukupolville hyvät elämisen mahdollisuudet (Ympäristöministeriö, 2013). Kestävän kehityksen periaatteiden soveltaminen pilaantuneisiin maihin tarkoittaa pilaantuneisuuden huomioimista esimerkiksi kaavoituksessa riittävän aikaisessa vaiheessa, pilaantumista aiheuttavien toimintojen sijoittamista jo entuudestaan pilaantuneille alueille sekä pilaantuneiden maamassojen käsittelyn ja hyödyntämisen edistämistä. Yksittäisissä pilaantuneen maaperän kunnostuskohteissa kestävyttä voidaan edistää valitsemalla kunnostusmenetelmät siten, että toimenpiteillä saavutettavat kokonaishyödyt ovat suuremmat kuin kunnostuksen negatiiviset vaikutukset. (Ympäristöministeriö, 2014, s. 133)

Kestävällä kunnostamisella tarkoitetaan maaperän kunnostustoimintaa, jossa kunnostustoimien ympäristö-, yhteiskunta- ja talousnäkökulmat optimoidaan. Tavoitteena on varmistaa kunnostuksen pitkän ajan kuluessa saavutettavat hyödyt ja että lopputulos vastaa keskeisen sidosryhmien tarpeita. (Ympäristöministeriö, 2014, s. 134) Yksittäisen kunnostushankkeen osalta kestävyysarviointi keskittyy erilaisten kunnostusmenetelmien hyötyjen ja haittojen vertailuun. Lopullinen päätös on kompromissi eri tekijöiden ja sidosryhmien näkemysten välillä. (Pyy ym., 2017, s. 16)

Kuvassa 5 on esitettyä kestävän kehityksen mukainen toimintamalli, jossa talous-, ympäristö- ja sosiaaliset tekijät ovat tasapainossa.



Kuva 5. Kestävän kehityksen mukaisessa toimintamallissa talous-, ympäristö- ja sosiaaliset tekijät ovat tasapainossa (Ympäristöministeriö, 2014, s. 134).

Kunnostusmenetelmän arvioinnissa ympäristön ja ihmisen terveyden näkökulmasta tulee ottaa huomioon ilma-, vesi- ja maaperävaikutukset, energian ja luonnonvarojen käyttö, jätteiden synty ja hyötykäyttömahdollisuudet. Kunnostuksessa tavoitteena on kestävän kehityksen mukaisesti mahdollisimman pieni jätteiden tuotto ja luonnonvarojen käyttö sekä maamassojen tehokas hyödyntäminen. Toimenpiteiden tulee aina johtaa ympäristö- ja terveysriskien vähenemiseen. (Ympäristöministeriö, 2014, s. 139; Pyy ym., 2017, s. 14) Kestävän kehityksen periaatteiden toteutumisen lisäksi kestävän kunnostushankkeen on, kuten kaikkien kunnostushankkeiden, täytettävä lainsäädännön vaatimukset ja oltava teknisesti toteutettava (Ympäristöministeriö, 2014, ss. 135–136).

Ihmisten elinoloihin ja hyvinvointiin vaikuttavat tekijät huomioidaan arviotaessa kunnostusmenetelmien sosiaalisia näkökulmia. Näihin tekijöihin kuuluvat esimerkiksi pilaantuneen alueen omistajan liiketoimintaan tai alueen arvostukseen vaikuttavat imagotekijät. Myös kulttuuriperintöön kohdistuvat vaikutukset voivat vaikuttaa kunnostusmenetelmien valintaan. (Ympäristöministeriö, 2014, s. 140)

Taloudellinen arviointi vaikuttaa aina kunnostusmenetelmien valintaan. Kunnostuksen kustannukset ovatkin ympäristötekijöiden lisäksi tyypillisesti kunnostustoimintaa ohjaava tekijä. Taloudellisten tekijöiden tarkastelu liittyy olennaisesti kunnostuksen kestävyysmäärittelyyn. (Ympäristöministeriö, 2014, s. 142)

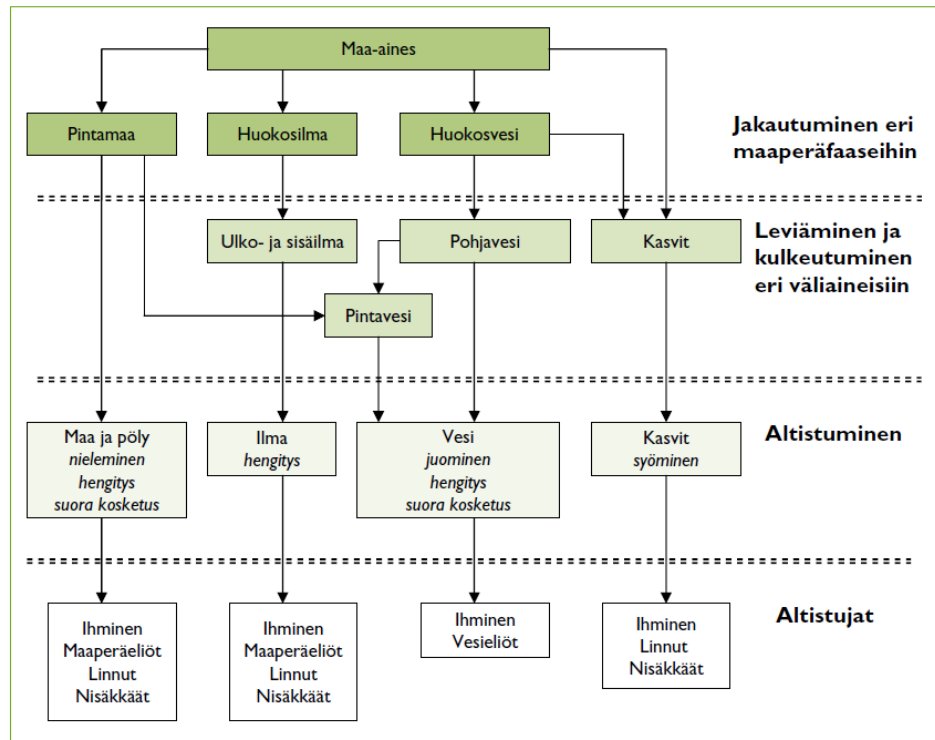
Öljyhiilivetyjen osalta suositus kestävän kunnostuksen tavoitteeksi on maaperässä esiintyvän vapaan faasin poistaminen. Vapaa faasi maaperässä lisää öljyhiilivetyjen kulkeutumISRISKIÄ ja riskien ajallista ulottuvuutta. Vapaan öljyfaasin poistaminen on usein myös teknisesti ja kustannustehokkaasti toteutettavissa. Vapaan faasin poistaminen ei välttämättä ole mahdollista esimerkiksi silloin, kun öljyhiilivedyt esiintyvät pysyvien rakenteiden alla. Tyypillisin käytetty tekniikka pilaantuneiden maiden puhdistukseen on massanvaihto. Vaikka massanvaihtoa pidetään varmana ja toimivana kunnostusmuotona, aiheuttaa se usein myös enemmän haitallisia ympäristövaikutuksia, kuin paikan päällä tapahtuvat menetelmät. Massanvaihdon kaivuuhankkeisiin liittyy tyypillisesti ympäristöä ja luonnonvaroja kuormittavaa raskaiden työkoneiden käyttöä, pitkiä kuljetusmatkoja ja poistetun maan korvaamista puhtailla maa-aineksilla. Lisäksi pilaantuneet maamassat tulee edelleen käsitellä, jotta ne voidaan hyödyntää uudelleen. (Ympäristöministeriö, 2014, s. 149)

2.4 Pilaantuneen maaperän riskinarviointi

Tässä opinnäytetyössä riskinarviointi on tehty käyttäen käsitteellisen mallin menetelmää ja hyödyntäen Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista 214/2007 ohjearvoja. Riskinarvioinnin laatiminen lähtee liikkeelle tavoitteiden määrittämisellä sekä lähtötietojen keräämisellä. Riskinarvioinnissa arvioidaan mahdolliset haitta-aineiden kulkeutumis- ja altistusreitit sekä niihin liittyvät terveys-, kulkeutumis- ja ekologiset riskit.

2.4.1 Menetelmät – käsitteellinen malli

Käsitteellinen malli (kuva 6, s. 22) on havainnollinen kuvaus pilaantuneella alueella esiintyvien haitta-aineiden sijainnista ja pitoisuuksista sekä mahdollisista kulkeutumis- ja altistusreiteistä. Käsitteellinen malli muodostetaan valittuun kohteeseen käyttäen hyödyksi tietoja kohteen ympäristöstä ja maankäyttömuodoista. Taustatietoina käytetään lisäksi haitta-aineiden pitoisuutta ja sijaintia alueella. Malli on riskinarvioinnin perustyökalu ja se luo pohjan riskinarvioinnin kohdentamiselle, riskien määrittämiselle sekä tarvittaessa riskinhallinnan suunnittelulle. Käsitteellisen mallin avulla voidaan rajata pois sellaiset kulkeutumis- ja altistusreitit, jotka eivät ole mahdollisia, tärkeitä tai todennäköisiä. (Ympäristöministeriö, 2014, s. 38; Sorvari, 2016, s. 13)



Kuva 6. Kuva käsitteellisestä mallista (Ympäristöministeriö, 2007, s. 33).

Käsitteellistä mallia laadittaessa tulee haitta-aineiden ominaisuudet ja kohdekohtaiset tekijät olla selvillä. Keskeisintä on ymmärtää haitta-aineiden haihtuvuus, pidättyvyys, kertyvyys, hajoavuus ja vesiliukoisuus. Kohdekohtaisten tekijöiden osalta merkittävimpiä ovat maaperä-, pohjavesi- ja pintavesiolosuhteet sekä haitta-aineiden kulkeutumista edistävät ja rajoittavat tekijät. Riskinarvioinnin tavoitteet määräävät käsitteellisen mallin tarkkuuden. (Ympäristöministeriö, 2014, s. 56)

Tiedot alueen toimintahistoriasta ja päästötapahistusta vaikuttavat siihen, kuinka tarkka käsitteellisestä mallista voidaan tehdä. Mikäli toimintaja päästöhistoria on hyvin tiedossa, voidaan riskinarviointia varten tehty kohdetutkimukset kohdistaa suoraan oikeille alueille ja alueellinen raja riskinarviointia varten on paremmin toteutettavissa. Mikäli pilaantuneen alueen toimintahistoria ja päästötiedot eivät ole täysin tiedossa, voi haitta-aineiden alueellinen raja olla hankalaa. Jos alueella on tehty vuosien saatossa maansiirtotöitä, vaikeuttavat ne usein haitta-aineiden tarkkaa rajausta. (Ympäristöministeriö, 2014, s. 57)

Käsitteellistä mallia varten tehtävät kohdetutkimukset tehdään, jotta haitta-aineiden pitoisuudet sekä alueellinen raja ja kulkeutumisreitit saadaan määritettyä. Kunnostettavissa kohteissa käsitteellistä mallia käytetään usein kuvauksena tilanteesta kunnostuksen jälkeen silloin, kun maaperään jää suuria määriä haitta-aineita. Tällöin käsitteellisen mallin tulee olla mahdollisimman yksityiskohtainen. Käsitteellisen mallin avulla tehtävän riskinarvion tuloksia voidaan jatkossa hyödyntää esimerkiksi

maankäytön tai kiinteistön omistussuhteiden muutostilanteissa tai alueen lisärakentamistöiden yhteydessä. (Ympäristöministeriö, 2014, s. 57)

Käsitteellinen maali pyritään aina esittämään sekä graafisesti, että kirjallisesti, jotta se olisi mahdollisimman selkeä ja informatiivinen. Graafisessa muodossa käsitteellisessä mallissa käytetään kuvia ja kaavioita esittämään päästölähteiden rajaus, haitta-aineiden mahdolliset kulkeutumisreitit sekä haitta-aineille mahdolliset altistujat ja altistumisreitit. (Ympäristöministeriö, 2014, s. 57)

2.4.2 Ohjearvojen käyttö riskinarvioinnissa

Suomessa yksi tärkeimpiä pilaantuneiden maiden kestävää riskienhallintaa tukeva ohjauskeino on vuonna 2007 voimaan tullut Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista 214/2007, eli niin sanottu PIMA-asetus. PIMA-asetus mahdollistaa pilaantuneiden alueiden kunnostuksen riskiperustaisen päätöksenteon. Haitta-aineiden ohjearvojen tarkoituksena on olla viitteellisinä pitoisuusrajoina haitta-aineista johtuvien ympäristö- ja terveyshaittojen arvioinnissa. Asetuksen yhtenä tavoitteena on ohjata maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointia pelkästä pitoisuusvertailusta myös riskien tunnistamiseen. Näin puhdistustoimien kohdistaminen todellisten riskien vähentämiseen on helpompaa. PIMA-asetuksessa haitta-aineiden kynnsarvoa sovelletaan arviointitarpeen tunnistamiseen ja alemmaa sekä ylempää ohjearvoa käytetään ohjeellisina vertailuarvoina arvioinnin tukena, huomioiden alueen maankäyttömuodot. (Hourula, 2007, s. 12; Pyy ym., 2017, s. 36)

2.4.3 Riskinarvioinnin tavoitteet ja lähtötiedot

Riskinarvioinnin lähtötietoina käytetään tietoja kohteen haitta-aineista, maankäytöstä ja alueen ympäristöolosuhteista. Riskinarvioinnin tavoitteet ja siinä käytettävät arviointimenetelmät määräävät kohdetietojen määrän ja tarkkuustason. Riskinarvion edetessä tehdään täydentäviä tutkimuksia tarpeen mukaan. (Ympäristöministeriö, 2014, s. 47)

Maaperän pilaantumista aiheuttavien haitta-aineiden ominaisuuksien tunteminen on olennaista riskinarviota laadittaessa, jotta voidaan arvioida haitta-aineiden kulkeutumisreitit päästölähteestä. Ominaisuuksien tunnistaminen liittyy myös altistusreittien ja -vaikutusten arviointiin. Haitta-aineet myös tyypillisesti esiintyvät maaperässä epätasaisesti jakautuneina. Tästä syystä kohdetutkimusten suunnitteluun ja toteutukseen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Haitta-aineiden sijainnin lisäksi niiden pitoisuudet, kokonaisuus sekä alueellinen ulottuvuus vaikuttavat riskien merkittävyyteen. (Ympäristöministeriö, 2014, s. 47)

Maaperäolosuhteet vaikuttavat merkittävästi useimpien haitta-aineiden leviämiseen ja käyttäytymiseen tutkittavalla alueella. Riskinarvioinnissa

tarvittavien maaperätietojen tarkkuus vaihtelee haitta-aineen ominaisuuksien mukaan. Käsitteellistä mallia laadittaessa yleensä tarvittavia tietoja ovat päämaalajit, maakerrokset ja niiden paksuus sekä alkuperä sekä maaperän korkeustasot ja viettosuunnat. (Ympäristöministeriö, 2014, s. 52)

Riskinarviointiin tarvitaan tyypillisesti alueen pohjavesitiedot, joilla on merkitystä sekä haitta-aineita kuljettavana tekijänä, että suojelun kohteena. Pohjaveden suojeluarvo on suurin vedenhankinnan kannalta tärkeillä pohjavesialueilla. Riskinarvioinnin näkökulmasta huomioitava on myös vedenottamoiden ja yksityisten kaivojen sijainnit ja käyttö sekä pohjaveden korkeus. (Ympäristöministeriö, 2014, s. 53)

Alueen pintavesitiedot tulee käsitellä sekä haitta-aineiden kulkeutumisen näkökulmasta, että vesistön suojelun kannalta. Pintavesiin kohdistuvien riskien määrittämiseksi ja arvioimiseksi tulee lähistön vesialueiden sijainto ja ekologinen merkittävyys selvittää. Myös vesistön käyttö esimerkiksi virkistys- tai kalastusalueena tulee huomioida. (Ympäristöministeriö, 2014, s. 55)

Pilaantuneen tai pilaantuneeksi epäillyn alueen toimintahistorian tunteminen on tärkeää, kun suunnitellaan haitta-ainetutkimuksia ja tunnistetaan riskinarviointitarvetta. Toimintahistorian avulla saadaan tietoa mahdollisista pilaantumista aiheuttavista haitta-aineista, niiden alueellisesta jakautumisesta ja mahdollisen päästön ajankohdasta sekä vuodon kestosta. (Ympäristöministeriö, 2014, s. 51)

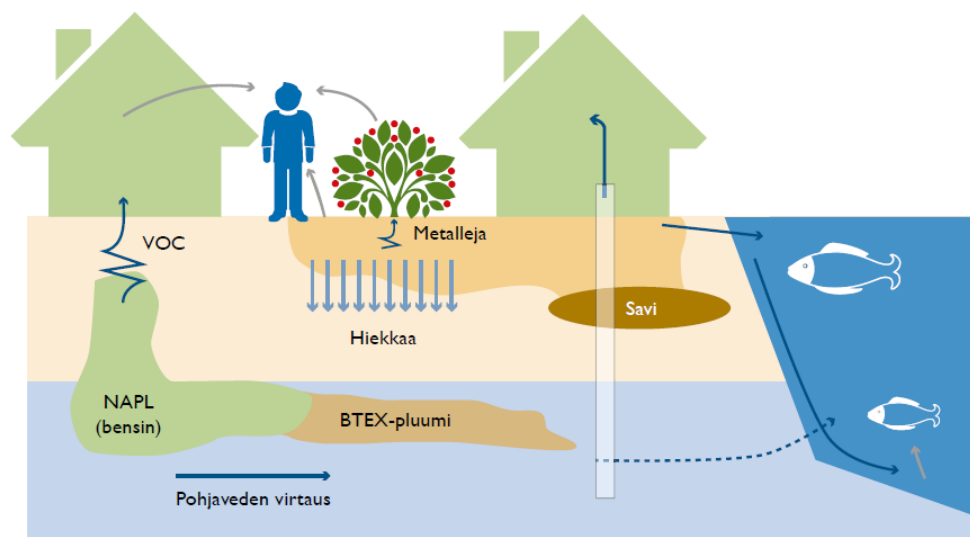
Alueen ja sen lähiympäristön nykyinen ja tuleva maankäyttö määrittelee haitta-aineille todennäköisimmin altistuvat ihmisryhmät ja eliöstön. Tämän vuoksi maankäyttö tulee huomioida riskinarviointia toteutettaessa. Mikäli alueen maankäyttöä ollaan muuttamassa, tulee riskinarvioinnin lähtökohdaksi ottaa alueen tuleva maankäyttömuoto. Maankäyttömuotoja selvitetessä tulee huomioida alueen ja lähiympäristön erityiskohteet, kuten päiväkodit, leikkipaikat, viljelyalueet ja erityisesti suojeltavat luontokohteet. Lisäksi kulkeutumiseen ja altistumiseen vaikuttavana tekijänä huomioitavaa on alueen muut rakenteet, päällysteet ja kasvillisuus, sekä salaojitus, viemäroinnit ja putki- ja sähkölinjat. (Ympäristöministeriö, 2007, s. 38; Ympäristöministeriö, 2014, ss. 51–52)

Pilaantuneiden maa-alueiden riskinhallinnassa tavoitteena on ensisijaisesti varmistaa, että haitta-aineet aiheuta eivät merkittävää ympäristö- tai terveysriskiä. Riskinarvioinnissa haitta-aineiden mahdolliset ympäristö- ja terveyshaitat tunnistetaan, määritetään ja kuvataan. Riskinarvioinnin perusteella arvioidaan pilaantuneisuus ja puhdistustarve ja määritetään tarvittaessa puhdistustavoitteet. (Pyy ym., 2017, s. 13)

2.4.4 Kulkeutumis- ja altistumisreitit

Altistumista ja altistujia määriteltessä merkittävää on kunkin altistujan yhteys altistumisreittiin. Esimerkiksi kasvien ja maaperäeliöstön altistuminen haitta-aineille rajoittuu yleensä pintamaan kasvukerrokseen. Mikäli pintamaa on peittämätön, voivat siihen sitoutuneet haitta-aineet levitä pölyämisen mukana tai huuhtoutua pintavalunnan mukana. Peitetyillä, esimerkiksi asfaltoituilla, alueilla ja syvemmillä maakerroksissa oleville haitta-aineille altistuminen edellyttää haitta-aineiden kulkeutumista joko kaasuna tai veden mukana. Maaperän kerrokset erilaisina vedenläpäisyominaisuuksineen vaikuttavat osaltaan haitta-aineiden liukenemiseen ja kulkeutumiseen. (Ympäristöministeriö, 2014, s. 56)

Kuvassa 7 on esitettyä teoreettiset altistumis- ja kulkeutumisreitit sekä altistujat.



Kuva 7. Teoreettiset altistumis- ja kulkeutumisreitit havainnollistavassa leikkauskuvassa (Ympäristöministeriö, 2014, s. 58).

Tässä luvussa esitellään merkittävimmät altistumis- ja kulkeutumisreitit sekä niihin liittyvät altistujat. Merkittävimpinä altistumis- ja kulkeutumisreitteinä esitellään suora kosketus, pölyäminen, haihtuminen sisäilmaan, pintavalunta ja kulkeutuminen pohjaveden mukana.

Ihmisellä ja eläimillä **suora kosketus** pilaantuneeseen maa-ainekseen voi tapahtua ihokosketuksen tai maan nielemisen kautta. Merkittävää altistumista maaperän haitta-aineille suoran kosketuksen kautta voi tapahtua maan nielemisen seurauksena ainoastaan päällystämättömillä alueilla silloin, kun haitta-aineet esiintyvät pintamaassa. Riskialttiimpia kohteita ihmiselle suoran kosketuksen kautta tapahtuvalla altistumisella ovat esimerkiksi leikkikentät tai vastaavat alueet. (Reinikainen, 2007, ss. 56–57)

Pölyämisen kautta leviävät haitta-aineet sijaitsevat tyypillisesti pinta- maassa. Ihmisellä ja eläimillä riski altistua pölyämiseen liittyy pääosin maa- aineksen tahattomaan nielemiseen tai pölyävän maan hengittämiseen. Tyypillisiä arvioita maa-aineen tahattomalle nielemiselle pölyämisen seurauksena ovat lapsilla 20–200 mg vuorokaudessa ja aikuisilla 10–100mg vuorokaudessa. (Ympäristöministeriö, 2014, s. 113)

Pilaantuneilla alueilla haitta-aineiden haihtumiseen liittyvässä altistumi- ssa ihmisen kannalta merkittävintä on usein **haihtuminen rakennusten sisäilmaan**. Rakennusten sisäilma onkin riskinarvioinnissa olennainen tar- kastelukohde. (Ympäristöministeriö, 2014, s. 94) Haitta-aineiden pitoisuu- teen rakennusten sisäilmassa vaikuttavat sekä haitta-aineiden sijainti, että monet rakennustekniset ja ilmastolliset tekijät. Maaperässä olevien haitta- aineiden ajan myötä tapahtuva haihtuminen, liukeneminen ja biologinen hajoaminen vähentävät tyypillisesti haitta-aineyhdisteiden pitoisuutta si- säilmassa. (Reinikainen, 2007, s. 57)

Haitta-aineet voivat kulkeutua pilaantuneesta maaperästä **pintavaluntana** vesistöön purkautuvan pohjaveden tai valumavesien mukana. Valumave- sien määrään vaikuttaa olennaisesti pinnan peitto, pintamaan kaltevuus ja laatu, sadevesiviemärointi sekä alueen läpi tai lähistöllä kulkevat ojat. Alt- istujana pintavalunnan mukana kulkeutuville haitta-aineille toimii usein vesieliöstö. (Ympäristöministeriö, 2007, ss. 36–37)

Pilaantuneessa maaperässä huokosvedeen liukenevat haitta-aineet voivat imeytyä vajoveden mukana pohjavedeen, jossa ne **kulkeutuvat pohjave- sivirtausten mukana**. Mikäli päästölähde on kokonaan tai osittain pohja- veden pinnan alapuolella tai haitta-aineiden kulkeutuminen vajoveden mukana on mahdollista, tulee pohjaveden haitta-ainepitoisuudet määrit- tää pohjavesinäytteenotolla. Pohjaveden kautta kulkeutumisessa altistu- jina voivat olla ihminen ja vesieliöstö. (Ympäristöministeriö, 2014, ss. 102– 103)

2.4.5 Öljyhiilivedyt riskinarvioinnissa

PIMA-asetus ei määrittele öljyhiilivedyille riskiperusteisia viitearvoja. Ase- tuksessa määritellään öljyhiilivedyille C_{10} – C_{40} kynnysarvo, joka vastaa kes- kitisleiden $>C_{10}$ – C_{21} alemmaa ohjearvoa. Maaperästä on suositeltavaa mi- tata öljyhiilivetyjen tarkemmat fraktiokohtaiset pitoisuudet pilaantunei- suuden ja puhdistustarpeen arviointia varten. (Reinikainen, 2007, s. 77)

Raakaöljy pitää sisällään tuhansia rakenteeltaan ja molekyylikooltaan vai- televia hiilivetyjä, joita jalostetaan erilaisia öljytuotteita varten. Taulukossa 2 (s. 27) on esitettyä eri öljytuotteiden hiililuku, kiehumispistealue sekä tyypilliset haitalliset yhdisteet. (Reinikainen, 2007, s. 149)

Taulukko 2. Eri öljytuotteiden hiililuku, kiehumispistealue sekä tyypilliset haitalliset yhdisteet (Reinikainen, 2007, s. 149)

Tuote	Hiililuku	Yhdisteet	Kiehumispistealue
Bensiini	C4-C12	BTEX-yhdisteet, muut monoaromaatit ja haaroittuneet alkaanit, pienempiä määriä n-alkaaneita, alkeeneita, sykloalkaaneita ja naftaleeneja, lisäaineina MTBE:tä ja muita hapettimia	40-200 °C
Keroseeni	C6-C16	Sykloalkaanit ja n-alkaanit, pienempiä määriä monoaromaatteja ja haaroittuneita alkaaneja, hyvin vähän BTEX- ja PAH-yhdisteitä	150-300 °C
Dieselöljy ja kevyt polttoöljy	C8-C21	N-alkaanit, haaroittuneet alkaanit ja sykloalkaanit, pienempiä määriä monoaromaatteja, naftaleeneja ja PAH-yhdisteitä	200-325 °C
Raskas polttoöljy	C12-C34 (ja yli)	N-alkaanit, haaroittuneet alkaanit ja sykloalkaanit, raskaat PAH-yhdisteet (asfalteenit ja hartsit), monoaromaatteja ja naftaleeneja, rikkiä ja tyypeä sisältäviä hiilivetyjä	350-700 °C
Voitelu- ja moottoriöljy	C18-C34 (ja yli)	Haaroittuneet alkaanit ja sykloalkaanit, PAH-yhdisteet, mono- ja diaromaatit	325-600 °C

Eriolaisten öljytuotteiden ominaisuudet ja myrkyllisyys eroavat toisistaan, minkä vuoksi öljyhiilivetyjen aiheuttamia terveys- ja ympäristöriskejä ei yleensä tarkastella kokonaisöljypitoisuuksien perusteella, vaan öljyhiilijakeittain. Esimerkiksi voiteluöljyjen tapauksessa avainyhdisteenä toimivat raskaiden öljyhiilivetyjakeiden lisäksi PAH-yhdisteet. (Reinikainen, 2007, s. 150)

2.4.6 Öljyhiilivetyjen aiheuttamat riskit

Maaperän pilaantumisesta aiheutuvat riskit luokitellaan tyypillisesti terveysriskeiksi, kulkeutumisriskeiksi ja ekologisiksi riskeiksi. Tässä luvussa esitellään kyseiset riskit öljyhiilivetyjen näkökulmasta.

Arvioitaessa öljyhiilivetyjen **terveysriskejä** tarkastellaan tavallisesti erikseen syöpäriskiä ja muihin terveysvaikutuksiin perustuvaa riskiä. Syöpäriskin arvioinnissa käytetään hyödyksi syöpävaarallisten hiilivetyjen, bentseenin ja PAH-yhdisteiden, pitoisuutta. Muut terveysriskit arvioidaan ei-syöpävaarallisten avainyhdisteiden avulla. (Reinikainen, 2007, s. 155) Öljyhiilivetyjen aiheuttamien terveysriskien kannalta merkityksellisin altistumisreitti on tyypillisesti altistuminen sisäilman kautta. Myös tilanteissa, joissa öljyhiilivetyjä on päässyt merkittävässä määrin liukenemaan juomakäyttöön tarkoitettuun pohjaveteen, on altistumisriski merkittävä. (Ympäristöministeriö, 2014, s. 215)

Kulkeutumisriski voi aiheutua, mikäli öljypäästö on pitkäaikainen tai äkillisesti tapahduttuaan riittävän suuri, jolloin osa öljyhiilivedyistä kulkeutuu koko vajovesikerroksen läpi ja kertyy pohjaveden yläpuolelle vapaaksi öljyfaasiksi. Tällöin maaperän pidätyskapasiteetti ylittyy ja vapaa öljyfaasi voi edelleen kulkeutua maaperässä. Tyypillisesti vapaa faasi kulkeutuu

pohjaveden virtauksen suuntaan. Lisäksi öljyhiilivedyt voivat kulkeutua maaperästä sadevesien huuhtomana pilaantuneen alueen ulkopuolelle tai valumavesien mukana vesistöihin. (Reinikainen, 2007, ss. 151–153) Maaperässä esiintyvän öljytuotteen ominaisuudet vaikuttavat merkittävästi pohjaveden pilaantumisriskiin. Esimerkiksi raskaiden öljyjakeiden, kuten voiteluöljyn, sisältämät hiilivedyt pidättyvät voimakkaasti maaperään eivätkä juuri liukene veteen, jolloin niiden aiheuttama laaja-alainen pohjaveden pilaantumisriski on hyvin pieni. (Reinikainen, 2007, s. 158)

Öljyhiilivetyjen vaikutuksesta maaperän ja vesistön eliöille on saatavilla melko vähän tietoa ja **ekologisten riskien** arvioinnin on todettu olevan hankalaa yksinkertaisimmillakin menetelmillä. Maaperän pilaantuneisuudesta johtuvat vaikutukset eliöihin ovat monisyisiä ja altistumisreittejä voi olla useita. (Hourula, 2007, s. 21) Yleisenä käsityksenä pidetään kuitenkin, että kevyet hiilivedyt ovat maaperässä haitallisempia kuin niukkaliukoiset, raskaat hiilivedyt. Toisaalta maaperän mikrobit pystyvät kuitenkin hajottamaan kevyitä hiilivetyjä helpommin. Tästä johtuen raskaiden jakeiden osuus maaperän öljypitoisuudessa kasvaa. Raskaiden öljyjakeiden suhteellisen osuuden kasvaessa ajan kuluessa, myös öljyn haitallisuus pienenee. Raskaiden öljyhiilivetyjen suuret pitoisuudet maaperässä ovat kuitenkin haitallisia, mikäli eliöt tahriintuvat öljyyn. Yleisesti ottaen öljyhiilivetyjen haitallisuutta eliöstölle pidetään moniin muihin haitta-aineisiin verrattuna melko alhaisena. (Reinikainen, 2007, ss. 154 & 28)

2.4.7 Riskinarvioinnin luotettavuuden arviointi

Riskinarvioinnissa käytettäviin tutkimuksiin ja lähtötietoihin liittyy epävarmuutta, jota käsitellään epävarmuustarkastelussa. Epävarmuustarkastelun tavoitteena on tuottaa arvio riskinarvioinnin luotettavuudesta ja riittävydestä. Näin voidaan tunnistaa mahdollinen tarve lisätutkimuksiin tai riskinarvioinnin tarkentamiseen. (Ympäristöministeriö, 2014, s. 126)

Riskinarvioinnin epävarmuustekijät liittyvät tyypillisesti tutkimusten riittävyyteen ja tulosten edustavuuteen, alueen toiminta- ja pilaantuneisuushistoriaan sekä haitallisten aineiden sijaintiin ja jakautumiseen alueella. Näytteenotto on usein tutkimusten kriittisin vaihe ja merkittävä tekijä kokonaisuus epävarmuudesta. Virhelähteiden minimoimiseksi tulee näytteenotto suorittaa huolellisesti kokeneen näytteenottajan toimesta ja käyttää standardeitua tai luotettavuudeltaan niitä vastaavia näytteenottomenetelmiä. Laboratorioiden tulee mielellään olla akkreditoituja. Kenttämittaustulokset tulee, ainakin osittain, varmistaa laboratoriossa. (Ympäristöministeriö, 2007, s. 41)

Riskinarvioinnin epävarmuustarkastelu voidaan tehdä erikseen jokaiselle riskien arviointivaiheelle tai toteuttaa kokonaistarkasteluna, jossa eri arviointivaiheiden epävarmuudet käsitellään samanaikaisesti. Epävarmuustarkastelu tehdään usein kuvailevana. Olennaista on tunnistaa epävarmuuden

merkittävimmät lähteet ja niiden vaikutus riskinarviointiin. (Ympäristöministeriö, 2014, ss. 126–127)

3 KEHITTÄMISTYÖN TAVOITE JA TARKOITUS

Tämän toiminnallisen opinnäytetyön kehittämistyön tarkoitus oli tehdä kohdekohtainen riskinarviointi Etelä-Suomessa sijaitsevalle tehdaskiinteistölle, jonka maaperään jäi kunnostuksen jälkeen öljyhiilivetyjä. Tässä luvussa esitellään kohdekohtaisen riskinarvioinnin tavoitteet ja kohteen yleistiedot riskinarvioinnin perustaksi.

3.1 Riskinarvioinnin tavoite ja tarkoitus

Etelä-Suomessa sijaitsevalla tehdaskiinteistöllä kunnostettiin öljyhiilivedyillä pilaantunutta maaperää tutkimuskaivuuna syksyllä 2018. Kiinteistöllä on historiaa teollisuusalueena, ja konepajatoiminta alueella on alkanut kunnostuksen tilaajalta saatujen tietojen mukaan 1970-luvun alussa.

Tehdasrakennuksen laajennuksen pohjatöiden yhteydessä poistettiin kaksi maanalaista työstö-öljysäiliötä, joista toinen sijaitsi lastauslaiturin välittömässä läheisyydessä hallin itäpäässä. Öljysäiliön poiston yhteydessä havaittiin säiliön täyttöputkessa halkeama ja öljyä maaperässä säiliön ympärillä. Säiliöön oli johdettu työstö-öljyseosta, jossa on noin 10 % pääosin raskaita öljyhiilivetyjakeita sisältävää hydraulioöljyä ja lastuamiseen käytettäviä lisäaineita. Leikkuunestettä on käytetty tuotannossa lastuamisen jäähdytykseen ja korroosiosuojaksi.

Öljyhiilivedyillä pilaantuneen maa-aineksen massanvaihto suoritettiin 17.8.2018–5.10.2018. Massanvaihto tapahtui tutkimuskaivuuna samaan aikaan käynnissä olevan uudisrakennuksen perustustöiden kanssa. Massanvaihdon yhteydessä tutkittiin maaperän pilaantuneisuutta öljyhiilivedyillä kenttämittauksin ja laboratorioanalysein.

Pilaantuneen maa-aineksen jääminen maaperään edellytti riskinarvion laatimista ympäristö- ja terveyshaittojen merkittävyyden määrittämiseksi. Työn tavoitteena on arvioida maaperään jääneiden haitta-aineiden aiheuttamat terveydelliset riskit, kulkeutumisriskit sekä ekologiset riskit sekä niiden todennäköisyys.

Riskinarvioinnissa huomioidaan rakennuksen ja sen ympäristön käyttötarkoitus. Riskinarvioinnin lähtötietoina käytetään alueen maaperä-, pohjavesi- ja pintavesitietoja, alueen luonnonoloja, alueen maankäyttötietoja, raskaiden öljyhiilivetyjakeiden ominaisuuksia sekä kunnostuksen aikana tehtyjä tutkimustuloksia, joita täydennettiin myöhemmin riskinarvioinnin

edetessä riskinarvioinnin tavoitteita vastaavaksi. Riskinarviointi tehtiin tilaajan toivomuksesta käsitteellisen mallin menetelmällä.

3.2 Käytetty menetelmä

Riskinarviointi perustuu käsitteellisen mallin menetelmään, jossa huomioidaan haitta-aineiden kemialliset, fysikaaliset ja terveyshaittaa aiheuttavat ominaisuudet. Riskejä arvioidaan kohdekohtaisesti haitta-aineiden aiheuttaman kulkeutumisriskin, ekologisen riskin ja terveyshaitan osalta. Tavoitteena on esittää riskinarviointi, jossa arvioidaan mahdollinen jatkotutkimusten tarve tai suositukset riskienhallintatoimenpiteistä. Riskinarviointi koskee kohteen käyttöä teollisuusalueena. Riskinarvioinnissa hyödynnetään PIMA-asetuksen öljyhiilivedyille asetettuja ohje- ja kynnysarvoja.

3.3 Kohteen yleistiedot riskinarvioinnin perustaksi

Riskinarvioinnin perustiedoiksi kerätään kohteen maankäyttömuodot, kohteen maaperätiedot sekä kohteen ympäristön vesistö- ja pohjavesitiedot. Tässä luvussa esitellään opinnäytetyön riskinarvioinnin kohteeseen liittyvät yleistiedot.

3.3.1 Maankäyttö

Kiinteistöllä on riskinarvioinnin laatimisajankohtana teollisuustoimintaa. Alueen toiminnan oletetaan jatkuvan teollisuustoimintana myös jatkossa. Lähialueet on kaavoitettu asuinkerrostalojen ja erillistalojen korttelialueeksi sekä lähivirkistysalueeksi. Etäisyys vuotopaikalta lähimpään asuinrakennukseen on noin 190 metriä. Kuvassa 8 (s. 31) on esitettyä alue lähes-tymiskartalla ja merkitty punaisella pallolla öljysäiliön paikka.

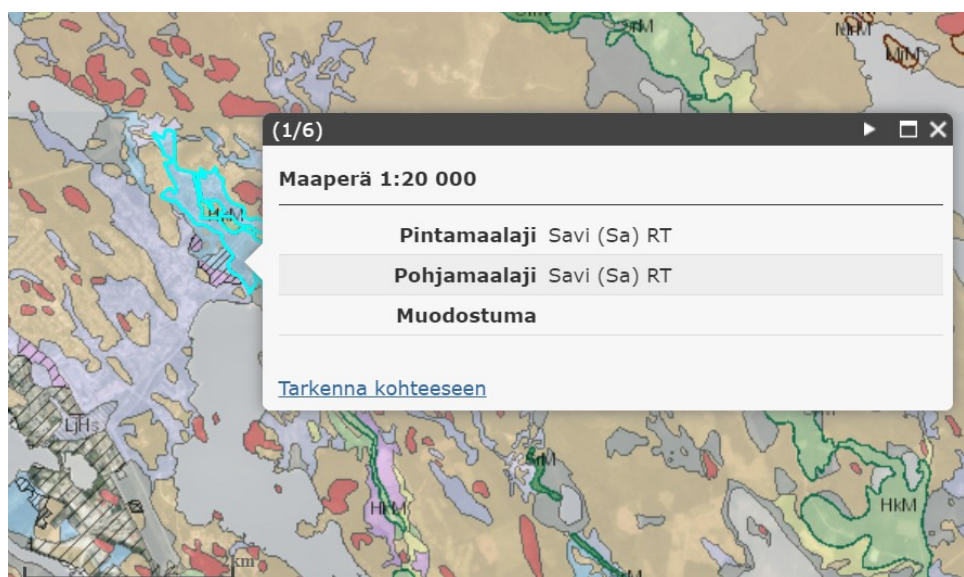


Kuva 8. Öljysäiliön paikka merkittynä punaisella pallolla lähestymiskarttaan (Maanmittauslaitos, n.d.).

3.3.2 Maaperätiedot

Kiinteistö sijaitsee maaperällä, jonka pääasiallinen maalaji on homogeeninen savi- ja silttikerrostuma. Tehdasrakennus on rakennettu noin 3,5 metrin karkearakeisen täyttösorapenkan päälle. Rakennuksen alla olevassa täyttösorassa öljy liikkuu hyvin pidättyen tehokkaasti vasta saavuttaessaan savikerroksen. Lastauslaiturilta ja hallin sisältä tehtyjen kairamittausten perusteella arvioitiin saven tulevan vastaan noin 4,5–5,5 metrin syvyydessä.

Kuvassa 9 on esitetty alueen maaperätiedot.



Kuva 9. Alueen maaperätiedot (Geologian tutkimuslaitos, n.d.).

3.3.3 Pohjavesitiedot

Kiinteistö ei sijaitse pohjavesialueella eikä pohjavesialueen välittömässä läheisyydessä. Lähimmälle pohjavesialueelle on noin 4 kilometrin etäisyys. Kuvassa 10 on esitettyä kohteen sijainti lähimpään pohjavesialueeseen nähden.



Kuva 10. Kohde merkittynä punaisella pallolla pohjavesikartalle. Lähin pohjavesialue noin 4 kilometrin etäisyydellä. (Geologian tutkimuslaitos, n.d.)

3.3.4 Vesistötiedot

Kohdetta lähinnä oleva keskeinen vesistö sijaitsee noin 500 metriä kohteen eteläpuolella. Kohteen välittömässä läheisyydessä sijaitseva oja laskee vahinkoalueen kohdalla kohti vesistöä. Oja virtaa noin 50 metrin etäisyydellä rakennuksesta (kuva 11, s. 33). Ojan uoman paikkaa on muokattu tehdashallien rakentamisen yhteydessä niin, että oja kiertää tehdasalueen sen itäpuolelta. Vesistön ja ojan välille on rakennettu laskeutusallas-kosteikko. Ojaa kuormittavat erityisesti kaupunkialueen sadevesiviemäreiden valumavedet sekä peltojen valumavedet. (Maanmittauslaitos, n.d.)



Kuva 11. Alueen ortokuva. Siniset nuolet vuotopaikalta kohti lähellä virtaavaa ojaa. Punaisella nuolella merkitty laskeutusallas-kosteikko. (Pohjakuvan lähde Maanmittauslaitos, n.d.)

Riskinarvion yhteydessä tutkittiin myös laskeutusaltaan veden öljyhiilivety-pitoisuutta. Pilaantuneen alueen hulevedet johtuvat läheisen ojan kautta laskeutusaltaaseen.

4 KOHDEKOHTAINEN RISKINARVIOINTI

Kohdekohtainen riskinarviointi tehdaskiinteistölle toteutettiin kesällä 2019 paikallisen ELY-keskuksen vaatimusten mukaisesti. Riskinarvioinnissa huomioitiin riskinarvioinnin tavoite, riskinarvioinnin lähtötiedot, kohteen kunnostushistoria, alueen maankäyttömuoto sekä haitta-aineiden ominaisuudet, niiden esiintyminen ja pitoisuudet. Riskinarvioinnin edetessä lähtötietoja täydennettiin lisätutkimuksilla. Riskinarvioinnissa kerättyjen tietojen perusteella tunnistettiin altistumis- ja kulkeutumisreitit sekä altistujat. Riskinarvioinnissa määriteltiin maaperään jääneiden haitta-aineiden aiheuttamat ympäristöriskit, terveysriskit ja kulkeutumisriskit sekä niiden merkittävyys.

4.1 Riskinarvioinnin lähtötiedot

Riskinarvioinnin lähtötiedoiksi koottiin tietoja kohteen kunnostushistoriasta, riskinarvioinnin tavoitteesta, näytteenotosta ja haitta-aineiden esiintymisestä. Tässä luvussa esitellään lähtötiedot ja arvioidaan vaihtoehtoisten kunnostusmenetelmien käyttöä kohteessa.

4.1.1 Kohteen kunnostushistoria

Öljyhiilivedyillä pilaantuneen maan kunnostus suunniteltiin ja toteutettiin massanvaihtona 17.8.2018–5.10.2018. Kunnostusta jatkettiin kaivamalla maata vaiheittain, kunnes kuopan pohjan ja reunojen jäännöspitoisuusnäytteiden öljyhiilivetyypitoisuudet täyttivät asetetut viranomaismääräykset. Kunnostustarpeen laajuutta selvitettiin myös koekuoppien avulla.

Kunnostuksen yhteydessä kuoppaan savipinnan tason yläpuolelle kerääntynyt vesi poistettiin tankkiautoon imemällä. Vesi kuljetettiin öljyllä pilaantuneen veden vastaanottoaikaan.

Kaivualueen hallin vastaisella seinustalla havaittiin pitoisuuksia, jotka ylittivät kunnostustavoitteen. Samalla huomioitiin öljyn kulkusuunnan olevan kohti etelää, hallirakennuksen alle. Rakennuksen alla olevaa pilaantunutta maata ei voitu poistaa rakennusteknisistä syistä ja korkeista tuentakustannuksista johtuen (kuva 12, s. 34). Rakennuksen alle kulkeutunutta öljyhiilivedyillä pilaantunutta maata lukuun ottamatta kunnostustavoitteet saavutettiin ja maaperän öljyhiilivetyypitoisuudet alittivat Valtioneuvoston asetuksen maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista 214/2007 mukaisesti siten, että maaperän öljyhiilivetyypitoisuudet alittavat ylemmän ohjearvon. ”Ylempi ohjearvo on haitallisen aineen pitoisuusarvo, jonka ylittyessä maaperää pidetään yleensä pilaantuneena alueella, jota käytetään teollisuus-, varasto- tai liikennealueena taikka muuna vastaavana alueena, ellei kohdekohtaisella riskinarvioinnilla ole toisin osoitettu” (Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista 214/2007).

Rakennuksen ulkopuolelle jääneiden maa-ainesten haitta-ainepitoisuudet alittivat kunnostustavoitteen, eli ylemmän ohjearvon. Kiinteistöltä otetut maanäytteet analysoitiin akkreditoidussa laboratorioissa SynLab Oy:ssä. Alueen maaperä rakennuksen ulkopuolisissa osissa saatiin tältä osin massanvaihdolla puhdistettua ELY-keskuksen määräämälle tasolle. Kunnostuksen jälkeen kuopan pohjalle ja hallin vastaiselle kuopan reunustalle asennettiin bentoniittimatto. Bentoniittimaton tehtävänä on estää öljyn kulkeutumista hallin alta kunnostetun alueen suuntaan sekä toimia kunnostetun alueen rajana.



Kuva 12. Hallin pilarit tulivat kaivuussa esille eikä kaivuuta voitu ulottaa syvemmälle tehdasrakennuksen alle. Kunnostuksen jälkeen kuopan pohjalle ja hallin vastaiselle sivulle asennettiin bentoniittimatto. (Meri Helmi, 2018)

Maamassat jaoteltiin tutkimusten mukaisesti niiden pilaantuneisuuden ja vastaanottoaikkojen ympäristölupaehdot huomioiden. Haitta-aineetonta maata ja lievästi pilaantunutta maata käytettiin kunnostuspaikalla täyttömaana.

Kohteesta kuljetettiin vastaanottoaikkoihin maa-aineksia yhteensä 672,52 tonnia. Poistetut maa-ainemäärät ja niiden jakautuminen eri pitoisuusluokkiin on esitetty alla olevassa taulukossa 3.

Taulukko 3. Poistetut maa-ainemäärät ja niiden jakautuminen eri pitoisuusluokkiin

	Öljypitoisuus yli 10 000 mg/kg	Öljypitoisuus yli 2 000 mg/kg
Kuormien lkm	9	6
Määrä (kg)	377 840	294 680
Osuus kokonaismäärästä	56 %	44 %
Vastaanottoaika	Fortum, Korvenmäki, Salo	Suomen erityisjäte, Kiimassuo, Forssa

4.1.2 Vaihtoehtoisten kunnostusmenetelmien arviointi

Kunnostuksen kestävyttä tulee arvioida ottaen huomioon ympäristö-, talous- ja sosiaaliset tekijät. Kohteessa maaperän kunnostuksen aloitus oli

nopea, sillä maaperän pilaantuneisuus huomattiin öljysäiliöiden poiston yhteydessä laajennusosan maanrakennustöiden aikana. Laajennusosan rakentamisen aikataulun vuoksi maaperä piti laajennusosan alta saada nopeasti ja luotettavasti kunnostettua. Näin ollen kunnostusmenetelmäksi valikoitui massanvaihto nopeutensa ja luotettavuutensa takia. Aikaa eri menetelmien vertailuun ja tutkimiseen ei myöskään ollut paljoa, vaan päätös kunnostusmenetelmästä piti tehdä nopeasti.

Pilaantumattomaksi todetut kaivetut maamassat hyödynnettiin alueella laajennusosan täyttömaana. Pilaantuneiksi todetut maamassat toimitettiin luvanvaraisiin vastaanottoaikkoihin jälkikäsitteilyyn, sillä on site -menetelmien käytölle ei alueella ollut mahdollisuuksia tilan ja ajan puutteen vuoksi.

Laajennusosan maanrakennustöiden takia alueella suoritettiin kaivuutöitä muutenkin, joten massanvaihdon kaivuun aiheuttamat ympäristövaikutukset jäivät kohtuullisen pieniksi. Kohteessa ei myöskään haluttu ottaa riskiä kunnostuksen epäonnistumisesta tai pitkittymisestä. In situ -kunnostusmenetelmissä kunnostusajat ovat usein pitkiä ja lopputulos epävarmempi. Massanvaihdon yhteydessä pystyttiin varmentamaan maaperän haitta-ainepitoisuudet ja pilaantuneen maamassan poisto. Vaikka massanvaihdon kustannukset ovat usein suuret erityisesti pilaantuneen maan vastaanoton kustannuksista johtuen, koettiin massanvaihto kuitenkin tässä tapauksessa taloudellisesti järkevämmäksi, kuin epävarmempien in situ -menetelmien kokeilu. Lisäksi imagosyiden takia alueen pilaantuneesta maasta haluttiin päästä eroon mahdollisimman nopeasti ja luotettavasti.

4.1.3 Riskinarvioinnin tavoite

Kunnostettava alue rajautui tehdasrakennukseen, jonka alla pilaantunutta maa-ainesta ei voitu poistaa rakennusteknisiin ja korkeisiin tuentakustannuksiin perustuen. Massanvaihdot tehtiin siinä laajuudessa, kuin se tehdasrakennusta vaarantamatta oli mahdollista. Rakennuksen alla todettiin haitta-aineita ylemmät ohjearvot ylittävinä pitoisuuksina. Pilaantunut maa-aines sijaitsi 3–5 metrin syvyydellä.

Haitta-aineiden leviäminen kunnostetun alueen ulkopuolelle edellytti riskinarvion laatimista ympäristö- ja terveyshaittojen merkittävyyden määrittämiseksi. Työn tavoitteena on arvioida maaperään jääneiden haitta-aineiden aiheuttamat terveydelliset riskit, kulkeutumisriskit sekä ekologiset riskit. Riskinarvioinnissa huomioidaan rakennuksen ja sen ympäristön käyttö-tarkoitus.

4.1.4 Näytteenotto

Maaperää tutkittiin kunnostuksen aikana massanvaihdon kaivuun edessä ja koekuoppatutkimuksin. Lisäksi riskinarviointia varten suoritettiin kairaustutkimuksia sekä tehdashallin sisällä, että hallin ulkopuolella.

Koekuopat ja kairaukset tehtiin savikerrokseen asti. Kuvassa 13 on esitettyä kairausta hallin sisältä sekä koekuopan kaivuuta hallin ulkopuolella.



Kuva 13. Vasemmalla hallin sisällä suoritetun kairaustutkimuksen kairakone. Oikealla kuvassa koekuopan kaivuuta. (Meri Helmi, 2018)

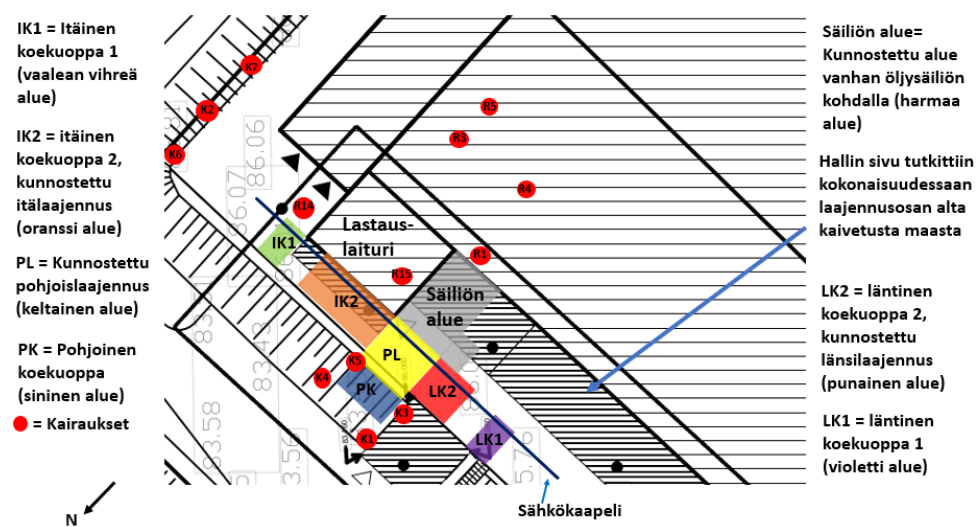
Tutkitulla alueella tehtiin kunnostuksen aikana ja sen jälkeen riskinarviointia varten yhteensä 36 kenttämittausta ja laboratorioissa analysoitiin 33 näytettä. Pilaantuneet maa-ainekset toimitettiin kunnostuksen aikana haitta-ainepitoisuuksien mukaisesti asianmukaisiin vastaanottoaikoihin. Kunnostettujen alueiden jäännöspitoisuuksista tehtiin laboratoriotutkimukset. Jäännöspitoisuudet saavuttivat kaikilla kunnostetuilla alueilla kunnostustavoitteen.

Näytteistä tutkittiin öljyhiilivedyt $C_{10}-C_{40}$, liuottimet, PAH-yhdisteet ja metallit. Laboratoriotutkimusten perusteella näytteissä ei havaittu muita tutkittuja haitta-aineita, lukuun ottamatta öljyhiilivetyjä. Haitta-aineiden osalta riskinarviossa kriittisenä haitta-aineena ovat öljyhiilivedyt $>C_{10}-C_{20}$ ja $>C_{21}-C_{40}$.

Hallin sisäpuolella tehdyistä kairaustutkimuksista kohdan R1 jäännöspitoisuus ($C_{10}-C_{40}$) oli laboratorioanalyysin perusteella 6 000 mg/kg. Keskitisleiden ($>C_{10}-C_{21}$) pitoisuus oli 1 800 mg/kg ja raskaiden jakeiden ($>C_{21}-C_{40}$) pitoisuus 4 200 mg/kg.

Riskinarvioinnin lähtökohtana haitta-aineiden jakautumisen ja pitoisuuksien osalta käytetään kunnostetun alueen jäännöspitoisuusarvoja, vesinäytetuloksia, kairausmittaustuloksia, koekuoppien tutkimustuloksia ja

vertailuarvoja. Tutkitut alueet on esitetty kuvassa 14. Bentoniittimatto asennettiin kuvaan harmaalla merkitylle alueelle ”säiliön alue” ja nostettiin myös hallin vastaiselle kuopan reunustalle, kohti kairareikää R1.



Kuva 14. Tutkitut alueet.

Vesistöstä otettiin kolme näytettä – kaksi läheisestä ojasta vuotopaikan yläpuolelta (näyte 2) ja alapuolelta (näyte 1) sekä yksi laskeutusaltaasta (näyte 3), johon oja laskee. Näytteiden öljyhiilivetypitoisuudet olivat kaikissa näytteissä alle 50 µg/l, mikä on laboratorion määrittämissä raja. Kuvassa 15 on esitettyinä oransseilla palloilla vesinäytteiden ottopaikat.



Kuva 15. Vesinäytteiden ottopaikat (Pohjakuva Maanmittauslaitos, n.d.).

Vesinäytteet otettiin pintavedestä, jossa mahdollinen öljy vettä kevyempänä esiintyy. Kuvassa 16 (s. 39) on laskeutusallas, josta yksi vesinäytteistä otettiin.



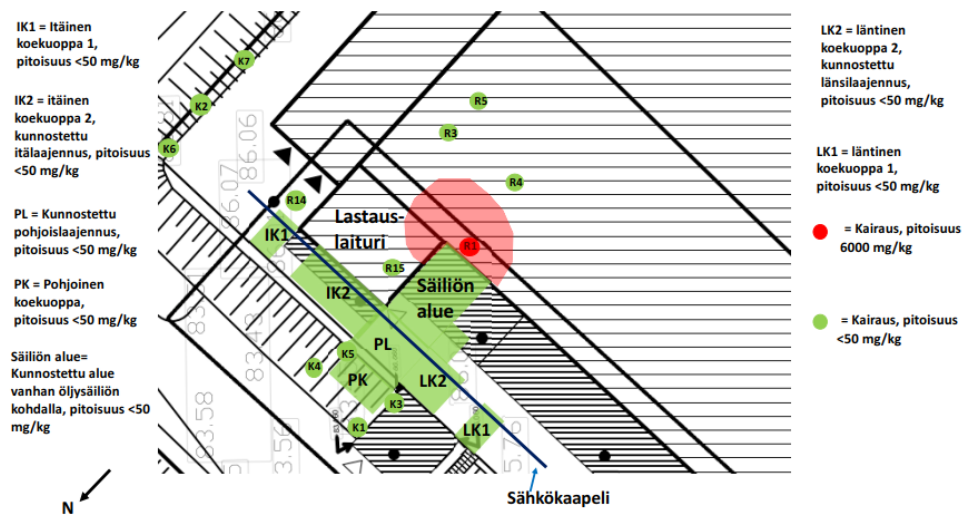
Kuva 16. Vesinäytteet otettiin pintavedestä. Kuvassa laskeutusallas, josta vesinäyte otettiin. (Meri Helmi, 2018)

4.1.5 Haitta-aineiden esiintyminen

Kuvassa 17 (s. 40) on merkittynä alueen maaperän jäännöspitoisuudet. Vihreällä merkittynä on tutkitut alueet, joissa kunnostustavoite saavutettiin. Punaisella merkittynä kairaustutkimus R1, jonka näytteen öljyhiilivetyjen keskitisileiden ja raskaiden jakeiden pitoisuudet ylittivät ylempään ohjearvon.

Kairaustutkimus R1 tehtiin hallin sisätiloissa betonilaatan läpi lähellä luoteis/pohjoisseinää, pihan vuotopaikan välittömässä läheisyydessä. Öljyn voitiin todeta myös tämän tutkimuksen perusteella kulkeutuvan vuotopaikasta hallin alle. Muut hallin sisälle tehdyt kairatutkimukset olivat kuitenkin öljypitoisuuksiltaan alle 50 mg/kg, mikä on laboratorion määrittämissä raja-arvo. Tutkimusten perusteella R1:n kohdalla öljypitoisuudesta (C₁₀–C₄₀) 30 % (1 800 mg/kg) koostui keskitisileistä ja 70 % (4 200 mg/kg) raskaista jakeista. Vertailuarvoihin verraten ylempi ohjearvo keskitisileillä on 1 000 mg/kg ja raskailla jakeilla ylempi ohjearvo on 2 000 mg/kg. Kairausta R1 lähinnä olevat tutkitut kairanäytteet otettiin kairauskohdista R3, R4 ja R15 (lastauslaituri). Näissä kaikissa öljyhiilivetyypitoisuudet olivat alle 50 mg/kg. Epävarmuustekijät huomioon ottaen oletetaan, että pilaantumisen laajuus yli ylempään ohjearvon ylittävin pitoisuuksin kairauksen R1 kohdalta suuntautuu R3, R4 ja R15 on korkeintaan kaksi kolmasosaa etäisyydestä. Pilaantumisen oletettu laajuus rakennuksen alla on noin 50–70m².

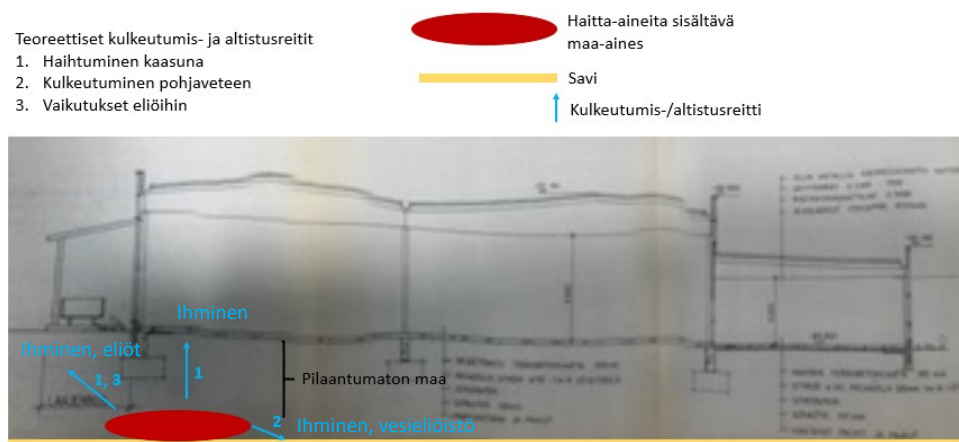
Kuvassa 17 (s. 39) on esitettyä lisäksi oletettu pilaantumisen suurin todennäköinen levittäytyminen yli ylempään ohjearvon pitoisuuksilla (merkitty punaisella).



Kuva 17. Asemapiirroksessa esitettyinä tutkitut alueet sekä kairaututkimukset. Punaisella on esitettyä kairauksen R1 ympärillä oleva pilaantuneen alueen oletetusti suurin todennäköinen esiintyminen.

4.2 Kulkeutumis- ja altistusreitit

Kohteen teoreettisesti mahdolliset altistusreitit on esitetty kuvassa 18. Altistusreittien arviointi on tehty huomioiden kohteen käyttötarkoitus.



Kuva 18. Teoreettiset kulkeutumis- ja altistusreitit.

Kohteeseen jäänyt kunnostamaton öljyhiilivetypitoinen maa-aines sijaitsee noin 3-5 metrin syvyydellä, hallin betonilaatan alla. Kulkeutumisreittinä ja altistumisriskinä arvioitiin suora kosketus, haihtuminen sisäilmaan ja ulkoilmaan, pölyäminen, pintavalunta ja kulkeutuminen pohjaveden mukana.

4.2.1 Suora kosketus

Suora kosketus pilaantuneeseen maa-aineeseen voi tapahtua ihokosketuksen tai maan nielemisen kautta. Öljyhiilivedyt sijaitsivat kuitenkin hallin betonilaatan alla, joten suoraa kosketusta ei pääse normaalissa toiminnassa syntymään. Koska haitta-aineiden kulkeutuminen ja mahdollinen altistuminen voi tapahtua myös ihmistoiminnan vaikutuksesta esimerkiksi korjausten, kaivuiden ja maansiirtojen yhteydessä, tulee suoran kosketuksen riskit kuitenkin huomioida, jos purku- tai kaivuutyötä hallin alueella tehdään.

4.2.2 Haihtuminen sisäilmaan

Öljyhiilivedyt paikantuivat tehdashallin betonilaatan alle, noin 3–5 metrin syvyyteen. Hallin alle jäänyttä pilaantumaa lähin työpiste sijaitsi kairauksen R1 läheisyydessä, alle 5 metrin etäisyydellä siitä. Maaperään jääneestä öljystä suurin osa koostui raskaista öljyjakeista, jotka haihtuvat heikosti. Öljyhiilivedyillä pilaantuneen maa-aineksen päällä on noin kolme metriä paksu sorakerros, jonka päällä on betonimaalilla pinnoitettu 150 mm:n paksuinen betonilaatta. Keskitisleiden tai raskaiden öljyjakeiden haihtuminen maamassan alta ylös sisäilmaan on epätodennäköistä. Näin ollen voidaan arvioida, että öljyhiilivetyjä ei pääse haihtumaan maakerroksen ja betonilaatan läpi tehdashallin sisäilmaan.

4.2.3 Haihtuminen ulkoilmaan

Kunnostuksen yhteydessä saatiin poistettua hallin ulkopuoliset pilaantuneet maat tutkituilta osin. Rakennuksen alle jääneen pilaantumaa ympärillä oleva maamassa ja bentoniittimatto toimivat haihtumisen eristeenä, joten haihtumista ulkoilmaan ei pidetä oleellisena kulkeutumis- tai altistumisriskinä.

4.2.4 Pölyäminen

Koska kohteessa haitta-aineet eivät ole alttiina tuulieroosiolle, ei niiden kulkeutumista ja ihmisten altistumista pölyämisen kautta pidetä oleellisena riskinä normaaliolosuhteissa. Mikäli kohteessa tehdään hallin betonilaatan purkutöitä ja kaivuutöitä, tulee pölyämisen riski ottaa muun materiaalin pölyämisen ohella huomioon.

4.2.5 Pintavalunta

Haitta-aineet voivat kulkeutua pintavalunnan mukana, jos niitä liukenee sade- tai sulamisvesiin tai jos veden mukana pääsee kulkeutumaan haitta-ainepitoista hienoainesta. Kohteeseen jääneiden öljyhiilivetyjen todettiin kuitenkin olevan hallirakennuksen betonilaatan ja sorapatjan alla noin 3–5

metrin syvyydellä, joten kulkeutumista pintavalunnan mukana ei tarkastella oleellisena kulkeutumis- tai altistumisreittinä.

4.2.6 Kulkeutuminen pohjaveden mukana

Pilaantuma koostui pääosin raskaista öljyjakeista, jonka sisältämät hiilivedyt pidättyvät hyvin maaperään eivätkä liukene käytännössä lainkaan veteen. Haitta-aineita ei myöskään ollut pohjaveden pinnan alapuolella. Näin ollen niistä ei yleensä aiheudu laaja-alaista pohjaveden pilaantumista.

Kohde ei sijainnut pohjavesialueella tai pohjavesialueen välittömässä läheisyydessä. Lähimmälle pohjavesialueelle on matkaa noin 4 km. Kohteessa pilaantumisen alueella maaperän savikerros estää tehokkaasti öljyn painovoimaisen kulkeutumisen. Lisäksi pilaantuma eristettiin hallin yhdeltä sivulta bentoniittimatolla, joka estää hyvin öljyn kulkeutumisen. Haitta-aineiden pääsyä pohjaveteen ei pidetä oleellisena altistumisriskinä.

4.3 Kohdekohtaisen riskinarvion riskit

Riskinarvioinnin kohdekohtaisista riskeistä arvioitiin terveysriskit, ekologiset riskit ja kulkeutumisriskit. Riskit arvioitiin erityisesti keskitisleiden ja raskaiden öljyjakeiden kannalta.

4.3.1 Terveysriskit

Kunnostuksen alussa tehtyjen maaperätutkimusten perusteella bentseenin pitoisuus oli alle 0,01 mg/kg ja PAH-yhdisteiden summan pitoisuus alle 0,5 mg/kg. Näin ollen voidaan arvioida terveysriskin syöpävaarallisten yhdisteiden osalta olevan pieni.

Terveysriskien kannalta merkittävin altistumisreitti on sisäilman hengityksen kautta tapahtuva altistuminen. Kohteessa sisäilman kautta tapahtuva altistuminen on kuitenkin arvioitu hyvin vähäiseksi ja näin ollen terveysriski arvioidaan pieneksi.

4.3.2 Ekologiset riskit

Alue on maankäytöltään kaavoitettu teollisuusalueeksi. Näin ollen ihmistoiminnan vaikutus maaperän ekologiaan on ollut hyväksytty maankäyttömuodoista päätettäessä. Kohteessa haitta-aineita todettiin kunnostuksen päätyttyä ainoastaan hallin alla 3–5 metrin syvyydessä, mikä ei ole biologisen aktiivisuuden kannalta enää merkittävä syvyys. Kulkeutumista vesistöön tai maaperään muualla kohteessa ei havaittu. Ekologisten riskien voidaan arvioida olevan hyvin pieniä.

4.3.3 Kulkeutumisriskit

Kiinteistön hulevedet johtuvat tontin lounaispuolelta pääosin sadevesiviemäriin, josta purku tapahtuu tilaajalta saatujen tietojen mukaan itäpuolelta läheiseen ojaan. Alueen koillisosalta ja kaakossa sijaitsevalta pysäköintialueelta hulevedet johtuvat maaperän kautta läheiseen ojaan.

Alueelle jäänyt pilaantunut maa-aines sijoittuu 3–5 metrin syvyyteen, tehdashallin alle. Rakennuksen ulkopuolella sijainnut pilaantunut maa-aines saatiin poistettua kunnostuksen yhteydessä. Näin ollen kiinteistön hulevesien ei oleteta aiheuttavan öljyhiilivetyjen kulkeutumisriskiä. Alueen pintavesistä otetut näytteet tukevat tätä tulkintaa.

4.4 Epävarmuustarkastelu

Merkittävin riskinarviointiin liittyviä epävarmuus- ja luotettavuustekijäprosessissa oli maaperään jääneiden haitta-aineiden kulkeutumisriski. Rakennuksen alle jäänyt haitta-aine-esiintymä paikallistettiin heti ulkoseinän läheisyyteen, lähelle alkuperäistä vuotopaikkaa, josta öljy on lähtenyt kulkeutumaan rakennuksen alle. Rakennukseen tehtiin sisälle öljyn arvioituun kulkusuuntaan kolme lisäkairaustutkimusta. Näin voitiin varmistaa, että pilaantuma ei ole levinnyt koko rakennuksen alle.

Epävarmuutta pilaantumaa laajuuden selvittämiseen aiheuttaa lisätutkimustulosten puute. Halliin ei voitu sen rakenteen ja työkoneiden kiinteän sijainnin vuoksi tehdä kairaustutkimuksia lähemmäksi kairauskohtaa R1. Kauempana olevista kairauskohdista R3, R4 ja R5 tehdyt tutkimukset olivat $>C_{10}-C_{21}$ ja $>C_{21}-C_{40}$ -pitoisuuksiltaan alle 50 mg/kg, mikä on laboratorion määrittämisraja. Näin pilaantumaa levinneisyyden tarkka arviointi oli hankalaa. Tästä syystä epävarmuustarkastelu huomioiden, pilaantumaa oletettu laajuus on ulotettu lähelle kairareikiä R3 ja R4. Todennäköisesti kulkeutuminen rakennuksen alla on kuitenkin ollut arvioitua vähäisempää.

Epävarmuutta riskinarvion kulkeutumisriskien tarkasteluun aiheuttaa myös se, että pilaantumaa ei pystytty eristämään hallin alla, eikä kaikilla reunoilla. Eristys olisi vaatinut erittäin laajoja kaivuutöitä hallin ulkopuolelle. Eristystä pilaantumaa joka sivulta ei koettu tarpeelliseksi, sillä pilaantuma rajautui hallin alle ja sen ulkopuoliset osat saatiin puhdistettua. Lisäksi pilaantumaa ja kunnostetun alueen välinen bentoniittimattoeristys estää öljyn kulkeutumisen kohti kunnostettua aluetta. Eristyksen puute hallin sivuilla aiheuttaa kuitenkin erittäin pienen kulkeutumisriskin, jota ei pidetty merkittävänä riskinarvioinnissa.

Kohteessa ei tehty pohjavesinäytteenottoa kunnostuksen tai riskinarvioinnin aikana. Myöskään seurantasuunnitelmaa ei tehty. Kulkeutumisen pohjaveteen ei todettu olevan merkittävä riski, sillä pilaantuma koostui pääosin raskaista öljyjakeista, jonka sisältämät hiilivedyt pidättyvät hyvin maaperään eivätkä liukene käytännössä lainkaan veteen. Haitta-aineita ei

myöskään ollut pohjaveden pinnan alapuolella, ja kunnostettu alue sijaitsee noin 4 kilometrin etäisyydellä lähimmästä pohjavesialueesta. Pohjavesinäytteenoton ja seurannan puute aiheuttaa kuitenkin riskinarviointiin epävarmuutta.

Riskinarviointi on suoritettu tilaajan toivomuksesta kvalitatiivisella käsitteellisen mallin menetelmällä, joka on melko yksinkertainen menetelmä. Näin ollen arviointiin liittyvät epävarmuudet voivat olla suurempia, kuin tietokonesimulaatioilla tehdyn riskinarvioinnin epävarmuudet. Käytetyssä riskinarviointimenetelmässä epävarmuutta aiheuttavat riskinarvioinnin tekijän näkemys ja johtopäätökset riskeistä. Riskinarvioinnin subjektiivisuuden epävarmuutta pienentää kuitenkin tässä tapauksessa se, että riskinarvioinnin tarkastamisessa ja hyväksymisessä hyödynnettiin ryhmäarviointia, eikä se ole vain yhden ihmisen subjektiivinen näkemys. Riskinarviointi käsitteellisen mallin menetelmällä on lisäksi menetelmänä läpinäkyvä ja helposti ymmärrettävä, jolloin mahdolliset virheelliset johtopäätökset on helppo huomata.

5 RISKINARVION JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Riskinarvion kohteena oli Etelä-Suomessa sijaitseva tehdaskiinteistö. Työn tavoitteena on arvioida maaperään jääneiden haitta-aineiden aiheuttamat terveydelliset riskit, kulkeutumiskäsitteelliset riskit sekä ekologiset riskit. Riskinarvioinnissa huomioitiin rakennuksen ja sen ympäristön käyttötarkoitus.

Haitta-aineiden osalta riskinarviossa kriittisenä haitta-aineena olivat öljyhiilivedyt $>C_{10}-C_{21}$ ja $>C_{21}-C_{40}$, painottuen erityisesti raskaisiin jakeisiin.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että maaperään jääneillä haitta-ainepitoisuuksilla ei arvioida olevan kulkeutumiskäsitteellistä riskiä, joka aiheuttaisi terveys- tai ekologisia riskejä. Maaperän luontaista biologista puhdistumista tapahtuu tosin hitaasti. Riskinarvion tulosten perusteella kohteessa ei tutkitun alueen osalta ole maaperän jatkokunnostustarvetta.

Riskinarvio on tehty kiinteistöllä vain tutkittujen alueiden osalta, eikä se käsitä muualla kiinteistöllä muusta toiminnasta mahdollisesti maaperään päässeitä haitta-aineita. Riskinarvio on tehty ottaen huomioon kohteen nykyinen ja suunniteltu käyttötarkoitus teollisuusalueena.

Riskinarvioinnin epävarmuustekijöinä huomioitiin merkittävimpänä haitta-ainepitoisuudet ja niihin liittyvä kulkeutumiskäsitteellinen riski. Näitä aiheuttivat näytteenoton epävarmuus ja lisätutkimustulosten puute. Lisäksi riskinarvioinnissa käytetyn käsitteellisen mallin todettiin olevan menetelmänä yksinkertainen ja nojaavan suurissa määrin arvioijan näkemyksiin ja tulkintoihin. Epävarmuutta prosessin onnistumiseen aiheuttaa myös seurantatulosten

puute. Kohteen seuranta olisi mahdollista toteuttaa esimerkiksi säännöllisillä pintavesinäytteillä vieressä virtaavasta ojasta.

Valmistunut riskinarviointi toimitettiin opinnäytetyön tilaajan toimesta paikalliseen ELY-keskukseen ja riskinarvioinnin kohteena olevaan yritykseen. ELY-keskus hyväksyi riskinarvioinnin ilman täydennyspyyntöjä. Mikäli kohteen teollisuusyrityksen toiminta säilyy vastaavana eikä pilaantuneelle alueelle tehdä purku tai kaivuutöitä, ei kohteessa tarvitse suorittaa erityisiä toimenpiteitä. Mikäli kuitenkin alueen maankäyttö muuttuu tai esimerkiksi tehdashalli pilaantumaa päältä puretaan, tulee puhdistustarpeen arviointi suorittaa uudestaan.

Oma roolini hankkeessa alkoi jo kohteen kunnostusvaiheessa. Olin mukana tekemässä kohteen maaperän ja lähialueen vesistön haitta-ainetutkimuksia ja myöhemmin valvomassa kohteen kunnostusta. Kunnostuksen valvonnassa työhöni kuuluivat näytteenotto, kunnostuksen ohjaaminen, maamassojen jaottelu ja niiden ohjaaminen oikeisiin vastaanotto paikkoihin sekä laboratorio- ja viranomaisyhteistyö. Kunnostuksen jälkeisessä riskinarvioinnissa toimin arvioinnin päälaatijana. Riskinarviointia ja sen johtopäätöksiä tarkasteltiin ryhmäarviointina ennen arvioinnin toimittamista paikalliselle ELY-keskukselle. Riskinarviointi oli ensimmäinen laatimani riskinarviointi, jonka aikana opin aiheesta todella paljon uutta. Jo kunnostushankkeessa mukana oleminen antoi minulle kattavan käsityksen kohteesta, joten minulla oli hyvä pohjatieto riskinarviointia varten. Koin, että pilaantuneen maaperän riskinarvioinnin tekijän on hyvä olla sama henkilö, kuin kunnostuksen valvoja.

Palautte riskinarvioinnista oli sekä opinnäytetyön tilaajan että kohteessa toimivan yrityksen puolelta hyvää ja riskinarviointi palautettiin ELY-keskukseen ajallaan. Tilaajan palautteen mukaan riskinarviointi oli tehty kohteeseen soveltuvalla menetelmällä ja tarkkuudella. Riskinarviointi oli selkeä ja ymmärrettävä sekä hyvin perusteltu. Riskinarvioinnin tilaaja PH Ympäristötekniikka Oy koki riskinarvioinnin olleen merkittävä oppimisprosessi sekä yritykselle että minulle henkilökohtaisesti. Tämän riskinarvioinnin jälkeen olen pystynyt suorittamaan itsenäisesti, ryhmäarviointia hyödyntäen, useita viranomaisen hyväksymiä riskinarviointeja. Työnkuvaani kuuluu jatkossakin riskinarviointien teko ja koen, että osaamiseni on opinnäytetyöprosessin aikana lisääntynyt paljon.

Opinnäytetyöprosessini oli hieman käännteinen, sillä tein ensin opinnäytetyön toiminnallisen osion, itse riskinarvion. Vasta tämän jälkeen kirjoitin maaperänsuojeluun liittyvän lainsäädännön osuuden ja riskinarvioinnin teoriaan liittyvät osuudet. Perehdyin kuitenkin riskinarviointiprosessin aikana alusta asti kattavasti näihin aihealueisiin sekä itse riskinarvioinnin että opinnäytetyön kannalta. Näin ollen opinnäytetyön teoriaosuuksia kirjoittaessani minulla oli jo hyvät tiedot ja lähteet olemassa. Opinnäytetyöprosessi eteni näin, koska riskinarviointi piti saada valmiiksi ja palauttaa

viranomaiselle kesällä 2019. Työelämäkiireiden vuoksi ehdin kuitenkin kirjoittamaan opinnäytetyötä vasta myöhemmin.

LÄHTEET

Geologian tutkimuslaitos (n.d.). Maankamara-karttapalvelu. Haettu 23.4.2020 osoitteesta: <http://gtkdata.gtk.fi/maankamara/>

Gårsten, J. (2008). *Öljyvahingot Etelä-Savossa – priorisointi ja toimintamalli*. Etelä-Savon Ympäristökeskuksen raportteja 5/2008. Mikkeli 2008. Haettu 24.3.2020 osoitteesta: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/42992/ESArA_5_2008.pdf?sequence=1

Gråsten, J. & Kiukas, I. (2004). *Öljyvahingot Etelä-Savon, Kaakkois-Suomen ja Keski-Suomen alueilla. Rekisteri, tutkimussuunnitelma ja toimintamalli*. Etelä-Savon Ympäristökeskuksen moniste 59. Mikkeli 2004. Haettu 24.3.2020 osoitteesta: <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/134557/Esamo59.pdf?sequence=17>

Heikkinen, P. (2000). *Haitta-aineiden sitoutuminen ja kulkeutuminen maaperässä*. Geologian tutkimuskeskus. Tutkimusraportti 150. Vammala: Vammalan Kirjapaino Oy. Haettu 24.3.2020 osoitteesta: http://tupa.gtk.fi/julkaisu/tutkimusraportti/tr_150.pdf

Hourula, T. (2007). *Pilaantuneen maaperän kohdekohtaisen riskinarvioinnin käytännön toteutus*. Pro Gradu-tutkielma. Bio- ja ympäristötieteiden laitos. Jyväskylän yliopisto. Haettu 8.11.2019 osoitteesta https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/7223/URN_NBN_fi_jyu-2007578.pdf?sequence=1

Leinonen, E., Orava, M. & Raatikainen, K. (2007). *Kenttäopas tiekuljetus öljyvahingon hallintaan*. Suomen Ympäristöopisto SYKLI. Haettu 24.3.2020 osoitteesta: <https://sykli.fi/wp-content/uploads/2019/06/osa2-tausta-aineisto.pdf>

Lepistö, J., Westerholm, H., Schultz, E., Uljas, J. & Björklöf, K. (2014). *Hyvät käytännöt pilaantuneiden maiden kenttätutkimuksissa*. Suomen Ympäristökeskuksen ympäristöopas. Haettu 8.11.2019 osoitteesta https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/42681/YO_2014.pdf?sequence=1

Maanmittauslaitos (n.d.). Paikkatietoikkuna. Haettu 8.11.2019 osoitteesta <https://www.paikkatietoikkuna.fi/>

Penttinen, R. (2001). *Maaperän ja pohjaveden kunnostus - yleisimpien menetelmien esittely*. Suomen Ympäristökeskus. Helsinki: Oy Edita Ab. Haettu 24.3.2020 osoitteesta: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40841/SYKEmo_227.pdf?sequence=1

Pirkanmaan ELY-keskus (2018). *Maaperä kuntoon ohjelman vuosiraportti 2017*. Maaperä kuntoon ohjelma. Tampere 2018. Haettu 26.3.2020 osoitteesta: <https://www.maaperakuntoon.fi/download/name/%7B3357E766-E7DF-4584-85E5-5D279AA99A9E%7D/143609>

Pyy, O., Haavisto, T., Niskala, K. & Silvola, M. (2013). *Pilaantuneet maa-alueet Suomessa - Katsaus 2013*. Suomen Ympäristökeskuksen raportteja 27/2013. Helsinki 2013. Haettu 27.3.2020 osoitteesta: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/41048/SYKEra_27_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Pyy, O., Tikkanen, S., Reinikainen, J., Nihtilä, M. & Sorvari, J. (2017). *Pilaantuneiden maa-alueiden kestävät riskienhallintakeinot*. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 25/2017. Haettu 8.11.2019 osoitteesta <https://tietokayttoon.fi/julkaisu?pubid=18101>

Reinikainen, J. (2007). *Maaperän kynnys- ja ohjearvojen määrittämisperusteet*. Suomen Ympäristökeskus 23/2007. Helsinki: Edita Prima Oy. Haettu 8.11.2019 osoitteesta <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/38431>

Sarkkila, J. Mroueh, U-M. & Leino-Forsman H. (2004). *Pilaantuneen maan kunnostaminen ja laadunvarmistus*. Suomen Ympäristökeskus, Ympäristöopas. Helsinki: Edita Prima Oy. Haettu 8.11.2019 osoitteesta: <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/41742>

Sorvari, J. & Antikainen, R. (2004). *Katsaus pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallinnan nykykäytäntöihin*. Suomen Ympäristökeskuksen moniste. Helsinki 2004. Haettu 26.3.2020 osoitteesta: <https://core.ac.uk/download/pdf/17169352.pdf>

Sorvari, J. (2016). *Kenttätutkimukset riskinarvioinnin ja maaperän kunnostuksen suunnittelun näkökulmasta*. Rakennetun ympäristön laitos, Aalto yliopisto. Haettu 24.3.2020 osoitteesta: https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/205472/mod_folder/content/0/Jaana_Sorvari_Ymp%C3%A4rist%C3%B6kemia_042016_valmis.pdf?forcedownload=1

Suomen Ympäristökeskus (2010a). *Pilaantuneen maa-alueen kunnostuksen loppuraportti*. Ympäristöopas. Helsinki: Edita Prima Oy. Haettu 8.11.2019 osoitteesta <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/38838>

Suomen Ympäristökeskus (2010b). *Pilaantuneen maa-alueen kunnostuksen yleissuunnitelma*. Ympäristöopas. Helsinki: Edita Prima Oy. Haettu 24.3.2020 osoitteesta: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38822/YO2010_Pilaantuneen_maa-alueen_kunnostuksen_yleissuunnitelma.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Tidenberg, S., Taipale, T. & Gustafsson, J. (2009). *MTBE ja TAME pohjavesiriskinä Suomessa*. Suomen Ympäristökeskus 29/2009. Helsinki: Edita Prima Oy. Haettu 24.3.2020 osoitteesta: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38015/SY29_2009_MTBE_ja_TAME_pohjavesiriskina_Suomessa.pdf?sequence=1

Varsinais-Suomen Pelastuslaitos (n.d.). *Öljyntorjunta*. Haettu 25.4.2020 osoitteesta: <https://www.vspelastus.fi/ot>

Vepsäläinen, M., Pyy, O., Sjölund, M., Nikunen, S., Rajala, A-M. & Reinikainen, J. (2016). *Pilaantuneen maa-alueen kunnostushankkeen tilaaminen*. Suomen Ympäristökeskuksen raportteja 1/2016. Helsinki: Suomen Ympäristökeskus. Haettu 8.11.2019 osoitteesta <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/159799>

Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista 214/2007. Haettu 8.1.2020 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2007/20070214>

Ympäristöministeriö (2007). *Maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointi*. Ympäristöhallinnon ohjeita 2/2007. Helsinki: Edita Prima Oy. Haettu 8.11.2019 osoitteesta http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/41523/OH_2_2007.pdf

Ympäristöministeriö (2013). *Mitä on kestävä kehitys*. Ympäristöministeriö 2013. Haettu 28.3.2020 osoitteesta: https://www.ymparisto.fi/fi-fi/ymparisto/kestava_kehitys/mita_on_kestava_kehitys

Ympäristöministeriö (2014). *Pilaantuneen alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta*. Ympäristöhallinto ohjeita 6/2014. Helsinki: Edita Prima Oy. Haettu 8.11.2019 osoitteesta https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/136564/OH_6_2014.pdf?sequence=1

Ympäristöministeriö (2019). *Maaperänsuojelulainsäädäntö*. Haettu 8.1.2020 osoitteesta https://www.ymparisto.fi/fi-fi/Ymparisto/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Maaperansuojelulainsaadanto

Ympäristönsuojelulaki 527/2014. Haettu 8.1.2020 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140527?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=ymparisto%5Bnsuojelulaki>