



## Pienhiukkaset Helsingin metrossa

# Pienhiukkaset Helsingin metrossa

Päivi Aarnio, Tarja Yli-Tuomi, Matti Jantunen, Anu Kousa, Tarja Koskentalo,  
Timo Mäkelä, Risto Hillamo, Anne Hirsikko, Kaarle Hämeri, Mika Räisänen  
ja Heikki Tervahattu

YTV Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta  
Opastinsilta 6 A  
00520 Helsinki  
puh. vaihde (09) 15 611  
fax 1561 334  
[www.ytv.fi](http://www.ytv.fi)

Lisätietoja: Päivi Aarnio, puh: (09) 1561 222  
[etunimi.sukunimi@ytv.fi](mailto:etunimi.sukunimi@ytv.fi)

Kansikuva: HKL Tero Kantola

Taitto: YTV Rauni Kaunisto

Valopaino Oy  
Helsinki 2006

## ESIPUHE

Tietämys pienhiukkasten haitallisista terveysvaikutuksista on viime vuosina lisääntynyt, ja sen vuoksi myös kiinnostus niiden pitoisuuksiin, lähteisiin ja ominaisuuksiin on kasvanut. Kuitenkin kysymys siitä, mikä hiukkasten ominaisuus tai mitkä ominaisuudet ovat syynä havaittuihin terveysvaikutuksiin, on edelleen yksikäsitteistä vastausta vailla.

Ilman epäpuhtauksien terveysvaikutukset välittyvät altistumisen kautta. Altistumisen suuruus riippuu epäpuhtauden pitoisuudesta ilmassa ja kyseisessä ympäristössä vietetystä ajasta. Ihmiset viettävät huomattavan osan ajastaan sisätiloissa ja niinpä kotien ja työpaikkojen sisäilmalla on suuri vaikutus altistumiseen. Muita altistumisen kannalta merkittäviä ympäristöjä ovat mm. liikenneympäristöt. Tämän altistumisen arvioimiseksi meillä on kuitenkin toistaiseksi puutteelliset tiedot hiukkasten pitoisuuksista eri liikennevälineissä. Tämä tutkimus valottaa tilannetta yhden kulkumuodon osalta, mutta ei valitettavasti mahdollista vertailua eri liikennemuotojen välillä, koska niistä ei ole käytettävissä riittävästi vertailukelpoista tietoa.

Eräiden suurkaupunkien, esimerkiksi Tukholman ja Lontoon metroissa on havaittu korkeita hiukkaspitoisuuksia. Sen vuoksi päätettiin yhteistyössä eri tahojen kanssa selvittää tilannetta Helsingissä. Tutkimuksen vastuullisena johtajana toimi tutkimusprofessori Matti Jantunen Kansanterveyslaitokselta ja siihen osallistuivat Päivi Aarnio ja Tarja Yli-Tuomi Kansanterveyslaitokselta, Anu Kousa ja Tarja Koskentalo YTV:stä, Timo Mäkelä ja Risto Hillamo Ilmatieteen laitokselta, Anne Hirsikko ja Kaarle Hämeri Helsingin yliopistosta ja Työterveyslaitoksesta sekä Mika Räisänen Nordic Envicon Oy:stä.

Haluamme kiittää HKL:ää saamastamme suuresta avusta mittausten toteuttamisessa.

Helsingissä 2.2.2006

YTV Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta  
Seutu- ja ympäristötieto

Tietopalvelujohtaja Irma Karjalainen

Ympäristöryhmän päällikkö Päivi Aarnio

## Kuvailulehti

<i>Julkaisija</i>	YTV Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta	<i>Päivämäärä</i> 17.2.2006
<i>Rahoittaja/ Toimeksiantaja</i>	YTV Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta, Seutu- ja ympäristötieto	
<i>Julkaisun nimi</i>	Pienhiukkaset Helsingin metrossa	
<i>Julkaisusarjan nimi</i>	Pääkaupunkiseudun julkaisusarja PJS	<i>Nro</i> B 2006:1
<i>Sivu</i> 32	<i>ISSN</i> 0357-5470	<i>ISBN</i> 951-798-592-4
<i>Kieli</i>	suomi	
<i>Tiivistelmä</i>	<p>Viime vuosina mm. Lontoon, Tukholman ja New Yorkin metroissa tehdyissä mittauksissa on todettu korkeita hiukkaspitoisuuksia. Kartoittaakseen tilanteen Helsingissä Kansanterveyslaitos, YTV, Ilmatieteen laitos, Helsingin yliopisto, Työterveyslaitos ja Nordic Envicon Oy tekivät mittauksia Helsingin metrossa vuonna 2004. Maanalaisilla metroasemilla (Sörnäinen ja Rautatientori), maanpinta- asemalla (Siilitie) sekä metrovaunuissa mitattiin hiukkasten massa- ja lukumääräpitoisuuksia, alkuainehiilen, mustan hiilen sekä orgaanisen hiilen pitoisuuksia sekä analysoitiin hiukkasten kemiallista koostumusta.</p> <p>Mittauksissa havaittiin, että Helsingin metrossa pienhiukkasten massapitoisuudet olivat huomattavasti alhaisempia kuin Tukholmassa tai Lontoossa: Sörnäisten metroasemalla mitatut pitoisuudet olivat noin viidesosa Tukholmassa mitatuista ja noin viides tai jopa kymmenesosa Lontoossa eri metroasemilla mitatuista pitoisuuksista.</p> <p>Pienhiukkasten pitoisuudet olivat maanalaisilla metroasemilla Rautatientorilla ja Sörnäisissä kuitenkin selvästi korkeammat kuin yleensä ulkoilmassa Helsingissä. Sen sijaan maanpinta- asemalla Siilitiellä sekä metrovaunuissa ja ohjaamoissa ajon aikana mitatut pitoisuudet olivat vain jonkin verran kaupungin yleistä pitoisuustasoa korkeammat.</p> <p>Metrossa hiukkasten koostumus poikkesi huomattavasti ulkoilman hiukkasista: valtaosa hiukkasmassasta oli rautaa. Lisäksi hiukkasissa oli mm. mangaania, kromia, nikkeliä ja kuparia, mikä viittaa siihen, että metrossa pyörien ja raiteiden sekä virtakiskon ja virroittimen kuluminen ovat todennäköisiä hiukkasten lähteitä metrossa.</p> <p>Hiukkasten lukumääräpitoisuudet ja niiden kokojakaumat olivat Sörnäisten metroasemalla sekä metrovaunuissa ja ohjaamoissa hyvin samankaltaisia kuin Helsingin yliopiston Kumpulassa sijaitsevassa ilmanlaadun mittauspisteessä. Tästä päätellen ulkoilmalla ja siihen sekoittuneilla liikenteen päästöillä on suurin vaikutus pienimpien hiukkasten lukumääriin niin metroasemilla kuin metrojunissakin.</p> <p>Metrossa vietettävä aika on lyhyt ja matkustettaessa metrolla tunnelin ulkopuolella pitoisuudet ovat lähellä kaupunki-ilman yleistä tasoa. Siten Helsingin metrossa matkustaminen lisää vähän keskimääräistä pienhiukkasmassalle altistumista. Raudalle altistumiseen metrolla on huomattavasti suurempi vaikutus. Mangaanille ja kuparille altistumista metro lisää jonkin verran ulkoilmaan verrattuna. Tällä hetkellä ei ole käytävissä tietoja hiukkaspitoisuuksista muissa liikennevälineissä, joten ei ole mahdollista tehdä vertailuja metron ja niiden välillä.</p> <p>Ulkoilman hiukkasilla on todettu olevan haitallisia terveysvaikutuksia. Nykykäsityksen mukaan haitallisimpia ovat polttoprosesseista peräisin olevat hiukkaset. Myös metallien oletetaan olevan osatekijänä haitallisissa vaikutuksissa. Metron hiukkaset poikkeavat kuitenkin koostumukseltaan ja kokojakaumaltaan huomattavasti ulkoilman hiukkasista eikä niiden terveysvaikutuksia ole tutkittu.</p>	
<i>Avainsanat</i>	pienhiukkaset, metro	
<i>Jakelu</i>	YTV Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta Seutu- ja ympäristötieto Opastinsilta 6 A, 00520 Helsinki, puh. (09)15 611, faksi (90)1561 334	

## Presentationsblad

<i>Publikationen har getts ut av</i>	Huvudstadsregionens samarbetsdelegation	<i>Datum</i> 17.2.2006
<i>Finansiär/ Uppdragsgivare</i>	Huvudstadsregionens samarbetsdelegation, Region- och miljöninformation	
<i>Publikationens titel</i>	Finpartiklar i Helsingfors metro	
<i>Publikationsserie</i>	Huvudstadsregionens publikationsserie PJS	<i>Nr</i> B 2006:1
<i>Sidantal</i> 32	<i>ISSN</i> 0357-5470	<i>ISBN</i> 951-798-592-4
<i>Språk</i>	finska	
<i>Sammandrag</i>	<p>I mätningar, som man under de senaste åren har gjort i metrona i bl.a. London, Stockholm och New York, har höga partikelkoncentrationer konstaterats. För att kartlägga situationen i Helsingfors, gjorde Folkhälsoinstitutet, SAD, Meteorologiska institutet, Institutet för arbetshygien och Nordic Envicon Oy mätningar i Helsingfors metro år 2004. På de underjordiska metrostationerna (Sörnäs och Järnvägstorget), stationen på markytan (Igelkottsvägen), samt i metrovagnarna mättes partiklarnas massa- och numeriska koncentrationer, koncentrationer av grundämneskol, svart kol, samt organiskt kol, samt analyserades partiklarnas kemiska sammansättning.</p> <p>Vid mätningarna observerades, att finpartiklarnas massakoncentrationer var avsevärt mycket lägre i Helsingfors metro än i Stockholm eller London: de uppmätta koncentrationerna på Sörnäs metrostation var cirka en femtedel av vad som uppmätts i Stockholm och cirka en femtedel – en tiondel av koncentrationerna som uppmätts på olika metrostationer i London.</p> <p>Koncentrationen av finpartiklar var dock klart högre på de underjordiska metrostationerna på Järnvägstorget och i Sörnäs, än i uteluften i Helsingfors. Däremot var koncentrationerna som uppmättes på stationen på markytan på Igelkottsvägen, samt i förarhytterna under körning, endast något högre än stadens allmänna koncentrationsnivå.</p> <p>I metron avvek partiklarnas sammansättning märkbart från partiklarna i uteluften: merparten av partikelmassan bestod av järn. Därtill fanns det bl.a. mangan, krom, nickel och koppar i partiklarna, vilket tyder på, att nötning av hjul och skenor, samt strömskena och kontaktbygel, sannolikt utgör den största källan för partiklar i metron</p> <p>Partiklarnas antalskoncentrationer och deras storleksfördelningar var mycket likartade på Sörnäs metrostation, samt i metrovagnarna och i förarhytterna, som på Helsingfors Universitets mätpunkt för luftkvalitet i Gumtäkt. Av detta att döma, så har uteluften och däri blandade utsläpp från trafiken den största inverkan på antalet små partiklar såväl på metrostationer, som även i metrotåg.</p> <p>Tiden som tillbringas i metron är kort och då man färdas med metron utanför tunneln, så är koncentrationerna i närheten av genomsnittet i stadsluften. Sålunda ger resandet i metron en mycket liten ökning av genomsnittlig exponering för massan av finpartiklar. För exponeringen för järn har metron en avsevärt mycket större betydelse. Metron ökade exponeringen för mangan och koppar i någon mån jämfört med uteluften. För tillfället finns inga uppgifter tillgängliga om partikelhalter i olika kommunikationsmedel, så det är inte möjligt att göra en jämförelse mellan metron och andra kommunikationsmedel.</p> <p>Det har konstaterats att partiklarna i uteluften har skadliga hälsoeffekter. Enligt dagens uppfattning är partiklarna som härstammar från förbränningsprocesser mest skadliga. Även metallerna har förmodats vara en bidragande faktor till de skadliga effekterna. Metrons partiklar avviker dock till sammansättning och storleksfördelning avsevärt från uteluftens partiklar och deras hälsoeffekter har inte undersökts tillräckligt.</p>	
<i>Nyckelord</i>	finpartiklar, metro	
<i>Distribution</i>	Huvudstadsregionens samarbetsdelegation Region- och miljöninformation Semaforbron 6 A, 00520 Helsingfors, tfn (09)15 611, fax (09)1561 334	

## Documentation page

<i>Published by</i>	YTV Helsinki Metropolitan Area Council		<i>Date of publication</i> 17.2.2006
<i>Financed by/ Commissioned by</i>	Helsinki Metropolitan Area Council (YTV)		
<i>Title of publication</i>	Fine particles in the Helsinki subway system		
<i>Series</i>	The Helsinki Metropolitan Area Publication Series		<i>Number</i> B 2006:1
<i>Pages</i> 32	ISSN 0357-5470	ISBN 951-798-592-4	<i>Language</i> Finnish
<i>Abstract</i>	<p>During the past few years high concentrations of particles have been observed in the subway systems of e.g. London, Stockholm, and New York. Therefore the National Public Health Institute and Helsinki Metropolitan Area Council decided to make measurements in the Helsinki subway system. The main measurement campaign was carried out in March 2004 in cooperation with KTL, YTV the Finnish Meteorological Institute, the University of Helsinki, the Finnish Institute of Occupational Health and Nordic Envicon Oy. At the subway stations and in the subway cars the mass and number concentrations of particles, the concentrations of elemental and organic carbon were measured. The chemical constituents of the fine particles were determined.</p> <p>The mass concentrations of fine particles (PM<sub>2.5</sub>) at the subway stations were much lower than those observed in London or Stockholm. In London the concentrations at underground subway stations were five to ten times higher and in Stockholm about five times higher than those measured in Helsinki. However the concentrations at these stations were higher than in outdoor air, as could be expected. At a ground level station as well as inside subway cars and in driver's cabins the concentrations were only slightly higher than in urban air.</p> <p>The composition of particles in the subway system was very different from that of ambient air particles. The main component of particles at the underground subway stations was iron. Other enriched elements were manganese, copper, chromium and nickel. The most probable sources of particles and metals are the wheel-rail interface, the current collector, and the conductor rail.</p> <p>At the underground subway station of Sörnäinen as well as in the subway cars and the driver's cabins the particle number concentrations and their size distributions were very similar to those measured at the urban background air quality monitoring site in Kumpula. Therefore it was concluded that outdoor air and vehicle traffic emissions were the main source factor contributing to the number concentrations of particles in the subway system.</p> <p>The time spent in the subway system is short and the concentrations of particles only slightly higher than in ambient air. Therefore commuting via the subway adds very little to PM<sub>2.5</sub> exposure. The effect is much larger on the exposure to iron. Commuting via the subway adds slightly to the exposure to copper, chromium, and manganese compared to ambient air. However, at present the information on the concentrations in other traffic modes is insufficient to allow comparisons between them and the subway system.</p> <p>Particles have adverse health effects. At present particles from combustion processes are considered most hazardous and also transition metals are supposed to play a role in these effects. The composition and size distribution of particles in the subway system are different from the particles in ambient air and their health effects have not been studied so far.</p>		
<i>Keywords</i>	fine particles, subway system		
<i>Distributed by</i>	YTV Helsinki Metropolitan Area Council Regional and Environmental Information Opastinsilta 6 A, 00520 Helsinki, tel +358 9 15 611, fax +358 9 1561 334		

## SISÄLLYSLUETTELO

<b>1. Johdanto</b> .....	<b>11</b>
<b>2. Mittaukset</b> .....	<b>12</b>
<b>3. Näytteiden analysointi</b> .....	<b>13</b>
<b>4. Tulokset</b> .....	<b>13</b>
4.1 Massapitoisuudet.....	13
4.2 Lukumääräpitoisuudet .....	18
4.3 Hiilipitoisuudet Sörnäisten metroasemalla.....	21
4.4 Alkuainepitoisuudet ja niiden lähteet Helsingin metrossa.....	22
4.5 Hiukkasten elektronimikroskooppinen tarkastelu .....	27
<b>5. Johtopäätökset</b> .....	<b>29</b>
<b>6. Lähdeluettelo</b> .....	<b>32</b>



## 1 JOHDANTO

Pienhiukkasten ( $PM_{2,5}$ , halkaisija alle  $2,5 \mu m$ ) pitoisuuksien on epidemiologisissa tutkimuksissa todettu olevan yhteydessä sydän- ja verisuonitautikuolleisuuteen sekä hengitystiekuolleisuuteen ja keuhkosityöpään. Ne myös lisäävät sairastavuutta eli pahentavat sydän- ja hengityssairaiden oireita (Pekkanen 2002). Toistaiseksi ei vielä tiedetä, mitkä hiukkasten ominaisuudet (massa- tai lukumääräpitoisuus, pinta-ala, hiukkaskoko tai/ja koostumus) ovat tärkeimpiä terveysvaikutusten kannalta. Polttoprosesseista peräisin olevat pienet hiukkaset näyttäisivät kuitenkin olevan haitallisempia kuin esim. maaperästä peräisin olevat suuret hiukkaset. Tähänastisissa tutkimuksissa ei ole havaittu turvallista pitoisuusrajaa, jonka alapuolella haittoja ei esiintyisi (WHO, 2003).

Ilman epäpuhtauksien terveysvaikutukset välittyvät altistumisen kautta eli ihmisen ja epäpuhtauden tulee olla kosketuksissa toisiinsa. Altistumisen suuruus riippuu siten epäpuhtauden pitoisuudesta ilmassa sekä kyseisessä ympäristössä vietetystä ajasta. Ihmiset viettävät huomattavan osan ajastaan sisätiloissa ja niinpä kotien ja työpaikkojen sisäilmalla on suuri vaikutus altistumiseen. Muita altistumisen kannalta tärkeitä ympäristöjä ovat mm. liikenneympäristöt. Liikenteestä peräisin olevien epäpuhtauksien pitoisuudet ovat korkeimmillaan liikennevälineissä ja väylien välittömässä läheisyydessä. Toisaalta, liikenteessä vietettävä aika on suhteellisen lyhyt. Epäpuhtauksien pitoisuuksista eri liikennevälineissä on kuitenkin toistaiseksi melko vähän mittaustuloksia.

Useat tekijät vaikeuttavat hiukkasten terveysvaikutusten tutkimista. Pitoisuuksia ja muita hiukkasten ominaisuuksia mitataan yleensä muutamassa harvassa ulkona sijaitsevassa mittauspaikassa, eikä kaikissa ympäristöissä, joissa ihmiset asuvat, tekevät työtä ja liikkuvat. On lisäksi vaikea eliminoida muiden häiritsevien tekijöiden osuutta (mm. kaasumaiset epäpuhtaudet, säätö, tms.). Lisäksi ihmisten herkkyys epäpuhtauksien vaikutuksille vaihtelee suuresti.

Viime vuosina mm. Lontoon, Tukholman ja New Yorkin metroissa tehdyissä mittauksissa on todettu korkeita hiukkaspitoisuuksia (Adams ym. 2001, Hurley ym. 2003, Johansson ym. 2003, Chillrud, ym. 2004). Tästä syystä YTV ja Kansanterveyslaitos päättivät toteuttaa lyhyen koeluonteisen mittauskampanjan myös Helsingin metrossa maaliskuussa 2003. Kampin rakennustyömaa ja siihen liittyvät murskeen kuljetukset lisäsivät kuitenkin pölyn määrää metrossa, joten pidettiin tarpeellisena tehdä tarkempi selvitys metrossa vallitsevista hiukkaspitoisuuksista rakennustöiden päätyttyä. Toinen mittauskampanja toteutettiin maaliskuussa 2004 ja siihen osallistuivat Kansanterveyslaitoksen ja YTV:n lisäksi Ilmatieteen laitos, Helsingin yliopisto, Työterveyslaitos ja Nordic Envicon Oy. Helmikuun lopussa juuri ennen toisen mittauskampanjan alkua metron raiteet oli hiottu ja metrotunnelit pesty.

## 2 MITTAUKSET

Rautatientorin, Sörnäisten ja Siilitien metroasemilta kerättiin maaliskuussa 2003 arkipäivisin klo 6.30 ja 18.30 välisenä aikana pienhiukkasten ( $PM_{2,5}$ ) näytteitä teflonsuodattimille nk. MEM-keräimillä (MicroEnvironmental Monitor). Ensimmäisellä viikolla kerättiin kolme yhden päivän näytettä. Koska haluttiin varmistaa, että näytemäärä olisi riittävä kemiallista analyysiä varten, kerättiin toisella viikolla kaksi kahden päivän näytettä. Sörnäisissä näytteitä kerättiin myös kvartsisuodattimille. Rautatientorin ja Sörnäisten metroasemilla MEM-keräinten rinnalla käytettiin PEM-keräintä (Personal Environmental Monitor) ja siihen yhdistettyä jatkuvatoimista fotometristä hiukkaspitoisuuden mittaria (personal DataRam, pDR)  $PM_{2,5}$ -pitoisuuksien lyhytaikaisvaihtelun selvittämiseksi. Näiden laitteiden keräysaika ei ollut ohjelmoitavissa ja mittaukset jatkuivat yön yli keräysaikojen vaihdellessa 26 tunnista 34 tuntiin.

Hiukkaspitoisuuksia mitattiin metrovaunuissa ajon aikana. Kohteeksi valittiin vanhat metrovaunut, koska pitoisuuksien oletettiin olevan vanhoissa junissa uusia korkeampia. Mittauksia tehtiin kolmena arkipäivänä klo 6.30–18.30.

Maaliskuun 2004 mittauskampanja oli huomattavasti edellistä laajempi. Keskeiseksi mittauskohteeksi valittiin Sörnäisten metroasema, jonne mittalaitteet oli helppo sijoittaa turvallisesti noin 4 metrin korkeudella sijaitsevalle kattotasanteelle. Sörnäisten metroasemalla seurattiin 4.3.–22.3.2004 jatkuvatoimisesti pienhiukkasten ( $PM_{2,5}$ ) massapitoisuuksia (Eberline FH 62 I-R ja pDR), pienhiukkasten sisältämän mustan hiilen (BC) pitoisuuksia nk.etalometrillä sekä halkaisijaltaan 0,010–0,5  $\mu m$  olevien hiukkasten lukumääräpitoisuuksia ja kokojakaumaa (DMPS). Jatkuvatoimisten mittausten ohella kerättiin 10.3.–17.3. arkisin klo 6 ja 18 välisenä aikana pienhiukkasnäytteitä alkuaineanalyysijä sekä alkuainehiilen ja orgaanisen hiilen analyysiä varten. Hiukkasten lisäksi mitattiin jatkuvatoimisesti typpimonoksidin (NO) ja typpidioksidin ( $NO_2$ ) pitoisuuksia.

Rautatientorin ja Siilitien metroasemilla kerättiin näytteitä pienhiukkasten massapitoisuuden ja kemiallisen koostumuksen määrittämiseksi. Rautatientorilla seurattiin lisäksi jatkuvatoimisesti pienhiukkaspitoisuuksia.

Metrovaunuissa seurattiin klo 07.00 ja klo 18.00 välisenä aikana jatkuvatoimisesti pienhiukkasten ( $PM_{2,5}$ ) massapitoisuuksia ja hiukkasten lukumääräpitoisuuksia sekä kerättiin pienhiukkasnäytteitä suodattimelle kemiallista analyysiä varten. Metrojunien ohjaamossa seurattiin jatkuvatoimisesti pienhiukkasten massapitoisuuksia sekä hiukkasten lukumääräpitoisuuksia. Metrovaunuissa lukumääräpitoisuuksia seurattiin P-Trak -laitteella, joka laskee halkaisijaltaan 0,020  $\mu m$ :stä noin 1  $\mu m$ :iin olevien hiukkasten lukumääräpitoisuuksia. Ohjaamoissa käytettiin vastaavantyyppistä CPC-3007 -laitetta, joka laskee halkaisijaltaan 0,010  $\mu m$ :stä 1  $\mu m$ :iin olevien hiukkasten lukumääriä. Kokoluokkien eron vuoksi metrovaunun ja ohjaamon lukumääräpitoisuuksien tulokset eivät siten ole keskenään täysin vertailukelpoisia. CPC-3007 oli ensimmäisellä mittausviikolla käynnissä aamuisin klo 7–11 ja uudelleen illalla noin klo 16.30–17.30. Maanantaina 15.3. CPC-3007 oli käynnissä vain klo 7–10 ja 16.3. sekä 17.3. klo 7:stä aamulla klo 17.30 ja 16.45 asti. Mittauksia tehtiin kolmessa vanhassa ja kolmessa uudessa junassa.

### 3 NÄYTTEIDEN ANALYSOINTI

Suodattimelle kerättyjen pienhiukkasnäytteiden alkuainepitoisuudet määritettiin Antwerpenin yliopistossa EDXRF-menetelmällä (Energia dispersiivinen röntgenfluoresenssi). Nordic Envicon Oy tutki SEM/EDX-menetelmällä (pyyhkäiselektronimikroskoopi ja siihen kytketty energiadiispersiivinen röntgenanalysointilaite) yksittäisten hiukkasten koostumusta suodattimille kerätyistä näytteistä. Kvartsisuodattimelle kerätyistä näytteistä Ilmatieteen laitos analysoi alkuainehiilen (EC) ja orgaanisen hiilen (OC) pitoisuudet. Samoista näytteistä analysoitiin ionikromatografisesti sulfaattipitoisuudet.

### 4 TULOKSET

#### 4.1 Massapitoisuudet

Taulukossa 1 on esitetty pienhiukkasten keskimääräiset massapitoisuudet vuosina 2003 ja 2004. Vertailun vuoksi taulukossa on esitetty tuloksia myös YTV:n ilmanlaadun mittausasemilta Kalliosta, Vallilasta ja Runeberginkadulta. Kallio edustaa keskimääräisiä hiukkaspitoisuuksia, joille kaupunkilaiset altistuvat, Vallila edustaa liikenneympäristöä ja Runeberginkatu katukuiluolosuhteita. Katukuiluissa epäpuhtauksien laimeneminen on heikompaa ja pitoisuudet siten korkeammat kuin avoimissa ympäristöissä.

*Taulukko 1. Pienhiukkasten ( $PM_{2,5}$ ) keskimääräiset massapitoisuudet Helsingin metrossa ja YTV:n mittausasemilla 11.3.–20.3.2003 ja 10.3.–17.3.2004 toteutettujen mittauskampanjoiden aikana. Suluissa näytteiden lukumäärä. Pitoisuudet ovat päiväpitoisuuksia klo 06 ja 19 välisiltä ajanjaksoilta mittausjakson pituuden ollessa 10–12 tuntia. Maxh on suurin tuntikeskiarvo mittausjaksojen ajalta.*

	PM <sub>2,5</sub> -pitoisuudet vuonna 2003, µg/m <sup>3</sup>				PM <sub>2,5</sub> -pitoisuudet vuonna 2004, µg/m <sup>3</sup>			
	ka (N)	min	max	maxh	ka (N)	min	max	maxh
Rautatientori	93 (4)*	70	138	178	47 (6)	42	51	77
Sörnäinen	60 (5)*	49	67	97	50 (6)	37	60	87
Sörnäinen 2	-	-	-	-	61	44	79	90
Siilitie	9 (4)	5	12	-	19 (6)	12	29	-
Metrovaunu	19 (3)	14	22	32	21 (5)	17	26	45
Ohjaamo	-	-	-	-	16	11	22	28
Kallio	6	3	10	16	12	6	18	36
Vallila	6	4	10	16	-	-	-	-
Runeberginkatu	12	8	19	49	18	9	23	47

Rautatientori, Sörnäinen, Siilitie ja metrovaunu: tulokset MEM-keräimellä saatuja, maxh:t pDR-tuloksia ja \*:hylätyt MEM-tulokset korvattu pDR:n tuloksilla  
Ohjaamo, Kallio, Vallila ja Runeberginkatu: jatkuvatoimisten mittausten tuloksia

Vuonna 2004 pienhiukkasten ( $PM_{2,5}$ ) pitoisuudet maanalaisilla metroasemilla Rautatientorilla ja Sörnäisissä olivat keskimäärin noin  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja Siilitien metroasemalla  $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Metrovaunussa ja ohjaamossa pitoisuudet olivat ajon aikana keskimäärin 21 ja  $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Laitevian vuoksi ohjaamosta ei kuitenkaan saatu tuloksia kahdelta ensimmäiseltä mittauspäivältä, joten keskiarvo ei ole täysin vertailukelpoinen muihin. Ulkoilman keskimääräiset pienhiukkaspitoisuudet mittausjaksojen ajalta olivat Kallion kaupunkitausta-asemalla 12 ja Runeberginkadulla  $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Vallilasta ei ole käytettävissä mittaustuloksia ko. ajanjaksolta.

Jatkuvatoimisella analysaattorilla (FH62 I-R) Sörnäisissä mitattu koko jakson (4.3.–21.3.2004, yöt mukaanlukien) pienhiukkasten pitoisuuskeskiarvo oli  $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja korkein tuntiarvo  $103 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Korkein tuntipitoisuus mitattiin tiistaina 9.3. klo 9–10 aamulla. Jatkuvatoimisella Eberline-analysaattorilla (Sörnäinen2) saatiin keskimäärin noin 20 % korkeampia tuloksia kuin MEM-keräimellä. Syy tähän ei ole tiedossa, mutta ero ei vaikuta olennaisesti tulosten tulkintaan.

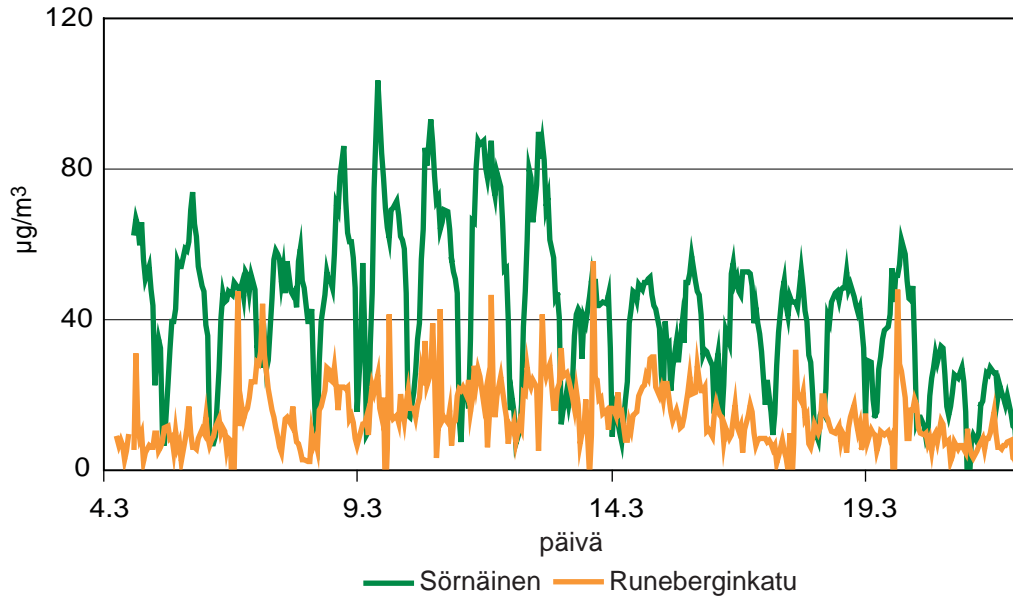
Vuonna 2003 pitoisuudet olivat Sörnäisissä ja erityisesti Rautatientorin metroasemalla korkeammat kuin vuonna 2004. Kampin rakennustyöt sekä työmaalta tunnelissa kuljetetut kiviainekset kohottivat pitoisuuksia selvästi. Siilitiellä pitoisuudet puolestaan olivat vuonna 2003 alhaisemmat kuin vuonna 2004. Tämä lienee aiheutunut pääasiassa siitä, että vuoden 2003 mittausjakson aikana ulkoilman hiukkaspitoisuudet olivat erilaisista säätekijöistä, mm. suuremmasta tuulennopeudesta, johtuen selvästi alhaisempia kuin vuonna 2004. Metrovaunuissa mitatuissa pitoisuuksissa ei ollut merkittävää eroa vuosien välillä.

Helsingin metrossa havaitut hiukkaspitoisuudet olivat selvästi alhaisempia kuin esim. Tukholmassa tai Lontoossa mitatut. Johanssonin ym. (2002) Tukholman metrossa Mariatorgetin metroasemalla toteuttamassa mittauskampanjassa  $PM_{2,5}$ -pitoisuuden tuntikeskiarvot vaihtelivat arkipäivisin välillä  $105\text{--}388 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , koko jakson keskiarvon ollessa  $258 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Lontoossa kolmella eri metroasemalla tammikuussa 2003 tehdyissä mittauksissa  $PM_{2,5}$ -pitoisuudet olivat  $270\text{--}480 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (kymmenen tunnin keskiarvoja klo 7.00–17.00) ja ohjaamoissa eri metrolinjoilla  $130\text{--}200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Hurley ym. 2003).

Kuvassa 1 on esitetty pienhiukkasten tuntipitoisuudet Sörnäisten metroasemalta sekä vertailun vuoksi pienhiukkasten pitoisuudet YTV:n Runeberginkadun mittausasemalta 4.3 ja 22.3.2004 väliseltä ajalta.

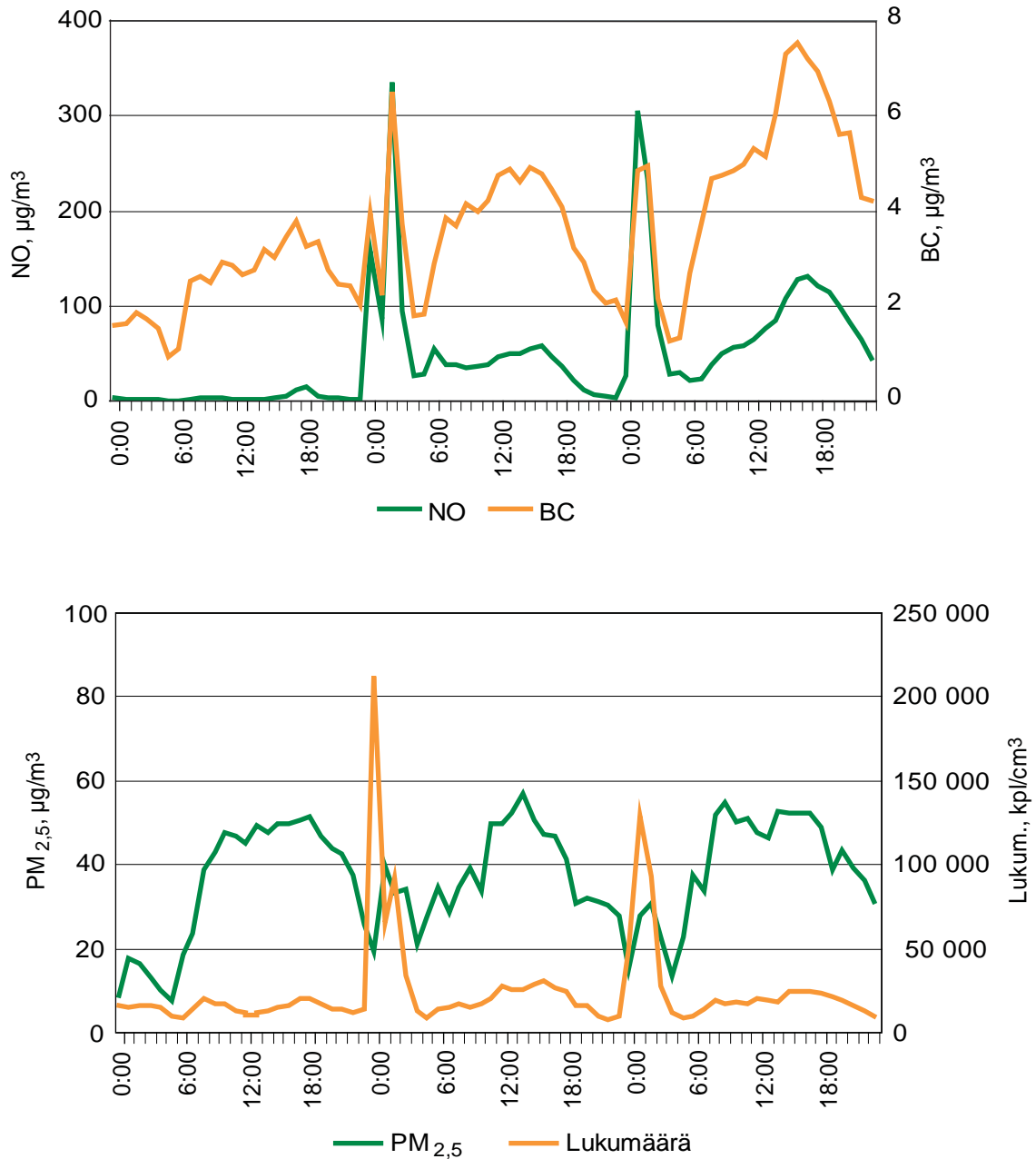
Viikonloppuisin pitoisuudet Sörnäisten metroasemalla olivat alhaisempia kuin arkiisin. Mittausjakson aikana säätila vaihteli suuresti: Ensimmäisellä mittausviikolla tuulen nopeus oli alhainen ja sää kuiva aurinkoinen. Ulkoilman hiukkaspitoisuudet olivat siksi tavanomaista korkeampia. Tuuli voimistui sunnuntaina 14.3. ja toisella mittausviikolla satoi päivittäin. Viikonloppu 20.–21.3. oli hyvin tuulinen ja sateinen. Säätila vaikutti merkittävästi myös metroasemilla mitattuihin hiukkaspitoisuuksiin. Pitoisuudet olivat korkeimmat 8.3.–12.3. ja laskivat viikonlopun aikana. 15.3. alkavalla

viikolla pitoisuudet ovat selvästi edellisviikkoa alhaisemmat ja laskivat edelleen viikonloppuna 20.–21.3. Säätekijät vaikuttavat sekä ulkoilman hiukkaspitoisuuksiin että metron ilmanvaihtoon ja sitä kautta metron hiukkaspitoisuuksiin.



Kuva 1. Pienhiukkasten ( $PM_{2,5}$ ) pitoisuudet Sörnäisten metroasemalla ja YTV:n Runeberginkadun mittausasemalla 4.3.–21.3.2004.

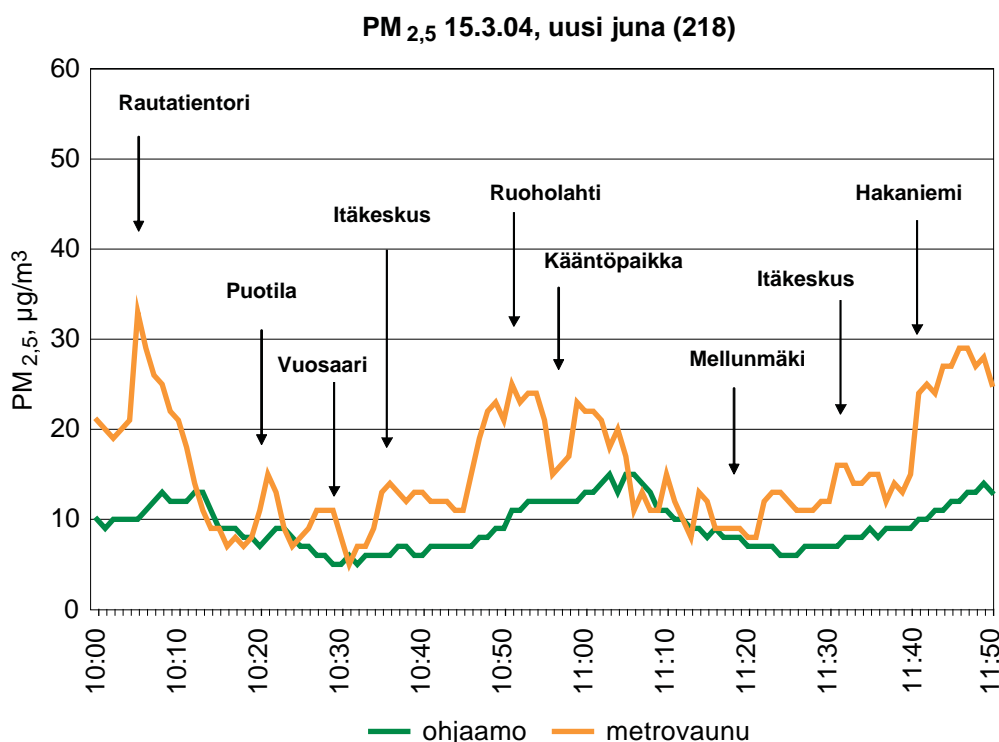
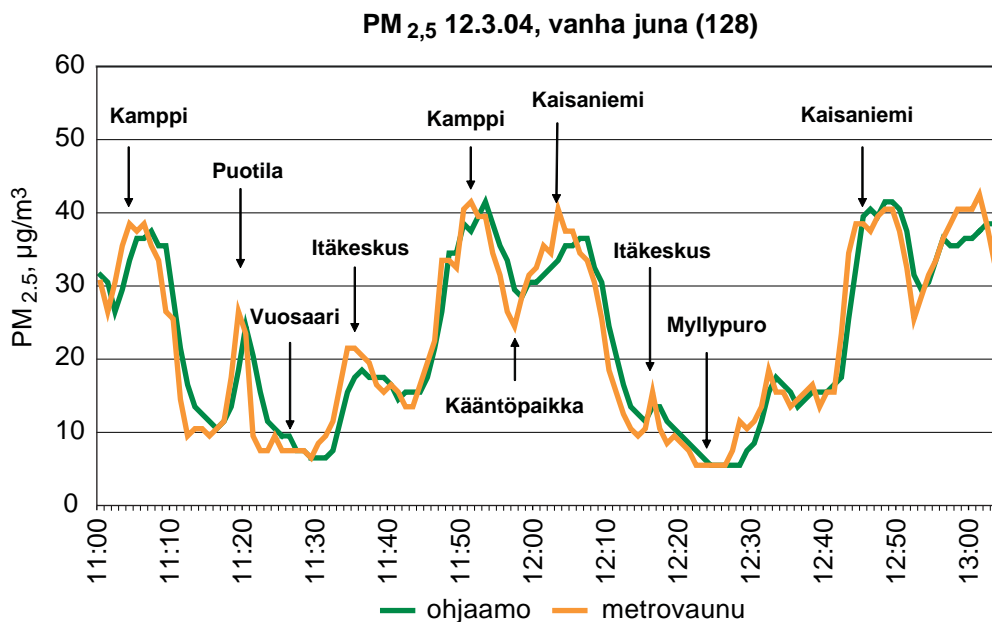
Öisin metrossa tehdään huoltotöitä diesel-käyttöisillä työkoneilla. Niiden vaikutus pitoisuuksiin on esitetty kuvassa 2. Typpimonoksidin ja mustan hiilen pitoisuudet samoin kuin hiukkasten massa- ja lukumääräpitoisuudet nousivat selvästi työkoneita käytettäessä.



Kuva 2. Typpimonoksidin (NO) ja mustan hiilen (BC) pitoisuudet (ylhäällä) sekä hiukkasten lukumäärä- ja massapitoisuudet (alhaalla) Sörnäisten metroasemalla 14.–16.3.2004. Öisin mitatut korkeat pitoisuudet aiheutuivat työkoneiden käytöstä.

Kuvassa 3 on esitetty pienhiukkasten pitoisuusvaihtelut metrovaunussa sekä ohjaamossa uudessa ja vanhassa junassa. Pitoisuudet ovat korkeimmillaan metrotunnelissa ja laskevat tultaessa ulos tunnelista. Myös Itäkeskuksen ja Puotilan välisessä lyhyessä tunnelissa pitoisuudet nousevat selvästi. Vanhoissa junissa ilmanotto on lattiatasolla metrovaunussa ja ohjaamon ilma tulee metrovaunun kautta, ja siksi metrovaunussa ja ohjaamossa pitoisuudet olivat samalla tasolla. Uusissa junissa ohjaamossa on erillinen ilmanotto ja suodattimet, ja täten ohjaamon pitoisuudet olivat alhaisemmat kuin metrovaunussa. Mittalaitteet oli metrovaunussa sijoitettu välittömästi ohjaamon seinän taakse.

Kääntöpaikoilla Ruoholahdessa, Vuosaarella ja Mellunmäessä junan kulkusuunta vaihtuu, joten mittalaitteet olivat vuorotellen junan ensimmäisessä ja viimeisessä vaunussa. Sijainnilla ei havaittu olevan merkitystä pienhiukkasten pitoisuuksiin.



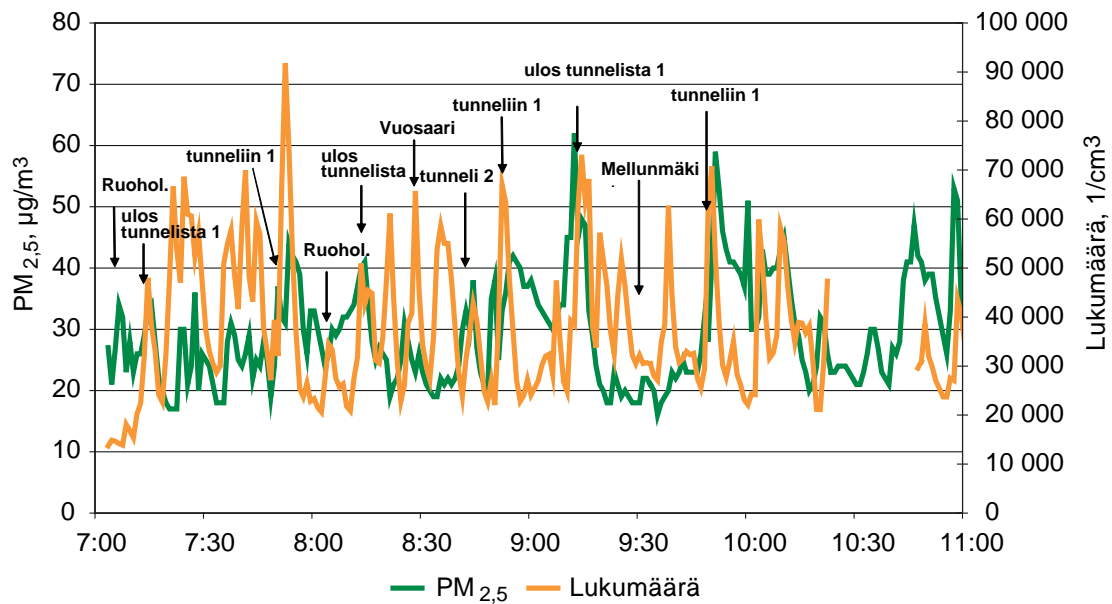
Kuva 3. Pienhiukkasten massapitoisuuden vaihtelu metrovaunussa ja ohjaamossa vanhassa junassa (yllä) ja uudessa junassa (alla) vuonna 2004 reitillä Ruoholahti–Vuosaari–Ruoholahti–Mellunmäki–Ruoholahti.

## 4.2 Lukumääräpitoisuudet

Hiukkasten (halkaisija alle 0,5 µm) lukumääräpitoisuuksia seurattiin Sörnäisten met-roasemalla, metrovaunuissa ja ohjaamoissa. Käytetyt laitteet poikkesivat toisistaan, mikä vaikeuttaa tulosten keskinäistä vertailtavuutta. Mittausteknisistä syistä ohjaa-moissa seurattiin pitoisuuksia lyhyemmän ajan kuin metrovaunuissa.

Sörnäisten metroasemalla ja junissa tehdyissä mittauksissa halkaisijaltaan alle 0,5 µm:n hiukkasten lukumäärät eivät poikenneet olennaisesti ulkoilman pitoisuuksista. Hiuk-kasten lukumääräpitoisuuksiin vaikuttavat eniten hyvin pienet hiukkaset, jotka tässä tapauksessa olivat lähinnä tieliikenteestä peräisin. Metroliikenteen tuottamat hiukka-set ovat pääsääntöisesti mekaanisesti syntyneitä ja kooltaan suurempia kuin auto-jen pakokaasujen hiukkaset. Suurten hiukkasten vaikutus lukumääräpitoisuuksiin on vähäinen, mutta massapitoisuuksiin huomattava.

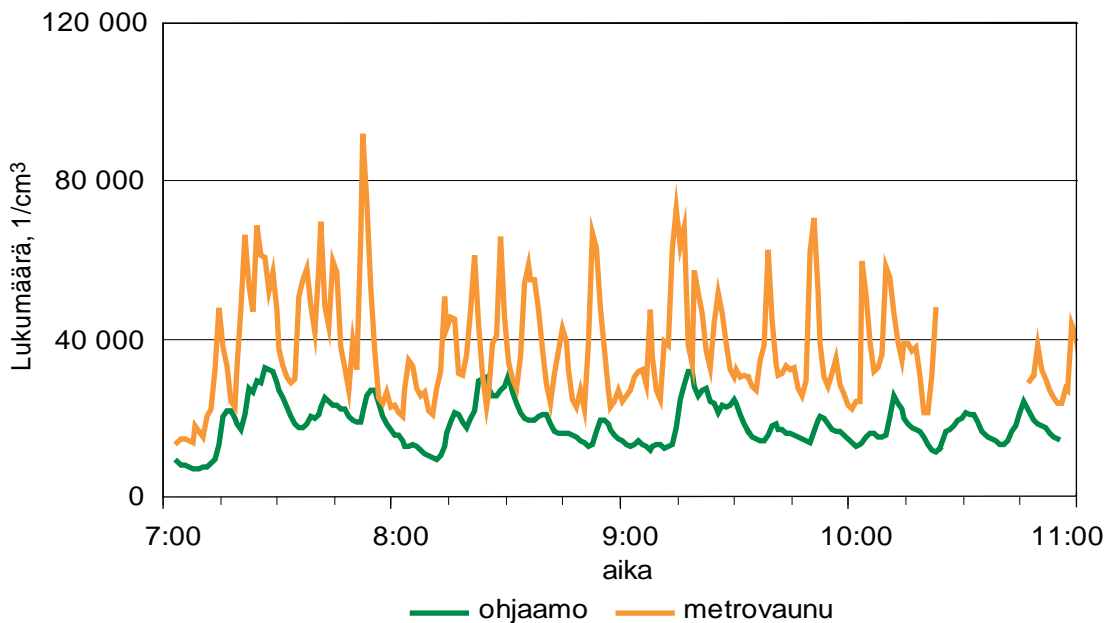
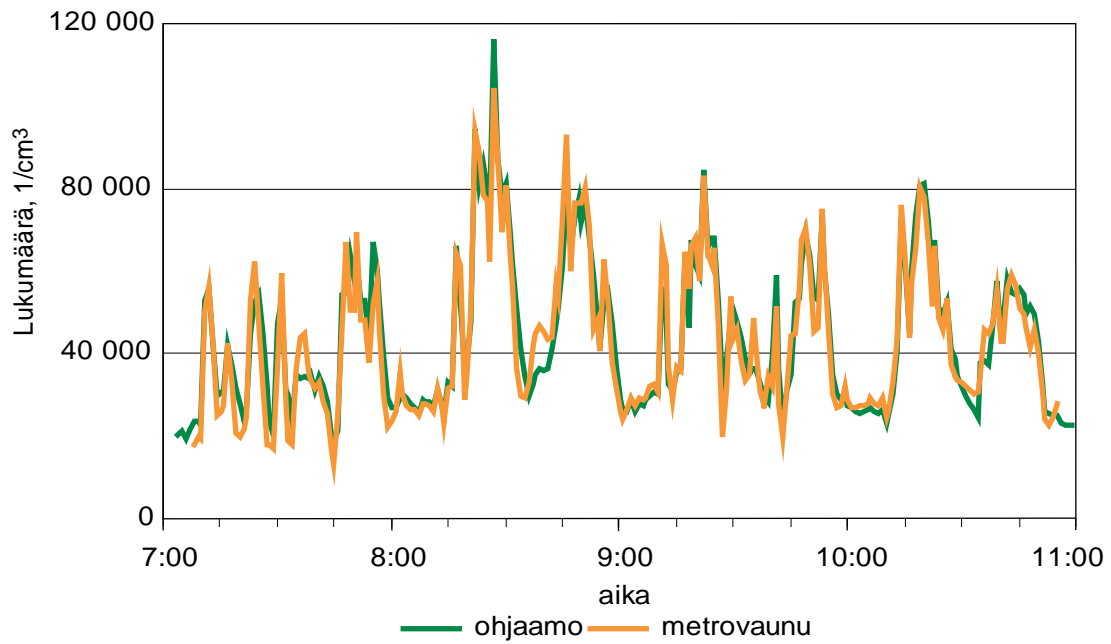
Kuvassa 4 on esitetty massapitoisuuksien ja lukumääräpitoisuuksien vaihtelu ajan aikana uudessa metrovaunussa. Massa- ja lukumääräpitoisuudet eivät korreloi kes-kenään. Kun esimerkiksi tullaan ulos tunnelista, lukumääräpitoisuudet nousevat ja massapitoisuudet laskevat.



Kuva 4. Pienhiukkasten ( $PM_{2,5}$ ) massapitoisuudet ja hiukkasten (0,020 ...~ 1 µm) lukumääräpitoisuudet metrovaunussa ajon aikana 11.3.2004.

Kuvassa 5 on esitetty lukumääräpitoisuuksien vaihtelu ohjaamossa ja metrovaunus-sa ajon aikana vanhassa ja uudessa junassa. Vanhassa junassa metrovaunun ja oh-jaamon hiukkasten lukumääräpitoisuudet ovat samaa suuruusluokkaa ja seuraavat toisiaan. Uuden junan ohjaamon suodattimet vähentävät hiukkasten lukumääräpi-toisuuksia, jotka ovat massapitoisuuksien tapaan ohjaamossa selvästi alhaisemmat kuin metrovaunussa.





Kuva 5. Hiukkasten lukumääräpitoisuudet metrovaunussa (0,02...~1  $\mu\text{m}$ ) ja ohjaamossa (0,01...<1 $\mu\text{m}$ ) vanhassa junassa 10.3.2004 (ylhällä) ja uudessa junassa 11.3.2004 (alhaalla).

Mittausten aikana havaittiin muutaman korkeiden pitoisuuksien erityistilanne: 16. ja 17.3 hiukkasten lukumääräpitoisuudet nousivat huomattavasti metrovaunussa Kampin–Ruoholahden alueella. Nousua ei havaittu Sörnäisten metroaseman mittauksissa eikä syytä pitoisuuksien nousuun kyetty selvittämään. 16.3. aamupäivällä havaittiin savun hajua metrovaunussa ajon aikana ja kuljettajilta saadun tiedon mukaan Ruoholahdessa oli poltettu paperia.

Sörnäisten metroasemalla DMPS:lla mitattu hiukkasten (halkaisija 0,010 – 0,05 µm) keskimääräinen lukumääräpitoisuus mittausjaksoilla 10.3–12.3 ja 15.3.–16.3.2004 klo 6–18 oli 31 200 hiukkasta/cm<sup>3</sup>. Suurin mitattu tuntipitoisuus oli 77 400 hiukkasta/cm<sup>3</sup>. Helsingin yliopiston Kumpulan kaupunkitaustaa edustavalla mittausasemalla keskimääräinen lukumääräpitoisuus oli samaa suuruusluokkaa, ts. 27 500 hiukkasta/cm<sup>3</sup> ja suurin tuntipitoisuus 120 000 hiukkasta/cm<sup>3</sup>. Kumpulassa ajoittain ruuhka-aikoina havaitut korkeat lukumääräpitoisuudet aiheutuivat todennäköisesti Hämeen-tien tai läheisen rakennustyömaan liikenteestä.

Metrovaunuissa edellä mainittuina päivinä noin klo 7–17 mitattu hiukkasten (halkaisija 0,020–yli 1µm) keskimääräinen lukumääräpitoisuus oli 26 600 hiukkasta/cm<sup>3</sup> ja suurin tuntipitoisuus 50 200 hiukkasta/cm<sup>3</sup>. Ohjaamoissa hiukkasten (halkaisija 0,010–noin 1 µm) lukumääräpitoisuus oli keskimäärin 21 700 kpl/cm<sup>3</sup> ja suurin tuntipitoisuus 51 500 kpl/cm<sup>3</sup>.

Hurley ym. (2003) mittasivat P-Trakilla hiukkasten lukumääräpitoisuuksia Lontoon metrossa tammikuussa 2003. Keskimääräiset lukumääräpitoisuudet vaihtelivat eri asemilla välillä 14 000–29 000 hiukkasta/cm<sup>3</sup>. Hiukkasten keskimääräiset lukumäärät kuljettajien vaunuissa ajovuoron (7.00–17.00, lounastauot pois lukien) aikana olivat 17 000–23 000 hiukkasta/cm<sup>3</sup> metrolinjasta riippuen. Helsingissä mitatut pitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa.

Taulukossa 2 on vertailtu massa- ja lukumääräpitoisuuksia metrovaunuissa ja ohjaamossa uusissa ja vanhoissa junissa. Pienihiukkasten (PM<sub>2,5</sub>) massapitoisuudet ja 0,010–1 µm:n kokoisten hiukkasten lukumääräpitoisuudet olivat uusissa metrovaunuissa hieman alhaisemmat kuin vanhoissa. Näytemäärä oli kuitenkin pieni, joten havaittu ero saattoi olla seurausta muista, esim. säätökijöistä. Sen sijaan ohjaamossa ero oli selvempi: sekä lukumäärä- että massapitoisuudet olivat uusien junien ohjaamoissa alhaisemmat kuin vanhoissa junissa (ks. myös kuvat 3 ja 5).

*Taulukko 2. Hiukkasten keskimääräiset massapitoisuudet (µg/m<sup>3</sup>) ja lukumääräpitoisuudet (kpl/cm<sup>3</sup>) uusissa ja vanhoissa junissa vuonna 2004. N on mittauspäivien lukumäärä.*

	Metrovaunu		Ohjaamo	
	PM <sub>2,5</sub>	lukumäärä	PM <sub>2,5</sub>	lukumäärä
keskiarvo, kaikki	22	26600	16	21700
keskiarvo, vanhat junat	24	30300	20	33000
keskiarvo, uudet junat	21	22800	12	10400
N (vanha+uusi)	3+3	3+3	2+2	3+3

Metrovaunussa mitattujen hiukkasten halkaisija d >20 nm  
Ohjaamossa mitattujen hiukkasten halkaisija d >10 nm

### 4.3 Hiilipitoisuudet Sörnäisten metroasemalla

Taulukossa 3 on esitetty orgaanisen hiilen (OC), alkuainehiilen (EC) sekä mustan hiilen (BC) pitoisuudet Sörnäisten metroasemalla ja Kumpulän ilmanlaadun mittausasemalla.

Alkuainehiili ja musta hiili ovat pääasiassa hiiltä, joka on peräisin autojen pakokaasuista. Erot tuloksissa aiheutuvat erilaisista mittausmenetelmistä. Autoliikenteen pakokaasut ovat myös orgaanisen hiilen pääasiallinen lähde, mutta sitä kulkeutuu metroon myös muista ihmis- ja luontoperäisistä lähteistä.

*Taulukko 3. Alkuainehiilen (EC), orgaanisen (OC) ja mustan hiilen (BC) pitoisuudet ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) Sörnäisten metroasemalla ja Kumpulassa. (N on näytemäärä). EC- ja OC-näytteet on kerätty klo 6 ja 18 välisenä aikana ja keräysajat olivat 11–12 tuntia. Mustan hiilen pitoisuudet on laskettu vastaaville ajanjaksoille.*

	2003		2004			
$\mu\text{g}/\text{m}^3$	EC	OC	EC	OC	BCSör	BCKum
keskiarvo	3	7	4	7	7	3
min	2	6	2	6	4	2
max	4	7	7	10	10	6
N, kpl	4	4	6	6		

Viidanoja ym. (2002) mittasivat vuonna 2000 YTV:n Vallilan mittausasemalla orgaanisen ja alkuainehiilen pitoisuuksia. Alkuainehiilen pitoisuuden vuosikeskiarvo oli 1,2 ja orgaanisen hiilen 3,0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Alkuainehiilen vuorokausipitoisuudet vaihtelivat välillä 0,3–5,7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ja orgaanisen hiilen välillä 1,0 - 8,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Metrossa sekä epäorgaanisen että orgaanisen hiilen pitoisuudet olivat jonkin verran korkeammat kuin Vallilassa keskimäärin. Pitoisuudet vastasivat Vallilan korkeimpia vuorokausipitoisuuksia. Metron korkeampi pitoisuustaso selittyy osittain mittausajoilla: Sörnäisissä näytteet on kerätty kahden viikon aikana arkisin ja vain päiväaikaan. Viidanojan ym. (2002) tulokset kattavat koko vuoden, viikonloput ja yöt mukaan lukien. Lisäksi Sörnäisten mittausjakson toiselle viikolle sattui säätilanne, jolloin ulkoilman epäpuhtauspitoisuudet olivat tavanomaista korkeammat, mikä näkyi selvästi myös hiilen pitoisuuksissa. Mustan hiilen pitoisuudet olivat metroasemalla korkeammat kuin Kumpulassa, mikä saattoi aiheutua Sörnäisten alueen vilkkaammasta liikenteestä. Lisäksi metroaseman hiukkasten korkea rautapitoisuus häiritsi mustan hiilen mittausta.

#### 4.4 Alkuainepitoisuudet ja niiden lähteet Helsingin metrossa

Taulukossa 4 on esitetty Helsingin metrossa mitattuja alkuainepitoisuuksia ja verrattu niitä YTV:n Vallilan mittausasemalla liikenneympäristössä vuonna 1996–1997 toteutetussa mittauskampanjassa saatuihin keskimääräisiin pitoisuuksiin.

*Taulukko 4. Helsingin metrossa pienhiukkasista mitatut alkuainepitoisuudet. Pitoisuudet on ilmoitettu yksikössä nanogrammaa/m<sup>3</sup> (ng = milligramman miljoonasosa = mikrogramman tuhannesosa).*

	Metrovaunu		Siilitie		Rautatientori		Sörnäinen		Vallila*
	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004	1996-1997
ng/m <sup>3</sup>	N = 2	N = 5	N = 2	N = 6	N = 2	N = 6	N = 3	N = 6	
Alumiini (Al)	203	56	90	64	4454	273	298	276	59
Kalsium (Ca)	99	72	82	55	1135	327	210	144	71
Kloori (Cl)	112	24	96	109	267	89	273	105	43
Kromi (Cr)	13	6	2	1	49	42	88	59	-
Kupari (Cu)	42	43	10	13	110	173	106	117	3
Rauta (Fe)	6 890	5 047	1 280	713	22 717	20 703	36 147	28 623	96
Kalium (K)	142	108	65	108	2301	226	153	149	85
Mangaani (Mn)	80	54	16	9	269	234	423	311	3
Nikkeli (Ni)	10	10	3	7	24	23	35	34	2
Fosfori (P)	21	24	10	36	-	41	28	42	-
Lyijy (Pb)	6	5	6	7	13	10	13	13	6
Rikki (S)	498	632	213	892	507	634	444	757	833
Pii (Si)	660	151	275	118	15 330	550	690	346	-
Titaani (Ti)	9	3	7	2	95	24	47	30	1
Vanadiini (V)	3	4	2	14	-	5	4	8	5
Sinkki (Zn)	34	38	17	141	141	124	27	34	14

Al ja Si Siilitie 2004: Al neljän näytteen keskiarvo, Si kolmen näytteen keskiarvo, muut alle havaintorajan.

\* Pakkanen ym. 2001. Hengitettävien hiukkiasten kokojakauma, koostumus ja lähteet pääkaupunkiseudulla -jatkotutkimukset. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 2001:14

Hiukkasten rautapitoisuudet olivat huomattavan korkeita erityisesti maanalaisilla metroasemilla Sörnäisissä ja Rautatientorilla, mutta myös Siilitiellä ja metrovaunuissa verrattuna kaupunki-ilman yleiseen rautapitoisuuteen. Myös mm. mangaanin, kromin, nikkelin ja kuparin pitoisuudet olivat korkeita. Rautatientorilla vuosien 2003 ja 2004 näytteet erosivat koostumukseltaan selvästi toisistaan. Vuonna 2003 alumiinin, kaliumin, kalsiumin ja piin pitoisuudet olivat huomattavasti korkeampia kuin vuonna 2004, mikä kuvastaa Kampin rakennustöiden vaikutusta ilmanlaatuun.

New Yorkin metrossa mitattiin pienhiukkasten ja metallien pitoisuuksia vuonna 2001 (Chillrud ym., 2004). Kahdessa rinnakkaisnäytteessä, joita oli kerätty viisi tuntia metroasemilla ja kolme tuntia metrovaunuissa ajon aikana, pienhiukkasten keskimääräinen pitoisuus oli 62 µg/m<sup>3</sup>. Raudan pitoisuus oli noin 26 µg/m<sup>3</sup>, mangaanin noin 0,240 ja kromin noin 0,084 µg/m<sup>3</sup>. Nämä pitoisuudet ovat samaa suuruusluokkaa kuin Helsingin metroasemilla mitatut.

Vuoden 2004 mittauskampanjassa pienhiukkasten rautapitoisuus (Fe) oli Rautatientorilla keskimäärin 43 %, Sörnäisissä 57 %, Siilitiellä 3,7 % ja metrovaunuissa 24 % (taulukko 5). Muita pääkomponentteja näytteissä olivat hiili ja sen yhdisteet, rikki (S), kalsium (Ca), alumiini (Al), mangaani (Mn) ja kupari (Cu).

Taulukko 5. Pienhiukkasten keskimääräinen koostumus (%) Helsingin metrossa mittauskampanjoiden aikana. N on näytteiden lukumäärä.

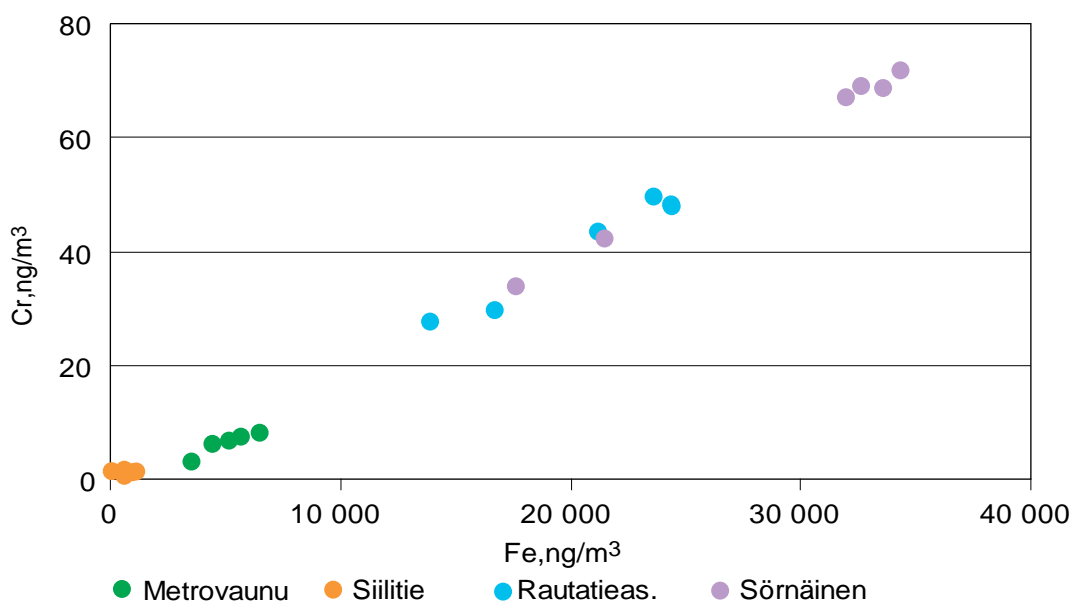
	Metrovaunu		Siilitie		Rautatientori		Sörnäinen	
	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004
%	N = 2	N = 5	N = 2	N = 6	N = 2	N = 6	N = 3	N = 6
Alumiini (Al)	1,1	0,3	1	0,3	3,8	0,6	0,5	0,6
Kalsium (Ca)	0,5	0,3	0,9	0,3	1	0,7	0,4	0,3
Kloori (Cl)	0,5	0,1	1,1	0,6	0,3	0,2	0,5	0,2
Kromi (Cr)*	0,07	0,03	0,02	0,01	0,05	0,09	0,15	0,12
Kupari (Cu)	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,4	0,2	0,2
Rauta (Fe)	38	24	16	4	23	43	62	57
Kalium (K)	0,8	0,5	0,7	0,6	2	0,5	0,3	0,3
Mangaani (Mn)	0,4	0,3	0,2	0	0,3	0,5	0,7	0,6
Nikkeli (Ni)	0,05	0,05	0,03	0,04	0,02	0,05	0,06	0,07
Forfori (P)	0,1	0,1	0,1	0,2		0,1	0	0,1
Lyijy (Pb)	0,03	0,02	0,07	0,04	0,01	0,02	0,02	0,02
Rikki (S)	2,6	3	2,6	4,5	0,5	1,3	0,8	1,6
Pii (Si)	3,5	0,7	3,3	0,5	13,2	1,2	1,1	0,7
Titaani (Ti)	0,05	0,01	0,09	0,01	0,09	0,05	0,08	0,06
Vanadiini (V)	0,01	0,02	0,01	0,07	0,01	0,01	0,01	0,01
Sinkki (Zn)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	0	0,1

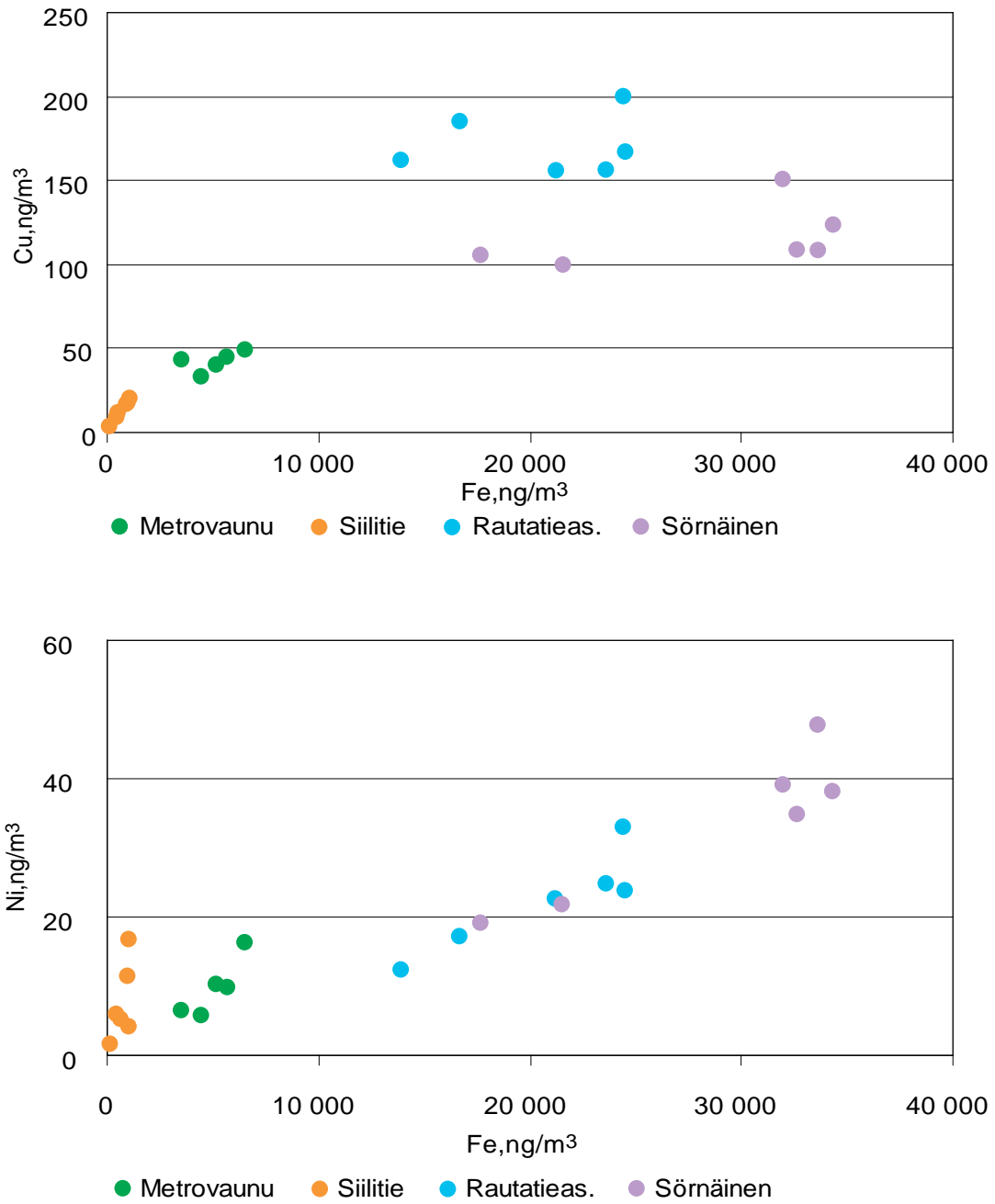
\* osa tuloksista alle varaintorajan, käytetty pitoisuutta havaintoraja/2

Al ja Si Siilitie 2004: Al neljän näytteen keskiarvo, Si kolmen näytteen keskiarvo, muut alle havaintorajan.

Hurley ym. (2003) analysoivat Lontoon metroasemilla kerätyistä PM<sub>2,5</sub>-näytteistä rauta-, kromi-, mangaani-, kupari-, ja sinkkipitoisuudet. Raudan osuus oli huomattavasti suurempi kuin Helsingissä, jopa 83–93 %. Kromia näytteissä oli 0,1–0,2 %, mangaania 0,6–1 %, kuparia 0,1–1,5 % ja sinkkiä alle 0,1 %.

Christensson ym. (2002) keräsivät 3–7. kesäkuuta 2002 hengitettävien hiukkasten (PM<sub>10</sub>, halkaisija alle 10 µm) ja halkaisijaltaan alle 1 µm (PM<sub>1</sub>) olevien hiukkasten näytteitä Tukholmassa Mariatorgetin metroasemalla. PM<sub>10</sub>:n keskiarvopitoisuus oli mittauksissa 380 µg/m<sup>3</sup> ja PM<sub>1</sub>:n 40 µg/m<sup>3</sup>. PM<sub>10</sub>:stä rautaa oli keskimäärin 43,6 %, kalsiumia 3,0 %, bariumia 2,6 %, kuparia 1,5 %, alumiinia 1,1 % sekä mangaania 0,4 %. PM<sub>1</sub>:n massasta rautaa oli 36,3 %, kalsiumia 4,6 %, bariumia 2,1 %, kuparia 1,3 %, alumiinia 1,2 % ja mangaania 0,3 %. Piitä näytteistä ei määritetty. Koostumuksen perusteella pääteltiin PM<sub>10</sub>- ja PM<sub>1</sub>- hiukkasten olevan peräisin samasta lähteestä. Massasta 60 % arvioitiin olevan peräisin kiskoista ja pyöristä, 15 % jarruista ja 10 % maaperästä, loput 25 % jäi tunnistamatta.





Kuva 6. Kromin, mangaanin, kuparin ja nikkelin korrelaatiot raudan kanssa vuonna 2004 metrosta kerätyissä pienhiukkasnäytteissä.

Taulukko 6. Alkuainepitoisuuksien suhde rautapitoisuuteen (%) vuoden 2004 PM<sub>2,5</sub>-näytteissä.

	Metrovaunu	Siilitie	Rautatientori	Sörnäinen
Al	1,1	8,1	1,3	1
Ca	1,4	7,4	1,6	0,5
Cl	0,5	16,8	0,4	0,4
Cr*	1	0,2	0,2	0,2
Cu	0,9	1,9	0,8	0,4
Fe	100	100	100	100
K	2,1	14,9	1,1	0,5
Mn	1,1	1,2	1,1	1,1
Ni	0,2	1	0,1	0,1
P	0,5	5	0,2	0,2
Pb	0,1	1	0	0
S	12,6	122,7	3,1	2,7
Si	3	13,5	2,7	1,2
Ti	0,1	0,3	0,1	0,1
V*	0,1	1,8	0	0
Zn	0,8	4,5	0,6	0,1

\* Osa pitoisuuksista alle havaittavuusrajan

Kuvassa 6 on esitetty eräiden metallien pitoisuuksien korrelaatiot rautapitoisuuden kanssa. Muiden analysoitujen alkuaineiden ja raudan väliset korrelaatiot olivat heikkoja. Taulukossa 6 puolestaan on esitetty PM<sub>2,5</sub>-hiukkasista määritettyjen alkuainepitoisuuksien suhde rautapitoisuuteen (%). Mangaanin, kromin, nikkelin ja titaanin pitoisuudet korreloivat hyvin rautapitoisuuden kanssa, mikä viittaa siihen, että niillä on sama lähde. Kuparin korrelaatio ei ole aivan yhtä hyvä, mikä viittaa erilaisiin lähteisiin.

HKL:ltä saatujen tietojen ja laatutodistusten perusteella valtaosa pyöristä on valmistettu teräksestä, jossa on mangaania enintään 0,8 % ja kromia, kuparia sekä nikkeliä enintään 0,30 %. Tästä teräksestä vuosina 2002 ja 2003 tehdyissä analyyseissä mangaanipitoisuus oli noin 0,75 %, kromipitoisuus noin 0,2 %, kuparipitoisuus 0,10–0,15 % ja nikkelpitoisuus 0,10–0,14 %. Ratakiskon analyyseiden perusteella sen mangaanipitoisuus on noin 1,2 %, kromipitoisuus noin 0,1 %, nikkelpitoisuus 0,02–0,03 % ja kuparipitoisuus noin 0,03–0,05 %.

Virtakiskon mangaanipitoisuus on tehtyjen analyyseiden perusteella noin 0,2 % ja virroitinkien 0,4–0,6 %. Virroitinkien kromi- ja nikkelpitoisuudet ovat alhaisemmat kuin pyörissä, noin 0,05 % ja kuparipitoisuus puolestaan korkeampi, noin 0,7 %.



Pitoisuuksien väliset korrelaatiot ja mangaani- ja rautapitoisuuksien suhde viittaisivat pyörien ja kiskojen olevan hiukkasten tärkein lähde metrossa. Kuparin ja raudan suhde puolestaan viittaisi myös virroitinkengiin. HKL:ltä saadun tiedon mukaan uusien junien virroitinkengät ovat kuparia. Sähköisen jarrutustekniikan vuoksi jarrut eivät liene merkittävä hiukkaslähde Helsingin metrossa. Lähteiden tarkempi selvittäminen vaatisi lisätutkimuksia.

#### 4.5 Hiukkasten elektronimikroskooppinen tarkastelu

Viisi vuonna 2004 metrossa kerättyä pienhiukkasnäytettä analysoitiin SEM/EDX-menetelmällä (pyyhkäisyelektronimikroskoopi ja siihen liitetty energiadiispersiivinen röntgenanalysaattori). Kustakin näytteestä analysoitiin noin 110 yksittäistä hiukkas-ta. Vastaava analyysi oli tehty myös vuoden 2003 näytteistä. Taulukossa 7 on esitetty vuoden 2004 näytteistä määritetyt erityyppisten hiukkasten lukumääräosuudet tutki-tuista noin 110 hiukkasesta. Näytteet on kerätty 12.3., Siilitien toinen näyte 15.3.

Vuoden 2003 ja 2004 SEM/EDX –analyysit tukivat pääsääntöisesti toisiaan. Vuoden 2004 näytteissä ei kuitenkaan havaittu yhtä paljon mineraalihiukkasia kuin vuonna 2003, mikä selittyy Kampin rakennustöiden vaikutuksella.

*Taulukko 7. Eri hiukkastyyppien osuus (%) vuoden 2004 hiukkasnäytteissä.*

Hiukkasluokka	Rautatienraita	Sörnäinen	Siilitie 1	Siilitie 2	Metrovaunu
1	63,3	65,5	18,7	3,7	44,6
2	8,3	2,7	56,1	32,1	10,9
3	0,9	-	4,7	49,5	0,9
4	25,7	29,1	10,3	11,9	33,6
5	-	-	5,6	-	6,4
6	-	1,8	3,7	2,8	2,7
7	1,8	0,9	0,9	-	0,9

Taulukossa 7 luokka 1 on rautarikkaat hiukkaset, joista osassa on happea ja osassa ei. Rautahiukkasten tarkkaa koostumusta ei ollut mahdollista määrittää, koska suodatinalustasta tulee usein mukaan happea. Tulokset viittaavat kuitenkin siihen, että näytteissä oli sekä rautaoksideja että alkuainerautaa.

Luokka 2 kuvaa runsaasti hiiltä sisältäviä hiukkasia, joissa on usein myös rikkiä. Nämä hiukkaset ovat peräisin ulkoilmasta ja niiden osuus onkin suurimmillaan Siilitien metroasemalta kerätyissä näytteissä. Tähän luokkaan kuuluvien hiukkasten tiheys on alhainen, joten niiden osuus massapitoisuudesta on lukumääräosuutta pienempi.

Luokkaan 3 kuuluvat runsaasti rikkiä sisältävät hiukkaset ja niiden osalta Siilitien kaksi näytettä eroavat huomattavasti toisistaan. Siilitien näytteiden erot voidaan selittää ainakin osittain meteorologisilla tekijöillä. Siilitie1:n keräysaikana oli alhainen ilman suhteellinen kosteus (RH 69%) sekä alhainen tuulen nopeus (1,9 m/s). Siilitie2:n keräysaikana vastaavat arvot olivat korkeammat (96% ja 4,2 m/s), jonka lisäksi satoi. Kosteaa ilma vähentää katupölyn mineraalihiukkasten esiintymistä Siilitie2-näytteessä.

Luokkaan 4 ja luokkaan 7 kuuluvat hiukkaset ovat ”epäpuhtaita” rautahiukkasia, joissa raudan lisäksi on mukana joko natriumia tai rikkiä (luokka 4) tai piitä (luokka 7). Rautapitoisten hiukkasten osuudeksi saadaan siten Rautatientorin näytteessä 91, Sörnäisissä 96 ja metrovaunussa 79 %. Siilitien kahdessa näytteessä rautapitoisten hiukkasten osuudet olivat 30 ja 16 %.

Luokan 5 muodostavat mineraalihiukkaset. (Kivet koostuvat mineraaleista ja kivien kulumisen seurauksena muodostuu mineraalipölyjä). Tässä tutkimuksessa tunnistettuja mineraalipölyjä olivat mm. kvartsi, kalimaasälpä, plagioklaasi, biotiitti ja amfiboliryhmän mineraalit. Kyseiset mineraalit ovat kallio- ja maaperän yleisimpiä mineraaleja. Havaitut mineraalipölyt ovat peräisin mm. seuraavista lähteistä: asfaltin kiviaineksesta, hiekoitushiekasta, metroradan raidesepeleistä ja maaperästä.

Luokkaan 6 kuuluvat muut hiukkaset ja luokka sisältää myös sekahiukkasia. Aineistossa on kuitenkin vain vähäisiä määriä kyseisiä hiukkasia.

Analyyseissä havaittiin myös muita samoja alkuaineita kuin kemiallisessa analyysissäkin, mutta niiden pitoisuudet olivat niin alhaisia, että ne eivät vaikuttaneet hiukkasten luokitteluun.

## 5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Helsingin metrossa tutkittiin pienhiukkasia ( $PM_{2,5}$  = halkaisijaltaan alle 2,5  $\mu\text{m}$ :n hiukkaset) maaliskuussa 2003 ja maaliskuussa 2004. Maanalaisilla metroasemilla Sörnäisissä ja Rautatientorilla, maanpinta-asemalla Siilitiellä sekä metrovaunuissa mitattiin hiukkasten massa- ja lukumääräpitoisuuksia, alkuainehiilen, mustan hiilen ja orgaanisen hiilen pitoisuuksia sekä analysoitiin hiukkasten kemiallista koostumusta.

Pienhiukkasten ( $PM_{2,5}$ ) pitoisuudet maanalaisilla metroasemilla Rautatientorilla ja Sörnäisissä olivat selvästi korkeammat kuin ulkoilmassa. Keskimääräiset pitoisuudet metroasemilla olivat päiväaikaan n. 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ja vastaavana aikana YTV:n mittausasemilla 12–18  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Maanpinta-asemalla Siilitiellä, metrovaunuissa ja ohjaamoissa pitoisuudet olivat huomattavasti pienemmät (16–21  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) kuin maanalaisilla asemilla ja vain jonkin verran ulkoilmapitoisuuksia korkeammat.

Helsingissä metroasemilla mitatut pitoisuudet olivat huomattavasti alhaisempia kuin Tukholmassa tai Lontoossa: Tukholman Marietorgetin metroasemalla mitatut pitoisuudet olivat noin viisinkertaiset (Johansson ym., 2003) ja Lontoossa eri metroasemilla mitatut pitoisuudet noin viisin- tai jopa kymmenkertaiset Helsinkiin verrattuna (Hurley ym., 2004). Helsingin metro on uudempi kuin Tukholman tai Lontoon ja käytössä on erilainen jarrutustekniikka, mikä ainakin osittain selittänee alhaisemmat pitoisuudet.

Pienhiukkasten pitoisuuksissa havaittiin suurta vaihtelua päivästä toiseen. Viikonloppuisin pitoisuudet olivat alhaisemmat kuin arkisin vähäisemmän liikenteen vuoksi. Lisäksi säätekijöillä on suuri vaikutus metron ilmanvaihtoon ja siten myös hiukkaspitoisuuksiin. Sekä vuoden 2003 että vuoden 2004 mittaukset tehtiin maaliskuussa. Siten tutkimuksissa ei saatu käsitystä pitoisuuksien mahdollisesta vuodenaikaisvaihtelusta.

Metron pienhiukkaset poikkesivat koostumukseltaan suuresti ulkoilman pienhiukkasista. Valtaosa hiukkasmassasta oli rautaa. Lisäksi eräiden muiden metallien, kuten mangaanin, kromin, nikkelin ja kuparin pitoisuudet olivat korkeammat kuin ulkoilmassa keskimäärin. Todennäköisimmät hiukkasten ja metallien lähteet metrossa ovat pyörien ja raiteiden sekä virtakiskon ja virroitimen kuluminen.

Metrossa päiväaikaan mitatut alkuainehiilen, orgaanisen ja mustan hiilen pitoisuudet eivät poikenneet merkittävästi ulkoilman pitoisuuksista. Valtaosa hiilestä ja hiiliyhdisteistä on peräisin ulkoilmaan sekoittuneista liikenteen päästöistä.

Sörnäisten metroasemalla, metrovaunuissa ja ohjaamoissa mitatut hiukkasten lukumääräpitoisuudet ja niiden kokojakaumat olivat hyvin samankaltaisia kuin Helsingin yliopiston Kumpulassa sijaitsevassa ilmanlaadun mittauspisteessä. Tuloksista voidaan päätellä, että ulkoilma ja siihen sekoittuneet autoliikenteen päästöt ovat metrossa lukumääräpitoisuuteen eniten vaikuttava tekijä.

Hiukkasten massa- ja lukumääräpitoisuudet olivat vanhoissa ja uusissa metrovaunuissa samaa tasoa. Sen sijaan ohjaamoissa havaittiin eroja: uusien junien ohjaamoissa on erilliset suodattimet ja niissä sekä massa- että lukumääräpitoisuudet olivat alhaisemmat kuin vanhojen junien ohjaamoissa.

Ulkoilman hiukkasilla on todettu olevan haitallisia terveysvaikutuksia. Nykykäsityksen mukaan haitallisimpia ovat erilaisista polttoprosesseista (mm. liikenne, energiantuotanto, pienpoltto) peräisin olevat hiukkaset. Metallien on arveltu olevan osatekijänä hiukkasten haitallisissa vaikutuksissa. Metrohiukkasten terveysvaikutuksia ei ole tutkittu epidemiologisin menetelmin eikä terveyshaitoista ole tietävästi julkaistu tapausselostuksia. Metron hiukkaset poikkeavat koostumukseltaan ja kokojakaumaltaan ulkoilman hiukkasista, ja ihmisten metrossa viettämä aika (altistumisaika) on lyhyt. Siksi metrohiukkasten aiheuttamia terveysvaikutuksia on mahdotonta arvioida ulkoilman hiukkasista tehtyjen tutkimusten perusteella.

Pienhiukkasten pitoisuuksille ulkoilmassa tai muissa tiloissa ei ole EU:ssa voimassa raja- tai ohjearvoja. EU:n komissio on kuitenkin ehdottanut ulkoilman vuosipitoisuuksille kattoarvoa  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ulkoilmanormien ei yleensä ole katsottu olevan voimassa tunneleissa, pysäköintihalleissa tms. osittain suljetuissa tiloissa, joissa vietetään vain lyhyitä aikoja. Jonkinlaisina vaikutusarvioinnin lähtökohtina niitä kuitenkin voitaneen pitää. Maanalaisilla metroasemilla päiväaikaan mitatut pitoisuudet ylittivät tämän vuosikeskiarvolle ehdotetun pitoisuuskaton; sen sijaan metromatkan aikana pitoisuudet jäivät sen alapuolelle. Metrossa vietetty aika on lyhyt ja tunnelin ulkopuolella pitoisuudet olivat lähellä kaupunki-ilman yleistä tasoa. Siten metrossa matkustamisen arvioidaan lisäävän vain vähän keskimääräistä pienhiukkasmassalle altistumista metroasemilla mitatuista kohtalaisen korkeista pitoisuuksista huolimatta.

EU:n neljännessä tytärdirektiivissä annetaan nikkelin vuosipitoisuudelle tavoitearvo  $20 \text{ ng}/\text{m}^3$ . Tämä koskee kuitenkin pitoisuutta hengitettävissä hiukkasissa, ei pienhiukkasissa, joita tässä selvityksessä on tutkittu. Maanalaisilla metroasemilla pienhiukkasissa olevan nikkelin pitoisuus ylitti  $20 \text{ ng}/\text{m}^3$ , metrovaunuissa pitoisuus oli selvästi alhaisempi. Maailman terveysjärjestö (WHO) on antanut mangaanin ulkoilmapitoisuudelle vuosiohjearvon  $150 \text{ ng}/\text{m}^3$ . Maanalaisilla metroasemilla päiväaikaiset pienhiukkasten mangaanipitoisuudet olivat tätä ohjearvoa selvästi korkeammat, metrovaunuissa ajon aikana alhaisemmat. Vaikka otettaisiin huomioon, että osa nikkelistä ja mangaanista on karkeissa hiukkasissa, jäänevät keskimääräiset altistuspitoisuudet alle em. tavoite- ja ohjearvon, koska metrossa vietetty aika on lyhyt ja nikkelin ja mangaanin pitoisuudet pääkaupunkiseudulla ulkoilmassa keskimäärin hyvin alhaiset. Metro lisäsi kuitenkin jonkin verran mangaanille, kuparille ja nikkelille altistumista ulkoilmaan verrattuna.

Metrolla on suurin vaikutus raudalle altistumiseen. Ulkoilman rautapitoisuudelle ei ole määritelty ohje- tai raja-arvoja, joihin pitoisuuksia voisi verrata. Raudalla saattaa olla osuus hiukkasten terveysvaikutuksiin, koska se katalysoi hapettumisreaktioita, kuten monet muutkin metallit.

Tällä hetkellä ei ole käytettävissä riittävästi tietoja muissa liikennevälineissä vallitsevista pienhiukkas- tai metallipitoisuuksista, jotta voisimme verrata metroa muihin liikennevälineisiin.

Pienhiukkasten pitoisuudet Helsingin metrossa eivät ole erityisen huolestuttavalla tasolla, mutta jatkossa tulisi kiinnittää huomiota mahdollisuuksiin alentaa metron pienhiukkaspitoisuuksia. Tutkimukset metron hiukkasten terveysvaikutuksista ovat tarpeellisia ja tutkimuksia tulisi tehdä myös muissa liikennevälineissä. Työterveyslaitos on vuonna 2005 käynnistänyt tutkimuksen joukkoliikenteen kuljettajien ja matkustajien altistumisesta pienhiukkasille.

## 6 LÄHDELUETTELO

Adams, H., Nieuwenhuijsen, M., Colvile, R., McMullen, M., Khandelwal, P., 2001. Fine particle ( $PM_{2.5}$ ) personal exposure levels in transport microenvironments, London, UK. *The Science of the Total Environment* 279, 29–44.

Chillrud, S., Epstein, D., Ross, J., Sax, S., Pederson, J., Spengler, J., Kinney, P., 2004. Elevated airborne exposures of teenagers to manganese, chromium, and iron from steel dust in New York City's subway system. *Environ. Sci. & Technol.* 38: 732–737.

Christensson, B., Sternbeck, J., Ancker, K., Luftburna partiklar-partikelhalter, element-sammansättning och emissionskällor. SL Inrateknik AB, 2002–09–11.

Johansson, C., Johansson, P-Å., 2003. Particulate matter in the underground of Stockholm. *Atmospheric Environment* 37:3–9.

Hurley, F., Cherrie, J., Donaldson, K., Seaton, A., Tran, L., 2003. Assessment of health effects of long-term occupational exposure to tunnel dust in the London underground. Research Report TM/02/04, University of Aberdeen.  
[http://tube.tfl.gov.uk/content/pressreleases/0309/dust\\_report\\_sep03.pdf](http://tube.tfl.gov.uk/content/pressreleases/0309/dust_report_sep03.pdf) (26.9.2003).

Pakkanen, T., Loukkola, K., Hillamo, R., Aarnio, P., Koskentalo, T., 2001. Hengitettävien hiukkasten kokojakauma, koostumus ja lähteet pääkaupunkiseudulla - jatkotutkimuksia. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 2001:14. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta (YTV), Helsinki.

Pekkanen, J., 2002. Kaupunki-ilman pienhiukkasten pitoisuudet ja terveysvaikutukset. Ympäristö ja terveys, Supplementtinumero: Ympäristöterveys 2002. s. 6–19.

Viidanoja, J., Sillanpää, M., Laakia, J., Kerminen, V-M., Hillamo, R., Aarnio, P., Koskentalo, T., 2002. Organic and black carbon in  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$ : 1 year of data from an urban site in Helsinki, Finland. *Atmospheric Environment* 36: 3183–3193.

WHO, 2003, Health Aspects of Air Pollution with particulate matter, ozone, and nitrogen oxide. WHO, Bonn, Germany.  
(<http://www.euro.who.int/document/e79097.pdf>).

WHO 2000, Air quality guidelines for Europe. WHO Regional Publications, European series; no 91, WHO Copenhagen.

[www.ytv.fi](http://www.ytv.fi)

**YTV Pääkaupunkiseudun  
yhteistyövaltuuskunta**  
Seutu- ja ympäristötieto  
PL 521 (Opastinsilta 6 A), 00521 Helsinki  
Puhelin (09) 156 11, faksi (09) 156 1369  
etunimi.sukunimi@ytv.fi

**Huvudstadsregionens  
samarbetsdelegation**  
Region- och miljöinformation  
PB 521 (Semaforbron 6 A), 00521 Helsingfors  
Telefon (09) 156 11, telefax (09) 156 1369  
fornamn.efternamn@ytv.fi

Julkaisun numero B 2006:1

ISBN: 951-798-592-4  
ISSN: 0357-5470