

Etelä-Suomen yksikkö  
S41/2009/31  
Espoo

19.5.2009



# Tampereen seudun taajamien taustapitoisuudet ja kohonneiden arsenipitoisuuksien vaikutus maankäyttöön

**Timo Tarvainen, Jaana Jarva, Birgitta Backman, Samrit Luoma ja  
Timo Ruskeenieni**



**GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS • GEOLOGISKA FORSKNINGSCENTRALEN • GEOLOGICAL SURVEY OF FINLAND**

PL / PB / P.O. Box 96  
FI-02151 Espoo, Finland  
Tel. +358 20 550 11  
Fax +358 20 550 12

PL / PB / P.O. Box 1237  
FI-70211 Kuopio, Finland  
Tel. +358 20 550 11  
Fax +358 20 550 13

PL / PB / P.O. Box 97  
FI-67101 Kokkola, Finland  
Tel. +358 20 550 11  
Fax +358 20 550 5209

PL / PB / P.O. Box 77  
FI-96101 Rovaniemi, Finland  
Tel. +358 20 550 11  
Fax +358 20 550 14

Y-tunnus / FO-nummer / Business ID: 0244680-7 • [www.gtk.fi](http://www.gtk.fi)

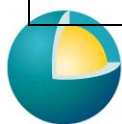
Tampereen seudun taajamien taustapitoiudet  
ja kohonneiden arseenipitoisuuksien vaikutus maankäyttöön

**GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS**

**KUVAILULEHTI**

19.5.2009

Tekijät Timo Tarvainen, Jaana Jarva, Birgitta Backman, Samrit Luoma ja Timo Ruskeenieni		Raportin laji Arkistoraportti	
		Toimeksiantaja Geologian tutkimuskeskus	
Raportin nimi Tampereen seudun taajamien taustapitoisuudet ja kohonneiden arseenipitoisuuksien vaikutus maankäyttöön			
Tiivistelmä Geologian tutkimuskeskus (GTK) toteutti vuosina 2007-2009 Tampereen seudulla yhteisrahoitteen hankkeen, joka tuotti geoaineistoihin pohjautuvia tuotteita, palveluja ja aineistoja alueen kehittämiseksi. Työnimeltään nk. TAATA-hankkeeseen osallistuivat GTK:n lisäksi Tampereen, Nokian, Oriveden ja Ylöjärven kaupungit, Pirkkalan, Lempäälän, Vesilahden ja Kangasalan kunnat sekä Pirkanmaan ympäristökeskus, Pirkanmaan Liitto, Tiehallitus ja Tampereen Vesi. TAATA-hanke tuotti uutta tietoa maaperän pilaantuneisuuden kannalta keskeisten metallien ja puolimetallien (antimoni, arseni, elohopea, kadmium, koboltti, kromi, kupari, lyijy, nikkeli, sinkki ja vanadiini) sekä PAH- ja PCB-yhdisteiden taustapitoisuuksista Pirkanmaan taajamien pintamaassa. Valtioneuvoston asetuksessa maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista (214/20074) eli ns. PIMA-asetuksessa taustapitoisuudella tarkoitetaan aineen luontaisesti tavanomaista pitoisuutta maaperässä tai sellaista kohonnutta pitoisuutta, joka esiintyy laajalla alueella pilaantuneeksi epäillyn kohteen ympäristössä.  Pirkanmaan taajamista kerättyjen pintamaanäytteiden analyysitulosten perusteella laskettiin suurimmat suositellut taustapitoisuudet PIMA-asetuksessa mainituille alkuaineille. Suurimmat suositellut taustapitoisuusarvot (SSTP) Pirkanmaan taajamien maaperässä ovat seuraavat: kadmium 0,55 mg kg <sup>-1</sup> , koboltti 29 mg kg <sup>-1</sup> , kromi 82 mg kg <sup>-1</sup> , kupari 55 mg kg <sup>-1</sup> , nikkeli 37 mg kg <sup>-1</sup> , lyijy 77 mg kg <sup>-1</sup> , antimoni 1 mg kg <sup>-1</sup> , vanadiini 95 mg kg <sup>-1</sup> , sinkki 208 mg kg <sup>-1</sup> , arseni 19 mg kg <sup>-1</sup> ja elohopea 0,11 mg kg <sup>-1</sup> . Tulosten perusteella ainakin kobolttin, lyijyn, sinkin ja arsenin suurin suositeltu taustapitoisuusarvo Pirkanmaan taajamien maaperässä on suurempi kuin PIMA-asetuksen kynnyсарvo. Näiden alkuaineiden osalta maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnissa Pirkanmaan taajamissa tulisi käyttää kynnyсарvon sijaan taustapitoisuustietoa.  PAH- ja PCB-yhdisteiden osalta taajamien sisältä kerättyjen näytteiden pitoisuudet olivat pääsääntöisesti hyvin pieniä ja usein alle käytettyjen analyysimenetelmien määrittämissä rajat. Tulosten perusteella lasketut suurimmat suositellut taustapitoisuusarvot olivat selvästi alle PIMA-asetuksen kynnyсарvon.  Taajamien sisältä kerättyjen näytteiden pitoisuuksia on verrattu Pirkanmaan luonnontilaisten maiden pitoisuuksiin. Arseenin, kobolttin ja sinkin korkeahko taustapitoisuus Pirkanmaan taajamissa on pääasiassa geologista alkuperää, lyijyn pitoisuuksiin vaikuttaa enemmän ihmisten toiminta. Pirkanmaan eteläosissa on alueita, joissa on poikkeuksellisen korkeita arseenipitoisuuksia sekä maa- ja kallioperässä että pohjavedessä. Korkeat arseenipitoisuudet ovat luontainen alueellinen erityispiirre Pirkanmaalla.			
Asiasanat (kohde, menetelmät jne.) Ympäristögeologia, geokemialliset tutkimukset, maaperä, alkuaineet, Pirkanmaa, Tampereen seutu			
Maantieteellinen alue (maa, lääni, kunta, kylä, esiintymä) Tampere, Kangasala, Lempäälä, Nokia, Orivesi, Pirkkala, Vesilahti, Ylöjärvi			
Karttalehdet			
Muut tiedot			
Arkistosarjan nimi Geokemialliset tutkimukset		Arkistotunnus	
Kokonaissivumäärä 39	Kieli suomi	Hinta	Julkisuus julkinen
Yksikkö ja vastuualue Etelä-Suomen yksikkö VA 212		Hanketunnus 4183000 TAATA	
Allekirjoitus/nimen selvennys		Allekirjoitus/nimen selvennys	



**GTK**

## Sisällysluettelo

### Kuvailulehti

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAALIT JA MENETELMÄT</b>	<b>3</b>
2.1	Näytteenotto taajamien ulkopuolelta	3
2.2	Näytteenotto taajamien sisältä	5
2.3	Esikäsittely ja analytiikka	7
2.3.1	Taajamien ulkopuolelta kerätyt näytteet	7
2.3.2	Taajamien sisältä kerätyt näytteet	10
<b>3</b>	<b>TULOKSET</b>	<b>11</b>
3.1	Pintamaa ja humus: yhteenveto	11
3.1.1	Arseeni	14
3.1.2	Antimoni	17
3.1.3	Elohopea	17
3.1.4	Kadmium	18
3.1.5	Koboltti	19
3.1.6	Kromi	20
3.1.7	Kupari	21
3.1.8	Lyijy	22
3.1.9	Nikkeli	23
3.1.10	Sinkki	24
3.1.11	Vanadiini	25
3.1.12	PCB-yhdisteet	26
3.1.13	PAH-yhdisteet	27
<b>4</b>	<b>POHDINTA</b>	<b>29</b>
4.1	Maaperän pilaantuneisuuden arvioinnin kannalta keskeiset alkuaineet	29
4.2	Arseenipitoisuuksien vaikutus maankäyttöön	30
4.2.1	Aiemmat arseeniselvitykset	30
4.2.2	Arseenipitoisuudet Pirkanmaalla	31
4.2.3	Arseenialueiden maankäyttö ja riskien tunnistaminen	34
<b>5</b>	<b>JOHTOPÄÄTÖKSET</b>	<b>36</b>

## KIRJALLISUUSLUETTELO

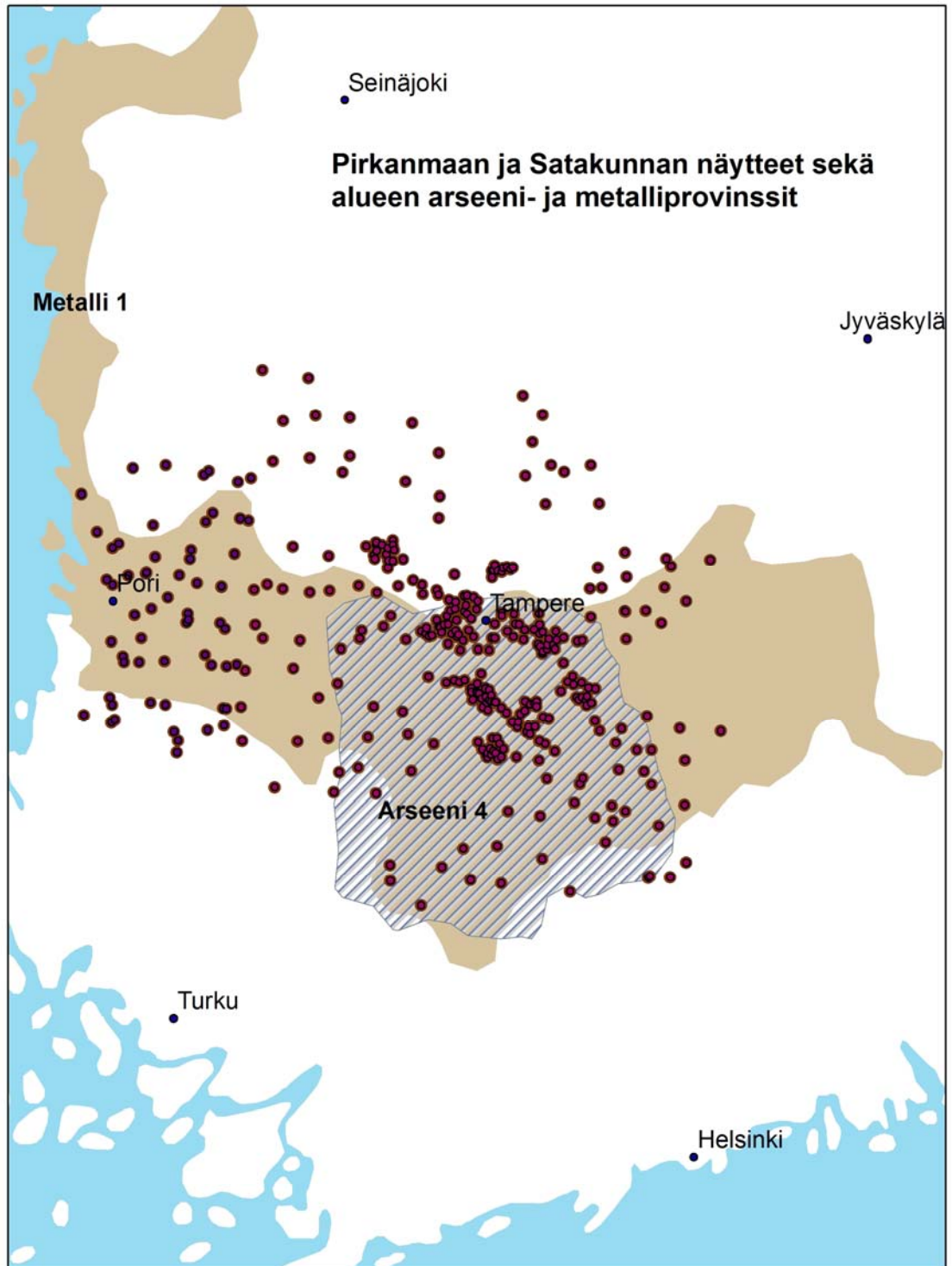
## 1 JOHDANTO

Geologian tutkimuskeskus (GTK) toteutti vuosina 2007-2009 Tampereen seudulla yhteisrahoitteen hankkeen, joka tuotti geoaineistoihin pohjautuvia tuotteita, palveluja ja aineistoja alueen kehittämiseksi. Työnimeltään nk. TAATA-hankkeeseen osallistuivat GTK:n lisäksi Tampereen, Nokian, Oriveden ja Ylöjärven kaupungit, Pirkkalan, Lempäälän, Vesilahden ja Kangasalan kunnat sekä Pirkanmaan ympäristökeskus, Pirkanmaan Liitto, Tiehallitus ja Tampereen Vesi. TAATA-hankkeen puitteissa GTK sopi hankkeeseen osallistuvien kaupunkien ja kuntien kanssa taustapitoisuusnäytteenotosta kaupunkien ja kuntien keskusta-alueella.

Valtioneuvoston asetuksessa maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista (214/20074) eli ns. PIMA-asetuksessa taustapitoisuudella tarkoitetaan aineen luontaisesti tavanomaista pitoisuutta maaperässä tai sellaista kohonneutta pitoisuutta, joka esiintyy laajalla alueella pilaantuneeksi epäillyn kohteen ympäristössä. Geologian tutkimuskeskus on selvittänyt omassa kartoitushankkeessaan Pirkanmaan maaperän taustapitoisuuksia taajamien ulkopuolella. TAA-TA-hankkeen aikana näytteitä on otettu myös hankkeeseen osallistuvien kuntien ja kaupunkien keskustaajamista. Tutkittavia aineita ovat olleet PIMA-asetuksessa (214/2007) mainitut metallit ja puolimetallit (antimoni, arseeni, elohopea, kadmium, koboltti, kromi, kupari, lyijy, nikkeli, sinkki ja vanadiini), taajamien sisällä myös PAH- ja PCB-yhdisteet. Taustapitoisuudella ei tarkoiteta yksittäisen kohteen aiheuttamia kohonneita pitoisuuksia maaperässä. Taustapitoisuustietoja tarvitaan muun muassa maa-alueiden pilaantuneisuutta ja puhdistustarvetta arvioitaessa ja YVA-selvityksissä.

GTK:n maaperägeokemian tietokantaa on täydennetty vuosina 2006-2008 keräämällä ja analysoimalla Pirkanmaan ja Satakunnan seuduilta 359 maaprofiilista pinta- ja pohjamaanäytteitä sekä humusnäytteitä (kuva 1). Profiilit ovat edustaneet alueen yleisimpiä maalajeja eli savea, moreenia ja karkeita lajittuneita maalajeja (hiekkaa ja soraa). Mineraalimaanäytteistä on analysoitu kuningasvesiliukoisia pitoisuuksia (Kuusisto ja Tarvainen 2008). Geokemian kartoitusprojekteissa, pilaantuneiksi epäiltyjen maiden tutkimuksissa ja ympäristötieteissä mineraalimaalajien alkuainepitoisuuksia määritettäessä analysoidaan yleensä näytteen alle 2 mm:n lajitteesta alkuaineen kuningasveteen tai väkevään typpihappoon liukeneva osa. Tampereen seudun tutkimuksissa käytetyt näytteenotto-, esikäsittely- ja analyysimenetelmät on valittu Porvoon ympäristössä tehdyn laajan pilottitutkimuksen tulosten perusteella (Tarvainen ja muut 2003). Tavoitteena on ollut tuottaa ensivaiheessa kasvukeskusten ympäristöviranomaisille päätöksenteossa tarvittavaa tietoa haitallisten aineiden taustapitoisuuksista maaperässä.

Geokemiallisten kartoitusten perusteella Pirkanmaan ja Satakunnan alueilta on rajattu kaksi niin sanottua geokemiallista provinssia, joiden sisällä yhden tai useamman alkuaineen luontaiset pitoisuudet ylittävät usein pilaantuneita maita koskevan asetuksen määrittämän kynnyksen moreenissa ja hiekassa (Koljonen 1992, Salminen 1995, Eklund 2008). Kuvassa 1 on esitetty kaikkien korkeimpien arseenipitoisuuksien provinssi (Arseeni 4) sekä kohonneiden metallipitoisuuksien (koboltti, kromi, kupari, nikkeli, sinkki ja vanadiini) provinssi (Metalli 1).



**Kuva 1.** Pirkanmaan ja Satakunnan seutujen taajamien ulkopuolisten taustapitoisuustutkimusten näytepisteiden sijainti. Karttaan on lisäksi merkitty kaksi geokemiallista provinssia: korkeiden arseenipitoisuuksien provinssi harmaalla vinoviivituksella ja kohonneiden metallipitoisuuksien metalliprovinssi ruskealla värillä.

Taajamien sisälle keskittyvässä taustapitoisuusselvityksessä kunkin TAATA-hankkeen osallistujakunnan tai -kaupungin keskustassa sijaitsevasta puistosta otettiin vuonna 2007 pintamaanäytteet kahdesta tutkimuspisteestä; puiston välittömässä läheisyydessä kulkevan päätien varresta sekä tästä tutkimuspisteestä noin 60 metriä puistoon päin (Jarva ja Tarvainen 2007). Aikaisemmissa tutkimuksissa (mm. Chronopoulos ja muut 1997) on todettu, että liikenteestä mahdollisesti aiheutuva maaperän kuormitus ei enää vaikuta maaperän pitoisuuksiin 60 metrin etäisyydellä tiestä. Tampereelta otettiin vuonna 2007 lisäksi maaperänäyte puiston sisältä sekä yksi näyte leikkipuiston hiekasta. Kuningasvesiliukoisten epäorgaanisten aineiden pitoisuuksien lisäksi näytteistä analysoitiin orgaanisten yhdisteiden pitoisuuksia (PAH ja PCB) ja näytteistä mitattiin raekokojakauma. Näytteenottoa täydennettiin vuonna 2008 keräämällä näytteitä kolmen kunnan taajamien asuintonteilta, leikkipuistoista sekä koulujen ja päiväkotien pihoilta.

## 2 MATERIAALIT JA MENETELMÄT

### 2.1 Näytteenotto taajamien ulkopuolelta

Taajamien ulkopuolella vuosina 2006-2008 tehdyn geokemiallisen kartoituksen näytteenotto-suunnitelma perustui 1:20 000-mittakaavaisiin numeerisiin maaperäkarttoihin. Tutkija Mikael Eklund valitsi näyteprofiilien paikat maaperäkartojen vallitsevien maalajien perusteella. Näytteitä otettiin yhteensä 359 näytepisteestä seuraavien kuntien alueelta: Hauho, Hämeenkyrö, Kangasala, Kylmäkoski, Lempäälä, Nokia, Pirkkala, Pälkäne, Tampere, Toijala, Valkeakoski ja Ylöjärvi. 110 profiilia tehtiin karkeisiin lajittuneisiin maalajeihin, pääosin hiekka- ja soraharjuihin, jotka sijaitsevat usein pohjavesialueilla. Yhteensä 169 profiilia kaivettiin moreenimaahan eri kivilajiyksiköiden alueella. Moreenin alkuainepitoisuudet kuvastavat alla olevaa kallioperää paremmin kuin muut maalajit. Loput 80 profiilia sijoituivat savikoille, jotka ovat usein viljelykäytössä. Savien luonnolliset hivenainepitoisuudet ovat usein suuremmat kuin muissa maalajeissa (Tarvainen ja muut 2003) ja maatalouden vaikutus saattaa näkyä maaperän pintakerroksissa. Näytteet otettiin taajamien ja teollisuuslaitosten ulkopuolelta välttämällä alueita, joissa voisi olla poikkeuksellisen suurta ihmisen toiminnasta aiheutuvaa kuormitusta.

Maaprofiileista kerättiin pintamaanäyte ja pohjamaanäyte (kuva 2). Humusnäyte otettiin 188 paikasta. Savikoista suurin osa on viljeltyjä, joten niistä ei saatu humusnäytettä. Yleisesti ottaen pohjamaa kuvastaa geologiaa, pintamaassa ja humuksessa näkyy lisäksi ihmisen aiheuttama hajuormitus (ilmasta tuleva laskeuma, teollisuuden ja liikenteen vaikutus ja pelloilla myös lannoitteiden vaikutus).



*Kuva 2. Pinta- ja pohjamaanäytteitä varten kaivettu näytteenottokuoppa Pirkanmaalla taajaman ulkopuolella Kangasalla.*

Pintamaanäytteet otettiin mahdollisen humuskerroksen alta 0-25 cm syvyydestä. Pelloilla tämä on muokkauskerros ja metsissä yhdistelmä vaaleaa huuhtoutumiskerrosta ja ruskeaa rikastumiskerrosta. Pohjamaanäytteet otettiin 25 cm:n paksuisesta kerroksesta muuttumatonta pohjamaata (C-kerros), joka on noin 50-200 cm:n syvyydellä, yleensä sopiva kerros on 50-75 cm:n syvyydellä. Mineraalimaanäytteet otettiin lapiolla kaivetun kuopan puhdistetusta seinämästä muovikauhalla näytepussiin. Pohjamaanäyte otettiin ennen pintamaanäytettä.

Humusnäytteet koottiin viidestä osanäytteestä 50 m x 50 m alueelta karttaan merkityn näytepisteen ympäriltä. Humusnäytteitä ei voi ottaa kaikista paikoista, esimerkiksi pelloilta, joita on muokattu. Paras humusnäytteen ottopaikka on metsässä pieni aukko puiden välissä. Näytteet kerättiin humusnäytteenottimella, näytteenottajat käyttivät talkittomia hansikkaita. Tuorehumus, juuret, kivet ja mineraaliainet poistettiin näytteenottimella otetusta kakusta ja tumma maaton humus laitettiin näytepussiin.

GTK:n geokemiallisissa taustapitoisuuskartoituksissa käytetty näytteenottomenettely on kehitetty FOREGSin geokemiallisen kartoitushankkeen pohjalta (Salminen ja muut 1998). Keskeiset erot FOREGSin näytteenotto-oppaaseen ovat seuraavat: näytemateriaaleina käytetään vain maaperä- ja humusnäytteitä, näytteen koko on hieman pienempi eikä maaperänäytteitä oteta kenttäyhdistelmänä 3 - 5 kuopasta vaan yhdestä kuopasta. Lisäksi näytepaikat valitaan edustamaan eri maalajeja ja myös maatalousmaita otetaan mukaan näytteenottoon.

Jokaiselta näytteenotto paikalta on otettu kaksi valokuvaa: toinen yleiskuva maisemasta kuopan ympärillä, toinen lähikuva kuopasta. Näytetunnukset ovat muotoa TTTA-2007-X.1, TTTA-2007-X.2 ja TTTA-2007-X.3, missä X on juokseva numero 61 - 480 ja pisteellä erotettu osa kuvaa näytemateriaalin: 1 = humus, 2 = pintamaa 0 - 25 cm ja 3 = muuttumaton pohjamaa 50-75 cm. Mineraali- ja humusnäytteet toimitettiin GTK:n Espoon laboratorioon (1.9.2008 Labtium Oy) kerran viikossa analysointia varten. Näytteet kuivattiin <math><40^{\circ}\text{C}</math>:ssa mahdollisimman pian näytteiden saapumisen jälkeen.

## 2.2 Näytteenotto taajamien sisältä

Taajamien sisällä tehdyssä näytteenotossa näytteenotto paikat valittiin yhdessä TAATA-hankkeeseen osallistuvien kaupunkien ja kuntien ympäristöviranomaisten kanssa. Jokaisesta kaupungista tai kunnasta valittiin ensimmäisen vaiheen selvitykseen vuonna 2007 keskustassa sijaitseva puisto, jonka välittömässä läheisyydessä kulkee päätie tai muu suhteellisen vilkasliikenteinen ajoväylä. Puistoista otettiin näytteet kahdesta tutkimuspisteestä, joista toinen sijaitsi puiston välittömässä läheisyydessä kulkevan päätien varresta ja toinen tästä pisteestä noin 60 metriä puistoon päin (Jarva ja Tarvainen 2008). Tampereelta otettiin lisäksi kaksi muuta näytettä (Tarvainen 2007). Vuonna 2008 otettiin lisäksi 22 näytettä kolmen osallistujakunnan keskustaa-  
jamista. Tutkimuspisteistä kerättiin pintamaanäyte 0-25 cm syvyydestä. Lisäksi jokaisesta näyte-  
pisteestä otettiin näyte 0-2 cm syvyydeltä kohdasta, jossa nurmikko oli kulunut pois (kuva 3).

Syvennät 0-25 cm pintamaanäytteet otettiin lapiolla kaivetusta kuopasta (kuva 4) näytteenotto-  
kauhalla analyysijä ja tutkimuksia varten. Epäorgaanisten aineiden analysointia varten näyte  
otettiin paperisiin näytopusseihin. Orgaanisten yhdisteiden analysointia varten näytteet pakattiin  
ruskeisiin lasipurkkeihin, joiden kannet tiivistettiin teflon-paperilla. Lisäksi otettiin noin 1 kg:n  
näyte näytopussiin raesuuruuden määrittämistä varten. Lappio ja näytteenottokauha puhdistettiin  
alkoholilla jokaisen tutkimuspisteen välillä. Näytteet pakattiin kentällä kylmälaukkuihin ja niitä  
säilytettiin jääkaapissa. Näytteet lähetettiin kylmälaukkuun pakattuina laboratorioihin analysoi-  
taviksi. Aivan pintamaasta, 0-2 cm syvyydestä, otettiin näytteet suoraan näytteenottokauhalla  
paperisiin näytopusseihin epäorgaanisten aineiden analysointia varten.





**Kuva 3.** Näytteenottoa Tampereen Eteläpuistossa. 0-25 cm näyte on otettu lapiolla kaivetusta kuopasta nurmikon alta ja 0-2 cm näyte on otettu näytteenottokauhalla kohdasta, jossa nurmikko on kulunut pois.



**Kuva 4.** Esimerkki 25 cm:n näytekoupastä Tampereen Eteläpuistossa.

## 2.3 Esikäsittely ja analytiikka

### 2.3.1 Taajamien ulkopuolelta kerätyt näytteet

#### *Mineraalimaanäytteet*

Mineraalimaanäytteiden kemialliset määritykset tehtiin GTK:n kemian laboratoriossa/Labtium Oy:n laboratoriossa kuivatuista (<40°C) ja <2 mm:n fraktioon seulotuista näytteistä.

Suurinta alkuaineiden pitoisuutta, mikä luonnossa maaperästä äärimmäisen happamissa olosuhteissa voi liueta, arvioitiin uuttamalla näytteet kuningasvedellä 90 °C:ssa (AR). AR-uutto liuottaa kiteiset saostumamineraalit, sulfidimineraalit, sekä useimmat suolat, kuten apatiitin ja titaniitin, osan kiilteistä (biotiiitti), talkista ja savimineraaleista, mutta ei rapautumattomia maasälpä, amfiboleja ja pyrokseeneja. AR-liuotetuista näytteistä määritettiin Ag, Be, Bi, Cd, Cu, Mo, Pb, Sb, Se, Sn, Tl ja U ICP-MS:lla (Perkin Elmer Sciex Elan 6000). As-pitoisuudet määritettiin GF-AAS:lla (Perkin Elmer SIMAA-6000). Al, B, Ba, Ca, Co, Cr, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, S, Sr, Ti, V ja Zn määritettiin ICP-AES:lla (Thermo Jarrel Ash Iris). Määritysrajat on esitetty taulukossa 1.

Elohopea määritettiin seulotusta <2 mm näytteestä pyrolyyttisesti Hg-analysaattorilla (AMA 254). Näytteet kuivattiin alle 40°C lämpötilassa. Hiilipitoisuus määritettiin jauhetuista näytteistä Eltra CS500-analysaattorilla (Tarvainen ja muut, 2006).

pH-määritystä varten näytteet uutettiin 0,01 M CaCl<sub>2</sub>:lla ja pH määritettiin Radiometer ion 85 pH-mittarilla.

#### *Humusnäytteet*

Kuivattuja (<40°C) näytteitä esihienonnettiin puristelemalla näytteitä varovasti käsin näytepussin läpi. Näytteet seulottiin <2 mm:n fraktioon, jotka seulottiin uudestaan <2 mm:n fraktioon. Näin menetellen pyrittiin poistamaan näytteistä niiden mahdollisesti sisältämä näytteeseen kuulumaan aines (esimerkiksi juuret ja maatumattomat oksankappaleet).

Alkuainemäärityksiä varten näytteet uutettiin väkevällä typpihapolla mikroaalto-uunissa (CEM Mars 5). Elohopea määritettiin liuoksesta kylmähöyry-atomiabsorptiotekniikalla (CV-AAS, Perkin Elmer FIMS 400). Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, S ja Ti- pitoisuudet määritettiin induktiivisesti kytketyllä plasma-atomiemissiospektrometrilla (ICP-AES, Thermo Jarrel Ash Iris). Ag, As, B, Ba, Be, Bi, Br, Cd, Co, Cr, Cu, Li, Mo, Ni, Pb, Rb, Sb, Se, Sn, Sr, Th, Tl, U, V ja Zn määritettiin induktiivisesti kytketyllä plasma-massaspektrometrilla (ICP-MS, Perkin Elmer Sciex Elan 6000). pH:n määritystä varten näytteet uutettiin 0,01 M CaCl<sub>2</sub>:lla ja pH määritettiin Radiometer ion 85 pH-mittarilla. Hehikutushäviötä varten näytteitä kuivattiin 2 tuntia 105 °C:ssa ja määritys tehtiin 550 °C:ssa ja 850 °C:ssa gravimetrisesti. Hiili- ja typpipitoisuus määritettiin Elementar vario MAX CN-analysaattorilla (Tarvainen ja muut, 2006). Yhteenvedo humusnäytteistä tehdystä analytiikasta määritysrajoineen on esitetty taulukossa 2.

*Taulukko 1. Mineraalimaanäytteistä tehtyt alkuainemääritykset määrittärajoiheen (kuningasvesiuutto)*

Alkuaine	Määrittärajat mg kg <sup>-1</sup>	Analyysitekniikka
Ag	0,01	ICP-MS
Al	15	ICP-AES
As	0,2 (0,01)	GF-AAS (ICP-MS)
B	5	ICP-AES
Ba	1	ICP-AES
Be	0,001	ICP-MS
Bi	0,01	ICP-MS
C	0,01 %	CS-analysoittori
Ca	50	ICP-AES
Cd	0,01	ICP-MS
Co	1	ICP-AES
Cr	1	ICP-AES
Cu	1	ICP-MS
Fe	50	ICP-AES
Hg	0,005	Hg-analysoittori
K	100	ICP-AES
Mg	10	ICP-AES
Mn	1	ICP-AES
Mo	0,01	ICP-MS
Na	50	ICP-AES
Ni	2	ICP-AES
P	50	ICP-AES
Pb	0,1	ICP-MS
S	50	ICP-AES
Sb	0,01	ICP-MS
Se	0,02	ICP-MS
Sn	0,05	ICP-MS
Sr	1	ICP-AES
Ti	2	ICP-AES
Tl	0,05	ICP-MS
U	0,01	ICP-MS
V	1	ICP-AES
Zn	1	ICP-AES

**Taulukko 2.** Humusnäytteistä tehdyt määrittelykset määrittelysrajoineen (väkevä typpihappouutto)

<b>Alkuaine tai parametri</b>	<b>Määrittelysraja</b>	<b>Yksikkö</b>	<b>Analyysitekniikka</b>
<b>Ag</b>	0,01	mg kg <sup>-1</sup>	ICP-AES
<b>Al</b>	2	mg kg <sup>-1</sup>	ICP-AES
<b>As</b>	0,02	mg kg <sup>-1</sup>	ICP-MS
<b>B</b>	5	mg kg <sup>-1</sup>	ICP-MS (ICP-AES v. 2005)
<b>Ba</b>	0,05	mg kg <sup>-1</sup>	ICP-MS
<b>Be</b>	0,1	mg kg <sup>-1</sup>	ICP-MS
<b>Bi</b>	0,1	mg kg <sup>-1</sup>	ICP-MS
<b>Br</b>	20	mg kg <sup>-1</sup>	ICP-MS
<b>C</b>	0,02	%	C-analysaattori
<b>Ca</b>	10	mg kg <sup>-1</sup>	ICP-AES
<b>Cd</b>	0,01	mg kg <sup>-1</sup>	ICP-MS
<b>Co</b>	0,02	mg kg <sup>-1</sup>	ICP-MS
<b>Cr</b>	0,2	mg kg <sup>-1</sup>	ICP-MS
<b>Cu</b>	0,02	mg kg <sup>-1</sup>	ICP-MS
<b>Fe</b>	10	mg kg <sup>-1</sup>	ICP-AES
<b>Hg</b>	0,04	mg kg <sup>-1</sup>	CV-AAS
<b>K</b>	50	mg kg <sup>-1</sup>	ICP-AES
<b>Li</b>	0,4	mg kg <sup>-1</sup>	ICP-MS
<b>LOI (550 °C)</b>	0,01	%	
<b>Mg</b>	5	mg kg <sup>-1</sup>	ICP-AES
<b>Mn</b>	1	mg kg <sup>-1</sup>	ICP-AES
<b>Mo</b>	0,01	mg kg <sup>-1</sup>	ICP-MS
<b>N</b>	0,05	%	CN-analysaattori
<b>Na</b>	20	mg kg <sup>-1</sup>	ICP-AES
<b>Ni</b>	0,3	mg kg <sup>-1</sup>	ICP-MS
<b>P</b>	30	mg kg <sup>-1</sup>	ICP-AES
<b>Pb</b>	0,02	mg kg <sup>-1</sup>	ICP-MS
<b>pH</b>	0,1	pH	
<b>Rb</b>	0,01	mg kg <sup>-1</sup>	ICP-MS
<b>S</b>	10	mg kg <sup>-1</sup>	ICP-AES
<b>Sb</b>	0,02	mg kg <sup>-1</sup>	ICP-MS
<b>Se</b>	0,5	mg kg <sup>-1</sup>	ICP-MS
<b>Sn</b>	0,5	mg kg <sup>-1</sup>	ICP-MS
<b>Sr</b>	0,01	mg kg <sup>-1</sup>	ICP-MS
<b>Th</b>	0,02	mg kg <sup>-1</sup>	ICP-MS
<b>Ti</b>	0,5	mg kg <sup>-1</sup>	ICP-AES
<b>Tl</b>	0,01	mg kg <sup>-1</sup>	ICP-MS
<b>U</b>	0,01	mg kg <sup>-1</sup>	ICP-MS
<b>V</b>	0,02	mg kg <sup>-1</sup>	ICP-MS
<b>Zn</b>	0,4	mg kg <sup>-1</sup>	ICP-MS

### 2.3.2 Taajamien sisältä kerätyt näytteet

Pintamaanäytteet, jotka otettiin 0-25 cm syvyydeltä, analysoitiin Labtium Oy:ssä. Epäorgaanisten aineiden analysointia varten maaperänäytteiden määritykset tehtiin kuivatuista (<40°C) ja <2 mm:n fraktioon seulotuista näytteistä. AR-liuotetuista näytteistä määritettiin Ag, Be, Bi, Cd, Mo, Pb, Rb, Sb, Se, Sn, Th, Tl ja U ICP-MS:lla (Perkin Elmer Sciex Elan 6000). Al, B, Ba, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, S, Sr, Ti, V ja Zn määritettiin ICP-AES:lla (Thermo Jarrel Ash Iris). As-pitoisuudet määritettiin GF-AAS:lla (Perkin Elmer SIMAA-6000). Elohopea määritettiin seulotusta <2 mm näytteestä pyrolyyttisesti Hg-analysointilaitteella (AMA 254). Lisäksi näytteistä määritettiin orgaaninen hiili (C%) hiilianalysointilaitteella, pH potentiometrisesti (0.01 M CaCl<sub>2</sub>) ja hehkutushäviö gravimetrisesti (550°C). Lisäksi humuspitoisuus määritettiin myös fotometrisesti. Raekokojakauma määritettiin Sedigraphilla.

Orgaanisten yhdisteiden määritykset tehtiin vuonna 2007 Jyväskylän yliopiston Ympäristötutkimuskeskuksen Ambiotica laboratorioissa. Näytteistä määritettiin kokonais-PCB (O-20A) ja PAH-yhdisteet (O-35) kuiva-aineesta. PCB-määrityksessä näytteitä uutettiin petroolieetterin, asetonin, heksaanin ja dietyylieetterin seoksella ja uutto tehtiin Dionex'in ASE 200 – liuotinuuttolaitteella. Uuton jälkeen näytteet puhdistettiin väkevällä typpihapolla ja kvantitatiivinen määrittäminen tehtiin kaasukromatografisesti kahta EC-detektoria käyttäen. PCB-yhdisteiden osalta ilmoitettiin kokonaispitoisuus. PAH-yhdisteiden määrittämistä varten näytteet uutettiin liuotaineseoksella ultraääniuuttohauhteessa tai ASE 200-liuotinuuttolaitteella. Liuotinuuton jälkeen näytteisiin lisättiin glykolia ja näytteet haihdutettiin lähes kuiviin, ja sen jälkeen näytteisiin lisättiin tunnettu määrä asetonitriiliä. Kvantitointi tehtiin nestekromatografisesti (HPLC) fluoresenssi- ja diodirividetektoreita käyttäen. Menetelmien määrittämissärajat on esitetty taulukossa 3.

Vuonna 2008 orgaanisten yhdisteiden määritykset tehtiin Nab Labs Oy:n laboratorioissa. Näytteistä määritettiin PCB- ja PAH-yhdisteiden pitoisuudet kuiva-aineesta. PCB-yhdisteiden määrittämistä varten näytteille tehtiin asetoni-pentaani ja asetoni-heksaani uutot. Uuttoliuokset puhdistetaan rikkihapolla ja Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:lla. Uuttoliuokset analysoitiin GC-MS, SIM-tekniikalla. Yhdisteet tunnistetaan niiden retentioajan ja karakterististen kloori-ionisuhteiden avulla. Kvantitointi suoritetaan laboratorion sisäisen standardin menetelmällä (käytössä IUPAC No PCB-209). Menetelmällä määritetään yhteensä 15 PCB kongeneeriä. PCB-yhdisteiden kokonaispitoisuus on ilmoitettu määrittämissärajajen ylittävien kongeneerien (PCB-28, 52, 101, 153, 138 ja 180) summana, joka on kerrottu viidellä. PAH-yhdisteiden määrittämistä varten näytteille tehtiin asetoni-pentaani uutto. Uuttoliuokset analysoitiin GC-MS, SIM-tekniikalla. Yhdisteet tunnistetaan niiden retentioajan, karakterististen ionien ja sertifioitujen liuosten avulla. Kvantitointi suoritetaan laboratorion sisäisen standardin menetelmällä (d8-naftaleeni, d10-antraseeni, d12-kryseeni ja d14-dibentso[a,h]antraseeni). PAH-yhdisteiden kokonaispitoisuus (PAH yhteensä) on ilmoitettu määrittämissärajajen ylittävien yhdisteiden summana. Menetelmien määrittämissärajat on esitetty taulukossa 3.

Pintamaanäytteet, jotka otettiin 0-2 cm syvyydestä, toimitettiin Norjan Geologian tutkimuskeskukseen (NGU) analysoitavaksi. Norjassa tehtävistä analyyseistä vain osa on valmistunut, tässä yhteydessä raportoidaan ainoastaan Suomessa analysoitujen 0-25 cm syvyydeltä otettujen pintamaanäytteiden tulokset.

**Taulukko 3.** Pintamaanäytteistä tehdyt orgaanisten yhdisteiden määritykset määrittämissärajoihin

Orgaaniset yhdisteet	Määrittämissäraja mg kg <sup>-1</sup>	Analyysimenetelmä
PCB (Ambiotica)	0,05	GC
PCB (Nab Labs)	0,01 (kokonais-PCB) 0,002 (yksittäiset)	GC/MS
PAH (Ambiotica)	0,10	HPLC
PAH (Nab Labs)	0,1 – 0,25	GC/MS
Antraseeni	0,1	
Bentso(a)antraseeni	0,1	
Bentso(a)pyreeni	0,2/0,1*	
Bentso(k)fluoranteeni	0,2/0,1*	
Fenantreeni	0,1	
Fluoranteeni	0,1	
Naftaleeni	0,09/0,1*	

\*Ambiotica/Nab Labs

### 3 TULOKSET

#### 3.1 Pintamaa ja humus: yhteenveto

TAATA-hankkeen aikana kerättiin Pirkanmaan taajamien sisältä näytteitä 40 pisteestä. Pintamaan 0-25 cm kerroksesta määritettyjen alkuainepitoisuuksien tilastolliset tunnusluvut on esitetty taulukossa 4. PAH- ja PCB-yhdisteiden tilastolliset tunnusluvut on esitetty taulukossa 5.

Maaperän pilaantuneisuutta ja kunnostustarvetta koskevassa asetuksessa (214/2007) on esitetty kynnysarvot seuraaville metalleille ja puolimetalleille: antimoni, arseeni, elohopea, kadmium, koboltti, kromi, kupari, lyijy, nikkeli, sinkki ja vanadiini. Lisäksi kynnysarvot on esitetty PCB- ja PAH-yhdisteiden kokonaispitoisuudelle sekä seitsemälle yksittäiselle PAH-yhdisteelle.

PIMA-asetuksen mukaan maaperän pilaantuneisuus ja puhdistustarve on arvioitava, jos yhden tai useamman haitallisen aineen pitoisuus maaperässä ylittää asetuksessa säädetyn kynnysarvon. Alueille, joilla taustapitoisuus on kynnysarvoa korkeampi, arviointikynnyksenä pidetään taustapitoisuutta. Maaperän taustapitoisuuksien määrittäminen on ohjeistettu SFS-ISO 19258 – standardissa. TAATA-hankkeen aikana taajamista kerätyistä 40 pintamaanäytteestä yksi todettiin jatkotutkimuksissa mahdollisesti pilaantuneeksi maaksi ja sen analyysitulokset jätettiin pois jatkotarkastelusta. Suurimmat suositellut taustapitoisuudet laskettiin 39 pintamaanäytteen (0-25 cm) perusteella PIMA-asetuksessa mainituille alkuaineille. SFS-ISO -standardin 19258 suositusten mukaan miniminäyttemäärä taustapitoisuustutkimuksissa tunnuslukujen laskemiselle on 30. Suurin suositeltu taustapitoisuus perustuu SFS-ISO -standardin 19258 suosituksen mukaisesti laatikko-jana-kuvaajan (Box-Whisker-plot) ylemmän Whisker-janan ylärajaan riittävän suuresta näytejoukosta. Lukuarvo laskettiin seuraavasti

$$SSTP_{AA} = P_{75} + 1,5 \times (P_{75} - P_{25}), \text{ missä}$$

$SSTP_{AA}$  = Alkuaineen AA suurin suositeltu taustapitoisuusarvo,

$P_{75}$  = Alkuaineen AA pitoisuusjakauman 75. persentiili,

$P_{25}$  = Alkuaineen AA pitoisuusjakauman 25. persentiili.

Kuitenkin, jos laskettu SSTP arvo oli suurempi kuin suurin mitattu pitoisuusarvo, SSTP-lukuna on käytetty aineiston maksimia. Tulokset on esitetty taulukossa 6.

**Taulukko 4.** Taajamien sisältä kerättyjen näytteiden alkuainepitoisuuksien tilastolliset tunnusluvut. Pitoisuudet on määritetty <2 mm lajitteesta kuningasvesiuutolla.

	Näyte- määrä	Minimi	Mediaani	Keskiarvo	Maksimi
pH	N=40	3.90	5.04	5.18	7.30
Ag (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	N=40	0.040	0.135	0.183	0.590
Al (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	N=40	3 860	16 500	17 323	31 800
B (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	N=40	<5	6.50	6.92	18.1
Ba (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	N=40	24.3	123.0	127.6	332.0
Be (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	N=40	0.210	0.825	0.865	1.64
Bi (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	N=40	0.060	0.230	0.237	0.550
Ca (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	N=40	831	3 990	4 457	14 100
Cd (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	N=40	0.040	0.230	0.258	0.840
Co (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	N=40	1.95	13.80	14.77	26.80
Cr (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	N=40	5.9	46.2	47.6	138
Cu (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	N=40	4.03	30.3	35.2	88.6
Fe (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	N=40	7 420	28 450	29 216	55 800
K (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	N=40	750	4 155	4 059	8 560
Mg (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	N=40	1 780	7 645	7 661	10 900
Mn (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	N=40	90	568	644	1 350
Mo (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	N=40	0.110	1.36	1.47	5.19
Na (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	N=40	57.8	166.0	178.1	326
Ni (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	N=40	3.41	22.6	22.2	41.0
P (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	N=40	192	807	956	2 690
Pb (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	N=40	3.42	19.10	31.92	111
Rb (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	N=40	7.50	61.9	60.0	123
S (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	N=40	25	260	284	663
Sb (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	N=40	<0.2	0.365	1.00	15.30
Se (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	N=40	0.150	0.415	0.421	0.770
Sn (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	N=40	0.400	1.88	2.86	18.9
Sr (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	N=40	5.69	25.2	27.8	104
Th (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	N=40	2.50	7.48	7.06	11.40
Ti (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	N=40	319	1 535	1 546	2 170
Tl (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	N=40	0.070	0.315	0.313	0.550
U (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	N=40	0.690	2.95	3.06	5.22
V (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	N=40	6.88	55.7	55.2	98.1
Zn (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	N=40	21.0	98.6	116	363
As (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	N=40	0.319	9.33	10.0	25.0
C (25 cm) %	N=40	0.084	2.30	2.60	6.40
Hg mg kg <sup>-1</sup>	N=40	0.003	0.047	0.074	0.339

**Taulukko 5.** Taajamien sisältä kerättyjen näytteiden orgaanisten yhdisteiden pitoisuuksien tilastolliset tunnusluvut

	Näytemäärä	Minimi	Mediaani	Keskiarvo	Maksimi
PCB kokonaispitoisuus mg kg <sup>-1</sup>	40	<0.05	<0.05	<0.05	0.09
PAH yhteensä mg kg <sup>-1</sup>	40	<0.1	0.13	0.94	10.2
Antraseeni mg kg <sup>-1</sup>	40	<0.1	<0.1	<0.1	0.15
Bentso(a)antraseeni mg kg <sup>-1</sup>	40	<0.1	<0.1	0.12	0.91
Bentso(a)pyreeni mg kg <sup>-1</sup>	40	<0.2	<0.2	<0.2	0.73
Bentso(k)fluoranteeni mg kg <sup>-1</sup>	40	<0.2	<0.2	<0.2	0.64
Fenantreeni mg kg <sup>-1</sup>	40	<0.1	<0.1	0.12	1.2
Fluoranteeni mg kg <sup>-1</sup>	40	<0.1	<0.1	0.24	2.2
Naftaleeni mg kg <sup>-1</sup>	40	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1

**Taulukko 6.** PIMA-asetuksessa mainittujen metallien ja puolimetallien suurimmat suositellut taustapitoisuudet (SSTP) Pirkanmaan taajamissa TAATA-hankkeen 39 pintamaanäytteen perusteella ja asetuksen kynnyisarvo.

	SSTP	Kynnyisarvo
Cd (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	0.55	1
Co (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	<b>29</b>	20
Cr (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	82	100
Cu (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	55	100
Ni (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	37	50
Pb (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	<b>77</b>	60
Sb (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	1.0	2
V (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	95	100
Zn (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	<b>208</b>	200
As (25 cm) mg kg <sup>-1</sup>	<b>19</b>	5
Hg mg kg <sup>-1</sup>	0.11	0.5

Koboltin, sinkin, lyijyn ja arseenin suositellut taustapitoisuusarvot ovat suurempia kuin asetuksen kynnyisarvo. TAATA-hankkeen tutkimusten perusteella näille alkuaineille on perusteltua käyttää Pirkanmaan taajamien maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnissa PIMA-asetuksen kynnyisarvon sijaan taustapitoisuustietoa.

PAH- ja PCB-yhdisteiden osalta taajamien sisältä kerättyjen näytteiden pitoisuudet olivat pääsääntöisesti hyvin pieniä ja usein alle käytettyjen analyysimenetelmien määrittämissä rajat. Tulosten perusteella lasketut suurimmat suositellut taustapitoisuusarvot olivat selvästi alle PIMA-asetuksen kynnyisarvon.

Taajamien ympäristöstä kerättyjen pintamaanäytteiden (0-25 cm) mediaanipitoisuudet on esitetty maalajeittain taulukossa 7. Useiden hivenalkuaineiden mediaanipitoisuudet ovat suuremmat savissa kuin hiekassa tai moreenissa. Näytteitä on kerätty laajalta alueelta hyvin erilaisista geologisista ja geokemiallisista ympäristöistä, joten koko aineistosta lasketut tunnusluvut eivät ole edustavia taustapitoisuutta arvioitaessa. Seuraavissa luvuissa käsitellään tarkemmin eräiden alkuaineiden pitoisuuksia ja taajamien pitoisuustietoja verrataan vain geokemiallisen anomaliaprovinssin (katso kuva 1) alueelta otettujen taustanäytteiden pitoisuuksiin.



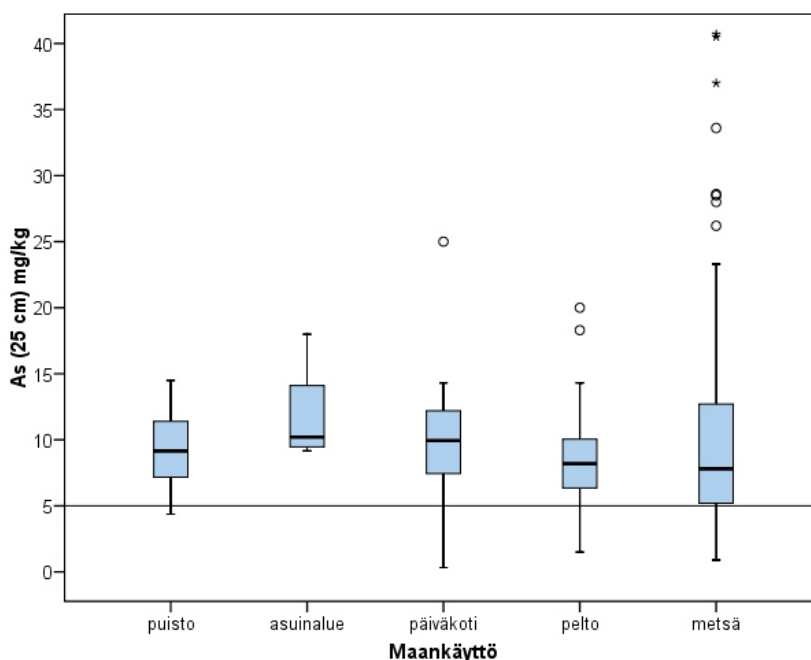
Humusnäytteiden alkuainepitoisuuksien mediaanit ja maksimipitoisuudet on esitetty taulukossa 8. Taulukossa on mukana kaikki laajalta alueelta kerätyt näytteet. Useiden hivenalkuaineiden pitoisuuksiin vaikuttaa näytteen orgaanisen aineksen määrä. Jos humuskerros on ohut, näytteen sekoittuu mukaan hienojakoista mineraaliainesta. Humustuloksia ei käsitellä yksityiskohtaisesti tässä raportissa.

### 3.1.1 Arseni

Arseeni on luonnossa yleinen, tavallisimmin sulfidimineraalien kanssa esiintyvä puolimetalli. Suomessa paikallista maaperän arseenikuormitusta on aiheuttanut lähinnä arseenin käyttö puunsuojaukseen CCA-kyllästeinä (Reinikainen 2007).

Eteläinen Pirkanmaa kuuluu korkeiden arseenipitoisuuksien provinssiin (kuva 1). Arseenipitoisuuksia eri maankäyttömuodoissa on verrattu kuvassa 5. Suurin osa pintamaan arseenipitoisuuksista ylittää pilaantuneita maita koskevan asetuksen kynnyksarvon,  $5 \text{ mg kg}^{-1}$ , sekä taajamien sisällä (puistot, asuinalueet, päiväkodit) että taajamien ulkopuolella (pellot, metsät). Asuinalueet tarkoittavat asuinkeuhkeistojen pihoilta ja parkkipaikoilta otettuja näytteitä. Päiväkodit -luokkaan kuuluvat päiväkotien pihoilta, koulujen pihoilta ja leikkipuistoista otetut näytteet. Taajamien ulkopuolella pelloilta kerätyt näytteet ovat usein hienojakoisia maalajeja, kuten savea, metsästä kerätyt näytteet lähinnä moreenia tai karkeita lajittuneita maalajeja (hiekkä, sora).

TAATA-hankkeen näytteiden perusteella Pirkanmaan taajamissa voi käyttää taustapitoisuusvaihtelun ylärajana arvoa  $19 \text{ mg kg}^{-1}$ . Pitoisuus on samaa suuruusluokkaa eteläisen Pirkanmaan luonnontilaisilla mailla.



**Kuva 5.** Arseenipitoisuus pintamaassa (0-25 cm) Pirkanmaan taajamissa (puistot, asuinalueet ja päiväkodit/koulut) sekä taajamien ulkopuolella (pelto, metsä). Pitoisuudet on määritetty  $<2 \text{ mm}$  lajitteesta kunningsvesiuutolla. Arseenin kynnyksarvo,  $5 \text{ mg kg}^{-1}$ , on merkitty mustalla poikkiviivalla.

**Taulukko 7.** Taajamien ympäriltä kerättyjen pintamaanäytteiden (0-25 cm) mediaanipitoisuudet eri maalajeissa. Pitoisuudet on määritetty <2 mm lajitteesta kuningasvesiutolla.

	Savi	Hiekka	Moreeni
	Mediaani	Mediaani	Mediaani
pH	4.89	4.49	4.34
Ag (AR) mg kg <sup>-1</sup>	0.115	0.060	0.100
Al (AR) mg kg <sup>-1</sup>	24 050	12 900	16 300
B (AR) mg kg <sup>-1</sup>	5.20	<5	<5
Ba (AR) mg kg <sup>-1</sup>	141.0	41.3	52.5
Be (AR) mg kg <sup>-1</sup>	1.02	0.48	0.63
Bi (AR) mg kg <sup>-1</sup>	0.230	0.125	0.170
Ca (AR) mg kg <sup>-1</sup>	4 455	1 170	991
Cd (AR) mg kg <sup>-1</sup>	0.230	0.075	0.080
Co (AR) mg kg <sup>-1</sup>	19.0	6.57	7.51
Cr (AR) mg kg <sup>-1</sup>	62.6	25.0	28.1
Cu (AR) mg kg <sup>-1</sup>	27.3	9.93	11.4
Fe (AR) mg kg <sup>-1</sup>	37 400	18 500	20 900
K (AR) mg kg <sup>-1</sup>	4 320	1 060	1 050
Mg (AR) mg kg <sup>-1</sup>	9 230	4 760	4 220
Mn (AR) mg kg <sup>-1</sup>	708	183	179
Mo (AR) mg kg <sup>-1</sup>	1.37	0.490	0.870
Na (AR) mg kg <sup>-1</sup>	245.5	69.1	89.4
Ni (AR) mg kg <sup>-1</sup>	29.6	13.0	11.7
P (AR) mg kg <sup>-1</sup>	676	575	437
Pb (AR) mg kg <sup>-1</sup>	15.40	6.24	7.76
Rb (AR) mg kg <sup>-1</sup>	65.4	21.4	27.0
S (AR) mg kg <sup>-1</sup>	209	108	162
Sb (AR) mg kg <sup>-1</sup>	0.255	0.100	0.120
Se (AR) mg kg <sup>-1</sup>	0.500	0.300	0.440
Sn (AR) mg kg <sup>-1</sup>	1.58	0.595	0.760
Sr (AR) mg kg <sup>-1</sup>	32.8	6.54	6.85
Th (AR) mg kg <sup>-1</sup>	7.93	5.22	5.54
Ti (AR) mg kg <sup>-1</sup>	2 190	935	1 210
Tl (AR) mg kg <sup>-1</sup>	0.470	0.125	0.160
U (AR) mg kg <sup>-1</sup>	3.96	1.27	1.46
V (AR) mg kg <sup>-1</sup>	73.7	34.1	40.1
Zn (AR) mg kg <sup>-1</sup>	101	48.6	61.8
As (AR) mg kg <sup>-1</sup>	6.53	4.20	6.20
C %	2.42	1.04	1.71
Hg mg kg <sup>-1</sup>	0.032	0.017	0.030

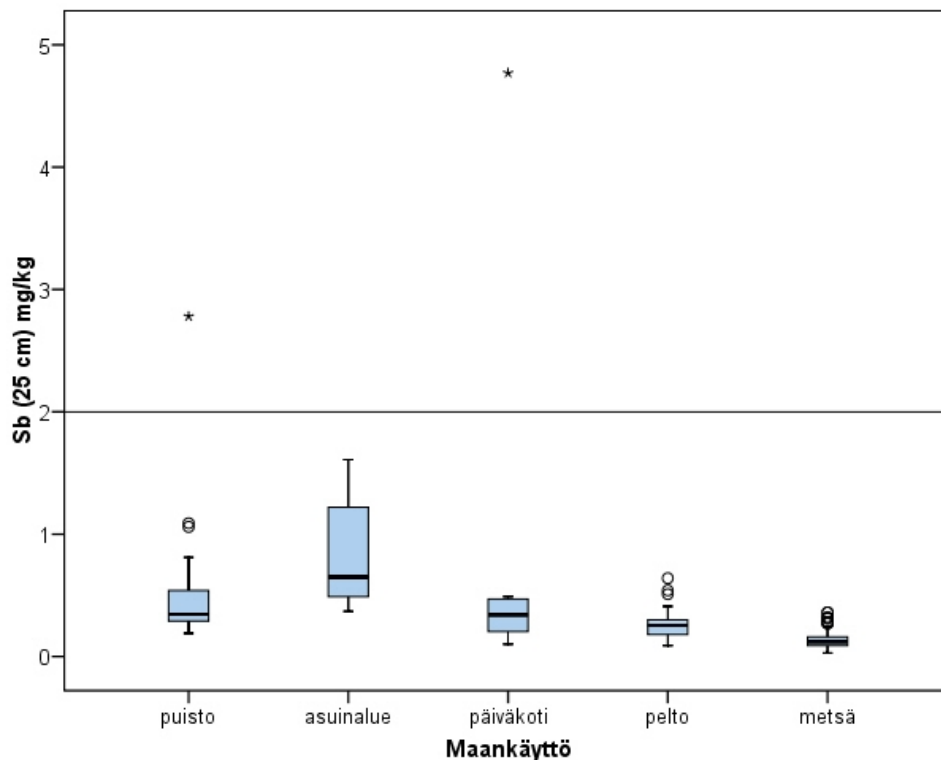
**Taulukko 8.** Taajamien ulkopuolelta kerättyjen humusnäytteiden mediaani- ja maksimipitoisuudet. Pitoisuudet on määritetty <2 mm lajitteesta väkevällä typpihappoutolla.

	Mediaani	Maksimi
pH	3.4	5.1
Ag mg kg <sup>-1</sup>	0.20	7.10
Al mg kg <sup>-1</sup>	2 710	17 100
As mg kg <sup>-1</sup>	1.51	12.0
B mg kg <sup>-1</sup>	4.52	10.3
Ba mg kg <sup>-1</sup>	94.1	460.0
Be mg kg <sup>-1</sup>	0.11	0.54
Bi mg kg <sup>-1</sup>	0.21	0.82
Ca mg kg <sup>-1</sup>	3 990	11 000
Cd mg kg <sup>-1</sup>	0.36	1.04
Co mg kg <sup>-1</sup>	1.62	40.1
Cr mg kg <sup>-1</sup>	6.82	40.5
Cu mg kg <sup>-1</sup>	13.1	313.0
Fe mg kg <sup>-1</sup>	3 630	22 200
Hg mg kg <sup>-1</sup>	0.219	0.536
K mg kg <sup>-1</sup>	1 135	3 230
Li mg kg <sup>-1</sup>	2.00	25.4
Mg mg kg <sup>-1</sup>	762	6 370
Mn mg kg <sup>-1</sup>	525	3 950
Mo mg kg <sup>-1</sup>	0.60	2.10
Na mg kg <sup>-1</sup>	69.0	272.0
Ni mg kg <sup>-1</sup>	8.20	26.5
P mg kg <sup>-1</sup>	969	1 650
Pb mg kg <sup>-1</sup>	32.0	657.0
Rb mg kg <sup>-1</sup>	12.20	58.7
S mg kg <sup>-1</sup>	1 500	2 320
Sb mg kg <sup>-1</sup>	0.26	4.34
Se mg kg <sup>-1</sup>	<0.5	760.00
Si mg kg <sup>-1</sup>	426	991
Sr mg kg <sup>-1</sup>	30.5	76.3
Th mg kg <sup>-1</sup>	1.17	6.56
Ti mg kg <sup>-1</sup>	281	2 010
Tl mg kg <sup>-1</sup>	0.22	0.54
U mg kg <sup>-1</sup>	0.37	1.78
V mg kg <sup>-1</sup>	11.4	53.7
Zn mg kg <sup>-1</sup>	64.9	595
C %	41.3	51.0
LOI %	81.0	97.2

### 3.1.2 Antimoni

Antimoni on puolimetalli ja kemiallisilta ominaisuuksiltaan arseenin kaltainen. Luonnossa antimonin esiintyy pääosin sulfidimineraaleissa, mutta pitoisuudet ovat yleensä pieniä. Antimonia käytetään mm. erilaisissa metalliseoksissa, kuten lyijyluodeissa ja antimonia tavataan usein maaperässä ampumaradoilla (Reinikainen 2007).

Kuvassa 6 on esitetty antimonipitoisuus eri maankäyttömuodoissa. Suurimmat pitoisuudet mitattiin asuintonteilta ja taajamien antimonipitoisuudet olivat hieman suuremmat kuin metsien ja peltojen pitoisuudet. Lähes kaikki pitoisuudet sekä taajamissa että taajamien ulkopuolella ovat pienempiä kuin PIMA-asetuksen kynnyisarvo  $2 \text{ mg kg}^{-1}$ .

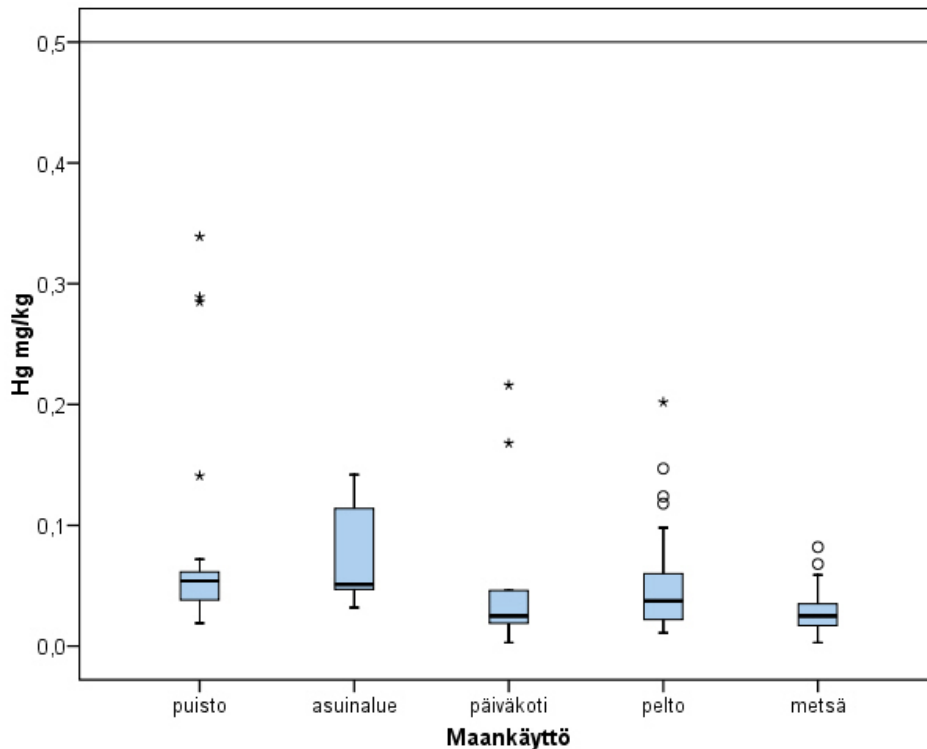


**Kuva 6.** Antimonipitoisuus pintamaassa (0-25 cm) Pirkanmaan taajamissa (puistot, asuinalueet ja päiväkodit/koulut) sekä taajamien ulkopuolella (pelto, metsä). Pitoisuudet on määritetty <2 mm lajitteesta kuningasvesiuutolla. Antimonin kynnyisarvo,  $2 \text{ mg kg}^{-1}$ , on merkitty mustalla poikkiviivalla.

### 3.1.3 Elohopea

Suomessa elohopeapitoisia mineraaleja esiintyy luontaisesti eniten mustaliuskeissa. Elohopeaa on käytetty laajasti mm. paristoissa, sähkölaitteissa, maaleissa ja torjunta-aineissa. Pintamaan humuskerroksissa alueellisesti kohonneet elohopeapitoisuudet voivat olla peräisin mm. energia-tuotannon polttoprosessin aiheuttamasta ilmalaskeumasta (Reinikainen 2007).

Kuvassa 7 on esitetty elohopeapitoisuus eri maankäyttömuodoissa. Suurimmat yksittäiset pitoisuudet mitattiin puistoissa. Taajamien elohopeapitoisuudet eivät olleet yleensä suurempia kuin metsien ja peltojen pitoisuudet. Pintamaan elohopeapitoisuus korreloi ainakin taajamien ulkopuolella pintamaan orgaanisen aineksen määrän kanssa. Kaikki pitoisuudet sekä taajamissa että taajamien ulkopuolella ovat pienempiä kuin PIMA-asetuksen kynnyksisarvo  $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ .

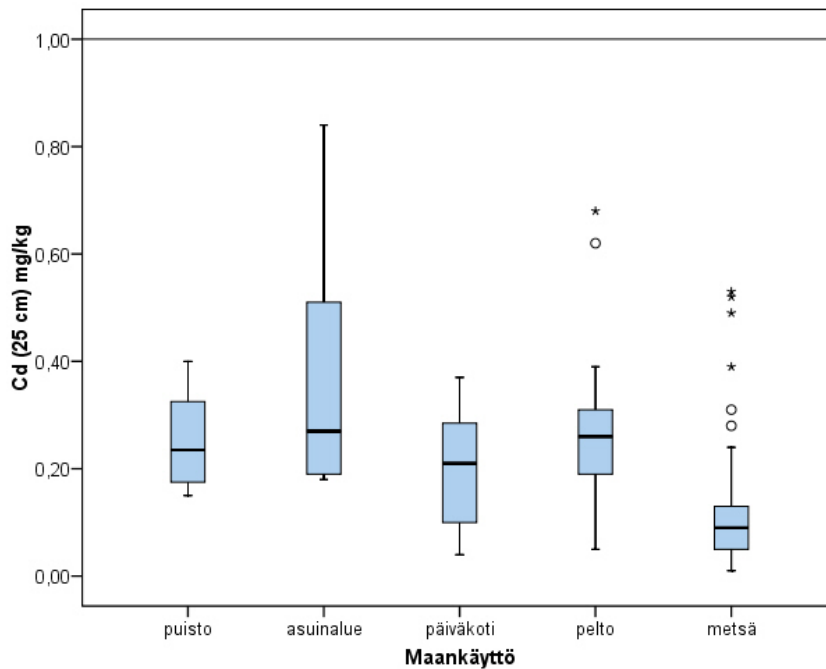


**Kuva 7.** Elohopeapitoisuus pintamaassa (0-25 cm) Pirkanmaan taajamissa (puistot, asuinalueet ja päiväkodit/koulut) sekä taajamien ulkopuolella (pelto, metsä). Pitoisuudet on määritetty <2 mm lajitteesta kuningasvesiutolla. Elohopean kynnyksisarvo,  $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ , on merkitty mustalla poikkiviivalla.

### 3.1.4 Kadmium

Kadmiumia esiintyy luonnossa erityisesti sulfidimalmeissa. Yleensä pitoisuudet ovat pieniä, mutta poikkeavan suuria määriä voi esiintyä luontaisesti turve- ja savimaissa. Kadmiumia on käytetty mm. raudan pintakäsittelyssä, väripigmenteissä sekä akuissa ja paristoissa (Reinikainen 2007).

Kuvassa 8 on esitetty kadmiumpitoisuus eri maankäyttömuodoissa. Suurimmat yksittäiset pitoisuudet mitattiin asuintonteilla. Taajamien keskimääräiset kadmiumpitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa kuin peltojen pintamaan kadmiumpitoisuudet. Kaikki pitoisuudet sekä taajamissa että taajamien ulkopuolella ovat pienempiä kuin PIMA-asetuksen kynnyksisarvo  $1 \text{ mg kg}^{-1}$ .

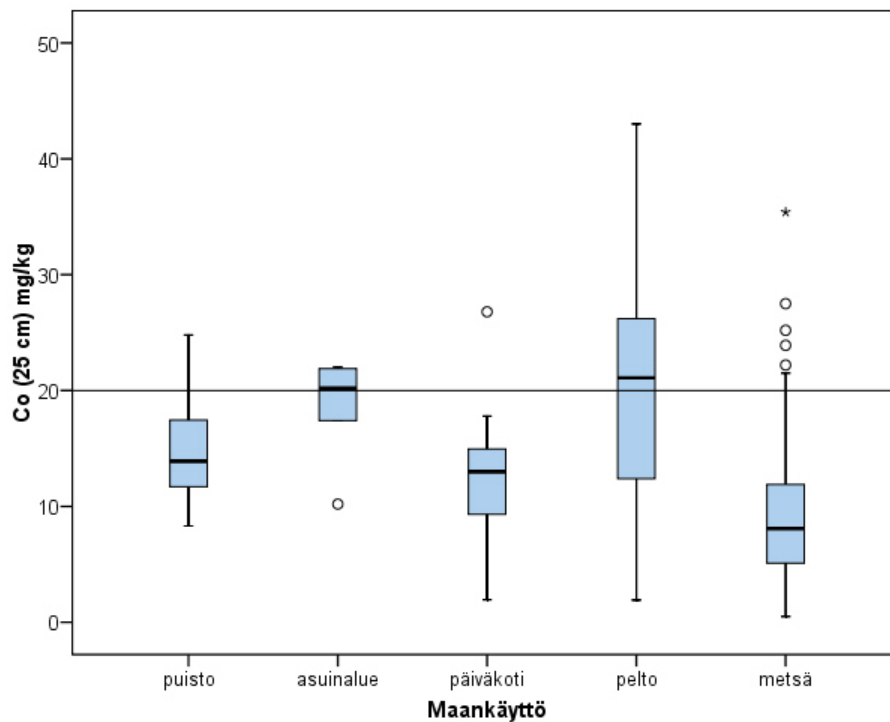


**Kuva 8.** Kadmiumpitoisuus pintamaassa (0-25 cm) Pirkanmaan taajamissa (puistot, asuinalueet ja päiväkodit/koulut) sekä taajamien ulkopuolella (pelto, metsä). Pitoisuudet on määritetty <2 mm lajitteesta kuningasvesiutolla. Kadmiumin kynnysarvo,  $1 \text{ mg kg}^{-1}$ , on merkitty mustalla poikkiviivalla.

### 3.1.5 Koboltti

Kobolttia esiintyy lähinnä sulfideissa yhdessä raudan ja nikkelin kanssa sekä pieninä pitoisuuksina kiille- ja savimineraaleissa. Kobolttia on käytetty mm. erilaisissa teollisuuden metalliseoksissa, maaleissa ja akuissa. Maaperään kobolttia voi päästä kaivosteollisuudesta, jätteistä ja jätevesistä. (Reinikainen 2007).

Koboltti on yksi niistä metalleista, jonka taustapitoisuus on eteläisellä Pirkanmaalla korkeampi kuin PIMA-asetuksen kynnysarvo  $20 \text{ mg kg}^{-1}$ . Kuvan 9 mukaan taajamien asuintonttien kobolttipitoisuuksien mediaani on jokseenkin kynnysarvon suuruinen eli puolet havainnoista on kynnysarvoa suurempia, vaikka näytteenotossa on vältetty mahdollisesti pilaantuneita maita. Puistoista otettujen näytteiden suurimmat pitoisuudet ovat selvästi yli kynnysarvon ja päiväkotien tai leikkipuistojen näytteistäkin yksi ylittää kynnysarvon. Taajamien pitoisuudet ovat kuitenkin pienempiä kuin Pirkanmaan peltojen pitoisuudet ja samaa suuruusluokkaa kuin metsämaiden pitoisuudet. Taajamien suurimmaksi suositeltavaksi taustapitoisuusarvoksi määritettiin  $29 \text{ mg kg}^{-1}$ .

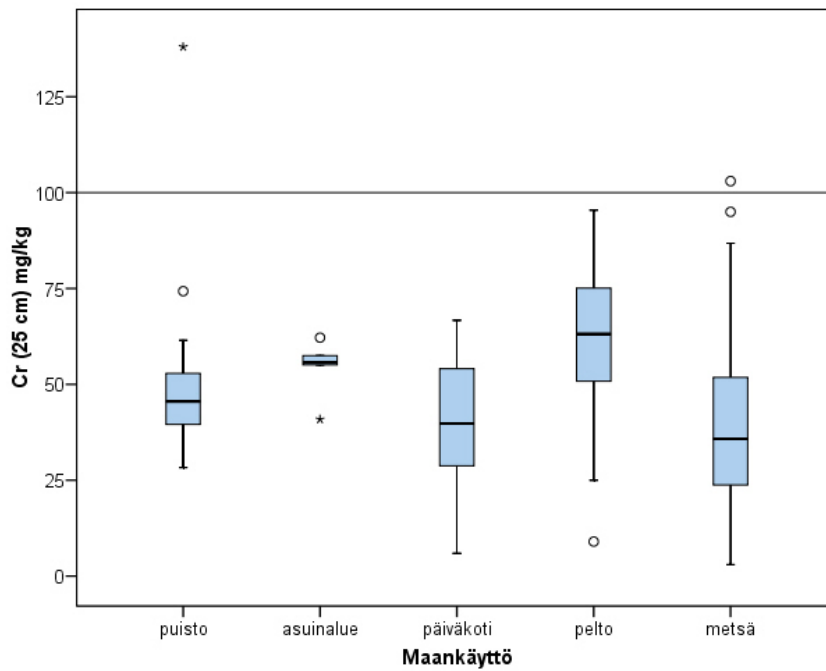


**Kuva 9.** Kobolttipitoisuus pintamaassa (0-25 cm) Pirkanmaan taajamissa (puistot, asuinalueet ja päiväkotit/koulut) sekä taajamien ulkopuolella (pelto, metsä). Pitoisuudet on määritetty <2 mm lajitteesta kunningsvesiuutolla. Kobolttin kynnysarvo, 20 mg kg<sup>-1</sup>, on merkitty mustalla poikkiviivalla.

### 3.1.6 Kromi

Kromia esiintyy oksidimineraaleissa ja vähäisessä määrin silikaattimineraaleihin sitoutuneena. Kromia on Suomessa käytetty erityisesti ruostumattoman teräksen valmistuksessa sekä mm. nahka- ja kemianteollisuudessa ja puunsuojauksessa (CCA-kyllästeet) (Reinikainen 2007).

Taajamien keskimääräiset kromipitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa kuin metsien pintamaan kromipitoisuudet. Kuvassa 10 on esitetty kromipitoisuus eri maankäyttömuodoissa. Suurimmat yksittäiset pitoisuudet mitattiin puistoissa. Kahta näytettä lukuun ottamatta kaikki pitoisuudet sekä taajamissa että taajamien ulkopuolella ovat pienempiä kuin PIMA-asetuksen kynnysarvo 100 mg kg<sup>-1</sup>.



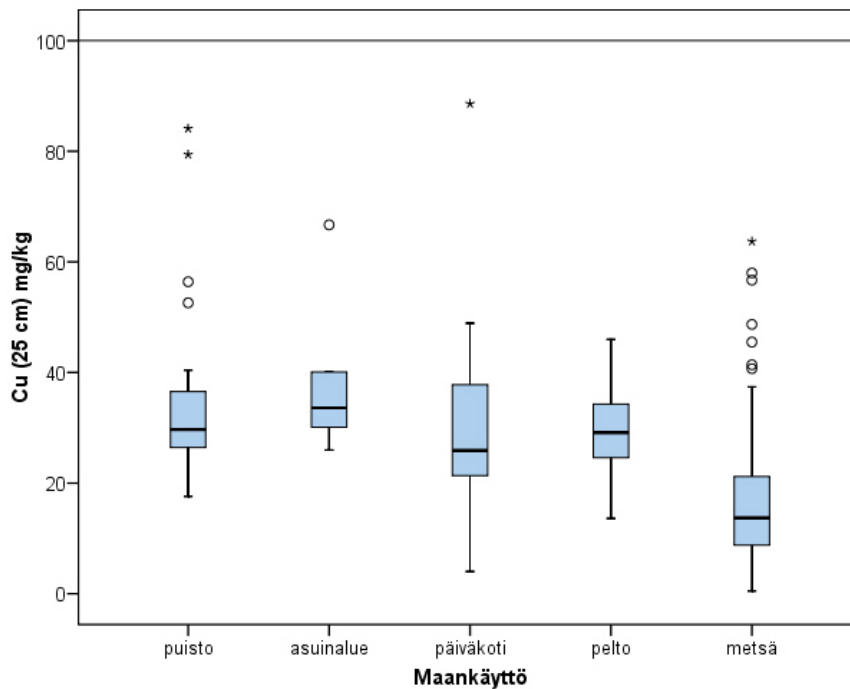
**Kuva 10.** Kromipitoisuus pintamaassa (0-25 cm) Pirkanmaan taajamissa (puistot, asuinalueet ja päiväkodit/koulut) sekä taajamien ulkopuolella (pelto, metsä). Pitoisuudet on määritetty <2 mm lajitteesta kunningsvesiutolla. Kromin kynnysarvo, 100 mg kg<sup>-1</sup>, on merkitty mustalla poikkiviivalla.

### 3.1.7 Kupari

Kuparia esiintyy luontaisesti sulfidimineraaleissa sekä silikaattimineraalien kidehiloissa. Suomessa kuparia on käytetty mm. teollisuuden metalliseoksissa, väripigmenteissä ja puunsuojauksessa (CCA-kyllästeet) (Reinikainen 2007).

Pirkanmaan taajamien pintamaan kuparipitoisuudet olivat samaa luokkaa kuin peltojen pintamaan kuparipitoisuudet (kuva 11). Kaikki pitoisuudet olivat pienempiä kuin PIMA-asetuksen kynnysarvo 100 mg kg<sup>-1</sup>.



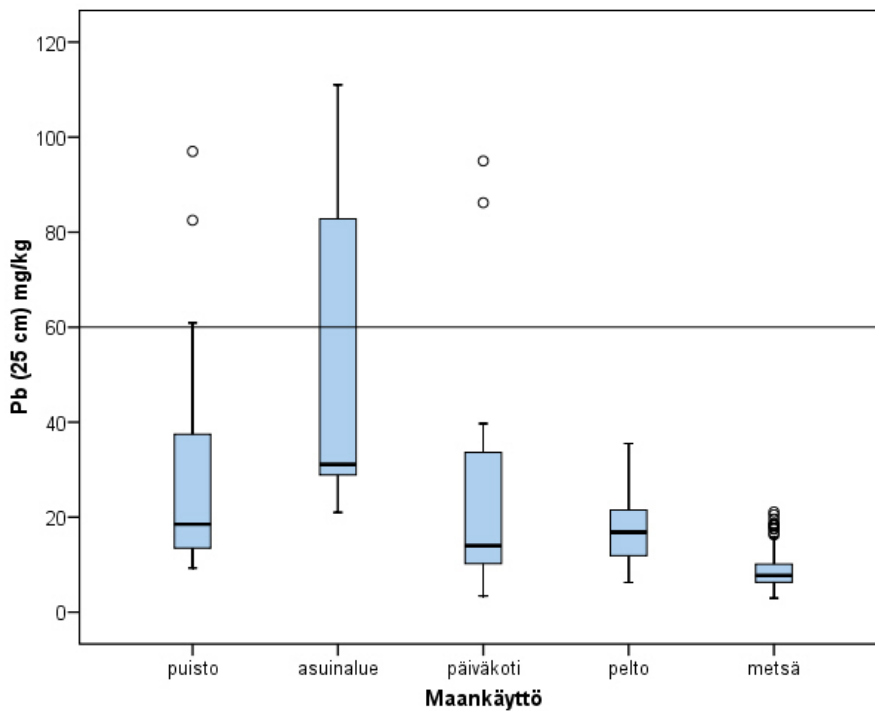


**Kuva 11.** Kuparipitoisuus pintamaassa (0-25 cm) Pirkanmaan taajamissa (puistot, asuinalueet ja päiväkodit/koulut) sekä taajamien ulkopuolella (pelto, metsä). Pitoisuudet on määritetty <2 mm lajitteesta kunniasvesiuutolla. Kuparin kynnyсарvo, 100 mg kg<sup>-1</sup>, on merkitty mustalla poikkiviivalla.

### 3.1.8 Lyijy

Lyijy esiintyy Suomen kallio- ja maaperässä niukkaliukoisina karbonaatti- ja sulfidimineraaleina ja vähäisenä määrinä sitoutuneena silikaattimineraaleihin. Suomessa paikallista maaperän lyijykuormitusta ovat aiheuttaneet mm. ampumaratojen haulit ja luodit, kuparisulattojen kuonat sekä autojen akut. Pintamaakerroksessa alueellisesti kohonneet pitoisuudet voivat olla peräisin energiatuotannon polttoprosessien aiheuttamasta lyijylaskeumasta sekä lyijyn käytöstä bensiinin lisäaineena (Reinikainen 2007).

Lyijy oli tutkituista metalleista ainoa, jonka taustapitoisuudet olivat taajamissa korkeammat kuin ympäristön pelto- ja metsämailla. Kuvan 12 jakaumakuvioista huomataan, että lyijypitoisuuden mediaaniarvo (merkitty mustalla poikkiviivalla laatikkokuvaajan sisään) ei ole taajamissa erityisen korkea verrattuna peltomaihin, mutta lyijyn pitoisuusjakauma on taajamissa hyvin vino ja taajamissa on runsaasti suhteellisen suuria lyijypitoisuuksia. Lyijyn PIMA-asetuksen kynnyсарvo, 60 mg kg<sup>-1</sup>, ylittyy taajamien sisältä otetuissa näytteissä. TAATA-hankkeen 0-25 cm:n syvyydeltä kerättyjen näytteiden perusteella laskettu suurin suositeltu taustapitoisuusarvo lyijylle taajamissa on 77 mg kg<sup>-1</sup>.



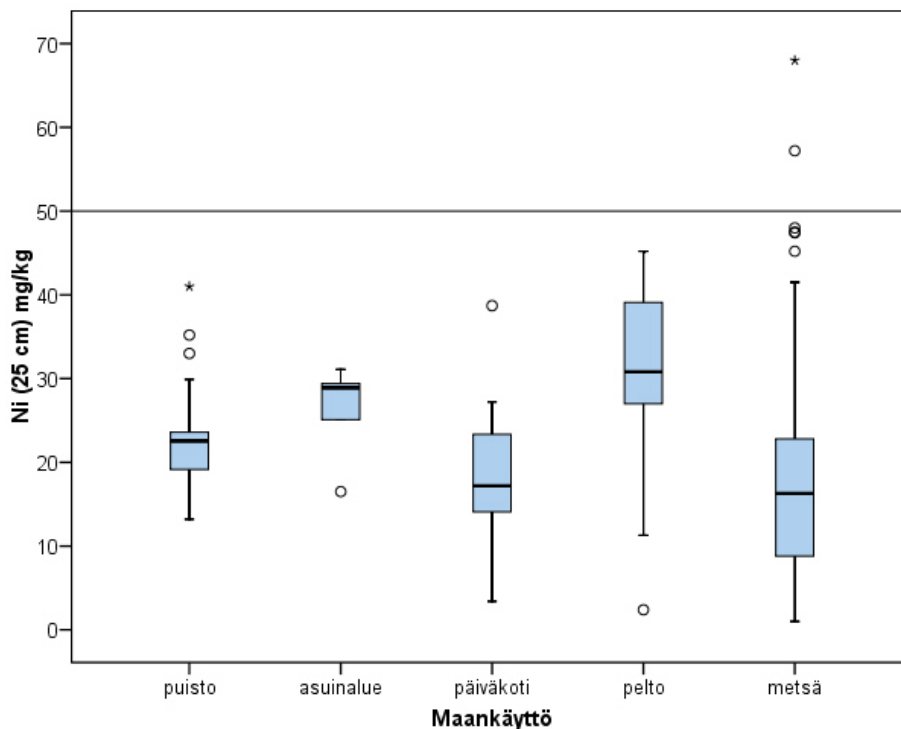
**Kuva 12.** Lyijypitoisuus pintamaassa (0-25 cm) Pirkanmaan taajamissa (puistot, asuinalueet ja päiväkotit/koulut) sekä taajamien ulkopuolella (pelto, metsä). Pitoisuudet on määritetty <2 mm lajitteesta kunningasvesiuutolla. Lyijyn kynnysarvo,  $60 \text{ mg kg}^{-1}$ , on merkitty mustalla poikkiviivalla.

TAATA-hankkeen alkuvaiheessa verrattiin lyijypitoisuuksia taajamien keskuspuistoissa tien varressa ja 60 m päässä tiestä. Näytteitä otettiin sekä 0-25 cm:n syvyydeltä että 0-2 cm:n syvyydeltä. Näytepisteen sijainti ei juuri vaikuttanut tutkittujen alkuaineiden mediaanipitoisuuksiin. Tien vieressä kuparin, lyijyn, antimonin ja arseenin mediaanipitoisuus oli hieman korkeampi kuin puiston sisältä otetuissa näytteissä. Suurimpia lyijypitoisuuksia mitattiin tien vierestä 0-2 cm:n näytteistä (Jarva ja Tarvainen 2008).

### 3.1.9 Nikkeli

Nikkeliä esiintyy nikkelisulfidimineraaleissa sekä sitoutuneena rautasulfidi- ja silikaattimineraaleihin. Nikkeliä käytetään mm. ruostumattoman teräksen ja metalliseosten valmistuksessa, metallien galvanoinnissa sekä paristoissa. Nikkeliä voi päästä maaperään myös kaivos- ja metalliteollisuuden sekä energiatuotannon tuhista ja kuonista sekä ilmalaskeumana kivihillen poltosta (Reinikainen 2007).

Pirkanmaan taajamien pintamaan nikkelpitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa kuin metsämaiden nikkelpitoisuudet (kuva 13). Taajamien pitoisuudet eivät ylittäneet PIMA-asetuksen kynnysarvoa  $50 \text{ mg kg}^{-1}$ .

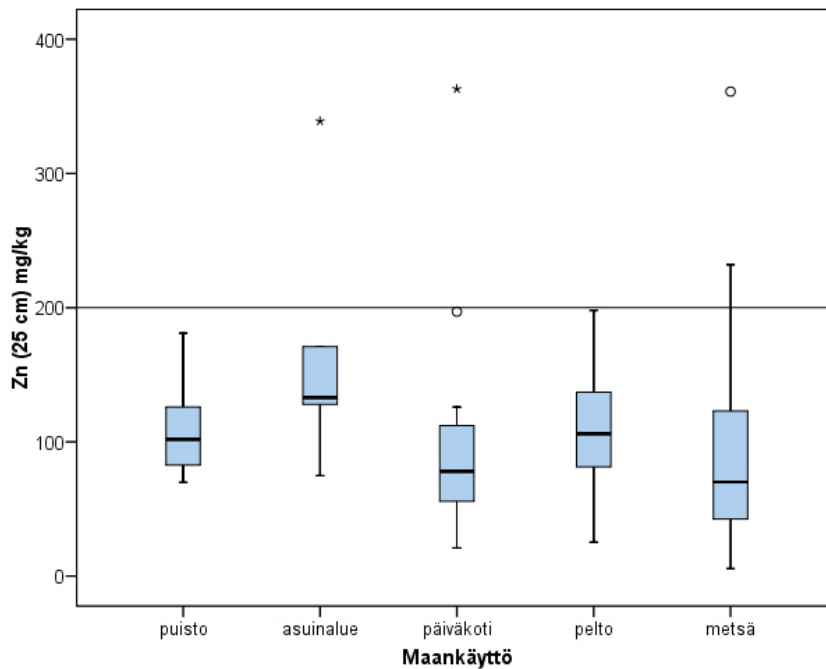


Kuva 13. Nikkelipitoisuus pintamaassa (0-25 cm) Pirkanmaan taajamissa (puistot, asuinalueet ja päiväkodit/koulut) sekä taajamien ulkopuolella (pelto, metsä). Pitoisuudet on määritetty <2 mm lajitteesta kunningsvesiutolla. Nikkelin kynnysarvo,  $50 \text{ mg kg}^{-1}$ , on merkitty mustalla poikkiviivalla.

### 3.1.10 Sinkki

Sinkki on luonnossa yleinen metalli. Maaperässä sinkkiä on luontaisesti runsaasti sulfidipitoisten kallioperän alueilla (mustaliuskealueet) ja sulfidisavimaissa sekä sulfidipitoisissa turvesoissa. Sinkkiä käytetään metalliteollisuudessa esimerkiksi raudan ja teräksen pinnoitukseen sekä mes-sinkiseoksissa (Reinikainen 2007).

Pirkanmaan taajamien pintamaan sinkkipitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa kuin peltojen ja metsämaiden sinkkipitoisuudet (kuva 14). Metsämailla taustapitoisuusjakauman yläraja on suurempi kuin PIMA-asetuksen kynnysarvo  $200 \text{ mg kg}^{-1}$ . TAATA-hankkeen 0-25 cm:n syvyydeltä kerättyjen näytteiden perusteella laskettu suurin suositeltu taustapitoisuusarvo sinkille taajamissa on  $208 \text{ mg kg}^{-1}$ .

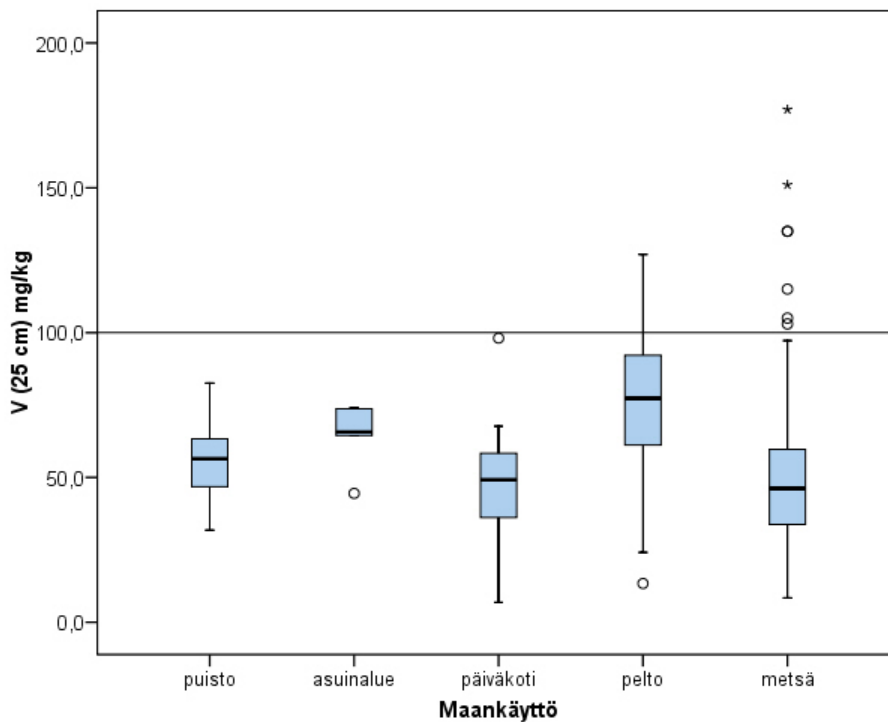


Kuva 14. Sinkkipitoisuus pintamaassa (0-25 cm) Pirkanmaan taajamissa (puistot, asuinalueet ja päiväkotit/koulut) sekä taajamien ulkopuolella (pelto, metsä). Pitoisuudet on määritetty <2 mm lajitteesta kunningsvesiutolla. Sinkin kynnysarvo, 200 mg kg<sup>-1</sup>, on merkitty mustalla poikkiviivalla.

### 3.1.11 Vanadiini

Vanadiinia esiintyy luontaisesti niukkaliukoisina oksidimineraaleina tai kiillemineraaleihin sitoutuneena. Vanadiinia käytetään seosaineena mm. teräksessä, raudattomissa metalliseoksissa sekä kemikaaleissa (Reinikainen (2007)).

Pirkanmaan taajamien pintamaan vanadiinipitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa kuin metsämaiden vanadiinipitoisuudet (kuva 15). Peltomailla taustapitoisuusjakauman yläraja on suurempi kuin PIMA-asetuksen kynnysarvo, mutta taajamien pitoisuudet eivät ylittäneet asetuksen kynnysarvoa 100 mg kg<sup>-1</sup>.

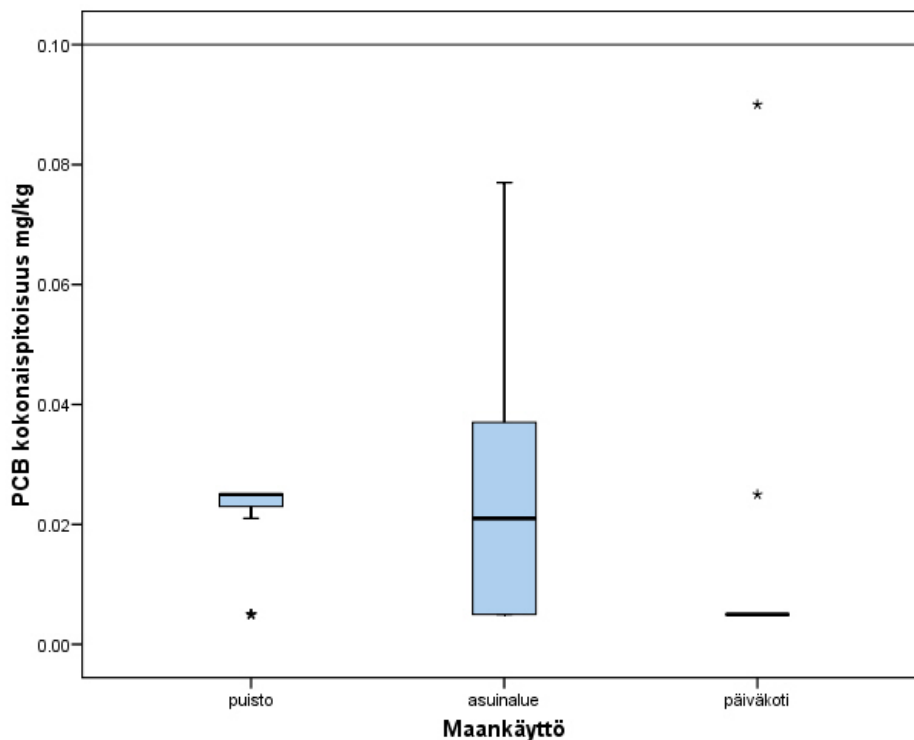


Kuva 15. Vanadiinipitoisuus pintamaassa (0-25 cm) Pirkanmaan taajamissa (puistot, asuinalueet ja päiväkodit/koulut) sekä taajamien ulkopuolella (pelto, metsä). Pitoisuudet on määritetty <2 mm lajitteesta kuningasvesiutolla. Vanadiinin kynnyсарvo,  $100 \text{ mg kg}^{-1}$ , on merkitty mustalla poikkiviivalla.

### 3.1.12 PCB-yhdisteet

Polykloorattuja bifenyylejä (PCB-yhdisteet) on olemassa 209 erilaista yhdistettä (kongeneeria). Maaperässä PCB-yhdisteet ovat heikosti kulkeutuvia ja hyvin hitaasti hajoavia. Niiden vesiliukoisuus ja haihtuvuus laskee ja pysyvyys lisääntyy kloorautumisen asteen kasvaessa (Reinikainen 2007). PCB-yhdisteet sitoutuvat maaperään, erityisesti maaperän orgaaniseen ainekseen hyvin voimakkaasti. PCB-yhdisteiden puoliintumisaajat maaperässä pohjoisissa ympäristöolosuhteissa vaihtelevat muutamasta kuukaudesta kymmeneen vuosiin. Esimerkiksi kongeneerin PCB-180 arvioitu puoliintumisaika on 330 kk ja kongeneerin PCB-28 36 kk (Hellman ja muut 2003).

Pirkanmaan taajamien PCB-yhdisteiden kokonaispitoisuus oli useissa näytteissä alle määrittysrajan. PIMA-asetuksen kynnyсарvo,  $0,1 \text{ mg kg}^{-1}$ , ei ylittynyt yhdessäkään näytteessä (kuva 16).

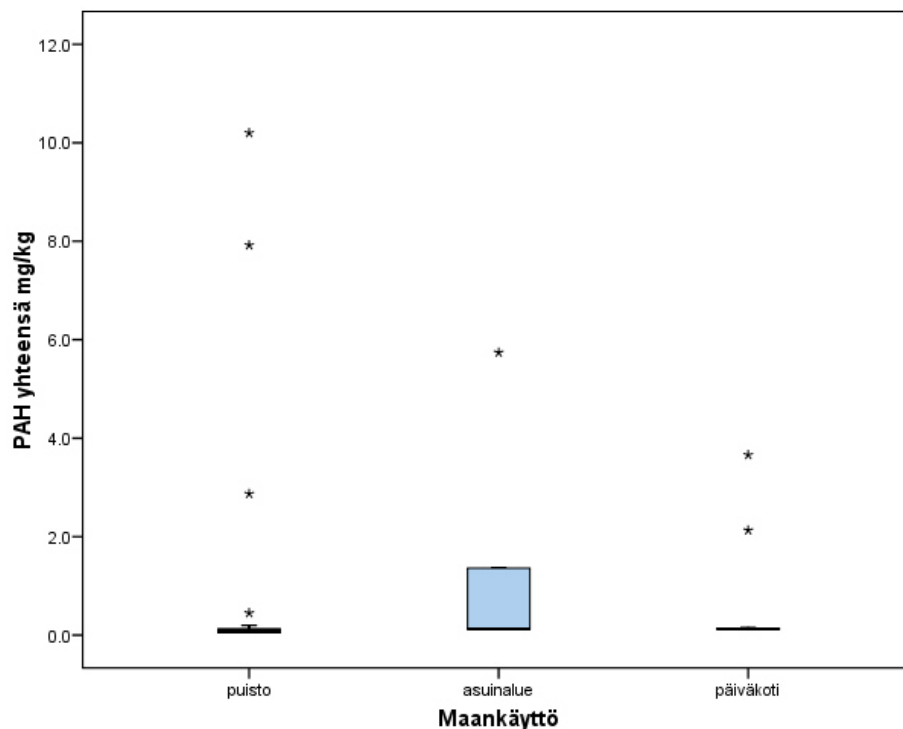


**Kuva 16.** PCB-yhdisteiden kokonaispitoisuus pintamaassa (0-25 cm) Pirkanmaan taajamissa (puistot, asuinalueet ja päiväkodit/koulut). PCB-yhdisteiden kokonaispitoisuuden kynnyсарvo,  $0,1 \text{ mg kg}^{-1}$ , on merkitty mustalla poikkiviivalla.

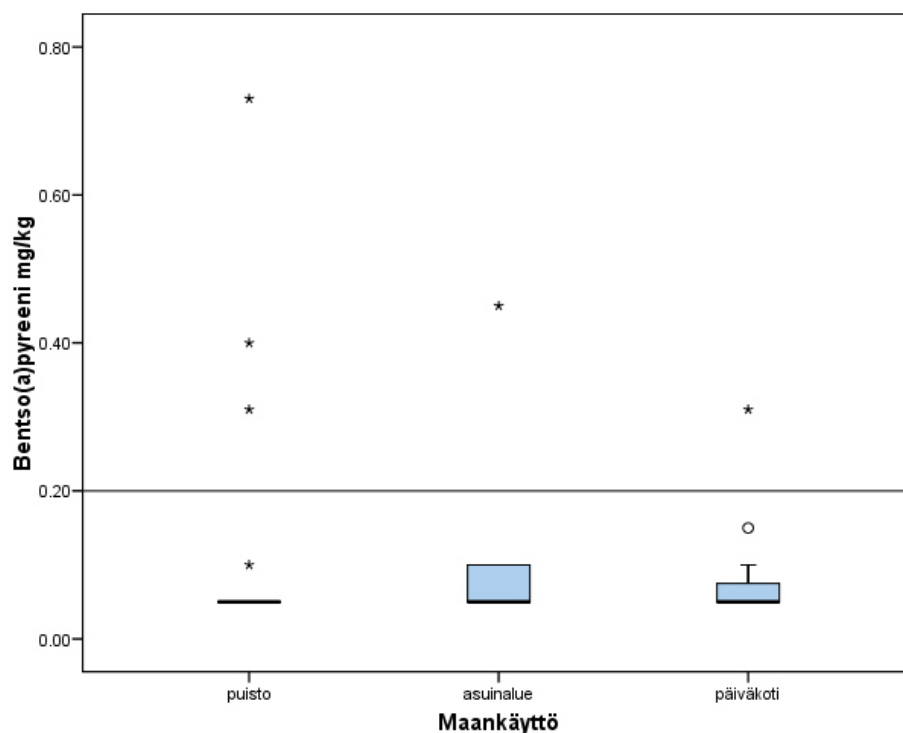
### 3.1.13 PAH-yhdisteet

PAH-yhdisteisiin kuuluu satoja, ominaisuuksiltaan vaihtelevia yhdisteitä. Ne ovat hyvin niukka-liukoisia ja pidättyvät maaperässä tiukasti maa-ainekseen. PIMA-asetuksessa PAH-yhdisteiden viitearvot on määritetty seitsemälle yksittäiselle PAH-yhdisteelle, joista bentso(a)pyreeni on syöpävaarallisin. Pilaantuneen maaperän tutkimuksissa seurataan yleensä 16 keskeisimmän PAH-yhdisteen pitoisuuksia ja PAH-yhdisteiden kokonaispitoisuuden viitearvot on asetettu näiden yhdisteiden summapitoisuudelle (Reinikainen 2007).

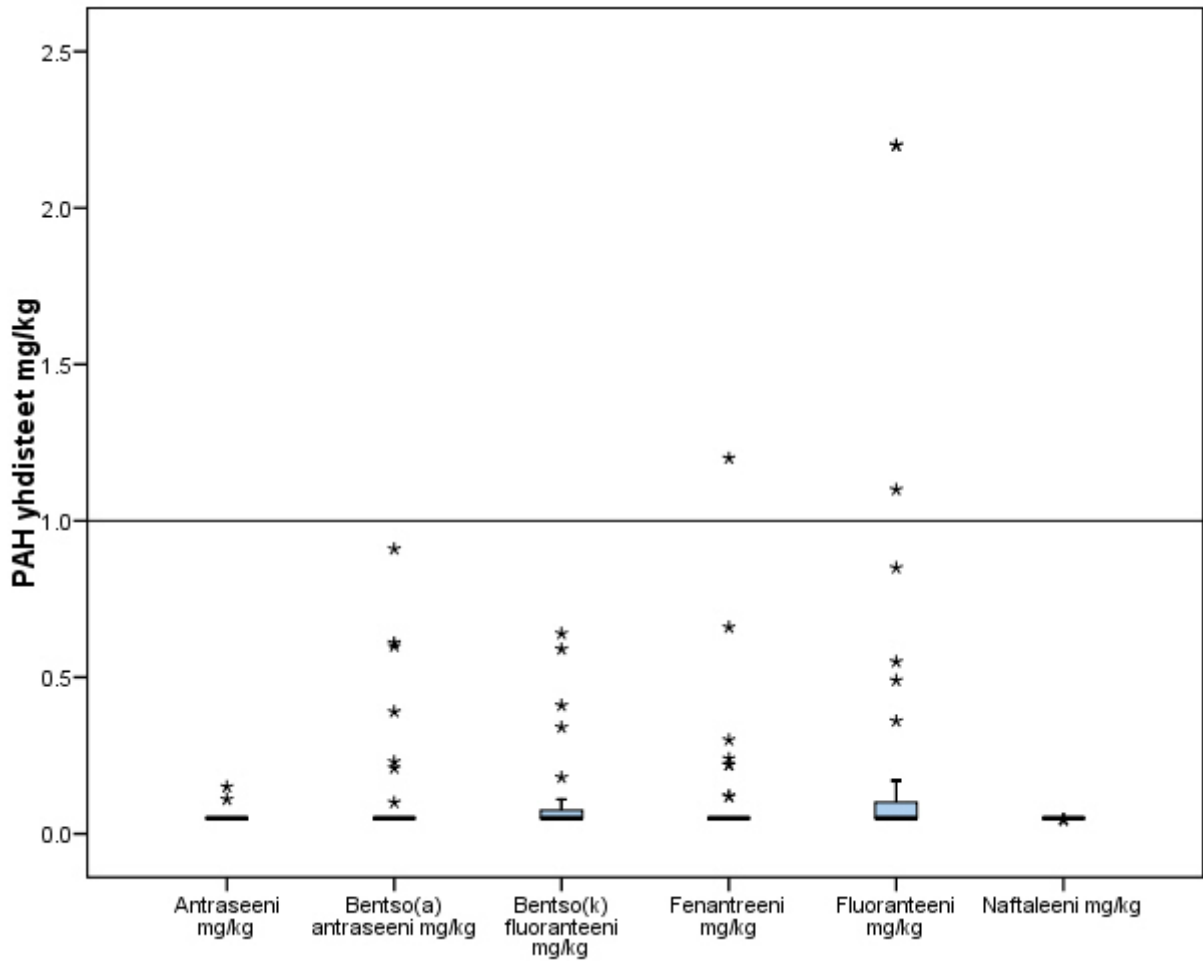
Pirkanmaan taajamien PAH-yhdisteiden summapitoisuus ei ylittänyt PIMA-asetuksen kynnyсарvoa  $15 \text{ mg kg}^{-1}$  (kuva 17). Sen sijaan muutaman yksittäisen yhdisteen pitoisuudet olivat yli niille asetetun kynnyсарvon muutamassa näytteessä. Bentso(a)pyreenin kynnyсарvo,  $0,2 \text{ mg kg}^{-1}$ , ylittyi viidessä näytteessä (kuva 18). Muiden yksittäisten PAH-yhdisteiden kynnyсарvo,  $1 \text{ mg kg}^{-1}$ , ylittyi fenantreenin ja fluoranteenin osalta (kuva 19).



**Kuva 17.** PAH-yhdisteiden summapitoisuus pintamaassa (0-25 cm) Pirkanmaan taajamissa (puistot, asuinalueet ja päiväkodit/koulut). PAH-yhdisteiden summapitoisuuden kynnysarvo on  $20 \text{ mg kg}^{-1}$ .



**Kuva 18.** B(a)pyreenin pitoisuus pintamaassa (0-25 cm) Pirkanmaan taajamissa (puistot, asuinalueet ja päiväkodit/koulut). B(a)pyreenin kynnysarvo,  $0,2 \text{ mg kg}^{-1}$ , on merkitty mustalla poikkiviivalla.



**Kuva 19.** Antraseenin, bentso(a)pyreenin, bentso(k)fluoranteenin, fenantreenin, fluoranteenin ja naftaleenin pitoisuus pintamaassa (0-25 cm) Pirkanmaan taajamissa. Yhdisteiden kynnsarvo,  $1 \text{ mg kg}^{-1}$ , on merkitty mustalla poikkiviivalla.

## 4 POHDINTA

### 4.1 Maaperän pilaantuneisuuden arvioinnin kannalta keskeiset alkuaineet

TAATA-tutkimuksen perusteella ainakin koboltin, lyijyn, sinkin ja arseenin taustapitoisuudet voivat ylittää PIMA-asetuksen kynnsarvon. Maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnissa Pirkanmaan taajamissa tulisi näiden alkuaineiden osalta käyttää kynnsarvon sijaan taustapitoisuustietoa.

Taajamien sisältä kerättyjen näytteiden pitoisuuksia on verrattu Pirkanmaan luonnontilaisten maiden pitoisuuksiin. Arseenin, koboltin ja sinkin korkeahko taustapitoisuus Pirkanmaan taajamissa on todennäköisesti geologista alkuperää, lyijyn pitoisuuksiin vaikuttaa enemmän ihmisten toiminta.



## 4.2 Arseenipitoisuuksien vaikutus maankäyttöön

### 4.2.1 Aiemmat arseeniselvitykset

Arseeni on luonnon alkuaine, jota on pieniä määriä maa- ja kallioperässä sekä pohjavedessä lähes kaikkialla. Pirkanmaan eteläosissa on kuitenkin alueita, joissa on poikkeuksellisen korkeita arseenipitoisuuksia sekä maa- ja kallioperässä että pohjavedessä. Korkeat arseenipitoisuudet ovat luontainen alueellinen erityispiirre Pirkanmaalla.

Arseeni on useimmiten lähtöisin arseenikiisu-nimisestä sulfidimineraalista, jota alueen kallioperässä on paikoin runsaasti. Jääkaudella jää ja vesi kuluttivat ja hioivat kalliota ja kerrostivat tätä kiviainesta paikalliseksi maaperäksi, siksi maaperän geokemiallinen koostumus on hyvin samanlainen kuin alueen kallioperän geokemiallinen koostumus. Pohjavesi liuottaa ympäröivää maa- ja kallioperää ja saa siten samantapaisen geokemiallisen koostumuksen kuin sitä ympäröivässä maa- ja kallioperässä on.

Pirkanmaalla on tutkittu paljon arseenin esiintymistä, pääasiassa kalliopohjaveden arseenia, mutta myös maaperän ja kallioperän arseenia. EU-rahoitteisessa Ramas-hankkeessa (2004 - 2007) koottiin Pirkanmaan alueelta kaikki saatavilla oleva kallioperän, maaperän, pinta- ja pohjaveden arseenipitoisuustieto (<http://projects.gtk.fi/ramas/index.html>, Loukola-Ruskeeniemi ja muut 2007, Backman ja muut 2006,). Taulukkoon 9 on koottu koko maan sekä Pirkanmaan eteläosan (Tampereen alue) kallioperän, maaperän ja pohjaveden keskimääräisiä arseenipitoisuuksia sekä maksimi-arvoja, taajamanäytteiden tulokset eivät ole mukana tässä aineistossa.

Arseeni on hengitettynä ja nieltynä haitallinen alkuaine, jonka jo pieninä annoksina on todettu aiheuttavan syöpää, mikäli altistus on jatkunut pitkään. Arseeni voi myös suurina annoksina aiheuttaa akuutin myrkytyksen. Arseeni on ympäristölle vaarallinen alkuaine ja vesiliöistölle erittäin myrkyllinen.

**Taulukko 9.** Ramas-hankkeen (2004-2007) kokoamia keskimääräisiä arseenipitoisuuksia koko maasta sekä Pirkanmaan eteläosassa taajamien ulkopuolella. 1) Lahtinen ja muut 2005, 2) Koljonen 1992, 3) Lahermo ja muut 2002, 4) Backman ja muut 2006.

	Keskipitoisuus	Maksimipitoisuus
<b>Koko Suomi</b>		
Kallioperä <sup>1)</sup>	0,9 mg kg <sup>-1</sup>	729 mg kg <sup>-1</sup>
Maaperä/ moreeni <sup>2)</sup>	2,6 mg kg <sup>-1</sup>	11,0 mg kg <sup>-1</sup>
Kalliopohjavesi <sup>3)</sup>	0,16 µg/l	23,6 µg/l
Maaperän pohjavesi <sup>3)</sup>	0,14 µg/l	19,7 µg/l
<b>Pirkanmaan eteläosa</b>		
Kallioperä <sup>4)</sup>	2,22 mg kg <sup>-1</sup>	377 mg kg <sup>-1</sup>
Maaperä/ moreeni <sup>4)</sup>	8,01 mg kg <sup>-1</sup>	7860 mg kg <sup>-1</sup>
Kalliopohjavesi <sup>4)</sup>	5,5 µg/l	2230 µg/l
Maaperän pohjavesi <sup>4)</sup>	0,32 µg/l	45 µg/l

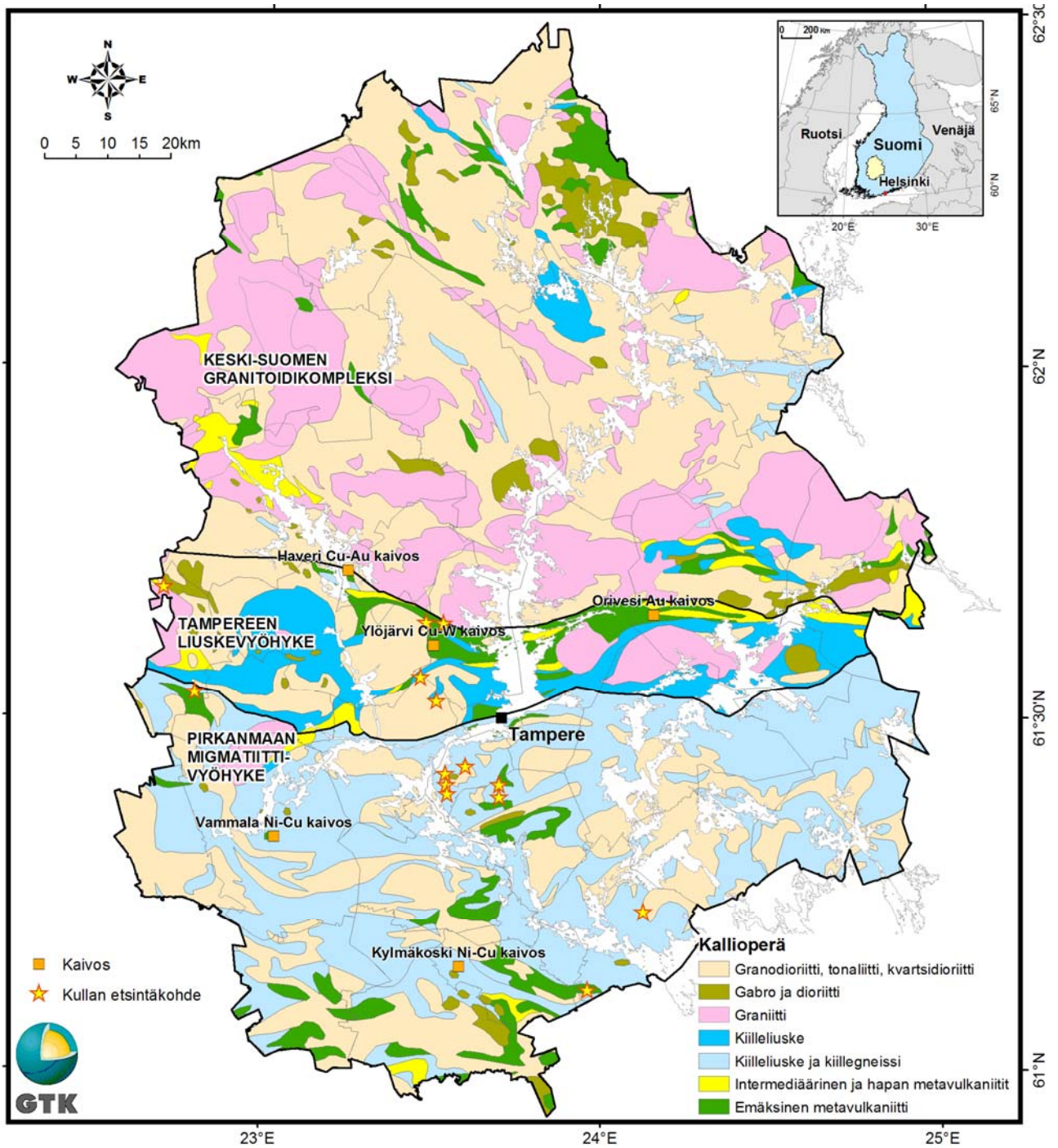
#### 4.2.2 Arseenipitoisuudet Pirkanmaalla

Pirkanmaan keski- ja eteläosan kallioperässä, maaperässä ja kalliopohjavedessä on keskimäärin enemmän arseenia kuin muualla Suomessa (Loukola-Ruskeeniemi & Lahermo 2004, Backman ja muut 2006, Loukola-Ruskeeniemi ja muut 2007). Pirkanmaan alue voidaan jakaa kallioperän kivilajien perusteella kolmeen vyöhykkeeseen: Keski-Suomen granitoidivyöhyke, Tampereen liuskevyöhyke sekä Pirkanmaan migmatiitti-vyöhyke. Vyöhykkeet on merkitty kuvaan 20. Kallioperän arseenipitoisuudet ovat keskimäärin korkeampia Tampereen liuskevyöhykkeellä ja Pirkanmaan migmatiittivyöhykkeellä. Pirkanmaan pohjoisosan granitoideja sisältävässä kallioperässä arseenipitoisuudet ovat yhtä pieniä kuin Suomessa keskimäärin. Pirkanmaalla on useita vanhoja kaivosalueita, joissa malmi ja sen sivukivet sisältävät keskimääräistä korkeampia arseenipitoisuuksia. Merkittävin näistä on Ylöjärven kupari-volframi-arseeni esiintymä. Myös Kylmäkosken nikkeli-kupari-malmiin, Haverin kupari-kultamalmin ja Oriveden kultamalmin ja niitä ympäröiviin alueisiin liittyy keskimääräistä korkeampia arseenipitoisuuksia (Parviainen ja muut 2006, Backman ja muut 2007).

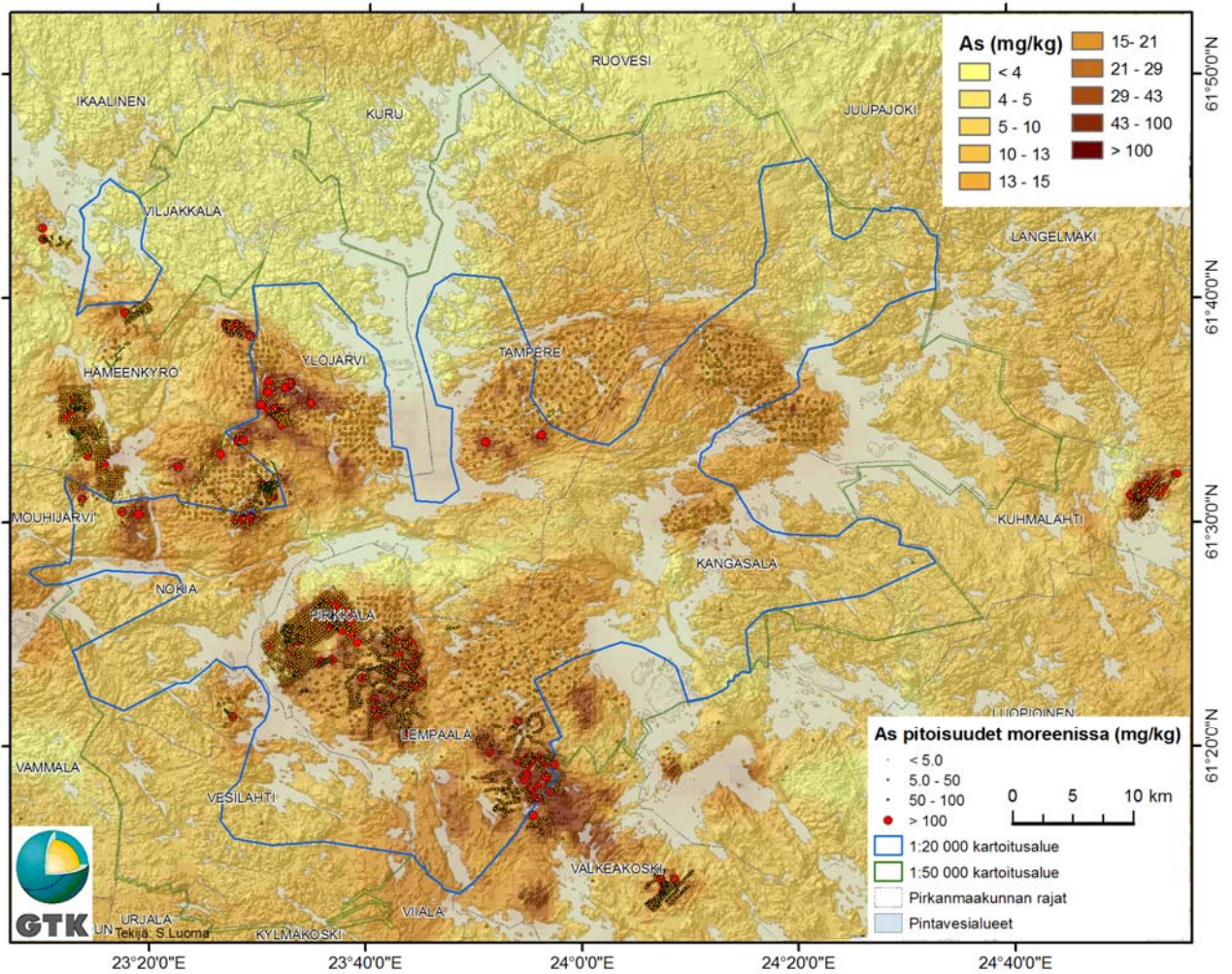
Alueilla, joilla on korkeat arseenipitoisuudet kallioperässä on myös todettu korkeita pitoisuuksia kalliopohjavedessä. Monin paikoin arseenipitoisuudet ylittävät talousvedelle asetetut ohjearvot. Sekä maaperän että kalliopohjaveden arseeni on alun perin kallioperästä lähtöisin. Tutkituista Pirkanmaan 1273 porakaivosta noin joka viidennessä porakaivossa arseenipitoisuus ylittää juomavedelle asetetun rajaarvon,  $10 \mu\text{g l}^{-1}$ . Kaivovesi pitää analysoida kaivon käyttöönoton yhteydessä ja myös silloin, kun veden käyttömäärässä on merkittäviä muutoksia. Pintavesissä ja maaperän pohjavedessä arseenipitoisuudet eivät yleensä ole korkeita. Myös vesilaitosvesissä arseenipitoisuudet olivat pieniä

Maaperä koostuu syntyvän ja aineksen suhteen erilaisista kerroksista. Heikosti lajittunut moreeni edustaa paikallista kallioperää, kun taas savikoiden ja hiekkamaiden aines on voinut kulkeutua hyvinkin kaukaa. Sen vuoksi näiden maalajien kemiallisessa koostumuksessa voi olla suuria eroja.

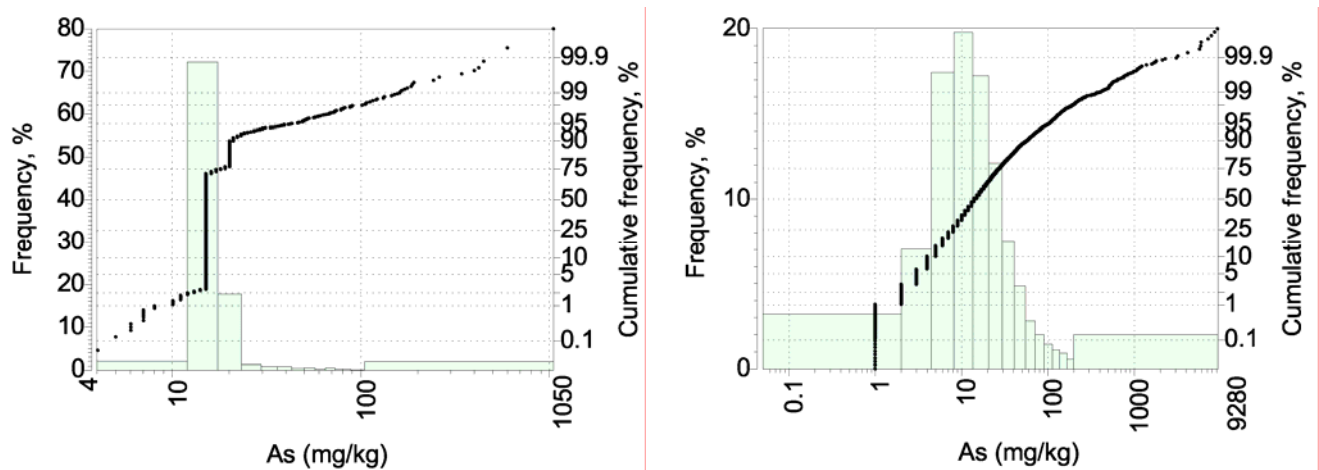
Maankäytön ja rakentamisen kannalta moreeni on merkittävin maalaji Pirkanmaalla. Moreeni heijastaa hyvin alueen ja suoraan alla olevan kallioperän geokemiallista koostumusta. Ramas-hankkeessa koottiin yhteen Pirkanmaan alueelta 10 869 moreenialueen näytteen arseenitiedot. Arseenipitoisuudet vaihtelivat näissä kuningasvesiutosta määritetyissä näytteissä  $<0,05$  ja  $9\ 280 \text{ mg kg}^{-1}$  välillä ja mediaaniarvo oli  $15 \text{ mg kg}^{-1}$  ( $n=10\ 869$ ) (Backman ja muut 2006). Tietojen perusteella voitiin tunnistaa alueita, joissa on kohonnut arseeniriski (kuva 21). Kaikki moreeninäytteet jaettiin maan pintanäytteisiin (ylin 0,5 m) ja maan pohjanäytteisiin (alin 0,5 m). Korkeimmat pitoisuudet todettiin syvällä, lähellä kallionpintaa olevissa kerrostumissa niillä alueilla, joilla kallioperässäkin on paikoin runsaasti arseenia (kuva 22a -b).



**Kuva 20.** Pirkanmaan kallioperän pääkilvilajit ja kaivokset. Pirkanmaa voidaan jakaa geologisin perustein kolmeen vyöhykkeeseen: Keski-Suomen granitoidivyöhyke Pirkanmaan pohjoisosassa, Tampereen liuskevyöhyke keskiosassa ja Pirkanmaan migmatiittivyöhyke eteläosassa.



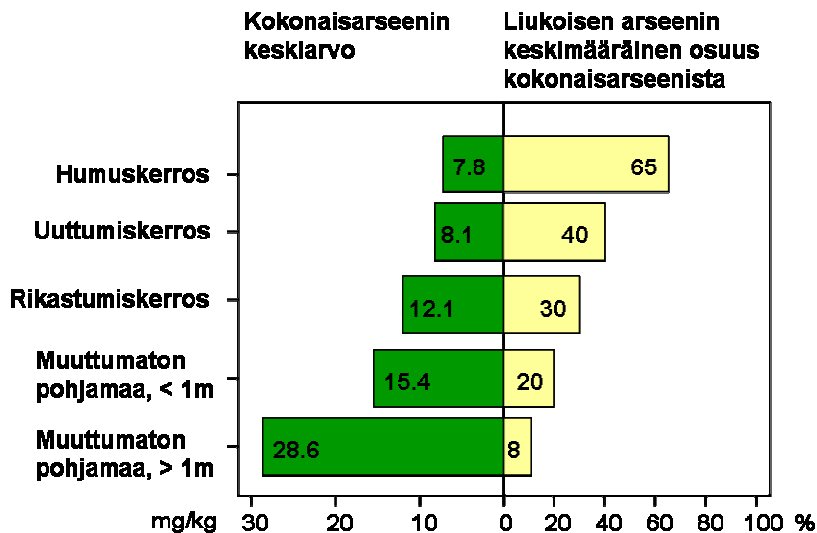
**Kuva 21.** TAATA 1 alueen moreenin arseenipitoisuus. Näytämäärä 10 869. Aineisto on interpoloitu geostatistiikkamenetelmällä (Inverse distance weighted (IDW) ja Ordinary Kriging



**Kuva 22.** (a-b) Pintamoreeninäytteiden (a, n=1431) sekä pohjamoreeninäytteiden AR-utosta määritetyn arseenipitoisuuden jakauma (b, n=9392).

Ramas-hankkessa otettiin näytteitä moreenialueilta maaperästä useilta eri syvyyksiltä. Näistä profiilinäytteistä analysoitiin helposti liukeneva, ns. biosaatava arseeni heikkouuttomenetelmällä (HAAc-EDTA-uutto) sekä äärimmäisen happamissa luonnonoloissa liukeneva ns. kokonaisarseeni kuningasvesiuuttomenetelmällä (AR-uutto). Molemmissa uutoissa käytettiin näytteestä seulottua <2 mm fraktiota. Eri uuttomenetelmät on kuvattu mm. Ramas-julkaisuissa (Backman ja muut 2006, Mäkelä-Kurto ja muut 2006). Arseenin kokonaispitoisuudet suurenevät maakerroksessa syvemmälle mentäessä (kuva 22). Pintaosien arseenipitoisuudet olivat yleensä suuruusluokaltaan noin 10 mg kg<sup>-1</sup>. Syvemmältä otetuissa näytteissä pitoisuudet olivat suurempia, keskimäärin noin 30 mg kg<sup>-1</sup> ja suurimmillaan 60 – 80 mg kg<sup>-1</sup>. Pintaosien arseenimineraalit ovat rapautuneet ja liuenneet ja mahdollisesti huuhtoutuneet syvemmälle maakerroksessa tai kulkeutuneet pois. Tätä ajatusta tukee myös näytteistä tehdyt mineralogiset havainnot.

Maaperän pintaosien arseenista suuri määrä, 25,7 – 66,8 %, oli helpommin liukenevassa muodossa (kuva 23). Syvemmälle mentäessä helppoliukoisen arseenin määrä väheni ollen <3,67 – 21,0 % kokonaisarseenin määrästä. Helpommin liukenevan arseenin pitoisuuden väheneminen alaspäin viittaa siihen, että arseeni on syvemmässä, vähähappisissa maakerroksissa sitoutunut sulfidimineraaleihin, jotka ovat vain vähän rapautuneita. Rikin kokonaispitoisuus (AR-uutto) on pohjanäytteissä suurimmillaan yli viisi kertaa suurempi kuin profiilin pintaäytteessä.



**Kuva 23.** Maaperästä otettujen 11 profiilinäytteen keskimääräiset ns. kokonaisarseenipitoisuudet (mg kg<sup>-1</sup>) (AR-uutto) vihreät pylväät sekä helppoliukoisen arseenin (HAAc-EDTA-uutto) keltaiset pylväät keskimääräiset prosentiosuudet maannoksen eri kerroksissa ja syvemmällä maaperässä. Syvin profiili ulottui 3,8 metrin syvyyteen.

#### 4.2.3 Arseenialueiden maankäyttö ja riskien tunnistaminen

Maa- ja kallioperän suuret luontaiset arseenipitoisuudet Pirkanmaalla ovat muusta maasta poikkeava alueellinen, geologinen erityspiirre, joka pitää ottaa ennakoivasti huomioon aluesuunnittelussa, kaavoituksessa, maankäytössä ja rakentamisessa. Kallio- ja maaperässä sekä pohjavedessä olevan arseenin alueellinen esiintyminen on geologisin perustein ennustettavissa melko hyvin, mutta esimerkiksi yksittäisen kaivon tarkkuudella arseenipitoisuuksia ei pystytä ennakoimaan.

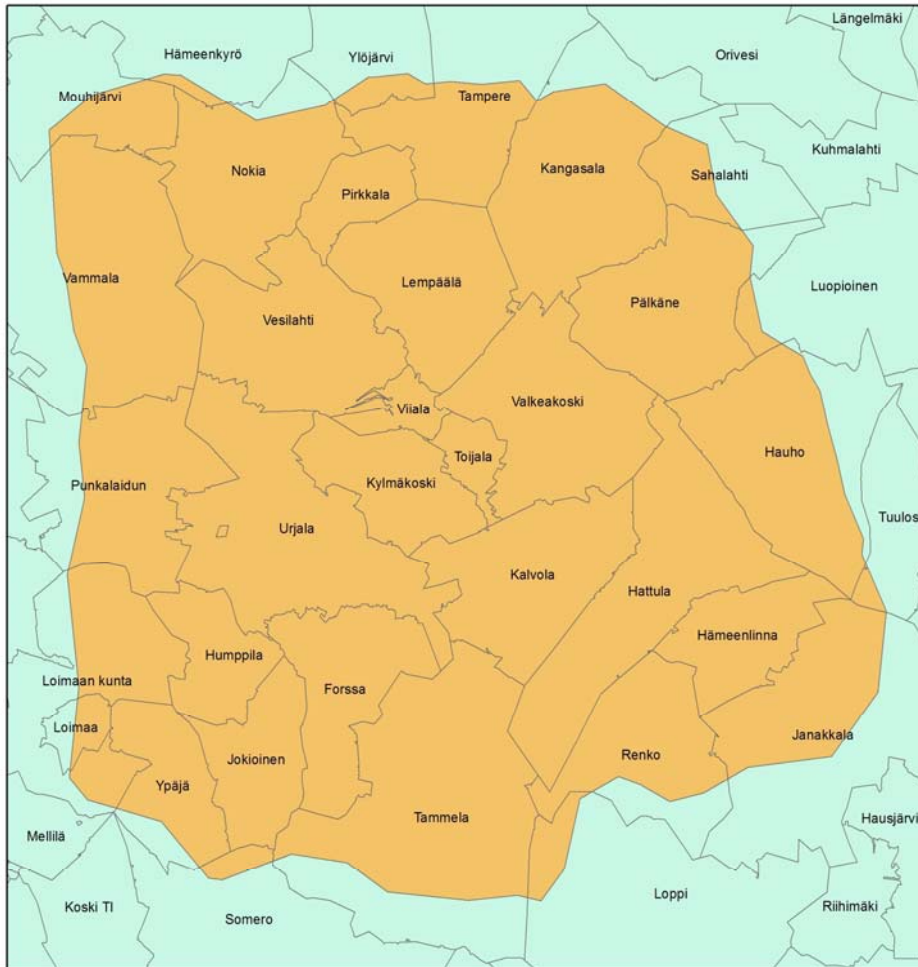
Maankäyttöä säätelee useat eri lait ja asetukset, joista PIMA-asetus (214/2007) on arseeniriskin kannalta merkittävin. Asetuksen mukaan maaperän tutkimukset mahdollisen pilaantumisen selvittämiseksi on aloitettava, mikäli arseenipitoisuudelle asetettu kynnyisarvo 5 mg kg<sup>-1</sup> ylittyy. Ar-

seenin sekä eräiden muiden alkuaineiden osalta tulee huomioida alueellinen taustapitoisuus, mikäli se on kynnysarvoa suurempi. Pirkanmaalla arseenin suurimmaksi suositelluksi taustapitoisuusarvoksi (SSTP) taajamien maaperässä on tässä raportissa esitetty kynnysarvon  $5 \text{ mg kg}^{-1}$  sijaan arvo  $19 \text{ mg kg}^{-1}$ . Maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnin yhteydessä maaperän haitta-aineista aiheutuvien ympäristö- ja terveysriskien hyväksyttävyydestä päätetään ensisijaisesti alemman ja ylemmän ohjearvojen avulla. Ohjearvovertailussa maaperästä mitattua pitoisuutta verrataan maankäytön perusteella valittuihin ohjearvoihin. Arseenipitoisuuden ohjearvo asutuilla alueilla on  $50 \text{ mg kg}^{-1}$  ja  $100 \text{ mg kg}^{-1}$  teollisuus- ja tiealueilla.

Pirkanmaan alueen moreenien pintaosista otettujen näytteiden ( $n=1431$ ) arseenipitoisuudet ylittivät alemman ohjearvon  $50 \text{ mg kg}^{-1}$  4 - 5 %:ssa näytteitä ja moreenin pohjaosista otetuissa näytteissä ( $n=9392$ ) arvo ylittyi yli 10 %:ssa näytteitä (kuva 22a-b). Ylempi ohjearvo  $100 \text{ mg kg}^{-1}$  ylittyi pintaosan näytteissä noin 2 %:ssa ja pohjaosan näytteissä noin 5 %:ssa. Arseenipitoisuuksien kasvu syvemmissä maakerroksissa perustuu siihen, että maaperässä arseeni on usein sitoutuneena sulfidimineraaleihin. Kuluneiden vuosituhansien aikana on muodostunut tasapainotilanne, jossa maapeitteen pintaosassa sulfidit ovat hapettuneet ja vapautunut arseeni ja muut ainekset ovat jo kulkeutuneet pois tai pidättyneet muiden mineraalien pinnoille. Syvemmissä, vähähappisissa kerroksissa tilanne on toinen. Siellä on vielä monin paikoin rapautumatonta sulfidiainesta. Maata kaivettaessa ja kasattaessa maaperän kerrosjärjestys muuttuu ja pohjaosien luontaisesti paljon arseenia sisältävät maakerrokset joutuvat maanpinnalle hapellisiin olosuhteisiin ja arseeni muuttuu helpommin liukenevaksi. Arseeni saattaa lähteä sade- ja sulamisvesien myötä liikkumaan ja voi päätyä pintavalunnan myötä alueen järviin tai pohjaveteen. Vastaava tilanne muodostuu myös kalliossa, kun kalliota louhitaan ja murskataan ja sulfidipitoista kiviainesta pääsee hapellisiin olosuhteisiin. Pirkanmaalla on useita kymmeniä louhimoita ja louhoksia, joissa tuotetaan rakennus- ja laattakiveä sekä kalliomurskettä. Osa louhoksista sijaitsee arseenipitoisella alueella ja vaikka tuotannossa pyritään tietoisesti välttämään sulfidipitoista kiveä, se ei ole aina mahdollista. Tienrakennuksessa ja muussa rakentamisessa joudutaan myös toisinaan louhimaan arseenia sisältäviä kallioita tai siirtämään suuria maamassoja, joissa on luontaisesti korkea arseenipitoisuus.

Alueilla, joissa on korkeat arseenipitoisuudet kalliopohjavedessä, on syytä tarkastella vesihuoltoa erityisen huolellisesti. Porakaivojen rakentaminen riskialueille ei ole tarkoituksen mukaista, vaan vesihuolto tulee ratkaista muulla tavalla.

Korkeat arseenipitoisuudet vaikuttavat paikallisesti maankäyttöön. Maarakentamiseen liittyvä arseeniriski on kuitenkin mahdollista hallita ja alueelle sopivia riskinhallintamenetelmiä voidaan kehittää. Riskinhallinnan oleellinen perusta on tiedonkeruu. Geologian tutkimuskeskus ja Suomen ympäristökeskus aloittivat 2008 yhteishankkeena luontaisten taustapitoisuustietojen keräämisen ja valtakunnallisen taustapitoisuusrekisterin luomisen. Rekisteriin karttuvan tiedon perusteella voidaan riskialueiden tunnistamista ja rajaamista tarkentaa. Eteläinen Pirkanmaa kuuluu korkeimpien arseenipitoisuuksien provinssiin. Koko eteläisessä Suomessa on mitattu usein kynnysarvon  $5 \text{ mg kg}^{-1}$  ylittäviä pitoisuuksia arseenia luonnonmailla. Eteläisellä Pirkanmaalla suurten kynnysarvon ylitykset ovat yleisiä, joten se on erotettu Pohjois-Hämeen kanssa omaksi arseeniprovinssiksi valtakunnallisessa taustapitoisuusrekisterissä (kuva 24).



**Kuva 24.** Valtakunnallisen taustapitoisuusrekisterin Etelä-Pirkanmaan arseeniprovinssi.

Maa- ja kallioperässä esiintyvistä arseeniyhdisteistä osa on helppoliukoisia ja osa vaikeammin liukenevia ja liikkuvia. Arseenin liikkumisreittien (pöly, pinta- tai pohjavesi) ja altistumisen tarkempi tunnistaminen on erittäin tärkeää, jotta tarvittavat toimenpiteet voidaan keskittää oleellisille alueille. Toistaiseksi tästä tiedetään vielä liian vähän ja lisäksi on epäselvää, kuinka kauan kaivetusta maasta tai murskatusta kalliosta arseenia liukenee ennen kuin muodostuu uusi tasapainotilanne. Jo liikkeelle lähtenyt arseeni on myös mahdollista pysäyttää sitomalla arseeni esimerkiksi rautayhdisteisiin. Tätä tutkimusta on käytännön tasolla tehty vielä toistaiseksi hyvin vähän.

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET

TAATA-hankkeessa analysoitiin maaperänäytteitä, jotka oli kerätty taajamien sisältä puistoista, leikkikentiltä, parkkipaikoilta sekä päiväkotien, koulujen ja asuinkiinteistöjen pihoilta. Näytteet olivat pääasiassa täytmaita, joissa raekoko ja orgaanisen aineksen määrä vaihtelivat. Taajamien sisältä kerättyjen näytteiden pitoisuuksia verrattiin Pirkanmaan luonnontilaisten maiden pitoisuuksiin. Taajamien sisältä kerättyjen näytteiden pitoisuudet olivat pääsääntöisesti samalla tasolla kuin luonnontilaisten maiden. Antimonin, elohopean ja lyijyn sekä osin myös kadmiumin pi-

toisuusjakaumat ovat taajamissa luonnontilaisten maiden jakaumia vinompia ja suuria pitoisuuksia on enemmän. Näiden aineiden kohonneet pitoisuudet maaperän pintaosissa ovat osin peräisin ihmisen toiminnasta. Näytepaikoissa, joissa tutkittujen epäorgaanisten haitta-aineiden pitoisuudet ylittävät PIMA-asetuksen kynnyksarvon tai tulosten perusteella lasketun suurimman suositellun taustapitoisuusarvon, saattaa olla tarvetta lisäselvityksiin. Arseenin, koboltin ja sinkin korkeahko taustapitoisuus Pirkanmaan taajamissa on todennäköisesti geologista alkuperää, koska pitoisuudet ovat samalla tasolla myös taajamien ulkopuolella luonnonmaissa. SFS-ISO -standardin 19258 suosituksen mukaisesti laskettu suurin suositeltu taustapitoisuus on Tampereen seudun taajamissa PIMA-asetuksen kynnyksarvoa korkeampi arseenin, koboltin, sinkin ja lyijyn osalta.

PAH- ja PCB-yhdisteiden osalta taajamien sisältä kerättyjen näytteiden pitoisuudet olivat pääsääntöisesti hyvin pieniä ja usein alle käytettyjen analyysimenetelmien määrittämissä rajat. TAATA-hankkeessa analysoidun 40 maaperänäytteen perusteella orgaanisten yhdisteiden suurin suositeltu taustapitoisuus Tampereen seudulla on taajamien sisällä pienempi kuin PIMA-asetuksen kynnyksarvo. Näytepaikoissa, joissa tutkittujen orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet ylittävät PIMA-asetuksen kynnyksarvon, saattaa olla tarvetta lisäselvityksiin.

Arseenin pitoisuudet olivat usein korkeampia kuin PIMA-asetuksen kynnyksarvo sekä TAATA-hankkeen aikana kerätyissä taajamanäytteissä että taajamien ympäriltä kerätyissä luonnonmaänäytteissä. Pirkanmaalla on tunnistettu myös aikaisempien hankkeiden yhteydessä alueita, joissa luontainen arseenipitoisuus on korkea. Korkeiden pitoisuuksien syy on useimmiten arseenikiisuniminen mineraali, jota Pirkanmaan alueen kallioperässä on paikoin poikkeuksellisen paljon. Mahdolliset riskialueet on voitu rajata alueellisesti geologisin perustein. Tämän tiedon huomioiminen aluesuunnittelussa, kaavoituksessa ja rakentamisessa on oleellista.

Mahdollista arseeniongelmaa voidaan arvioida jossakin määrin jo olemassa olevan kallio- ja maaperätiedon avulla. Kohonneet arseenipitoisuudet maa- ja kallioperässä sekä pohjavedessä liittyvät tiettyihin kivilajeihin ja niiden tuntumassa oleviin moreeneihin. Arseenipitoisuudet voivat olla suuria myös muissa maalajeissa. Riskialueiden alueellisen tunnistamisen lisäksi on yleensä välttämätöntä tehdä myös täydentäviä maastotarkistuksia ja näytteenottoa varsinaisella maanrakennuskohteella. Alueen pohjatutkimuksia ja kalliolaadun varmistamiseksi tehtyjä kairauksia sekä alueelta otettuja maa- ja kallioperänäytteitä voidaan hyödyntää arseeniriskin tunnistamisessa. Käytettävissä oleva aineisto tulisi tarkastella myös muiden haitta-aineiden kannalta. Kairausnäytteiden silmämääräinen tarkastelu ja riittävä määrä analyysijä auttavat rajaamaan mahdolliset riskialueet.

Maarakentamisen ja kallioperän louhimisen aiheuttamassa arseenin liukenemisessä ja liikkumisessa on vielä paljon selvittämättömiä tekijöitä. Yksi merkittävimmistä on aika; kuinka kauan arseenia lähtee liikkeelle kaivetuista ja läjitetyistä maakerroksista, onko kohteen arseeni helppo-liukoista vai heikosti liukenevaa, miten maamassat tulisi läjittää ja varastoida, ettei arseeni pääse liikkumaan pinta- ja pohjavesiin ja lopulta järvi- ja järvialtaiden sedimentteihin, miten arseenin liikkuminen pölyn mukana voidaan estää, miten jo liikkeelle lähteneen arseenin saa pysäytettyä ja stabiloitua. Arseeniriskin osalta on edelleen paljon avoimia kysymyksiä, joihin pyritään lähivuosien aikana saamaan vastauksia arseenin riskinhallintaan keskittyvissä tutkimushankkeissa.



## Kirjallisuusviitteet

Backman, B., Luoma, S., Ruskeeniemi, T., Karttunen, V., Talikka, M. & Kaija, J. 2006. Natural occurrence of arsenic in the Pirkanmaa region in Finland. Espoo: Geological Survey of Finland. 82 p.

Backman, B., Eklund, M., Luoma, S., Pullinen, A. & Karttunen, V. 2007. Luontaisia ja ihmisen aiheuttamia arseenipitoisuuksia Pirkanmaan alueella : arseenipitoisuustietoa maaperän eri kerroksista, kaivoksen rikastehiekasta ja sen pölystä, vedestä louhoksilla, kyllästämöalueilla ja kaatopaikkojen lähellä sekä marjoista, sienistä ja koivumahlasta [Electronic resource]. Abstract: Natural and anthropogenic arsenic contents in the Pirkanmaa region : arsenic contents in different soil horizons, in tailing sand and dust, in water at quarries, at CCA wood preservative plants, and at landfills and in natural berries, mushrooms and birch sap. Espoo: Geological Survey of Finland. 33 p. Electronic publication.

Chronopoulos, J., Haidouti, C., Chronopoulos-Sereli, A. & Massas, I. 1997. Variations in plant and soil lead and cadmium content in urban parks in Athens, Greece. *The Science of the Total Environment* 196, 91-98.

Eklund, M. 2008. Valtakunnalliset taustapitoisuusprovinssit maaperän pilaantuneisuuden arvioinnissa. Pro gradu –tutkielma. Helsingin yliopisto. Geologian laitos. 60 s.

Heikkinen, P. 2000. Haitta-aineiden sitoutuminen ja kulkeutuminen maaperässä. Geologian tutkimuskeskus. Tutkimusraportti 150. 74 s. + 1 liite.

Hellman, S., Priha, E., Sorvari, J., Kukkamäki, M. ja Suortti, A-M. 2003. Elementtitalojen pihaluokkien PCB – Tutkimukset, riskinarviointi ja riskinhallinta. Pirkanmaan ympäristökeskus. Alueelliset ympäristöjulkaisut 313. 99 s.

Jarva, J. & Tarvainen, T. 2008. Tampereen seudun taajamien taustapitoiudet: Esiselvitys. Geologian tutkimuskeskus. Arkistoraportti S41/2008/36. 16 s.  
[http://arkisto.gsf.fi/s41/s41\\_2008\\_36.pdf](http://arkisto.gsf.fi/s41/s41_2008_36.pdf)

Koljonen, T. 1992. Results of the mapping. In: Koljonen, T. (ed.) Suomen geokemian atlas, osa 2: moreeni - The Geochemical Atlas of Finland, Part 2: Till. Geological Survey of Finland, Espoo, pp. 106-125.

Kuusisto, E. & Tarvainen, T. 2008. Alkuaineiden taustapitoisuudet eri maalajeissa Pirkanmaan alueella. Geologian tutkimuskeskus. Arkistoraportti S41/2008/30. 28 s.  
[http://arkisto.gtk.fi/s41/s\\_41\\_2008\\_30.pdf](http://arkisto.gtk.fi/s41/s_41_2008_30.pdf)

Lahermo, P., Tarvainen, T., Hatakka, T., Backman, B., Juntunen, R., Kortelainen, N., Lakomaa, T., Nikkarinen, M., Vesterbacka, P., Väisänen, U. and Suomela, P., 2002. Tuhat kaivoa - Suomen kaivovesien fysikaalis-kemiallinen laatu vuonna 1999. Summary: One thousand wells-the physical-chemical quality of Finnish well waters in 1999. Geologian Tutkimuskeskus, Geological Survey of Finland. Espoo. Report of Investigation 155, 92 p.

Lahtinen, R., Lestinen, P., Korhonen, E., Savolainen, H., Kallio, E., Kahelin, H., Hagel-Brunnström, M., Räsänen, M., 2005. Rock geochemistry database: Test version 0.7 (2.6.2005). Guide for the users (in Print). Geological Survey of Finland. Espoo.

Loukola-Ruskeeniemi, K. and Lahermo, P. (eds.), 2004. Arseni Suomen Luonnossa – Ympäristövaikutukset ja riskit (Arsenic in Finland: Distribution, environmental impacts and risks; in Finnish with English synopsis and abstracts). Geological Survey of Finland, Espoo, 173 p.

Loukola-Ruskeeniemi, K., Ruskeeniemi, T., Parviainen, A. & Backman, B. (eds.) 2007. Arseni Pirkanmaalla - esiintyminen, riskinarviointi ja riskinhallinta : RAMAS-hankkeen tärkeimmät tulokset. Abstract: Arsenic in the Pirkanmaa region in Finland : occurrence in the environment, risk assessment and risk management : final results of the RAMAS project. Espoo: Teknillinen korkeakoulu. 155 p

Mäkelä-Kurtto, R., Eurola, M., Justén, A., Backman, B., Luoma, S., Karttunen, V. & Ruskeeniemi, T. 2006. Arsenic and other elements in agro-ecosystems in Finland and particularly in the Pirkanmaa region. Espoo: Geological Survey of Finland. 119 p.

Parviainen, A., Vaajasaari, K., Loukola-Ruskeeniemi, K., Kauppila, T., Bilaletdin, Ä., Kaipainen, H., Tammenmaa, J. & Hokkanen, T., 2006. Anthropogenic Arsenic Sources in the Pirkanmaa Region in Finland (Pirkanmaan antropogeeniset arseenilähteet). Geologian tutkimuskeskus, 72 sivua, 23 kuvaa, and 8 taulukkoa.

Reinikainen, J. 2007. Maaperän kynnys- ja ohjearvojen määrittämisperusteet. Suomen ympäristö 23. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. 164 s.

Salminen, R. (ed.) 1995. Alueellinen geokemiallinen kartoitus Suomessa vuosina 1982-1994. English Summary: Regional geochemical mapping in Finland in 1982-1994. Geological Survey of Finland, Report of Investigation 130. 47 p.

Salminen, R., Tarvainen, T., Demetriades, A., Duris, M., Fordyce, F. M., Gregorauskiene, V., Kahelin, H., Kivisilla, J., Klaver, G., Klein, H., Larson, J. O., Lis, J., Locutura, J., Marsina, K., Mjartanova, H., Mouvet, C., O'Connor, P., Odor, L., Ottonello, G., Paukola, T., Plant, J. A., Reimann, C., Schermann, O., Siewers, U., Steenfelt, A., Van der Sluys, J., Vivo, B. de, Williams, L. 1998. FOREGS geochemical mapping field manual. Geologian tutkimuskeskus. Opas 47 . 36 p. + 1 app.

SFS-ISO-standardi 19258:2005. Soil quality – Guidance on the determination of background values.

Tarvainen, T. 2007. Pirkanmaan taustapitoisuudet: Esiselvitys. Geologian tutkimuskeskus. Arkistoraportti S41/2123/2007/41. 12 s. [http://arkisto.gtk.fi/s41/2123/s41\\_2123\\_2007\\_41.pdf](http://arkisto.gtk.fi/s41/2123/s41_2123_2007_41.pdf)

Tarvainen, T., Hatakka, T., Kumpulainen, S., Tanskanen, H., Ojalainen, J. & Kahelin, H. 2003. Alkuaineiden taustapitoisuudet eri maalajeissa Porvoon ympäristössä. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti S/41/3021/2003/1. 56 s. 1 liite.  
[http://arkisto.gtk.fi/s41/3021/S41\\_3021\\_2003\\_1.pdf](http://arkisto.gtk.fi/s41/3021/S41_3021_2003_1.pdf)

Tarvainen, T. (toim.), Eklund, M., Haavisto-Hyvärinen, M., Hatakka, T., Jarva, J., Karttunen, V., Kuusisto, E., Ojalainen, J. & Teräsvuori, E. 2006. Alkuaineiden taustapitoisuudet pääkaupunkiseudun kehyskuntien maaperässä. Geologian tutkimuskeskus, tutkimusraportti. 40 s.  
<http://arkisto.gsf.fi/tr/tr163.pdf>

Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista (214/2007)

Ympäristöministeriö 2007. Maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointi. Ympäristöhallinnon ohjeita 2/2007. Edita. Helsinki. 210 s.

<http://projects.gtk.fi/ramas/index.html> (28.2.2009)