

1 Johdanto

1.1 Tausta

Helsingissä on useita kymmeniä täyttömaa-alueita, joiden maaperä saattaa sisältää ympäristölle ja terveydelle haitallisia aineita. Täyttöalueet sijaitsevat eri puolilla Helsinkiä eikä niiden täyttömateriaaleista ole riittävästi tietoa. Kuitenkin alueita on täytetty Helsingissä jo 1800-luvulla. Tärkeimmät syyt alueiden täyttöön ovat olleet ja ovat yhä rakentamisen yhteydessä syntyneen ylijäämämaan sijoitus, uuden maan valtaaminen mereltä tai maa-alueen saattaminen rakentamiskelpoiseksi. Ylijäämämassoilla on täytetty muun muassa vanhoja sorakuoppia ja pehmeikköjä, jotta alueille on voitu rakentaa esimerkiksi asuntoja ja muita rakennuksia sekä viheralueita. Myös merenranta-alueita on laajennettu täyttömaan avulla rakentamista varten.

Täyttöön on käytetty erilaisia ylijäämämaita ja -massoja sekä teollisuuden sivutuotteita. Läjitysmaikoille on myös saatettu kuntalaisten tai muiden toiminnanharjoittajien toimesta sijoittaa myös jätettä, josta on haluttu päästä eroon. Tarkkaa tietoa täyttömaiden koostumuksesta tai niiden sisältämistä aineista ei ole. Maa-massat saattavat sisältää teollisuuden käyttämiä kemikaaleja ja rakennus- sekä muita jätteitä. Täyttöalueista ja niiden sisältämistä materiaaleista ei ole pidetty yllä minkäänlaista tietokantaa tai rekisteriä.

1.2 Tutkimuksen tavoite

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää pohjavesitutkimuksella kahden Helsingissä sijaitsevan täyttömaa-alueen maaperän tilaa, jotta saataisiin alustavaa tietoa täyttömaa-alueiden sisältämistä ja sieltä pois kulkeutuvista haitta-aineista. Tavoitteena oli tutkia täyttömateriaalista pohjaveteen liukenevien haitta-aineiden laatu ja määrä, jotta saataisiin tietoa täyttöalueiden ympäristölle mahdollisesti aiheuttamasta riskistä. Tarkoituksena oli selvittää mahdollinen jatkotutkimusten tarve jo tutkituilla täyttöalueilla ja arvioida, tarvitaanko tutkimuksia myös muilla Helsingissä sijaitsevilla täyttöalueilla. Tutkimus on jatkoa Helsingin ympäristökeskuksen tekemälle Helsingin alueella sijaitsevia täyttöalueita ja niiden ympäristöriskejä kartoittaneelle tutkimukselle (Immonen 2001).

2 Täyttöalueiden ympäristövaikutukset

2.1 Yleistä

Täyttöalueet ovat mahdollisia saastuneita maa-alueita. Alueiden maaperässä voi olla lähes kaikkia jätteiden ja kemikaalien sisältämiä haitta-aineita, joita on ollut käytössä 1800-luvun alun jälkeen, koska maa-aineksen läjitystä on tehty Helsingin alueella jo yli sadan vuoden ajan. Kuitenkin vasta viime aikoina ollut saatavilla tietoa maa-ainesten sisältämisestä haitta-aineista, niiden leviämisestä ympäristöön ja vaikutuksista siellä. Myöskään haitta-aineiden vaikutuksista kasvustoon, eliöstöön tai ihmisen terveyteen ei aiemmin ole ollut riittävästi tietoa.

Täyttöön käytetyn maan ja muun aineksen tarkasta koostumuksesta ja alkuperästä ei ole juuri lainkaan tietoa saatavilla. Maat voivat sisältää materiaaleja, joista rapautumisen ja liukenemisen seurauksena joutuu ympäristöön vähitellen haitallisia metalleja, öljyjä tai kemikaaleja. Aineita voi kulkeutua maaperästä vesistöihin tai suotautua pohjaveteen. Maaperä voi sisältää myös biokertyviä ravintoketjussa rikastuvia yhdisteitä, jotka kertyvät eliöihin ja lopulta ravinnon mukana ihmiseen. Myös kasveihin voi rikastua suuria pitoisuuksia normaalisti hivenaineina toimivia tai jopa kasveille tarpeettomia alkuaineita, jotka ovat suurina pitoisuuksina haitallisia sekä kasveille, että niitä syöville eliöille.

Täyttömaat voivat sisältää ympäristölle haitallisia pitoisuuksia alkuaineita esim. raskasmetalleja ja tunnettuja, joko käytössä olevia tai jo käytöstä poistettuja yhdisteitä ja kemikaaleja. Kaiken lisäksi täytön koostumus on täysin aluekohtainen, eikä eri alueiden tutkimustuloksia voi soveltaa toisiinsa kuin suuntaa antavasti, jollei alueiden täytön samankaltaisuudesta ole varmuutta. Täyttöalueiden ympäristövaikutuksista ei toistaiseksi ole tarkkaa, yleispätevää tietoa, joten niiden ympäristöriskinarviointi on tehtävä kohdekohtaisesti.

2.2 Täyttömateriaalit

Täyttömateriaaleina täyttöalueilla on käytetty ylijäämämassoja kuten louhinta-, kaivu- ja ruoppausmassoja, rakennusjätettä ja teollisuuden sivutuotteita. Kaivumassat koostuvat yleensä talojen ja teiden pohjarakennustoissa syntyneestä sekalaisesta maa-aineksesta ja louhintamassat kallioulouheesta. Ruoppausmassoilla

tarkoitetaan esim. ranta- ja laivaväylärakentamisessa ruopattua merenpohjasta poistettua maa-ainesta, joka on usein sijoitettu meriläjitysalueille. Täytöissä käytetty rakennusjäte on kivipohjaista materiaalia, kuten tiili- tai betonimurskaa sekä asfalttia. Teollisuuden sivutuotteista sijoitetaan täyttöalueille lähinnä energiantuotannossa syntynyttä ylijäämääainesta kuten kivihiihenpoltossa syntyvää pohja- ja lentotuhkaa sekä rikinpoiston lopputuotteita, joita on sijoitettu Helsingissä useisiin eri täyttökohteisiin. Täyttöalueille on voitu luvanvaraisesti sijoittaa myös rengasrouhetta tai kokonaisia renkaita. Lisäksi alueille on voitu viedä luvattomasti kaikenlaista romua ja jätettä. (Immonen 2001.)

2.3 Täyttöalueilla mahdollisesti esiintyvät haitta-aineet

Voimalaitosteollisuudessa syntyy sivutuotteina hiilen ja tuhkan poltossa lentotuhkaa, pohjatuhkaa ja pohjakuonaa sekä rikinpoiston lopputuotteita. Näitä kaikkia on mahdollisesti käytetty Helsingin täyttöalueiden täytössä. Tuhkat ja kuonat koostuvat pääosin piin, alumiinin ja raudan yhdisteistä. Lisäksi niissä on kalsiumia (Ca), magnesiumia (Mg), kaliumia (K) ja natriumia (Na) sekä pieniä määriä hivenaineita ja raskasmetalleja esim. As, Cd, Cr, Cu, Mo, Ni, Se, Hg, Pb ja Zn. Alkuaineet esiintyvät lähinnä silikaatteina, oksideina, sulfaatteina ja karbonaatteina. Silikaatteihin ja kiteisessä muodossa oleviin raudan oksideihin sitoutuneet metallit eivät yleensä normaalioloissa liukene. Suurin osa liukenevista metalleista on peräisin tuhka- ja kuonapinnalle sitoutuneista yhdisteistä. Raskasmetallipitoisuudet ovat yleensä korkeammat lento- kuin pohjatuhkassa. Tuhkien ja kuonien koostumus vaihtelee käytetyn polttotekniikan mukaan. Niiden on todettu sisältävän muun muassa orgaanisia haitta-aineita kuten PAH- ja PCB-yhdisteitä. Rikinpoistotuotteissa ja lentotuhkassa voi esiintyä runsaasti klorideja ($-\text{Cl}$), mutta myös muita suoloja kuten sulfaatteja ($-\text{SO}_4$), nitraatteja ($-\text{NO}_3$) ja nitriittejä ($-\text{NO}_2$) on todettu. (Heikkinen 2000)

Myös muita haitta-aineita voi esiintyä täyttömaa-alueilla ja mahdollisesti niiden ympäristössä täyttömateriaalin koostumuksesta riippuen. Alueille tuodun rakennus- ja muun jätteen mukana on maaperään voinut joutua kemikaaleja, maaleja, öljyjä ja metalleja, jotka ajan kuluessa vähitellen rapautuvat ja ominaisuuksiensa mukaisesti joko haihtuvat maan huokosiin ja kulkeutuvat sitä kautta ilmakehään,

sitoutuvat maa-ainekseen tai liukenevat maaveteen ja liikkuvat maassa vesifaasin mukana. Mahdollisia maahan täyttöaineksesta vapautuneita haitta-aineita ovat muun muassa orgaaniset yhdisteet kuten polyaromaattiset hiilivedyt (PAH), orgaaniset klooria sisältävät yhdisteet esim. polyklooratut bifenyyliä (PCB) ja haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC). Maassa voi olla myös raskasmetalleja ja maasta suotautuvassa vedessä liuenneina yhdisteitä, jotka aiheuttavat veteen korkeita ionien esim. kloorin (Cl^-) pitoisuuksia. Täyttöalueille tuotujen maalien ja öljyn mukana maahan on voinut lisäksi joutua niiden epäpuhtauksina esiintyviä metalleja ja liuotainaineita. Öljypohjaiset maalit, bensiini ja muut liuottimet ovat sinällään myös mahdollinen täyttömaa-alueiden maaperän likaantumisen aiheuttaja.

2.4 Haitta-aineiden ominaisuuksia

2.4.1 Yleistä

Haitta-aineiden määrä ja se, mitä aineita täyttöalueen maaperässä esiintyy voi vaihdella runsaastikin alueen täyttöön käytetyn materiaalin koostumuksen ja ominaisuuksien mukaan. Täyttöalueiden maaperän haitta-aineista on saatu tietoa aluekohtaisesti rakentamisen yhteydessä tehdyissä tutkimuksissa (esim. Arabianranta). Täyttöalueiden maaperän mahdollisista haitta-aineista, niiden määrästä ja laadusta ei ole esittää muuta tietoa kuin oletuksia ennen kohdealueen maaperätutkimuksia. Seuraavassa on kuvattu lyhyesti yleisimpien ja tässä tutkimuksessa analysoitujen pohjavesinäytteissä mahdollisesti esiintyvien haitta-aineiden ominaisuuksia ja ympäristövaikutuksia sekä käyttäytymistä maaperässä.

2.4.2 Alkuaineet

Alkuaineiden haitallisuuteen ympäristössä vaikuttaa niiden esiintymismuoto ja sen kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet. Alkuaineet voivat esiintyä ympäristössä alkuainemuodossa, komplekseihin sitoutuneina tai yhdisteinä. Ne voivat esiintymismuotonsa ominaisuuksiensa mukaan sitoutua maahan, kulkeutua veden mukana tai haihtua ilmaan. Esimerkiksi vedessä monet alkuaineet esiintyvät ioni-muodossa. Eri esiintymismuodoissaan alkuaine voi olla hyvinkin erilainen muun muassa sitoutumistaipumukseltaan, mikä vaikuttaa selvästi aineen kulkeutumiseen ympäristössä. Maaperässä alkuaineista haitallisimpina pidetään raskasmetalleja, jotka ovat suurina pitoisuuksina eliöille myrkyllisiä.

Maaperässä haitta-aineinakin toimivat alkuaineet voivat olla kationinvaihdon avulla sitoutuneina maahiukkasten pinnoille, sitoutuneina maan orgaaniseen ainekseen esim. kompleksinmuodostuksella tai kiinnittyneinä maan oksidien pinnoille. Aineiden taipumus sitoutua juuri tiettyyn maan komponenttiin vaihtelee aineen esiintymismuodon ja maassa vallitsevien olosuhteiden mukaan. Myös maan ominaisuudet kuten maalaji, orgaanisen aineksen pitoisuus ja oksidien määrä vaikuttavat oleellisesti aineiden sitoutumiseen tai sitoutumispaikkojen puuttuessa aineiden liikkumiseen maassa tai kulkeutumiseen maaperästä pohjaveteen. Myös haitta-aineesta ympäristölle aiheutuvan riskin suuruus on oleellisesti sidoksissa aineen sitoutumisvoimakkuuteen maassa. Voimakkaasti maan mineraalien rakenteeseen sitoutuneet aineet eivät normaaliolosuhteissa liiku, mutta maan olosuhteiden kuten pH:n muuttuessa esimerkiksi kationinvaihdolla maahiukkasten pinnoille sitoutuneet aineet voivat lähteä liikkeelle maassa. Tästä voi olla seurauksena maaperän tai jopa pohjaveden saastuminen, jos haitta-ainetta esiintyy maassa kyllin suurena pitoisuutena.

2.4.3 Orgaaniset yhdisteet

Orgaanisia yhdisteitä vapautuu maaperään bioaineksen hajoamisen seurauksena. Aerobisissa oloissa mikrobit hajottavat orgaanisia molekyylejä metaboliassaan ja käyttävät niitä hiilen- ja energianlähteenään (mineralisaatio). Hajotuksen lopputuotteena jää jäljelle pääosin epäorgaanisia hajoamistuotteita, jotka taas siirtyvät maahan. Maan mikrobit eivät kuitenkaan pysty tehokkaasti hyödyntämään kaikkia synteettisesti valmistettuja orgaanisia yhdisteitä, jotka sisältävät esim. halogeeneja, koska niitä ei normaalisti esiinny luonnossa. Tällaiset yhdisteet kertyvät vähitellen maaperään ja osa niistä biokertyvinä rikastuu eliöihin ja lopulta jopa ihmiseen. Yhdisteet saattavat kuitenkin osittain hajota mikrobien toimesta, mutta silloin voi muodostua myös alkuperäistä yhdistettä haitallisempia välituotteita, joiden hajotukseen tarvittava entsyymi mikrobeilta puuttuu. Eräät orgaaniset haitta-aineet kuten PCB:t ovat tyypillisesti terveydelle vaarallisia ja ravintoketjussa rikastuvia yhdisteitä eivätkä ne hajoa mikrobiologisesti juuri lainkaan.

Maassa aineiden hajoamisnopeuteen vaikuttavat oleellisesti siellä vallitsevat olosuhteet ja maan ominaisuudet. Hajottajina toimivat mikrobit tarvitsevat riittävästi

vettä, lämpöä ja ravinteita. Myös ympäristön pH:n tulee olla niiden toiminnalle sopivissa rajoissa. Runsaasti orgaanista ainesta sisältävässä maassa mikrobit viihtyvät hyvin. Myös maan happitilanne vaikuttaa mikrobien toimintaan, koska osittain eri mikrobipopulaatiot toimivat aerobisissa ja anaerobisissa olosuhteissa. Osa mikrobeista on myös fakultatiivisesti anaerobisia, mikä mahdollistaa niiden toiminnan sekä hapellisissa että hapettomissa oloissa. Aineiden hajoaminen ympäristön kannalta haitattomiksi lopputuotteiksi riippuu siis myös maassa toimivista mikrobipopulaatioista ja niiden ominaisuuksista. Monet orgaaniset aineet hajoavat mikrobiologisen hajotuksen lisäksi UV-valon vaikutuksesta. Tällaisia suhteellisen nopeasti hajoavia aineita ovat molekyylikooltaan pienet poolittomat hiilivedyt l. mineraaliöljyt ja PAH-yhdisteet.

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC)

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC) ovat orgaanisia yhdisteitä, joiden höyrynpaine on niin korkea, että ne esiintyvät normaaliolosuhteissa kaasumaisina yhdisteinä. Haihtuvia orgaanisia yhdisteitä ovat mm. aldehydit, alkoholit, fenolit, ketonit ja terpeenit. Tässä tutkimuksessa vesinäytteistä analysoitiin seuraavien VOC-yhdisteiden pitoisuus: MTBE, kloroformi, 1,2-dikloorietaani, bentseeni, tetrakloorimetaani, TAME, trikloorietaani, bromidikloorimetaani, tolueeni, dibromidikloorimetaani, tetrakloorietaani, etyylibentseeni, 1,4-ksyleeni, bromoformi ja 1,2-ksyleeni.

Sitoutuvat orgaaniset halogeenit (AOX)

AOX eli "adsorbable organic halogens" ilmaisee (jäte)veden eloperäisiin eli orgaanisiin yhdisteisiin sitoutuneen kloorin kokonaismäärän (summaparametri). AOX-menetelmällä mitataan kaikki klooriyhdisteet tekemättä eroa haitallisten ja haitattomien välillä. AOX:sta käytetään myös nimitystä absorboituvat orgaaniset halogeeniyhdisteet.

Polyaromaattiset hiilivedyt (PAH)

Polysyklisiä aromaattisia hiilivetyjä (PAH) on identifioitu 40 yhdistettä. Monet niistä ovat karsinogeenisia. Yleensä PAH-yhdisteissä on 3-10 yhteen liittynyttä bentseenirengasta. Terveiden kannalta haitallisimmat ovat yhdisteet, joissa on

liittyneenä yhteen vähintään neljä bentseenirengasta. Karsinogeenisiksi on luokiteltu bentso(a)pyreeni, bentso(a)antraseeni, bentso(b)fluoranteeni, bentso(k)fluoranteeni, dibentso(a,h)antraseeni, indeno(1,2,3-c,d)pyreeni ja kryseeni (Assmuth 1997). Antraseeni, fenantreeni ja trifenyleeni ovat melko vaarattomia. PAH-yhdisteitä syntyy orgaanisten aineiden epätäydellisen palamisen seurauksena. Vesinäytteistä analysoitiin seuraavien PAH-yhdisteiden pitoisuuksia: naftaleeni, 2-metyylifenantreeni, 1-metyyli-naftaleeni, bifenyyl, 2,6-dimetyyli-naftaleeni, asenaftyleeni, asenafteeni, 2,3,5-trimetyyli-naftaleeni, fluoreeni, fenantreeni, antraseeni, 1-metyylifenantreeni, fluoranteeni, pyreeni, bentso(a)antraseeni, kryseeni, bentso(b)fluoranteeni, bentso(k)fluoranteeni, bentso(e)pyreeni, bentso(a)pyreeni, peryleeni, indeno(1,2,3-cd)pyreeni, dibentso(a,h)antraseeni ja bentso(ghi)pery-leeni.

2.5 Riskinarviointi

Tässä tutkimuksessa ei tehdä varsinaista täyttöalueiden riskinarviointia, koska pelkkien pohjavesinäytteiden haitta-ainepitoisuuksien perusteella ei voida vetää kuin viitteitä antava johtopäätös täyttöalueiden aiheuttamasta ympäristöriskistä.

Täyttömaa-alueiden mahdollisesti sisältämistä haitta-aineista ympäristölle aiheutuva riski koostuu useista tekijöistä. Riskinarviossa on huomioitava alueen nykyinen ja tuleva käyttötarkoitus, täytön koostumus ja ominaisuudet, maassa ja pohjavedessä esiintyvät haitta-aineet ja haitta-aineiden kulkeutumisreitit. Maaperän osalta on selvitettävä maan ominaisuudet kuten maalaji ja orgaanisen aineksen pitoisuus sekä maan olosuhteet kuten pH ennen kuin haitta-aineiden liikkumisesta tai niiden ja niiden lähteen sijainnista voidaan vetää selkeitä johtopäätöksiä. Myös terveydelle aiheutuvat haitat ovat mahdollisia, joten ne on otettava huomioon. Täytön sisältämät haitta-aineet voivat joutua pohjaveteen, haihtua ilmaan ja kulkeutua eroosion mukana ympäristöön altistaen näin alueen asukkaat mahdollisesti terveydelle haitallisille aineille. Tässä tutkimuksessa ei pystytä näin kattavasti arvioimaan täyttömaa-alueiden aiheuttamaa ympäristö- ja terveysriskiä. Pohjavesinäytteiden avulla saadaan kuitenkin selville, liukeneeko täytöstä haitta-aineita, jotka kulkeutuvat pohjaveteen ja mahdollisesti muualle ympäristöön.

3 Tutkitut alueet

3.1 Yleistä

Tutkimuksen kohteeksi valittiin kaksi Helsingissä sijaitsevaa täyttömaa-aluetta: Iso-Sarvasto Laajasalossa ja Kukkaniityntie Vartiokylässä. Tutkittavien alueiden valinta tehtiin niiden ympäristölle mahdollisesti aiheuttaman riskin perusteella. Arvioon ovat vaikuttaneet alueen täytön ajankohta, täyttöön käytetyt materiaalit, täyttöalueen sijainti, pintamateriaali ja alueen nykyinen käyttö. Täyttömateriaalin koostumuksen perusteella voitiin arvioida mahdollisten haitta-aineiden esiintymisen todennäköisyyttä alueiden maaperässä. Alustava tutkimussuunnitelma on esitetty täyttömaa-alueita ja niiden mahdollisia ympäristöriskejä kartoittaneessa Helsingin ympäristökeskuksen julkaisussa 7/2001 (Immonen 2001). Kartat tutkituista täyttömaa-alueista ovat karttaliitteissä 1 ja 2.

3.2 Laajasalo, Iso-Sarvasto

Täyttöalue on laaja ja pääosin nurmipintainen. Sen kokonaispinta-ala on noin 25 hehtaaria. Alue toimii pääosin ulkoilualueena, rannan puolella toimii venesatama ja täyttöalueen länsireunalla on asuintaloja. Ulkoilualueen ja venesataman muodostaman alueen yhteispinta-ala on noin 20 hehtaaria ja täytön paksuus yli kolme metriä. Loput viisi hehtaaria ovat asuinkäytössä. Täyttö on tehty liejun ja saven päälle. Alueelle on läjitetty maata 1960-luvulta alkaen. 1970-luvulla alueelle tuotiin rakennustyömaiden ylijäämämaita. (Immonen 2001.)

3.3 Vartiokylä, Kukkaniityntie

Alueen täytön ajankohdasta ja täyttöaineksen laadusta ei ole tietoa. Täytön koko on noin 2,3 hehtaaria, paksuus yli kolme metriä ja se on tehty turpeen ja saven päälle. Täyttö on todennäköisesti tehty lähialueiden asuinrakentamisen aikaan 1960- ja 1970-luvuilla. Täyttöalueella on kerrostaloasuntoja. Alueelta Kaukopäntie 11:n tontilla Mustapuroon purkautuvassa suotovedessä on havaittu ruostenväristä sakkaa ja purossa on näkyvissä selvä ruostesedimentti. Vuonna 1998 sedimentistä otetussa näytteessä todettiin keskimääräistä korkeampi raudan pitoisuus. (Immonen 2001.)

4 Aineisto ja menetelmät

4.1 Näytteenotto

Täyttöalueille asennettiin kesällä 2001 pohjavesinäytteenottoon soveltuvia muovisia siiviläputkia, joiden siiviläosa ulottui täytön koko vesikerroksen läpi. Putkia asennettiin yhteensä 13, neljä Vartiokylän ja yhdeksän Laajasalon alueelle. Näytteet otettiin pohjavesiputkista syyskuussa 2001. Jokaisesta putkesta otettiin huuh-telun jälkeen yksi vesinäyte analyysija varten. Iso-Sarvaston putkesta numero 9 ei saatu vettä riittävästi kaikkiin analyysiin.

Taulukko 1. Täytön paksuus näytepisteissä ja täytön alapinnan korkeustaso metreinä.

	Vartiokylä / Kukkaniittyntie				Laajasalo / Iso-Sarvasto								
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8	9
täytön paksuus	5,0	5,2	6,7	6,5	6,4	4,8	4,2	5,1	5,0	6,0	8,9	7,0	4,0
suhde merenpintaan	+7,2	+5,9	+8,0	+7,8	-3,9	-2,6	-1,5	-1,0	-0,2	-0,4	-3,8	-3,9	-1,5

4.2 Analyysit

Pohjavesinäytteet analysoitiin Helsingin ympäristökeskuksen laboratoriossa. Näytteistä määritettiin seuraavien alkuaineiden, ionien ja yhdisteiden pitoisuudet: alumiini (Al), arseeni (As), barium (Ba), beryllium (Be), kadmium (Cd), kromi (Cr), kupari (Cu), rauta (Fe), elohopea (Hg), mangaani (Mn), nikkeli (Ni), lyijy (Pb), vanadiini (V), sinkki (Zn), sulfaatti (SO_4^{2-}), kloridi (Cl^-) ja bromidi (Br^-) sekä mineraaliöljy, haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC), sitoutuvat orgaaniset halogeenit (AOX) ja polyaromaattiset hiilivedyt (PAH). Lisäksi määritettiin vesinäytteiden pH ja sähkönjohtavuus. Tutkittaviksi valittiin kaikkein yleisimpien ja täytössä käytettyjen materiaalien perusteella oletettavimmin suotovedessä esiintyvien ja pohjaveteen joutuvien haitta-aineiden pitoisuudet. Näiden yhdisteiden analyysien katsottiin antavan riittävän tiedon mahdollisten jatkotutkimusten tarpeen määrittämiseksi tutkituilla täyttömaa-alueilla. Analysoiduista PAH- yhdisteistä ja niiden ominaisuuksista on koottu tietoa liitetaulukkoon 5.

Analyysimenetelmät

Alkuaineiden (Al, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, Zn, V ja Be) määrittäminen tehtiin ICP-MS -menetelmällä (EPA 200.8). Elohopea analysoitiin atomiadsorbtiiospektrofotometrisesti (AAS) kylmähöyrytekniikkaa käyttäen (SFS-EN 1483:199). Muut menetelmät olivat: Fe (SFS5074, 5502), Mg (SFS 3044, 3018), sähkönjohtavuus (SFS-EN 27888), pH (SFS 3021), ionit Cl^- , Br^- , SO_4^{2-} (SFS-EN ISO 1030). ja AOX (SFS-EN 1485:199). PAH-yhdisteet määritettiin CH_2Cl_2 uutolla ja GC/MS-menetelmällä (MS 4) ja haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC) purge-and-trap/GC/MS:llä (MS 6). Mineraaliöljymäärittäminen tehtiin GC-FID:llä (KET4500298) alihankintana.

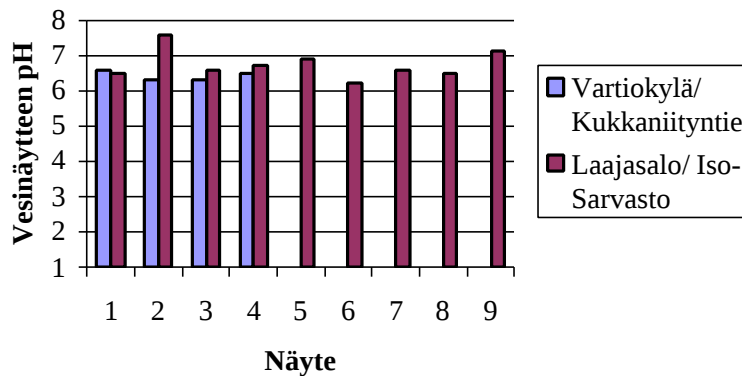
5 Tulokset ja tulosten tarkastelu

Vesianalyysitulosten tarkastelussa on käytetty tietolähteinä ja apuna pitoisuuksien suuruusluokan hahmottamisen helpottamiseksi sosiaali- ja terveysministeriön asetusta talousveden laatuvaatimuksista (Asetus 461/2000), Maailman terveysjärjestön (World Health Organization) juomaveden laadulle asettamia vaatimuksia (WHO 1996 ja 1998) ja Kanadan Brittiläisen Kolumbian veden laadulle asettamia kriteerejä (Government of British Columbia 1 ja 2 1998). Luettelo eri organisaatioiden veden laadulle antamista suositusarvoista on taulukkoliitteessä 4, samassa taulukossa on esitetty myös tutkittujen täyttöalueiden ainepitoisuuksien keskiarvot. Analyysitulokset on esitetty taulukkoliitteissä 1-3.

5.1 Alkuaineet, pH ja sähkönjohtavuus

Veden pH

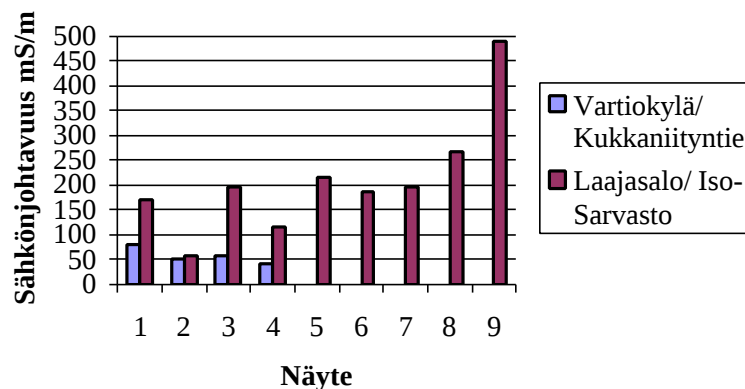
Vesinäytteiden pH-arvot vaihtelivat Vartiokylän Kukkaniityn täyttöalueelta otetuissa näytteissä välillä 6,3-6,5 ja Laajasalon Iso-Sarvaston täyttöalueella välillä 6,2-7,6. Keskimäärin vesinäytteiden pH oli hieman matalampi kuin talousvedelle Suomessa asetettu ohjearvo, jonka mukaan veden pH:n tulisi olla välillä 6,5-9,5. Veden pH:n keskiarvo Kukkaniityn täyttöalueella oli 6,4 ja Iso-Sarvaston alueella 6,7.



Kuvaaja 1. Veden pH

Veden sähkönjohtavuus

Veden sähkönjohtavuuden keskiarvo Kukkaniityn alueella oli 58 mS/m ja Iso-Sarvastossa 210 mS/m. Keskiarvot ovat alle vesijohtoveden ohjearvon ja vain yhdessä näytteessä sähkönjohtavuus on selvästi ohjearvoa suurempi. Iso-Sarvaston näytteen numero 9 sähkönjohtavuuden muista näytteistä poikkeava suuruus voi johtua näytepaikan sijainnista aivan merenrannan tuntumassa. Pohjavesiputkeen on voinut joutua merivettä, joka sisältää veden sähköjohtavuutta lisääviä ioneja kuten kloridia (Cl^{-1}). Pohjavesiputkien sijainti on kuvattu karttaliitteissä 1 ja 2.



Kuvaaja 2. Veden sähkönjohtavuus

Alkuaineet

Vesinäytteissä esiintyvien alkuaineiden ja ionien pitoisuuksien keskiarvot ja esimerkkejä suosituspitoisuuksista on koottu liitetaulukoon 4. Alkuaineiden ja ionien pitoisuudet olivat pieniä, pääosin alle Suomen lainsäädännössä talousvedelle asetettujen suositusrajojen. Rautaa (Fe) näytteissä kuitenkin oli runsaasti, keskiar-

vo Kukkaniityn alueella oli 11 mg/l ja Iso-Sarvastossa 16 mg/l. Erityisesti Iso-Sarvastosta otetussa näytteessä numero 8 rautapitoisuus oli korkea, mikä voi johtua täytössä pohjavesiputken lähellä mahdollisesti olevasta rautaa sisältävästä metallijätteestä.

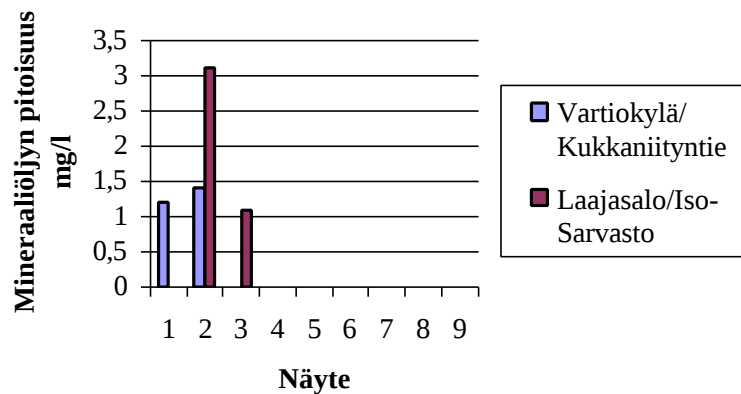
Taulukko 2. Alkuaineiden ja ionien pitoisuudet vesinäytteissä

		Vartiokylä / Kukkaniityntie				Laajasalo / Iso-Sarvasto								
		1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Al	mg/l	0,073	0,16	0,14	0,098	0,29	0,055	0,029	0,047	0,044	0,22	0,032	0,027	0,24
As	mg/l	0,003	0,002	0,003	0,003	0,002	0,006	0,008	0,008	0,007	0,023	0,003	0,015	0,005
Ba	mg/l	0,12	0,047	0,089	0,047	0,055	0,024	0,11	0,085	0,4	0,11	0,21	0,19	0,11
Be	mg/l	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Cd	mg/l	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Cr	mg/l	0,019	0,024	0,031	0,017	0,032	0,02	0,06	0,049	0,07	0,044	0,074	0,083	0,005
Cu	mg/l	0,003	0,003	0,002	0,002	0,004	0,009	0,001	0,002	0,002	0,004	0,002	0,002	0,014
Fe	mg/l	0,45	23	18	1,1	1,3	1,4	8,2	16	29	23	4,2	49	9,3
Hg	mg/l	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,0003	<0,0002	<0,0002	0,002
Mg	mg/l	26	11	15	13	36	9,2	55	25	66	40	78	89	95
Ni	mg/l	0,006	0,008	0,005	0,007	0,008	0,003	0,003	0,005	0,005	0,021	0,003	0,003	0,026
Pb	mg/l	0,001	0,001	0,001	<0,0005	0,001	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,002
V	mg/l	0,006	0,012	0,009	0,006	0,011	0,007	0,018	0,016	0,022	0,017	0,021	0,025	0,003
Zn	mg/l	0,11	0,094	0,048	0,041	0,028	0,009	0,011	0,014	0,032	0,57	0,015	0,01	0,038
Cl	mg/l	6	13	9,9	5,3	240	7,6	110	7,2	36	380	33	230	
Br	mg/l	<0,4	<0,4	0,4	<0,4	1	<0,4	0,8	<0,4	1,8	1,6	1	1,2	
SO4	mg/l	51	1,8	22	50	130	32	25	9,9	51	77	0,7	3	

5.2 Mineraaliöljy ja absorboituvat orgaaniset halogeeniyhdisteet (AOX)

Mineraaliöljyt

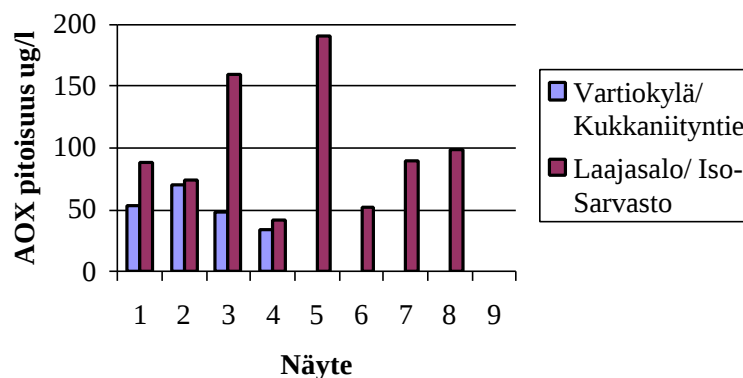
Mineraaliöljyn pitoisuuden keskiarvo Kukkaniityn näytteissä oli 1,3 mg/l ja Iso-Sarvaston näytteissä 2,1 mg/l. Varsinaista ohjearvoa pitoisuuksille ei ole, mutta öljystä ei saa kuitenkaan aiheutua hajuhaittaa tai sitä ei saa näkyä vedessä. Suomen talousveden teknillis-esteettisen laadun takaamiseksi sallittavia ainepitoisuuksia käsittelevän ohjeen mukaan öljyn pitoisuus vedessä saa olla vain 0,05 mg/l (Suomen säädöskokoelma 1994). Tämä arvo ylittyy selvästi niiden näytteiden osalta, joista mineraaliöljyä on löytynyt. Kuitenkin suurin osa näytteistä jäi öljypitoisuudeltaan menetelmän määrittämissä rajan 1 mg/l alapuolelle.



Kuvaaja 3. Mineraaliöljyn pitoisuus vesinäytteissä. Niissä näytteissä, joissa kuvaajaa ei näy lainkaan on öljyn pitoisuus alle 1 mg/l.

Absorboituvat orgaaniset halogeeniyhdisteet (AOX)

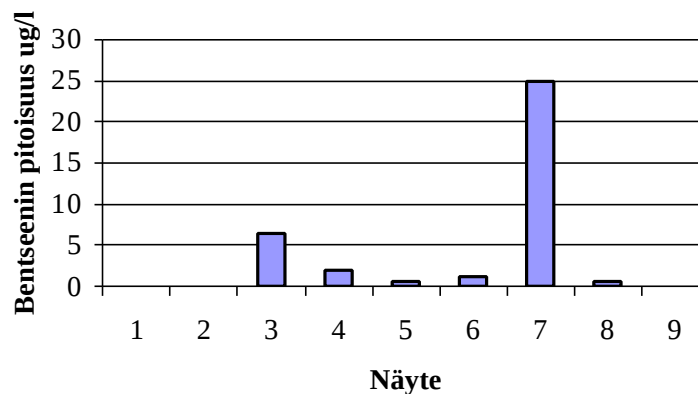
Sitoutuvien orgaanisten halogeenien eli käytännössä orgaanisiin yhdisteisiin sitoutuneen kloorin määrän oli keskimäärin suurempi Iso-Sarvaston kuin Kukkaniityn alueella. AOX-pitoisuuden keskiarvo Kukkaniityn alueella oli 51 µg/l ja Iso-Sarvastossa 99 µg/l. Analyysin perusteella ei voida tehdä eroa haitallisten ja haitattomien klooriyhdisteiden määrien välille. AOX-pitoisuuksien suuruus ei todennäköisesti selity meriveden kloorilla. AOX-pitoisuutta on mitattu Helsingin edustan merivedestä otetusta näytteestä, jossa pitoisuus oli 16 µg /l (Kuningas 2001). Tällöin meriveden epäorgaaninen kloridi oli poistettu näytteestä eli pitoisuus pitäisi olla AOX-pitoisuus. Tämä tulos oli melko pieni, koska esimerkiksi Päijänteen veden AOX-pitoisuus on samaa suuruusluokkaa.



Kuvaaja 4. AOX-pitoisuus vesinäytteissä. Laajasalon/Iso-Sarvaston näytteestä 9 ei vesinäytteen vähyyden vuoksi analysoitu lainkaan AOX-pitoisuutta.

5.3 Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC)

Täyttöalueilta otetuista pohjavesinäytteistä löytyi tutkituista VOC-yhdisteistä vain bentseeniä, TAME:ä, trikloorietaania (yhdestä näytteestä), tolueenia ja ksyleeniä (sekä 1,2- että 1,4-ksyleeni). Kaikkia näitä yhdisteitä löytyi hyvin pieninä pitoisuuksina Iso-Sarvaston alueen näytteistä, mutta Kukkaniitystä löytyi vain tolueenia. Kaikkien yhdisteiden pitoisuus oli alle 1 µg/l lukuun ottamatta bentseeniä, jonka keskiarvo Iso-Sarvaston alueella oli 6,0 µg/l ja suurin analysoitu pitoisuus jopa 25 µg/l. Bentseenille asetetut ohje-arvot ovat talousvedelle Suomessa 1 µg/l, Kanadassa vedenlaadun tavoitearvo 5 µg/l ja WHO:n juomaveden raja-arvo 10 µg/l. Nämä kaikki suositusarvot ylittyivät bentseenin kohdalla Iso-Sarvastosta otetussa näytteessä 7.

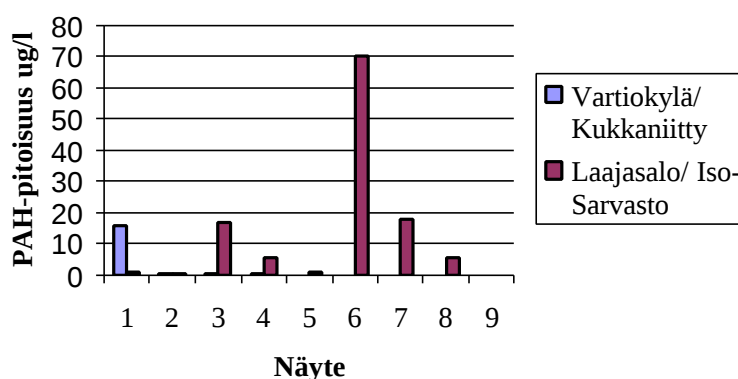


Kuvaaja 5. Bentseenin pitoisuus Iso-Sarvaston alueen pohjavesinäytteissä. Näytteestä 9 ei analysoitu VOC-yhdisteitä lainkaan veden määrän vähyyden vuoksi ja näytteissä 1 sekä 2 pitoisuus jäi alle toteamisrajan.

5.4 Polyaromaattiset hiilivedyt (PAH)

PAH-yhdisteitä löytyi pohjavesinäytteistä selviä pitoisuuksia sekä Kukkaniityn että Iso-Sarvasto täyttöalueelta. Kaikkia analysoituja yhdisteitä löytyi vähintäänkin kolmesta eri vesinäytteestä. Kanadassa veden laadulle asetetut eliöille fototoksisuutta tai kroonista toksisuutta aiheuttavia ohjepitoisuudet ylittyivät *naftaleenin*, *fenantreenin*, *antraseenin*, *pyreenin*, *bentso(a)antraseenin*, *kryseenin* ja *bentso(a)pyreenin* osalta. Naftaleenin määrä Iso-Sarvaston alueen näytteissä oli erityisen suuri, keskiarvo oli 9,622 µg/l, kun Kanadassa kootun tiedon mukaan yhdisteen vesieliöille kroonisesti toksisen pitoisuuden vedessä on määritetty olevan 1 µg/l.

PAH-yhdisteiden kokonaispitoisuus oli Kukkaniityn alueella pienempi kuin Iso-Sarvastossa, jossa kolmessa näytteessä yhteispitoisuus ylitti arvon 1 µg/l. Kukkaniityn vesinäytteissä PAH-yhdisteitä oli vain yhdessä näytteessä yli 1 µg/l. Yhdisteiden kokonaispitoisuus Kukkaniityn alueella oli 4,3 µg/l ja Iso-Sarvastossa 15 µg/l. Suositettu kokonaispitoisuus PAH-yhdisteille on Kanadassa käytössä olevien ohjearvojen mukaan 0,01 µg/l. Pitoisuus ylittyi selvästi molemmilla tutkituilla täyttöalueilla. Lisäksi Kukkaniityn alueen näytteissä ylittyi Suomessa talousvedelle ohjearvona käytetty PAH-yhdisteiden kokonaispitoisuus, joka lasketaan bentso(b)-fluoranteenin, bentso(k)pyreenin, indeno(1,2,3-cd)pyreenin ja bentso(ghi)-peryleenin yhteispitoisuutena. Pitoisuuden tulee talousvedessä ohjeen mukaan olla vain 0,1 µg/l. Kukkaniityn täyttöalueen vesinäytteissä näiden yhdisteiden yhteispitoisuus oli 1,71 µg/l.



Kuvaaja 6. PAH-yhdisteiden kokonaispitoisuus vesinäytteissä. Laajasalon/Iso-Sarvaston näytteestä 9 ei vesinäytteen vähyyden vuoksi analysoitu lainkaan PAH-yhdisteiden pitoisuuksia.

6 Johtopäätökset

Tutkittujen täyttöalueiden maaperästä kulkeutuu pohjaveteen haitallisia aineita, joiden lähteestä ei ole tietoa. Mahdollisia ympäristölle ja eliöille haittaa aiheuttavia aineita ovat pohjavedessä runsaina pitoisuuksina esiintyvät yhdisteet, joita Vartiokylän Kukkaniityn täyttöalueella olivat rauta (Fe) ja PAH-yhdisteet. Alueen vesinäytteistä löytyi myös karsinogeenisiksi luokiteltuja PAH-yhdisteitä bentso(a)antraseenia, bentso(a)pyreeniä ja kryseeniä. Iso-Sarvaston täyttöalueelta Laajasalosta otetuista vesinäytteistä todettiin korkeita raudan (Fe) ja PAH-

yhdisteiden pitoisuuksia sekä VOC-yhdisteistä bentseeniä. Myös Iso-Sarvaston alueelta löytyi karsinogeeniseksi luokiteltua bentso(a)pyreeniä. Lisäksi alueen pohjavedessä oli runsaasti naftaleenia. Edellä mainittujen yhdisteiden pitoisuudet ylittivät talousvedelle Suomessa asetetut ohjearvot selvästi ja PAH-yhdisteiden (naftaleeni, fenantreeni, antraseeni, pyreeni, bentso(a)antraseeni, kryseeni, bentso(e)pyreeni) osalta myös vesieliöille Kanadassa määritetyt fototoksisuuden tai kroonisen myrkyllisyyden rajat ylittyivät.

Tulosten perusteella tutkittujen täyttöalueiden maaperä sisältää ympäristölle ja terveydelle haitallisia aineita. Yhdisteiden aiheuttaman todellisen terveysriskin arviointi on tämän tutkimuksen perusteella kuitenkin vaikeaa, koska tietoa aineiden kulkeutumisesta ei vielä ole. Vain osa maaperässä esiintyvistä haitallisista yhdisteistä liukenee maaveteen ja sitä kautta pohjaveteen. Tämän vuoksi maassa voi esiintyä pohjavettä suurempia pitoisuuksia erityisesti heikosti veteen liukoisia haitta-aineita, jotka saattavat sitoutua maa-ainekseen ja kulkeutua vasta vähitellen esimerkiksi pintavalunnan mukana kulkeutuvassa maa-aineksessa tai eroosion mukana muualle ympäristöön. Erityisesti Laajasalon Iso-Sarvaston täyttöalueelta haitta-aineet voivat liueta pohjaveteen ja liikkua sen mukana, koska täyttö on suurelta osin meren pinnan alla. Meriveden ominaisuudet ovat hyvin erilaiset kuin makean veden, mikä voi vaikuttaa aineiden liukenemiseen täyttömateriaalista. Esimerkiksi meriveden natrium (Na) aiheuttaa maan rakenteen rikkoutumista ja voi näin vaikuttaa näin aineiden vapautumiseen maan rakenteista. Myös meriveden aiheuttama ionipitoisuuden kasvu voi vaikuttaa maassa esim. lisäämällä ionien vaihtuvuutta pois maahiukkasten vaihtopinnoilta maaveteen, jolloin myös haitallisia aineita voi siirtyä maan vesifaasiin ja tätä kautta pohjaveteen.

6.1 Suositus jatkotoimenpiteiksi

Tutkittujen täyttöalueiden koostumuksesta tulisi saada lisää tietoa, jotta alueelta pohjaveteen kulkeutuvien haitta-aineiden (päästö)lähteet voitaisiin selvittää. Myös todellista ympäristölle, eliöille ja ihmisten terveydelle täyttöalueilta vapautuvista aineista aiheutuvaa riskiä tulisi selvittää lisää sekä ottamalla maa- ja vesinäytteitä että tutkittavien alueiden täytön koostumusta ja historiallista taustaa tarkasti kartoittaen. Täytön koostumuksesta olisi tärkeää saada enemmän tietoa kuin täällä

hetkellä on käytössä. Myös mahdolliset ihmisten altistumisreitit täytön haitta-aineille tulisi selvittää perehtymällä täyttöalueiden käyttöön ja ihmisten toimintaan alueilla. Etenkin karsinogeenisten PAH-yhdisteiden osalta jatkotutkimukset ovat oleellisen tärkeitä, jos ihmisten altistuminen täytöstä liukeneville yhdisteille osoittautuu käytännössä mahdolliseksi ja todennäköiseksi.

Täyttöalueilta tulee tutkia maaperässä esiintyvät haitta-aineet ja niiden pitoisuudet niiden mahdollisten pistemäisten (päästö)lähteiden sijainnin selvittämiseksi, joista pohjaveteen liukenevat yhdisteet ovat peräisin. Maaperässä voi esiintyä selvästi vesinäytteistä analysoituja suurempia haitta-aineiden pitoisuuksia. Maanäytteitä tulee ottaa ainakin niistä pisteistä, joissa pohjaveden haitta-ainepitoisuuksien on todettu kohonneen. Maanäytteistä tulisi tutkia vesinäytteistä analysoitujen yhdisteiden lisäksi torjunta-aineiden ja PCB-yhdisteiden pitoisuuksia. Myös pohjavesinäytteitä olisi otettava lisää, mikä on pohjavesiputkien nyt jo maassa ollessa suhteellisen vaivatonta. Pohjavesinäytteitä olisi hyvä ottaa sarjana eri vuodenaikoina, jotta voitaisiin selvittää maaperästä liukenevien haitta-aineiden määrän vaihtelua esim. keväisen lumensulamisen, kuivemman kesäkauden ja syksyn sateiden aikana. Näin saadaan selville mahdollinen pitoisuuksien vaihtelu eri vuodenaikoina ja erilaisissa sääolosuhteissa. Täyttöalueilta tulisi myös selvittää pohjaveden virtaussuunta ja haitta-aineiden mahdollinen kulkeutumisreitti sekä alueet, joille täytöstä huuhtoutuva vesi purkautuu. Lisäksi Helsingin täyttöalueista olisi tutkittava kaikki ne, joiden maaperän voidaan olettaa sisältävän runsaasti haitta-aineita ympäristöön päästävää materiaalia ja jotka ovat käytössä esimerkiksi asuinalueina tai jos ihmisten altistuminen alueiden maaperän haitta-aineille on muulla tavoin mahdollista ja todennäköistä.

Lähteet

- Assmuth, T. 1997. Selvitys ja ehdotuksia ympäristövaarallisten aineiden pitoisuuksien ohjearvoista maaperässä. Suomen ympäristökeskuksen moniste 92. Helsinki.
- Government of British Columbia (1). British Columbia approved water quality guidelines (criteria) 1998 Edition (updated in August 24 2001). <http://www.epa.gov/ost/pc/rev-com.pdf> (22.11.2001)
- Government of British Columbia (2). Ambient water quality criteria for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), Overview report. <http://www.env.gov.bc.ca/wat/wq/Bcguidelines/pahs.html> (22.11.2001)
- Heikkinen, P. 2000. Haitta-aineiden sitoutuminen ja kulkeutuminen maaperässä. Geologian tutkimuskeskus, tutkimusraportti 150. Espoo.
- Immonen, K. 2001. Helsingin täyttömaa-alueet. Kartoitus ja ympäristövaikutusten esiselvitys. Helsingin ympäristökeskuksen julkaisuja 7/2001.
- Kuningas, Inkeri. Suullinen tiedonanto 27.11.2001. Helsingin ympäristökeskuksen laboratorio.
- Sosiaali- ja terveysministeriön asetus N:o 461/2000 talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista. Helsingissä 19.5.2000.
- Suomen säädöskokoelma N:o 74, liite 1. Helsingissä 21.1.1994.
- World Health Organization (WHO) 1996 ja 1998. Guidelines for drinking-water quality, 2nd ed. Vol. 2 Health criteria and other supporting information, 1996 (pp. 940-949) and Addendum to Vol. 2 . 1998 (pp. 281-283), Geneva. http://www.who.int/water_sanitation_health/GDWQ/Summary_tables/Sumtab.htm (22.11.2001)