

Maija Tanskanen

PAH-YHDISTEIDEN
KÄYTTÄYTYMINEN
MAAPERÄSSÄ

Opinnäytetyö
Ympäristötekniologia


Helmikuu 2016




MAMK

University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

	Opinnäytetyön päivämäärä 26.2.2016
Tekijä(t) Maija Tanskanen	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Ympäristötekniologia
Nimeke PAH-yhdisteiden käyttäytyminen maaperässä	
Tiivistelmä <p>Älykö-hankkeen osana tehdyssä opinnäytetyössä tutkitaan PAH-yhdisteiden kulkeutumista maaperässä riskinarvioinnin näkökulmasta. Tutkimalla PAH-yhdisteiden käyttäytymistä, voidaan arvioida niiden aiheuttamaa riskiä maaperässä.</p> <p>Haitta-aineiden kulkeutumiseen maaperässä vaikuttavat haitta-aineiden ja maaperän ominaisuudet sekä alueen ympäristöolosuhteet. Haitta-aineita siirtyy maaperässä erilaisissa fysikaalisissa, kemiallisissa ja biologisissa prosesseissa nesteiden, kaasujen ja kiinteän aineen välillä. Tyypillisesti haitta-aineet kulkeutuvat maaperässä liikkuvan veden välityksellä luoden riskiä pohjavesialueille. Opinnäytetyön tutkimuksen kohteena olivat PAH-yhdisteet, joita esiintyy öljytuotteissa ja joita päätyy ympäristöön tyypillisesti epätäydellisissä palamisprosesseissa.</p> <p>Riskinarvioinnissa tunnistetaan, määritetään ja arvioidaan haitta-aineiden aiheuttamia haittoja ja riskejä. Arvioitaessa haitta-aineiden kulkeutumisen riskiä tarvitaan tietoa haitta-aineiden jakautumisesta maaperässä. Arvioinnissa voidaan hyödyntää mm. kirjallisuutta, kohdetutkimuksia ja -havaintoja sekä määrittämiä laskentamalleja.</p> <p>Opinnäytetyössä tutkittiin naftaleenin, fenantreenin ja bentso(a)pyreenin käyttäytymistä kahdessa erilaisessa maalajissa. Tutkimusmenetelmänä käytettiin Tenax-hartsin -uuttomenetelmää. Tutkimuksessa selvitettiin PAH-yhdisteiden kulkeutuvuutta maa-aineksesta nestefaasiin tietyllä ajanjaksolla.</p> <p>Tutkimustulokset osoittivat, että PAH-yhdisteiden käyttäytymiseen maaperässä vaikuttavat PAH-yhdisteiden ominaisuudet (aromaattisten renkaiden määrä, vesi- ja rasvaliukoisuus sekä kiinnittyvyys maa-ainekseen) ja maalajien ominaisuudet (orgaanisen aineksen ja hienoaineksen määrä). Tutkimustuloksia voidaan hyödyntää riskinarvioinnissa akuuteissa ja pitkäaikaisissa pilaantumistapahtumissa sekä kunnostusmenetelmien puhdistustuloksien arvioinnissa.</p>	
Asiasanat (avainsanat) Haitta-aineiden kulkeutuminen, PAH-yhdisteet, maaperä, Tenax-uutto, riskinarviointi	
Sivumäärä 40 + 24	Kieli Suomi
Huomautus (huomautukset liitteistä)	
Ohjaavan opettajan nimi FT Arto Sormunen	Opinnäytetyön toimeksiantaja Älykö-hanke Mikkelin ammattikorkeakoulu (Mamk) FM Vuokko Malk

DESCRIPTION

	Date of the bachelor's thesis 26 February 2016
Author(s) Maija Tanskanen	Degree programme and option Environmental Engineering
Name of the bachelor's thesis Behaviour of PAHs in soil	
Abstract <p>This thesis, part of the Älykö-project, studies the migration of PAHs in the soil from the perspective of risk assessment. By studying the behavior of PAHs, the risk caused by them can be estimated in the soil.</p> <p>The properties of contaminants and soil as well as environmental conditions affect the migration of contaminants in the soil. Contaminants migrate by various physical, chemical and biological processes between liquids, gases and solids. Typically, the contaminants migrate assisted by moving water in the soil, which creates a risk for groundwater areas. In the thesis PAHs were studied, which occur in oil products and which end up in the environment as a byproduct of imperfect combustion processes.</p> <p>The harm and risks caused by harmful substances is detected, identified and assessed in risk assessment. Information on the distribution of harmful substances in the soil is required for assessing the risk of migration. In the evaluation, literature, sight studies and observations as well as mathematical calculation models can be used.</p> <p>The behavior of naphthalene, phenanthrene and benzo(a)pyrene in two soil types was studied in this thesis. The Tenax resin extraction method was used. The study examined PAHs migration from the soil to liquid phase in a certain time period.</p> <p>The results showed that the properties of the PAHs (number of aromatic rings, water solubility, lipophilicity and adsorption to soil) and soil (amount of organic matter and fine silts) affect the behavior of PAHs. The results of the study can be used in the risk assessment of instant and long-term pollution incident problems and the assessment of cleaning performance of soil remediation methods.</p>	
Subject headings, (keywords) Migration of harmful substances, PAHs, soil, Tenax extraction, risk assessment	
Pages 40 + 24	Language Finnish
Remarks, notes on appendices	
Tutor Ph.D Arto Sormunen	Bachelor's thesis assigned by Älykö-project Mikkeli University of Applied Sciences (Mamk) M.Sc Vuokko Malk

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty osana Mikkelin ammattikorkeakoulun ja Kymenlaakson ammattikorkeakoulun Älykö-hanketta syksyn 2015 ja kevään 2016 aikana. Kiitän Mikkelin ammattikorkeakoulua tästä mahdollisuudesta ja mielenkiintoisesta aiheesta. Työn ohjaajana toimi Energia- ja ympäristötekniikan laitoksen yliopettaja Arto Sor-munen, jota kiitän lukuisista ja hyödyllisistä neuvoista ja kommentteista, joita olen häneltä työtä tehdessäni saanut.

Kiitän työni tarkastajana toiminutta Energia- ja ympäristötekniikan laitoksen lehtoria Marjatta Lehesvaaraa hyvistä ja arvokkaista kommentteistaan.

Kiitokseni haluan osoittaa myös Mikkelin ammattikorkeakoulun ympäristölaboratori-on henkilökunnalle ja harjoittelijoille, jotka auttoivat työni tutkimusosan toteuttami-
sessa sekä kiitoksia saamastani neuvoista ja palautteesta.

Lopuksi suuret kiitokset rakkaalleni Oskarille tuesta ja ymmärryksestä, perheelleni kannustuksesta sekä opiskelukavereilleni huikeasta matkasta opintojen ja tämän työn tekemisen aikana.

Helsingissä 26.2.2016

Maija Tanskanen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	HAITTA-AINEIDEN KULKEUTUMINEN MAAPERÄSSÄ.....	2
2.1	Haitta-aineiden kulkeutumiseen vaikuttavat tekijät.....	2
2.1.1	Haitta-aineiden kulkeutumismekanismit	2
2.1.2	Haitta-aineen ominaisuudet	4
2.1.3	Muut tekijät.....	6
2.2	Maaperän vaikutus haitta-aineiden ympäristökäyttäytymiseen.....	7
3	PAH-YHDISTEET	9
3.1	PAH-yhdisteiden esiintyvyys ympäristössä	9
3.2	PAH-yhdisteiden ominaisuudet	11
3.2.1	Naftaleeni.....	12
3.2.2	Fenantreeni.....	12
3.2.3	Bentso(a)pyreeni	13
3.3	PAH-yhdisteiden ympäristökäyttäytyminen.....	14
4	MAAPERÄN PILAANTUNEISUUDEN ARVIOINTI.....	15
4.1	Lainsäädäntö	15
4.2	Riskinarviointi	18
4.3	Haitta-aineiden kulkeutumisen arviointi maaperässä	20
5	TUTKIMUSMENETELMÄ	22
6	TULOKSET	26
6.1	Maanäytteiden määrityksien tulokset	26
6.2	Desorptiokokeen tulokset	27
7	TULOSTEN TARKASTELU (POHDINTA).....	30
8	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	34
	LÄHTEET	36

LIITTEET

- 1 Maanäytemääritykset: näytemaa 1
- 2 Maanäytemääritykset: näytemaa 2
- 3 Analyysitulokset: maanäytteet
- 4 Analyysitulokset: vesinäytteet
- 5 Analyysitulokset: Tenax-näytteet
- 6 Standardisuora: naftaleeni
- 7 Standardisuora: fenantreeni

8 Standardisuora: bentso(a)pyreeni

9 Laskentatulokset: näytemaa 1

10 Laskentatulokset: näytemaa 2

11 Nollanäytteiden laskentatulokset: näytemaa 1

12 Nollanäytteiden laskentatulokset: näytemaa 2

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on osa Älykö – Itä-Suomen maa-alueiden ja Saimaan vesistöalueen öljyn- ja vaarallisten aineiden varastoinnin ja kuljetusten ympäristöriskien älykäs minimointi ja torjunta -hanketta, joka on Mikkelin ammattikorkeakoulun (Mamk) ja Kymenlaakson ammattikorkeakoulun (Kyamk) yhteinen projekti. Älykö-hankkeen tavoitteena on ympäristöriskien tunnistaminen, niihin varautuminen ja onnettomuuksien vaikutusten minimointi. Hanke aloitettiin vuoden 2015 alussa ja se päättyy vuoden 2016 lopussa. Sitä rahoittavat Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan Unionin aluekehitysrahastosta, Öljysuojarahasto, Etelä-Savon ja Pohjois-Karjalan pelastuslaitokset, Meritaito Oy ja Metsäsairila Oy. (Älykö 2016.)

PAH-yhdisteitä (Polycyclic aromatic hydrocarbons) esiintyy luontaisesti maaöljyssä ja kivihiilessä, lisäksi erilaiset maaöljystä jalostetut öljytuotteet ovat PAH-yhdisteiden lähteitä. PAH-yhdisteet ovat luonnossa kaikkialle levinneitä haitallisia aineita, joita päätyy ympäristöön tyypillisesti epätäydellisissä palamisprosesseissa. PAH-yhdisteet ovat syöpää ja perimämuutoksia aiheuttavia yhdisteitä, joille altistutaan hengitysteiden, ihon ja ruuansulatuselimistön kautta. Ympäristössä PAH-yhdisteistä kulkeutuvampia yhdisteitä ovat yksi- tai kaksirenkaiset PAH-yhdisteet, kun taas monirenkaiset PAH-yhdisteet kiinnittyvät tehokkaammin maaperässä oleviin hiukkasiin. (Douben 2003, 3–4; Sillanpää 2007, 7–8; Työterveyslaitos 2005a.)

Orgaanisten yhdisteiden kulkeutumista on tutkittu maa-aineksesta, sedimenteistä ja vedestä Tenax-hartsin -uuttomenetelmällä (Barnier ym. 2014; Cornelissen 1999; Sormunen 2008; van Noort ym. 2014; Zhao ym. 2004). Opinnäytetyössä tutkittiin PAH-yhdisteiden kulkeutuvuutta maa-aineksesta nestefaasiin kyseisellä uuttomenetelmällä kymmenen päivän ajan. Tutkimuksessa Tenax-hartsin toimii adsorbenttina (referenssi-faasina), jonka pinnalle maa-aineksesta vapautuneet PAH-yhdisteet sitoutuvat.

Tutkimalla PAH-yhdisteiden käyttäytymistä maaperässä riskinarvioinnin näkökulmasta, voidaan arvioida niiden aiheuttamaa riskiä maaperälle ja pohjavedelle. Tutkimustiedon perusteella voidaan päätellä kiinnittyvätkö PAH-yhdisteet maaperään vai kulkeutuvatko ne veden mukana maaperästä pohjavedeen. Näin ollen tutkimuksesta saatavaa tietoa voidaan hyödyntää akuuteissa ja pitkäaikaisissa pilaantumistapahtumissa sekä kunnostusmenetelmien puhdistustuloksien arvioinnissa. Esimerkiksi onnetto-

muustilanteessa, jossa haitallista ainetta on päässyt maaperään, voidaan tiedon perusteella kohdentaa torjuntatoimet sinne missä haitallisia aineita on, jolloin pystytään minimoimaan haitallisten aineiden vaikutuksia ympäristössä.

Opinnäytetyössä tutkittiin kolmen PAH-yhdisteen, naftaleenin, fenantreenin ja bentso(a)pyreenin, käyttäytymistä kahdessa erilaisessa maalajissa. Tutkimuksessa selvitettiin missä suhteessa tietyn ajan kuluessa PAH-yhdisteitä sisältävästä maasta PAH-yhdisteitä on kulkeutunut nestefaasiin.

Opinnäytetyön tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

- Onko PAH-yhdisteiden ominaisuuksilla merkitystä niiden käyttäytymiseen maaperässä?
- Onko maaperän laadulla merkitystä PAH-yhdisteiden käyttäytymiseen?

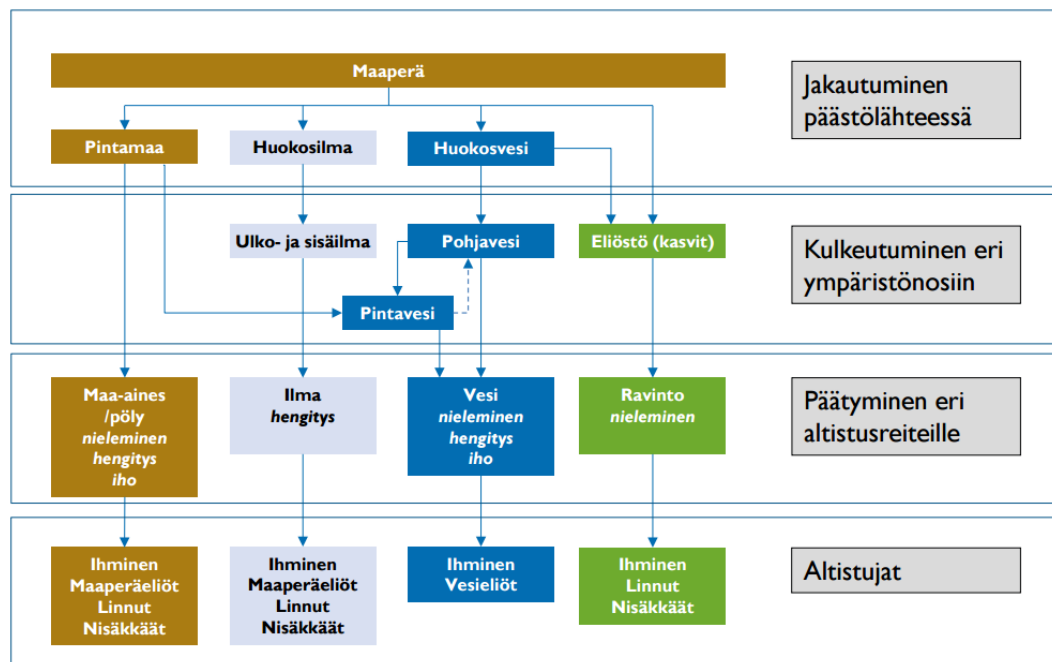
2 HAITTA-AINEIDEN KULKEUTUMINEN MAAPERÄSSÄ

2.1 Haitta-aineiden kulkeutumiseen vaikuttavat tekijät

Haitta-aineiden kulkeutumiseen ja jakautumiseen maaperässä vaikuttavat fysikaaliset, kemialliset ja biologiset prosessit. Merkittävimpiä haitta-aineiden kulkeutumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat niiden kulkeutumismekanismit (advektio, diffuusio, dispersio), haitta-aineiden ominaisuudet, jotka vaikuttavat niiden liukenemiseen, haihtumiseen ja kulkeutuvuuteen maaperässä sekä muut tekijät, kuten sääolosuhteet ja biohajoaminen. (Ympäristöministeriö 2014.)

2.1.1 Haitta-aineiden kulkeutumismekanismit

Haitta-aineet voivat kulkeutua maaperässä liukoisessa muodossa tai humukseen/maahiukkasiin kiinnittyneinä tai kaasuina. Haitta-aineet yleensä leviävät maaperässä liikkuvan veden välityksellä, jolloin liukoisessa muodossa olevat haitta-aineet kulkeutuvat tehokkaammin maaperässä aiheuttaen pohjavesialueille vaaraa. Kuvassa 1 on esitetty haitta-aineen kulkeutumisreittejä maaperästä ympäristön eri osiin, altistusreitit ja altistujat. (Heikkinen 2000, 11; SGY 2008, 8; Ympäristöministeriö 2014, 98.)



KUVA 1. Haitta-aineen kulkeutumisreitit maaperästä ympäristöön, altistusreitit ja altistujat (Ympäristöministeriö 2014, 98).

Advektiossa veteen liuenneet tai suspendoituneet aineet (veteen sekoittunutta hienojakoista orgaanista ja/tai mineraalista ainetta) sekä ilmaan haihtuneet aineet leviävät veden tai ilmavirtauksen mukana. Maaperässä advektio on veteen liuenneiden aineiden merkittävin kulkeutumismekanismi erityisesti hyvin vettä johtavissa maakerroksissa. Haitta-aineiden kulkeutumismekanismi advektiolla vaikuttavat maaperän sisältämän veden määrä ja veden virtausnopeus. Huokosilmassa paine-eroista johtuva advektio saa aikaan kaasuja mukanaan kuljettavan ilmavirran. (Heikkinen 2000, 12; Ympäristöministeriö 2014, 100.)

Diffuusiosta haitta-aineen pitoisuudet pyrkivät tasoittumaan väkevämmästä pitoisuudesta laimeampaan. Diffuusio on tehokkainta pienihuokoisissa, heikosti lajittuneissa tai hienorakeisissa maalajeissa. Haitta-aineet, jotka ovat liuenneet veteen, kulkeutuvat heikosti vettä johtavissa maakerroksissa diffuusion avulla. Maaperän huokosilmaan haihtuneiden haitta-aineiden kulkeutuminen diffuusion avulla on nopeampaa. (Heikkinen 2000, 12; Ympäristöministeriö 2014, 100.)

Dispersio johtuu diffuusiosta ja pohjaveden virtausnopeuden vaihteluista aiheutuvasta mekaanisesta sekoittumisesta. Dispersiossa haitta-aineet kulkeutuvat maaperässä veteen liuenneena pohjaveden virtauksen suunnassa ja sitä vastaan poikittaisessa suunnassa sekä samanaikaisesti haitta-aineiden pitoisuus pienenee. Dispersio nopeus on

suhteessa veden virtausnopeuteen. (Heikkinen 2000, 12; Ympäristöministeriö 2014, 100.)

2.1.2 Haitta-aineen ominaisuudet

Haitta-aineen päätyessä maaperään sen jakautuminen ja kulkeutuminen eri ympäristön osissa riippuu aineen fysikaalisista ja kemiallisista ominaisuuksista. Keskeisimmät ominaisuudet ovat aineen haihtuvuus, vesiliukoisuus, rasvahakuisuus ja kiinnittyvyys maa-ainekseen. (Riihimäki ym. 2005, 62.)

Höyrynpaineen ja Henryn lain vakion avulla voidaan arvioida haitta-aineiden haihtumista huokoskaasuun. Haitta-aineen haihtuvuus ilmaan kasvaa höyrynpaineen kasvaessa. Aineen haihtumiseen vedestä vaikuttaa höyrynpaineen lisäksi haitta-aineen vesiliukoisuus. Haitta-aine, jolla on korkea höyrynpaine, ei välttämättä haihdu vedestä, jos se on hyvin vesiliukoinen. Henryn lain vakion avulla, joka kuvaa aineen höyrynpaineen ja vesiliukoisuuden suhdetta, voidaan arvioida haitta-aineen haihtuvuutta vesiliuksesta. Taulukoissa 1 ja 2 on esitetty haitta-aineiden haihtuvuuteen liittyviä Ympäristöministeriön luokittelukriteerejä. (Riihimäki ym. 2005, 62; Ympäristöministeriö 2014, 99.)

TAULUKKO 1. Haihtuvuus (Ympäristöministeriö 2014, 181).

Höyrynpaine	
P_{vp} (Pa), 20–25 °C	Ryhmittely
> 100	erittäin haihtuva
1–100	haihtuva
0,01–1	kohtalaisen haihtuva
0,0001–0,01	heikosti haihtuva
< 0,0001	hyvin heikosti haihtuva

TAULUKKO 2. Haihtuvuus vedestä (Ympäristöministeriö 2014, 181).

Henryn lain vakio (H)		Haihtuvuus vesiliuksesta
H (atm m³/mol)	H (Pa m³/mol)	
> 10 ⁻³	> 100	erittäin helposti haihtuva
10 ⁻⁵ –10 ⁻³	1–100	helposti haihtuva
10 ⁻⁷ –10 ⁻⁵	10 ⁻² –1	heikosti haihtuva
< 10 ⁻⁷	< 10 ⁻²	hyvin heikosti haihtuva

Haitta-aineen vesiliukoisuus kuvastaa aineen jakautuvuutta ja kulkeutuvuutta ympäristössä veden välityksellä. Sadannan seurauksena vesiliukoiset haitta-aineet voivat huuhtoutua maahan, mistä veden virtausten mukana ne kulkeutuvat laajalle alueelle sekä pohja- että pintavesiin. Hyvin veteen liukenevat haitta-aineet eivät helposti haihdu vedestä eivätkä ne myöskään kiinnity maaperään. (Riihimäki ym. 2005, 62.) Taulukossa 3 on esitetty haitta-aineiden vesiliukoisuuteen liittyviä Ympäristöministeriön luokittelukriteerejä.

TAULUKKO 3. Vesiliukoisuus (Ympäristöministeriö 2014, 181).

S (mg/l)	Ryhmittely
> 1000	hyvin liukeneva
10–1000	liukeneva
0,1–10	niukkaliukoinen
< 0,1	hyvin niukkaliukoinen

Maaperässä haitta-aineet voivat pidäytyä maa-aineksessa oleviin kiinteisiin ja liukenemattomiin orgaanisiin tai epäorgaanisiin aineisiin kiinnittymällä joko niiden pinoille tai rakenteisiin tai muodostamalla saostumia niiden kanssa. (Heikkinen 2000, 15.) Haitta-aineen pidättymistä maaperässä voidaan kuvata adsorptiokertoimien avulla, joita ovat K_d -jakaantumiskerroin veden ja kiinteän aineksen välillä ja K_{oc} -jakaantumiskerroin veden ja orgaanisen hiilen välillä. Adsorptiokertoimien avulla voidaan arvioida haitta-aineen kiinnittymistä ja kulkeutuvuutta maaperässä. Mitä suurempi jakaantumiskertoimen arvo (K_d ja/tai K_{oc}) on, sitä tiukemmin aine kiinnittyy maaperään. Vastaavasti alhainen jakaantumiskertoimen arvo (K_d ja/tai K_{oc}) ja suuri vesiliukoisuuden arvo viittaa aineen kulkeutumiseen veden mukana. (Riihimäki ym. 2005, 62–63.) Taulukossa 4 on esitetty haitta-aineiden kulkeutuvuuteen liittyviä Ympäristöministeriön luokittelukriteerejä.

TAULUKKO 4. Kulkeutuvuus maassa (Ympäristöministeriö 2014, 181).

K_{oc} -arvo	Log K_{oc} *	K_d -arvo	Ryhmittely
< 50	< 1,70	< 0,75	erittäin kulkeutuva
50–150	1,70–2,18	0,75–2,25	helposti kulkeutuva
150–500	2,18–2,70	2,25–7,5	kohtalaisen kulkeutuva
500–2000	2,70–3,30	7,5–30	hieman kulkeutuva
2000–5000	3,30–3,70	30–75	heikosti kulkeutuva
> 5000	> 3,70	> 75	kulkeutumaton

*) Laskettu K_{oc} -arvosta kaavalla $\log_{10}(K_{oc})$

Haitta-aineen kertyvyyttä eliöihin voidaan arvioida n-oktanoli/vesi-jakautumiskertoimen (K_{ow} tai P_{ow}) avulla, joka kuvastaa haitta-aineen pitoisuusjakaumaa oktanolin ja veden kaksifaasisessa seoksessa. N-oktanoli/vesi-jakautumiskertoimen avulla voidaan arvioida myös haitta-aineen rasvahakuisuutta ympäristössä. Haitta-aine on rasvaliukoinen ja helposti orgaaniseen aineeseen kiinnittyvä (sitoutuu maaperäpartikkeleihin tai kasvien juuriin), kun kertoimen arvo on suuri. Aine on mahdollisesti kertyvä, jos n-oktanoli/vesi-jakautumiskertoimen arvo P_{ow} tai $K_{ow} \geq 1000$ eli $\log P_{ow}$ tai $\log K_{ow} \geq 3$. (Riihimäki ym. 2005, 63; Sillanpää 2007, 8.)

2.1.3 Muut tekijät

Olosuhteet vaikuttavat myös haitta-aineiden kulkeutumiseen, johon erityisesti vaikuttavat lämpötila ja sadanta. Viileässä ja kosteassa ilmastossa haitta-aineet kulkeutuvat pääasiassa alaspäin, kun taas lämpimässä ja kuivassa ilmastossa ylöspäin. Haitta-aineita kulkeutuu myös maan pinnalla pintavirtauksien mukana. (Heikkinen 2000, 11.)

Haitta-aine voi myös maaperässä hajota toisiksi yhdisteiksi hajoamisprosessien seurauksena. Biologisessa hajoamisessa maaperän mikrobit voivat hajottaa haitta-aineen eri ainesosia hiilen- ja energianlähteenään edellyttäen, että olosuhteet ovat suotuisat. Haitta-ainepitoisuuden tulee olla riittävän alhainen mikrobeille (ei ole liian myrkyllinen hajottajaeliöstölle) ja biosaatavuuden tulee olla riittävää. (Sillanpää 2007, 9; Ympäristöministeriö 2014, 101.) Hajoaminen voi olla myös kemiallista, jolloin haitta-aine hajoaa hydrolysoitumalla. Lähinnä haihtuvat aineet hajoavat fotolyttisesti joko suorasti ultraviolettivalon, näkyvän valon vaikutuksesta tai epäsuorasti otsonin tai radikaaliyhdisteiden vaikutuksesta. (Riihimäki ym. 2005, 60–61.)

Monille öljyhiilivedyille luontaisesti tapahtuva biohajoaminen on merkittävä hajoamisprosessi maaperässä ja pohjavedessä, jonka tehokkuuteen vaikuttavat mm. maaperän ravinne-, happi- ja vesipitoisuus, lämpötila, pH ja maalaji. Yleisin hajoamistapa hiilivedyillä on aerobinen hapettuminen, joka voi tapahtua täydellisesti tai osittain. Täydellisessä hajoamisessa orgaanisista yhdisteistä syntyy hiilidioksidia, vettä ja epäorgaanisia suoloja, kun taas osittaisessa hajoamisessa maaperään jää hapettumisen välituotteita. (Sillanpää 2007, 9–10; Ympäristöministeriö 2014, 101.)

2.2 Maaperän vaikutus haitta-aineiden ympäristökäyttäytymiseen

Suomessa maanpinta muodostuu peruskalliosta ja sitä peittävistä maalajeista. Maaperä koostuu kallioperää ja vesistöjen pohjaa peittävästä irtomaakerroksesta, joka on pääasiassa murskautunutta ja hienontunutta kiviainesta. Lisäksi maaperään sisältyy eloperäisestä aineksesta syntynyt turve ja lieju sekä maaperässä oleva vesi. Maaperä on pääasiassa syntynyt viimeisimmän jääkauden aikana ja sen jälkeen geologisten prosessien tuloksena. Maaperän peittävyys ja paksuus (keskipaksuus 8,5 m) vaihtelevat alueittain. (Geologian tutkimuskeskus 2015.)

Maa muodostuu kiinteästä maa-aineksesta, huokosvedestä ja -ilmasta. Huokosvesi ja -ilma täyttävät maaperässä olevan huokostilan, joka koostuu huokosten täyttämistä tyhjätiloista maarakeiden välissä. Maaperän huokokset ovat kyllästyneessä tilassa pohjavedenpinnan alapuolella, missä ne ovat veden täyttämiä. Kyllästymättömässä tilassa huokostilassa on ilmaa veden lisäksi. (Martio 2011, 15.)

Maan kiinteä aines muodostuu kivilajien mineraaleista, savimineraaleista, liukoisten yhdisteiden saostumisesta sekä orgaanisista aineksista ja yhdisteistä. Maan huokoisuuteen vaikuttaa erityisesti raekoostumus, maan tiiveys, rakeiden muoto ja järjestys, sekä sementoituminen. (Martio 2011, 15.) Maalajit voidaan jakaa neljään eri maalajiryhmään geoteknisen maalajiluokituksen mukaan taulukon 5 mukaisesti (Korhonen ym. 1974, 11).

TAULUKKO 5. Geotekninen maalajiluokitus (Korhonen ym. 1974, 11).

Maalajiryhmä	Maalaji	Lyhennys	Lajitepitoisuus, paino- %			Raekoko d ₅₀ , mm
			Savi	Hienoaines	Sora	
Eloperäiset maalajit	Turve	Tv				
	Lieju	Lj				
Hienorakeiset maalajit	Savi	Sa	≥ 30			
	Siltti	Si	< 30	≥ 50	< 5	≤ 0,06
Karkearakeiset maalajit	Hiekka	Hk		< 50	≤ 50	> 0,06...2
	Sora	Sr		< 5	> 50	> 2...60
Moreenimaalajit	Silttimoreeni	SiMr		≥ 50	≥ 5	≤ 0,06
	Hiekkamoreeni	HkMr		5...50	5...50	> 0,06...2
	Soramoreeni	SrMr		≥ 5	> 50	> 2

Eloperäiset maalajit koostuvat pääasiallisesti eloperäisistä aineksista, jota on vähintään kuusi painoprosenttia. Hienorakeiset maalajit ovat kerrostuneita maalajeja, jotka ovat syntyneet jäätikön sulamisvesistä laskeutumalla. Niitä esiintyy alavilla ja tasaisilla alueilla, ja ne ovat huonosti vettä läpäiseviä maalajeja. Karkearakeiset maalajit ovat virtaavan veden kerrostamia maalajeja, joita esiintyy harjuissa ja reunamuodostelmissa. Nämä maalajit ovat hyvin vettä läpäiseviä. Moreeni on Suomen yleisin maalaji, joka on muodostunut jäätikön toimintojen tuloksena lajittumattomaksi maalajiksi. Moreenissa on sekoittuneena eri lajitteita siltistä soraan sekä kiviä ja lohkareita. Moreenin vedenläpäisevyys pienenee hienoainespitoisuuden kasvaessa. (Korhonen ym. 1974, 11; Ronkainen 2012, 11; Suomen ympäristöopisto 2007.)

Haitta-aineiden kulkeutuvuuteen maaperässä vaikuttavat erityisesti maalajin fysikaaliset ominaisuudet, kuten raekoko ja vedenläpäisevyys (Ympäristöministeriö 2014, 52). Vedenläpäisevyys kuvaa maan kykyä kuljettaa vettä. Painovoimaista pohjaveden virtausta maan kyllästyneessä tilassa voidaan tarkastella Darcyn lailla. Vedenläpäisevyyden suuruuteen vaikuttavat maaperän ja veden eri ominaisuudet, joita ovat maan raekokojakauma, tiiviys- ja kyllästyneisyysaste sekä veden ominaispaino ja lämpötilasta riippuva veden viskositeetti. Vedenläpäisevyys on sitä suurempi, mitä suurempi on maan kyllästymisaste. Raekokojakauma vaikuttaa vedenläpäisevyyteen maaperässä siten, että hienorakeiset maalajit, kuten savi ja siltti, ovat lähes läpäisemättömiä maalajeja, kun taas hiekka ja sora ovat hyvin läpäiseviä maalajeja suuremman raekokonsa vuoksi. (Martio 2011, 18; SGY 2008, 12–16.) Taulukossa 6 on esitetty ajankohtia, joiden kuluessa vesi saavuttaa pohjaveden pinnan.

TAULUKKO 6. Ajankohdat, joiden kuluessa vesi saavuttaa pohjaveden pinnan (Suomen ympäristöopisto 2007).

Maalaji	Pohjaveden virtausnopeus	Syvyys pohjaveden pintaan		
		1 m	5 m	10 m
Aika pohjaveden pintaan				
Sora	1–100 m/h	< 1 h	< 1 h	< 1 h
Hiekka	10 cm/vrk–30 m/vrk	< 1 vrk	1 vrk–1 kk	1 vrk–10 vuotta
Siltti	1 cm–1 m/vuosi	1 kk–1 vuosi	> 1 vuosi	> 10 vuotta
Savi	1–10 cm/vuosi	1 kk–1 vuosi	-	-
Karkea moreeni	10 m/vuosi–1 m/h	< 1 vrk	< 1 vrk–1 kk	1 vrk–1 vuosi
Savinen moreeni	10 cm–100 m/vuosi	1 vrk–1 kk	1 kk–1 vuosi	> 1 kk–10 vuotta
Turve	1–100 m/vuosi	> 1 vrk	-	-

Haitta-aineiden kulkeutumiseen tai pidättyvyyteen maaperässä vaikuttavat orgaanisen aineksen ja hienoaineksen määrä. Useimmat haitta-aineet sitoutuvat maaperän savi- ja silttihiukkasiin (hienoainekseen) sekä orgaaniseen ainekseen. Runsaasti orgaanista ainesta ja hienoainesta sisältämä maa-aines vähentää haitta-aineiden kulkeutumista. Haitta-aineet kulkeutuvat tehokkaammin karkearakeisessa maa-aineksessa, kuten sora- ja hiekkamaissa, koska maa-aines sisältää vähän orgaanista ainesta ja hienoainesta. (Heikkinen 2000 11–18; Penttinen 2001, 26.)

Muita maaperän ominaisuuksia, jotka vaikuttavat haitta-aineiden kulkeutumiseen tai pidättyvyyteen maaperässä, ovat mineraalikoostumus, ioninvaihtokapasiteetti, partikkelien ominaispinta-ala ja pinnan ominaisuudet sekä lisäksi kemialliset olosuhteet, kuten pH ja hapetus-pelkistysolot. Ilmastollisista tekijöistä sademäärä ja lämpötila vaikuttavat haitta-aineiden kulkeutumismekanismeihin ja -suuntiin. (Heikkinen 2000, 11–15.)

3 PAH-YHDISTEET

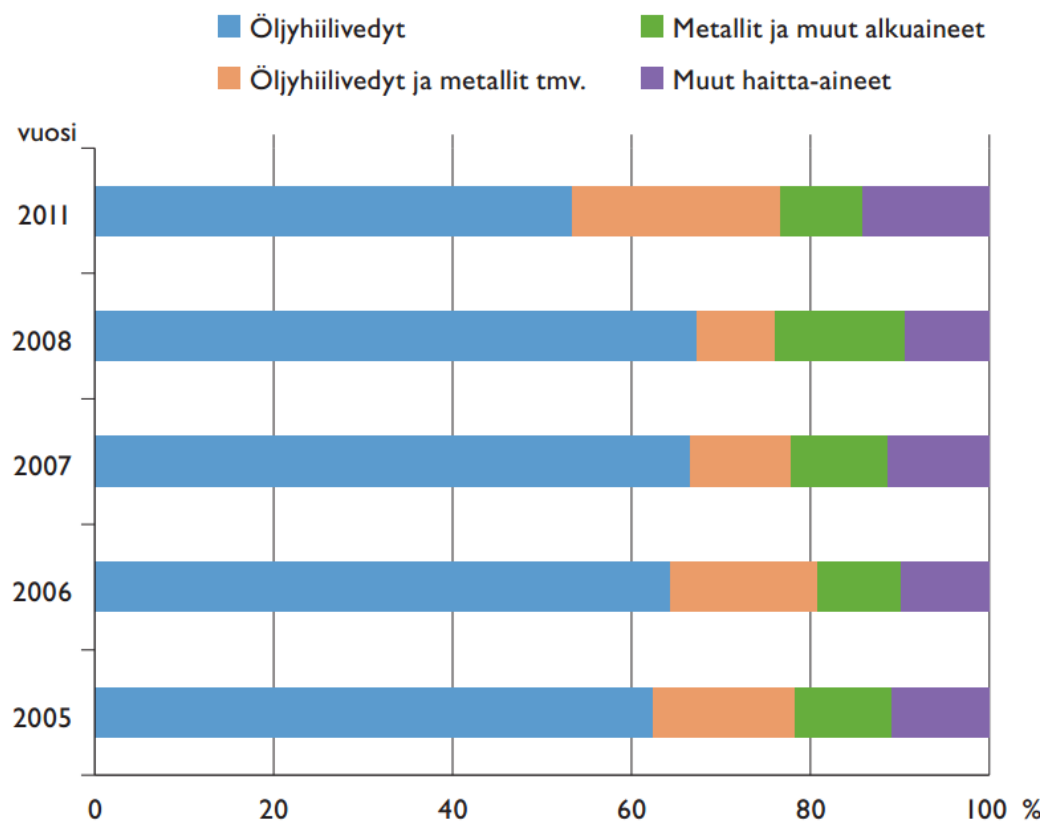
3.1 PAH-yhdisteiden esiintyvyys ympäristössä

Polyaromaattisia hiilivetyjä tai polysyklisiä aromaattisia hiilivetyjä eli PAH-yhdisteitä esiintyy luontaisesti maaöljyssä ja kivihielessä. PAH-yhdisteitä muodostuu luonnon orgaanisista aineista alhaisessa lämpötilassa ja korkeassa paineessa. Lisäksi erilaiset maaöljystä jalostetut öljytuotteet ovat PAH-yhdisteiden lähteitä. Öljynjalostuksessa PAH-yhdisteiden määrä lisääntyy alkaalien sykloisoinen ja aromatisoinen vuoksi. PAH-yhdisteitä on myös pyrolyysituotteissa, kuten kreosooteissa, joita käytetään mm. puunsuoja-aineina. PAH-yhdisteitä voi myös esiintyä elintarvikkeissa ruoanvalmistuksen seurauksena, kun elintarvikkeita on paahdettu, savustettu, grillattu tai kuivattu. (Douben 2003, 3; Evira 2014; Napari 2004, 115–118; Sillanpää 2007, 7; Työterveyslaitos 2010.)

PAH-yhdisteitä esiintyy kaikkialla ympäristössä niin ilmassa, maaperässä kuin vesistöissä. Ympäristöön PAH-yhdisteitä päätyy polttoaineiden ja muun orgaanisen aineksen (esim. öljy, kivihiehi, puu, tupakka) epätäydellisissä palamisprosesseissa teollisuudessa, liikenteessä ja yleensä polttotapahtumissa. PAH-päästöjä voi syntyä myös

muissa teollisuuden prosesseissa, kuten metalliteollisuudessa, massa- ja paperiteollisuudessa, paperipainoteollisuudessa sekä torjunta-aine-, maali- ja väriteollisuudessa. Luonnossa PAH-yhdisteitä muodostuu metsäpaloissa ja tulivuorenpurkauksissa. Ihmisen aiheuttamat PAH-päästöt ovat paljon suuremmat kuin luonnollisista lähteistä aiheutuvat päästöt. (Douben 2003, 3; Evira 2014; Koskinen ym. 2005, 24; U.S. Department of Health and Human Services 1995, 229, 234 –235.)

Ilmassa PAH-yhdisteet ovat yleensä sitoutuneina pienhiukkasiin, jotka kulkeutuvat ympäristöön ilmakehän virtausten mukana; siksi PAH-yhdisteet ovat luonnossa kaikkialle levinneitä haitallisia aineita. PAH-yhdisteitä päätyy maaperään ja vesistöihin mm. kuiva- ja märkälaskeuman kautta, teollisuuden toimien (esim. puukyllästämöt) sekä öljytuotteiden kuljetuksen, käytön ja hävittämisen yhteydessä tapahtuvien vuotojen ja onnettomuuksien seurauksina. (Douben 2003, 3; Evira 2014; U.S. Department of Health and Human Services 1995, 229, 234-235.) Öljyvahinkoja, joissa maa-alueelle pääsee pieni määrä öljyä, tapahtuu vuosittain Suomessa noin 2000 kappaletta. Suomen ympäristökeskukselle ilmoitettuja maa-alueita koskevia laajempia ympäristövahinkoja tapahtuu vuosittain noin 50 kappaletta. (Ympäristöhallinto 2013a.)



KUVA 2. Pilaantuneiden alueiden kunnostuspäätöksissä mainitut, maaperän pilaantumista aiheuttaneet aineet vuosina 2005–2008 sekä vuonna 2011 (Pyy ym. 2013, 32).

Kuvassa 2 on esitetty ympäristölupaviranomaisten pilaantuneiden alueiden kunnostuspäätöksissä mainitut, maaperän pilaantumista aiheuttaneet aineet vuosina 2005–2008 sekä vuonna 2011. Kunnostuspäätöksiä oli annettu yhteensä noin 1200 kappaletta, joista noin 800 oli öljyhiilivedyillä pilaantuneita kohteita, noin 160 öljyhiilivedyillä ja metalleilla pilaantuneita kohteita, noin 140 pelkästään metalleilla tai muilla alkuaineilla (arseeni) pilaantuneita kohteita ja noin 150 muilla haitta-aineilla (klooratut hiilivedyt, torjunta-aineet, TBT ja syanidi) pilaantuneita kohteita. Öljyhiilivetytuloksiin on sisällytetty öljyjakeet, BTEX-yhdisteet, bensiinin lisäaineet (MTBE-TAME), polyaromaattiset hiilivedyt (PAH) ja haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC). (Pyy ym. 2013, 32.)

3.2 PAH-yhdisteiden ominaisuudet

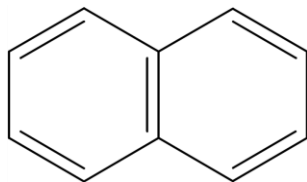
PAH-yhdisteet muodostuvat kahdesta tai useammasta fuusioituneesta aromaattisesta bentseenirenkaasta, jotka koostuvat hiilestä ja vetyatomeista. Bentseeni (C_6H_6) on tasomainen kuusirengas, jossa hiiliatomien sidoskulma on 120° . Erilaisia PAH-yhdisteitä on yli 100 kappaletta. (Douben 2003, 3; Napari 2004, 115–118; U.S. Department of Health and Human Services 1995, 3.)

Yleensä PAH-yhdisteet esiintyvät monimutkaisina seoksina, esimerkiksi palamistuotteiden osana, eivät yksittäisinä yhdisteinä. PAH-yhdisteet ovat huoneenlämpötilassa kiinteitä aineita, joilla on korkeat sulamis- ja kiehumispisteet. Yleensä PAH-yhdisteillä on matala höyrynpaine, eivätkä ne liukene helposti veteen. (Douben 2003, 3; U.S. Department of Health and Human Services 1995, 3.)

PAH-yhdisteet on luokiteltu syöpää aiheuttaviksi yhdisteiksi aiheuttaen syöpää ja perimämuutoksia. Pysyvinä orgaanisina yhdisteinä (POP-yhdiste, Persistent Organic Pollutant) PAH-yhdisteet ovat erittäin pysyviä ja kertyviä aiheuttaen pieninä pitoisuuksina vakavia haittoja ihmisille ja ympäristölle. PAH-yhdisteille altistutaan hengitysteiden, ihon ja ruuansulatuselimistön kautta. (Douben 2003, 4; Koskinen ym. 2005, 23; Työterveyslaitos 2005a, 121; Ympäristöhallinto 2013b.)

3.2.1 Naftaleeni

Naftaleeni (CAS 91-20-3, C₁₀H₈) koostuu kahdesta bentseenirenkaasta (kuva 3). Naftaleeni on huoneenlämpötilassa valkoista, kiinteää ainetta, jonka sulamispiste on 80 °C ja kiehumispiste 218 °C. Luontaisesti naftaleenia esiintyy maaöljyssä ja kivihiilessä. Lisäksi sitä valmistetaan ja käytetään teollisesti mm. polttonesteiden ja voiteluaineiden lisäaineena sekä sitä on käytetty mm. hyönteiskarkotteissa (koipallot), hiusväreissä, atsovärien valmistuksessa, lääketeollisuudessa, wc-raikastimissa, hartsien sekä PVC-muovituotteiden pehmentimien valmistuksessa. Naftaleeni on vesiliukoisin ja herkemmin haihtuva muihin PAH-yhdisteisiin verrattuna. (Koskinen ym. 2005, 53; Reinikainen 2007, 114; Työterveyslaitos 2005b.)



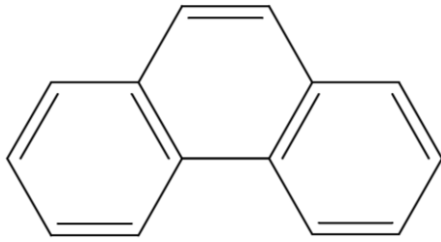
KUVA 3. Naftaleenin rakennekaava (Mackay ym. 2006, 623).

Naftaleenille voi altistua hengitysteitse, ihon kautta ja nieltynä. Hengitysilmassa olevat palamisprosessien tuotteet ja tupakansavu aiheuttavat tausta-altistumista naftaleenille. Altistuessa naftaleenille pitkäaikaisesti ja toistuvasti voi se aiheuttaa vaikutuksia mm. silmissä kehittäen harmaakaihia ja verisoluissa aiheuttaen kroonista anemiaa. Lisäksi aine on mahdollisesti ihmisessä syöpää aiheuttava. Vesieliöille naftaleeni on erittäin myrkyllistä, mikä voi aiheuttaa pitkäaikaisia haittavaikutuksia vesiympäristössä. Naftaleenin vaikutuksista maaperään ja sen eliöille ei ole saatavilla riittävästi tietoa. (Reinikainen 2007, 114; Työterveyslaitos 2005b.)

3.2.2 Fenantreeni

Fenantreenilla (CAS 85-01-8, C₁₄H₁₀) on kolme bentseenirengasta (kuva 4). Fenantreeni on huoneenlämpötilassa väritöntä, kiiltävää ja kiteistä ainetta, jonka sulamispiste on 101 °C ja kiehumispiste 340 °C. Luontaisesti fenantreeniä esiintyy maaöljyssä ja kivihiilitervassa sekä sitä valmistetaan jakotislaamalla kivihiiliöljyä, jolloin fenantreeni kiteytyy määrättyistä tisleistä. Fenantreeniä käytetään orgaanisissa synteeseissä

valmistettaessa väri- ja lääkeaineita. Sitä käytetään myös nitroglyseriinin ja -selluloosan stabiloijana. (Alén 2009, 50–51; Reinikainen 2007, 112.)

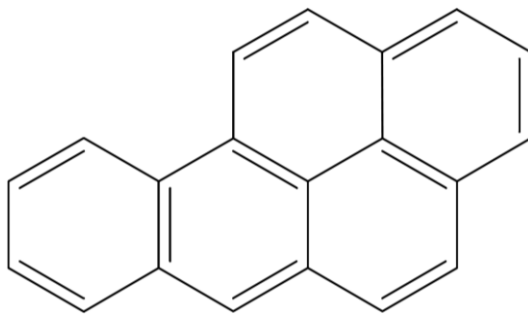


KUVA 4. Fenantreenin rakennekaava (Mackay ym. 2006, 709).

Tausta-altistumista fenantreenille aiheuttavat hengitysilmassa palamisprosessien tuotteet ja tupakansavu. Fenantreeni voi aiheuttaa ihmisille syöpää ja vesieliöille se on myös myrkyllistä. Fenantreenin vaikutuksista maaperään ja sen eliöille on saatavilla heikosti tietoa. (Reinikainen 2007, 112.)

3.2.3 Bentso(a)pyreeni

Bentso(a)pyreeni (CAS 50-32-8, $C_{20}H_{12}$) muodostuu viidestä bentseenirenkaasta (kuva 5). Bentso(a)pyreeni on huoneenlämpötilassa vaaleankeltaista kiteistä ainetta, jonka sulamispiste on 178,1 °C ja kiehumispiste 496 °C. Luontaisesti bentso(a)pyreeniä esiintyy kivihielessä ja maaöljyssä. Bentso(a)pyreeniä käytetään renkaiden täyteaineena, maalaustyössä (maalit, lakat ja vernissat) sekä kemianteollisuuden raaka-aineena. (Reinikainen 2007, 110; Työterveyslaitos 2005c.)



KUVA 5. Bentso(a)pyreenin rakennekaava (Mackay ym. 2006, 804).

Bentso(a)pyreeni voi imeytyä elimistöön hengitysteitse, ihon läpi ja nieltynä. Pitkäaikainen ja toistuvat altistuminen bentso(a)pyreenille voi aiheuttaa ihmisessä syöpää ja periytyviä perimävaurioita ihmisen sukusoluissa, jolloin se saattaa vahingoittaa ihmi-

sen lisääntymistä tai kehitystä eläinkokeiden perusteella. Bentso(a)pyreeni on erittäin myrkyllistä vesieliöille, mikä voi aiheuttaa pitkäaikaisia haittavaikutuksia vesiympäristössä. Lisäksi bentso(a)pyreeni on kertyvä aine, joka kertyy ihmisen ravintoketjussa erityisesti kaloihin, kasveihin ja nilviäisiin. (Työterveyslaitos 2005c.)

3.3 PAH-yhdisteiden ympäristökäyttäytyminen

Öljy-yhdisteet päätyvät maaperään yleensä nestemäisessä muodossa, harvemmin laskeutuen. Kevyet öljytuotteet, kuten kevyt polttoöljy, petroli ja bensiini, ovat pohjavedelle haitallisimpia aineita. Raskaat öljytuotteet, kuten raskas polttoöljy, ovat ongelmallisimpia aineita vesistövahingoissa, koska ne eivät juuri imeydy maaperään ympäristön lämpötiloissa. Maaperään joutuessaan öljy-yhdisteet voivat haihtua kyllästymättömän maakerroksen kaasufaasiin, imeytyä ympäröivään maahan tai kulkeutua pohjaveden mukana joko siihen liuenneena tai liukenemattomana. Öljytuotteet koostuvat erilaisista hiilivedyistä, joten ne reagoivat maaperässä eri tavoin ja eri nopeuksilla. (Sillanpää 2007, 8; Ympäristöhallinto 2013c.)

Taulukossa 7 on esitetty tutkittavien PAH-yhdisteiden ympäristökäyttäytymiseen vaikuttavia ominaisuuksia. Ympäristössä PAH-yhdisteet tavallisesti kiinnittyvät muihin hiukkasiin. Vesistöissä ne laskeutuvat vesistöjen pohjalle sedimentteihin. Maaperässä ne ovat yleensä liikkumattomia ja ilmassa ne ovat sitoutuneina pienhiukkasiin. (Douben 2003, 3; U.S. Department of Health and Human Services 1995, 3.)

TAULUKKO 7. PAH-yhdisteiden ominaisuuksia (Mackay ym. 2006, 623–804; Reinikainen 2007, 42).

PAH-yhdiste	Molekyyli- paino (g/mol)	Kiehumis- piste (°C)	Höyry- paine (Pa)	Vesi- liukoisuus (mg/l)	Henryn lain vakio (Pa m ³ /mol)	Log K _{oc}	Log K _{ow}
Naftaleeni (C ₁₀ H ₈)	128,2	218	6,83	31,8	44,6	2,98	3,30
Fenantreeni (C ₁₄ H ₁₀)	178,2	340	0,0151	0,85	3,85	4,23	4,47
Bentso(a)pyreeni (C ₂₀ H ₁₂)	252,3	495	1,25*10 ⁻⁷	8,42*10 ⁻⁴	0,035	5,82	6,13

Öljyn sisältämistä yhdisteistä alkavat haihtua ne, joiden kiehumispiste on alle 250 °C, lisäksi haihtumisnopeuteen vaikuttaa yhdisteen höyrynpaine. Yhdisteen imeytymiseen

ja kulkeutumiseen maaperässä vaikuttavat jakaantumiskertoimet K_d ja/tai K_{oc} sekä vesiliukoisuus. Mitä suurempi jakaantumiskertoimen arvo (K_d ja/tai K_{oc}) on, sitä tiukemmin aine kiinnittyy maaperään. Vastaavasti alhainen jakaantumiskertoimen arvo (K_d ja/tai K_{oc}) ja suuri vesiliukoisuuden arvo viittaa aineen kulkeutumiseen veden mukana. (Riihimäki ym. 2005, 62–63; Sillanpää 2007, 8; U.S. Department of Health and Human Services 1995, 3.)

Yleensä PAH-yhdisteillä on korkeat kiehumispisteet ja matalat höyrynpaineet pois lukien aromaattiset naftaleeniin asti, jotka voivat haihtua ilmakehään pintavesistä ja -maista. Vesiliukoisempia PAH-yhdisteitä ovat ne, joilla on yksi tai kaksi bentseenirengasta. Puolestaan monirenkaiset PAH-yhdisteet ovat niukkaliukoisempia yhdisteitä (yhdisteen vesiliukoisuuden arvo laskee molekyyli­massan kasvaessa), jolloin ne kiinnittyvät tehokkaasti maaperään ja maaperässä oleviin hiukkasiin eivätkä kulkeudu pohjaveteen. (Douben 2003, 3; Sillanpää 2007, 8; U.S. Department of Health and Human Services 1995, 3.)

Naftaleeni on PAH-yhdisteistä herkemmin kulkeutuva ja biohajoavin aine. Naftaleeni voi haihtua, liueta veteen ja kulkeutua maaperässä, jolloin sitä voi päätyä hengitysilmaan tai maaperään joutuessaan pohjaveteen. Sen sijaan fenantreeni on niukkaliukoinen aine. Kuitenkin fenantreeni kulkeutuu raskaimpiin PAH-yhdisteisiin verrattuna paremmin maaperässä, ja siten sitä voi myös päätyä pohjaveteen. Lisäksi fenantreenin biologinen hajoavuus voi olla suhteellisen nopeaa. Puolestaan bentso(a)pyreeni sitoutuu maaperässä orgaaniseen ainekseen eikä siten merkittävästi haihdu tai kulkeudu pohjaveteen. Bentso(a)pyreenin biologinen hajoavuus maaperässä on hidasta. (Reinikainen 2007, 110–114.)

4 MAAPERÄN PILAANTUNEISUUDEN ARVIOINTI

4.1 Lainsäädäntö

Pilaantuneen alueen riskinarviointi ja riskinhallinta edellyttää lainsäädännön velvoitteiden täyttämistä, jotta voidaan luotettavasti tunnistaa, määritellä ja arvioida pilaantuneisuuden määrittelevät haitat ja riskit tapauskohtaisesti. Pilaantuneen alueen päätöksentekoa ja toimia ohjataan pääasiallisesti ympäristöä koskevalla lainsäädännöllä,

kuten ympäristönsuojelulain (527/2014) ja -asetuksen (713/2014) säännöksillä sekä valtioneuvoston asetuksella maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista (214/2007). Muita ohjaavia säännöksiä ovat ihmisen terveyttä, kemikaaleja, jätteitä sekä maankäyttöä ja rakentamista koskeva lainsäädäntö. Päätöksentekoa voidaan lisäksi ohjata suoraan tai välillisesti mm. erilaisilla strategisilla ja toimenpideohjelmilla, tarkentavilla ohjeilla, suunnittelua ja toteutusta tukevilla oppailla sekä poliittisilla tai taloudellisilla ohjauskeinoilla. (Ympäristöministeriö 2014, 19–37.)

Ympäristönsuojelulaki (527/2014) on keskeisin maaperän pilaamista ja pilaantuneiden alueiden kunnostusta ohjaavista säädöksistä. Laki sisältää määräyksiä ja velvoitteita maaperän, vesien ja ilman suojelusta, joten sitä sovelletaan toimintaan, josta aiheutuu tai voi aiheutua ympäristön pilaantumista. Lain tavoitteena on mm. ehkäistä ympäristön pilaantumista, poistaa ja torjua pilaantumisesta aiheutuvia vahinkoja, sekä turvata terveellinen, viihtyisä ja monimuotoinen ympäristö. (Ympäristönsuojelulaki 527/2014; Ympäristöministeriö 2014, 19.)

Ympäristönsuojelulaki (527/2014) kieltää maaperän ja pohjaveden pilaamisen (16. § ja 17. §), joka tarkoittaa riskinarvioinnissa ja -hallinnassa sellaisen maaperän ja pohjaveden laatutason määrittelyä, jonka ylittyessä voidaan perustellusti katsoa toiminnan aiheuttavan pilaantumista kohdealueella. Toiminnan ei välttämättä tarvitse aiheuttaa varsinaisia haittoja kohdealueella ollakseen pilaamiskiellon vastaista. Tällä tarkoitetaan toiminnan riittävän suurta mahdollisuutta aiheuttaa vaaraa eli merkittävää riskiä kohdealueella. Lisäksi ympäristönsuojelulaissa (527/2014) määrätään pilaantuneen maaperän ja pohjaveden puhdistamisvelvollisuudesta (133. §) sekä selvitysvelvollisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista (135. §). Kun on aihetta epäillä tai toiminnasta on aiheutunut maaperän tai pohjaveden pilaantumista, on selvitettävä kohdealueen pilaantuneisuus ja puhdistamistarve, joka edellyttää tapauskohtaista ympäristö- ja terveyshaittojen ja riskien selvittämistä. Pilaantunut maaperä ja pohjavesi (pilaantunut alue) on puhdistettava siihen tilaan, ettei siitä voi aiheutua vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle. (Ympäristönsuojelulaki 527/2014; Ympäristöministeriö 2014, 23–25.)

Valtioneuvoston asetuksessa ympäristönsuojelusta (713/2014) säädetään ilmoituksen sisällöstä, joka koskee ympäristönsuojelulain §:n 136 mukaista pilaantuneen maaperän ja pohjaveden puhdistamista. Ilmoituksesta tulee ilmetä kohdetietojen ja käytettä-

vän puhdistusmenetelmän selvityksen lisäksi riskinarviointiin perustuva arvio maaperän ja pohjaveden pilaantuneisuudesta ja puhdistustarpeesta, puhdistustavoitteista, puhdistamisen ympäristövaikutuksista ja siitä aiheutuvien ympäristöhaittojen ehkäisystä sekä puhdistamisen yhteydessä kaivetun maa-aineksen hyödyntämisestä. (Valtioneuvoston asetus 713/2014; Ympäristöministeriö 2014, 27.)

Yleiset vaatimukset pilaantuneen alueen riskinarvioinnille on säädetty valtioneuvoston asetuksessa maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista (214/2007) eli PIMA-asetuksessa. Asetusta voidaan soveltaa myös pohjavesille. Asetuksessa kuvataan riskinarvioinnissa huomioonotettavat tekijät sekä siinä keskitytään ympäristö- ja terveyshaittoihin sekä riskeihin, jotka aiheutuvat maaperän haitta-aineista. (Valtioneuvoston asetus 214/2007a; Ympäristöministeriö 2014, 28.)

PIMA-asetuksen mukaan maaperän pilaantuneisuus ja puhdistustarve on arvioitava asetuksessa säädettyjen haitallisten aineiden kynnys- ja ohjearvojen sekä taustapitoisuusarvojen perusteella. Maaperän ja pohjaveden pilaantuneisuus ja taustapitoisuudet tulee selvittää näytteenotoin, jotka edustavat hyvin tutkittavaa aluetta. (Valtioneuvoston asetus 214/2007a.) Taulukossa 8 on esitetty PAH-yhdisteille asetetut kynnys- ja ohjearvot.

TAULUKKO 8. PAH-yhdisteille asetetut kynnys- ja ohjearvot (Valtioneuvoston asetus 214/2007b).

Polyaromaattiset hiilivedyt	Kynnysarvo mg/kg	Alempi ohjearvo* mg/kg	Ylempi ohjearvo* mg/kg
Antraseeni	1	5 (e)	15 (e)
Bentso(a)antraseeni	1	5 (e)	15 (e)
Bentso(a)pyreeni	0,2	2 (t)	15 (e)
Bentso(k)fluoranteeni	1	5 (e)	15 (e)
Fenantreeni	1	5 (e)	15 (e)
Fluoranteeni	1	5 (e)	15 (e)
Naftaleeni	1	5 (e)	15 (e)
PAH ¹⁾	15	30 (e)	100 (e)

^{*)} Ohjearvot on määritelty joko ekologisen riskien (e) tai terveysriskien (t) perusteella

¹⁾ PAH-yhdisteiden summapitoisuus sisältäen seuraavat yhdisteet: antraseeni, asenaftteeni, asenaftyleeni, bentso(a)antraseeni, bentso(a)pyreeni, bentso(b)fluoranteeni, bentso(g,h,i)peryleeni, bentso(k)fluoranteeni, dibentso(a,h)antraseeni, fenantreeni, fluoranteeni, fluoreeni, indeno(1,2,3-c,d)pyreeni, kryseeni, naftaleeni ja pyreeni

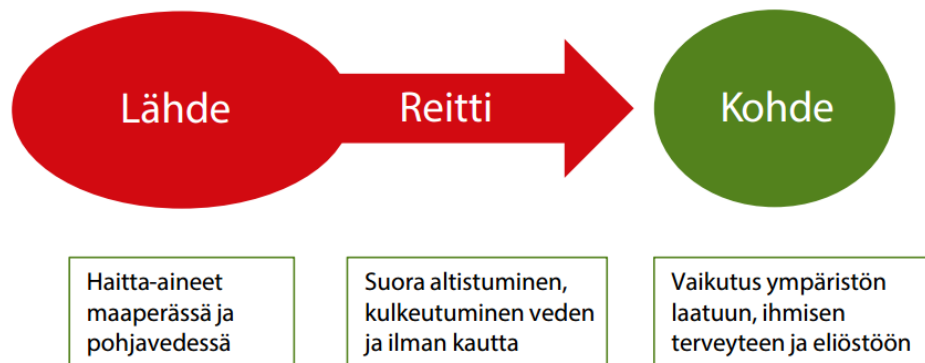
Haitta-aineen pitoisuuden ylittäessä kynnsarvon maaperän pilaantuneisuus ja puhdistustarve on arvioitava. Alueilla, joissa haitta-aineiden taustapitoisuus ylittää kynnsarvon, arviointikynnyksenä pidetään taustapitoisuutta. Alempia ja ylempiä ohjearvoja tulee käyttää arvioinnin tukena. Alemman ohjearvon ylittyessä riski ympäristölle tai terveydelle on arvioitava tapauskohtaisesti. Jos maata aiotaan käyttää muuhun kuin teollisuus-, varasto- tai liikennealueena taikka muuna vastaavana alueena, kuten asuinalueena tai leikkikenttänä, tällöin maaperää yleensä pidetään pilaantuneena, joka pitäisi puhdistaa ennen käyttöönottoa. Ylemmän ohjearvon ylittyessä aluetta, jota käytetään teollisuus-, varasto- tai liikennealueena taikka muuna vastaavana alueena, pidetään pilaantuneena. (Valtioneuvoston asetus 214/2007a.) Riskinarvioinnin ja -hallinnan kannalta on tärkeää ymmärtää kynns- ja ohjearvojen määrittämisperusteet ja soveltamisen rajoitteet, koska niiden perusteella ei voida suoraan arvioida haitta-aineiden ympäristön laatuun kohdistuvia riskejä, jotka aiheutuvat haitta-aineiden kulkemisen seurauksena. Esimerkiksi terveysriskeissä altistumisen suuruutta haitta-aineille arvioidaan enimmäissaantiarvojen perusteella. (Ympäristöministeriö 2014.)

Kemikaalilain (599/2013) tarkoituksena on suojella ihmisten terveyttä ja ympäristöä kemikaalien aiheuttamilta vaaroilta ja haitoilta. Lain mukaan toiminnassa, jossa käytetään kemikaaleja, tulee olla riittävästi selvillä mm. kemikaalien terveys- ja ympäristövaikutuksista, noudattaa riittävää huolellisuutta ja varovaisuutta kemikaalin määrä ja vaarallisuus huomioon ottaen terveys- ja ympäristöhaittojen ehkäisemiseksi sekä mahdollisuuksien mukaan tulee käyttää vähiten vaaraa aiheuttavia kemikaaleja. Lisäksi REACH-asetuksella (1907/2006/EY) on pantu täytäntöön kemikaalien rekisteröintiä, arviointia, lupamenettelyä ja rajoituksia koskevia säännöksiä. CLP-asetuksella (1272/2008/EY) on pantu täytäntöön aineiden ja seosten luokitukseen, merkintöihin ja pakkaamiseen liittyviä säännöksiä sekä POP-asetuksella (805/2004/EY) on säädetty mm. raja-arvopitoisuudet, joiden ylittyessä jätteet on käsiteltävä siten, että POP-yhdisteet tuhoetaan tai muunnetaan palautumattomasti. (Kemikaalilaki 599/2013; Ympäristöministeriö 2014, 34–35.)

4.2 Riskinarviointi

Riskinarvioinnissa tunnistetaan, määritetään ja arvioidaan niiden haittojen ja riskien merkitys, jotka aiheuttavat alueen pilaantuneisuutta. Riskinarvioinnin tuloksena määritetään onko haitat ja riskit hyväksyttäviä vai eivät. Haitta-aineet ovat pilaantuneella

maa-alueella päästö- ja altistuslähteitä, jotka aiheuttavat haittaa tai riskiä ympäristön laatuun, ihmisten terveyteen ja eliöstöön. (Ympäristöministeriö 2014, 37.)



KUVA 6. Haitan ja riskin muodostuminen pilaantuneella maa-alueella (Ympäristöministeriö 2014, 37).

Riskinarviointi tehdään aina tapauskohtaisesti kohteen tarkoituksen ja tavoitteiden mukaisesti. Arvioinnissa tulisi ottaa huomioon haitta-ainelähteet ja haitallisten vaikutusten kohteet sekä niiden välinen yhteys ja merkitys (kuva 6). (Ympäristöministeriö 2014, 38.) Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan esitettyä haitta-ainelähdettä ja sen reittiä maa-aineksessa. Tutkimuksessa käytettävillä PAH-yhdisteillä (naftaleeni, fenantreeni ja bentso(a)pyreeni) selvitetään niiden vapautumista maa-aineksesta vesifaasiin.

Riskinarviointi menettelytapana käsittää seuraavat vaiheet: arviointitarpeen tunnistamisen, haittojen ja riskien tunnistamisen, haittojen ja riskien määrittämisen sekä haittojen ja riskien kuvauksen. Arviointitarpeen tunnistamisessa tarkastellaan alueen pilaantuneisuutta ja puhdistustarvetta. Tunnistamisessa selvitetään alueen toimintahistoriaa sekä tutkitaan ja vertaillaan mitattuja haitta-ainepitoisuuksia alueelta PIMA-asetuksessa esitettyihin kynnysarvoihin sekä alueen taustapitoisuuksiin. Haittojen ja riskien tunnistamisessa kohdetietojen perusteella laaditaan käsitteellinen malli, jossa kuvataan kohteen haitta-aineet ja niiden lähteet, altistajat ja vaikutuskohteet sekä kulkeutumisreitit ja altistumistilanteet. Käsitteellisellä mallilla voidaan kohdentaa arviointia merkittävimpiin haitta-aineisiin, ympäristönsiin ja altistujiin. (Ympäristöministeriö 2014.)

Haittojen ja riskien tunnistamisen jälkeen määritetään haittojen ja riskien suuruus. Haitta aiheutuu haitta-aineesta, joka kulkeutuu ja jolle altistutaan. Riski on arvio haittan todennäköisyydestä ja vakavuudesta. Tällöin edustavalla näytteenotolla, vertai-

luarvojen avulla sekä tietämyksellä haitta-aineiden kulkeutumista ohjaavista prosesseista (fysikaaliset, kemialliset ja biologiset prosessit) voidaan määrittää riskien suuruus tutkittavassa kohteessa. (Ympäristöministeriö 2014.)

Haittojen ja riskien kuvauksessa, johon sisältyy epävarmuustarkastelu riskinarvioinnin luotettavuudesta, esitetään niiden luonne ja merkittävyys eli johtopäätökset riskien hyväksyttävyydestä. Jos riskit ovat hyväksyttäviä, alueella ei ole puhdistustarvetta. Jos taas riskit eivät ole hyväksyttäviä, asetetaan puhdistustavoitteet alueen puhdistamiseksi. (Ympäristöministeriö 2014.)

4.3 Haitta-aineiden kulkeutumisen arviointi maaperässä

Haitta-aineiden kulkeutumisen riskiä arvioitaessa tarvitaan tietoa siitä, miten haitta-aineet jakautuvat maaperässä maa-aineksen, huokosveden ja huokosilman välillä. Jakautumisen perusteella voidaan tehdä arvioita siitä, kuinka haitta-aineet kulkeutuvat niihin väliaineisiin, kuten sisäilmaan, ulkoilmaan, juomaveteen tai ravintokasveihin, joiden kautta altistuminen tapahtuu. Haitta-aineiden käyttäytymiseen ja leviämiseen maaperässä vaikuttavat haitta-aineiden ominaisuudet ja alueen ympäristöolosuhteet. Haitta-aineita siirtyy maaperässä erilaisissa fysikaalisissa, kemiallisissa ja biologisissa prosesseissa nesteiden, kaasujen ja kiinteän aineen välillä. (Kuusela-Lahtinen ym. 2010, 36–37.)

Arvioitaessa haitta-aineiden kulkeutumisen riskiä voidaan käyttää mm. kirjallisuustietojen sekä kohdetutkimuksien ja -havaintojen lisäksi matemaattisia laskentamalleja. Kohdekohtaisessa riskinarvioinnissa käytettävät matemaattiset laskentamallit voivat olla yksityiskohtaisia haitta-aineiden käyttäytymis- ja kulkeutumismalleja tai ns. monireittimalleja. Yksinkertaisimmat mallit perustuvat laimenemiskertoimiin, kun taas laajemmat monireittimallit ottavat huomioon monipuolisemmin kohteen ominaisuudet. Kulkeutumismallit eivät ota huomioon terveys- tai ekologisen riskin osuutta. (Kuusela-Lahtinen ym. 2010, 40–41.)

Useimmat riskinarviointilähestymistavat hyödyntävät kokonaisuuhaitta-ainepitoisuuksia pilaantuneella alueella. Kuitenkaan kokonaisuuhaitta-ainepitoisuudet eivät anna edustavaa arviota todellisesta riskistä ympäristölle. (Sormunen 2008.) Täsmällisempi tapa olisi käyttää arvioinnissa haitta-aineen fraktioiden pitoisuuksia, jotka ovat helposti kulkeutuvia eli

niitä, jotka desorptoituvat maa-aineksesta vapautuen nestefaasiin. Nämä vapautuneet liikkuvat fraktiot muodostavat mahdollisen riskin altistujille. (Barnier ym. 2014; Cachada ym. 2014; Sormunen 2008.) Erilaisilla liukoisuustesteillä voidaan arvioida maaperästä veteen liukenevaa haitta-aineen määrää lyhyen tai pitkän ajan kuluessa, jolla voidaan lisäksi arvioida haitta-aineiden pidättymistä maaperään (Ympäristöministeriö 2014, 72).

Useita menetelmiä on kehitetty mittaamaan näitä vapautuneita fraktiopitoisuuksia maa-aineksesta nestefaasiin. Näissä uuttomenetelmissä käytetään nestefaasina vettä tai liuottimia, kuten metanolia, n-butanolia, asetonia, n-heksaania, toluenia. Maa/vesi-seoksessa on käytetty referenssifaasina erilaisia polymeerejä, kuten polyasetalia (POM), polydimetyylisiloksaania (PDMS), LDPE:tä (low density polyethylene) tai Tenax-hartsia. Referenssifaasi kerää seoksesta nestefaasiin vapautuneet haitta-ainefraktiot, kun seosta sekoitetaan pidemmän aikaa. (Cachada ym. 2014; Sormunen, 2008.)

Maa-aineksesta desorptoituneiden haitta-ainefraktioiden kinetiikkaa usein kuvataan nopeilla prosesseilla, joita seuraavat tasaisemmat hitaammat prosessit. Matemaattisella laskentamallilla voidaan mallintaa näitä prosesseja. Laskentamallissa kuvataan maa-aineksesta desorptoituneen yhdisteen suhdetta alkutilanteeseen, missä prosessit on määritetty esimerkiksi kullekin vastaavalle nopeusvakioille: (Cachada ym. 2014; Cornelissen 1999.)

$$\frac{S_t}{S_0} = F_{rap}e^{-k_{rap}t} + F_{slow}e^{-k_{slow}t}, \quad (1)$$

missä S_0 ja S_t ovat haitta-ainepitoisuuksia (mg/kg) kokeen alussa ja ajan hetkellä t (h), F_{rap} ja F_{slow} (-) ovat nopeasti ja hitaasti desorboivia fraktioita, k_{rap} ja k_{slow} (1/h) ovat nopean ja hitaan desorptioprosessin nopeusvakioita olettaen, että $k_{slow} \ll k_{rap}$. Tässä opinnäytetyössä kuitenkin tutkitaan PAH-yhdisteiden käyttäytymistä kokeellisesti.

5 TUTKIMUSMENETELMÄ

Maanäytteet

Tutkimuksessa käytettävät maanäytteet olivat luonnontilaisia, jotka haettiin Etelä-Savon alueelta. Näytemaa 1, joka oli hiekkamaista maata, oli Joroisista ja näytemaa 2, joka oli savisempaa kivimäistä maata, oli Mikkelistä. Maanäytteille tehtiin seuraavat määritykset:

- kuiva-aine määritettiin standardin SFS-EN 1097-5 mukaan,
- orgaaninen aine määritettiin standardin SFS 3008 mukaan, sekä
- raekoko määritettiin standardin SFS-EN 933-1 mukaan, jossa käytettiin testi-menetelmänä pesua ja seulontaan.

Desorptiokoetta varten rinnakkaismaanäytteet kuivattiin 110 °C:ssa noin 24 tuntia. Näytemaan 2 näytteet vielä seulottiin 2 mm seulalla isompien kivien poistamiseksi ja PAH-yhdisteiden sekoittumisen parantamiseksi.

Desorptiokokeessa käytetyt kemikaalit

Tutkittavat PAH-yhdisteet:

- naftaleeni
- fenantreeni
- bentso(a)pyreeni

Deuteroidut aineet (sisäinen standardi):

- naftaleeni D8
- fenantreeni D10
- cryseeni D12

Referenssifaasi:

- Tenax-TA: raekoko 60/80

Liuottimet:

- asetoni
- n-heksaani
- petrolietteri
- tolueni-metanoli (10:1)

Maanäytteiden valmistelu

Maalajia kohden muodostettiin kolme rinnakkaisnäytettä ja kaksi nollanäytettä eli yhteensä kymmenen näytettä. Tutkimus aloitettiin punnitsemalla 8,0 g kuivattua maanäytettä koeputkiin. PAH-yhdistelle käytettiin laskennallisena pitoisuutena 20,0 mg/kg. Laskennallisen pitoisuuden ohjearvona käytettiin PIMA-asetuksessa (214/2007) PAH-yhdisteille asetettuja ylempiä ohjearvoja (15 mg/kg, taulukko 8). Näin ollen rinnakkaisnäytteeseen pipetoitiin kuiva-ainetta kohti kutakin tutkittavaa PAH-yhdistettä 16 µl (10 mg/ml) liuotettuna asetoniin ja sisäiseksi standardiksi PAH-yhdistettä vastaavaa deuteroitua ainetta 30 µl (10 µl/ml) liuotettuna asetoniin. Sisäistä standardia käytetään kaasukromatografisissa analyyseissä kompensoimaan näytteiden esikäsitelyssä tai injektoinnissa aiheutuneita virheitä, kuten näytehävikkiä (Riekkola ym. 2002, 34).

Nollanäytteisiin pipetoitiin vastaava määrä asetonia liuotinkontrollia varten (3 x 16 µl + 3 x 30 µl). Kaikkiin näytteisiin pipetoitiin 0,5 ml elohopeakloridia (2,5 mg/ml, HgCl₂) mikrobiologisen hajoamisen estämiseksi. Lisäksi koeputket suojattiin alumiinifoliolla valohajoamisen estämiseksi.

PAH-yhdisteiden sekoittamiseksi maa-ainekseen näytekoeputkia sekoitettiin sekoituslaitteessa 48 tuntia. Sekoituksen jälkeen koeputket siirrettiin kylmiöön stabiloitumaan viideksi vuorokaudeksi (5 d). Tällöin kontaktiaika PAH-yhdisteiden ja maa-aineksen välillä oli kokonaisuudessaan seitsemän vuorokautta (7 d).

Desorptiokoe

Taulukossa 9 on esitetty desorptiokokeen aikana otetut näytteet, joita otettiin 4 h, 24 h, 48 h, 96 h, 168 h ja 240 h kuluttua kokeen aloittamisesta. Ennen varsinaista desorptiokokeen aloittamista kontaminoiduista maanäytteistä otettiin 3,0 g maanäyte PAH-pitoisuuksien määrittämistä varten. Tämän jälkeen kontaminoituihin maanäytekoeputkiin lisättiin verkostovettä ja 0,3 g Tenax-hartsia (Tenax TA: raekoko 60/80). Tenax-hartsi toimii kokeessa adsorbenttina, jonka pinnalle maanäytteistä vapautuneet PAH-yhdisteet sitoutuvat. Veden ja Tenax-hartsin lisäämisen jälkeen desorptiokoe aloitettiin sekoittamalla koeputkia sekoituslaitteessa (10 r/min) kokonaisuudessa kymmenen vuorokauden (10 d) ajan.

TAULUKKO 9. Desorptiokokeen aikana otetut näytteet

Näyte	0 h	4 h	24 h	48 h	96 h	168 h	240 h
Rinnakkais- näytteet: Näytemaa 1 - H1 - H2 - H3 Näytemaa 2 - OM1 - OM2 - OM3	Maa- näyte 3,0 g	Tenax- näyte 0,3 g, Vesi- näyte 5,0 ml	Tenax- näyte 0,3 g	Tenax- näyte 0,3 g	Tenax- näyte 0,3 g, Vesi- näyte 5,0 ml	Tenax- näyte 0,3 g	Tenax- näyte 0,3 g, Vesi- näyte 5 ml, Maa- näyte 3,0 g
Nollanäytteet: Näytemaa 1 - H1L - H2L Näytemaa 2 - OM1L - OM2L	Maa- näyte 3,0 g	Tenax- näyte 0,3 g, Vesi- näyte 5,0 ml			Tenax- näyte 0,3 g, Vesi- näyte 5,0 ml		Tenax- näyte 0,3 g, Vesi- näyte 5,0 ml, Maa- näyte 3,0 g
Näytteitä yht. 96 kpl	10	10 + 10	6	6	10 + 10	6	10 + 10 + 10

Tenax-hartsia kerättiin koeputkesta tietyn ajan kuluttua kokeen aloittamisesta, jonka jälkeen koeputkiin lisättiin uusi Tenax-hartsia ja sekoitusta jatkettiin. Lisäksi näytteenottoaikoina 4 h, 96 h ja 240 h näytteistä otettiin 5,0 ml vesinäyte Tenax-hartsin toimivuuden varmistamiseksi adsorbenttina. Näytteenottoaikana 240 h Tenax-hartsin keräyksen ja vesinäytteen lisäksi näytteistä otettiin 3,0 g maanäyte (märkä paino) PAH-pitoisuuksien määrittämiseksi desorptiokokeen lopuksi.

Desorptiokokeen aikana otetut näytteet valmistettiin ennen analysoimista kaasukromatografiamenetelmällä (GC/MS). Maanäytteet uutettiin ravistelu-uuttomenetelmällä standardia SFS-ISO 18287 mukailten. Otetut maanäytteet (3,0 g) uutettiin ensin asetonilla (10 ml). Uuttoa tehostettiin ravistelemalla näytteitä 60 minuuttia ravistajassa (180 r/min). Ravistelun jälkeen näytteisiin lisättiin petrolietteriä (10 ml) ja ravistelua jatkettiin seuraavat 60 minuuttia. Toisen ravistelun jälkeen näytteiden annettiin laskeutua, minkä jälkeen uutettu liuos dekantoitiin puhtaisiin lasipulloihin. Jäljelle jääneisiin maanäytteisiin lisättiin petrolietteriä (10 ml) ja näytteitä ravisteltiin 60 mi-

nuuttia. Ravistelun jälkeen uutettu liuos dekantoiitiin aikaisemmin dekantoidun liuoksen joukkoon. Asetonin pois pesemiseksi uutetut liuokset siirrettiin erotussuppiloihin, joihin lisättiin tislattua vettä (30 ml). Näytteitä ravisteltiin noin yhden minuutin ajan erotussuppiloissa, jonka jälkeen näytteiden annettiin asettua vesi-asetoni-seoksen erottumiseksi. Erottunut vesi-asetoni-seos laskettiin pois erotussuppilosta, minkä jälkeen toistettiin peseminen. Näytteet siirrettiin puhtaisiin lasipulloihin, joihin lisättiin magnesiumsulfaattia sitomaan mahdollisesti jäljelle jäänyt vesi. Lasipulloista näyteliuokset dekantoiitiin haihdutuskolveihin. Lopuksi näyteliuokset haihdutettiin pyöröhaihduttajalla 5,0 ml tilavuuteen, josta pipetoitiin 1,6 ml näyte lasikyvetiin kaasukromatografille analysoitavaksi.

Vesinäytteet (5,0 ml) uutettiin kiinteäfaasiuutolla valmistajan (Sigma-Aldrich 2015) ohjeiden mukaisesti tolueeni-metanoli (10:1) -liuottimella. Kiinteäfaasiuutto eli SPE (Solid Phase Extraction) on yleinen näytteen puhdistus- ja konsentroitimenetelmä. Periaatteena kiinteäfaasiuutossa on saada tutkittavat yhdisteet sopivassa liuottimessa pidättymään kolonniin ja matriisiaineet (mm. epäpuhtaudet) eluoitumaan kolonnin läpi. Tämän jälkeen eri liuottimella tutkittava aine eluoidaan ulos kolonnista. (Jaarinen ym. 2008, 170–171.)

Tenax-näytteet uutettiin ensin asetonilla (5,0 ml). Uuttoa tehostettiin ravistelemalla näytteitä 20 minuuttia ravistajassa (180 r/min). Ravistelun jälkeen uutettu liuos dekantoiitiin puhtaisiin lasipulloihin. Jäljelle jääneisiin Tenax-näytteisiin lisättiin n-heksaania (5,0 ml) ja näytteitä ravisteltiin 20 minuuttia. Ravistelun jälkeen uutettu liuos dekantoiitiin aikaisemmin dekantoidun liuoksen joukkoon. Tenax-näytteet uutettiin vielä toistamiseen n-heksaanilla (5,0 ml, ravistelu 20 min ja dekantointi). Dekantoiituihin liuoksiin muodostui kaksi faasia, vesi- ja liuotinfasi. Vesifaasi dekantoiitiin pipetillä näytteestä, jonka jälkeen liuosfaasiin lisättiin lusikan kärjellinen magnesiumsulfaattia sitomaan mahdollisesti jäljelle jäänyt vesi. Lopuksi näyteliuokset haihdutettiin typpikaasulla 5,0 ml tilavuuteen, josta pipetoitiin 1,6 ml näyte lasikyvetiin kaasukromatografille analysoitavaksi.

Näytteet analysoitiin GC/MS-laitteistolla, jossa kaasukromatografi oli merkittävä Agilent Technologies 7890A GC System ja siihen liitetty massaselektiivinen detektori Agilent Technologies 5975 C VL MSD. Kantajakaasuna toimi helium ja kolonnina käytettiin kapillaarikolonnia (Zebon ZB-35HT Inferno). Näytteet ajettiin SIM- ajolla

(Selected Ion Monitoring), jossa jokaisesta yhdisteessä monitoroitiin vain ennalta määrättyjä ioneja. Analysoinnissa käytettiin lämpötilaohjelmaa: alkulämpötila 85 °C, jossa pidettiin 3 minuuttia, josta lämpötilaa nostettiin 7 °C/minuutissa 350 °C saakka, jossa pidettiin 5 minuuttia. PAH-yhdisteiden tunnistamiseksi ja kvantitoimiseksi valmistettiin standardiliuosarja (2,5, 5, 10, 15, 30, 60, 90 ja 120 µg/ml), joka sisälsi tutkittavia PAH-yhdisteitä. PAH-yhdisteet tunnistettiin retentioaikojen ja massaspektrien perusteella.

6 TULOKSET

6.1 Maanäytteiden määrittelytulokset

Maanäytteille tehtyjen määrittelytulokset on esitetty liitteissä 1 ja 2. Näyttemaalle 1 saatiin keskiarvoltaan (ka) kuiva-aineprosentiksi 96,0 % keskihajonnan (s) ollessa 0,10 %. Vastaavasti näyttemaalle 2 kuiva-aineprosentiksi saatiin 71,3 % (s 1,72 %). Näyttemaassa 1 orgaanista ainesta on keskiarvoltaan (ka) 1,2 % keskihajonnan (s) ollessa 0,07 %. Vastaavasti näyttemaassa 2 orgaanista ainesta on 7,3 % (s 1,04 %). Taulukossa 10 on esitetty raekoon määrittelytulokset näyttemaissa 1 ja 2.

TAULUKKO 10. Raekoon määrittelytulokset, näyttemaat 1 ja 2

Näyttemaa 1			Näyttemaa 2		
Raekoon määrittely			Raekoon määrittely		
Seula, mm	Keskiarvo, ka %	Keskihajonta, s %	Seula, mm	Keskiarvo, ka %	Keskihajonta, s %
< 0,063 (hienoaines)	1,4	0,17	< 0,063 (hienoaines)	30,0	1,26
0,063–0,074	0,2	0,04	0,063–0,074	4,4	0,27
> 0,074	1,5	0,06	> 0,074	30,7	1,28
> 0,125	17,4	0,36	> 0,125	15,7	1,01
> 0,25	39,5	0,35	> 0,25	5,7	0,28
> 0,5	30,6	0,55	> 0,5	4,0	0,22
> 1	8,3	0,72	> 1	2,4	0,06
> 2	1,1	0,32	> 2	7,3	4,00

6.2 Desorptiokokeen tulokset

Maa-, vesi- ja Tenax-näytteiden analyysitulokset on esitetty liitteissä 3–5. Kyseisissä liitteissä on myös esitetty analyysituloksien vastearvoja vastaavat pitoisuudet ja määrät, jotka on laskettu jokaisen PAH-yhdisteen standardiliuossarjan standardisuoran yhtälön (liitteet 6–8) mukaisesti. Tämän lisäksi pitoisuudet ja määrät on muutettu yksiköstä $\mu\text{g/l}$ tai μg yksikköön mg/g tai mg . Desorptiokokeen laskentatulokset näytemaan 1 ja näytemaan 2 näytteille on esitetty liitteissä 9–10 sekä nollanäytteiden laskentatulokset näytemaan 1 ja näytemaan 2 näytteille on esitetty liitteissä 11–12.

Desorptiokokeessa seurattiin PAH-yhdisteiden käyttäytymistä koeputkissa. Laskentatuloksissa desorptiokokeen alussa (t_0) kaikki tutkittavat PAH-yhdisteet ovat maanäytteessä (100 %); näytteiden analyysitulokset (R_{maa,t_0}) kerrottiin vastaamaan koko koeputkessa olevaa maanäytemäärää eli näytemäärää 8,0 grammassa seuraavan kaavan mukaisesti:

$$m_{\text{maassa},t_0} = m_{\text{maa}} \cdot R_{\text{maa},t_0}, \quad (2)$$

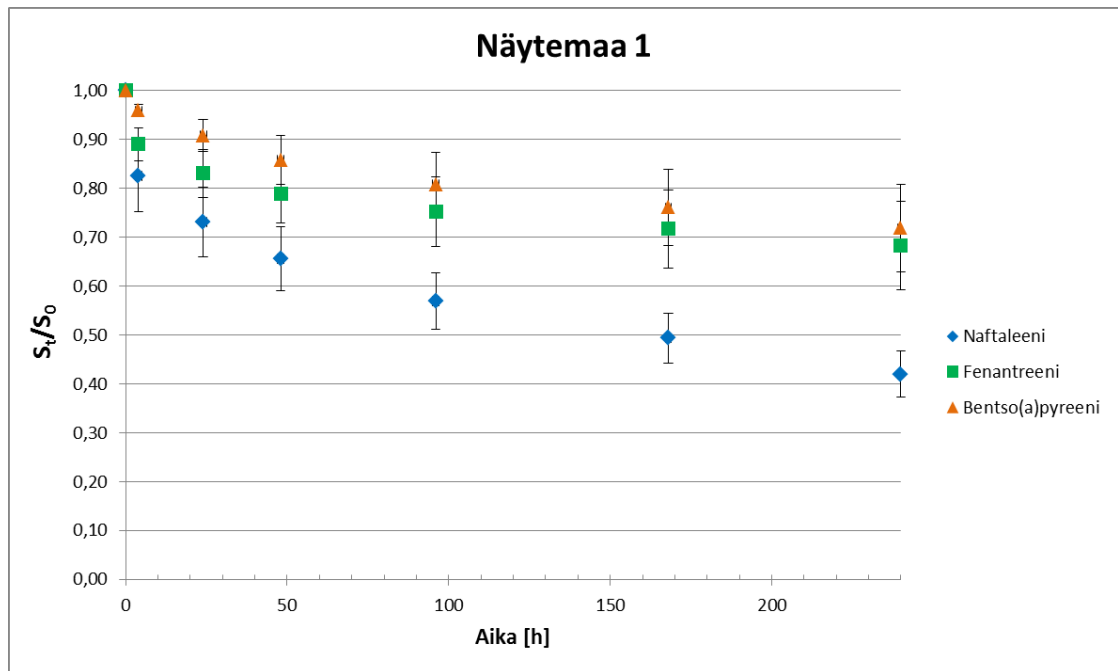
missä m_{maassa,t_0} on PAH-yhdisteen määrä (mg) maanäytteessä desorptiokokeen alussa, m_{maa} on desorptiokokeessa käytettävän maanäytteen näytemäärä (g) ja R_{maa,t_0} on PAH-yhdisteen maanäytteen alkupitoisuuden analyysitulokset (mg/g).

Kokeen edetessä Tenax-hartsin poimi maasta irronneet PAH-yhdisteet, mikä kuvastaa määrää, joka on vapautunut maasta nestefaasiin. Maassa olevasta PAH-yhdisteen määrästä vähennettiin Tenax-hartsin poimima ainemäärä eri ajanhetkillä (4 h, 24 h, 48 h, 96 h, 168 h, 240 h). Lopputuloksena saatiin Tenax-hartsin poimima määrä suhteutettuna alkutilanteeseen maassa eri ajankohtina kaavan 3 mukaisesti, eli kuinka paljon PAH-yhdisteitä on vapautunut maasta:

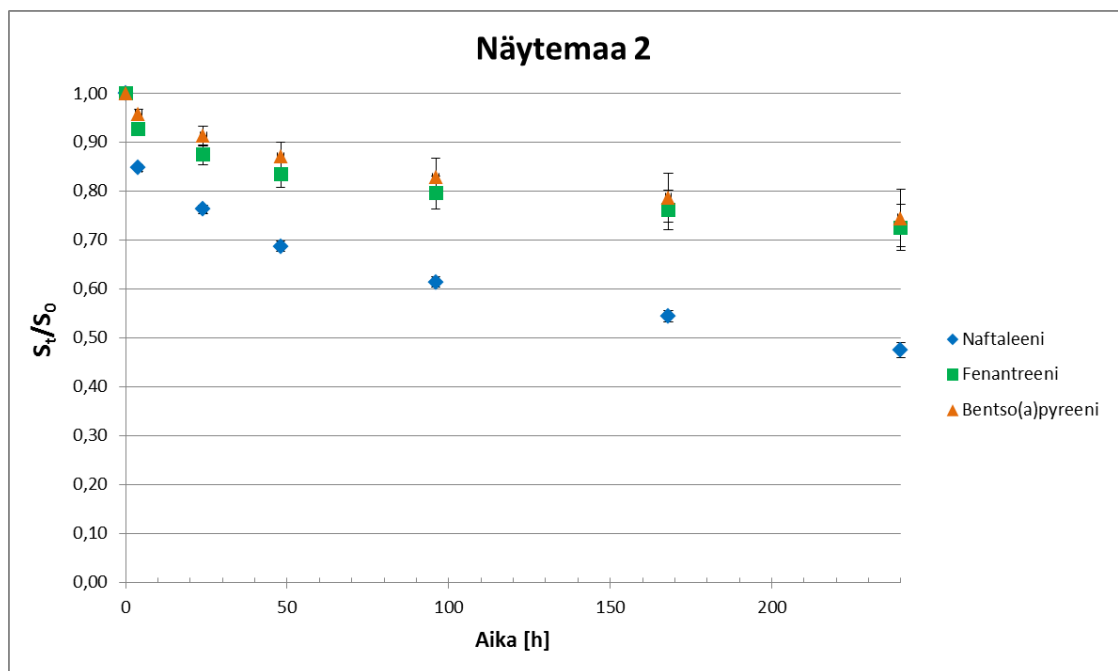
$$\frac{S_{t_m}}{S_0} = \frac{m_{\text{maassa},t_n} - R_{\text{Tenax},t_m}}{m_{\text{maassa},t_0}}, \quad (3)$$

missä S_{t_m}/S_0 on maasta vapautuneiden PAH-yhdisteiden suhde alkutilanteeseen ajan hetkellä t (h), m_{maassa,t_n} on PAH-yhdisteen määrä (mg) maassa ajan hetkellä t (h), R_{Tenax,t_m} on Tenax-hartsin poimima PAH-yhdisteiden määrä (mg) ajan hetkellä t (h) ja m_{maassa,t_0} on PAH-yhdisteen määrä (mg) maassa desorptiokokeen alussa sekä $n = 0, 4, \dots, 168$ (h) ja $m = 4, 24, \dots, 240$ (h).

Kuvissa 7 ja 8 on esitetty kunkin PAH-yhdisteen desorptiokäyrä näytteiden keskiarvona tiettyinä mittausajankohtana. Kuvaajat osoittavat, kuinka paljon Tenax-hartsia on poiminut PAH-yhdisteitä suhteessa alkutilanteeseen eri maalajeissa eri ajankohtina. Lisäksi kuvaajiin on laskettu kunkin PAH-yhdisteen keskihajonta tiettyinä mittausajankohtana.



KUVA 7. PAH-yhdisteiden käyttäytyminen näytemaassa 1



KUVA 8. PAH-yhdisteiden käyttäytyminen näytemaassa 2

PAH-yhdistelle käytettiin laskennallisena pitoisuutena 20,0 mg/kg. Taulukossa 11 on esitetty kunkin PAH-yhdisteen pitoisuudet maanäytteissä alku- ja lopputilanteessa keskiarvoiltaan (ka) ja keskihajonnoiltaan (s). Lisäksi taulukossa 11 on esitetty näytteille lasketut saantoprosentit desorptiokokeen jälkeen.

TAULUKKO 11. PAH-yhdisteiden pitoisuudet maanäytteissä alku- ja lopputilanteessa sekä saantoprosentit desorptiokokeen jälkeen

Näytemaa 1								
Maa, alku mg/kg, ka (s)			Maa, loppu mg/kg, ka (s)			Saantoprosentti %, ka (s)		
NAF	FEN	B(a)P	NAF	FEN	B(a)P	NAF	FEN	B(a)P
7,4 (0,46)	20,0 (6,81)	20,1 (7,98)	6,7 (0,01)	8,7 (0,11)	9,9 (0,28)	193,2 (3,50)	100,4 (28,30)	107,1 (34,07)
Näytemaa 2								
Maa, alku mg/kg, ka (s)			Maa, loppu mg/kg, ka (s)			Saantoprosentti %, ka (s)		
NAF	FEN	B(a)P	NAF	FEN	B(a)P	NAF	FEN	B(a)P
7,3 (0,25)	17,6 (2,83)	17,5 (4,04)	9,0 (0,01)	11,6 (0,16)	13,1 (0,65)	221,2 (6,65)	118,6 (20,33)	130,7 (31,61)

Saantoprosentin avulla selvitetään PAH-yhdisteiden ainemäärän kulkeutuvuutta desorptiokokeen aikana suhteuttamalla PAH-yhdisteiden ainemäärät lopussa (maassa, vedessä ja Tenax-hartsissa) ainemäärään alussa (maassa) kaavan 4 mukaisesti:

$$Saantoprosentti = \frac{m_{maassa,t_{240}} + m_{vedessä,t_{240}} + m_{Tenax,t_{240}}}{m_{maassa,t_0}}, \quad (4)$$

missä $m_{maassa,t_{240}}$ on PAH-yhdisteen määrä (mg) maassa desorptiokokeen jälkeen, $m_{vedessä,t_{240}}$ on PAH-yhdisteen määrä (mg) vedessä desorptiokokeen jälkeen, $m_{Tenax,t_{240}}$ on Tenax-hartsin poimima PAH-yhdisteiden kokonaismäärä (mg) desorptiokokeen jälkeen ja m_{maassa,t_0} on PAH-yhdisteen määrä (mg) maassa desorptiokokeen alussa.

Liutotinkontrollia varten tehtiin nollanäytteisiin ei lisätty tutkittavia PAH-yhdisteitä, vaan niihin pelkästään pipetoitiin vastaava määrä asetonia menetelmän tarkistusta varten. Nollanäytteiden tulokset on esitetty taulukossa 12.

TAULUKKO 12. Nollanäytteiden tulokset

Nollanäyte, näytemaa 1								
Maa, alku mg/kg, ka (s)			Maa, loppu mg/kg, ka (s)			Saantoprosentti %, ka (s)		
NAF	FEN	B(a)P	NAF	FEN	B(a)P	NAF	FEN	B(a)P
6,4 (0,00)	7,9 (0,01)	8,8 (0,00)	6,7 (0,00)	8,4 (0,15)	9,2 (0,08)	180,4 (0,30)	180,4 (1,69)	179,7 (0,79)
Nollanäyte, näytemaa 2								
Maa, alku mg/kg, ka (s)			Maa, loppu mg/kg, ka (s)			Saantoprosentti %, ka (s)		
NAF	FEN	B(a)P	NAF	FEN	B(a)P	NAF	FEN	B(a)P
6,4 (0,00)	7,9 (0,00)	8,8 (0,00)	9,0 (0,00)	11,1 (0,00)	12,4 (0,00)	216,1 (0,09)	215,3 (0,10)	215,3 (0,00)

7 TULOSTEN TARKASTELU (POHDINTA)

Tutkimuksen perusteella PAH-yhdisteiden sitoutuminen näytemaahan 2 on tiukempaa kuin näytemaahan 1 (kuvat 7 ja 8). Tutkittavista PAH-yhdisteistä bentso(a)pyreeniä oli vapautunut vähiten ja naftaleenia eniten. Barnier ym. (2014) on tutkinut PAH-yhdisteiden desorptiota vanhoista teollisuusmaista. Verrattaessa saatuja tuloksia Barnierin ym. (2014) tekemään tutkimukseen huomataan, että tulokset ovat samansuuntaisia eli teollisuusmaista on vapautunut eniten naftaleenia, sitten fenantreeniä ja vähiten bentso(a)pyreeniä. Barnierin ym. (2014) desorptiokäyrien tulokset poikkeavat kuitenkin saaduista tuloksista noin 240 tunnin kohdalla. Barnierin ym. (2014) tuloksien mukaan naftaleenia on vapautunut < 15 %, fenantreeniä < 12 % ja bentso(a)pyreeniä < 5 %. Tuloksien eroavaisuuteen todennäköisesti vaikuttavat maanäytteiden erilaisuus ja PAH-yhdisteiden kontaktaika. Barnierin ym. (2014) tutkimuksessa oli käytetty maanäytteitä, jotka olivat kontaminoituneet PAH-yhdisteillä vuosikymmenten kuluessa (noin 60–80 vuotta) teollisuuden toiminnan seurauksena mahdollistaen alussa vapautuvien fraktioiden luonnollisen hajoamisen. Opinnäytetyön tutkimuksessa käytetyt maanäytteet olivat luonnontilaisia ja kontaktaika oli vain seitsemän vuorokautta.

Tarkastellessa saatuja tuloksia havaitaan, että PAH-yhdisteiden käyttäytymiseen ovat vaikuttaneet yhdisteiden ominaisuudet. PAH-yhdisteiden vapautumiseen maa-aineksesta vaikuttavat yhdisteiden aromaattisten renkaiden määrä ja rasvaliukoisuus (n-oktanoli/vesi-jakautumiskerroin, K_{ow} tai P_{ow}). Aromaattisten renkaiden määrän kasvu vähentää yhdisteiden vapautumista maa-aineksesta (Barnier ym. 2014). PAH-

yhdiste on rasvaliukoinen ja helposti orgaaniseen aineeseen kiinnittyvä, kun n-oktanolivesi-jakautumiskertoimen, joka kasvaa moolimassan kasvaessa, arvo on suuri. Tällöin liukoisimpia PAH-yhdisteitä ovat ne, joilla on yksi tai kaksi bentseenirengasta. Vastaavasti monirenkaiset PAH-yhdisteet adsorboituvat tehokkaasti maaperään. (Sillanpää 2007, 8.) Tutkittavista PAH-yhdisteistä naftaleenilla on vähiten aromaattisia renkaita (2 kpl) ja sen Log K_{ow} -arvo (3,30, taulukko 7) on pienin, joten on perusteltua, että naftaleenia on vapautunut näytelmästä eniten. Vastaavasti bentso(a)pyreenillä on eniten aromaattisia renkaita (5 kpl) ja sen Log K_{ow} -arvo (6,13, taulukko 7) on suurin, joten sitä on vapautunut näytelmästä vähiten.

Vesiliukoisuus kuvaa aineen jakautuvuutta ja kulkeutuvuutta ympäristössä veden välityksellä (Riihimäki ym. 2005, 62). Taulukossa 7 on esitetty tutkittavien PAH-yhdisteiden ominaisuuksia, ja verrattaessa niiden vesiliukoisuuden arvoja taulukossa 3 esitettyihin vesiliukoisuuden luokittelukriteereihin havaitaan, että naftaleeni on veteen liukeneva ($10 < 31,8 < 1000$ mg/l), kun taas fenantreeni on niukkaliukoinen ($0,1 < 0,85 < 10$ mg/l) ja bentso(a)pyreeni on hyvin niukkaliukoinen ($8,42 \cdot 10^{-4} < 0,1$ mg/l).

Toisaalta PAH-yhdisteiden kiinnittymistä ja kulkeutuvuutta maa-aineksessa voidaan tarkastella adsorptiokertoimien (K_d ja/tai K_{oc}) avulla (Riihimäki ym. 2005, 62–63). Taulukossa 7 on esitetty tutkittavien PAH-yhdisteiden logaritmistien K_{oc} -jakaantumiskertoimien (Log K_{oc}) arvot veden ja orgaanisen hiilen välillä. Verrattaessa arvoja taulukossa 4 esitettyihin kulkeutuvuuteen liittyviin luokittelukriteereihin havaitaan, että naftaleeni on hieman kulkeutuva ($2,70 < 2,98 < 3,30$), kun taas fenantreeni ja bentso(a)pyreeni ovat kulkeutumattomia ($4,23$ ja $5,82 > 3,70$). Tuloksia arvioitaessa voidaan päätellä, että naftaleeni on hakeutunut maa-aineksesta veteen suuren vesiliukoisuutensa ansiosta, ja siten sitä on vapautunut maa-aineksestä eniten. Fenantreeni ja bentso(a)pyreeni ovat sitoutuneet maa-ainekseen tiukemmin kuin naftaleeni, ja siten niitä on vapautunut maa-aineksestä desorptiokokeen aikana vähemmän. Fenantreenin suurempi vapautuneisuus bentso(a)pyreenin verrattuna mahdollisesti johtuu fenantreenin suuremmasta vesiliukoisuusarvosta sekä pienemmästä jakaantumiskertoimen arvosta.

Lisäksi on mahdollista, että desorptiokokeen aikana on tapahtunut PAH-yhdisteiden haihtuvuutta, erityisesti naftaleenin osalta. Sillanpään (2007, 8) mukaan maahan joutuneista öljyn sisältämistä yhdisteistä alkavat haihtua ne, joiden kiehumispiste on alle

250 °C. Naftaleenin kiehumispiste on 218 °C (taulukko 7). Aineen haihtuvuuteen vedestä vaikuttavat höyrynpaineen lisäksi aineen vesiliukoisuus. Aine ei välttämättä haihdu vedestä, jos aine on hyvin vesiliukoinen, vaikka sillä olisikin korkea höyrynpaine. Aineen haihtuvuutta vedestä voidaan arvioida myös Henryn lain vakion avulla. (Riihimäki ym. 2005, 62.) Naftaleeni on höyrynpaineeltaan haihtuvaa ($1 < 6,83 < 100$ Pa, taulukot 1 ja 7) ja vesiliukoisuudeltaan liukenevaa ($10 < 31,8 < 1000$ mg/l, taulukot 3 ja 7). Arvioitaessa naftaleenia Henryn lain vakion avulla todetaan, että naftaleeni on helposti haihtuvaa ($1 < 44,6 < 100$ Pa m³/mol, taulukot 2 ja 7). Täten on mahdollista, että naftaleenia on haihtunut koeputkista näytteiden oton yhteydessä. Vastaavasti fenantreeni ja bentso(a)pyreeni ovat heikommin haihtuvia aineita.

Orgaanisen aineksen määrä maa-aineksessa tunnetaan pääasiallisena kantoaineena ja sorbenttina eli sitovana aineena hydrofobisille haitta-aineille, kuten PAH-yhdisteille, ja siten orgaaninen aines voi hillitä haitta-aineiden vapautumista (Barnierin ym. 2014). Maanäytteille tehnyt orgaanisen aineen määritykset osoittavat, että näyttemaassa 2 on orgaanista ainesta 7,3 %, kun näyttemaassa 1 sitä on vain 1,2 %. Tämä todennäköisesti selittää, miksi tutkittavien PAH-yhdisteiden sitoutuminen näyttemaahan 2 on tiukempaa kuin näyttemaahan 1.

Lisäksi haitta-aineiden vapautuminen maaperästä on riippuvaista saastumisen alueellisesta jakautumisesta, johon vaikuttavat maaperän huokoisuus ja/tai maaperässä olevien molekyyliyhmittymien jakautuminen. Pernot ym. (2013) on tutkimuksessaan osoittanut, että PAH-yhdisteet vapautuvat helpommin huokoisesta maa-aineksesta, jossa on runsaasti suurempia molekyyliyhmittymiä (karkeaa ja hiekkamaista ainesta), kuin maa-aineksesta, jossa on hienompia jakeita, kuten hienoa silttiä tai savea. PAH-yhdisteet reagoivat helpommin hienompien jakeiden kanssa pidättyen maa-ainekseen. (Barnier ym. 2014; Pernot ym. 2013.) Maanäytteille tehdyt raekoon määritykset osoittavat, että näyttemaassa 2 on enemmän hienompaa ainesta kuin näyttemaassa 1, joten tämä osaltaan myös selittää PAH-yhdisteiden sitoutuvuutta näyttemaahan 2.

Laskennallisena pitoisuutena PAH-yhdistelle käytettiin 20,0 mg/kg. Taulukossa 11 esitetyt analyysitulokset kuitenkin osoittavat, että alkutilanteessa naftaleenia on molemmilla näyttemaissa vain vähän yli 7 mg/kg keskihajonnan ollessa varsin pientä. Fenantreeniä ja bentso(a)pyreeniä on näyttemaassa 1 lähes 20 mg/kg, mutta keskihajonta on suurta. Näyttemaassa 2 fenantreeniä ja bentso(a)pyreeniä on vähemmän, noin

17,5 mg/kg, verrattuna näytemaahan 1, mutta keskihajonta on pienempää. Lopputilanteessa PAH-yhdisteiden pitoisuudet ovat pienempiä kuin alkutilanteessa paitsi näytemaassa 2 naftaleenia oli enemmän (9,0 > 7,3 mg/kg, taulukko 11). Kuitenkin on huomioitava, että desorptiokokeen jälkeen otetut maanäytteet olivat ns. märkänäytteitä, joten loppupitoisuus maassa on laskettu kuiva-ainetta kohti, jolloin yhdisteiden pitoisuus on suurempi kuin märkäpainoa kohden.

Taulukossa 11 esitetyt saantoprosentit osoittavat, että näytemaassa 1 saantoprosentit ovat yleisesti ottaen pienempiä kuin saantoprosentit näytemaassa 2. Naftaleenin saannot ovat näytemaassa 1 alle 200 % ja näytemaassa 2 yli 200 %. Fenantreenin ja bentso(a)pyreenin saannot ovat lähempänä 100 %, mutta kuitenkin tätä suurempia. Korkeat saantoprosentit voivat johtua siitä, että tutkimusmenetelmää testattiin ensimmäistä kertaa, analytiikasta tai näytteiden valmistelusta kaasukromatografista analyysia varten. Lisäksi on huomioitava, että maanäytteiden loppupitoisuudet osaltaan nostavat näytteiden saantoprosentteja.

Liutinkontrollia varten tehdyt nollanäytteet, joihin ei lisätty tutkittavia PAH-yhdisteitä, tehtiin menetelmän tarkistusta varten. Taulukossa 12 esitettyjen analyysituloksien mukaan maanäytteissä esiintyy alkutilanteessa PAH-yhdisteitä 6,4–8,8 mg/kg ja lopputilanteessa 6,7–12,4 mg/kg riippuen PAH-yhdisteestä. Tarkastellessa näytteiden keskihajontoja havaitaan, että ne ovat pieniä, joten asetoni ei ole vaikuttanut tutkimusnäytteiden tuloksiin PAH-yhdisteiden liuottimena. Nollanäytteissä havaitut PAH-yhdisteet ovat todennäköisesti maanäytteissä luontaisesti esiintyviä pitoisuuksia ts. taustapitoisuuksia. Vastaavasti nollanäytteiden tuloksiin vaikuttavat samat tekijät kuin rinnakkaisnäytteisiin, joihin lisättiin PAH-yhdisteitä. Nollanäytteiden loppupitoisuudet nostavat näytteiden saantoprosentteja, jotka näytemaassa 1 ovat noin 180 % ja näytemaassa 2 noin 215 %.

Analysoitavissa vesinäytteissä havaittiin jonkin verran PAH-yhdisteitä. Kuitenkin määrällisesti vesinäytteiden tulokset olivat samaa suuruusluokkaa koko desorptiokokeen ajan. Vesinäytteiden tuloksien perusteella voidaan päätellä, että kokeessa käytetty Tenax-hartsin toimi kohtuullisen hyvin irronneiden PAH-yhdisteiden poimijana.

Näytteisiin lisättiin sisäiseksi standardiksi deuteroituja aineita, joiden avulla voitaisiin kompensoida analyysissä aiheutuneita virheitä, kuten näytehävikkiä. Analysoitavissa

näytteissä deuteroitujen aineiden pitoisuudet olivat kuitenkin liian pieniä. Näin ollen näytechävikkiä ei pystytä tässä työssä arvioimaan.

Laskettujen arvojen suuruuteen vaikuttaa myös standardisuorien hyvyys. Standardisuorien korrelaatiokertoimet ($R^2 = 0,9944$ naftaleeni, $R^2 = 0,9959$ fenantreeni, $R^2 = 0,9929$ bentso(a)pyreeni) osoittavat, että muuttujien välillä on voimakasta lineaarista riippuvuutta. Kuitenkin saadut standardisuorat poikkeavat hieman pisteestä (0,0), joka vaikuttaa enemmän vastearvoilla < 1000 saatuihin tuloksiin riippuen standardisuoran yhtälöstä.

Etukäteissuunnittelulla pyrittiin vähentämään desorptiokokeessa tapahtuvia virheitä, koska laboratoriokokeet vaativat huolellisuutta ja tarkkaavaisuutta. Muita analyysituloksiin vaikuttavia tekijöitä ovat menetelmässä käytettyjen liuoksien valmistuksen tarkkuus, näytemäärien ja lisättävien liuoksien näytemäärien tarkkuus (punnitseminen ja pipetointi) sekä käytettyjen koeputkien ja astioiden puhtaus. Lisäksi näytteiden valmistelu kaasukromatografista analyysia varten vaikuttaa analyysituloksiin. Tuloksiin vaikuttavat käytettyjen astioiden ja uuttolaitteiston puhtaus, näytteiden käsittely ennen ajoa, kuten haihduttaminen ja suodattaminen. Kromatografiseen erottumiseen vaikuttavat näytteen sisältämien yhdisteiden ominaisuudet, kiehumispiste, molekyyli- koko, funktionaaliset ryhmät (molekyylin sisältämä atomi, atomiryhmä tai sidos, joka antaa sille tyypilliset kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet), yhdisteiden vuorovai- kutus stationäärifaasin kanssa, näytemäärä ja sen väkevyys, kolonnin materiaali sekä käytetty lämpötilaohjelma.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Saadut tulokset osoittavat, että PAH-yhdisteiden ominaisuuksilla ja maaperän koos- tumuksella on merkitystä PAH-yhdisteiden käyttäytymiseen maaperässä. Tutkimuk- sen perusteella voidaan tehdä alustavia arvioita niiden kulkeutuvuudesta maaperässä. Kuitenkin on huomioitava, että haitta-aineilla pilaantuneet maa-alueet ovat tyypillises- ti yksittäistapauksia. Näin ollen riskinarvioinnissa tulee ottaa huomioon kohteen tar- koitus ja tavoitteet haitta-ainelähteiden ja haitallisten vaikutusten kohteiden sekä nii- den välisen yhteyden ja merkityksen selvittämiseksi.

Tämäntyyppistä tutkimusta ja sen tuloksia voidaan hyödyntää riskinarvioinnissa akuuteissa ja pitkäaikaisissa pilaantumistapahtumissa. Riskinarviointimenetelmänä sillä voidaan paremmin ennustaa riskejä, jotka perustuvat nopeiden fraktioiden vapautumiseen maa-aineksesta (Barnier ym. 2014). Tässä tutkimuksessa havaittiin, että tutkittavista PAH-yhdisteistä naftaleeni oli kulkeutuvuin. Fenantreeni ja bentso(a)pyreeni vastaavasti kiinnittyivät enemmän maa-ainekseen. Maa-aineksesta nestefaasiin nopeasti vapautuva fraktio muodostaa riskin altistujille kulkeutumalla eri ympäristön osiin, kuten pohja- ja pintavesiin sekä huokosveden kautta kasveihin. Öljyonnettomuustilanteissa tätä tietoa voidaan hyödyntää kohdentamalla torjuntatoimet kulkeutuviin haitta-aineisiin, joiden kulkeutumismoisuus riippuu maaperän laadusta.

On mahdollista, että nämä nopeasti vapautuvat fraktiot ovat myös helposti biohajoavia. Maa-aineksessa olevien yhdisteiden nopeasti vapautuvat fraktiot hajoavat maa-aineksesta ikääntymisen seurauksena (Pernot ym. 2013). Biologisessa hajoamisessa maaperän mikrobit voivat hajottaa aineiden eri ainesosia käyttäen niitä energianlähteenään. Aromaattisten yhdisteiden hajoamisnopeuteen vaikuttavat aromaattisten renkaiden lukumäärä, pitoisuus ja ympäristön fysikaalis-kemialliset olosuhteet. Biologinen hajoaminen on nopeinta kaksi- ja kolmirenkaisilla yhdisteillä. Neljä- ja viisirenkaisilla yhdisteillä biologinen hajoaminen on mahdollista edellyttäen, että olosuhteet hajoamiselle ovat suotuisat. Kuitenkin neljä- ja viisirenkaisilla yhdisteillä puoliintumisajat ovat pitkiä, mahdollisesti useita vuosia. (Sillanpää 2007, 10.) Barnierin ym. (2014) tutkimus osoitti viitteitä siitä, että tutkittavista maanäytteistä nopeasti vapautuvat fraktiot olivat jo hajonneet luonnollisen hajoamisen seurauksena, koska desorptiokäyrien tulokset olivat verrattain pieniä.

Maan pesu on *ex situ* -kunnostusmenetelmä, jossa pilaantunut maa siirretään muualle käsiteltäväksi. Maan pesussa maa-ainekseen sitoutuneet haitta-ainepartikkelit voidaan erottaa maa-aineksesta veden avulla, jonka pesutehokkuutta voidaan parantaa pintaaktiivisten aineiden avulla. (Penttinen 2001, 26.) Maan pesussa Tenax-hartsia ei voitaisi käyttää pesutehokkuutta parantavana aineena sen kalleuden vuoksi (Zhao ym. 2004). Muiden halvempien adsorbenttien käyttö vaatisi selvitys- ja tutkimustyötä. Puhdistettaessa pilaantunutta maata veden avulla nopeasti vapautuvat fraktiot irtoaisivat maasta pesuveteen, jolloin opinnäytetyön tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää myös kunnostusmenetelmien puhdistustuloksien arvioinnissa.

LÄHTEET

Alén, Raimo 2009. Kokoelma orgaanisia yhdisteitä – ominaisuudet ja käyttökohteet. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Barnier, Christophe, Ouvrard, Stéphanie, Robin, Christophe & Morel, Jean Louis 2014. Desorption kinetics of PAHs from aged industrial soils for availability assessment. *Science of the Total Environment* 470-471, 639–645.

Cachada, A., Pereira, R., Ferreira da Silva, E. & Duarte A.C. 2014. The prediction of PAHs bioavailability in soils using chemical methods: State of the art and future challenges. *Science of the Total Environment* 472, 463–480.

Cornelissen, Gerard 1999. Mechanism and consequences of slow desorption of organic compounds from sediments. Universiteit van Amsterdam. Väitöskirja.

Douben, Peter E. T. 2003. PAHs: An Ecotoxicological Perspective. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.

Evira 2014. PAH-yhdisteet (Polysykliset aromaattiset hiilivedyt). Elintarviketurvallisuusvirasto Evira. WWW-sivut. <http://www.evira.fi/portal/fi/tietoa+evirasta/asiakokonaisuudet/vierasaineet/tietoa+vierasaineista/pah-yhdisteet/>. Päivitetty 06.06.2014. Luettu 21.10.2015.

Geologian tutkimuskeskus 2015. Suomen maaperän synty. Geologian tutkimuskeskus. WWW-sivut. <http://weppi.gtk.fi/aineistot/mp-opas/maapera.htm>. Ei päivitystietoja. Luettu 16.12.2015.

Heikkinen, Päivi 2000. Haitta-aineiden sitoutuminen ja kulkeutuminen maaperässä. Geologian tutkimuskeskus. Tutkimusraportti 150. WWW-dokumentti. http://tupa.gtk.fi/julkaisu/tutkimusraportti/tr_150.pdf. Ei päivitystietoja. Luettu 21.10.2015.

Jaarinen, Soili & Niiranen, Jukka 2008. Laboratorion analyysitekniikka. Helsinki: Edita Prima Oy.

Kemikaalilaki 599/2013. WWW-sivut. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130599#Lidm2481296>. Päivitetty 9.8.2013. Luettu 15.12.2015.

Korhonen, K-H, Gardemeister, R. & Tammirinne, M. 1974. Geotekninen maaluokitus. Geotekniikan laboratorio, Tiedonanto 14. Valtion teknillinen tutkimuskeskus.

Koskinen, Pertti, Silvo, Kimmo, Mehtonen, Jukka, Ruoppa, Marja, Hyytiä, Hille, Sillander, Sirpa & Sokka, Laura 2005. Esiselvitys tiettyjen haitallisten orgaanisten aineiden päästöistä. Suomen ympäristö 810. Suomen ympäristökeskus. WWW-dokumentti. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40680/SY_810.pdf?sequence=1. Ei päivitystietoja. Luettu 17.10.2015.

Kuusela-Lahtinen, Auli, Mroueh, Ulla-Maija, Vahanne, Pasi, Kling, Terhi, Kapanen, Anu, Priha, Maarit, Laine, Eevaliisa & Rossi, Esko 2010. Ympäristö- ja terveystieteiden arviointimenetelmien vertailu. VTT tiedotteita 2551. VTT. WWW-dokumentti.

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2010/T2551.pdf>. Ei päivitystietoja. Luettu 17.12.2015.

Mackay, Donald, Ying Shiu, Wan, Ma, Kuo-Ching & Chi Lee, Sum 2006. Handbook of physical-chemical properties and environmental fate for organic chemicals. Boca Raton: CRC Press.

Martio, Johanna 2011. Pohjavesitilanteen tarkastelu alikulkusilta-alueilla. Liikennevirasto. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 13/2011. WWW-dokumentti. http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2011-13_pohjavesitilanteen_tarkastelu_web.pdf. Ei päivitystietoja. Luettu 16.12.2015.

Napari, Pirjo 2004. Orgaaninen kemia. Helsinki: Edita Prima Oy.

Penttinen, Riina 2001. Maaperän ja pohjaveden kunnostus - Yleisimpien menetelmien esittely. Suomen ympäristökeskuksen moniste 227. Suomen ympäristökeskus. WWW-dokumentti. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40841/SYKEmo_227.pdf?sequence=1. Ei päivitystietoja. Luettu 30.1.2016.

Pernot, Audrey, Ouvrard, Stéphanie, Leglize, Pierre & Faure, Pierre 2013. Protective role of silts for PAH in a former industrial soil. Environmental Pollution 179, 81–87.

Pyy, Outi, Haavisto, Teija, Niskala, Kaisa & Silvola, Matti 2013. Pilaantuneet maa-alueet Suomessa – Katsaus 2013. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 27/2013. Suomen ympäristökeskus. WWW-dokumentti. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/41048/SYKEra_27_2013.pdf?sequence=1. Ei päivitystietoja. Luettu 10.12.2015.

Reinikainen, Jussi 2007. Maaperän kynnys- ja ohjearvo määrittämisperusteet. Suomen ympäristö 23/2007. Suomen ympäristökeskus. WWW-dokumentti. <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BC633F084-8595-4032-BDD8-EFD539D4AED1%7D/91488>. Ei päivitystietoja. Luettu 26.10.2015.

Riekkola, Marja-Liisa & Hyötyläinen, Tuulia 2002. Kolonnikromatografia ja kapillarielektromigraatiotekniikat. Helsinki: Yliopistopaino.

Riihimäki, Vesa, Isotalo, Leena, Jauhiainen, Merja, Kemiläinen, Birgit, Laamanen, Irja, Luotamo, Marita, Riala, Riitta & Zitting, Antti 2005. Kemianturvallisuuden tiedonlähteet. Työterveyslaitos. WWW-dokumentti. http://www.ttl.fi/fi/verkkokirjat/Documents/Kemikaaliturvallisuuden_tiedonl%C3%A4hteet.pdf. Ei päivitystietoja. Luettu 23.10.2015.

Ronkainen, Nanna 2012. Suomen maalajien ominaisuuksia. Suomen ympäristö 2/2012. Suomen ympäristökeskus. WWW-dokumentti. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38773/SY2_2012_Suomen_maalajien_ominaisuuksia.pdf. Ei päivitystietoja. Luettu 17.12.2015.

SFS 3008. 1990. Veden, lietteen ja sedimentin kuiva-aineen ja hehkutusjäännöksen määrittäminen. 2. painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 1097-5. 2008. Kiviainesten mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien testaus. Osa 5: Kosteuspitoisuuden määrittäminen kuivaamalla tuuletetussa lämpökaapissa. 2. painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 933-1. 2012. Kiviainesten geometrinen ominaisuuksien testaus. Osa 1: Rakaisuuden määrittäminen. Seulontamenetelmä. 2. painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

SFS-ISO 18287. 2007. Soil quality. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) - Gas chromatographic method with mass spectrometric detection (GC-MS). Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

SGY 2008. Ympäristögeotekniikan perusteet. Suomen Geoteknillinen Yhdistys. Oppimateriaali. WWW-dokumentti.

<http://www.getunderground.fi/getfile.ashx?cid=72843&cc=3&refid=5>. Päivitetty 25.8.2008. Luettu 22.10.2015.

Sigma-Aldrich 2015. GC Analysis of Polynuclear Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Water on a 5% Phenyl Column after SPE using Supelclean™ ENVI-18.

Sigma-Aldrich. WWW-sivut.

<http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/supelco/80207?lang=fi®ion=FI>. Ei päivitystietoja. Luettu 14.12.2015.

Sillanpää, Pekka 2007. Öljyhiilivedyillä saastuneen maan puhdistaminen puiden avulla. Suomen ympäristö 02/2007. Pirkanmaan ympäristökeskus. WWW-dokumentti.

https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38391/SY_2_2007.pdf?sequence=3. Ei päivitystietoja. Luettu 17.10.2015.

Sormunen, Arto 2008. Bioavailability assessment of sediment-associated organic compounds through desorption and pore-water concentration. University of Joensuu. Väitöskirja. Joensuu: Joensuun Yliopistopaino.

Suomen ympäristöopisto 2007. Kenttäopas tiekuljetusöljyvahingon hallintaan - Tausta-aineisto. Suomen ympäristöopisto, SYKLI. WWW-dokumentti.

http://static.ecome.fi/upload/1498/tiekuljetusvahinko_taista-aineisto.pdf. Päivitetty 5.4.2007. Luettu 17.12.2015.

Työterveyslaitos 2005a. Kemikaalit ja työ - Selvitys työympäristön kemikaaliriskeistä. Työterveyslaitos. WWW-dokumentti.

http://www.ttl.fi/fi/verkkokirjat/Documents/Kemikaalit_jaTyo.pdf. Ei päivitystietoja. Luettu 12.12.2015.

Työterveyslaitos 2005b. Naftaleeni. Kansainväliset kemikaalikortit. Työterveyslaitos. WWW-dokumentti. <http://kappa.ttl.fi/kemikaalikortit/khtml/nfin0667.htm>. Päivitetty 4/2005. Luettu 12.12.2015.

Työterveyslaitos 2005c. Bentso(a)pyreeni. Kansainväliset kemikaalikortit. Työterveyslaitos. WWW-dokumentti. <http://kappa.ttl.fi/kemikaalikortit/khtml/nfin0104.htm>. Päivitetty 10/2005. Luettu 12.12.2015.

Työterveyslaitos 2010. PAH-yhdisteiden tavoitetasoperustelumuiotio. Työterveyslaitos. WWW-dokumentti.

http://www.ttl.fi/fi/tyoturvallisuus_ja_riskien_hallinta/riskien_hallinta/Documents/PAH_tavoitetasot.pdf. Päivitetty 01/2010. Luettu 21.10.2015.

U.S. Department of Health and Human Services 1995. Toxicological profile for polycyclic aromatic hydrocarbons. U.S. Department of Health and Human Services. Public Health Service. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. WWW-dokumentti. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp69.pdf>. Päivitetty 08/1995. Luettu 21.10.2015.

Valtioneuvoston asetus 214/2007a. Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista. WWW-sivut. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2007/20070214>. Päivitetty 1.3.2007. Luettu 15.12.2015.

Valtioneuvoston asetus 214/2007b. Maaperän haitallisten aineiden pitoisuuksien kynnys- ja ohjearvot. WWW-dokumentti. <http://www.finlex.fi/data/sdliite/liite/5382.pdf>. Ei päivitystietoja. Luettu 15.12.2015.

Valtioneuvoston asetus 713/2014. Valtioneuvoston asetus ympäristönsuojelusta. WWW-sivut. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140713#Pidp472208>. Päivitetty 4.9.2014. Luettu 15.12.2015.

van Noort, Paul C.M., Poot, Anton & Koelmans, Albert A. 2014. Analysis of organic contaminant desorption kinetic data for sediments and soils: Implications for the Tenax extraction time for the determination of bioavailable concentrations. *Science of the Total Environment* 490, 235–238.

Ympäristöhallinto 2013a. Öljy- ja kemikaalivahinkojen torjunta. Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. WWW-sivut. http://www.ymparisto.fi/fi-fi/Meri/Olly_ja_kemikaalivahinkojen_torjunta. Päivitetty 27.7.2015. Luettu 10.12.2015.

Ympäristöhallinto 2013b. Pysyvät orgaaniset yhdisteet (POP). Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. WWW-sivut. <http://www.ymparisto.fi/POP>. Päivitetty 26.11.2013. Luettu 20.10.2015.

Ympäristöhallinto 2013c. Öljyn käyttäytyminen maaperässä. Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. WWW-sivut. http://www.ymparisto.fi/fi-fi/Meri/Olly_ja_kemikaalivahinkojen_torjunta/Ollyvahinkojen_torjunta_maaalueilla/Olly_kayttaytyminen_maaperassa. Päivitetty 14.10.2014. Luettu 20.10.2015.

Ympäristöministeriö 2014. Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta. Ympäristöministeriö. Ympäristöhallinnon ohjeita 6/2014. WWW-dokumentti. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/136564/OH_6_2014.pdf?sequence=1. Päivitetty 11.11.2014. Luettu 24.10.2015.

Ympäristönsuojelulaki 527/2014. WWW-sivut. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140527#Lidp5686496>. Päivitetty 27.6.2014. Luettu 15.12.2015.

Zhao Dongye & Pignatello, Joseph J. 2004. Model-aided characterization of Tenax®-ta for aromatic compound uptake from water. *Environmental Toxicology and Chemistry*. Volume 23, Issue 7, 1592–1599.

Älykö 2016. Älykkäitä menetelmiä ympäristövahinkojen torjuntaan. Älykö-hanke. Mikkelin ammattikorkeakoulu. WWW-sivut.
http://www.mamk.fi/tutkimus_ja_kehitys/materiaalit_ja_ymparistoturvallisuus/kaynnissa_olevat_hankkeet/alyko. Ei päivitystietoja. Luettu 3.2.2016.

Maanäyttemääritykset: näytemaa 1

Kuiva-aineen määrittäminen: NÄYTEMAA 1

110 °C, alle 24 h

Upokas nro	Upokas (g)	Näyte (g)	Upokas + kuivattu näyte (g)
1	45,6637	20,9170	65,747
2	46,6099	21,4893	67,255
3	52,5642	21,3483	73,034

Upokas nro	Kuivattu näyte (g)	Kuiva-aine %
1	20,0833	96,01
2	20,6451	96,07
3	20,4698	95,88
		ka 95,99 -> 96 %

Orgaanisen aineen määrittäminen: NÄYTEMAA 1

550 °C, 2h

Upokas nro	Upokas + jäännös (g)	Org. aines (g)	Org. aines %
1	65,510	0,237	1,18
2	67,012	0,243	1,18
3	72,768	0,266	1,3
			ka 1,2 %

Raekoon määrittäminen: NÄYTEMAA 1

Folioastia nro	Folioastia (g)	Näyte (g)	Folioastia + kuivattu näyte (g)	Kuivattu näyte (g); M ₁
1	9,7	499,3	488,6	478,9
2	9,7	507,8	496,5	486,8
3	9,6	497,3	486,2	476,6

Folioastia nro	Folioastia + kuivattu näyte pesun jälkeen (g)	Kuivattu näyte pesun jälkeen (g); M ₂	Hienoaines (g)	Hienoaines %; f
1	482,6	472,9	6	1,25
2	489,1	479,4	7,4	1,52
3	478,8	469,2	7,4	1,55
				ka 1,4 %

Maanäytemääritykset: näytemaa 1

Seulonta: NÄYTEMAA 1

Näyte 1; $M_1 = 478,9$

Seula nro	Seula (g)	Seula + raekoko (g)	Raekoko (g); R_i	Raekoko %; $100 \cdot R_i / M_1$
Pohja	368,3	369,6	1,3	0,27
0,074	339,5	346,6	7,1	1,48
0,125	357,9	441,4	83,5	17,4
0,25	343,7	534,5	190,8	39,84
0,5	388,9	535,7	146,8	30,65
1,0	471,1	507,9	36,8	7,68
2,0	527,1	534,2	7,1	1,48

Näyte 2; $M_1=486,8$

Seula nro	Seula (g)	Seula + raekoko (g)	Raekoko (g); R_i	Raekoko %; $100 \cdot R_i / M_1$
Pohja	368,3	369,4	1,1	0,23
0,074	339,5	346,4	6,9	1,42
0,125	357,9	444,3	86,4	17,75
0,25	343,8	534,4	190,6	39,15
0,5	388,9	534,8	145,9	29,97
1,0	471,2	515,4	44,2	9,08
2,0	527,1	531,5	4,4	0,90

Näyte 3; $M_1=476,6$

Seula nro	Seula (g)	Seula + raekoko (g)	Raekoko (g); R_i	Raekoko %; $100 \cdot R_i / M_1$
Pohja	368,3	369,2	0,9	0,19
0,074	339,5	346,8	7,3	1,53
0,125	357,9	439,1	81,2	17,04
0,25	343,7	532,3	188,6	39,57
0,5	388,9	536,9	148,0	31,05
1,0	471,3	510,0	38,7	8,12
2,0	527,1	531,7	4,6	0,97

Maanäyttemääritykset: näytemaa 2

Kuiva-aineen määrittäminen: NÄYTEMAA 2

110 °C, alle 24 h

Upokas nro	Upokas (g)	Näyte (g)	Upokas + kuivattu näyte (g)
1	21,9006	20,6132	36,8049
2	21,9749	19,2109	35,8620
3	21,2717	20,4953	35,4765

Upokas nro	Kuivattu näyte (g)	Kuiva-aine %
1	14,9043	72,30
2	13,8871	72,29
3	14,2048	69,31
		ka 71,3 %

Orgaanisen aineen määrittäminen: NÄYTEMAA 2

550 °C, 2h

Upokas nro	Upokas + jäännös (g)	Org. aines (g)	Org. aines %
1	35,8336	0,9713	6,52
2	34,9131	0,9489	6,83
3	34,2742	1,2023	8,46
			ka 7,3 %

Raekoon määrittäminen: NÄYTEMAA 2

Folioastia nro	Folioastia (g)	Näyte (g)	Folioastia + kuivattu näyte (g)	Kuivattu näyte (g); M ₁
1	6,8	249,7	186,9	180,1
2	6,8	256,4	191,7	184,9
3	6,8	263,6	201,1	194,3

Folioastia nro	Folioastia + kuivattu näyte pesun jälkeen (g)	Kuivattu näyte pesun jälkeen (g); M ₂	Hienoaines (g)	Hienoaines %; f
1	133,1	126,3	53,8	29,87
2	133,7	126,9	58	31,37
3	145,0	138,2	56,1	28,87
				ka 30,0 %

Maanäytemääritykset: näytemaa 2

Seulonta: NÄYTEMAA 2

Näyte 1; $M_1 = 180,1$

Seula nro	Seula (g)	Seula + raekoko (g)	Raekoko (g); R_i	Raekoko %; $100 \cdot R_i / M_1$
Pohja	368,3	376,7	8,4	4,66
0,074	339,5	396,1	56,6	31,43
0,125	357,9	387,5	29,6	16,44
0,25	343,6	354,1	10,5	5,83
0,5	388,7	396,0	7,3	4,05
1,0	471,1	475,6	4,5	2,50
2,0	527,1	537,0	9,9	5,50

Näyte 2; $M_1 = 184,9$

Seula nro	Seula (g)	Seula + raekoko (g)	Raekoko (g); R_i	Raekoko %; $100 \cdot R_i / M_1$
Pohja	368,2	376,3	8,1	4,38
0,074	339,5	397,5	58	31,37
0,125	357,9	387,5	29,6	16,01
0,25	343,5	354,3	10,8	5,84
0,5	388,7	396,3	7,6	4,11
1,0	471,1	475,5	4,4	2,38
2,0	527,1	535,6	8,5	4,60

Näyte 3; $M_1 = 194,3$

Seula nro	Seula (g)	Seula + raekoko (g)	Raekoko (g); R_i	Raekoko %; $100 \cdot R_i / M_1$
Pohja	368,2	376,2	8	4,12
0,074	339,5	396,2	56,7	29,18
0,125	357,9	386,1	28,2	14,51
0,25	343,5	353,9	10,4	5,35
0,5	388,7	395,9	7,2	3,71
1,0	471,1	475,8	4,7	2,42
2,0	527,1	550,3	23,2	11,94

2,0 mm seulalla oli yksi suurempi kivi, jonka paino 13,2 g.

Analyysitulokset: maanäytteet

Maanäytteet	Näytemäärä [g]	Tutkittavaa näytettä [ml]	kuiva-aine	märkä aine	Standardisuora:	kuiva-aine	märkä aine	Muunnos: µg/ml -> mg/g	kuiva-aine	märkä aine	Kuiva-ainemääritykset:	
											NAFTALEENI	NAFTALEENI
	3		Vaste									
	5											
Näytemääri:			Maa, alku	Maa, loppu	Näytemääri 1:	Maa, alku	Maa, loppu	Näytemääri 1:	Maa, alku	Maa, loppu	Maa, alku	Maa, loppu
H1			87512	1141	H1	4,2477	3,8378	H1	0,00708	0,00640	0,00666	0,00666
H2			198874	1919	H2	4,7763	3,8415	H2	0,00796	0,00640	0,00667	0,00667
H3			113835	2732	H3	4,3727	3,8454	H3	0,00729	0,00641	0,00668	0,00668
Nollanäyte, H1L			99	32	Nollanäyte, H1L	3,8329	3,8326	Nollanäyte, H1L	0,00639	0,00639	0,00665	0,00665
Nollanäyte, H2L			4	10	Nollanäyte, H2L	3,8324	3,8325	Nollanäyte, H2L	0,00639	0,00639	0,00665	0,00665
			Vaste									
Näytemääri 2:			Maa, alku	Maa, loppu	Näytemääri 2:	Maa, alku	Maa, loppu	Näytemääri 2:	Maa, alku	Maa, loppu	Maa, alku	Maa, loppu
OM1			152503	4	OM1	4,5562	3,8324	OM1	0,00759	0,00639	0,00896	0,00896
OM2			109961	2447	OM2	4,3543	3,8440	OM2	0,00726	0,00641	0,00899	0,00899
OM3			90611	835	OM3	4,2625	3,8364	OM3	0,00710	0,00639	0,00897	0,00897
Nollanäyte, OM1L			3	0	Nollanäyte, OM1L	3,8324	3,8324	Nollanäyte, OM1L	0,00639	0,00639	0,00896	0,00896
Nollanäyte, OM2L			3	3	Nollanäyte, OM2L	3,8324	3,8324	Nollanäyte, OM2L	0,00639	0,00639	0,00896	0,00896
			Vaste									
FENANTREENI			Maa, alku	Maa, loppu	FENANTREENI	Maa, alku	Maa, loppu	FENANTREENI	Maa, alku	Maa, loppu	Maa, alku	Maa, loppu
Näytemääri 1:			Maa, alku	Maa, loppu	Näytemääri 1:	Maa, alku	Maa, loppu	Näytemääri 1:	Maa, alku	Maa, loppu	Maa, alku	Maa, loppu
H1			2517879	57876	H1	16,7057	5,0236	H1	0,02784	0,00837	0,00872	0,00872
H2			1033718	38225	H2	9,6577	4,9303	H2	0,01610	0,00822	0,00856	0,00856
H3			1023168	63866	H3	9,6076	5,0521	H3	0,01601	0,00842	0,00877	0,00877
Nollanäyte, H1L			1954	25994	Nollanäyte, H1L	4,7581	4,8722	Nollanäyte, H1L	0,00793	0,00812	0,00846	0,00846
Nollanäyte, H2L			234	102	Nollanäyte, H2L	4,7499	4,7493	Nollanäyte, H2L	0,00792	0,00792	0,00825	0,00825
			Vaste									
Näytemääri 2:			Maa, alku	Maa, loppu	Näytemääri 2:	Maa, alku	Maa, loppu	Näytemääri 2:	Maa, alku	Maa, loppu	Maa, alku	Maa, loppu
OM1			1511662	30949	OM1	11,9274	4,8958	OM1	0,01988	0,00816	0,01144	0,01144
OM2			1328557	58192	OM2	11,0578	5,0251	OM2	0,01843	0,00838	0,01175	0,01175
OM3			821183	36949	OM3	8,6484	4,9243	OM3	0,01441	0,00821	0,01151	0,01151
Nollanäyte, OM1L			474	70	Nollanäyte, OM1L	4,7510	4,7491	Nollanäyte, OM1L	0,00792	0,00792	0,01110	0,01110
Nollanäyte, OM2L			3	3	Nollanäyte, OM2L	4,7488	4,7488	Nollanäyte, OM2L	0,00791	0,00791	0,01110	0,01110

Analysitulokset: maanäytteet

Maanäytteet	Näytemäärä [g]	Tutkittavaa näytettä [ml]	kuiva-aine	märkä aine	Standardisuora:	kuiva-aine	märkä aine	Muunnos: µg/ml -> mg/g	kuiva-aine	märkä aine	Kuiva-ainemääritykset:	
											[µg/ml]	[mg/g]
	3										NÄYTEMAA 1	96,0
	5										NÄYTEMAA 2	71,3
Datatieosto			kuiva-aine	märkä aine		kuiva-aine	märkä aine		kuiva-aine	märkä aine		kuiva-aine
BENTSO(A)PYREENI			Vaste		BENTSO(A)PYREENI			BENTSO(A)PYREENI				
Näytemaa 1:			Maa, alku	Maa, loppu	Näytemaa 1:	Maa, alku	Maa, loppu	Näytemaa 1:	Maa, alku	Maa, loppu		
H1	475289	18367			H1	17,5762	5,7615	H1	0,02929	0,00960		0,01000
H2	140070	9259			H2	8,9084	5,5260	H2	0,01485	0,00921		0,00960
H3	171589	21135			H3	9,7234	5,8331	H3	0,01621	0,00972		0,01013
Nollanäyte, H1L	118	2369			Nollanäyte, H1L	5,2896	5,3478	Nollanäyte, H1L	0,00882	0,00891		0,00929
Nollanäyte, H2L	16	3			Nollanäyte, H2L	5,2870	5,2867	Nollanäyte, H2L	0,00881	0,00881		0,00918
			Vaste			[µg/ml]			[mg/g]			[mg/g]
Näytemaa 2:			Maa, alku	Maa, loppu	Näytemaa 2:	Maa, alku	Maa, loppu	Näytemaa 2:	Maa, alku	Maa, loppu		
OM1	299587	15450			OM1	13,0330	5,6861	OM1	0,02172	0,00948		0,01329
OM2	190397	88			OM2	10,2097	5,2889	OM2	0,01702	0,00881		0,01236
OM3	113108	20881			OM3	8,2112	5,8265	OM3	0,01369	0,00971		0,01362
Nollanäyte, OM1L	11	7			Nollanäyte, OM1L	5,2869	5,2868	Nollanäyte, OM1L	0,00881	0,00881		0,01236
Nollanäyte, OM2L	5	3			Nollanäyte, OM2L	5,2867	5,2867	Nollanäyte, OM2L	0,00881	0,00881		0,01236

Analyysitulokset: Tenax-näytteet

Tenax-näytteet						
Näyttemäärä [g]	0,3					
Tutkittavaa näytettä [ml]	5					
Datatiedosto						
NAFTALEENI	Vaste					
Näyttemaa 1:	Tenax, 4 h	Tenax, 24 h	Tenax, 48 h	Tenax, 96 h	Tenax, 144 h	Tenax, 240 h
H1	632508	312162	80676	293278	147440	117316
H2	2668160	402396	101353	238027	98047	119906
H3	980138	398054	221620	277419	181125	121455
Nollanäyte, H1L	42899			43515		16482
Nollanäyte, H2L	65149			41053		40908
Näyttemaa 2:	Tenax, 4 h	Tenax, 24 h	Tenax, 48 h	Tenax, 96 h	Tenax, 144 h	Tenax, 240 h
OM1	1141978	222308	130072	101284	70474	51279
OM2	1132422	271036	143613	96236	51057	82031
OM3	937657	226346	93152	87569	31527	21676
Nollanäyte, OM1L	32725			31920		6514
Nollanäyte, OM2L	31530			47169		6189
FENANTREENI						
	Vaste					
Näyttemaa 1:	Tenax, 4 h	Tenax, 24 h	Tenax, 48 h	Tenax, 96 h	Tenax, 144 h	Tenax, 240 h
H1	2531606	876187	278398	193628	97280	68309
H2	2896986	819798	275333	154599	86038	57674
H3	1997232	931143	339204	180320	135941	62624
Nollanäyte, H1L	8134			4064		917
Nollanäyte, H2L	8138			3108		1042
Näyttemaa 2:	Tenax, 4 h	Tenax, 24 h	Tenax, 48 h	Tenax, 96 h	Tenax, 144 h	Tenax, 240 h
OM1	1066044	468599	144022	56693	40448	24604
OM2	1241709	587551	221002	90211	41535	29879
OM3	1005696	550333	152626	102079	42832	30963
Nollanäyte, OM1L	1616			1466		127
Nollanäyte, OM2L	6743			3477		4
BENTSO(A)PYREENI						
	Vaste					
Näyttemaa 1:	Tenax, 4 h	Tenax, 24 h	Tenax, 48 h	Tenax, 96 h	Tenax, 144 h	Tenax, 240 h
H1	32246	76191	68908	103126	83467	51502
H2	29143	116053	101083	73022	46667	29066
H3	26813	59866	63051	66722	76318	33890
Nollanäyte, H1L	56			3		5
Nollanäyte, H2L	35			3		3
Näyttemaa 2:	Tenax, 4 h	Tenax, 24 h	Tenax, 48 h	Tenax, 96 h	Tenax, 144 h	Tenax, 240 h
OM1	15365	19331	13312	10987	13982	12725
OM2	18475	34552	28206	18348	12678	11415
OM3	15737	32408	6281	20209	12322	10523
Nollanäyte, OM1L	4			122		3
Nollanäyte, OM2L	3			73		18

Analyysitulokset: Tenax-näytteet

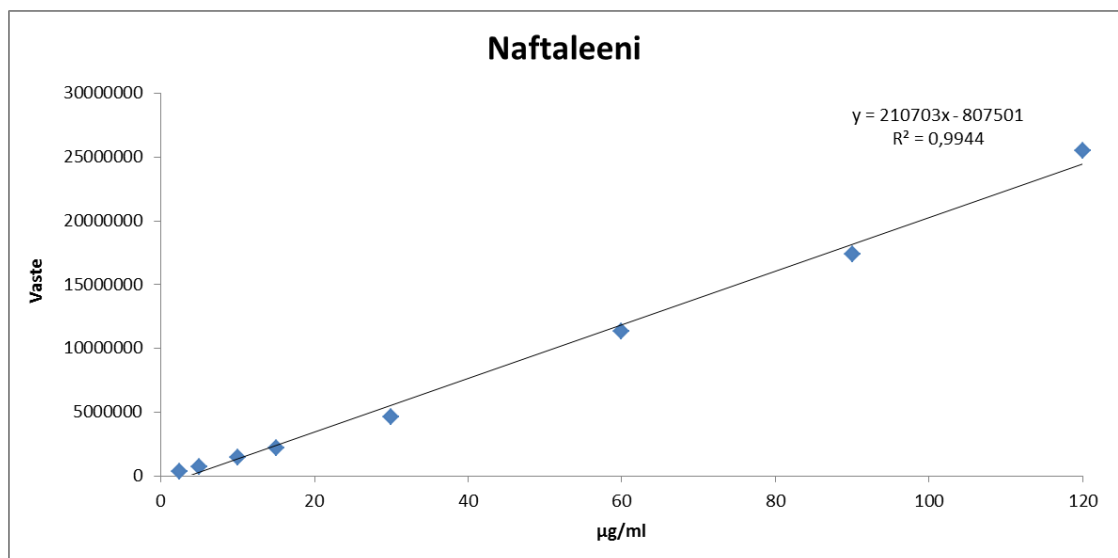
Standardisuora:						
NAFTALEENI	[µg]					
Näyttemaa 1:	Tenax, 4 h	Tenax, 24 h	Tenax, 48 h	Tenax, 96 h	Tenax, 144 h	Tenax, 240 h
H1	6,83	5,31	4,22	5,22	4,53	4,39
H2	16,50	5,74	4,31	4,96	4,30	4,40
H3	8,48	5,72	4,88	5,15	4,69	4,41
Nollanäyte, H1L	4,04			4,04		3,91
Nollanäyte, H2L	4,14			4,03		4,03
Näyttemaa 2:	Tenax, 4 h	Tenax, 24 h	Tenax, 48 h	Tenax, 96 h	Tenax, 144 h	Tenax, 240 h
OM1	9,25	4,89	4,45	4,31	4,17	4,08
OM2	9,21	5,12	4,51	4,29	4,07	4,22
OM3	8,28	4,91	4,27	4,25	3,98	3,94
Nollanäyte, OM1L	3,99			3,98		3,86
Nollanäyte, OM2L	3,98			4,06		3,86
FENANTREENI						
	[µg]					
Näyttemaa 1:	Tenax, 4 h	Tenax, 24 h	Tenax, 48 h	Tenax, 96 h	Tenax, 144 h	Tenax, 240 h
H1	16,77	8,91	6,07	5,67	5,21	5,07
H2	18,51	8,64	6,06	5,48	5,16	5,02
H3	14,23	9,17	6,36	5,61	5,39	5,05
Nollanäyte, H1L	4,79			4,77		4,75
Nollanäyte, H2L	4,79			4,76		4,75
Näyttemaa 2:	Tenax, 4 h	Tenax, 24 h	Tenax, 48 h	Tenax, 96 h	Tenax, 144 h	Tenax, 240 h
OM1	9,81	6,97	5,43	5,02	4,94	4,87
OM2	10,65	7,54	5,80	5,18	4,95	4,89
OM3	9,52	7,36	5,47	5,23	4,95	4,90
Nollanäyte, OM1L	4,76			4,76		4,75
Nollanäyte, OM2L	4,78			4,77		4,75
BENTSO(A)PYREENI						
	[µg]					
Näyttemaa 1:	Tenax, 4 h	Tenax, 24 h	Tenax, 48 h	Tenax, 96 h	Tenax, 144 h	Tenax, 240 h
H1	6,12	7,26	7,07	7,95	7,44	6,62
H2	6,04	8,29	7,90	7,17	6,49	6,04
H3	5,98	6,83	6,92	7,01	7,26	6,16
Nollanäyte, H1L	5,29			5,29		5,29
Nollanäyte, H2L	5,29			5,29		5,29
Näyttemaa 2:	Tenax, 4 h	Tenax, 24 h	Tenax, 48 h	Tenax, 96 h	Tenax, 144 h	Tenax, 240 h
OM1	5,68	5,79	5,63	5,57	5,65	5,62
OM2	5,76	6,18	6,02	5,76	5,61	5,58
OM3	5,69	6,12	5,45	5,81	5,61	5,56
Nollanäyte, OM1L	5,29			5,29		5,29
Nollanäyte, OM2L	5,29			5,29		5,29

Analyysitulokset: Tenax-näytteet

Muunnos: µg -> mg						
NAFTALEENI [mg]						
Näyttemaa 1:	Tenax, 4 h	Tenax, 24 h	Tenax, 48 h	Tenax, 96 h	Tenax, 144 h	Tenax, 240 h
H1	0,0068	0,0053	0,0042	0,0052	0,0045	0,0044
H2	0,0165	0,0057	0,0043	0,0050	0,0043	0,0044
H3	0,0085	0,0057	0,0049	0,0051	0,0047	0,0044
Nollanäyte, H1L	0,0040			0,0040		0,0039
Nollanäyte, H2L	0,0041			0,0040		0,0040
Näyttemaa 2:	Tenax, 4 h	Tenax, 24 h	Tenax, 48 h	Tenax, 96 h	Tenax, 144 h	Tenax, 240 h
OM1	0,0093	0,0049	0,0044	0,0043	0,0042	0,0041
OM2	0,0092	0,0051	0,0045	0,0043	0,0041	0,0042
OM3	0,0083	0,0049	0,0043	0,0042	0,0040	0,0039
Nollanäyte, OM1L	0,0040			0,0040		0,0039
Nollanäyte, OM2L	0,0040			0,0041		0,0039
FENANTREENI [mg]						
Näyttemaa 1:	Tenax, 4 h	Tenax, 24 h	Tenax, 48 h	Tenax, 96 h	Tenax, 144 h	Tenax, 240 h
H1	0,0168	0,0089	0,0061	0,0057	0,0052	0,0051
H2	0,0185	0,0086	0,0061	0,0055	0,0052	0,0050
H3	0,0142	0,0092	0,0064	0,0056	0,0054	0,0050
Nollanäyte, H1L	0,0048			0,0048		0,0048
Nollanäyte, H2L	0,0048			0,0048		0,0048
Näyttemaa 2:	Tenax, 4 h	Tenax, 24 h	Tenax, 48 h	Tenax, 96 h	Tenax, 144 h	Tenax, 240 h
OM1	0,0098	0,0070	0,0054	0,0050	0,0049	0,0049
OM2	0,0106	0,0075	0,0058	0,0052	0,0049	0,0049
OM3	0,0095	0,0074	0,0055	0,0052	0,0050	0,0049
Nollanäyte, OM1L	0,0048			0,0048		0,0047
Nollanäyte, OM2L	0,0048			0,0048		0,0047
BENTSO(A)PYREENI [mg]						
Näyttemaa 1:	Tenax, 4 h	Tenax, 24 h	Tenax, 48 h	Tenax, 96 h	Tenax, 144 h	Tenax, 240 h
H1	0,0061	0,0073	0,0071	0,0080	0,0074	0,0066
H2	0,0060	0,0083	0,0079	0,0072	0,0065	0,0060
H3	0,0060	0,0068	0,0069	0,0070	0,0073	0,0062
Nollanäyte, H1L	0,0053			0,0053		0,0053
Nollanäyte, H2L	0,0053			0,0053		0,0053
Näyttemaa 2:	Tenax, 4 h	Tenax, 24 h	Tenax, 48 h	Tenax, 96 h	Tenax, 144 h	Tenax, 240 h
OM1	0,0057	0,0058	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056
OM2	0,0058	0,0062	0,0060	0,0058	0,0056	0,0056
OM3	0,0057	0,0061	0,0054	0,0058	0,0056	0,0056
Nollanäyte, OM1L	0,0053			0,0053		0,0053
Nollanäyte, OM2L	0,0053			0,0053		0,0053

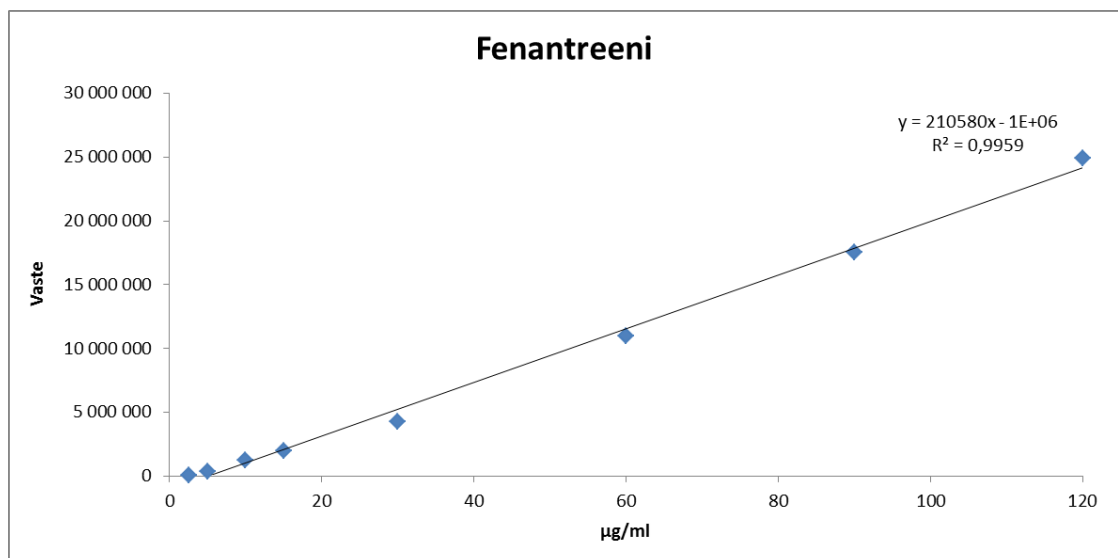
LIITE 6.**Standardisuora: naftaleeni**

NAFTALEENI	
Pitoisuus [$\mu\text{g/ml}$]	Vaste
2,5	368066
5	700275
10	1464196
15	2223954
30	4609146
60	11368274
90	17367298
120	25497421



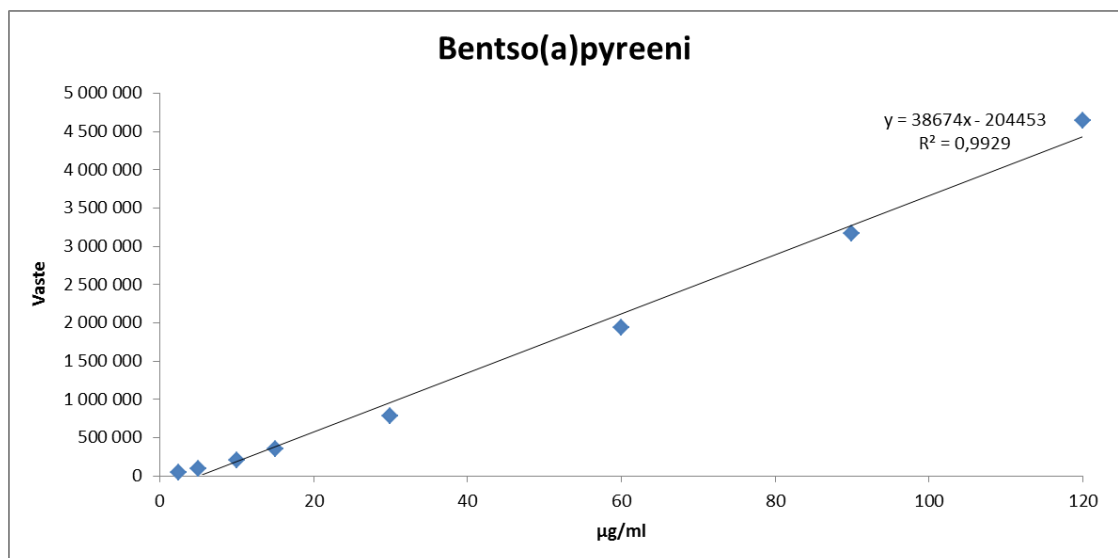
Standardisuora: fenantreeni

FENANTREENI	
Pitoisuus [$\mu\text{g/ml}$]	Vaste
2,5	76957
5	326060
10	1226054
15	1960614
30	4248254
60	10964847
90	17556145
120	24896887



Standardisuora: bentso(a)pyreeni

BENTSO(A)PYREENI	
Pitoisuus [$\mu\text{g/ml}$]	Vaste
2,5	39421
5	89003
10	208839
15	350620
30	787147
60	1934997
90	3174312
120	4639258



Laskentatulokset: näytemaa 1

Näyte	Maaperässä poistuneet partikkelit			Kuvaajan arvot			Keskiarvo			Keskihajonta			
	Naftaleeni [mg]	Fenantreeni [mg]	Bentso(a)pyreeni [mg]	Naftaleeni	Fenantreeni	Bentso(a)pyreeni	Aika [h]	Naftaleeni	Fenantreeni	Bentso(a)pyreeni	Naftaleeni	Fenantreeni	Bentso(a)pyreeni
H1	0,0566	0,2227	0,2343	1,0	1,0	1,0	1,0	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
H2	0,0637	0,1288	0,1188	1,0	1,0	1,0	1,0	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
H3	0,0583	0,1281	0,1296	1,0	1,0	1,0	1,0	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
H1	0,05	0,21	0,23	0,87933	0,92471	0,97388	4	0,82	0,89	0,96	0,07	0,03	0,01
H2	0,05	0,11	0,11	0,74098	0,85629	0,94915	4	0,82	0,89	0,96	0,07	0,03	0,01
H3	0,05	0,11	0,12	0,85448	0,88889	0,95387	4	0,82	0,89	0,96	0,07	0,03	0,01
H1	0,04	0,20	0,22	0,78551	0,88471	0,94292	24	0,73	0,83	0,91	0,07	0,05	0,03
H2	0,04	0,10	0,10	0,65081	0,78917	0,87938	24	0,73	0,83	0,91	0,07	0,05	0,03
H3	0,04	0,10	0,12	0,75634	0,81730	0,90116	24	0,73	0,83	0,91	0,07	0,05	0,03
H1	0,04	0,19	0,21	0,71108	0,85745	0,91276	48	0,66	0,79	0,86	0,07	0,06	0,05
H2	0,04	0,10	0,10	0,58308	0,74214	0,81286	48	0,66	0,79	0,86	0,07	0,06	0,05
H3	0,04	0,10	0,11	0,67257	0,76766	0,84781	48	0,66	0,79	0,86	0,07	0,06	0,05
H1	0,04	0,19	0,21	0,61884	0,83200	0,87882	96	0,57	0,75	0,81	0,06	0,07	0,06
H2	0,03	0,09	0,09	0,50516	0,69956	0,75246	96	0,57	0,75	0,81	0,06	0,07	0,06
H3	0,03	0,09	0,10	0,58425	0,72390	0,79372	96	0,57	0,75	0,81	0,06	0,07	0,06
H1	0,03	0,18	0,20	0,53881	0,80861	0,84705	168	0,49	0,72	0,76	0,05	0,08	0,08
H2	0,03	0,08	0,08	0,43767	0,65951	0,69779	168	0,49	0,72	0,76	0,05	0,08	0,08
H3	0,03	0,09	0,10	0,50378	0,68179	0,73772	168	0,49	0,72	0,76	0,05	0,08	0,08
H1	0,03	0,18	0,19	0,46132	0,78584	0,81881	240	0,42	0,68	0,72	0,05	0,09	0,09
H2	0,02	0,08	0,08	0,36856	0,62051	0,64696	240	0,42	0,68	0,72	0,05	0,09	0,09
H3	0,02	0,08	0,09	0,42816	0,64240	0,69019	240	0,42	0,68	0,72	0,05	0,09	0,09

Laskentatulokset: näytemaa 1

Pitoisuus vedessä desorptiokokeen jälkeen											
Koko putken tilavuudessa											
Analyysitulokset, Vesi loppu 5 ml:ssa											
Näyte	Naftaleeni 5 ml:ssa [mg/ml]	Fenantreeni 5 ml:ssa [mg/ml]	Bentso(a)pyreeni 5 ml:ssa [mg/ml]	Naftaleeni 35 ml:ssa [mg]	Fenantreeni 35 ml:ssa [mg]	Bentso(a)pyreeni 35 ml:ssa [mg]	Naftaleeni keskiarvo	Fenantreeni keskiarvo	Bentso(a)pyreeni keskiarvo		
H1	0,0038	0,0048	0,0053	0,0269	0,0333	0,0370					
H2	0,0038	0,0047	0,0053	0,0269	0,0332	0,0370					
H3	0,0038	0,0047	0,0053	0,0269	0,0332	0,0370	0,027	0,033	0,037		
Pitoisuus maaperässä desorptiokokeen jälkeen											
Analyysitulokset, Maa loppu kuiva-ainetta kohti											
Näyte	Naftaleeni [mg/g]	Fenantreeni [mg/g]	Bentso(a)pyreeni [mg/g]	Naftaleeni [mg]	Fenantreeni [mg]	Bentso(a)pyreeni [mg]					
H1	8,0	0,0067	0,0087	0,0533	0,0698	0,0800					
H2	8,0	0,0067	0,0086	0,0534	0,0685	0,0768					
H3	8,0	0,0067	0,0088	0,0534	0,0702	0,0810					
Näytteiden saanto desorptiokokeen jälkeen:											
Näyte	Kok. Naftaleeni maaperässä alussa [mg]	Kok. Naftaleeni vedessä lopussa [mg]	Kok. Naftaleeni maaperässä lopussa [mg]	Naftaleeni saanto %	Kok. Fenantreeni alussa [mg]	Kok. Fenantreeni vedessä lopussa [mg]	Kok. Fenantreeni maaperässä lopussa [mg]	Kok. Fenantreeni vedessä lopussa [mg]	Kok. Fenantreeni maaperässä lopussa [mg]	Fenantreeni saanto %	
H1	0,0566	0,0305	0,0269	195,47	0,2227	0,0477	0,0698	0,0333	0,0698	67,71	
H2	0,0637	0,0402	0,0269	189,16	0,1288	0,0489	0,0685	0,0332	0,0685	116,95	
H3	0,0583	0,0333	0,0269	194,92	0,1281	0,0458	0,0702	0,0332	0,0702	116,49	
				keskiarvo:						keskiarvo:	
				193,19						100,39	
Näyte	Kok. Bentso(a)pyreeni maaperässä alussa [mg]	Kok. Bentso(a)pyreeni Tenax lopussa [mg]	Kok. Bentso(a)pyreeni vedessä lopussa [mg]	Kok. Bentso(a)pyreeni maaperässä lopussa [mg]	Bentso(a)pyreeni saanto %						
H1	0,2343	0,0425	0,0370	0,0800	68,06						
H2	0,1188	0,0419	0,0370	0,0768	131,09						
H3	0,1296	0,0402	0,0370	0,0810	122,02						
				keskiarvo:	keskiarvo:						
					107,06						

Laskentatulokset: näytemaa 2

Desorptiokoe		Desorptiokokeen näytteet													
NÄYTEMAA 2		Näyte		Kuivapaino [g]		Analyysitulokset, Maa alku		Maa alku 8 g:ssa		Fenantreeni [mg]		Bentso(a)pyreeni [mg]			
		OM1	8,0	0,0076	0,0199	0,0217	0,0607	0,1590	0,1738						
		OM2	8,0	0,0073	0,0184	0,0170	0,0581	0,1474	0,1361						
		OM3	8,0	0,0071	0,0144	0,0137	0,0568	0,1153	0,1095						
Desorptiokokeen data															
Näyte	Näytteenotto	Tuntia alusta [h]	Päivä/aika	Aika [d]	Analyytitulos, Tenax	Fenantreeni	Tenax [mg]	Bentso(a)pyreeni	Tenax [mg]	Desorptiokokeen data	Naftaleeni [mg]	Fenantreeni [mg]	Bentso(a)pyreeni [mg]		
OM1	0	0	16.11.2015 10:00	0	0,0093	0,0098	0,0098	0,0057	0,0098		0,0093	0,0098	0,0057	0	0
OM2	0	0	16.11.2015 10:00	0	0,0092	0,0106	0,0106	0,0058	0,0106		0,0092	0,0106	0,0058	0	0
OM3	0	0	16.11.2015 10:00	0	0,0083	0,0095	0,0095	0,0057	0,0095		0,0083	0,0095	0,0057	0	0
OM1	1	4	16.11.2015 14:00	0,17	0,0049	0,0070	0,0070	0,0058	0,0070		0,0049	0,0070	0,0058	0,0141	0,0115
OM3	1	4	16.11.2015 14:00	0,17	0,0051	0,0075	0,0075	0,0062	0,0075		0,0051	0,0075	0,0062	0,0141	0,0119
OM1	2	24	17.11.2015 10:00	1	0,0049	0,0074	0,0074	0,0061	0,0074		0,0049	0,0074	0,0061	0,0132	0,0118
OM2	2	24	17.11.2015 10:00	1	0,0044	0,0054	0,0054	0,0056	0,0054		0,0044	0,0054	0,0056	0,0186	0,0171
OM3	2	24	17.11.2015 10:00	1	0,0045	0,0058	0,0058	0,0060	0,0058		0,0045	0,0058	0,0060	0,0240	0,0180
OM1	3	48	18.11.2015 10:00	2	0,0043	0,0055	0,0055	0,0054	0,0055		0,0043	0,0055	0,0054	0,0224	0,0173
OM2	3	48	18.11.2015 10:00	2	0,0043	0,0050	0,0050	0,0056	0,0050		0,0043	0,0050	0,0056	0,0229	0,0173
OM3	3	48	18.11.2015 10:00	2	0,0043	0,0052	0,0052	0,0058	0,0052		0,0043	0,0052	0,0058	0,0272	0,0227
OM1	4	96	20.11.2015 10:00	4	0,0042	0,0052	0,0052	0,0058	0,0052		0,0042	0,0052	0,0058	0,0276	0,0231
OM2	4	96	20.11.2015 10:00	4	0,0042	0,0049	0,0049	0,0056	0,0049		0,0042	0,0049	0,0056	0,0322	0,0283
OM3	4	96	20.11.2015 10:00	4	0,0041	0,0049	0,0049	0,0056	0,0049		0,0041	0,0049	0,0056	0,0341	0,0293
OM1	5	168 (144)	23.11.2015 10:00	7	0,0040	0,0050	0,0050	0,0056	0,0040		0,0040	0,0050	0,0056	0,0257	0,0287
OM2	5	168 (144)	23.11.2015 10:00	7	0,0041	0,0049	0,0049	0,0056	0,0041		0,0041	0,0049	0,0056	0,0311	0,0339
OM3	5	168 (144)	23.11.2015 10:00	7	0,0041	0,0049	0,0049	0,0056	0,0041		0,0041	0,0049	0,0056	0,0370	0,0390
OM1	6	240	26.11.2015 10:00	10	0,0042	0,0049	0,0049	0,0056	0,0042		0,0042	0,0049	0,0056	0,0314	0,0349
OM2	6	240	26.11.2015 10:00	10	0,0039	0,0049	0,0049	0,0056	0,0039		0,0039	0,0049	0,0056	0,0296	0,0342
OM3	6	240	26.11.2015 10:00	10	0,0039	0,0049	0,0049	0,0056	0,0039		0,0039	0,0049	0,0056	0,0374	0,0342

Laskentatulokset: näytemaa 2

Näyte	Maaperästä poistuneet partikkelit		Kuvaajan arvot		Keskiarvo		Keskijointa	
	Naftaleeni [mg]	Fenantreeni [mg]	Naftaleeni	Fenantreeni	Naftaleeni	Fenantreeni	Naftaleeni	Fenantreeni
OM1	0,0607	0,1590	1,0	1,0	1,00	1,00	1,00	0,00
OM2	0,0581	0,1474	1,0	1,0	1,00	1,00	1,00	0,00
OM3	0,0568	0,1153	1,0	1,0	1,00	1,00	1,00	0,00
OM1	0,05	0,15	0,84770	0,93831	0,85	0,93	0,96	0,01
OM2	0,05	0,14	0,84142	0,92780	0,85	0,93	0,96	0,01
OM3	0,05	0,11	0,85426	0,91740	0,85	0,93	0,96	0,01
OM1	0,05	0,14	0,76724	0,89445	0,76	0,87	0,91	0,02
OM2	0,04	0,13	0,75325	0,87666	0,76	0,87	0,91	0,02
OM3	0,04	0,10	0,76793	0,85356	0,76	0,87	0,91	0,02
OM1	0,04	0,14	0,69400	0,86029	0,69	0,83	0,87	0,03
OM2	0,04	0,12	0,67550	0,83734	0,69	0,83	0,87	0,03
OM3	0,04	0,09	0,69272	0,80609	0,69	0,83	0,87	0,03
OM1	0,04	0,13	0,62300	0,82874	0,61	0,80	0,83	0,04
OM2	0,03	0,12	0,60162	0,80222	0,61	0,80	0,83	0,04
OM3	0,04	0,09	0,61797	0,76070	0,61	0,80	0,83	0,04
OM1	0,03	0,13	0,55441	0,79767	0,54	0,76	0,79	0,05
OM2	0,03	0,11	0,53144	0,76868	0,54	0,76	0,79	0,05
OM3	0,03	0,08	0,54791	0,71776	0,54	0,76	0,79	0,05
OM1	0,03	0,12	0,48731	0,76707	0,47	0,73	0,75	0,06
OM2	0,03	0,11	0,45872	0,73551	0,47	0,73	0,75	0,06
OM3	0,03	0,08	0,47866	0,67530	0,47	0,73	0,75	0,06

Laskentatulokset: näytemaa 2

Pitoisuus vedessä desorptiokokeen jälkeen											
Analyysitulokset			Vesi loppu 5 ml:ssa			Koko putken tilavuudessa					
Näyte	Naftaleeni 5 ml:ssa [mg/ml]	Fenantreeni 5 ml:ssa [mg/ml]	Bentso(a)pyreeni 5 ml:ssa [mg/ml]	Naftaleeni 35 ml:ssa [mg]	Fenantreeni 35 ml:ssa [mg]	Bentso(a)pyreeni 35 ml:ssa [mg]	Naftaleeni keskiarvo	Fenantreeni keskiarvo	Bentso(a)pyreeni keskiarvo		
OM1	0,0038	0,0047	0,0053	0,0269	0,0332	0,0370					
OM2	0,0038	0,0047	0,0053	0,0269	0,0332	0,0370		0,033	0,037		
OM3	0,0038	0,0047	0,0053	0,0269	0,0332	0,0370					
Pitoisuus maaperässä desorptiokokeen jälkeen											
Analyysitulokset, Maa loppu kuiva-ainetta kohti											
Näyte	kuivapaino [g]	Naftaleeni [mg/g]	Fenantreeni [mg/g]	Bentso(a)pyreeni [mg/g]	Naftaleeni [mg]	Fenantreeni [mg]	Bentso(a)pyreeni [mg]				
OM1	8,0	0,0090	0,0114	0,0133	0,0717	0,0916	0,1063				
OM2	8,0	0,0090	0,0117	0,0124	0,0719	0,0940	0,0989				
OM3	8,0	0,0090	0,0115	0,0136	0,0717	0,0921	0,1090				
Näytteiden saanto desorptiokokeen jälkeen:											
Kok. Naftaleeni		Kok. Naftaleeni	Kok. Naftaleeni	Kok. Naftaleeni	Naftaleeni	Kok. Fenantreeni	Kok. Fenantreeni	Kok. Fenantreeni	Kok. Fenantreeni	Fenantreeni	Kok. Fenantreeni
maaperässä		Tenax	vedessä	maaperässä	Saanto %	maaperässä	alussa [mg]	lopussa [mg]	Tenax	vedessä	maaperässä
Näyte	alussa [mg]	lopussa [mg]	lopussa [mg]	lopussa [mg]							
OM1	0,0607	0,0311	0,0269	0,0717	213,51	0,1590	0,0370	0,0332	0,0916	0,0332	101,76
OM2	0,0581	0,0314	0,0269	0,0719	224,26	0,1474	0,0390	0,0332	0,0940	0,0332	112,73
OM3	0,0568	0,0296	0,0269	0,0717	225,68	0,1153	0,0374	0,0332	0,0921	0,0332	141,16
											keskiarvo:
											118,55
Kok. Bentso(a)pyreeni		Kok. Bentso(a)pyreeni	Kok. Bentso(a)pyreeni	Kok. Bentso(a)pyreeni	Kok. Bentso(a)pyreeni	Kok. Bentso(a)pyreeni	Bentso(a)pyreeni				
maaperässä		Tenax	vedessä	maaperässä	Saanto %	maaperässä	Saanto %				
Näyte	alussa [mg]	lopussa [mg]	lopussa [mg]	lopussa [mg]							
OM1	0,1738	0,0339	0,0370	0,1063	102,01	0,0989	125,49				
OM2	0,1361	0,0349	0,0370	0,0989	164,60	0,1090	130,70				
OM3	0,1095	0,0342	0,0370	0,1090	keskiarvo:						
											130,70

Nollanäytteiden laskentatulokset: näytemaa 2

Desorptiokoe																				
Desorptiokokeen näytteet																				
NÄYTEMAA 2																				
Näyte		Kuivapaino [g]		Analyysitulokset, Maa alku		Maa alku 8 g:ssa														
OM1L	OM2L	8,0	8,0	Naftaleeni [mg/g]	Fenantreeni [mg/g]	Bentso(a)pyreeni [mg/g]	Bentso(a)pyreeni [mg]	Fenantreeni [mg]	Bentso(a)pyreeni [mg]	Fenantreeni [mg]	Bentso(a)pyreeni [mg]	Fenantreeni [mg]	Bentso(a)pyreeni [mg]	Fenantreeni [mg]	Bentso(a)pyreeni [mg]	Fenantreeni [mg]	Bentso(a)pyreeni [mg]	Fenantreeni [mg]	Bentso(a)pyreeni [mg]	
		0,0064	0,0064	0,0079	0,0079	0,0088	0,0511	0,0633	0,0705	0,0633	0,0705									
		0,0064	0,0064	0,0079	0,0079	0,0088	0,0511	0,0633	0,0705	0,0633	0,0705									
Desorptiokokeen data																				
Näyte		Tuntia alusta [h]		Päivä/aika		Aika [d]		Analyysitulokset, Tenax		Desorptiokokeen data		Desorptiokokeen data		Desorptiokokeen data		Desorptiokokeen data		Desorptiokokeen data		
OM1L	OM2L	0	0	16.11.2015	10:00	0	0	Naftaleeni	Fenantreeni	Naftaleeni	Fenantreeni	Naftaleeni	Fenantreeni	Naftaleeni	Fenantreeni	Naftaleeni	Fenantreeni	Naftaleeni	Fenantreeni	
		0	0	16.11.2015	10:00	0	0	0,0040	0,0040	0,0048	0,0048	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040
		4	4	16.11.2015	14:00	0,17	0,17	0,0040	0,0040	0,0048	0,0048	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040
		4	4	16.11.2015	14:00	0,17	0,17	0,0040	0,0040	0,0048	0,0048	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040
		96	96	20.11.2015	10:00	4	4	0,0041	0,0041	0,0048	0,0048	0,0041	0,0041	0,0041	0,0041	0,0041	0,0041	0,0041	0,0041	0,0041
		96	96	20.11.2015	10:00	4	4	0,0041	0,0041	0,0048	0,0048	0,0041	0,0041	0,0041	0,0041	0,0041	0,0041	0,0041	0,0041	0,0041
		240	240	26.11.2015	10:00	10	10	0,0039	0,0039	0,0047	0,0047	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039
		240	240	26.11.2015	10:00	10	10	0,0039	0,0039	0,0047	0,0047	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039
Maaperästä poistetut partikkelit																				
Näyte	Naftaleeni [mg]	Fenantreeni [mg]	Bentso(a)pyreeni [mg]	Naftaleeni	Fenantreeni	Bentso(a)pyreeni	Aika [h]	Naftaleeni	Fenantreeni	Bentso(a)pyreeni	Aika [h]	Naftaleeni	Fenantreeni	Bentso(a)pyreeni	Aika [h]	Naftaleeni	Fenantreeni	Bentso(a)pyreeni	Aika [h]	
OM1L	0,0511	0,0633	0,0705	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
OM2L	0,0511	0,0633	0,0705	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
OM1L	0,05	0,06	0,07	0,92196	0,92491	0,92500	4	0,92196	0,92491	0,92500	4	0,92196	0,92491	0,92500	4	0,92196	0,92491	0,92500	4	
OM2L	0,05	0,06	0,07	0,92207	0,92449	0,92500	4	0,92207	0,92449	0,92500	4	0,92207	0,92449	0,92500	4	0,92207	0,92449	0,92500	4	
OM1L	0,04	0,05	0,06	0,84400	0,84984	0,84996	96	0,84400	0,84984	0,84996	96	0,84400	0,84984	0,84996	96	0,84400	0,84984	0,84996	96	
OM2L	0,04	0,05	0,06	0,84269	0,84923	0,84998	96	0,84269	0,84923	0,84998	96	0,84269	0,84923	0,84998	96	0,84269	0,84923	0,84998	96	
OM1L	0,04	0,05	0,05	0,76839	0,77487	0,77496	240	0,76839	0,77487	0,77496	240	0,76839	0,77487	0,77496	240	0,76839	0,77487	0,77496	240	
OM2L	0,04	0,05	0,05	0,76712	0,77423	0,77497	240	0,76712	0,77423	0,77497	240	0,76712	0,77423	0,77497	240	0,76712	0,77423	0,77497	240	
Keskiarvo																				
Näyte	Naftaleeni [mg]	Fenantreeni [mg]	Bentso(a)pyreeni [mg]	Naftaleeni	Fenantreeni	Bentso(a)pyreeni	Aika [h]	Naftaleeni	Fenantreeni	Bentso(a)pyreeni	Aika [h]	Naftaleeni	Fenantreeni	Bentso(a)pyreeni	Aika [h]	Naftaleeni	Fenantreeni	Bentso(a)pyreeni	Aika [h]	
OM1L	0,0511	0,0633	0,0705	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
OM2L	0,0511	0,0633	0,0705	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
OM1L	0,05	0,06	0,07	0,92196	0,92491	0,92500	4	0,92196	0,92491	0,92500	4	0,92196	0,92491	0,92500	4	0,92196	0,92491	0,92500	4	
OM2L	0,05	0,06	0,07	0,92207	0,92449	0,92500	4	0,92207	0,92449	0,92500	4	0,92207	0,92449	0,92500	4	0,92207	0,92449	0,92500	4	
OM1L	0,04	0,05	0,06	0,84400	0,84984	0,84996	96	0,84400	0,84984	0,84996	96	0,84400	0,84984	0,84996	96	0,84400	0,84984	0,84996	96	
OM2L	0,04	0,05	0,06	0,84269	0,84923	0,84998	96	0,84269	0,84923	0,84998	96	0,84269	0,84923	0,84998	96	0,84269	0,84923	0,84998	96	
OM1L	0,04	0,05	0,05	0,76839	0,77487	0,77496	240	0,76839	0,77487	0,77496	240	0,76839	0,77487	0,77496	240	0,76839	0,77487	0,77496	240	
OM2L	0,04	0,05	0,05	0,76712	0,77423	0,77497	240	0,76712	0,77423	0,77497	240	0,76712	0,77423	0,77497	240	0,76712	0,77423	0,77497	240	
Keskiarvo																				
Näyte	Naftaleeni [mg]	Fenantreeni [mg]	Bentso(a)pyreeni [mg]	Naftaleeni	Fenantreeni	Bentso(a)pyreeni	Aika [h]	Naftaleeni	Fenantreeni	Bentso(a)pyreeni	Aika [h]	Naftaleeni	Fenantreeni	Bentso(a)pyreeni	Aika [h]	Naftaleeni	Fenantreeni	Bentso(a)pyreeni	Aika [h]	
OM1L	0,0511	0,0633	0,0705	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
OM2L	0,0511	0,0633	0,0705	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
OM1L	0,05	0,06	0,07	0,92196	0,92491	0,92500	4	0,92196	0,92491	0,92500	4	0,92196	0,92491	0,92500	4	0,92196	0,92491	0,92500	4	
OM2L	0,05	0,06	0,07	0,92207	0,92449	0,92500	4	0,92207	0,92449	0,92500	4	0,92207	0,92449	0,92500	4	0,92207	0,92449	0,92500	4	
OM1L	0,04	0,05	0,06	0,84400	0,84984	0,84996	96	0,84400	0,84984	0,84996	96	0,84400	0,84984	0,84996	96	0,84400	0,84984	0,84996	96	
OM2L	0,04	0,05	0,06	0,84269	0,84923	0,84998	96	0,84269	0,84923	0,84998	96	0,84269	0,84923	0,84998	96	0,84269	0,84923	0,84998	96	
OM1L	0,04	0,05	0,05	0,76839	0,77487	0,77496	240	0,76839	0,77487	0,77496	240	0,76839	0,77487	0,77496	240	0,76839	0,77487	0,77496	240	
OM2L	0,04	0,05	0,05	0,76712	0,77423	0,77497	240	0,76712	0,77423	0,77497	240	0,76712	0,77423	0,77497	240	0,76712	0,77423	0,77497	240	

Nollanäytteiden laskentatulokset: näytemaa 2

Pitoisuus vedessä desorptiokokeen jälkeen											
Analyysitulokset		Vesi loppu 5 ml:ssa		Koko putken tilavuudessa							
Naftaleeni		Fenantreeni		Naftaleeni		Fenantreeni		Naftaleeni		Fenantreeni	
5 ml:ssa [mg/ml]		5 ml:ssa [mg/ml]		35 ml:ssa [mg]		35 ml:ssa [mg]		keskiarvo		keskiarvo	
OM1L	0,0038	0,0047	0,0053	0,0269	0,0332	0,0370	0,0370				
OM2L	0,0038	0,0047	0,0053	0,0269	0,0332	0,0370	0,0370	0,027	0,033	0,037	0,037
Pitoisuus maaperässä desorptiokokeen jälkeen											
Analyysitulokset, Maa loppu kuiva-ainetta kohti											
Näytteen		Naftaleeni		Bentso(a)pyreeni		Naftaleeni		Fenantreeni		Bentso(a)pyreeni	
kuivapaino [g]		[mg/g]		[mg/g]		[mg]		[mg]		[mg]	
OM1L	8,0	0,0090	0,0111	0,0124	0,0717	0,0888	0,0989				
OM2L	8,0	0,0090	0,0111	0,0124	0,0717	0,0888	0,0989				
Näytteiden saanto desorptiokokeen jälkeen:											
Kok. Naftaleeni		Kok. Naftaleeni		Kok. Naftaleeni		Naftaleeni		Kok. Fenantreeni		Kok. Fenantreeni	
maaperässä		Tenax		vedessä		maaperässä		Saanto %		Saanto %	
alussa [mg]		lopussa [mg]		lopussa [mg]		lopussa [mg]		lopussa [mg]		lopussa [mg]	
OM1L	0,0511	0,0118	0,0269	0,0717	216,03	0,0143	0,0143	0,0332	0,0888	0,0888	215,18
OM2L	0,0511	0,0119	0,0269	0,0717	216,15	0,0143	0,0143	0,0332	0,0888	0,0888	215,33
				keskiarvo:		keskiarvo:				keskiarvo:	
				216,09		216,09				215,26	
Kok. Bentso(a)pyreeni		Kok. Bentso(a)pyreeni		Kok. Bentso(a)pyreeni		Kok. Bentso(a)pyreeni		Kok. Bentso(a)pyreeni		Kok. Bentso(a)pyreeni	
maaperässä		Tenax		vedessä		maaperässä		Saanto %		Saanto %	
alussa [mg]		lopussa [mg]		lopussa [mg]		lopussa [mg]		lopussa [mg]		lopussa [mg]	
OM1L	0,0705	0,0159	0,0370	0,0989	215,25	0,0989	0,0989	215,25	215,25	215,25	215,25
OM2L	0,0705	0,0159	0,0370	0,0989	215,25	0,0989	0,0989	215,25	215,25	215,25	215,25
				keskiarvo:		keskiarvo:				keskiarvo:	
				215,25		215,25				215,25	