

Katja Forsell

SUOMESSA TEHTYJEN ÖLJYHIILIVEDYILLÄ PILAANTUNEIDEN MAIDEN KUNNOSTUSTOIMENPITEIDEN MENETELMÄT JA KUNNOSTUSTEN ALUEELLINEN JAKAANTUMINEN VUOSINA 2010-2022

Opinnäytetyö

Ympäristötekniikan koulutus (Ylempi amk)

2023



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Tutkintonimike
Tekijä/Tekijät
Työn nimi

Ympäristötekniikan koulutus (Ylempi amk)

Katja Forsell

Suomessa tehtyjen öljyhiilivedyillä pilaantuneiden maiden kunnostustoimenpiteiden menetelmät ja kunnostusten alueellinen jakaantuminen vuosina 2010–2022

Toimeksiantaja

Jyväskylän yliopisto

Vuosi

2023

Sivut

59 sivua

Työn ohjaaja(t)

Tuula Tuhkanen (JYU), Juho Rajala (Xamk)

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää Suomen tasolla tehtyjen öljyhiilivedyillä pilaantuneiden maiden kunnostustoimenpiteiden menetelmiä, kunnostusten alueellista jakaantumista sekä kemiallisen in situ -kunnostuksen käyttöä Suomessa, käytön määriä ja siitä tehtäviä johtopäätöksiä.

Tutkimuksen kirjallisessa osuudessa tutustuttiin yleisesti pilaantuneen maaperän kunnostukseen, nykyiseen lainsäädäntöön sekä kemiallisen kunnostuksen nyky menetelmiin käytännön tasolla Suomessa. Tutkimuksellisessa osassa selvitettiin Suomessa tehtävien pilaantuneen maaperän kunnostusten eri menetelmiä, niiden jakautumista eri menetelmien välillä painottuen kemialliseen kunnostukseen sekä millaisia jälkimonitorointeja kemiallisessa kunnostuksessa on varsinaisten kunnostustoimenpiteiden päätyttyä. Lopuksi arvioitiin mistä vallitseva nykytila voisi johtua. Aineistona käytettiin alueellisten ELY-keskusten julkisista tietolähteistä löytyviä PIMA-päätöksiä pois lukien Turun ja Helsingin kaupungin ympäristötoimen tekemät päätökset, sekä Ahvenanmaan maakunnan päätökset.

Tutkimuksen tuloksena todettiin, että Suomen tasolla massanvaihdolla kunnostetaan kaikista kunnostettavista kohteista tai alueista (2 499 kohdetta tai aluetta, pois lukien Helsinki ja Turku), hieman alle 96 % kaikista kohteista. Kemiallista kunnostusmenetelmää käytetään kunnostettavissa kohteissa ainoana tai toisen menetelmän rinnalla vain 0,7 %:ssa kaikista kunnostuskohdeista (27 %:ssa in situ -menetelmiä). Erilaiset in situ -kunnostusmenetelmät olivat hieman yleisempiä pitkien välimatkojen alueilla, kuten Lapin ELY-keskuksen alueella. Massanvaihdon suosiota Suomessa puoltaa sen helppous, sillä kunnostustoimenpiteet ovat pääsääntöisesti suoraviivaisia ja massa toimitetaan sellaisenaan pois jäteaseman käsiteltäväksi, lisäksi massanvaihdossa ei tyypillisesti ole jälkiseurantavelvoitetta, vaan massan poisviennin jälkeen maaperä voidaan todeta puhtaaksi kunnostetuilta osin.

Asiasanat: maaperä, pilaantuneisuus, PIMA-päätös, kemiallinen kunnostus

Degree title	Master's Degree Programme in Environmental Technology
Author (authors)	Katja Forsell
Thesis title	Methods of remediation of land contaminated with petroleum hydrocarbons in Finland and regional distribution of remediation between 2010 and 2022
Commissioned by	University of Jyväskylä
Time	2023
Pages	59 pages
Supervisor	Tuula Tuhkanen (University of Jyväskylä), Juho Rajala (South-Eastern Finland University of Applied Sciences)

ABSTRACT

The aim of the study was to find out the methods of rehabilitation measures carried out at the Finnish level in oil-hydrocarbon-contaminated lands, the initial distribution of remediation and the use of chemical in-situ remediation in Finland, the volumes of use and the conclusions to be drawn from it.

The written part of the study introduced the rehabilitation of contaminated soil, current legislation, and current methods of chemical remediation on a practical level in Finland. The research part examined the different methods of restoring contaminated soil in Finland, their distribution between different methods with an emphasis on chemical restoration, and what kind of post-monitoring is included in the chemical remediation after the actual remediation measures have been completed. Finally, an assessment was made of what could be the cause of the status quo. The data used were PIMA decisions found in the public data sources of the regional ELY Centers, excluding those made by the environmental services of the City of Turku and the City of Helsinki, and the decisions of the province of Åland.

As a result of the study, it was found that, at the Finnish level, mass exchange restores slightly less than 96% of all sites or areas to be renovated (2,499 sites or areas, excluding Helsinki and Turku). The chemical remediation method is used in only 0.7% of all remediation sites (27% in situ methods) in the sites to be restored or alongside another method. Various in situ rehabilitation methods were slightly more common in areas with long distances, such as in the area of the Lapland Centre for Economic Development, Transport and the Environment. The popularity of mass exchange in Finland is commonly used because it is easy, as the restoration measures are usually straightforward and contaminated soil is transported to the waste station for treatment. Additionally, there is no need to monitoring a soil after the contaminated mass has been removed, the soil can be found to be clean from the restored parts.

Keywords: contaminated soil, chemical treatment, soil

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	PILAANTUNEISIIN MAA-ALUEISIIN LIITTYVÄ KANSALLINEN JA KANSAINVÄLINEN LAINSÄÄDÄNTÖ	8
2.1	Kansallinen lainsäädäntö	8
2.2	Kansainvälinen lainsäädäntö ja EU:n ympäristöstrategia	9
2.3	MASA-asetusluonnos	10
2.4	Hyötykäytön lupaprosessit	10
2.5	Päätös pilaantuneen maa-alueen puhdistamisesta	11
3	MAAPERÄN PILAANTUMINEN	12
3.1	Pilaantuneisuus määritelmänä	12
3.2	Yleisimmät ympäristöä pilaavat aineet	13
3.3	Maaperän pilaantuneisuus Suomessa ja pilaantuneisuutta aiheuttava toiminta ...	13
3.4	Maaperän pilaantuneisuus Euroopassa ja pilaantuneisuutta aiheuttava toiminta .	15
3.5	Pilaantuneisuuden määrittely	16
4	YLEISIMMÄT HAITTA-AINEET MAASSA JA VEDESSÄ	17
4.1	Bensiini- ja öljyhiilivetyjakeet	17
4.2	Bensiinin lisäaineet sekä BTEX-yhdisteet	20
5	ÖLJYHIILIVEDYILLÄ PILAANTUNEIDEN MAA-AINESTEN RISKIT	21
6	KUNNOSTUSPROSESSIT JA -MENETELMÄT	22
6.1	Kunnostusprosessi Suomessa	22
6.2	Kunnostusprosesseista Euroopassa	24
6.3	Kunnostusmenetelmät	25
6.3.1	In Situ	26
6.3.2	On Site	28
6.3.3	Off site ja ex situ	28
7	KEMIALLINEN KUNNOSTUS	29

7.1	Kemiallisen kunnostuksen historia.....	29
7.2	Kemiallisen kunnostuksen kemikaalit	29
7.3	Kansainvälinen tutkimus	31
7.4	Kunnostusmenetelmät	31
7.5	Kunnostuksen jälkiseuranta ja monitorointi.....	32
7.6	Kemiallisen kunnostuksen haitalliset ympäristövaikutukset	34
8	MATERIAALIT JA MENETELMÄT.....	35
8.1	Käytetyt menetelmät, tietokannat ja tietolähteet	36
8.2	Aineiston ja tulosten rajaukset	37
8.3	Aineistojen analysointi	37
9	TULOKSET.....	38
9.1	PIMA-päätöksien lukumäärä ELY-keskuksittain ja päätelmät päätöksistä.....	38
9.2	Kunnostusmenetelmät pilaantuneen maaperän kunnostuspäätöksissä Suomessa 40	
9.3	Haitta-aineet PIMA-päätöksissä.....	46
9.4	Kemiallinen kunnostus PIMA-päätöksissä	48
9.5	Pilaantuneen maaperän kunnostusmenetelmät sekä haitta-aineiden jakaantuminen Euroopassa.....	51
9.5.1	Eri kunnostusmenetelmät Euroopassa	51
9.5.2	Haitta-aineiden jakaantuminen Euroopassa	53
10	YHTEENVETO	54

SANASTO

BTEX -yhdisteet	Bentseeni, tolueni, etyylibentseeni ja ksyleenit.
ELY-keskus	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus.
Ex situ	Pilaantuneet maamassat kaivetaan ja toimitetaan muualle käsiteltäväksi tai sijoitettavaksi
Fenton-menetelmä	Kemiallisen, vetyperoksidilla tehtävän, kunnostuksen menetelmä, jossa maaperään injektoidaan vetyperoksidin lisäksi rautaa. Rauta (Fe) edistää vetyperoksidin hapettavia ominaisuuksia.
In situ	Kunnostuskohteessa tehtävä kunnostuskäsittely, jossa maata ei tarvitse kaivaa tai pohjavettä siirtää.
Kunnostaminen	Riskienhallintakeino, jonka tavoitteena on vähentää haitta-aineista aiheutuva haitta tai riski tasolle, joka on hyväksyttävä.
Maa-ainesjäte	Maa-aines, jonka haltija on poistanut tai aikoo poistaa maaperästä.
Massanvaihto	Maaperä kunnostetaan kaivamalla maa-aines maaperästä, toimittamalla pilaantunut maa-aines jäteasemalle tai käsittelykeskukseen, sekä korvaamalla pilaantunut maa-aines puhtaalla/kunnostustavoitteen alittavalla täyttömaalla.
Off site	Kunnostaminen tehdään siirtämällä ja käsittelemällä haitta-ainepitoinen maa-aines muualla, kuten jäte-/kierrätysasemalla.
On site	Kunnostuskohteessa tehtävä käsittely, jossa pilaantuneet maamassat kaivetaan ja käsitellään maan pinnalla, ja jonka jälkeen ne voidaan laittaa takaisin maaperään.
Pilaantunut alue	Maaperä, pohjavesi tai sedimentti, jossa on haitta-aineita siinä määrin, että siitä aiheutuu tai voi aiheutua haittaa tai merkittävää riskiä ympäristölle tai terveydelle.
Pohjavesi	Maa- ja kallioperään suotautunut ja varastoitunut vesi, joka on peräisin sateesta ja lumen sulamisvesistä.
Riski	Arvio terveys- tai ympäristöhaitan luonteesta ja todennäköisyydestä.
SYKE	Suomen ympäristökeskus

1 JOHDANTO

Suomessa on selvitetty maaperän pilaantuneisuutta aina 1980-luvulta alkaen. Ympäristöhallinnon keräämän datan perusteella suomessa oli vuoden 2014 puolessa välissä liki 25 000 maa-aluetta, jotka olivat pilaantuneeksi epäiltyjä tai sellaiseksi todettuja. Pilaantuneet maa-alueet painottuvat kartoituksen perusteella Etelä-Suomeen tiiviille teollisuus- ja yritystoimintaan painottuville alueille. Suomen ympäristökeskuksen (2016) arvion mukaan pilaantuneita maa-alueita kunnostetaan vuosittain arviolta 250–300. Pilaantuneiden maa-ainesten kunnostaminen painottui vielä vuonna 2021 massanvaihtoon (95 %), in-situ ja on site - kunnostusvaihtoehtojen (kunnostuskohteessa tehtävien kunnostusmenetelmien) lisääntyessä kuitenkin vuosi vuodelta. In situ -kunnostuksia, joissa maaperää kunnostetaan kohteessa sitä maaperästä kaivamatta, tehdään joitakin kappaleita vuosittain Suomen ympäristökeskuksen (2019) tilastojen mukaan eri puolilla Suomea pääosin erilaisten kokeiluhankkeiden kautta.

Opinnäytetyönä tehdyn tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää pilaantuneiden maa-ainesten kunnostuspäätöksistä (PIMA-päätöksissä) sekä alueellisten ELY-keskusten julkisista aineistoista Suomessa tehtävien pilaantuneiden maa-alueiden kunnostamisesta saatuja haitta-aineita sekä kunnostusmenetelmiä koskevia tietoja, ja erityisesti öljyhiilivetyjen sekä kemiallisen kunnostuksen osuudesta kaikista Suomessa tehdyistä pilaantuneiden maiden kunnostuksista vuosien 2010–2022 välisenä aikana. Saatuja tuloksia peilattiin kansainväliseen kunnostusdataan Euroopassa.

Teoreettinen kirjallisuusosuus painottui tämänhetkiseen maaperän kunnostamiseen liittyvään lainsäädäntöön sekä in situ -kunnostusmenetelmiin, in situ -menetelmistä kemialliseen käsittelyyn sekä pilaantuneiden maa-ainesten kunnostuksen yleiseen teoriaan ja vallitseviin käytäntöihin bensiini- ja öljyhiilivetyjen C₅-C₄₀ sekä BTEX-yhdisteiden ja bensiinin lisäaineiden osalta.

2 PILAANTUNEISIIN MAA-ALUEISIIN LIITTYVÄ KANSALLINEN JA KANSAINVÄLINEN LAINSÄÄDÄNTÖ

Pilaantuneisiin maa-alueisiin sekä niiden kunnostamiseen liittyy monenlaista lainsäädäntöä, jotka ohjaavat niin tapauskohtaisesti erilaisissa ympäristöissä (esimerkiksi metsä, soranotto tai muinaismuisto) toimimista kuin laajemmin yleisesti ympäristöön liittyvissä tilanteissa. Ympäristönsuojelun ja ihmisten terveyden kannalta kaikkein tärkein on laki kuitenkin Ympäristönsuojelulaki (Ympäristönsuojelulaki 27.6.2014/527).

Euroopan tasolta Euroopan unioni ohjaa toimintaa ympäristölaatumormien avulla. Ympäristölaatumormit voivat olla joko asetuksia tai direktiivejä, joihin EU:n jäsenvaltioiden tulee sitoutua ja soveltaa suoraan. (Kangas 2018, 13.)

2.1 Kansallinen lainsäädäntö

Maaperän pilaantuneisuutta ja pilaantumien kanssa toimiessa keskeisin laki näistä on ympäristönsuojelulaki, joka kieltää yksiselitteisesti maaperän ja pohjaveden pilaamisen. (Ympäristönsuojelulaki 27.6.2014/527, 16–17. §.)

Lisäksi maaperän kunnostamista ohjaa Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista (Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista 214/2007). Näiden kahden lisäksi Suomessa maaperän pilaamiseen ja pilaantuneisiin maa-aineksiin liittyy mm. jätelaki (Jätelaki 17.6.2011/646), kemikaalilaki (Kemikaalilaki 9.8.2013/299), Valtioneuvoston asetus jätteistä (Valtioneuvoston asetus jätteistä 179/2012) sekä Valtioneuvoston asetus vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista (1022/2006). (Ympäristöministeriö s.a.)

Maaperän suojelusta ohjeistetaan tarkemmin tapauskohtaisissa tilanteissa erilaisissa laeissa sekä valtioneuvoston asetuksissa, kuten kaivoslaissa (Kaivoslaki 621/2011), maa-aineslaissa (Maa-aineslaki 24.7.2011/555), muinaismuistolaisissa (muinaismuistolaki 17.6.1963/95), luonnonsuojelulaissa (Luonnonsuojelulaki 20.12.1996/1096) ja -asetuksessa (Luonnonsuojeluasetus 14.2.1997/160) sekä muissa ympäristöön ja maaperään liittyvissä laissa. (Ympäristöministeriö s.a.)

Maaperän suojeluun liittyvän lainsäädännön lisäksi pilaantuneita maa-alueita ja maa-aineksia, sekä niiden kunnostusta voi ohjata MARA-asetus (Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maanrakentamisessa 843/2017). Tämä on mahdollista tilanteissa, joissa väylä, kenttä tai vallirakenteeseen, teollisuus- ja varastorakennusten pohjarakenteisiin tai tuhkamurskeilla käytetään matalia, mutta kuitenkin osin Valtioneuvoston asetuksessa maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista (214/2007) asetettujen kynnsarvojen ylittäviä haitta-ainepitoisuuksia sisältäviä maa-aineksia. Tällaisissa tilanteissa tiettyjen jätteiden (mm. betoni-, tiili- tai asfalttimurske), jotka muutoin muodostaisivat maa-aineksen pilaantuneisuutta, voidaan hyödyntää ilman ympäristölupamenettelyä. Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maanrakentamisessa 843/2017)

Ympäristöministeriö on 2010-luvun loppupuolella esitellyt maa-ainesjätteiden ja ylijäämämaiden hyödyntämistä koskevan lain, jonka piti tulla voimaan vuoden 2019 alussa. Edelleen lausuntovaiheessa olevan MASA-asetuksen (Valtioneuvoston asetus maa-ainesjätteen hyödyntämisestä maarakentamisessa) tarkoituksena on ohjata maa-ainesjätteen hyödyntämistä maarakentamisessa. Tällä hetkellä julkisesti Lausuntopalvelu.fi (2019) verkkosivustolta saatavissa olevien tietojen mukaan MASA-asetus sai lausuntokierroksen yhteydessä niin paljon kommentteja ja tarkennuspyyntöjä, että lain valmistelu on viivästynyt. Tärkeimpinä punaisina lankoina laissa on kuitenkin muokata maa-ainesjätteen hyödyntämistä suunnitelmallisemmaksi. Lisäksi laissa halutaan tarkentaa jätteiden ympäristökelpoisuuden arviointiperusteita sekä laadunhallintaa ja sujuvoittaa hallinnollista menettelyä aiemmista. Yleisenä tavoitteena on edistää maa-ainesjätteen ja maaperän sideaineeksi soveltuvan jätteen (kuten betonin tai tiilien) hyödyntämistä maanrakennuksessa.

2.2 Kansainvälinen lainsäädäntö ja EU:n ympäristöstrategia

Kansainvälisesti EU-tasolla on laajalti lainsäädäntöä, jonka tavoitteena on omalta osaltaan varmistaa, että maapallolla eletään ekologisten resurssien rajoissa. Pilaantuneiden maa-alueiden kunnostamiseen liittyvä direktiivi (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2004/35/EY, 2. artikla), jossa Suomen lainsäädännön tapaan veloitetaan toimijaa, jonka toiminnasta on selkeä maaperän tai pohjaveden pilaantumisriski, ottamaan toiminnassaan huomioon

ennaltaehkäisevästi mahdolliset riskit sekä vahingon sattuessa torjumaan, rajaamaan tai poistamaan pilaantuneisuus sekä kunnostamaan aiheuttamansa vahingot. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2004/35/EY, 2. artikla.) Lisäksi täydentävää lainsäädäntöä löytyy muun muassa seuraavista direktiiveistä: jäte- ja saastuneet alueet direktiivistä 2006/12/EC (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/12/EY jätteistä) sekä vesi ja pohjavesi 2000/60/EC (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2000/60/EY yhteisön vesipolitiikan puitteista). (EUR-lex 2022.)

EU:lla on myös vuoteen 2030 asti ulottuva maaperästrategia, jonka tavoitteena on saavuttaa maaperän hyvä terveys vuoteen 2050 mennessä. Tämän strategian puitteissa julkaistaan vuoteen 2023 mennessä uusi maaperän terveyttä koskeva laki, jossa yhtenä tavoitteena on, ettei uutta maata oteta enää käyttöön sekä maaperän pilaantuminen lasketaan sellaiselle tasolle, ettei se enää aiheuta haittaa ihmisen terveydelle tai ekosysteemille. Lisäksi strategian tavoitteena on saavuttaa, että maaperän ennallistamisesta sekä suojelusta ja kestävästä hoidosta tulee yleinen toimintatapa. Tavoitetoimina on mm. pilaantuneiden maa-alueiden (kestävä) kunnostaminen ihmiselle ja ympäristölle turvalliseksi. (European Commission 2022.)

2.3 MASA-asetusluonnos

Valtioneuvoston asetus maa-ainesjätteen hyödyntämisestä maarakentamisesta, lyhennettynä MASA-asetus (Ympäristöministeriö 911/03/2018), käsittelee maa-ainesjätteen hyödyntämistä maarakentamisessa. Asetuksen piti tulla voimaan vuoden 2019 alussa, mutta lausuntokierroksella ilmenneiden tarkennuspyyntöjen ja kommenttien myötä asetuksen voimaantulo viivästyi eikä se ole tullut voimaan maaliskuuhun 2022 mennessä. Asetuksen lähtökohtana oli jätteen hyödyntämisen suunnitelmallisuus, laadunhallinta sekä maa-ainesjätteiden hyödynnettävyys. Lisäksi asetuksen tavoitteena oli keventää hallinnollista menettelyä mahdollistamalla kevennetyn lupaprosessin (rekisteröintimenettelyn) ympäristölupaprosessin sijasta.

2.4 Hyötykäytön lupaprosessit

Valtioneuvosto on vuonna 2017 antanut asetuksen ”eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa”. Asetus antaa mahdollisuuden eräiden jätteiden

den hyödyntämisestä maarakentamisessa ilman ympäristölupaprosessia, edellyttäen, että rakentamisessa käytetään asetuksessa määriteltyjä jätteitä. Asetuksen mukaisia, hyödynnettäviä jätteitä, ovat mm. betoni, lentotuhka, tiilimurska ja renkaat sekä rengasrouhe. Näiden jätteiden osalta näytteenotolla on merkittävä osuus hyödyntämiskelpoisuuden toteutumisessa, ja ympäristölupaprosessia helpottaakseen jätteiden tuleekin alittaa asetuksessa asetetut haitta-aineiden enimmäispitoisuudet. Tämän lisäksi hyötykäyttö tulee olla suunnitelmallista eli hankkeen rakennuttajan on esitettävä kohdekohtainen suunnitelma viranomaiselle. Tämä lainsäädäntö ei kuitenkaan koske maa-ainesjätettä. Jos hyötykäytön osalta ei esitetä kohdekohtaista suunnitelmaa, tulee prosessista käynnistää ympäristölupamenettely. (Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakennuksessa 843/2017, liite 3.)

Maa-ainesjätteiden ja ylijäämämaiden hyödyntämiseen maarakennuksessa on valmistelukierroksella ns. MASA-asetus. MASA-asetuksen tavoitteena olisi MARA-asetuksen tavoin lupaprosessin keventäminen tiettyjen maa-ainesten osalta niin, että mm. kaivualueella hyötykäytettävä maa-aines voitaisiin hyödyntää alueella ilmoitusmenettelyn kautta haitta-ainepitoisuuksiltaan nykyistä Valtioneuvoston asetuksessa maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnissa asetettua alemmaa ohjearvoa vastaaviin pitoisuuksiin saakka, eikä nykyistä ympäristölupa- tai toimenpidemenettelyä tarvittaisi. MASA-asetus on kuitenkin edelleen tilanteessa, josta varsinaista asetusta ei ole hyväksytty, eikä tämä näin ollen ole voimassa. Tämän vuoksi maa-ainesjätteiden ja ylijäämämaiden hyödyntäminen silloin, kun maa-aines on puhdasta, edellytetään ympäristölupaa tai muutoin viranomaisen lausumaa sekä hyväksymää menettelyä. (Lausuntopalvelu 2019.)

2.5 Päätös pilaantuneen maa-alueen puhdistamisesta

Ympäristönsuojelulain mukaan tietyistä ympäristöhaittaa aiheuttavista kertaluonteisista toiminnoista on tehtävä ilmoitus ympäristölupaviranomaiselle tai valvontaviranomaiselle. Näitä toimintoja ovat tilapäinen melu ja tärinä, koe- luonteinen toiminta, poikkeukselliset tilanteet, jätteiden hyödyntäminen maarakentamisessa sekä pilaantuneen maaperän ja pohjaveden kunnostaminen. (Suomen ympäristökeskus 2013)

Ilmoitus pilaantuneen maa-alueen tai pohjaveden puhdistamisesta tehdään alueelliselle ELY-keskukselle (pois lukien Helsinki ja Turku, joissa ilmoitus tehdään kunnan ympäristöviranomaiselle) viimeistään 45 vuorokautta ennen puhdistamisen kannalta olennaisen työvaiheen aloittamista. Olennainen työvaihe on yleisimmin kunnostustoimenpiteiden aloittaminen kohteessa. Poikkeuksellisissa tilanteissa ilmoitus on tehtävä valvontaviranomaiselle viipymättä ja voidaan tehdä myös suullisesti, kunhan viranomaisen saa kirjallisen raportin välittömästi poikkeustilanteen jälkeen. Poikkeustilanteet voivat olla mm. onnettomuuksia. Ilmoituksen voi tehdä sähköisesti lukuun ottamatta Helsingin ja Turun kaupunkien alueita, joissa ilmoitus tehdään edelleen erillisellä lomakkeella. (Suomen ympäristökeskus 2013.)

Konsultin tai muun tahon toimesta tehtyyn pima-ilmoitukseen (erillinen lomake) annetaan viranomaisen toimesta pilaantuneen maa-alueen puhdistamisesta annettu niin sanottu PIMA-päätös, jossa on esitetty tai referoitu lyhyesti konsultin esittämä maaperää tai pohjavettä pilaava toiminto, kunnostusehdotukset sekä muun toimenpiteet maaperän puhdistamiseksi. Näihin esitettyihin toimenpiteisiin viranomaisen antaa ehdotuksensa sekä rajaavia ehtoja, joiden puitteissa työtä voidaan tehdä. (Suomen ympäristökeskus 2013.)

3 MAAPERÄN PILAANTUMINEN

3.1 Pilaantuneisuus määritelmänä

Maaperän pilaantuminen tarkoittaa tyypillisesti sellaista maaperän saastuneisuutta ja haitta-aineiden esiintymistä, josta voi aiheutua vaaraa tai haittaa ihmiselle tai ympäristölle. Pilaantumisen vakavuus riippuu mm. haitta-aineesta, haitta-aineen maaperästä sekä alueen käyttötarkoituksesta, ja vakavuutta arvioidaan kohdekohtaisella riskinarvioinnilla. (Suomen ympäristökeskus 2013.)

Tyypillisesti pohjaveden ja maaperän pilaantumisen katsotaan aiheutuvan ihmisen harjoittamasta toiminnasta. Yleisimpiä pilaantuneisuuden tai nuhraantumisen aiheuttajia ovat erilaiset teolliset toiminnot, jätteiden sijoitus alueelle (mm. kaatopaikat), erilaiset onnettomuudet sekä yleisimpänä polttoaineen jakelu. Yleisin ympäristövahinkojen aiheuttaja on yleensä inhimillinen virhe, sekä tekniset tai rakenteelliset viat käytettävässä tekniikassa. Tahallisesti ai-

heutettuja ympäristövahinkoja tapahtuu jonkin verran ilkvallan sekä varkaus-tapausten yhteydessä. (Alaja 2007, 19–20.)

Kansainvälisesti maaperä tai pohjavesi katsotaan pilaantuneeksi silloin, kun siinä todettu pitoisuus aiheuttaa tai voi aiheuttaa merkittävää haittaa ihmiselle, omaisuudelle tai suojelluille lajeille, pohja tai pintavesille tai mikäli haitta-aineesta aiheutunut säteily aiheuttaa haittaa ihmiselle. (European Environment Agency 2020.)

3.2 Yleisimmät ympäristöä pilaavat aineet

Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista (Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista 214/2007, liite 1, 743–746.) pilaavat aineet on jaoteltu seuraavasti:

- bensiini- ja öljyhiilivetyjakeet ja oksygenaatit
- metallit ja puolimetallit
- aromaattiset hiilivedyt
- polyaromaattiset hiilivedyt
- polyklooratut bifenyylit (PCB) ja polyklooratut dibentso p-dioksiinit ja fu-raanit (PCDD/F)
- klooratut alifaattiset hiilivedyt
- klooribentseenit
- kloorifenolit
- torjunta-aineet ja biosidit sekä
- muut epäorgaaniset haitta-aineet (syanidi)

Asetuksen liitteessä on esitetty yleisesti esiintyvät haitta-aineet kokonaisuuk-sittain jaoteltuna, sekä niille terveys- ja ekologisperusteisesti määritetyt kyn-nys- ja ohjearvot kyseisen haitta-aineen tai yhdisteen haitallisuus huomioon ottaen. Liitteessä esitetyt haitta-aineet ja niiden yleisyys vaihtelee alueittain, mutta Suomen ympäristökeskuksen (2013) julkaiseman raportin (Pyy ym. 2013, 32.) mukaan tyypillisin maaperän pilaantuneisuutta aiheuttavat öljyhiili-vedyt (C₅-C₄₀) sekä raskasmetallit.

3.3 Maaperän pilaantuneisuus Suomessa ja pilaantuneisuutta aiheutta-va toiminta

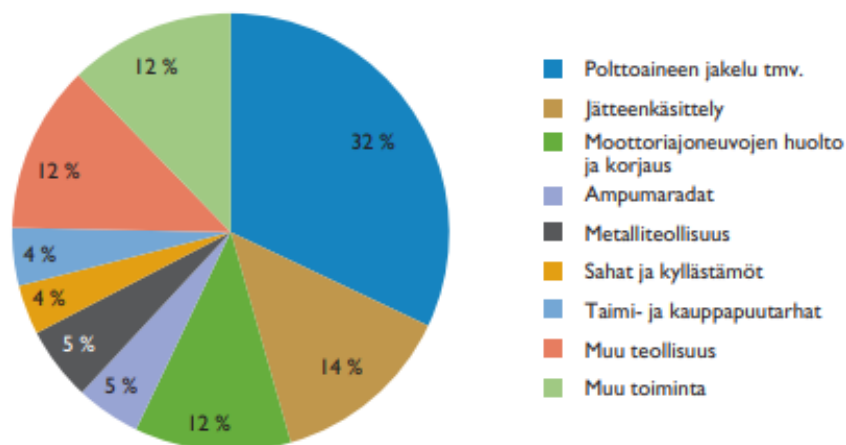
Suomessa on havainnoitu maaperän pilaantuneisuutta ja sen aiheuttamia on-gelmia jo 1800-luvulta alkaen. Erytistä huolta aiheuttivat ihmisen terveydelle ja turvallisuudelle merkittävimmät tautivaara aiheuttavat virukset, loiset ja bak-

teerit. Erilaisten kemikaalien ympäristöhaittoihin alettiin kiinnittää huomiota 1980-luvulla kansainvälisen ympäristötietoisuuden lisääntyttyä Suomessa. (Pyy ym. 2013, 5.)

Maaperän pilaantuneisuutta arvioitiin aluksi 1980–1990-lukujen vaihteessa SAMASE (saastuneiden maa-alueiden selvitys- ja kunnostus) -projektin puitteissa ja tuolloin projektiin kartoitettiin noin 10 400 pilaantuneeksi epäiltyä tai todettua aluetta. (Pyy ym. 2013, 5.) Elokuuhun 2014 mennessä MATTI-rekisteriin, johon rekisteröidään edellä mainittuja maa-alueita, oli rekisteröity jo 24 750 kpl:tta maa-alueita. MATTI-rekisteri sisältää pilaantuneeksi epäiltyjä tai todettuja kohteita, sekä lisäksi jo kunnostettuja kohteita. (Suomen ympäristökeskus 2014.)

Merkittävimpiä maaperän pilaantuneisuutta aiheuttavia toimintoja ovat teollisuus- ja yritystoimintaa harjoittavat yritykset. Lisäksi pilaantuneiksi määriteltyjä alueita on eniten Etelä-Suomen ja rannikkoalueiden tiheään asutuilla alueilla. (Suomen ympäristökeskus 2014). Suomen ympäristökeskuksen raportissa 27 (2013) on esitetty Etelä-Savon ja Pohjois-Karjalan ELY-keskusten toimialueilla olevan asukasmäärään nähden eniten MATTI-rekisteriin merkittyjä kohteita (8–9 kpl:tta tuhatta asukasta kohden). Uudenmaan ja Helsingin alueella kohteita on vain 1–3 kohdetta tuhatta asukasta kohden ja muualla Suomessa luku sijoittuu näiden ääripäiden väliin ollen keskimäärin neljä kappaletta. (Pyy ym. 2013, 10.)

Yleisin pilaantuneisuutta aiheuttava toiminta on toimialoittain esitettynä polttoaineen jakelu ja liikennetoiminta (yhteensä 7641 kohdetta vuonna 2013), jätteen käsittelyn ollessa toiseksi yleisin toimiala (3226 kohdetta vuonna 2013) ja kolmanneksi yleisimpänä moottoriajoneuvojen korjaus ja huolto (2759 kohdetta vuonna 2013). Nämä kolme yleisintä toimialaa käsittää käytännössä liki puolet kaikista pilaantuneisuutta aiheuttaneista toiminnoista Suomessa. Alla olevassa kuvassa (kuva 1) on esitetty eri maaperän pilaantuneisuutta aiheuttavien toimialojen jakaantuminen Suomessa. (Pyy ym. 2013, 14.)



Kuva 1. Kohteiden toimialajakauma MATTI-rekisterissä (Pyy ym. 2013, 14.)

Kohteista hieman vajaa 20 % sijaitsee pohjavesialueella, ja valtaosa näistä pohjavesialueella sijaitsevista kohteista sijaitsee I-luokan pohjavesialueella (hieman yli 80 %). (Pyy ym. 2013, 17.) Vesistöjen rannoilla sijaitsee noin 1 % kohteista (yhteensä 240 kohdetta vuonna 2013) ja rantojen välittömässä läheisyydessä (<100 m) n. 10 % kohteista (2600 kohdetta). Näillä alueilla sijaitsee enimmäkseen saha- ja kyllästämötoimintaa, mutta osin myös puuteollisuutta sekä polttoaineiden jakelutoimintaa. (Pyy ym. 2013, 20.)

3.4 Maaperän pilaantuneisuus Euroopassa ja pilaantuneisuutta aiheuttava toiminta

Euroopan alueella on European Environment Agencyn vuonna 2020 antaman arvion mukaan n. 2,5 miljoonaa potentiaalisesti pilaantunutta kohdetta. Näistä n. 14 % (340 000 aluetta) on todettu tutkimusten perusteella haitta-aineilla pilaantuneeksi ja vaativat todennäköisesti erilaisia kunnostustoimenpiteitä lähivuosien aikana. Pilaantuneet maa-alueet muodostavat koko Euroopan alueella n. 6,5 miljardin euron suuruisen kuluerän julkisille toimijoille. (EEA, 2020.)

Suurin yksittäinen maaperän pilaantuneisuutta aiheuttava toiminta on heikko jätehuolto. Teollisuuden ja kotitalouden jätteet sekä jätehuolto aiheuttaa Euroopan tasolla (22 maan keskiarvo) 38,1 % kaikista maaperän pilaantuneisuudesta johtuvista ongelmista ja haitoista. Jätehuollon lisäksi tyypillisiä maaperän pilaantuneisuutta aiheuttavia toimintoja ovat teollinen- ja kaupallinen toi-

minta (34%), sekä varastointi (10,7 %). Muita pilaantuneisuutta aiheuttavia toimintoja ovat kuljetus-, liikenne- sekä sotilaallinen toiminta. (EEA, 2020.)

European Environment Agency (2020) ylläpitämän datan perusteella valtion asukasmäärään nähden mahdollisia pilaantuneita maa-alueita tuhatta ihmistä kohden (PCSs/1000) on Belgiassa, jossa on 137,95 potentiaalista pilaantunutta maa-aluetta 1000 asukasta kohden. Seuraavaksi eniten potentiaalisia pilaantuneita alueita on Iso-Britanniassa (47,8) ja Ranskassa (16,15). Vähiten mahdollisia pilaantuneita maa-alueita 1000 ihmistä kohden on Virossa, Serbiassa sekä Makedoniassa, josta dataa ei ole saatavilla. Suomi sijoittuu Euroopan tasolla tilastossa viidenneksi (35,53 aluetta/1000 asukasta). (EEA 2020.)

Eri menetelmin tutkittuja ja pilaantuneiksi todettuja maa-alueita on eniten Belgiassa, jossa varmistettuja pilaantuneita kohteita on 20,8 aluetta/1000 asukasta. Suomi sijoittuu tässä tilastossa toiseksi 19,9 alueella/1000 asukasta, ja Liettua kolmanneksi 9,1 alueella/1000 asukasta. Vähiten varmuudella haitta-ainepitoisuuksiltaan kohonneita maita on useita. Tähän lukeutuu mm. PCSs arvoltaan tilastossa korkealla oleva Iso-Britannia, josta data puuttuu. (EEA 2020).

3.5 Pilaantuneisuuden määrittely

Maa-aines katsotaan pilaantuneeksi silloin, kun valtioneuvoston asetuksessa maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnissa asetetut kynnyksarvot (tai taustapitoisuuden, mikäli todettu taustapitoisuus on kynnyksarvoa korkeampi) ylittyvät yhden tai useamman maaperästä laboratorioanalyysien perusteella todetun haitta-aineen osalta. Asetuksessa esitetyt kynnyksarvo, alempi ohjearvo ja ylempi ohjearvo -tasot on asetettu huomioon ottaen kyseessä olevan haitta-aineen haitallisuus. (Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista 214/2007, 3. §.)

Numeraalisesti esitettyjen arvojen lisäksi analysoitujen ja todettujen pitoisuuksien tasoa voidaan arvioida tarkemmin riskinarvioinnin perusteella, jolloin kynnyksarvo korkeammat pitoisuudet voivat vaikuttaa puhdistustarpeeseen. (Reinikainen 2014, 9.)

4 YLEISIMMÄT HAITTA-AINEET MAASSA JA VEDESSÄ

Maassa ja vedessä voi esiintyä monia erilaisia orgaanisia ja epäorgaanisia haitta-aineita. Tässä kappaleessa on esitelty Suomessa yleisimmin maaperän pilaantuneisuutta aiheuttavia haitta-aineita ja niiden yleisimpiä ominaisuuksia sekä esitellään lyhyesti maaperän pilaantuneisuutta aiheuttavia syitä kyseisen haitta-aineen osalta. Haitta-aineiden osalta on muistettava kuitenkin, että kaikki altistuminen on riippuvaista vallitsevista olosuhteista. Euroopassa öljyhiilivetyjen aiheuttama maaperän pilaantuneisuus sijoittuu kolmen yleisimmän joukkoon, muttei kuitenkaan yleisimmäksi.

4.1 Bensiini- ja öljyhiilivetyjakeet

Öljy (maaöljy tai raakaöljy) on luonnossa esiintyvä neste, jota löytyy maaperästä. (EPA 1999.) Maaöljyä jalostetaan erilaisiksi tuotteiksi tislaamalla. Näitä tuotteita voivat olla mm. bensiini, diesel, kerosiini ja asfaltti, mutta myös mm. muovi, torjunta-aineet sekä lääkkeet. (CAPP 2022.)

Öljyhiilivedyt ovat raakaöljyperäisiä yhdisteitä, jotka jaetaan karkeasti aromaattisiin ja alifaattisiin yhdisteisiin. Öljyä käytetään laajasti polttoaineena ja raaka-aineena erilaisissa valmistusprosesseissa. (Söderbergh, s.a. 7.)

Öljyhiilivetyjakeet jaetaan fraktioittain tyypillisimmin kolmeen eri luokkaan sen hiiliketjun pituuden mukaan. Luokat ovat helposti haihtuvat ja kevyet jakeet C₅-C₁₀, keskiraskaat jakeet C₁₀-C₂₁ sekä raskaat jakeet C₂₁-C₄₀. Kokonaishiilivetytyttöisyys esitetään keskiraskaiden sekä raskaiden jakeiden summana C₁₀-C₄₀. (ALS Global 2022.)

Koska öljy koostuu useista ominaisuuksiltaan erilaisista yhdisteistä, ja toisin kuin valtioneuvoston asetuksessa esitetään, edellä esitetty pelkän keskittislesiin ja raskaisiin jakeisiin tehdyn jaottelun perusteella voida riittävän luotettavasti arvioida kulkeutumisen-, terveys- ja ympäristöriskejä. Tämän vuoksi erityisesti tarkemmissa riskinarviointitilanteissa suositellaan jakeiden tarkempaa fraktiointia. (Heikkinen, P. 2000, 11; Reinikainen, J, 2007, 150.)

Bensiini (moottoribensiini) on C₄-C₁₂ hiilivetyjen seos, joka koostuu enimmäkseen 40 % aromaattisista ja 60 % ei-aromaattisista jakeista. Se on helposti haihtuvaa, se haihtuu pääosin ilmaan veteen tai maaperään joutuessaan. Mikäli bensiinijakeet kuitenkin päätyvät maaperään, ne voivat kulkeutua pohjaveeseen. Jakeiden liukoisuuteen vaikuttaa bensiinin koostumus, sillä osa komponenteista on liukoisia, mutta toisaalta osa on niukkaliukoisia tai liukenemattomia. (Gråsten & Kiukas, 2004, 9; OVA-ohjeet, 2021)

Kevyet polttoaineet koostuvat pääosin keskitisleistä C₁₀-C₂₁. Kevyet polttoaineet ovat melko haihtuvia, mutta pääosin komponentit sitoutuvat maainekseen. Kevyet jakeet voivat hajota maaperässä biologisesti. Komponentit liikkuvat heikosti orgaanista ainesta sisältävässä maaperässä (humus), mutta huokoisemmissa maaineksissa, kuten sorassa tai hiekassa, kulkeutuminen voi olla huomattavaakin optimaalisissa olosuhteissa. Öljy liukenee jonkin verran veteen ja sitoutuu veden orgaaniseen ainekseen sekä sedimenttiin, jolloin se voi olla pysyvää myös vesiympäristössä. (Gråsten & Kiukas, 2004, 10; OVA-ohjeet)

Raskaat jakeet koostuvat pääosin jakeista C₂₁-C₄₀. Raskaat jakeet sitoutuvat niin ikään maaperän orgaaniseen ainekseen sekä itse maaperään, ja ovat näin ollen kulkeutumattomia ja hyvin pysyvää. Vedessä raskaat jakeet ovat niin ikään liukenemattomia ja raskaimmat komponentit voivat painua pohjaan ja sitä myötä sedimenttiin. Kyseessä on hitaasti hajoava ja tai osin hajojamaton öljytyyppi. (Gråsten & Kiukas, 2004, 10; OVA-ohjeet)

Orgaaniset kemikaalit, kuten esimerkiksi voitelu- ja polttoaineina käytettävät mineraaliöljyt, ovat tyypillisesti vettä kevyempiä. Tällöin ne voivat esiintyä maaperässä omana veteen liukenemattomana faasina veden pinnalla. Faasin esiintymiseen ja kulkeutumiseen maaperässä ja sedimentissä vaikuttavat öljyn eri fraktioiden ominaisuudet, kuten tiheys ja viskositeetti sekä minkälaisesta päästöstä on kyse (mm. päästön laajuus ja ikä). Maaperäolosuhteet vaikuttavat niin ikään mineraaliöljyn faasin esiintymiseen, ja maaperäolosuhteista olennaisimpia ovat maaperän huokoisuus, kerrosrakenne, vesipitoisuus ja huokoisuus, jotka vaikuttavat öljyhiilivetyjen pidättyvyyteen. Öljyhiilivedyt liikkuvat tyypillisimmin huokoisissa hiekka- ja soramaissa helpommin kuin tiivissä savimaissa. Öljyn sisältämät hiilivedyt voivat liueta myös huokos- ja pohja-

veteen, haihtua huokoskaasuun tai sitoutua maa-ainekseen. (Reinikainen 2007, 150–151.)

Öljyhiilivetyjen ympäristökäyttäytymiseen vaikuttavat merkittävästi niiden fraktiot sekä fraktiojakauma. Öljyhiilivedyt jaetaan alifaattisiin ja aromaattisiin jakeisiin, ja molemmat ryhmät sisältävät jaeryhmät EC5-EC35 (, jossa C kuvaa hiiltä, ja luku hiiliketjun pituutta). Aromaattiset hiilivedyt (EC6-EC16), ovat herkästi liukenevia sekä erittäin haihtuvia, kun taas alifaattisten jakeiden (EC5-EC16) ovat pääosin niukkaliukoisia tai hyvin niukkaliukoisia. Toisaalta alifaattisetkin jakeet ovat haihtuvia tai erittäin haihtuvia. Raskaat jakeet ($>C_{21}-C_{40}$) puolestaan ovat kaikki maaperässä melko pysyviä, heikosti haihtuvia sekä hyvin niukkaliukoisia. Kohtalaisen tai sitä herkemmän haihtuvuuden omaavat hiilivedyt (sekä aromaattiset että alifaattiset jakeet) voivat muodostaa mahdollisen sisäilmariskin päätyessään sisäilman kautta hengitykseen. (Reinikainen 2007, 152.)

Öljyn koostumus muuttuu maaperässä muun muassa biologisen hajoamien, haihtumisen tai veteen liukenemien kautta. Koska öljyhiilivetyjakeiden kevyet ja keskiraskaat jakeet ovat raskaampia herkemmin hajoavia ja muuntuvia, joten tämän seurauksena maaperässä olevien öljyhiilivetyjen raskaiden jakeiden osuus kasvaa ajan myötä. Aromaattisten ja alifaattisten jakeiden jakautumisen osalta on huomioitavaa, että aromaattiset yhdisteet ovat jonkin verran alifaattisia yhdisteitä vesiliukoisempia, mutta toisaalta haihtuvat heikommin ilmaan. (Reinikainen 2007, 151.)

Maan päällä tapahtuvista öljyvahingoista suurin osa öljystä imeytyy suoraan maaperään ja vain 1–2 % öljystä haihtuu ilmaan. Imeytymisnopeuteen vaikuttaa yleisesti maaperän rakenne sekä laatu ja öljyn viskositeetti, eli miten öljy vastustaa virtausta. (Gråsten & Kiukas 2004, 11–12.)

Kevyet polttoaineet (kuten bensiinijakeet sekä keskitisleet $C_{10}-C_{21}$) imeytyvät vettä hyvin läpäisevään maaperään (hienojakoiseen maa-ainekseen, kuten hiekkaan tai soraan) hyvin nopeasti, tämä voi lyhimmillään viedä aikaa joitain minuutteja, enimmillään joitain tunteja. Öljy painuu maaperässä tyypillisesti alaspäin painovoiman vaikutuksesta, kunnes saavuttaa öljyä läpäisemättömän maakerroksen. Tällaisia voivat olla tiiviit savi ja moreenikerrokset. Mikäli tii-

viimpää maakerrosta ennen on pohjavesikerros, pysähtyy öljy pohjaveden pintaan. Tiiviimmän maakerroksen tai pohjaveden pinnan tasolla öljy leviää tyypillisesti maan pinnan suuntaisesti laajemmalle alueelle maa-aineksessa olevia uomia tai hienojakoisempia maa-aineksia pitkin, tai pohjaveden mukana sen virtaussuuntaan. (Gråsten & Kiukas 2004, 11–12.)

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. Liukenemisnopeuteen vaikuttaa öljyhiilivetyjen fraktiojakauma. (Gråsten & Kiukas 2004, 11–12.)

4.2 Bensiinin lisäaineet sekä BTEX-yhdisteet

Bensiinituotteiden yhteydessä voidaan todeta myös BTEX-yhdisteiden (bentseeni-tolueeni-etylibentseeni-ksyleenit) tai bensiinin lisäaineiden (MTBE) aiheuttamaa maaperän tai pohja- ja pintavesien pilaantuneisuutta. Kuten raskasmetallienkin osalta, myös edellä mainittujen haitta-aineiden osalta haitallisuus on määritelty niiden kemiallisten ominaisuuksien aiheuttamista terveysriskien tai ekologisten riskien vuoksi. (Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista 214/2007, liite 1, 743.)

Näistä bentseeni on helposti haihtuva ja vesiliukoinen nestemäisessä muodossa oleva aromaattinen kemikaali, joka on helposti kulkeutuvaa ja päätyy erittäin helposti pohjaveteen. Bentseeni on lisäksi syöpävaarallista ja myrkyllistä vesieliöille sekä ihmisille. Tolueeni on niin ikään määritelty maaperälle ja eliöstölle vaaralliseksi aineeksi, joka voi kaasun muodossa päätyä rakennusten sisäilmaan ja voi kulkeutua maaperästä pohjaveteen vesiliukoisuutensa sekä helpon haihtuvuutensa vuoksi. (Reinikainen 2007, liite 1, 103–104.)

Etylibentseeni on kahden edellä mainitun kaltainen haitta-aine, joskin sen liikkuvuus on hieman heikompa, jolloin se ei liukene bentseenin tai tolueenin kaltaisesti helposti veteen. Lisäksi se pidättyy hieman tehokkaammin orgaaniseen ainekseen, kuten humukseen. Merkittävimmän riskin etylibentseeni muodostaa päätyessään vesiympäristöön tai kulkeutuessaan sisäilmaan. Ksyleenit ovat maaperässä ja pohjavedessä kohtalaisen nopeasti hajoava yhdis-

te, jonka suurin riski on etyylibentseenin tapaan sen päätyminen sisäilmaan sekä pohjaveteen. (Reinikainen 2007, liite 1, 105–106.)

Bensiinin lisäaineena käytettävä MTBE (metyyli-tert-butyylieetteri) on syntetinen orgaaninen kemikaali, jonka haitallisuus pohjautuu sen kykyyn kulkeutua pohjaveteen ja liikkua siinä lähes pohjaveden virtausta vastaavalla nopeudella. MTBE liukenee erittäin hyvin veteen, eikä sitoudu herkästi maa-ainekseen. Se ei myöskään hajoa helposti, jolloin sen pitoisuus voi näkyä vesiympäristössä pitkäänkin. MTBE ei tuota terveysriskiä ihmiselle, sillä sen alhainen hajua ja makukynnys estää veden juomavesikäytön ennen kuin sen pitoisuus ylittää terveydelle haitallisen pitoisuuden. (Reinikainen 2007, liite 1, 107.)

5 ÖLJYHIILIVEDYILLÄ PILAANTUNEIDEN MAA-AINESTEN RISKIT

Erilaisilla haitta-aineilla pilaantuneet maa-ainekset aiheuttavat erilaisia terveydellisiä ja ekologisia riskejä haitta-aineiden ominaisuuksista riippuen. Riskit vaihtelevat haitta-aineittain ja yhdisteittäin, ja riippuvat monista ympäristöolosuhteista (kuten maaperän pH, orgaanisen hiilien määrästä (TOC) tai lämpötilasta), altistujan ominaisuuksista (mm. kehonpainosta ja altistumisajasta) sekä haitta-aineen ominaisuuksista (haihtuvuus, kulkeutuvuus ja liukoisuus). Ihmisen tyypillisimmät altistumiset maaperän haitta-aineille tapahtuvat kolmen reitin kautta, joista ovat ruuansulatuskanava (syöminen, juominen, ravintokasvit), hengityselimet (sisäilma, ulkoilma, pöly, vesihöyry) sekä iho (kosketus pinta-maahan tai vesihöyryyn), mutta haitta-aineiden ominaisuudet vaikuttavat kuitenkin altistumisreittiin merkittävästi. (Reinikainen 2007, 34–61.)

Öljyhiilivetyjakeiden haitallisuus ihmiselle, eliöstölle ja pohjavedelle vaihtelevat fraktioiden osalta paljon. Fraktiot esitetään niiden hiiliketjujen lukumäärän mukaan alkaen EC5:stä EC35:een, joista kevyemmät ja kulkeutuvammat jakeet sijoittuvat hiiliketjun alkupäähän. (Reinikainen 2007, 152.)

Käytännössä alifaattiset jakeet (EC5-EC6) sekä aromaattiset jakeet (EC6-EC12) ovat liukenevia tai hyvin liukenevia. Erittäin haihtuvia jakeita ovat sekä alifaattisista että aromaattisista jakeista EC6-EC10, muut jakeet haihtuvia tai kohtalaisesti haihtuvia lukuun ottamatta aromaattisten jakeiden raskainta osaa (EC21-EC35). Jakeista niin ikään kevyimmät ovat hieman kulkeutuvia, mutta

raskaammat kulkeutumattomia. Kaikki jakeet ovat hieman kertyviä niin ihmisen kuin eliöidenkin elimistöön. (Reinikainen 2007, 152.)

Öljyn vaikutusta maaperään sekä maaperäeliöstöön on tutkittu melko vähän. Tutkimuksissa on kuitenkin todettu, että öljyn päätyminen voi vaikuttaa maaperän fysikaalisiin ominaisuuksiin, ja tätä myötä vaikuttaa maaperäkasvien kasvuun. Veden pintaan kertyvä öljy voi muun muassa rajoittaa maaperän veden läpäisevyyttä sekä maaperän ilmastusta. (Abosedo 2013, 14–17.)

Maaperän öljypilaantumisen vaikutusta maaperäeliöstöön on tutkittu jonkin verran selkärangattomilla (kuten lieroilla), ja näissä tutkimuksissa on todettu, että haitta-ainepitoisen maa-aineksen kulkeutuminen lieron ruuansulatuskanavan läpi vaikuttaa kielteisesti niin lierojen selviytymiskykyyn kuin lisääntymiseenkin. Suurin negatiivinen vaikutus on ensisijaisesti öljyjen sisältävillä PAH-yhdisteillä, mutta myös itse öljyllä, jonka osalta on todettu, että öljyn vaikutus lierojen biomassaan sekä lukumäärään on suoraan verrannollinen lisätyn öljyn määrään. (Klamerus-Iwan ym. 2015, 8–9.)

6 KUNNOSTUSPROSESSIT JA -MENETELMÄT

6.1 Kunnostusprosessi Suomessa

Ensisijainen pilaantuneen maaperän kunnostusvastuu on maaperän pilaajalla tai kiinteistön omistajalla. (Ympäristönsuojelulaki 27.6.2014/527.) Maaperän puhdistuksen tilaaja, tyypillisimmin kiinteistön omistaja ja/tai pilaantuneisuuden aiheuttaja, voi siirtää projektivastuun sellaiselle taholle, jolla on kokemusta pilaantuneen maaperän kunnostamisesta. Tilaajalla on mahdollisuus kunnostaa kiinteistö itse, mikäli omistaa kunnostustoimenpiteisiin riittävät tiedot ja taidot, sekä nykyisen lainsäädännön vaatimat tekniset järjestelmät kunnostuksen suorittamiseen. Tyypillisin projektivastuullinen taho on kuitenkin pilaantuneiden maa-alueiden kunnostamiseen erikoistunut konsulttiryitys. (Eskola ym. 2004, 28.)

Tilaajan keskeisimpiä tehtäviä kunnostusprosessin kannalta ovat (Eskola ym. 2004, 25, 27, 29.):

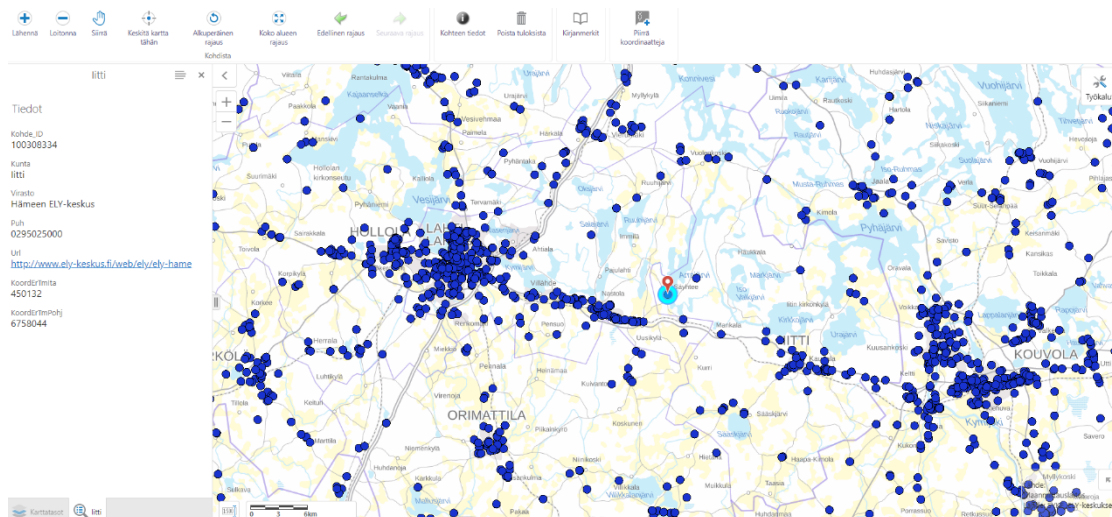
- tarvittavien lupien hankkiminen (Pima-ilmoitus tai ympäristölupa)
- pilaantuneisuustutkimukset / maaperätutkimukset

- suunnittelijan ja riippumattomien laadunvalvojien valinta (esim. konsulttiryitys)
- yleis- ja kunnostussuunnitelmat, kunnostusmenetelmän valinta (konsulttiryitys tyypillisesti tekee suunnitelmat ja esittää mahdolliset kunnostusmenetelmät)
- urakkatarjouspyyntö, urakoitsijan valinta ja urakkasopimuksen tekeminen
- kunnostustyön laadunvalvonta ja raportointi (ympäristötekniinen valvoja, mikäli valitaan konsulttiryitys)
- jälkiseuranta, mikäli valitaan in situ-kunnostusmenetelmä

Kunnostuksen etenemisen osalta tarvitaan seuraavat asiakirjat ja raportit: tutkimussuunnitelma, kunnostus- ja kaivusuunnitelma, PIMA-ilmoitus, PIMA-päätös, loppuraportti ja viranomaisen loppulausunto tilaajan tekemään loppuraporttiin. Ensimmäinen toimenpide pilaantuneeksi epäilylle maa-alueelle on tehdä tutkimussuunnitelma sekä sen pohjalta pilaantuneisuustutkimus. Kun tutkimuksessa on havaittu kohonneita haitta-aineiden pitoisuuksia, tehdään havaintojen pohjalta kunnostussuunnitelma sekä PIMA-ilmoitus alueelliseen ELY-keskukseen. Kunnostussuunnitelmassa tärkeimpiä seikkoja ovat maaperä- ja pohjavesiolosuhteet, tutkimukset ja niiden tulokset, esittelee kunnostusmenetelmän ja aikataulun kunnostukselle. (Vepsäläinen 2016, 16–34.)

PIMA-päätös/kunnostuspäätös on viranomaisen vastine PIMA-ilmoitukseen sekä kunnostus- tai kaivusuunnitelmaan, joka on tehty kohteessa tehtyjen tutkimusten pohjalta. Viranomaisen antamassa kunnostus-/PIMA-päätöksessä referoidaan lyhyesti tehty kunnostussuunnitelma ja keskeiset tutkimustulokset, sekä viranomaisen ehdotus toteuttamisesta. (Vepsäläinen 2016, 16–34.)

Kunnostuksesta tehdään loppuraportti kunnostuksen päätyttyä viranomaisen kanssa sovittujen lupaehtojen täyttyä. Loppuraportissa tulee käydä läpi kunnostuksen lähtötilanne, lopputulos ja kunnostuksen aikana havaitut ongelmat, sekä ongelmien ratkaisut. Loppuraportti toimitetaan luettavaksi viranomaiselle (alueellinen ELY-keskus sekä kunnan ympäristönsuojeluviranomainen), joka pyydettyä antaa loppuraportista viranomaislausunnon. Raportin läpikäynnin jälkeen viranomainen kirjaa kohteen MATTI-rekisteriin. MATTI-rekisteriin merkitään myös kohteet, jotka on jo kunnostettu ja joissa ei ole enää toimenpidetarvetta. Kohteen tarkemmat lisätiedot tulee pyytää alueelliselta ELY-keskukselta, eikä julkisessa rekisterissä ole kohdetietoja tarkempia tietoja. (Vepsäläinen 2016, 16–34; Suomen ympäristökeskus 2022.)



Kuva 2. Kuvaote Matti-rekisteristä ja esimerkki kohteen esitystavasta järjestelmässä (satunnainen kohde), 2022. (Karpalo, 2022)

Yllä olevassa kuvassa (kuva 2) on esitetty satunnaisesti kohdistettu kuvaote Matti-rekisteristä ja rekisteristä julkisesti saatavista kohdetiedoista.

Matti-rekisteriin merkitään kaikki tiedossa olevat kohteet, joissa on tai on ollut maaperän pilaantuneisuutta. Kohteet jaetaan rekisterissä neljään lajiin toimenpidetarpeen ja toiminnan tilan mukaan. Nämä neljä lajia ovat: ei puhdistustarvetta, arvioitava tai puhdistettava, selvitystarve ja toimiva. Kaikki kohteet on merkitty julkiseen rekisteriin samalla tavalla, eikä rekisteristä voi nähdä mihin neljästä kategoriasta kohde on sijoitettu. Vuonna 2013 Suomen ympäristökeskuksen raportissa 27 (Pyy ym. 2013, 11.) arvioitiin varsinaisiksi arvioitaviksi tai puhdistettaviksi kohteiksi 9 % rekisteriin merkityistä kohteista. Selvitystarvekohteita oli vuonna 2013 37 %, toimivia kohteita 36 % ja ei puhdistustarvetta olevia kohteita 18 % kohteista. Ei puhdistustarvetta -lajin kohteet ovat kohteita, joissa kohteen kunnostus on tehty hyväksyttävälle tasolle eli pilaantuneen maaperän kunnostuspäätöksen hyväksymälle, riskiperusteiselle tasolle, muttei välttämättä Valtioneuvoston asetuksen 214/2007 kynnyсарvotason alittavalle tasolle. (Pyy ym. 2013, 11–13.)

6.2 Kunnostusprosesseista Euroopassa

Kunnostusprosessien suhteen ei Euroopan tasolla ole mitään yhtenäistä menetelmää, joiden perusteella voitaisiin sanoa jonkin tietyn prosessin vakiintuneen. Eri Euroopan mailla on erilaisia tavoitteita ja menetelmiä kunnostusten

toteuttamiseen. Siinä missä Suomessa kunnostetaan kohteita sitä mukaa kun niitä todetaan tai alueella tehdään muutostöitä, jolloin kunnostustoimenpiteet ovat ajankohtaisia, on eri Euroopan maille tyypillisempää kunnostaa maa-alueita hanketyyppisesti. Maiden hankkeet painottuvat kunkin maan oman tason mukaisesti. Esimerkiksi Ranskassa pilaantuneita maa-alueita ei juurikaan kunnosteta, vaan heidän ensimmäinen askeleensa kohti puhtaampaa maaperää, on muodostaa oma kansallinen MATTI-rekisteriä vastaava tietokanta, johon kaikki valtion alueella epäillyt pilaantuneet maa-alueet on koottu. Toisaalta esimerkiksi Ruotsissa on annettu parlamenttipäätös vuonna 1999, jossa on päätetty, että kaikki pilaantuneet maa-alueet on tutkittu ja kohteelle parhaimmin soveltuvat toimenpiteet on kaikkien kohteiden osalta toteutettu vuoteen 2050 mennessä. Kunnostustoimenpiteiden lupaprosessit vaihtelevat kuitenkin suuresta valtioittain kunnostamattomuudesta järjestelmälliseen kaikkien todettujen kohteiden kunnostamiseen, eikä valtioilla välttämättä ole yhteneväisiä lupaprosesseja tai valvovia viranomaisia.

Kunnostusten tavoitetasot voivat olla eri Euroopan mailla vaihtelevia ja siinä missä esimerkiksi Kyproksella ei ole erikseen määriteltyä käytännön ohjetta pilaantuneiden maiden kunnostamiseen, käyttää Belgia esimerkiksi erilaisia kohdekohtaisia riskienhallintatyökaluja ja raja- ja ohjearvoja. (Perez 2018, 50.)

6.3 Kunnostusmenetelmät

Maaperän kunnostus voidaan tehdä useilla eri tavoilla tai eri tapojen yhdistelminä. Tyypillisimmin maaperä kunnostetaan massanvaihtona, joka koetaan yksinkertaisimpana keinona poistaa pilaantuneisuutta aiheuttavia haitta-aineita maaperässä. Lisäksi massanvaihdon jälkeen maaperään ei jää monitoringivelvoitetta, vaan kohde katsotaan tämän jälkeen puhtaaksi, mikäli pitoisuudet alittavat Valtioneuvoston asetuksessa maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista asetetun kynnyksarvotason.

Kestävän kehityksen ja kiertotaloustietoisuuden lisääntyessä kunnostuksia pyritään vähitellen tekemään enenevässä määrin erilaisia in situ -kunnostusmenetelmillä, joissa maa-ainesta ei enää kaiveta pois kohteesta vaan kunnostetaan muilla keinoilla maa-ainesta siirtämättä (on site ja in situ -kunnostusmenetelmä). Samanlaisia menetelmiä käytetään ympäri maailmaa.

6.3.1 In Situ

In situ -kunnostusmenetelmät ovat nimensä mukaisesti (lat. in situ = paikassa, asemassa) kohteessa tehtävä kunnostusmenetelmä, jossa pilaantunutta maainesta ei kaiveta pois maaperästä. (Penttinen 2001, 8.)

In situ -menetelmiä ovat seuraavat alla esitetyt menetelmät:

Kemialliset in situ -menetelmät, joissa pohjaveteen, maaperään tai erikseen kaivettuihin maa-aineksiin lisätään kemikaaleja, joiden kanssa haitta-aineet reagoivat hapettamalla, pelkistämällä tai muilla keinoilla hajottamalla maaperän haitta-aineita. Haitta-aineet hajotetaan tai muunnetaan, tai niiden kulkeutumista vähennetään maahan injektoitavien kemikaalien aiheuttamien kemiallisten reaktioiden avulla. Näissä menetelmissä puhdistuminen perustuu erilaisiin pelkistys- ja hapetusreaktioihin ja menetelmä sopii monille niin orgaanisille kuin epäorgaanisillekin haitta-aineille. (Pirkanmaan ELY-keskus 2020.) Kemiallisia menetelmiä voivat olla:

- *Kemiallinen hapetus*, jossa maaperään tai pohjaveteen injektoidaan hapetinta (kuten vetyperoksidia tai otsonia) hapettamaan orgaanisia haitta-aineita maaperästä. Menetelmän tarkoituksena on joko hapettaa yhdisteet haitallisiksi tai vähemmän haitallisiksi yhdisteiksi. (Laitinen, J ym. 2022, 27; Maaperä kuntoon -hanke. s.a)
- *Kemiallinen pelkistys* perustuu pelkistävien yhdisteiden lisäämiseen haitta-aineita sisältävään maa-ainekseen (tai pohjaveteen). Tyypillisimmin pelkistimenä käytetään ZVI:ä, eli nolla-arvoistartautaa. Tätä menetelmää käytetään tyypillisesti kloorattujen yhdisteiden dehalogenaation rinnalla. (Laitinen ym. 2022, 27.)
- *Maan huuhtelussa* maaperään tai pohjaveteen imeytetään vettä yhdistettynä johonkin liukoisuutta tai hajoamista lisäävään aineeseen (ravinteet, hapetin jne.) Huuhdeltu vesi pumpataan tyypillisimmin maan pinnalle jatkokäsittelyyn haitta-aineella soveltuvalla menetelmällä. (Laitinen ym. 2022, 27.)

Biologisissa menetelmissä haitta-aineen hajoaminen tai muuttuminen perustuu biologiseen prosessiin. Biologisessa menetelmässä maaperään luodaan mikrobeille optimaaliset olosuhteet (pH, ravinteet, lämpötila tai kosteus), joiden avustuksella mikrobit voivat käyttää haitta-aineita ravintonaan ja energialähteenään. Menetelmä soveltuu orgaanisille haitta-aineille, kuten liuottimille ja öljyhiilivedyille, mutta vaatii paljon aikaa toimiakseen. (Pirkanmaan ELY-keskus. 2020.)

- *Anaerobinen dehalogenointi*, on tehostettu biologinen menetelmä, jossa ravinneliuoksen avulla edistetään maaperän mikrobitoimintaa. Menetelmä toimii erityisesti kloorattujen yhdisteiden hajottamiseen, sillä mikrobit poistavat menetelmässä hapettomassa tilassa haitta-aineen klooriatomeja. (Laitinen ym. 2022, 26.)
- *Bioaugmentaatio tai monitoroitu luontainen biohajoaminen*, jossa maaperään lisätään haitta-aineita hajottavia bakteereita tehostamaan luonnollista puhdistumista (Herrero ym, 2015, 119.).
- *Biostimulaatio, biologinen tuuletus tai tehostettu biohajoaminen*, jossa maaperään syötetään erilaisia ravinteita sekä happea, joilla pyritään luomaan maaperään omalle bakteerikannalle optimaaliset olosuhteet haitta-aineen hajoamiselle (Laitinen 2022, 26; Penttinen 2001, 12–14.)
- *Fytoremediaatio*, jossa maaperää, pohjavettä tai sedimenttiä kunnostetaan kasvattamalla ko. alueella sellaisia kasveja, jotka sitovat haitta-aineita itseensä, hidastavat niiden kulkeutumista ympäristöön tai muutoin nopeuttavat haitta-aineiden hajoamista mm. juuristonsa avulla. (Laitinen ym. 2022, 26; Penttinen 2001, 18.)
- *Vesienkäsittelykosteikko* on fytoremediaation ja luontaisen biohajoamisen yhdistävä menetelmä, jossa haitta-ainepitoinen vesi käsitellään luontaisen tai keinotekoisien kosteikon läpi (Laitinen ym. 2022, 26.)

Fysikaaliset menetelmät perustuvat haitta-aineiden hajoamiseen, haitta-aineen siirtämiseen tai sen kulkeutumisen heikentämiseen. Menetelmä perustuu fysikaalisiin ominaisuuksiin, kuten lämpöön, sähkövirtaan, veteen, paineeseen tai ilmavirtaan. Menetelmä on yleensä lyhytkestoinen ja koetaan tehokkaaksi haitta-aineiden puhdistamiseen. (Pirkanmaan ELY-keskus. 2020.)

- *Pohjaveden pumppaus ja käsittely*, jossa haitta-ainepitoinen pohjavesi pumpataan erilliseen maan pinnalla olevaan tai sinne rakennettuun käsittelylaitokseen. Käsittelymenetelmä määritetään haitta-aineen mukaan. (Laitinen ym. 2022, 27.)
- *Elektrokineettiset menetelmät*. joissa sähkökemiallisilla ja -kineettisillä prosesseilla poistetaan haitta-aineita maaperästä (Laitinen ym. 2022, 27; Penttinen 2001, 30).
- *Huokoskaasukäsittely*, jossa alipaineen avulla maasta poistuva kaasu johdetaan esimerkiksi aktiivihiilisuodatuksen tai katalyyttisen polton läpi ilmaan. (Penttinen 2001, 16).
- *Ilmastus*, jossa maaperään tai pohjaveteen puhalletaan ilmaa. Ilmavirtauksen avulla haitta-aineiden haihtuminen sekä kulkeutuminen kiihtyy, ja näin ollen haihtuvat yhdisteet voidaan johtaa ilmavirran avulla huokoskaasukäsittelyyn (Laitinen ym. 2022, 27.)
- *Terminen desorptio* on menetelmä, jossa haitta-ainetta hajotetaan lämmittämällä maaperää tai pohjavettä siinä määrin, että haihtuneet yhdisteet voidaan kerätä maanpinnalla huokosilmäkäsittelyyn. (Laitinen ym. 2022, 27).

Muut in situ -hallintamenetelmät, joissa maaperään asennetaan tai injektoidaan haitta-aineiden leviämistä ja kulkeutumista estäviä kiinteitä rakenteita tai aineita:

- *Eristys tai kapselointi*, jolloin maaperän sisältämien haitta-aineiden leviäminen ja kulkeutuminen ympäristöön estetään eristerakenteen avulla. Eristemateriaalina voidaan käyttää mm. bentoniitti- tai HDPE-kalvoa. (Penttinen 2001, 40.)
- *Kiinteytys tai stabilointi*, jossa maaperään sekoitetaan stabilointiainetta (kalkkia, tuhkaa tai sementtiä). Stabilointiaine vähentää haitta-aineen kulkeutumista ja sitoo haitta-ainetta stabilointimassaan. (Laitinen ym. 2022, 28.)
- *Adsorptiopidättäminen*, jossa haitta-aineiden kulkeutumista pyritään rajoittamaan tai sitomaan paikoilleen injektoimalla maaperään adsorboivaa ainetta. (Laitinen ym. 2022, 28).

Opinnäytetyössä keskitytään in situ -kunnostusmenetelmistä kemialliseen haittatuhoamiseen.

6.3.2 On Site

On site -menetelmä on kunnostusmenetelmä, jossa pilaantunut maa-aines kaivetaan pois maaperästä ja pyritään kunnostamaan erilaisin soveltuvin haitta-aineiden pitoisuuksia alentavien menetelmin, sekä sijoitetaan kunnostuksen jälkeen takaisin kunnostetulle alueelle siltä osin, kuin haitta-aineiden pitoisuudet alittavat kohteelle asetetun kunnostustavoitteen. Tyypillisesti käsittely tehdään kunnostusalueella, sille erikseen rakennetulla alueella. (Suomen ympäristökeskus 2013.)

On site -menetelmiä voivat olla kappaleessa 6.2.1 esitellyistä menetelmistä bioaugmentaatio, biostimulaatio sekä biotuuletus ja elektrokineettinen sekä huokoskaasukäsittely ja kemiallinen hapetus, jolloin haitta-ainepitoinen maaperä käsitellään aiemmin esitetyillä kunnostusmenetelmillä, mutta maan pinnalla. (Suomen ympäristökeskus 2013.)

6.3.3 Off site ja ex situ

Off site -kunnostaminen (myös ex situ) on menetelmä, jossa pilaantunut maa-aines kaivetaan pois maaperästä ja toimitetaan soveltuvan ympäristöluvan omaavalle käsittelykeskukselle tai jäteasemalle. Vastaanotto paikassa maa-ainesta käsitellään vastaanottajan ympäristöluvan edellyttämällä menetelmällä maa-aineksessa esiintyvän haitta-aineen pitoisuuksien alentamiseksi. (Suomen ympäristökeskus 2013.)

Ex situ menetelmiä on kappaleen 6.2.2 esitettyjen menetelmien lisäksi kaatopaikkakäsittely, jossa maa-aines kaivetaan ja välivarastoidaan tai sijoitetaan kaatopaikalle, ja annetaan haitta-aineiden hajota tai haihtua luonnollisesti. Lisäksi maa-ainesta voidaan ympäristöluvan puitteissa hyötykäyttää ilman käsittelyä, jolloin maa-ainesta voidaan käyttää käsittelemättömänä mm. kaatopaikkarakenteissa. (Penttinen 2001, 42; Suomen ympäristökeskus 2013.)

7 KEMIALLINEN KUNNOSTUS

7.1 Kemiallisen kunnostuksen historia

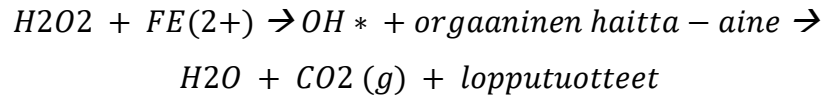
Kemiallisessa käytettävän Fenton reaktion historia palaa aina vuoteen 1879, jolloin Henry John Horstman Fenton havaitsi ensimmäisen kerran vetyperoksidin ja rautaionien yhdistämisen yhteydessä niiden tehostuneen hapetuskyvyn. Kahdeksantoista vuoden tutkimusten jälkeenkään Fenton ei kuitenkaan tuntenut keksimäänsä reagentin mekanismia, ja mekanismin salaisuus selvisi muutamia vuosia hänen kuolemansa jälkeen 1931–1932, jolloin havaittiin mm. hydroksyliradikaalit sekä niiden taipumus hajottaa muita molekyyliä sekä vähitellen hajota hapeksi. Tutkimukset haitta-aineiden hajottamiseksi aloitettiin erilaisilla alkoholeilla, kuten asetonilla, ja on vuosien aikana laajentunut moniin eri kemikaaleihin ja orgaanisiin haitta-aineisiin. (Ovalle 2022.)

7.2 Kemiallisen kunnostuksen kemikaalit

Kemiallinen hapetus soveltuu orgaanisilla haitta-aineilla pilaantuneille alueille (öljyhiilivedyt (C₅-C₄₀), oksygenaatit (erityisesti MTBE), BTEX-yhdisteet (bentseeni, tolueeni, ksyleenit), PAH-yhdisteet, torjunta-aineet sekä PCB-yhdisteet.) Raskasmetallien kunnostamiseen kemiallinen hapetus ei sovellu ja räjähdysaineiden kunnostamiseen menetelmästä ei ole tietoa. Menetelmä soveltuu kaikille maaperätyypeille savesta kallioon sekä pohjavedelle. (Laitinen ym. 2002, 30.)

Kemiallisessa hapetuksessa öljyhiilivedyt hajotetaan kemiallisen hapettimen avulla. Kemiallisessa hapetuksessa kemiallinen hapetin reagoi katalyytin kanssa ja muodostaa vety (H*) ja hydroksyyli (OH*) radikaaleja. Tyypillisimmät kemiallisessa hapetuksessa käytetyt hapettimet ovat mm. vetyperoksidi (H₂O₂), otsoni (O₃), kaliumpermanganaatti (KMnO₄) ja natriumperoksidisulfaat-

ti ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$), sekä erinäiset happea luovuttavat ja/tai radikaaleja kehittävät kemikaalit kuten kalsium- ja magnesium (CaO_2 ja MnO_2)-peroksidit. Radikaalit ovat voimakkaasti reagoivia yhdisteitä, jota öljyhiilivetyjen tapauksessa pyrkivät pilkkomaan öljyhiilivetyjen hiiliketjujen välisiä sidoksia katkoen ketjuja aluksi pienemmiksi ja tuhoten lopulta kokonaan Fenton -reaktion mukaisesti. (Zhu ym. 2006)



Kemiallinen hapetus etenee yleensä ensimmäisen kertaluvun hajoamiskinetiikkaa noudattaen yllä olevan yhtälön mukaisesti. Yhtälön mukaan hajoaminen on sitä nopeampaa aluksi, mitä korkeampi haitta-ainepitoisuus maaperässä on. Näin ollen tämä tarkoittaa sitä, että haitta-aineen hajoamisen edetessä ja haitta-ainepitoisuuksien pienentyessä myös hajoamien hidastuu. Kemiallisella hapetuksella ei siis tämän vuoksi voi poistaa kaikkea haitta-ainetta maaperästä, vaan menetelmä toimii ensisijaisesti korkeimpien haitta-aineiden pitoisuuksien pienentämiseen. (Zhu ym. 2006.)

Kemiallisessa hapetuksessa hapettavaa kemikaalia lisätään haitta-ainepitoiseen maaperään. Hapettavan kemikaalin määrä määritetään laskennallisesti haitta-ainepitoisuuden mukaan. Hapetuksen ideana on, että hapetin reagoi maaperässä olevan haitta-aineen kanssa muodostaen OH-radikaaleja, jotka lopulta hajoavat maaperän reaktioiden myötä hiilidioksidiksi (CO_2) ja vedeksi (H_2O) (Zhu ym. 2006.)

Hapettimen vaikutus maaperässä riippuu maaperän koostumuksesta, mineraalimaakerroksessa hapettava vaikutus kestää pidempään, kuin toisaalta hiilipitoisemmat maa-ainekset, kuten turve, joissa hiiliyhdisteet kuluttavat hapetinta selvästi nopeammin. (Zhu ym. 2006.)

Vetyperoksidi laimennetaan kunnostuksessa tyypillisesti 3–5 %:n vahvuiseksi liuokseksi, ja vetyperoksidipitoinen vesi injektointi syötetään maahan, persulfaattiliuos on pitoisuudeltaan 5–15 %. Pitoisuutta voidaan kuitenkin säätää tarpeen mukaan haitta-aineiden sekä haitta-ainepitoisuuksien perusteella injektio pistekohtaisesti. (ITRC 2005, 11.)

Kemiallinen hapetus toteutetaan lisäämällä tasaisesti hapettavaa vesiliuosta pilaantuneisiin kohtiin niin kauan kunnes pitoisuuden alennettu tavoitetaso on saavutettu. Kemiallinen kokonaistarve on tyypillisesti aluksi 1,5 kg hapetinta yhtä kilogrammaa haitta-ainetta kohtaan ja hapetinta lisätään saatujen tulosten perusteella tarvittaessa. Saatuihin tuloksiin ja hapetusreaktioihin vaikuttavat ympäristöolosuhteet, kuten pH, lämpötila sekä maaperän muut mahdolliset reaktioihin vaikuttavat aineet, sekä kemikaalin annostelutapa. (ITRC 2005, 2–3.)

7.3 Kansainvälinen tutkimus

Öljyhiilivetyjen hajoamista kemiallisen hapetuksen avulla on tutkittu vuosia ja kansainvälistä tutkimustietoa löytyy paljon. Heinäkuussa 2022 julkaistussa tieteellisessä tutkimuksessa (Chang ym. 2022, 105–115.) tutkittiin öljyhiilivedyillä C₁₀–C₄₀ pilaantuneen maaperän puhdistumista tutkittiin eri kemikaalien avulla. Tutkittavaan 30 g maa-ainesmäärän sekaan injektointiin useita erilaisia hapettimia, kuten natriumpersulfaattia (Na₂S₂O₈), vetyperoksidia (H₂O₂) ja kaliumpermanganaattia (KMnO₄). Hapettimen vahvuus oli tutkimuksessa 1 % ja 3 %, sekä lisäksi osaan näytteistä lisättiin kaksi-ionista rautaa (Fe²⁺). Tutkimuksessa todettiin, ettei eri hapettimien välisessä kunnostustehossa ollut merkittävää eroa toisiinsa nähden, vaan merkittävämpää kunnostustehon kannalta oli hapettimen vahvuus. 1 % liuoksen kunnostusteho vaihteli n. 40–50 % välillä, kun taas 3 % liuoksen teho vaihtelu 60–80 % välillä alkuperäisesti pitoisuudesta. Rautaa lisäämällä ei merkittävästi lisätty puhdistustehoa. (Chang ym. 2022, 105–115.) Vastaaviin tuloksiin ovat päätyneet myös mm. Goi (Goi ym. 2006) ja Valderrama (Valderrama ym. 2009.) omissa tutkimuksissaan.

7.4 Kunnostusmenetelmät

Hapetinliuos syötetään maaperään joko maaperään asennetun siiviläputkiston avulla ja/tai injektioimalla korkeapainepumpulla. Mikäli injektointi sujuu odotetusti ja menetelmä onnistuu hyvin, hajottaa se haitta-aineita, tyypillisesti öljyhiilivetyjä, nopeasti. Mikäli liuosta injektoidaan siiviläputkiston kautta, tulee hapetinpitoinen veden levityspotket kaivaa maahan ja asentaa vaakatasoon haitta-ainepitoiseen maaperään. Putket jätetään yleensä melko lähelle maan pintaa,

sillä niiden tulee sijaita pilaantumalan yläpuolella, mutta kuitenkin niin, että niiden toiminta varmistetaan myös talviaikaan. Vaakaputkistot asennetaan pilaantumasta riippuen sitä tiheämmin, mitä pahemmin alue on pilaantunut. (Doranova 2013.)

Kunnostusmenetelmän vaatimiin laitteistoihin kuuluvat laitteistokontit, in situ-laitteisto ja varusteet (kemikaalit, automaatio) sekä mahdollisesti suoja-pumpauslaitteisto (aktiivihiihisiuodatin, automaatio). Tyypillisimmin pumput, aktiivihiihisiuodattimet ja muut maan päälle jäävät laitteistot sijoitetaan lukittuun konttiin, joka sijoitetaan kiinteistön puhtaalle osalle. Laitteistojen huoltokäyntitarve on keskimäärin noin 1 kertaa kuukaudessa. Kemikaaliliuosta annostellaan noin 1 m³ kerrallaan. Huoltotarve on noin kerran kuukaudessa. (Doranova 2013.)

7.5 Kunnostuksen jälkiseuranta ja monitorointi

Kemiallisella kunnostuksella maaperää kunnostaessa alueelle jää jälkiseurantatarve. Jälkiseurantatarve perustuu siihen, että maaperästä ei poisteta siellä olevia haitta-aineita, vaan käytännössä hetkellisesti lisätään maaperään kemikaaleja, jotta kunnostettava haitta-aine hajoaisi. Maaperän haitta-aineita monitoroidaan kunnostuksen jälkeen alueelle erikseen asennetuista huokos- tai pohjaveden tarkkailupisteistä niin, että näytteenotosta saatuja tuloksia verrataan alueelta otettuihin näytteisiin (taustapitoisuus eli ns. 0-näyte tai ennen kunnostusta alueelta otettu näyte). Mikäli alueelle ei muodostu pohjavettä, on monitorointia tehtävä mahdollisuuksien mukaan toisella tavalla. (Ramboll, 2013.)

Monitoroitavat parametrit valitaan tapauskohtaisesti kunnostettavan haitta-aineen mukaan, joka tyypillisimmin on öljyhiihivetyjen eri jakeet (C₅-C₄₀). Lisäksi, mikäli jälkiseurantaa tehdään pohjaveden kautta, tutkitaan vedestä pH, lämpötila, sähkönjohtavuus, happipitoisuus, ORP (hapetuspelkistys potentiaali) ja sameus, joiden avulla seurataan maaperässä tapahtuvia muutoksia. Lisäksi voidaan tutkia mm. raskasmetallien pitoisuuksia. (Ramboll 2013.)

Alla olevassa kuvassa (kuva 3) on esitetty erään kemiallisen kunnostuksen kenttämitta-
ausparametrejä. Mittaustuloksista on havaittavissa pH:n, veden

happipitoisuuden ja ORP:n laskua. Kuvasta on rajattu pois kunnostuskohteen koordinaatit salassapitosyistä.



Kuva 3. Kenttämittaukset jälkimonitoroinnin apuna.

Huokosilmasta tutkitaan tyypillisesti tarvittaessa haihtuvien yhdisteiden pitoisuutta (VOC-yhdisteissä, TVOC tai Total VOC). Tämä edellyttää sitä, että kunnostettava haitta-aine on yhdiste, joka haihtuu huokosilmaan ja on näin tutkittavissa ilmasta. Tällaisia haitta-aineista ovat mm. kevyet C₅-C₁₀ bensijakeet. (Ramboll 2013.)

Injektoinnin tehon voi monitorointinäytteistä havaita happipitoisuuden nousuna sekä ORP:n muutoksista, joka tarkoittaa sitä, että vesi on muuttunut hapettavammaksi. pH voi myös laskea hieman injektoinnin jälkeen, sähkönjohtavuudessa ei yleensä havaita merkittäviä muutoksia. Raskasmetallien pitoisuuksista raudan pitoisuus tyypillisesti laskee silloin, kun pohjaveden happipitoisuus nousee. (Ramboll 2013.)

Monitorointia ja jälkiseurantaa jatketaan tyypillisesti joitakin vuosia kunnostuksen jälkeen. Jälkiseurannan taajuudesta, laajuudesta sekä säännöllisyydestä päättää viime kädessä alueellisen ELY-keskuksen vastaava ympäristöviranomainen esitettyjen tulosten sekä päätelmien perusteella. Yleensä jälkiseurantaa tehdään injektoinnin jälkeen tiiviimmin, useita kertoja vuodessa tai jopa

kuukaudessa, ja tilanteen tasaannuttua näytteenottotaajuutta voidaan tarvittaessa harventaa. Lisäksi jälkiseurannan avulla voidaan seurata lisäinjektointien tai lisäkunnostuksien tarvetta tyypillisesti siinä vaiheessa, kun kemiallisen-, biologisen- tai muilla tavoin toteutetun in situ -kunnostuksen teho laskee. (Ramboll 2013.)

7.6 Kemiallisen kunnostuksen haitalliset ympäristövaikutukset

Kemiallisella kunnostuksella toteutetun in situ-kunnostuksen tyypillisimmät vaikutukset johtuvat injektointikemikaalin hapettavasta vaikutuksesta. Koska olosuhteet maaperässä ovat hapettavat, on mahdollista, että maaperässä olevat metalli-ionit hapettuvat korkeamman hapetusasteen ioneiksi. Tyypillisimmin raskasmetallit ovat kuitenkin korkeammalla hapetusluvulla niukkaliukoisempia, joten hapettuessaan metallien vesiliukoisuus pienenee ja metallien kulkeutumisriski näin ollen myös. (Reinikainen 2007, 92–102.)

Kemiallisessa hapetuksessa kemikaalien syötön seurannaisvaikutusten hallinta voi olla vaikeaa ja yleisimmin riskinä on pohjaveden kemialliset muutokset, erityisesti silloin kun injektoitavan kemikaalin kulkeutuminen pohjaveteen on mahdollinen. Esimerkiksi veden pH:n muuttuminen happoa syöttämällä voisi saada aikaan orgaanisten haitta-aineiden muuntumisen ympäristölle haitallisempaan muotoon. Lisäksi pH:n muutokset voivat lisätä esimerkiksi kloorifenolien tai metallien, kuten nikkelin, liukenemisen maaperästä. (Ameta ym. 2018, 49–87; Faisai ym. 2021, 13–14.) Raskasmetallit voivat muuttua liukoisemmiksi muodoiksi maaperän happamoitumisen ja hapettumisreaktioiden myötä. (Reinikainen 2007, 92–102.) Kemikaalien syötöstä aiheutuu riski haitta-aineiden lisääntyvään kulkeutumiseen. Vaarana on myös haitta-aineiden muuntuminen alkuperäistä haitallisempaan muotoon, kuten arseeni muodostaa hapettavissa olosuhteissa arsenaattianioineja, mikä on arseenin pysyvä muoto. (Reinikainen 2007, 93.) Yhtenä mahdollisena haittana on rautapitoisen maa-ainesjätteen syntyminen silloin, kun rautaa joudutaan syöttämään maaperään suurissa määrin. (Ameta, ym. 2018, 49–87; Faisai ym. 2021, 13–14).

Mikäli alueella on syytä epäillä metallipilaantumaa, tai kohonneita raskasmetallien (luonnollisia) pitoisuuksia, näitä ympäristövaikutuksia voi hallita selvittämällä raskasmetallien pitoisuuksia etukäteen 0-näytteen avulla ja säännölli-

sellä seuraamisella. (Ramboll 2013.) Öljyhiilivetyjen pitoisuuksien osalta on huomioitava kemiallisen kunnostuksen vaikutus öljyhiilivetyjakeiden pilkkoutumiseen pienemmiksi kunnostuksen edetessä. Öljyhiilivetyjakeet pilkkoutuvat ennen hajoamistaan liukoisempaan ja kulkeutuvampaan muotoon, ja näin ol- len pilkkoutuneet komponentit voivat levitä helpommin myös käsittelyalueen ulkopuolelle, mikäli riskiä ei ennalta hallita. Kemikaalien syötön aiheuttamaa haitta-aineiden lisääntyneen kulkeutumisen riskiä voidaan hallita asentamalla kunnostettavan alueen ulkoreunalle bentoniittimatto tai HDPE-kalvo, joka es- tää öljyn valumisen kunnostettavien alueiden ulkopuolisille alueille. Bentoniit- timattoja ja HDPE-kalvoja käytetään mm. pilaantuneiden maa-alueiden eris- tämässä, ja ne toimivat niin ikään kemiallisessa kunnostuksessa kulkeutu- mista hallitsevana elementtinä. Lisäksi voidaan rajata pohjaveden kulkeutu- mista pumppaamalla alueen vettä niin, että pohjaveden virtaussuunta kohdis- tuu kunnostusalueen keskelle. (Sarkkila ym. 2004, 71.)

8 MATERIAALIT JA MENETELMÄT

Opinnäytetyön tutkimukselliseen osuus toteutettiin tutustumalla Suomessa vuosien 2010–2022 (Kainuun ELY 2005 ja Pohjois-Pohjanmaan ELY 2004 alkaen) välillä alueellisten ELY-keskusten antamiin pilaantuneen maaperän kunnostuspäätöksiin (PIMA-päätöksiin) vuosittain syyskuulle 2022 saakka. Lisäksi pyrittiin selvittämään Ahvenanmaan maakunnan alueella tehtyjen pi- laantuneiden maa-alueiden kunnostusmääriä ja menetelmiä mahdollisuuksien mukaan.

PIMA-päätökset löytyvät www.ymparisto.fi -verkkosivustosta, joka on julkinen ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. Julkisesta verkkopalvelusta pää- tökset löytyvät ELY-keskuksittain (13 alueellista ELY-keskusta) ja on jaoteltu päätöksenantovuosittain alueellisesti Ahvenanmaalla tehdyistä pilaantuneiden maiden kunnostuksista ei ole varsinaista tietokantaa tai koottua sivustoa, joi- den pohjalta kunnostusten lukumäärää tai muita kunnostuksen tietoja voitai- siin seurata, vaan päätöksiä saa Ålands Miljö- och Hälsosyddsmyndighet:Itä (ÅMHM) pyytämällä siltä osin, kun on tiedossa se, mitä etsii.

Pilaantuneen maaperän kunnostuspäätöksiin tutustuttiin yksi kerrallaan ELY- keskuksittain etsimällä päätöksistä aluksi tiettyjä avainsanoja. Päätökset laji-

teltiin ensin sen mukaan, oliko päätös annettu öljyhiilivetyjen kunnostamiseen maaperästä. Mikäli päätös oli annettu öljyhiilivetyjen kunnostamiseen, tarkennettiin selvitystä kunnostusmenetelmään. Päätökset jaettiin haitta-aineiden mukaan öljyhiilivetyjakeisiin ja muihin haitta-aineisiin sekä öljyhiilivety (tai sekakunnostukset) jaettiin massanvaihtokohteisiin ja muilla menetelmillä toteuttaviin kunnostuskohteisiin.

Öljyhiilivetyjen kunnostukseen annettuja päätöksiä tarkasteltiin eri näkökulmista kunnostusmenetelmien, alueellisen sijainnin ja väestöpohjan sekä muiden päätöksessä annettujen tietojen pohjalta. Mikäli kohteeseen oli suunnitelmassa, tai päätetty tehdä kemiallinen kunnostus, tutustuttiin annettuun päätökseen vielä tarkemmin.

Suomen tasolla saatuja tutkimustuloksia verrattiin Euroopan alueelta saataviin vastaaviin tietoihin siltä osin, kun tietoa oli saatavilla European Environment Agencyn kootuista tietokannoista, jotka on saatavilla osoitteesta www.eea.europa.eu.

8.1 Käytetyt menetelmät, tietokannat ja tietolähteet

Tiedonhakumenetelmänä käytettiin ELY-keskusten julkisesta tietokannasta saatavilla olevien PIMA-päätösten läpikäynti manuaalisesti hakien päätöksistä tiettyjä avainsanoja. Avainsanoina käytettiin mm. sanoja öljy, bensiini, kemiallinen ja in-situ. Mikäli näitä avainsanoja löytyi päätöksestä, tutkittiin päätöksen sisältöä tarkemmin. Euroopassa tehtyjen pilaantuneiden maiden kunnostamiseen liittyvää data löytyy European Environment Agencyn julkisesta tietokannasta (EEA 2020).

Aineistot rajattiin koskemaan vain ELY-keskukselta löytyviin PIMA-päätöksiin, sillä Helsingin ja Turun PIMA-päätöksien käsittely olisi vaatinut lautakuntien esityslistojen sekä pöytäkirjojen läpikäymisen vuodesta 2010 eteenpäin ja Ahvenanmaan maakunnan alueella ei ELY-keskuksia vastaavaa koottua tietokantaa ollut saatavilla kunnostuksien ollessa erittäin harvinaisia. PIMA-päätöksien löytämiseen tarvittavat avainsanat vaihtelivat eri pöytäkirjoissa ja eri vuosina jonkin verran ja näin ollen järjestelmällinen haku materiaalista olisi ollut työlästä ja aikaa vievää.

8.2 Aineiston ja tulosten rajaukset

PIMA-päätöksistä rajattiin ensin pois kaikki päätökset, jotka koskettivat jotain muuta haitta-ainetta (raskasmetallit, PCB, PCDD/F, kloorattuja yhdisteitä ja niin edelleen) kuin öljyhiilivetyjä C₅-C₄₀. PIMA-päätösten mukaan kohteessa sai olla ns. sekapilaantumaa, kunhan yhtenä kunnostettavana haitta-aineena oli öljyhiilivedyt (benssiini-, keskiraskaat- ja raskaat jakeet). Muiden haitta-aineiden PIMA-päätökset poistettiin ja niihin jätettiin tutustumatta tarkemmin.

Jäljelle jääneistä PIMA-päätöksistä selvitettiin kohteeseen määritelty kunnostusmenetelmä (massavaihto vs. jonkun muu kunnostusmenetelmä). Muita kunnostusmenetelmiä sisältävät päätökset otettiin tarkempaan jatkokäsittelyyn ja selvitettiin vielä tarkemmin, minkälaisesta kunnostusmenetelmästä oli kohteessa kyse (biostimulaatio, huokoskaasukäsittely, suojapumppaus, ilmastus tai kemiallinen menetelmä). Näistä valittiin tarkempaan jatkotarkasteluun ne kunnostuspäätökset, joissa kemiallista menetelmää käytettiin kunnostuksena joko ainoana menetelmänä tai toisen (tyypillisesti massanvaihdon) rinnalla.

European Environment Agencyn tietokannoista saatava data rajattiin vastaamaan tutkimuksessa saatuja tietoja ja aineistoja.

8.3 Aineistojen analysointi

Aineistosta analysoitiin massanvaihdon ja in situ -kunnostusmenetelmän välinen suhde, sekä kuinka paljon öljyhiilivetyjä sisältäviä maaperän kunnostuksia tehdään suhteessa muihin haitta-aineisiin. ELY-keskuksien sekä European Environment Agencyn EIONET-tietokannasta saatavia aineistoja verrattiin toisiinta sekä Suomen osalta aineistoa verrattiin mm. tilastokeskuksen väestötietoihin, jolloin saatiin tarkempaa tietoa päätöksistä suhteessa alueelliseen väestömäärään ja sen kehitykseen.

9 TULOKSET

9.1 PIMA-päätösten lukumäärä ELY-keskuksittain ja päätelmät päätöksistä

Suomessa, lukuun ottamatta Helsingin ja Turun kaupunkeja, annettiin vuosien 2010–2022 välillä yhteensä 2 499 PIMA-päätöstä. Tämä luku sisältää kaikki Suomessa annetut pilaantuneen maaperän kunnostusta koskevat päätökset. Öljyhiilivetyjä koskevia kunnostuksia (joko pelkästään tai sekapilaantumana) näistä päätöksistä oli 1 891 kappaletta. Päätöksistä valtaosasta on saatavilla julkisesti päätös.

Ahvenanmaalla pilaantuneiden maa-alueiden kunnostukset ovat harvinaisia teollisuuden ollessa harvempaa maakunnan alueella, ÅMHM:ltä saadun arvioin mukaan pilaantuneiden maiden kunnostuksia tehdään Ahvenanmaalla hyvin harvoin, arviolta yksi kolmea vuotta kohden ja käyttöön saatiin esimerkiksi tällä hetkellä tuorein löydetty PIMA-päätös liitteineen. Päätös liitteineen oli päivätty 5.9.2016 ja päätös koski PCDD/F-yhdisteiden kunnostamista maaperästä Maarianhaminan alueella. Tässä opinnäytetyössä pääpaino oli öljyhiilivetyjen kunnostuspäätöksissä, ja näitä päätöksiä ei ÅMHM:ltä saatu niiden vähäisen lukumäärän vuoksi. (ÅMHM 2016.)

Taulukko 1. PIMA-päätösten lukumäärä ELY-keskuksittain sekä alueelliset väestötiedot, väkiluvun muutos 2021–2022 välillä sekä pilaantuneen maaperän kunnostuspäätökset suhteessa alueelliseen väkilukuun. (Väestöön liittyvät tunnusluvut mukailten Tilastokeskus 2022.)

ELY-keskus	Kaikki PIMA päätökset [lkm]	Öljyhiilivetyjen kunnostuspäätökset [lkm]	Alueellinen väkiluku [2021]	Väkiluvun muutos % [2021]	Väestötiheys [hlö/km ²]	Päätöksiä suhteessa väkilukuun [%]
Kaakkois-Suomen ELY	169	126	287 498	-0,8	29,1	0,06
Etelä-Savon ELY	148	124	131 688	-0,8	10,4	0,14
Kainuun ELY	65	56	71 255	-0,6	3,5	0,09
Hämeen ELY	164	111	375 337	-0,3	34,4	0,04
Pohjois-Karjalan ELY	135	116	163 281	-0,2	8,7	0,08

Etelä-Pohjanmaan ELY	209	149	191 762	-0,2	13,9	0,11
Lapin ELY	184	170	176 494	-0,1	1,9	0,10
Pohjois-Savon ELY	78	71	248 363	0,0	14,3	0,03
Keski-Suomen ELY	93	64	272 683	0,0	17,0	0,03
Varsinais-Suomen ELY	162*	125	483 488	0,4	45,3	0,03
Pohjois-Pohjanmaan ELY	237	211	415 603	0,4	11,3	0,06
Uudenmaan ELY	594*	394	1 714 741	0,7	118,4	0,03
Pirkanmaan ELY	269	175	527 478	0,9	39,8	0,05
Ahvenanmaa ÄMHH	keskimäärin yksi kunnostus / 3 v	-	30 402	0,7	19,56	-

(* Luvut eivät sisällä Turun ja Helsingin kaupungin eivätkä Ahvenanmaan maakunnan päätöksiä.

Eniten päätöksiä lukumäärällisesti annettiin Uudenmaan ELY-keskuksen alueella, siitäkin huolimatta, ettei Helsingin kaupungin ympäristötoimen antamia päätöksiä otettu tarkasteluun. Vähiten lukumäärällisesti päätöksiä annettiin Kainuun, Pohjois-Savon sekä Keski-Suomen ELY-keskusten alueella, joissa päätöksiä annettiin alle yksi kuukaudessa.

Vähiten PIMA-päätöksiä annettiin suhteessa väkilukuun Pohjois-Savon, Varsinais-Suomen, Keski-Suomen sekä Uudenmaan ELY-keskusten alueilla. Nämä alueet ovat Tilastokeskuksen 2022 antamien tietojen mukaan muuttovoittoalueita (+0,0-+0,7 %), ja joissa väestötiheys on melko suuri tai suuri (14,3–118 hlö/m²). Eniten PIMA-päätöksiä taasen annettiin väkilukuun suhteutettuna alueellisesti harvaan asutuilla alueilla Kainuun, Lapin, Etelä-Pohjanmaan sekä Etelä-Savon ELY-keskusten alueilla. Näillä alueilla väestötiheys on pienimmillään (1,9–13,9 hlö/m²) ja nämä ovat muuttotappioalueita (-0,1- -0,8 %).

Näistä tunnusluvuista voidaan päätellä, että kunnostettavia alueita ja näin ollen myös PIMA-päätöksiä on enemmän niillä alueilla, joista väestö ikääntyy tai joiilta se muuttaa pois, ja jotka ovat harvaan asuttuja. Näin ollen yksi selittävä syy kunnostettavien kohteiden määrään suhteessa väestöön voi olla pilaantuneisuutta aiheuttavan liiketoiminnan harjoittamisen päättäminen useammin ja tätä myötä maankäytön muutostarve, kuin muuttovoittoalueella olevilla alueilla.

Luvuissa on huomioitava se, ettei kaikki kunnostukset kuitenkaan päädy PIMA-päätöskäsittelyyn, vaan toimintamalleissa on ELY-keskusten välillä eroavaisuuksia. Tyypillisesti sellaisia kohteita, joissa on tapahtunut onnettomuus (kuten öljyvahingot) tai pilaantunutta maa-ainesta löydetään jo aloitettujen kaivutöiden yhteydessä, käsitellään ne prosessin nopeuttamiseksi tutkimuskaivu- tai onnettomuuskohteina, jolloin kunnostuspäätös annetaan lausuntona ilman PIMA-päätösmenettelyä. Tämän tyyppiset kunnostukset eivät päädy julkisiin PIMA-päätöksiin, mutta rekisteröityvät MATTI-rekisteriin kohteiksi, joissa ei enää ole toimenpidetarvetta. Tämän vuoksi MATTI-rekisteriin on kirjattu huomattavasti PIMA-päätöksiä useampi kohde. Tarkennetut tiedot kohteista, kuten toimenpidetarpeen, voi saada tietoonsa pyytämällä ne kohteen ID:n (kohdekohtainen numerosarja) avulla alueelliselta ELY-keskukselta. Tutkimuskaivu- tai onnettomuuskohteet kunnostetaan massanvaihtona, jolloin muiden kuin massanvaihtokohteiden prosentuaalinen määrä kaikista kunnostuksista on todellisuudessa vieläkin pienempi.

9.2 Kunnostusmenetelmät pilaantuneen maaperän kunnostuspäätöksissä Suomessa

Eniten massanvaihtoja tehtiin Uudenmaan ELY-keskuksen alueella, jossa myös kunnostuksia tehtiin eniten. Alla olevassa kuvassa on esitetty PIMA-päätösten jakautuminen ELY-keskuksittain vuosien 2010–2022 välisenä aikana.

Taulukko 2. Massanvaihtojen lukumäärä ELY-keskuksittain (Mukaillen ELY 2010-2022).

ELY-keskus	Massanvaihdot / kaikki kunnostukset [lukumäärä]	Massanvaihto [%] kaikista kunnostuksista	Massanvaihdot / öljyhiilivedyt [lukumäärä]
Etelä-Pohjanmaan ELY	201	95,26 %	142

Etelä-Savon ELY	145	98,16 %	121
Hämeen ELY	153	97,52 %	108
Kaakkois-Suomen ELY	160	95,14 %	120
Kainuun ELY	63	95,26 %	53
Keski-Suomen ELY	92	99,15 %	63
Lapin ELY	169	89,97 %	153
Pirkanmaan ELY	257	95,50 %	167
Pohjois-Karjalan ELY	132	97,70 %	113
Pohjois-Pohjanmaan ELY	230	97,35 %	125
Pohjois-Savon ELY	71	91,72 %	65
Uudenmaan ELY	569	96,34 %	380
Varsinais-Suomen ELY	158	98,44 %	123

Annettujen PIMA-päätösten osalta tarkasteltiin eri kunnostusmenetelmien lukumäärää sekä alueittain että yleisesti. Kaikista kunnostuspäätöksistä yhteensä 2 433 kappaleessa tehtiin pilaantuneelle maa-alueelle massanvaihto ainoana kunnostusmenetelmänä tai rinnakkain toisen menetelmän kanssa. Tämä vastasi yhteensä 95,96 % kaikista kunnostuksista. Näin ollen kaikista PIMA-päätöksen alaisesta pilaantuneen maa-aineksen kunnostuksista tehtiin muulla kuin massanvaihdolla ainoastaan 96 kunnostusta, joka vastasi 4,04 % kaikista kunnostuksista. Öljyhiilivetyjä (tai sekapilaantumia) näistä massanvaihdosta poikkeavia kunnostettiin 79 kohteessa, ja muita haitta-aineita 17 kohteessa.

Massanvaihdon suosiota lisää Suomessa tyypillisesti se, ettei massanvaihdolla kunnostettuihin kohteisiin jää jälkiseurantatarvetta sillä maahan ei (yleensä) jää haitta-aineiden kohonneita pitoisuuksia, poikkeuksena sellaiset kunnostuskohteet, joissa kunnostustavoite on kohdekohtaisen riskinarvioinnin pohjalta syystä tai toisesta sellaisella tasolla, että kohteeseen jää vielä kohonneita haitta-aineiden pitoisuuksia.

Yleisin in situ-menetelmä oli biostimulaatio, joka valittiin kunnostusmenetelmäksi joko yksinään tai toisen menetelmän rinnalla 42 %:ssa (40 kappaletta) kohteista, joihin valittiin kunnostusmenetelmäksi muu kuin massanvaihto (taulukko 3).

Toiseksi yleisin in situ -kunnostusmenetelmä oli huokosilmäkäsittely, yhteensä 22 (23 %) kohteessa. Kemiallista käsittelyä käytettiin kuudessa kohteessa, joka vastasi 9 % (9 kohdetta) kunnostuksista. Liki kaikissa kohteissa, joissa käytetään ensisijaisena kunnostusmenetelmänä muuta kuin massanvaihtoa, täydennetään kunnostusta massanvaihdolla kunnostustehon hiivuttua ja / tai saavutettua tavoitepitoisuuden. Kahdessa kohteessa käytettiin kemiallista kunnostusta biologisen kunnostuksen rinnalla.

Muut kunnostusmenetelmät (dehalogenaatio, suoja-pumppaus, anaerobinen deklloorinaatio, aktiivihiilisuodatus, laktaatti-injektointi jne.) käsittivät kunnostusmenetelmistä loput, 26 %, vaikkakin yksittäistä menetelmää käytettiin Suomen tasolla korkeintaan 2–3 kohteessa, eivätkä näin ollen ole mitenkään erityisen suosittuja kunnostusmenetelmää valitessa. Kuudessa kohteessa kunnostusmenetelmä ei ole tiedossa. (Mukaillen ELY 2010-2022.)

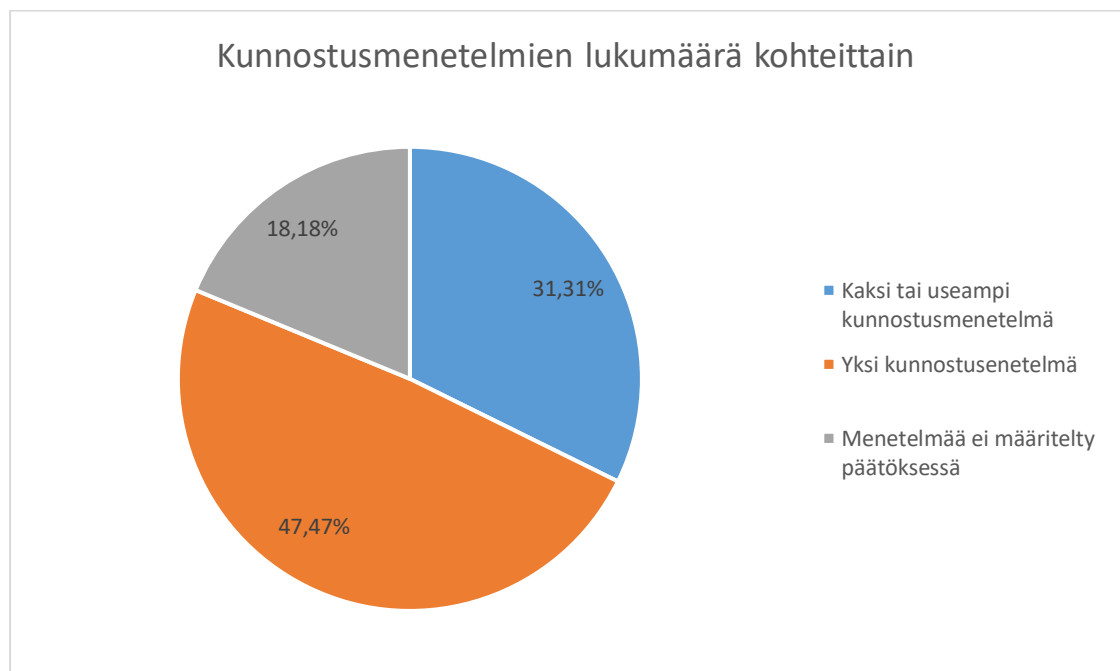
Alla olevasta taulukosta 3 huomataan, että biologinen kunnostus on kohteissa ylivoimaisesti yleisin, ja sitä käytetään 40 kohteessa kohteista ainoana menetelmänä tai toisen menetelmän rinnalla. Kolme yleisintä kunnostusmenetelmää (huokosilma, kemiallinen käsittely sekä biologinen kunnostus) käsittävät kaikkiaan 74 % kaikista kunnostusmenetelmistä, jotka eivät ole massanvaihtoa.

Taulukko 3. Muiden kuin massanvaihtokohteiden kunnostusmenetelmien käyttö [lukumäärä] (Mukaillen ELY 2010-2022)

Kunnostusmenetelmä	Lukumäärä	Öljyhiilivetyjen / sekapilaantumien osuus
Biologinen kunnostus	40	100 %
Huokosilmäkäsittely	22	100 %
Kemiallinen kunnostus	11	100 %
Peitto	2	0
Laktaatti	1	0
Dehalogenaatio	1	0
BOS100	1	0
Elektrokineettinen käsittely	2	0
Suoja-pumppaus (pohjavesi)	1	100 %
Ilmastus	1	100 %
Luontainen puhdistuminen	1	100 %

Aktiivihiihi	3	0
Anerobinen dehalogenaatio	1	0
Kapselointi	1	0
Reaktiivinen seinämä	1	0
Ei raja-arvoja kunnostukselle / haitta-aineelle	1	0
Ei tiedossa	6	17 %

Yleisimmin kohteissa käytetään yhtä kunnostusmenetelmää, mutta 31 % kohteista ensisijaisen kunnostusmenetelmän rinnalla käytetään yhtä tai useampaa tukimenetelmää, kun ensisijaisen kunnostusmenetelmän teho vähenee. Tyypillisimmin rinnakkainen menetelmä on joko biologinen kunnostus tai massanvaihto. 18 % kunnostuspäätöksistä on määritelty, että kunnostus tehdään jollakin massanvaihtoa tukevalla in situ-menetelmällä, mutta menetelmää ei vielä ollut päätetty PIMA-päätökseen, vaan siitä sovittaisiin myöhemmin erikseen tarpeen mukaan. Tällaisia päätöksiä oli Pirkanmaan, Pohjois-Karjalan ja Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskusten alueella (Taulukko 4).



Kuva 4. Kunnostusmenetelmien jakaantuminen kohteessa (yksi/useampi kunnostusmenetelmä) [%] (mukaillen ELY 2010-2022).

In situ -kunnostusmenetelmiä käytettiin prosentuaalisesti kaikista in situ -kunnostuksista seuraavasti:

Taulukko 4. In situ -kunnostusmenetelmien osuus kaikista kunnostuksista (lukumäärä ja % osuus, 2010–2022)

ELY-keskus	In Situ - kunnostuksien lu- kumäärä ELY- alueella	Öljyhiilivetyjen in situ - kunnostuksien lukumäärä	In situ - kunnostusmenetelmän osuus kaikista kunnos- tuksista [%]
Pirkanmaan ELY	12	8	4,5
Keski-Suomen ELY	1	1	0,9
Kaakkois-Suomen ELY	9	1	4,9
Lapin ELY	15	12	10,0
Kainuun ELY	3	3	4,7
Etelä-Savon ELY	3	1	1,8
Varsinais-Suomen ELY	4	2	1,6 ^c
Hämeen ELY	6	6	2,5
Pohjois-Karjalan ELY	3	1	2,3
Pohjois-Savon ELY	7	6	8,3
Pohjois-Pohjanmaan ELY	7	3	2,7
Etelä-Pohjanmaan ELY	8	5	4,7
Uudenmaan ELY	22	20	3,7 ^c
Ahvenanmaa, ÅMH	-	-	0 ^{**}

(* Luvut eivät sisällä Turun ja Helsingin kaupungin alueen kunnostuksia

(** Ahvenanmaan maakunnan alueella kunnostusten vähäisyyden vuoksi on epätodennäköistä, että alueella tehdään massanvaihdoista poikkeavia ratkaisuja

In situ -kunnostusten käyttö pilaantuneissa kohteissa on Suomessa vielä lukumäärällisesti harvinaista. Hieman yleisempää se on kuitenkin Pohjois-Suomessa ja pitkien välimatkojen alueilla, kuin muualla Suomessa. Esimerkiksi Lapin ELY-keskuksen alueella massanvaihdoista poikkeava kunnostusmenetelmä, tyypillisimmin biologinen kunnostus, on valittu 10 %:ssa kunnostuksia. Toiseksi eniten in situ -kunnostuksia tehtiin Pohjois-Savon ELY:n (8,28 %) alueella. Seuraavaksi yleisimmin in situ -menetelmä valitaan Pirkanmaalla, Kaakkois-Suomessa, Kainuussa ja Etelä-Pohjanmaalla (4,5–4,86 %).

Harvinaisinta in situ-menetelmien käyttäminen on Varsinais-Suomen ja Etelä-Savon alueella, jossa massanvaihdoilla kunnostetaan yli 98 % kaikista kohteista. Öljyhiilivetyjä kunnostetaan Suomessa yleisimmin, n.78 % kohteista sisältää bensiini-, keskiraskaita- ja/tai raskaita jakeita. Öljyhiilivetyjä kunnostetaan yleisimmin Lapin ja Kainuun ELY-keskusten alueella, n. 90 % kohteista, kun muualla suomessa se on hieman harvinaisempaa.

Näillä alueilla, vaikka massanvaihto onkin edelleen yleisin kunnostusmenetelmä (89,97 %) on mahdollista, että alueellisesti pitkät välimatkat lisäävät kiinnostusta myös muihin kuin massanvaihtoihin. Lisäksi alueellisesti voi olla mahdollista, ettei soveltuvaa ympäristöluvan omaavaa vastaanottoa ole saatavilla kustannustehokkaan ja järkevän etäisyyden päästä kunnostuskohdetta.

In situ-kunnostuksissa jälkiseurantatarve on tyypillisesti joitain vuosia tehdyn kunnostuksen jälkeen aluksi tiiviimmin ja myöhemmin hieman seurantataajuutta harventaen, eikä menetelmän toimivuudesta ole koskaan täyttä varmuutta. Mahdollista on, että vaikka kohteeseen tehtäisiinkin jokin massanvaihdosta poikkeavalla menetelmällä tehty kunnostus, joudutaan kunnostusta tehostamaan massanvaihdolla myöhemmin.

Lisäksi kemiallinen kunnostus voi todetuista haitta-ainepitoisuuksista riippuen olla varsin kallista sekä aikaa vievää, vaatii ennakkovalmisteluna maa-aineksen käsittelyä sekä injektointiputkistojen asentamista, ja näin ollen kemiallinen kunnostus on tyypillisesti kannattavampaa selvästi korkeampien haitta-ainepitoisuuksien kohdalla toimiessaan suunnitellusti, kuin matalampien pitoisuuksien kohdalla, johtuen kunnostumisen hidastumisesta haitta-ainepitoisuuksien laskiessa, ja tämän vuoksi kunnostusmenetelmän tehoa lisätään lopulta massanvaihdolla, jolloin myöskään jälkiseurantatarvetta ei tämän jälkeen esiinny. Tyypillisesti massanvaihdosta poikkeava kunnostusmenetelmä valitaan silloin, kun massanvaihdolla ei voida turvallisesti poistaa kaikkia haitta-aineita (esimerkiksi rakenteet tai kaivantojen syvyyden aiheuttamat riskit), tai maaperän haitta-ainepitoisuus on niin korkea, ettei sille löydy jatkokäsittelypaikkaa, jolloin korkeimpia pitoisuuksia voidaan näillä menetelmillä laskea ennen muun menetelmän käyttöä.

In situ -kunnostuksia on PIMA-päätösten perusteella esitetty vuoden 2010 jälkeen joitain kappaleita vuodessa koko Suomen tasolla (tyypillisesti enintään kahdesta neljään kunnostusta vuodessa ELY-keskuksesta riippuen), eikä tässä ole havaittavissa erityistä nousevaa tai laskevaa trendiä.

9.3 Haitta-aineet PIMA-päätöksissä

Maaperän pilaantuneisuus oli Suomessa yleisimmin öljyhiilivedyistä C₅-C₄₀ johtuvaa. Kaikkiaan 78,5 % (keskiarvo) kaikista kunnostuspäätöksistä oli annettu öljyhiilivetyjen kunnostukseen. Eniten öljyhiilivedyillä pilaantuneita kohteita kunnostettiin Lapin (91,97 %) ja Kainuun (89,49 %) ELY-keskusten alueilla. Lisäksi keskiarvoa yleisemmin öljyhiilivetykohteita kunnostettiin Pohjois-Pohjanmaan, Pohjois-Savon, Pohjois-Karjalan sekä Etelä-Savon alueilla. Harvimminkin öljyhiilivetykohteita kunnostettiin Hämeen, Uudenmaan ja Pirkanmaan ELY-keskusten alueilla, näissäkin kuitenkin 65–66 % kohteista. (kuva 7)

Taulukko 5. Öljyhiilivetyjä koskevien PIMA-päätösten lukumäärä 2010–2022 (Mukaihen ELY 2010-2022)

Ely-keskus	Öljyhiilivetyjen kunnostusten lukumäärä ELY-alueittain	Prosentuaalinen osuus kaikista kunnostuksista
Etelä-Pohjanmaan	149	71,3 %
Etelä-Savon	123	83,1 %
Hämeen	111	69,8 %
Kaakkois-Suomen	126	74,6 %
Kainuun	56	86,2 %
Keski-Suomen	64	68,8 %
Lapin	170	92,4 %
Pirkanmaan	175	65,1 %
Pohjois-Karjalan	116	85,9 %
Pohjois-Pohjanmaan	211	89 %
Pohjois-Savon	71	91 %
Uudenmaan	394	66,7 %
Varsinais-Suomen	125	77,2 %

Taulukossa 4 on esitetty öljyhiilivetykunnostusten prosentuaalinen osuus kaikista Suomessa annetuista kunnostuspäätöksistä.

Uudenmaan ELY-keskuksen alueella kunnostetaan n. 15,8 % kaikista Suomessa tehtävistä öljyhiilivetyjen kunnostuksista, mikä on oletettavissa eniten väestöä ja teollisuutta sijaitsevalla alueella annetaan myös määrällisesti PIMA-päätöksiä Suomen alueella (23,65 % kaikista Suomen PIMA-päätöksistä).

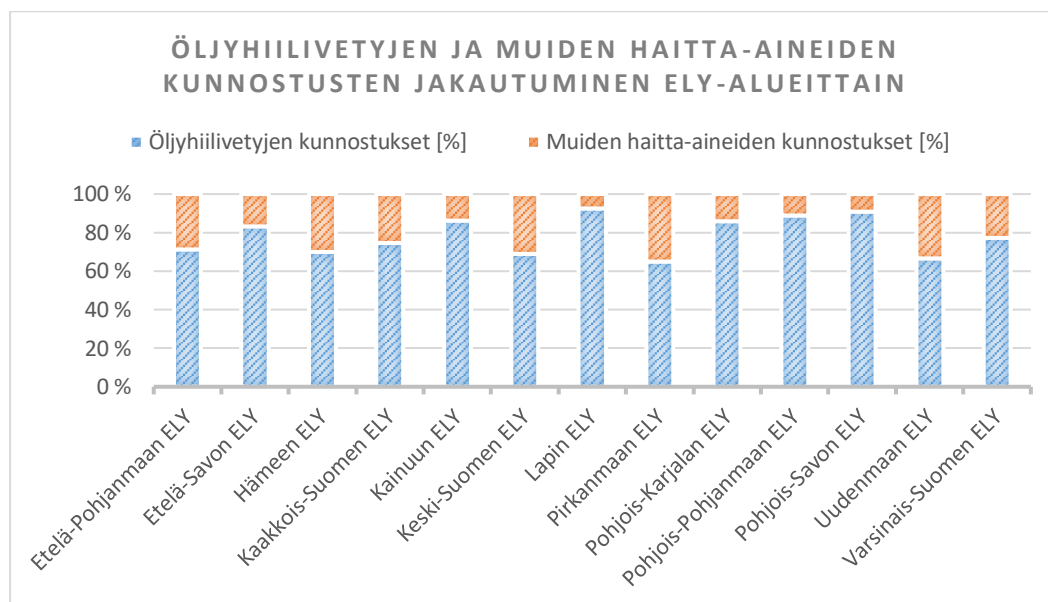
Toisaalta, jos tarkastellaan öljyhiilivetyjen kunnostamista suhteessa muihin haitta-aineisiin, öljyhiilivetyjen kunnostuskohteet painottuvat tehdyn tarkaste-

lun perusteella pitkien välimatkojen alueille, joissa yksi mahdollinen selittävä tekijä voi olla väestörakenteesta ja muuttotappioista johtuva huoltoasemien jakeluverkoston harventaminen. Vähiten öljyhiilivetyjä kunnostetaan niillä alueilla, joissa polttoaineiden jakelua tarvitaan laajemmin ja joihin valtaosa Suomen väestöstä on keskittynyt.

Toisaalta öljyhiilivetyjen kunnostamiseen ja kunnostusmääriin vaikuttavat Öljysuojarahaston JASKA-hanke, jonka puitteissa Suomessa tutkittiin ja kunnostettiin vanhoja öljyllä pilaantuneita kiinteistöjä ympäri Suomea vuodesta 2012 alkaen Pirkanmaan ELY-keskuksen toimiessa hankkeen vetäjänä. JASKA-hankkeen puitteissa Suomessa tehtiin yhteensä 430 maaperän sekä pohjaveden pilaantuneisuusselvitystä sekä kunnostustoimenpiteet on aloitettu 150 kohteessa. (Pirkanmaan ELY-keskus 2022.) Lisäksi Öljysuojarahasto on myöntänyt rahoitusta myös muille öljyllä pilaantuneille tutkimus- ja kunnostuskohteille (ns. ESKO-kohteille), jonka puitteissa kohteita on voitu kunnostaa tukirahoituksen puitteissa. Öljyhiilivedyillä pilaantuneiden maa-alueiden kunnostamiseen voi hakea pilaantuneiden alueiden selvittämiseen ja puhdistamiseen tarkoitettua valtionavustusta, jonka avulla maa-alueita voidaan puhdistaa. Avustusta voidaan hakea myös muiden kuin öljyhiilivedyillä pilaantuneiden alueiden kunnostamiseen, joka todennäköisesti lisää tulevaisuudessa myös muiden pilaantuneisuuksien tutkimista ja kunnostamista. Öljyalan palvelukeskuksen ja ympäristöviranomaisten yhteistyönä vuosina 1996–2015 toteutettu SOILI-hanke on niin ikään todennäköisesti nostanut nimenomaa öljyhiilivedyillä ja bensiinijakeilla kunnostettujen kohteiden lukumäärää. SOILI-hankkeen perusajatuksena oli tutkia ja tarvittaessa kunnostaa aiemmin huoltoasematoimintaan käytettyjen kiinteistöjen seurauksena syntyneitä öljyllä pilaantuneita maa-alueita ja pohjavettä. SOILI-hankkeen puitteissa tutkittiin kaikkiaan 939 kohdetta. Näistä liki tuhannesta kohteesta kunnostustarve todettiin 645 kohteessa, ja niistä kunnostettiin kaikkiaan 585. (Huttunen 2017, 4 & 89–102.)

SOILI-hankkeessa massanvaihtoa käytettiin ensisijaisena kunnostusmenetelmänä aina vuoteen 2007 saakka, jonka jälkeen in situ -menetelmää käytettiin kunnostusmenetelmänä kaikkiaan 48 kohteessa ja menetelminä käytettiin pääosin huokosilmakäsittelyä haihtuville yhdisteille sekä biologista menetelmää keskiraskaille C₁₀-C₂₁, raskaille C₂₁-C₄₀ jakeille sekä PAH-yhdisteille. (Huttunen 2017, 32–33.)

Seuraavassa kaaviossa (kuva 5) on esitetty visuaalisesti öljyhiilivetykunnostuskohteiden prosentuaalinen lukumäärä muiden haitta-aineiden (raskasmetallit, PCB, PCDD/F, PAH-yhdisteet) kunnostusmääriin.



Kuva 5. Öljyhiilivetyjen ja muiden haitta-aineiden kunnostusten jakautuminen ELY-alueittain (Mukaillen ELY 2010-2022)

Öljyhiilivetyjen kunnostaminen maaperästä verrattuna muihin haitta-aineisiin on ELY-keskuksista riippumatta yleistä. Öljyhiilivetyjen kunnostamisen yleisyys voi selittyä haitta-aineen aistinvaraisella tunnistettavuudella verrattuna esimerkiksi raskasmetalleihin, joita ei aistinvaraisesti voida maaperästä juurikaan tunnistaa. Öljyhiilivedyille tyypillinen hajuhavainto toimii yleensä herätteenä tutkimus ja kunnostustoimenpiteille.

9.4 Kemiallinen kunnostus PIMA-päätöksissä

Kemiallisella kunnostuksella kunnostettiin tai ehdotettiin kunnostettavan öljyhiilivetyjen pitoisuuksia maaperässä kahdentoista vuoden aikana yhdeksässä kohteessa.

Taulukko 6. Kemiallisten kunnostusten lukumäärä ELY-keskuksittain

ELY-keskus	Kohde nro	Ehdotettu in situ -kunnostusmenetelmä	Ensisijainen kunnostusmenetelmä	Muita huomioita

Pirkanmaan ELY	1	Huokosilma ja täydentävä kemiallisbiologinen käsittely	Massanvaihto	
	2	Huokosilma ja täydentävä kemiallisbiologinen käsittely	Massanvaihto	
	3	Biologisen in situ sekä kemiallisen hapetuksen yhdistelmä	biologinen + kemiallinen	Massanvaihtoa mahdollisimman vähän
	4	Tehostettu biologinen ja kemiallinen kunnostus	Massanvaihto	öljyhiilivedyille in situ, muille massanvaihto
Keski-Suomen ELY	1	Kemiallinen käsittely	Massanvaihto	Tehty kemiallinen käsittely
Kaakkois-Suomen ELY	-			
Lapin ELY	-			
Kainuun ELY	-			
Etelä-Savon ELY	-			
Varsinais-Suomen ELY	-			
Hämeen ELY	1	Kemiallinen käsittely		Massanvaihto, jos käsittely ei alenna pitoisuuksia *)
	2	Kemiallinen käsittely	Kemiallinen käsittely ja massanvaihto alueittain	Kunnostusmenetelmä vaihtelu alueittain
Pohjois-Karjalan ELY	1	Huokoskaasu tai kemiallinen käsittely	Massanvaihto	
Pohjois-Savon ELY	-			
Pohjois-Pohjanmaan ELY	-			
Etelä-Pohjanmaan ELY	-			
Uudenmaan ELY	1	Kemiallinen käsittely	-	Ei ehdotettu muita kunnostusmenetelmiä
Ahvenanmaa, ÅHMH	-			

*) Päädytty seurannan jälkeen massanvaihtoon

Taulukossa 6 esitettyjen kohteiden ja niiden lukumäärien lisäksi Lapin ELY-keskuksen alueella on kunnostettu vuonna 2010 kohde, johon oli esitetty ke-

miallista kunnostusta biologisen kunnostuksen rinnalle, mutta josta lausuttiin päätöksessä, että siitä olisi tehtävä oma suunnitelmansa. Näin ollen tämän kohteen osalta on oletettu, ettei kohdetta kunnostettu kemiallisen kunnostuksen avulla. Pirkanmaan ELY-keskuksen alueella on maa-ainekseen kohdistuvien kemiallisten kunnostuksien lisäksi tehty yksi pohjaveden kunnostus, joka on biologisen ja kemiallisen in situ-menetelmän yhdistelmänä.

Eniten lukumäärällisesti kemiallisia kunnostuksia tehtiin kahdentoista vuoden aikana Pirkanmaan (4 kpl) sekä Hämeen ELY-keskuksen alueella (2 kpl). Muilla alueilla lukumäärä oli 0–1 kpl kunnostusta koko tuona aikana.

Suurin osa näistäkin kunnostuksista tehdään yhdistelmä-kunnostuksena, jossa suurimmat haitta-ainepitoisuudet käsitellään erilaisin menetelmin (biostimulaatio, kemiallinen käsittely, huokosilmäkäsittely) ja tämän jälkeen kunnostusta tehostetaan yleensä massanvaihdolla, kun kunnostusteho vähitellen pitoisuuksien laskiessa vähenee. Toisaalta yhdistelmä-kunnostuksissa massanvaihtoa voidaan käyttää ensisijaisena kunnostusmenetelmänä, ja täydentää muilla kunnostusmenetelmillä siinä vaiheessa, kun maata ei enää voida tehokkaasti ja turvallisesti poistaa esimerkiksi haitta-aineiden sijoittumisen vuoksi tai kaivantojen syvyyden vuoksi.

Viidessä kohteessa massanvaihto oli ensisijainen menetelmä alentamaan suurimpia öljyhiilivetyjen pitoisuuksia. Kun tyypillisimmin tavoitesyvyys oli saavutettu, jatkettiin kunnostusta soveltuvalla in situ -menetelmällä. Kemiallista kunnostusmenetelmää käytettiin kolmessa kunnostuskohteessa ainoana menetelmänä PIMA-päätösten kautta tarkasteltuna. PIMA-päätös ei kerro sitä, onko näihin kohteisiin myöhemmin suunniteltu tai toteutettu rinnakkain toista kunnostusmenetelmää. Vain yhdessä kunnostuskohteessa mainittiin erikseen, että massanvaihtoa tehdään kohteessa mahdollisimman vähän.

Kemiallisen kunnostuksen jakautumisesta voidaan myös havaita se, että kemiallinen kunnostus oli ainoana kunnostusmenetelmänä 33 % kunnostuksia ja toisen menetelmän rinnalla ensimmäisessä suunnitteluvaiheessa 66 % kohteista. Ainoana menetelmänä käytettäessä tiedossa ei ole, onko suunnitelmia muutettu PIMA-päätöksen jälkeen ja onko täydentäviä kunnostusmenetelmiä myöhemmin valittu tukemaan aiempaa menetelmää.

9.5 Pilaantuneen maaperän kunnostusmenetelmät sekä haitta-aineiden jakaantuminen Euroopassa

Euroopan vallitsevasta tilanteesta on saatavilla kootusti tietoa European Environmen Agencyn ylläpitämästä EIONET-tietokannasta. Euroopan tasolla ei ole käytössä erityistä pilaantuneiden maa-alueiden kunnostamiseen painottuvaa päätösmenettelyä, vaan kunnostusprosessit vaihtelevat paljon eri valtioiden välillä vallitsevan lainsäädännön, kyseisen maa sekä EU:ssa vallitsevan pilaantuneisiin maa-alueisiin liittyvien painotusten suhteen. Painotus ja käytettävät raja- tai ohjearvot vaihtelevat valtioittain.

9.5.1 Eri kunnostusmenetelmät Euroopassa

Euroopan alueella käytetään kunnostusmenetelminä hyvin vastaavia menetelmiä kuin Suomessakin, mutta menetelmien käyttötaajuus vaihtelee valtioittain selvästi. EIONET-tietokannasta saatujen tietojen perusteella vuonna 2022 tehdyt kunnostustoimenpiteet jakautuivat Euroopassa seuraavasti (taulukko 7).

Taulukko 7. Kunnostustoimenpiteiden jakaantuminen Euroopassa prosentteina vuonna 2022 (Mukaiillen EEA 2022).

	In situ -menetelmät [%]			Ex situ-menetelmät [%]				Muut
	Biologinen	Fysikaalinen/kemiallinen	Lämpökäsittely	Biologinen	Fysikaalinen/kemiallinen	Lämpökäsittely	Massanvaihto	
Itävalta	1	30	1	10	5	5	0	50
Belgia	13	16	0	22	22	22	0	5
Viro	0	0	0	97	0	3	0	0
Suomi	1	10	0	13	22	0	52	3
Ranska	11	8	7	0	0	0	75	0
Unkari	5	17	0	30	0	48	0	0
Italia	10	15	0	10	15	0	0	50
Liettua	15	0	0	25	0	0	0	60
Malta	0	60	40	0	0	0	0	0
Hollanti	20	50	0	10	10	5	0	5
Norja	5	5	0	10	10	10	0	60
Slovenia	7	4	0	21	2	1	0	65
Iso-Britannia	3	3	0	0	1	0	0	93

*) excavation and disposal

Euroopan maista kahdestatoista maasta Suomen lisäksi on saatavilla dataa eri kunnostusmenetelmien käytöstä maaperän kunnostamiseen prosentuaalisesti. Saatu data on jaoteltu kolmeen osaan, in situ menetelmiin, jossa maa-ainesta ei kaiveta eikä poisteta alueelta, ex situ-menetelmiin, jossa maa-aines

kaivetaan ja käsitellään sijoituspaikallaan, sekä massanvaihtoon ja maa-aineksen "hävitykseen".

Massanvaihtoa käytetään Euroopassa Suomen tavoin merkittävässä määrin ensisijaisena kunnostusmenetelmänä kahdeksassa maassa. Näistä kahdeksasta maasta kuudessa massanvaihto yhdistetään ns. maa-aineksen hävittämiseen eri menetelmin, tyypillisesti maankaatopaikalle ilman erityistä haitta-aineita hajottavaa käsittelyä. Vain kahdessa maassa (Suomessa ja Ranskassa) massanvaihto tehdään ns. ex-situ-menetelmänä, jossa maa-aines siirretään massanvaihdon avulla muualle ja maa-aines käsitellään vastaanottopäissä erilaisin menetelmin, joita voivat olla muun muassa huokosilmäkäsittely tai maa-aineksen tuuletus. Eniten massanvaihtoja maa-ainesta hävittämällä tehdään prosentuaalisesti Iso-Britanniassa (93 %), tämän jälkeen se on yleisintä Ranskassa (75 %). Kokonaisuutena maissa, josta data on saatavilla, käytetään massanvaihtoa Suomen kaltaisella menetelmällä vastaanottopaikassa käsitellen 9 %, ja massavaihtoa sekä "hävittämisen" ilman käsittely-yhdistelmää 30 % kunnostuksista.

Euroopan alueella tehtävistä kunnostuksista n. 27 % tehtiin in situ-menetelmin kunnostuskohteessa (Suomessa vastaava luku on 4%) ja n. 43 %:ssa maa-aines kaivettiin ja käsiteltiin muualla (ex situ). 30 % maa-aineksesta poistettiin käsittelemättä ja hävitettiin.

In situ-kunnostuksista biologinen kunnostusmenetelmä valittiin yleisimmin Hollannissa, jossa 20 % in situ-kunnostuksista tehtiin biologisesti kohteessa maata poistamatta. Kemiallisesti tai fysikaalisesti (mm. huokosilmäkäsittely tai kemiallinen hapetus) kunnostettiin maaperää yleisimmin Maltalla (60 %) ja Hollannissa (50 %) kohteista. Lämpökäsittely on in situ-kunnostusmenetelmistä niin ikään Maltalla tyypillisin, 40 % kohteista ja Ranskassa 7 % kohteista. Muualla Euroopassa lämpökäsittelymenetelmää ei tilastojen mukaan juurikaan käytetä. Malta on tietokannasta löytyvistä valtioista ainoa, joka kunnostaa kaikki pilaantuneet maa-aineksensa in situ-menetelmillä, eikä maaperää kaiveta lainkaan kohteesta

Ex situ-menetelmistä (eli niissä kunnostusmenetelmissä, joissa maaperästä kaivetaan haitta-ainepitoinen maa-aines, ja se käsitellään kohteen ulkopuolel-

la) Virossa valittiin biologinen käsittely 97 % kaikista kunnostuksista, loput 3 % tehtiin lämpökäsittelyllä. Virossa ei niin ikään toteuteta perinteistä massanvaihtoa lainkaan. Biologinen ex situ-kunnostus on Euroopassa kokonaisuutena katsoen yleisintä, sillä lähes kaikki valtiot Iso-Britanniaa ja Ranskaa lukuun ottamatta, käyttävät jonkin verran biologista käsittelyä maaperänsä kunnostamiseen (keskimäärin 19 % kaikista kunnostuksista).

Painopisteenä olevaa kemiallista kunnostusta / hapettamalla tehtyä haitta-aineiden kunnostamista ei tietokannassa ole erikseen eritelty vaan se on yhdistetty kemiallis-fysikaaliseksi kokonaisuudeksi. Näin ollen täysin tarkkoja tietoja kemiallisen käsittelyn käytöstä Euroopasta ei ole saatavilla julkisista tietokannoista. Euroopan komission (2018) julkaisemassa raportissa Status of local soil contamination in Europe kuitenkin mainitaan, että Suomen lisäksi Brysselin pääkaupunkialueella n. 5 % kunnostuksista tehdään kemiallis-fysikaalisin menetelmin, joihin myös kemiallinen hapetus yhtenä menetelmänä kuuluu. Muissa Euroopan maissa ei kemiallisen hapetuksen osalta ole tehty mainintoja, jolloin on epätodennäköistä, että kyseistä kunnostusmenetelmää olisi käytetty kyseisessä maassa.

9.5.2 Haitta-aineiden jakaantuminen Euroopassa

Maaperän pilaantuneisuus Euroopassa (22 maan keskiarvo), johtuu tyypillisimmin raskasmetallien aiheuttamasta pilaantuneisuudesta (37,3 %). Toiseksi yleisin maaperän haitta-aine keskiarvoltaan on erilaiset bensiini- ja öljyhiilivetyjakeet, joita on European Environment Agencyn arvioin mukaan 33,7 % kaikista pilaantuneista kohteista. Luvut sisältävät eri haitta-aineilla pilaantuneen maaperän sekä pohjaveden eri valtioissa. Tarkempia tilastoja EEA:n tietokannasta on saatavilla 12 valtion osalta.

Taulukko 8. Haitta-aineiden jakautuminen eri valtioissa (Mukaiilla EEA, 2006).

	bensiini- ja öljyhiilivetyjakeet	Raskasmetallit	PAH-yhdisteet	BTEX-yhdisteet	Fenoliset yhdisteet	Syanidit	Klooratut yhdisteet	Muut *)
Itävalta	6,0	69,0	13,0	0	6,0	6,0	0	0
Belgia	20,0	20,0	20,0	20,0	5,0	5,0	10,0	0
Tšekki	67,9	7,0	5,7	1,7	0,5	0,4	7,8	8,9
Makedonia	0	73,3	0	5,5	0	0	0	20,0
Kreikka	17,0	30,0	5,0	12,0	5,0	5,0	8,0	18,0
Unkari	41,4	22,1	4,8	12,0	0,7	0,5	3,9	3,8
Italia	52,0	20,0	5,0	14,0	1,0	0	2,0	4,9
Luxemburg	45,0	6,0	45,0	2,0	0,5	1,5	0	0
Slovakia	33,0	18,0	7,0	19,0	3,0	2,0	8,0	10,0

Espanja	22,6	39,2	4,5	3,6	9,3	1,2	7,2	12,3
Ruotsi	11,0	40,0	15,0	9,0	2,0	2,0	15,0	6,0

*) Muut tyypillisesti mm. torjunta-aineita

Eri valtioiden merkittävimmät maaperää pilaavat haitta-aineet vaihtelevat mm. teollisuuden ja valtion jätehuollon tason perusteella. Muiden, määrittelemättömien haitta-aineiden osuus on suurempi niissä Välimeren maissa, jossa elintarvikeviljelyä on paljon. Bensiini- ja öljyhiilivedyt sekä raskasmetallit muodostavat suurimman osan eri valtioiden maaperää pilaavista haitta-aineista hieman valtioittain vaihdellen. Prosentuaalisesti öljyhiilivetyjakeilla pilaantuneita maa-alueita on Tshekissä, jossa ne muodostavat liki 68 % osuuden kaikista alueista, vähiten öljyhiilivedyillä pilaantuneita maa-alueita on Ruotsissa (11 %). Maiden teollistuminen vaikuttaa vahvasti pilaantuneiden maa-alueiden määrään ja haitta-aineisiin (EEA, 2020).

10 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä analysoitiin kaikkiaan liki 2500 ELY-keskuksen vuosina 2010–2022 antamat pilaantuneiden maa-alueiden kunnostuspäätökset. Kunnostuspäätösten pohjalta todettiin öljyhiilivetyjakeiden kunnostuksien näyttelevän merkittävää osaa kunnostuksista, ja liki 79 % (1891 kappaletta) kaikista kunnostuksista kohdistui öljyhiilivetyjen tai sellaisten sekapilaantuneiden maa-alueiden, jossa yhtenä haitta-aineena oli todettu bensiini- tai öljyhiilivetyjakeita, kunnostamiseen. Vastaava luku koko Euroopan tasolla on keskimäärin 33,7 % (vaihteluväli 0–68 %), joten Suomessa kunnostetaan bensiini- ja öljyhiilivetyjakeilla pilaantunutta maa-ainesta yli kaksi kertaa niin paljon kuin Euroopassa keskimäärin, ja hieman useammin kuin muualla Euroopassa korkeimmillaan. Suomessa massanvaihto valitaan koko Suomen keskiarvona laskettuna 96 % kohteista, kun Euroopassa vastaava luku on 72 %. Käänteisesti ajatelle in situ-menetelmä valitaan Suomessa vain 4 %:ssa kohteista, kun vastaava luku Euroopassa on 27 %.

Kemiallista käsittelyä käytettiin in situ-kunnostuksissa harvoin, vain yhdeksässä kohteessa kahdentoista vuoden aikana. Yhdeksän kunnostuskohdetta vastaa vain 0,4 % kaikista kunnostuksista, joita vuosien 2010–2022 välisenä aikana on tehty. Ainoana menetelmänä kemiallinen kunnostus oli vain kolmessa kohteessa, joka vastasi 0,12 %:a kaikista annetuista päätöksistä. Pilaantuneiden

den maa-alueiden kunnostuspäätöksistä puolet (4 kappaletta) annettiin Pirkanmaan ELY-keskuksen alueella, muualla Suomessa kemiallisella menetelmällä tehtävät öljyhiilivetyjen kunnostukset ovat vielä tätäkin harvinaisempia. Euroopassa kemiallisen kunnostuksen käytöstä ei ole varsinaista tarkkaa tietoa, koska sen käyttö tilastoidaan kemiallis-fysikaalisten kunnostusmenetelmien alle, käytössä olevan datan perusteella sitä käytetään erittäin harvoin biologisten menetelmien ollessa niin Euroopassa kuin Suomessakin selvästi suosituin menetelmä kestävään kunnostukseen.

LÄHTEET

- Abosedo, EE. 2013. Effect of crude oil pollution on some soil physical properties. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*. WWW-dokumentti. Saatavissa: doi: 10.9790/2380-0631417 [viitattu 14.10.2022],
- Alaja, T. 2007. Ympäristövahingot ja niiden kustannukset vuosina 2000-2005. Helsinki: Edita Prima Oy. [viitattu 12.8.2022].
- Ameta, R., Chohadia, A. K., Jain, A. & Punjabi, P. 2018. Chapter 3 – Fenton and Photo-Fenton processes. *Advanced oxidation processes for wastewater treatment, Emerging green chemical technology*, 49-87. Saatavissa: [Fenton and Photo-Fenton Processes - ScienceDirect](#) [viitattu: 7.11.2022].
- ALS Global. 2022. Öljyhiilivedyt C10-C40, näytetyyppi maa, liete ja sedimentti. WWW-dokumentti. Saatavissa: [Paketti \(alsglobal.fi\)](#) [viitattu 14.10.2022].
- Alanko, K. & Järvinen K. 2001. Pilaantuneen maa-alueen kunnostuksen yleissuunnitelma. Helsinki: Oy Edita Ab. [viitattu 12.8.2022].
- CAPP. 2022. Uses for Oil. WWW-dokumentti. Saatavissa: [What Is Oil Used For | Uses for Oil and Petroleum Products \(capp.ca\)](#) [viitattu 14.10.2022].
- Doranova. 2013. Shell Lahti Keskusta, in situ -kunnostussuunnitelma. [viitattu 5.10.2022].
- Eskola, P., Laaksonen, R., Mroueh, U.-M., Mäkelä, E., Pasanen, A., Vahanne, P. & Wahlström, M. 2004. Pilaantuneiden maiden kunnostushankkeiden hallinta. Vantaa: Dark Oy. [viitattu 12.8.2022].
- European Commission. 2022. Vuoteen 2030 ulottuva maaperästrategia. WWW-dokumentti. Saatavissa: [Vuoteen 2030 ulottuva maaperästrategia \(europa.eu\)](#) [viitattu 14.10.2022].
- European Commission. 2022. Environment, Soil and Land. WWW-dokumentti. Saatavissa: [Soil and Land - Environment - European Commission \(europa.eu\)](#) [viitattu 14.10.2022].

Euroopan Komissio. 2012. Ohjeet parhaista käytännöistä, joilla rajoitetaan, vähennetään tai kompensoidaan maaperän sulkemista rakentamisella. PDF-dokumentti. Saatavissa: [FI - Sealing Guidelines.pdf \(europa.eu\)](#) [viitattu 14.10.2022].

Euroopan ympäristökeskus. 2022. Analysis and data. WWW-dokumentti. Saatavissa: [Analysis and data \(europa.eu\)](#) [viitattu 13.3.2022].

Euroopan ympäristökeskus. 2022. Most frequently applied remediation techniques for contaminated soil. WWW-dokumentti. Saatavissa: [Most frequently applied remediation techniques for contaminated soil — European Environment Agency \(europa.eu\)](#) [viitattu 13.3.2022].

Euroopan ympäristökeskus. 2020. Soil contamination widespread in Europe. WWW-dokumentti. Saatavissa: [Soil contamination widespread in Europe — European Environment Agency \(europa.eu\)](#) [13.3.2022].

EUR-lex. 2022. Access to European Union law. WWW-dokumentti. Saatavissa: [EU law - EUR-Lex \(europa.eu\)](#) [viitattu 11.8.2022].

Goi A., Kulik N. & Trapido M. 2006. Combined chemical and biological treatment of oil contaminated soil. Chemosphere 63: 1754–1763. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.09.023> [viitattu 11.8.2022].

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. WWW-dokumentti. Saatavissa: [Esamo59_oljyvahingot.doc \(doria.fi\)](#) [viitattu 11.8.2022].

Heikkinen, P. 2000. Haitta-aineiden sitoutuminen ja kulkeutuminen maaperässä. Geologian tutkimuskeskus. Tutkimusraportti 150. Vammala: Vammalan Kirjapaino Oy. PDF-dokumentti. Saatavissa: http://tupa.gtk.fi/julkaisu/tutkimusraportti/tr_150.pdf [viitattu 11.8.2022].

Herrero, M. & Stuckey, D.C. 2015. Bioaugmentation and its application in wastewater treatment: A review. PDF-dokumentti. Saatavissa: [Bioaugmentation and its application in wastewater treatment: A review - ScienceDirect](#) [viitattu 12.8.2022].

Huttunen, P. 2017. Öljyalan palvelukeskus, Soili-ohjelman loppuraportti, marraskuu 2017. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ym.fi/download/noname/%7B7C541797-EFD6-4C9F-8930-EC22F66E4883%7D/143762> [viitattu 5.1.2022].

Interstate Technology & Regulatory Council. 2005. Technical and Regulatory Guidance for In Situ Chemical Oxidation of Contaminated Soil and Groundwater. 2. painos. Washington, D.C.

Klamerus-Iwan, A., Blónska, E., Lasota, J., Kalandyk, A., & Waligórski, P. 2015. Influence of oil contamination on physical and biological properties of forest soil after chainsaw use. Water Air Soil Pollut 389. PDF-dokumentti. Saatavissa: [10.1007/s11270-015-2649-2](#) [viitattu 14.10.2022].

Kangas, A. 2019. Ympäristöministeriön raportteja 19/2018. Vesiympäristölle vaarallisia ja haitallisia aineita koskevan lainsäädännön soveltaminen – Kuvaus hyvistä menettelytavoista. PDF-dokumentti: Saatavissa: [YM-ra 19 2018 Vesiympäristölle vaarallisiajajahaitallisia.pdf \(valtioneuvosto.fi\)](#) [viitattu 14.10.2022].

Laitinen, J., Kilponen, V., Kettunen, A., Virta, O., Pöyry, E., Tengvall, J., Nousiainen, A. & Itkonen, A. 2002. Kestävän kunnostamisen parhaat käytännöt, Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen oppaita, opas 5/2022. PDF-dokumentti, Saatavissa: [Kestävän kunnostamisen parhaat käytännöt. \(doria.fi\)](#) [viitattu 14.10.2022].

Lausuntopalvelu.fi, 2019. Ehdotus valtioneuvoston asetukseksi maa-ainesjätteen hyödyntämisestä maarakentamisessa. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/ParticipationNonJsShowReport?proposalId=1c6a5969-09d7-4c75-8c80-b405b7063b42> [10.8.2022].

Ovalle, R. 2022. A History of the Fenton Reactions (Fenton chemistry for beginners), Reactive Oxygen Species. PDF-dokumentti. Saatavissa: [10.5772/intechopen.94870](#) [viitattu 7.11.2022].

OVA-ohjeet. 2021. Kevyt polttoöljy. WWW-dokumentti. Saatavissa: [Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet: Kevyt polttoöljy \(ttl.fi\)](#) [viitattu 11.8.2022].

OVA-ohjeet. 2021. Moottoribensiini. WWW-dokumentti. Saatavissa: [Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet: Moottoribensiini \(ttl.fi\)](#) [viitattu 11.8.2022].

OVA-ohjeet. 2021. Raskas polttoöljy. WWW-dokumentti. Saatavissa: [Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet: Raskas polttoöljy \(ttl.fi\)](#) [viitattu 11.8.2022].

Penttinen, R. 2001. Maaperän ja pohjaveden kunnostus, yleisimpien menetelmien esittely. Helsinki. Suomen ympäristökeskus. [viitattu 12.8.2022].

Perez, A.P. & Eugenio, N.R. 2018. Status of local soil contamination in Europe. JRC Science. Saatavissa: [\(PDF\) Status of local soil contamination in Europe \(researchgate.net\)](#) [viitattu 13.3.2023].

Pirkanmaan ELY-keskus. 2020. Maaperä kuntoon. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://maaperakuntoon.fi/> [viitattu 11.8.2022].

Ramboll. 2015. Shell Lahti Keskusta, in situ -seurantatarkkailu 2015. [viitattu 5.10.2022].

Reinikainen, J., Pyy, O., Sorvari, J., Salminen, J., Sainio, P., Tuomainen, J. & Komulainen, H. 2014. Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta, ympäristöhallinnon ohjeita 6/2014. Helsinki. Ympäristöministeriö. PDF-dokumentti. Saatavissa: [OH 6 2014.pdf \(helsinki.fi\)](#) [viitattu 7.11.2022].

Sarkkila, J., Mroueh, U-M. & Leino-Forsmann, H. 2004. Pilaantuneen maan kunnostaminen ja laadunvarmistus. Suomen ympäristökeskuksen ympäristö-

opas 110. Saatavissa: [660760 YO110 Kansi etu \(helsinki.fi\)](#) [viitattu 7.11.2022].

Sisäilmayhdistys ry. 2014. Kemiaalliset epäpuhtaudet. WWW-dokumentti. Saatavissa: [Kemiaalliset epäpuhtaudet / Sisäilmasto / Terveelliset tilat / Sisäilmayhdistys \(sisailmayhdistys.fi\)](#) [viitattu 11.8.2022].

Suomen ympäristökeskus. 2014. Pilaantuneet alueet Suomessa. WWW-dokumentti. Päivitetty 15.8.2019. Saatavissa: [Ymparisto > Pilaantuneet alueet Suomessa](#) [viitattu 10.8.2022].

Suomen ympäristökeskus. 2013. Pilaantuneet maa-alueet. WWW-dokumentti. Päivitetty 4.6.2019. Saatavissa: [Ymparisto > Pilaantuneet maa-alueet \(environment.fi\)](#) [viitattu 7.11.2022].

Suomen ympäristökeskus. 2019. Pilaantuneen maaperän kestävä kunnostaminen. WWW-dokumentti. Päivitetty 4.6.2019. Saatavissa: [Ymparisto > Pilaantuneen maaperän kestävä kunnostaminen](#) [viitattu 11.8.2022].

Suomen ympäristökeskus. 2013. Riskien hallintamenetelmät. WWW-dokumentti. Päivitetty 4.6.2019. Saatavissa: [Ymparisto > Riskien hallintamenetelmät](#) [viitattu 14.10.2022].

Suomen ympäristökeskus. 2013. Ympäristönsuojelulain mukainen kertaluonteista toimintaa koskeva ilmoitusmenettely. Päivitetty 22.10.2020. WWW-dokumentti. Saatavissa: [Ymparisto > Ympäristönsuojelulain mukainen kertaluonteista toimintaa koskeva ilmoitusmenettely](#) [viitattu 11.8.2022].

Tilastokeskus. 2022. 11ra – Tunnuslukuja väestöstä alueittain, 1990-2021. Tietokanta. Saatavissa: [Tunnuslukuja väestöstä muuttujina Alue, Tiedot ja Vuosi. PxWeb \(stat.fi\)](#) [viitattu 8.11.2022].

U.S. Environmental protection agency. 1999. Crued Oil. WWW-dokumentti. Saatavissa: [Definition \(epa.gov\)](#) [viitattu 14.10.2022].

U.S. Environmental protection agency. 2016. Soil Policy: Soil Contamination in Europe. WWW-dokumentti. Saatavissa: [Soils Policy: Soil Conamination in Europe | Office of Solid Waste and Emergency Response \(OSWER\) | US EPA](#) [viitattu 14.10.2022].

Valderrama C., Alessandri R., Aunola T., Cortina J.L., Gamisans, X. & Tuhkanen, T. 2009. Oxidation by Fenton's reagent combined with biological treatment applied to a creosote-contaminated soil. J. Hazard. Mater. 166: 594–602. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.11.108> [viitattu 14.10.2022].

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamissa 843/2017.

Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista 214/2007.

Vepsäläinen, M., Pyy, O., Sjölund, M., Nikunen, S., Rajala, A-M. & Reinikainen, J., 2016. Ympäristökeskuksen raportteja 1/2016. Pilaantuneen maa-

alueen kunnostushankkeen tilaaminen. PDF-dokumentti. Saatavissa: [SYKE-ra_1_2016.pdf \(helsinki.fi\)](#) [viitattu 14.10.2022].

Ympäristöministeriö. s.a. Maaperänsuojelulainsäädäntö. WWW-dokumentti. Saatavissa: [Maaperänsuojelulainsäädäntö - Ympäristöministeriö](#) [viitattu 10.8.2022].

Ympäristöministeriö. 2014. Ympäristöhallinnon ohjeita 6 / 2014. PDF-dokumentti. Saatavissa: [OH_6_2014.pdf \(helsinki.fi\)](#) [viitattu 11.8.2022]. Ympäristönsuojelulaki 527/2014.

Zhu, L., Rosales, E. & Lin, C. 2016. Fenton Reaction. WWW-dokumentti. Saatavissa: [Fenton Reaction - an overview | ScienceDirect Topics](#) [viitattu 7.11.2022].