



Pääkaupunkiseudun
julkaisusarja C 2001:14

Hengitettävien hiukkasten kokojakauma, koostumus ja lähteet pääkaupunkiseudulla - jatkotutkimukset

Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 2001: 14

Tuomo Pakkanen, Kati Loukkola, Risto Hillamo, Päivi Aarnio,
Tarja Koskentalo

**HENGITETTÄVIEN HIUKKASTEN KOKOJAKAUMA,
KOOSTUMUS JA LÄHTEET PÄÄKAUPUNKISEUDULLA
- JATKOTUTKIMUKSET**

Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta (YTV)
Helsinki 2001

Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta (YTV)

Opastinsilta 6 A
00520 HELSINKI
Puh. 09 - 15 611
<http://www.ytv.fi>

Huvudstadsregionens samarbetsdelegation (SAD)

Semaförbron 6 A
00520 HELSINGFORS
Tfn 09 - 15 611
www.ytv.fi

ISSN 0357-5454
YTV:n monistamo
Helsinki 2001

ESIPUHE

Hiukkaset ovat viime vuosina olleet erittäin vilkkaan tutkimuksen kohteena sekä Suomessa että muualla Euroopassa. Tutkimuksen vilkastumisen syynä ovat viimeaikaiset tiedot hiukkasten vaikutuksista terveyteen. Vuosina 1996 - 1997 pääkaupunkiseudulla käynnistettiin useita hiukkasiin liittyviä tutkimushankkeita. Yksi niistä tähtäsi hengitettävien hiukkasten kokojakauman, koostumuksen ja lähteiden selvittämiseen. Tämänkaltaista tutkimusta oli siihen mennessä tehty melko vähän. Aiemmin YTV oli teettänyt sulfaatin, nitraatin ja lyijyn sekä satunnaisesti eräiden muiden metallien pitoisuusanalyyskejä hiukkasista. Myös polyaromaattisten hiilivetyjen pitoisuuksia hiukkasissa oli analysoitu jonkin verran. Nyt puheena olevassa tutkimushankkeessa kerättiin Vallilasta, Luukista ja Herttoniemestä erittäin laaja hiukkasaineisto, josta kertyi analyysituloksia noin 30 000 ja kokojakaumiakin 1000 kappaletta. Tutkimus tuotti tietoja noin 40 alkuaineen ja 13 ionin, mm. sulfaatin, nitraatin ja ammoniumin pitoisuuksista hiukkasissa. Lisäksi arvioitiin mm. maaperän kiteisen aineksen ja mustan hiilen osuuksia eri kokoisissa hiukkasissa. Hankkeen ensimmäinen suomenkielinen raportti julkaistiin vuonna 1998 YTV:n julkaisusarjassa (C 1998:7). Tämän jälkeen pidettiin tarpeellisena analysoida saatuja tuloksia tarkemmin ja samanaikaisesti laadittiin tutkimuksen eri osa-alueilta artikkeleita myös kansainvälisiin julkaisuihin. Tämän projektin tuloksia on hyödynnetty sittemmin pohjatietoina useissa altistumista ja hiukkasten terveysvaikutuksia käsittelevissä tutkimuksissa. Tulokset ovat olleet arvokkaita myös EY:n ilmanlaadun direktiivien valmistelutyössä. Tutkimus on toteutettu Ilmatieteen laitoksen ja YTV:n yhteistyönä, ja se on kuulunut MOBILE2-tutkimuskokonaisuuteen ja eurooppalaiseen EUROTRAC-2-ohjelman alaiseen SATURN-projektiin (Studying Atmospheric Pollution in Urban Areas).

Helsingissä 29.10.2001

PÄÄKAUPUNKISEUDUN YHTEISTYÖVALTUUSKUNTA (YTV)
YMPÄRISTÖTOIMISTO

Ympäristöpäällikkö Kari Wallenius

Tutkimuspäällikkö Päivi Aarnio

KUVAILEHTI

<i>Julkaisija</i>	Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta (YTV)	<i>Päivämäärä</i> 29.10.2001
<i>Rahoittaja/ Toimeksiantaja</i>	Teknologian edistämiskeskus (TEKES)	
<i>Tekijät</i>	Tuomo Pakkanen, Kati Loukkola, Risto Hillamo, Päivi Aarnio, Tarja Koskentalo	
<i>Julkaisun nimi</i>	Hengitettävien hiukkasten kokojakauma, koostumus ja lähteet pääkaupunkiseudulla - jatkotutkimukset	
<i>Julkaisusarjan nimi</i>	Pääkaupunkiseudun julkaisusarja PJS C	<i>Nro</i> 2001: 14 <i>ISSN</i> 0357-5454 <i>Kieli</i> suomi
<i>Tiivistelmä</i>	<p>Huhtikuun 1996 ja kesäkuun 1997 välisenä aikana kerättiin kokoeroteltuja ilmakehän hiukkasnäytteitä Helsingin Vallilassa ja Herttoniemessä sekä Espoon Luukissa. Pienhiukkasten (halkaisija, $D_p < 2.3 \mu\text{m}$) keskimääräinen massapitoisuus oli Vallilassa $11,8 \text{ g/m}^3$ ja Luukissa $8,4 \text{ g/m}^3$. Vallilassa pitoisuuksia kohoavat paikallisen liikenteen pienhiukkaspäästöt, jotka sisältävät mm. erilaisia hiiliyhdisteitä. Isojen hiukkasten ($2.3 \mu\text{m} < D_p < 15 \mu\text{m}$) pitoisuusero Vallilan ($12,8 \text{ g/m}^3$) ja Luukin (5 g/m^3) välillä johtuu suurimmalta osin autojen Vallilassa nostattamasta katupölystä.</p> <p>Näytteistä analysoitiin noin 40 alkuainetta ja 13 ionia. Pienhiukkasten pääkomponentit olivat tunnistamaton aines (pääosin hiiliyhdisteitä ja vettä), sulfaatti, nitraatti, ammonium ja maaperän kiteinen aines. Isojen hiukkasten pääkomponentit olivat maaperän kiteinen aines ja tunnistamaton aines. Ultrapienten hiukkasten (UFP: $D_p < 0.1 \mu\text{m}$) massa oli keskimäärin noin 0.5 g/m^3. Analysoidut komponentit muodostivat 15-20 % UFP massasta, joten UFP näytti koostuvan etupäässä hiiliyhdisteistä (60-80 % massasta).</p> <p>Hiukkasmassan ja kemiallisten komponenttien kokojakaumia mitattiin välillä $0.035 - 15 \mu\text{m}$. Vertailemalla kokojakaumia ja laskemalla pitoisuuksien korrelaatioita havaittiin, että Vallilan pienhiukkasissa Ni ja V olivat pääosin peräisin paikallisesta raskaan polttoöljyn poltosta, Ba, Cu, Fe, ja Sb liikenteestä ja/tai katupölystä sekä useat maaperäkomponentit (Al, Ca, Fe, Si ym.) katupölystä. Na^+ ionit tulivat pääosin merestä. Sulfaatti, ammonium, oksalaatti, As, Cd, Pb ja Tl tulivat etupäässä kaukokulkeuman mukana. Vallilassa kaikkiaan noin 45% pienhiukkasten massasta oli peräisin paikallisista lähteistä. Lähes kaikki isot hiukkaset arvioitiin paikallisiksi.</p> <p>Vallilassa mitattiin mustaa hiiltä (BC) marraskuusta 1996 kesäkuuhun 1997. Keskimääräiset pitoisuudet olivat työpäivinä 1.5 g/m^3, lauantaisin 1.2 g/m^3 ja sunnuntaisin sekä arkipyhinä 1.0 g/m^3. Työpäivinä 63% mustasta hiilestä oli peräisin paikallisesta liikenteestä ja korkeimmat keskimääräiset pitoisuudet, $2,7 \text{ g/m}^3$, mitattiin aamuruuhkan aikaan klo 7-9. BC:n taustapitoisuudeksi arvioitiin 0.4 g/m^3.</p>	
<i>Avainsanat</i>	hengitettävät hiukkaset, ultrapienet hiukkaset, kokojakauma, koostumus, alkuaineet, ionit, hiukkaslähteet	
<i>Jakelu</i>	Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta (YTV), ympäristötoimisto Opastinsilta 8 E, 00520 HELSINKI, p. 15 611, sähköposti: ymt@ytv.fi, Internet: www.ytv.fi	

PRESENTATIONSBLAD

<i>Utgivare</i>	Huvudstadsregionens samarbetsdelegation (SAD)	<i>Datum</i> 29.10.2001
<i>Finansiär/ Uppdragsgivare</i>	TEKES	
<i>Författare</i>	Tuomo Pakkanen, Kati Loukkola, Risto Hillamo, Päivi Aarnio, Tarja Koskentalo	
<i>Publikationens titel</i>	Storleksfördelning, sammansättning och källor av PM ₁₀ partiklar i huvudstadsregionen - fortsatta undersökningar	
<i>Publikationsserie</i>	Pääkaupunkiseudun julkaisusarja PJS C	<i>Nr</i> 2001: 14 <i>ISSN</i> 0357-5454 <i>Språk</i> Finska
<i>Sammandrag</i>	<p>Under tiden mellan april 1996 och juni 1997 insamlades storleksklassificerade atmosfäriska partikelprover i Vallgård och Herttonäs i Helsingfors och i Luk i Esbo. Den genomsnittliga masshalten hos små partiklar (med diametern $D_p < 2.3 \mu\text{m}$) var i Vallgård 11,8 och i Luk 8,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. I Vallgård ökas halterna av partikelutsläppen från den lokala trafiken: utsläppen innehåller bl.a. olika kolföreningar. Skillnaden i halterna av stora partiklar ($2.3 \mu\text{m} < D_p < 15 \mu\text{m}$) mellan Vallgård (12,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) och Luk (5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) beror till största delen på det gatudamm som bilarna drar upp i Vallgård.</p> <p>Cirka 40 grundämnen och 13 joner i proverna analyserades. Huvudkomponenterna i små partiklarna var icke-identifierade substanser (huvudsakligen kolföreningar och vatten), sulfat, nitrat, ammonium och kristallina marksubstanser. Huvudkomponenterna i stora partiklar var kristallina marksubstanser och icke-identifierade substanser. Massan hos ultrasmå partiklar (UFP: $D_p < 0.1 \mu\text{m}$) var i medeltal cirka 0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. De analyserade komponenterna utgjordes till 15-20 % av UFP-massa, d.v.s. UFP-partiklarna verkade främst bestå av kolföreningar (60-80 % av massan).</p> <p>Fördelningen av storleken hos partikelkomponenter och kemiska komponenter mättes inom området 0,035 - 15 μm. Genom att jämföra storleksfördelningen och beräkna korrelationen mellan halterna observerades att Ni och V i små partiklarna i Vallgård huvudsakligen härstammade från den lokala förbränningen av tung brännolja, att Ba, Cu, Fe, och Sb härstammade från trafiken och/eller gatudamm och flera markgrundskomponenter (Al, Ca, Fe, Si, m.fl.) av gatudamm. Na⁺ jonerna härstammade huvudsakligen från havet. Sulfat, ammonium, oxalat, As, Cd, Pb och Tl kom främst från luftburet nedfall. I Vallgård härstammade totalt cirka 45 % av små partiklarnas massa från lokala källor. Så gott som alla stora partiklar uppskattades vara lokala.</p> <p>I Vallgård uppmättes förekomsten av svart kol (BC) från november 1996 till juni 1997. De genomsnittliga halterna var under arbetsdagar 1,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lördagar 1,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ och söndagar/helgdagar 1,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Under arbetsdagar härstammade 63 % av svart kol från den lokala trafiken och den högsta genomsnittliga halten, 2,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, uppmättes under morgonrusningen kl. 7-9. Bakgrundhalten av BC uppskattades till 0,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.</p>	
<i>Nyckelord</i>	inandningsbara partiklar, ultrasmå partiklar, storleksfördelning, kemiska komponenter, grundämnen, ioner, partikelkällor	
<i>Distribution</i>	Huvudstadsregionens samarbetsdelegation (SAD), miljöbyrå Semaforbron 8 E, 00520 HELSINGFORS, tfn 15 611, e-post: ymt@ytv.fi, Internet: www.ytv.fi	

DOCUMENTATION PAGE

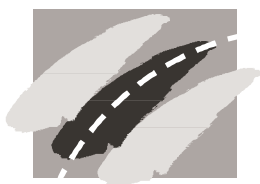
<i>Publisher</i>	Helsinki Metropolitan Area Council	<i>Date</i>	29.10.2001
<i>Financier/ Comissioner</i>	TEKES		
<i>Authors</i>	Tuomo Pakkanen, Kati Loukkola, Risto Hillamo, Päivi Aarnio, Tarja Koskentalo		
<i>Title of Publication</i>	Size distribution, chemical composition and sources on inhalable particles in the Helsinki Area - final results.		
<i>Publication series</i>	Pääkaupunkiseudun julkaisusarja PJS C	<i>Number</i>	2001: 14
		<i>ISSN</i>	0357-5454
		<i>Language</i>	finnish
<i>Abstract</i>	<p>In April 1996 - June 1997 size-segregated atmospheric aerosols were measured at Vallila (urban site) and Herttoniemi in Helsinki and at Luukki (rural site) in Espoo. Average mass concentration of fine particles (diameter, $D_p < 2.3 \mu\text{m}$) was $11.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ at the urban site and $8.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ at the rural site. At the urban site vehicle exhaust is the most important local emission source producing especially carbonaceous particles. The difference in coarse particle mass between the urban ($12.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) and rural ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) sites arise mainly from the road dust lifted by traffic at the urban site.</p> <p>About 40 elements and 13 ions were analysed. The largest contributors to fine particle mass were the unidentified fraction (mainly carbonaceous material and water), sulphate, nitrate, ammonium and crustal matter. Coarse particles consisted mainly of crustal and unidentified matter. Ultrafine particle (UFP, $D_p < 0.1 \mu\text{m}$) mass, being on average about $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, seemed to consist mainly of carbonaceous material (60-80%), since the components analysed contributed only 15-20% of the UFP mass.</p> <p>Size distributions of mass and chemical components were measured for particles of D_p between 0.03 and $15 \mu\text{m}$. Comparison of size distributions and calculation of the correlations indicated that in urban fine particles Ni and V originated mainly from local oil combustion, Ba, Cu, Fe and Sb from vehicle exhaust and/or from road dust, crustal matter from road dust and Na^+ ions from the sea. About 45% of urban fine mass was estimated to originate from local sources. Most of sulphate, ammonium, oxalate, As, Cd, Pb and Tl were long-range transported. Urban and rural coarse particles were mostly of local origin.</p> <p>At the urban site average black carbon (BC) concentrations were $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for work days, $1.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for Saturdays and $1.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for Sundays. On work days 63% of BC originated from local traffic and the highest average concentration, $2.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, occurred at 7-9 am. The background concentration of BC was estimated to $0.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$.</p>		
<i>Keywords</i>	thoracic particles, ultrafine particles, size distributions, chemical composition, elements, ions, sources		
<i>Distribution</i>	Helsinki Metropolitan Area (YTV), Environmental Office Opastinsilta 8 E, 00520 HELSINKI, tel. + 358 9 15 611, e-mail: ymt@ytv.fi, Internet: www.ytv.fi		

HENGITETTÄVIEN HIUKKAS- TEN KOKOJAKAUMA, KOOS- TUMUS JA LÄHTEET PÄÄKAUPUNKISEUDULLA - JATKOTUTKIMUKSET

**Pakkanen T. ¹, Loukkola K. ¹, Hillamo R. ¹,
Aarnio P. ² ja Koskentalo T. ²**

- 1) Ilmatieteen laitos**
- 2) YTV**

Lokakuu 2001



Sisällysluettelo

JOHDANTO JA TAVOITTEET	2
MENETELMÄT	2
Keräyspaikat	2
Keräysmenetelmät ja keräysten aikataulu	3
Massan määrittäminen ja kemialliset analyysit	3
Korjauskertotimet	4
Muut menetelmät	4
LAADUNVALVONTA	4
HIUKKASPITOISUUDET JA MASSAKOKOJAKAUMAT	4
Kokonaishiukkaspitoisuudet (PM15) ja massakokojakaumat	4
Pienhiukkaset (PM2.3), PM1 ja ultrapienet hiukkaset (UFP, PM0.1)	8
KEMIALLISTEN KOMPONENTTIEN KOKOJAKAUMAT JA PITOISUUDET	11
Alkuaineiden ja ionien kokojakaumat	11
Pienhiukkasten (PM2.3) alkuaine- ja ionipitoisuudet	11
Alle yhden mikrometrin (PM1) ja ultrapienet hiukkaset (PM0.1)	12
Isojen hiukkasten (PM2.3-15) alkuaine- ja ionipitoisuudet	12
HIUKKASTEN KESKIMÄÄRÄINEN KOOSTUMUS	18
Pienhiukkasten (PM2.3) keskimääräinen koostumus	18
Pienhiukkasten (PM2.3) koostumus Vallilassa 3.5m ja 20m korkeudella	18
Ultrapienien hiukkasten (UFP, PM0.1) keskimääräinen koostumus	18
Isojen hiukkasten (PM2.3-15) keskimääräinen koostumus	19
PIENHIUKKASTEN LÄHTEITÄ	23
Paikalliset päästölähteet ja kaukokulkeuma	23
Vallilan ja Luukin pienhiukkaspitoisuuksien vertailu	23
Vallilassa ja Luukissa mitattujen pitoisuuksien välinen korrelaatio	23
Pitoisuuksien ja trajektorien yhteys	23
Kokojakaumien tarkastelu	23
Paikallisten päästölähteiden kokonaisvaikutuksen arviointi	24
Eräiden päästölähteiden ja komponenttien arviointi	25
Kaukokulkeuma	25
Liikenne ja musta hiili	26
Energian tuotanto	28
Katupöly	28
Merisuola	29
Lyijy	29
Dikarboksyylilihapot	29
Muita lähteitä	30
ISOJEN HIUKKASTEN PÄÄSTÖLÄHTEIDEN ARVIOINTI	30
JOHTOPÄÄTÖKSET	31
Viitteet	32
Liite 1. Vuosien 1996 - 1997 hiukkaspäästöjä	34
Liite 2. Luettelo kuvista ja taulukoista	35

JOHDANTO JA TAVOITTEET

MOBILE 225T-projektin (Hengitettävien hiukkasten kokojakauma, koostumus ja lähteet pääkaupunkiseudulla) aikana vuosina 1996 - 1997 kerättiin ilmakehän hiukkasnäytteitä Vallilassa, Luukissa ja Herttoniemessä sekä tehtiin mustan hiilen pitoisuusmittauksia Vallilassa. Virtuaali-impaktorilla (VI) kerättiin 131 näytettä sekä pienistä (aerodynaaminen halkaisija, $EAD < 2.3 \text{ m}$) että isoista ($2.3 \text{ m} < EAD < 15 \text{ m}$) hiukkasista. Berner-alipaineimpaktorilla (BLPI) kerättiin 28 hiukkasten kokojakaumanäytettä. Näytteistä analysoitiin noin 50 eri alkuainetta (3 eri menetelmää) ja 14 ionia.

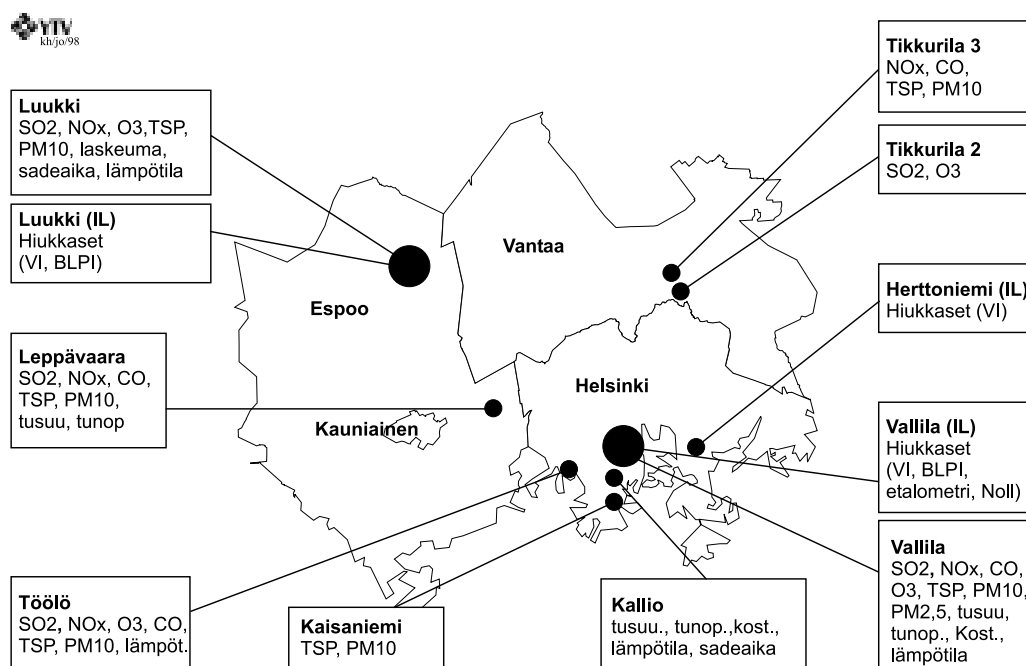
Tavoitteena oli tutkia MOBILE 225T-projektin aikana kerätyn laajan mittausaineiston yksityiskohtia ja julkaista tärkeimmät tulokset kansainvälisissä tiedesarjoissa. Keskeisiä tutkimuskohteita olivat ilmakehän erikokoisten hiukkasten pitoisuus ja kemiallinen koostumus, kaukokulkeuman ja paikallisten lähteiden osuudet mitatuista pitoisuuksista sekä ultrapienien hiukkasten ominaisuudet. Lisäksi tutkittiin Vallilassa mustan hiilen päästölähteitä ja pitoisuuksia eri vuorokauden aikoina sekä eri komponenttien pitoisuuksia katu- ja kattotasolla. Valtaosa tuloksista on jo julkaistu tai hyväksytty julkaistavaksi. Tässä raportissa esitetään lyhyt yhteenveto mittausmenetelmistä ja tärkeimmistä tuloksista, mutta useiden yksityiskohtien osalta viitataan em. julkaisuihin, joista on luettelo tämän loppuraportin viitesivuilla (s. 32).

MENETELMÄT

Käytettyjä menetelmiä on aiemmin kuvattu julkaisuissa A, B, C, D, E, F ja H sekä Mobile 225 T-projektin loppuraportissa (G), joten menetelmien kuvausta on tiivistetty mahdollisimman paljon. Julkaisut A - G on lueteltu viiteluettelon yhteydessä.

Keräyspaikat

Tärkeimmät keräyspaikat sijaitsivat YTV:n ilmanlaadun mittausasemilla Helsingin Vallilassa ja Espoon Luukissa, joissa näytteitä kerättiin virtuaali-impaktorilla (VI, Loo ja Cork, 1988) ja Berner-alipaineimpaktorilla (BLPI, Berner ja Lürzer, 1980). Lisäksi kerättiin mittauskampanjan loppupuolella VI-näytteitä Helsingin Herttoniemessä. Keräykset tehtiin aina samanaikaisesti kaikilla mittauspaikoilla, jotta tuloksia voitiin verrata keskenään. Keräysasemien sijainti on esitetty kuvassa 1. Tarkempaa tietoa mittausasemista löytyy mm. YTV:n julkaisemista Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla -vuosiraporteista (Aarnio ym. 1997 ja 1998).



Kuva 1. YTV:n mittausverkosto, Vallilan ja Luukin mittausasemat tummennettu.

Keräysmenetelmät ja keräysten aikataulu

VI jakaa kerätyt hiukkaset aerodynaamiselta halkaisijaltaan (EAD) kahteen kokoluokkaan: pieniin ($PM_{2,3}$) ja isoihin ($PM_{2,3-15}$) hiukkasiin. Pienhiukkaset kerättiin teflonsuodattimelle (10.4. - 2.6. 1996 Millipore 3 m ja 12.6.1996 - 13.6.1997 Gelman 2 m). Elokuun 9. päivästä 1996 alkaen käytettiin lisäksi nailonsuodattimia (Gelman) keräämään teflonsuodattimelta haihtunut typpihappo. Isot hiukkaset kerättiin polykarbonaattisuodattimille (Nuclepore 0,4 m). Keräyksissä käytettiin lisäksi erityistä hiukkasten esierotinta (Liu ja Pui, 1981), joka estää halkaisijaltaan yli 15 m hiukkasten pääsyn keräyslaitteeseen. VI-näytteitä kerättiin Vallilassa 10.4.1996 - 13.6.1997 välisenä aikana yhteensä 56 kpl. Luukissa VI-näytteitä kerättiin 10.4.1996 - 5.6.1997 välisenä aikana 53 kpl, mutta 24.9.1996 jälkeen esiintyi ongelmia, joten tältä ajalta olevat isojen hiukkasten tulokset poistettiin mittaussaineistosta. Näin Luukin isojen hiukkasten tuloksia on vain 18 kpl 10.4.1996 - 24.9.1996 väliseltä ajalta. VI-keräysten aikataulu on esitetty aiemmin (julkaisu G).

BLPI jakaa kerätyt hiukkaset 10 eri kokoluokkaan, joiden 50%:n leikkausrajat olivat: 0,035, 0,067, 0,093, 0,16, 0,32, 0,53, 0,94, 1,8, 3,5 ja 7,5 m. BLPI-keräyksissä käytettiin samanlaisia esierottimia kuin VI-keräyksissä. Keräysalustana käytettiin rasvattuja Nuclepore-polykarbonaattikalvoja (Hillamo ja Kauppinen, 1991). Sekä Vallilassa että Luukissa kerättiin 12.6.1996 - 15.5.1997 kahdeksan 48 tunnin BLPI-näytettä. Lisäksi 2.6.1997 - 13.6.1997 välisenä aikana kerättiin 24 tunnin BLPI-näytteitä Luukista 2 kpl ja Vallilasta 10 kpl (5 kpl 3,5 m:n ja 5 kpl 20 m:n korkeudelta).

Massan määrittäminen ja kemialliset analyysit

VI- ja BLPI-näytteiden hiukkasmassat määritettiin Mettler M3 mikrova'alla punnitsemalla suodattimet ennen ja jälkeen näytteenoton.

Ilmatieteen laitoksen ionikromatografilla (IC) analysoitiin kaikista VI- ja BLPI-näytteistä tavallisimmat epäorgaaniset ionit ja eräitä orgaanisia ioneja. Näytteistä analysoitiin alkuaineiden pitoisuuksia Geologian tutkimuskeskuksessa induktiivisesti kytketyllä plasmalaitteella, jossa on detektorina massaspektrometri (ICP-MS). Kuusi BLPI- ja 32 VI-näytettä analysoitiin Gentin yliopistossa käyttäen instrumentaalista neutroniaktiovointianalyysimenetelmää (INAA) ja protoni-indusoitua röntgensädeanalyysiä (PIXE). Tarkemmat kuvaukset näytteiden käsittelystä ja analyyseistä on esitetty eri julkaisuissa (A - H). Taulukossa 1 on lueteltu eri menetelmillä analysoidut kemialliset komponentit. Huomattakoon, että eräiden komponenttien pitoisuudet olivat useimmissa näytteissä alle havaitsemisrajan.

Taulukko 1. Eri analyysimenetelmillä määritetyt komponentit.

Menetelmä	Analysoija	Analysoidut komponentit
IC	IL	Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , Na ⁺ , NH ₄ ⁺ , K ⁺ , Mg ²⁺ , Ca ²⁺ , metaanisulfonaatti (MSA), pyruvaatti (pyr), glutaraatti (glut), sukkiinaatti (suk), malonaatti (mal), oksalaatti (ox)
ICP-MS	GTK	Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Rb, Sb, Si, Se, Sr, Th, Ti, Tl, U, V, Zn
INAA	Gent yliopisto	Ag, Al, As, Au, Ba, Br, Cd, Ce, Cl, Co, Cr, Cs, Eu, Ga, I, In, K, La, Lu, Mg, Mn, Mo, Na, Sb, Se, Sm, Sn, Th, V, W
PIXE	Gent yliopisto	Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mn, Ni, P, Pb, Rb, S, Si, Sr, Ti, Zn, Zr

Korjauskertoimet

VI-näytteiden pienhiukkasista haihtuneen, nylonsuodattimille kerätyn typpihapon oletettiin olevan peräisin pienhiukkasten sisältämästä ammoniumnitraatista. Ennen nylonsuodattimien käyttöönottoa (9.8.1996) kerättyjen VI-näytteiden pienhiukkasten massa-, nitraatti- ja ammoniumpitoisuudet on korjattu ylöspäin arvioimalla haihtuneen ammoniumnitraatin määrä. BLPI-näytteistä haihtuneen ammoniumnitraatin määrää ei pystytty mittaamaan, eikä sitä ole arvioitu.

ICP-MS:llä määritettyjä VI-pienhiukkasten alkuainepitoisuuksia on korjattu BLPI-näytteille tehtyjen INAA/PIXE-analyysitulosten perusteella. Korjauskertoimet olivat: Al 2.0, Ca 1.1, Co 1.3, Cu 1.1, Fe 1.3, Mg 1.1, Mn 1.3, Pb 1.2, Sb 1.2 ja Sr 1.2. Samoja kertoimia on käytetty myös laskettaessa BLPI-näytteiden sisältämien hiukkasten keskimääräistä koostumusta.

Muut menetelmät

Mustan hiilen (black carbon, BC) pitoisuutta mitattiin Vallilassa etalometrillä (Magee Scientific, Model AE-14U; Hansen ym., 1982)(julkaisu D).

Meteorologiset muuttujat saatiin YTV:n Kallion meteorologiselta mittausasemalta, jossa seurataan tuulen suuntaa ja nopeutta, sekä ilman lämpötilaa, kosteutta ja sadeaikaa noin 55 m korkeudella maanpinnasta (60 m merenpinnasta). Meteorologisia tietoja on esitetty aiemmin mm. julkaisuissa E ja G.

Ilmamassojen kulkeutumisreitit eli trajektorit on laskettu (4 tai 6 h välein, 96 h taaksepäin) Ilmatieteen laitoksella käyttäen Valkaman ja Salonojan (1995) kehittämää menetelmää. Kulkeutumisreittejä on esitetty aiemmin julkaisuissa E ja G.

VI-näytteistä määritettyjen alkuaine- ja ionipitoisuuksien vaihtelujen samankaltaisuutta on arvioitu laskemalla Pearsonin korrelaatiot logaritmisesti muunnettujen pitoisuuksien välille. Korrelaatiot (R) ja niiden merkittävyydet (2-suuntaiset p-arvot) on laskettu STATA-tilastolaskentamenetelmän avulla (Stata-Corp 1997: Release 6.0 College Station, TX: Stata Corporation on Win NT 4.0).

MICRON -inversio-ohjelman (Wolfenbarger ja Seinfeld, 1990) avulla on määritetty BLPI-näytteille hiukkasmassojen, alkuaineiden ja ionien massakokojakaumat. BLPI-näytteiden pienten ja isojen hiukkasten alkuaine- ja ionipitoisuudet on laskettu MICRON-muunnettujen pitoisuuksien avulla. Kokojakaumakäyrien samankaltaisuutta on arvioitu laskemalla Pearsonin korrelaatio käyrien arvojen välille käyttäen EXCEL-taulukkolaskentaohjelmaa.

LAADUNVALVONTA

Mittaustulosten laatua ja oikeellisuutta on arvioitu lyhyesti kaikissa julkaisuissa A - H. Erityisen kattava analyysitulosten laadunarviointi on esitetty julkaisussa E, jossa mm. verrataan eri keräyslaitteilla ja eri analyysimenetelmillä saatuja tuloksia keskenään, sekä esitetään taulukko kemiallisten komponenttien määritysrajoista ja nollanäytearvoista.

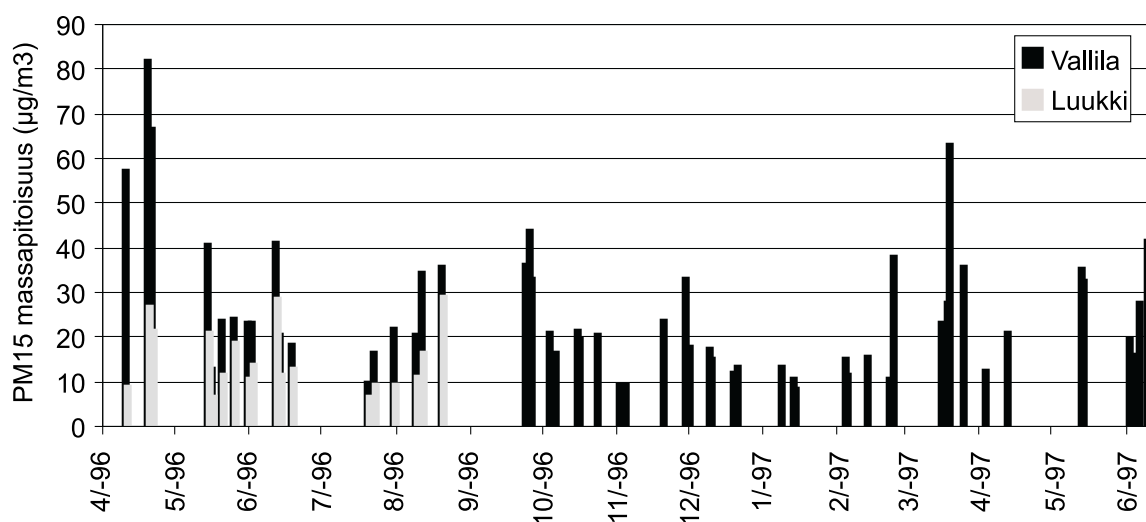
HIUKKASPITOISUUDET JA MASSAKOKOJAKAUMAT

Kokonaishiukkaspitoisuudet (PM₁₅) ja massakokojakaumat

Tämän projektin aikana tehtyjen VI-mittausten keskimääräinen kokonaishiukkaspitoisuus (PM₁₅) oli Vallilassa 25 g/m³ ja Luukissa 14 g/m³. Vallilassa keskimääräinen PM₁₅-pitoisuus Luukin mittausjakson (huhtikuu - elokuu) aikana oli 31 g/m³, eli noin kaksinkertainen Luukin pitoisuuteen nähden. Kokonaishiukkaspitoisuuksien ajallinen vaihtelu on esitetty kuvassa 2 (sivu 5). Vallilassa jokaisen näytteen PM₁₅-pitoisuus oli Luukin vastaavaa pitoisuutta korkeampi. Taulukkoon 2 (sivu 5) on koottu rinnakkaisten VI- ja BLPI-mittausten vertailuja.

Hiukkasten lukumäärä ja massa vaihtelevat voimakkaasti koon funktiona ja muodostavat tiettyjä keskitymiä eli moodeja. Pienhiukkasissa erotetaan yleensä nukleatio-, Aitken-, ja alempi sekä ylempi kertymämoodi. Moodien rajat eivät ole kiinteitä, mutta karkeasti ottaen nukleatiomoodin hiukkasten halkai-

sija vaihtelee välillä 1 - 20 nm, Aitken-moodin hiukkasten välillä 20 - 100 nm ja kertymä moodin hiukkasten välillä 0,1 - 1 μm . Fossiilisten polttoaineiden käyttö tuottaa pääosin Aitken- ja kertymä moodin hiukkasia. Ilmakehässä syntyneet uudet hiukkaset kuuluvat nukleatiomoodiin, mutta voivat kasvaa suurempiin kokoluokkiin ilmakeemiallisten prosessien seurauksena.



Kuva 2. Kokonaishiukkasten (PM15) massapitoisuus Vallilassa ja Luukissa (VI-mittaus).

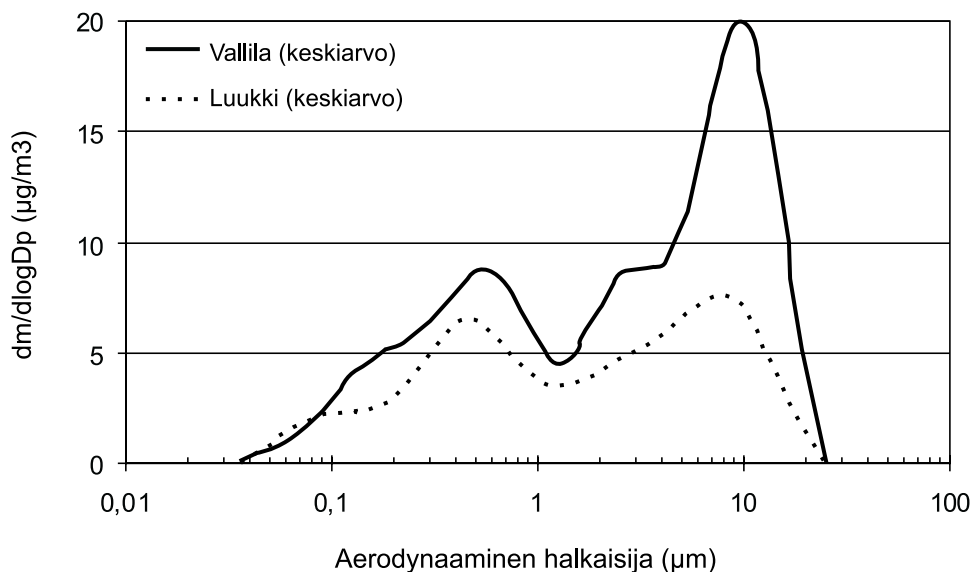
Taulukko 2. BLPI-näytteiden ja rinnakkaisten VI-näytteiden hiukkaspitoisuudet (g/m^3).

Keräysaika	PM ₁₅				PM _{2,3}			
	Vallila		Luukki		Vallila		Luukki	
	BLPI	VI	BLPI	VI	BLPI	VI	BLPI	VI
12.-14.6.1996	29,6	29,9	12,7	19,3	11,0	13,3	7,4	9,8
15.-17.10.1996	18,2	19,6	11,5		9,1	9,2	7,4	8,9
19.-21.11.1996	19,0	22,9	11,5		12,9	14,1	9,9	12,6
9.-11.12.1996	13,7	15,3	5,1		7,6	8,0	4,5	5,1
13.-15.1.1997	9,4	8,7	5,7		7,3	6,2	4,8	3,4
4.-6.2.1997	10,5	12,4	5,2		6,9	6,3	4,2	4,3
18.-20.3.1997	23,4	44,6	7,3		7,7	8,3	4,8	7,0
13.-15.5.1997	32,3	33,1	9,2		12,4	13,9	6,5	8,4
2.-3.6.1997	23,2	18,9	16,6		8,6	8,6	6,5	10,5
4.-5.6.1997	23,5	15,2	27,9		6,8	5,5	7,6	11,1

Kuvassa 3 (sivu 6) on esitetty Vallilan ja Luukin keskimääräiset hiukkasten massakokojakaumat. Kokoja-kauman huippuja sanotaan moodeiksi. Vasemmanpuoleista huippua sanotaan kertymä- eli akkumulaatio-moodiksi, joka käsittää noin 0,1 - 1 μm :n kokoiset hiukkaset. Kertymä moodin vasemmassa kyljessä näkyy lisäke, jota sanotaan Aitken-moodiksi. Aitken-moodin hiukkaset ovat joko pienimpiä suoraan poltto-prosesseista tulleita hiukkasia, tai hiukkasia, jotka ovat syntyneet ilmakehässä ja kasvaneet tähän moodiin. Kertymä moodin hiukkaset tulevat suorista päästöistä tai ovat kasvaneet pienemmistä hiukkasista. Oikeanpuoleista huippua sanotaan karkeiden (isojen) hiukkasten moodiksi.

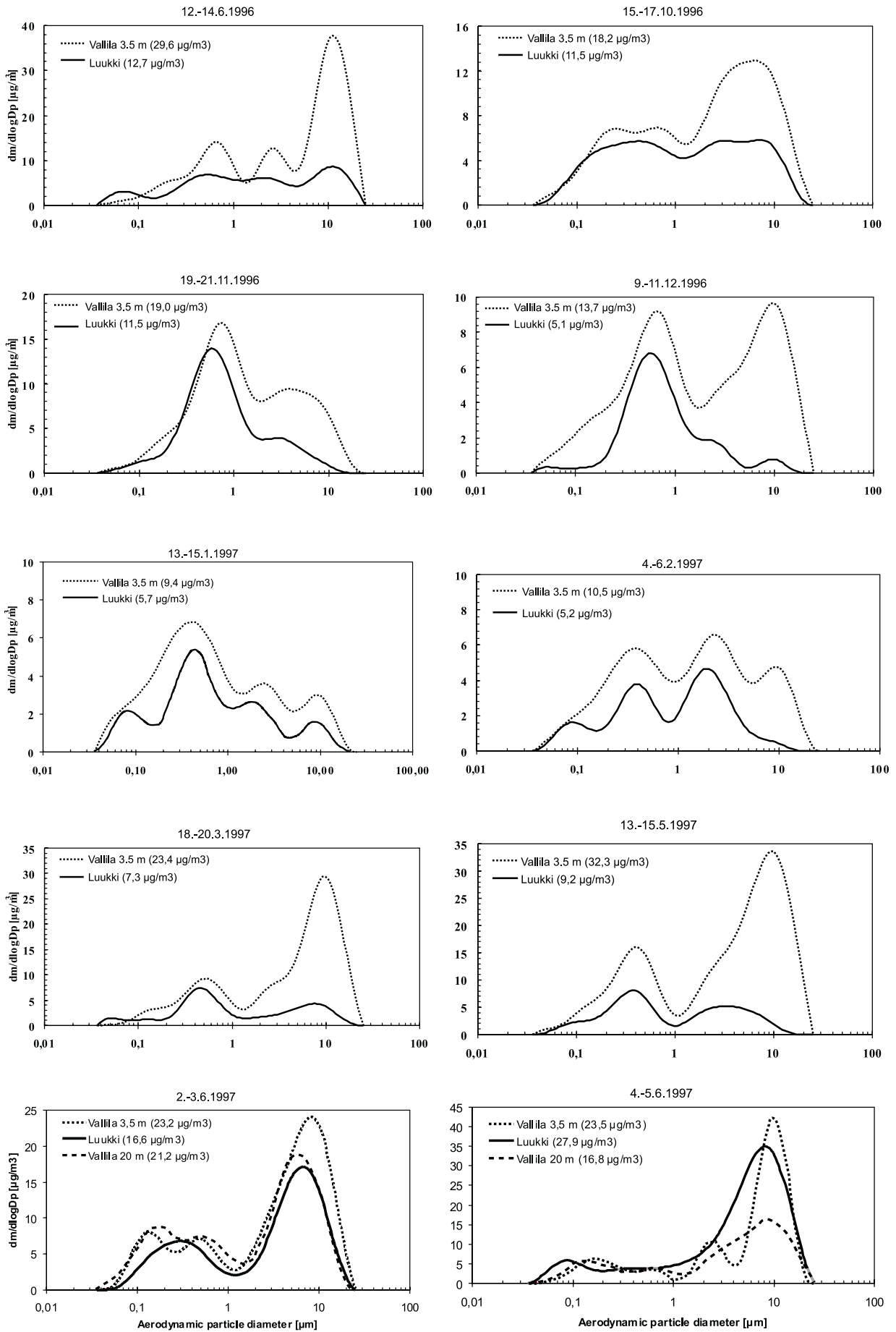
Kaupunkialueilla alle 0,1 μm :n kokoiset hiukkaset ovat pääosin mittauspaikan lähistöllä tapahtuvista polttoprosesseista peräisin olevaa materiaalia, esimerkiksi liikenteestä tulleita hiilyyhdisteitä. Hiukkaset kokoluokassa 0,1 - 1 μm ovat sekä paikallista että kaukokulkeutunutta ainesta. Nämä hiukkaset edustavat suoria hiukkaspäästöjä tai pienempiä hiukkasia, jotka ovat kasvaneet tähän kokoluokkaan. Halkaisijaltaan yli 1 μm :n kokoiset hiukkaset ovat yleensä mekaanisesti syntyneitä. Ne ovat esimerkiksi nousseet

maasta ilmaan keräyspaikan lähistöllä tuulen tai ohi kulkevan liikenteen nostattamana. Nämä hiukkaset koostuvat lähinnä maa-aineksesta, meriaerosolista ja orgaanisesta materiaalista, kuten kasvien osista ja siitepölystä sekä niiden pinnalle kiinnittyneistä hiukkasista. Myös suurimmat kertymämoodin hiukkaset saattavat olla halkaisijaltaan jonkin verran yli 1 μm .



Kuva 3. Keskimääräinen hiukkaskokojakauma Vallilassa ja Luukissa (10 BLPI- näytettä)

Yksittäisten näytteiden massakokojakaumat on esitetty kuvissa 4 a - i (sivu 7). Vallilassa ja Luukissa kerättyjen näytteiden kokojakaumat muistuttivat toisiaan pienhiukkasten alueella. Isojen hiukkasten alueella kokojakaumat vaihtelivat enemmän. Vallilassa eri korkeuksilla mitattujen hiukkasten massajakaumat olivat hyvin samankaltaiset alle 4 μm hiukkasilla (julkaisu B).



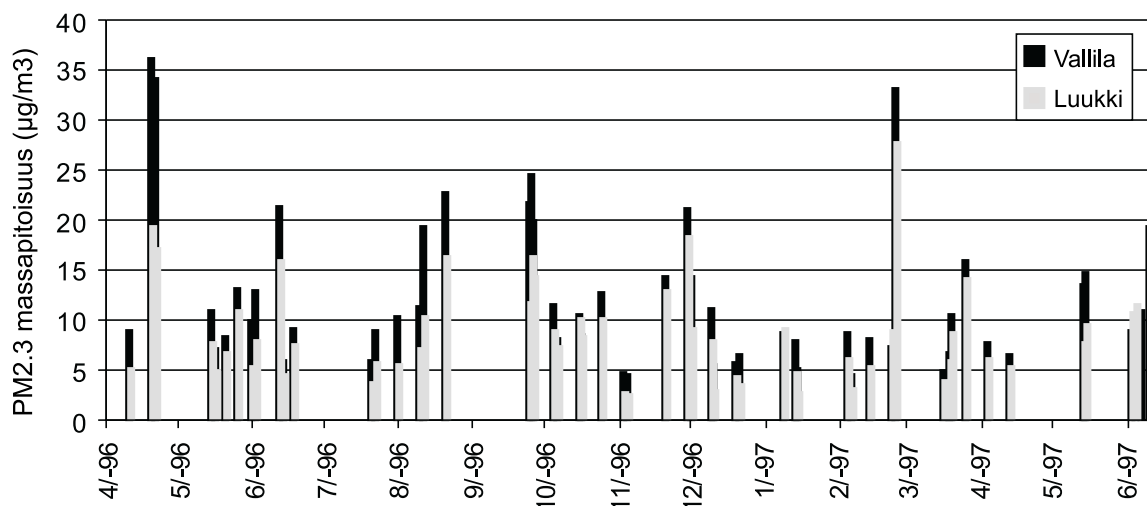
Kuva 4 a - j. Vallilan ja Luukin hiukkaskokojakaumat yksittäisissä näytteissä.

Pienhiukkaset (PM_{2,3}), PM1 ja ultrapienet hiukkaset (UFP, PM_{0,1})

Pienhiukkaset

Pienhiukkaset (PM_{2,3}) ovat pääasiassa muodostuneet erilaisten polttoprosessien yhteydessä, mutta myös pienimmät mekaanisten prosessien tuottamat hiukkaset sekä ilmakeemiallisten reaktioiden kautta muodostuneet hiukkaset kuuluvat pienhiukkasfraktioon.

Pienhiukkasten pitoisuudet korreloivat keskenään Vallilassa ja Luukissa (kuva5), mikä viittaa siihen, että merkittävä osa pienhiukkasten massasta on kaukokulkeutunutta. Toisaalta myös meteorologisilla tekijöillä on suuri vaikutus pitoisuuksiin. Esim. tyynessä korkeapainetilanteessa epäpuhtauksien pitoisuudet kohoavat kaikilla mittausasemilla.



Kuva 5. Pienhiukkasten (PM_{2,3}) massapitoisuudet Vallilassa ja Luukissa.

Mittauskampanjan aikana kerättyjen VI-näytteiden pienhiukkasten keskiarvopitoisuus oli Vallilassa 11,8 g/m³ ja Luukissa 8,4 g/m³. Kuitenkin 22-24.2.1997, 2-3.6.1997 ja 4-5.6.1997 kerätyissä VI-näytteissä Luukin pienhiukkaspitoisuudet olivat Vallilaa korkeammat. Myös 4-5.6.1997 kerättyjen BLPI-näytteiden hiukkaspitoisuudet olivat Luukissa korkeammat kuin Vallilassa. Luukin korkeammat pitoisuudet johtuivat joistakin paikallisista hiukkaslähteistä.

Pienhiukkaspitoisuudet olivat BLPI-mittauksissa suurimmaksi osaksi alhaisempia kuin VI-mittauksissa (taulukko 2, sivu 5). Menetelmien välinen pitoisuusero johtuu osaksi siitä, että VI-näytteistä haihtuneen ammoniumnitraatin määrä on korjattu tuloksiin, mutta BLPI-näytteissä ei haihtumisen aiheuttamaa massan vähenemistä ole korjattu. Keskimäärin BLPI- ja VI-hiukkaspitoisuuksien välinen suhde oli Vallilassa 1,00 (0,83 - 1,24) ja Luukissa 0,84 (0,62 - 1,41).

Vallilan ja Luukin pienhiukkasten massajakaumakäyrät (kuva 4 a-j, s.7) olivat samankaltaiset (kaikissa näytteissä $R \geq 0,83$). Eniten samankaltaisuutta Vallilan ja Luukin pienhiukkasten massajakaumissa oli 13.-15.5.1997 aikana otetuissa näytteissä ($R = 0,98$) ja suurin eroavaisuus havaittiin 4.-5.6.1997 otetuissa näytteissä ($R = 0,83$). Kokojakaumien perusteella Vallilan ja Luukin pienhiukkaset ovat peräisin samankaltaisista lähteistä.

Jos oletetaan, että ainoastaan kaukokulkeuma vaikuttaa Luukin PM_{2,3}-pitoisuuksiin, niin paikallisten päästöjen osuus Vallilan PM_{2,3}-pitoisuuksissa saadaan vähentämällä Luukin pitoisuudet Vallilan pitoisuuksista. Todellisuudessa paikalliset lähteet vaikuttavat jonkin verran myös Luukin hiukkaspitoisuuksiin. Näin Vallilan pienhiukkasista vähintään kolmasosa olisi peräisin paikallisista lähteistä (julkaisu A). Hiukkas-kokojakaumista puolestaan voitiin päätellä, että paikallisten päästölähteiden osuus Vallilan pienhiukkasten kokonaisuudesta on noin 45% (julkaisu F).

Alle yhden mikrometrin hiukkaset (PM_1)

PM_1 -pitoisuudet on laskettu kokojakaumakäyrien avulla. Keskimääräinen PM_1 -pitoisuus oli Vallilassa noin $6,7 \text{ g/m}^3$ ($4,6 - 9,7 \text{ g/m}^3$) ja Luukissa noin $4,8 \text{ g/m}^3$ ($4,4 - 18,4 \text{ g/m}^3$). Haihtunutta ammoniumnitraattia ei näissä tuloksissa (BLPI) ole otettu huomioon. Paikallisten päästölähteiden vaikutuksen PM_1 -pitoisuuteen arvioitiin Vallilassa olevan keskimäärin noin $3,6 \text{ g/m}^3$, eli noin puolet (julkaisu F). Vallilan PM_1 -pitoisuuksissa ei havaittu olevan eroja 3,5 m ja 20 m korkeuksilla tehdyissä mittauksissa (julkaisu B).

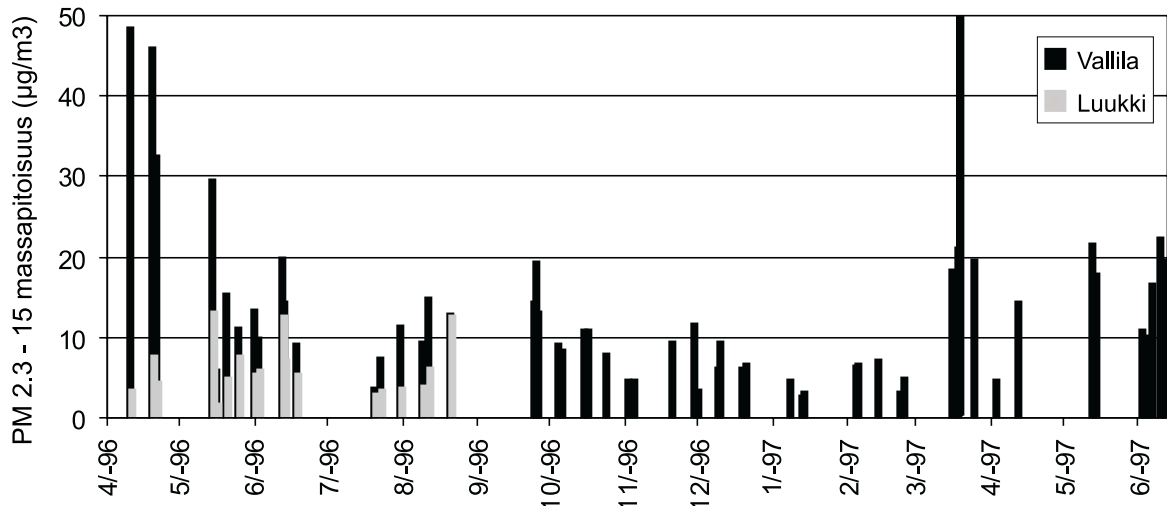
Ultrapienet hiukkaset, UFP ($PM_{0,1}$)

Ultrapienten hiukkasten (ultrafine particles, UFP) pitoisuudet laskettiin kokojakaumakäyrien avulla (julkaisu E). Rinnakkaisten BLPI -mittausten keskimääräiset UFP-pitoisuudet olivat noin $0,5 \text{ g/m}^3$ sekä Vallilassa ($0,3 - 0,8 \text{ g/m}^3$) että Luukissa ($0,1 - 1,4 \text{ g/m}^3$). UFP-hiukkasten osuus pienhiukkasten massasta oli Vallilassa noin 7 % ja Luukissa noin 9 %. Julkaisussa E on esitetty myös alkuaineiden ja ionien pitoisuuksia UFP-hiukkasissa.

Suuret hiukkaset ($PM_{2,3-15}$)

Suuria hiukkasia tulee ilmaan kiinteän aineen mekaanisesta hajoamisesta, kuten hiekoitushiekan jauhaantumisesta. Merellä suuria merisuola hiukkasia syntyy tuulen nostattamista pärskeistä. Suurten hiukkasten lähteinä toimivat myös kasvit (siitepöly) ja sienet (itiöt). Liikenteen ja tuulen maasta nostattamat ns. resuspensiohiukkaset ovat pääosin suuria. Ne ovat peräisin mm. hiekoitushiekasta, teiden kulumisesta sekä ajoneuvojen renkaista ym. materiaaleista. Vaikka esim. Vallilassa isojen hiukkasten lukumäärä on melko vähäinen, suurin osa kokonaishiukkasmassasta muodostuu isoista hiukkasista.

VI-mittausten keskimääräinen isojen hiukkasten pitoisuus ($PM_{2,3-15}$) oli Vallilassa (10.4.1996 - 12.6.1997) $12,8 \text{ g/m}^3$ ja Luukissa (10.4.1996 - 20.8.1996) $5,8 \text{ g/m}^3$. Vallilassa keskimääräinen $PM_{2,3-15}$ -pitoisuus Luukin mittausjakson (huhtikuu - elokuu) aikana oli 17 g/m^3 . Isojen hiukkasten pitoisuuksien ajallinen vaihtelu on esitetty kuvassa 6. Vallilan $PM_{2,3-15}$ -pitoisuus oli jokaisessa näytteessä korkeampi kuin Luukin vastaava pitoisuus. Suurin osa isoista hiukkasista on peräisin paikallisista lähteistä, koska suuren massansa ansiosta nämä hiukkaset laskeutuvat nopeasti alas. Vallilan Luukkia korkeammat isojen hiukkasten pitoisuudet aiheutuvat pääosin liikenteen aiheuttamasta resuspensiosta.



Kuva 6. Isojen hiukkasten ($PM_{2,3-15}$) massapitoisuudet Vallilassa ja Luukissa.

Taulukko 3. Pienhiukkasten kemiallisten komponenttien pitoisuuksien suhde BLPI- ja VI-näytteissä sekä BLPI-näytteiden alkuaine- ja ionipitoisuuksien suhde mittausasemien välillä.

	BLPI / VI						Vallila / Luukki BLPI -näytteet		
	VALLILA			LUUKKI			ka	vaihtelu	n
	ka	vaihtelu	n	ka	vaihtelu	n			
Ag	1,67	(0,67 - 5,32)	8	3,96	(0,62 - 17,6)	8	2,76	(0,18 - 10,3)	8
Al	1,61	(0,47 - 3,10)	10	0,75	(0,13 - 2,79)	10	3,19	(0,83 - 6,94)	10
As	0,69	(0,59 - 0,87)	10	0,54	(0,14 - 0,71)	10	1,87	(0,84 - 3,64)	10
Ba	1,52	(1,27 - 2,00)	10	0,83	(0,42 - 1,87)	10	6,70	(2,16 - 15,3)	10
Bi	1,51	(0,96 - 3,55)	9	1,19	(0,35 - 3,14)	9	1,73	(0,93 - 6,19)	9
Ca	1,36	(1,02 - 1,77)	9	0,57	(0,30 - 0,91)	9	2,92	(1,40 - 7,12)	9
Cd	0,81	(0,57 - 1,09)	10	0,61	(0,11 - 0,96)	10	2,11	(1,08 - 5,23)	10
Co	5,02	(0,39 - 19,9)	10	2,07	(0,20 - 10,5)	10	3,61	(0,17 - 9,09)	10
Cu	1,09	(0,84 - 1,87)	10	1,23	(0,05 - 3,06)	10	2,78	(0,92 - 6,99)	10
Fe	1,37	(0,89 - 2,07)	10	0,65	(0,26 - 1,25)	10	5,97	(1,86 - 15,5)	10
K	1,47	(0,80 - 3,03)	10	0,93	(0,28 - 1,66)	10	1,69	(0,97 - 3,94)	10
Li	1,15	(0,36 - 1,68)	10	*	*	*	1,99	(0,99 - 3,59)	8
Mg	1,21	(0,18 - 2,03)	10	0,79	(0,41 - 1,10)	10	1,40	(0,19 - 2,74)	10
Mn	1,18	(0,82 - 1,71)	10	0,65	(0,21 - 1,09)	10	3,00	(1,44 - 5,38)	10
Mo	1,24	(0,55 - 1,73)	9	1,36	(0,17 - 5,16)	9	2,75	(0,69 - 6,42)	9
Na	0,95	(0,38 - 1,41)	10	0,90	(0,38 - 1,20)	10	1,32	(0,99 - 2,58)	10
Ni	1,32	(0,87 - 1,89)	10	1,04	(0,16 - 1,62)	10	2,58	(0,79 - 5,34)	10
Pb	0,94	(0,83 - 1,11)	10	0,87	(0,15 - 1,93)	10	1,89	(0,64 - 4,75)	10
Rb	*	*	*	*	*	*	1,68	(0,75 - 4,54)	9
Sb	1,03	(0,90 - 1,12)	10	0,78	(0,21 - 1,30)	10	5,36	(1,45 - 14,8)	10
Se	1,37	(0,28 - 3,00)	6	*	*	*	1,13	(0,15 - 2,59)	7
Sr	1,27	(0,54 - 3,22)	10	0,63	(0,31 - 1,10)	10	2,26	(1,20 - 5,86)	10
Th	5,16	(1,22 - 15,8)	8	*	*	*	2,33	(0,70 - 4,63)	7
Ti	1,64	(0,86 - 2,62)	9	0,62	(0,01 - 1,51)	10	2,91	(0,66 - 11,4)	9
Tl	0,79	(0,10 - 1,29)	10	0,69	(0,44 - 1,26)	9	1,35	(1,05 - 2,03)	9
U	1,36	(0,77 - 2,76)	10	0,50	(0,11 - 0,92)	9	4,41	(0,67 - 22,3)	9
V	1,07	(0,88 - 1,53)	10	0,78	(0,14 - 0,99)	10	3,14	(0,95 - 6,42)	10
Zn	0,98	(0,58 - 1,83)	10	0,72	(0,15 - 1,71)	10	2,65	(1,20 - 8,58)	10
MSA	0,86	(0,69 - 1,08)	10	0,86	(0,46 - 1,41)	10	1,19	(0,85 - 1,62)	10
Puryvaatti	0,34	(0,00 - 0,78)	9	0,33	(0,04 - 0,85)	9	1,82	(0,00 - 6,33)	9
Cl ⁻	2,02	(0,46 - 4,53)	10	1,08	(0,57 - 2,47)	10	1,88	(0,79 - 4,69)	10
NO ₃ ⁻	0,40	(0,14 - 0,64)	10	0,31	(0,12 - 0,66)	10	2,23	(0,80 - 5,16)	10
Glutaraatti	0,84	(0,11 - 2,84)	8	0,64	(0,02 - 1,48)	8	2,09	(0,76 - 3,93)	8
Sukkinaatti	0,86	(0,06 - 2,69)	10	0,93	(0,28 - 3,02)	10	1,32	(0,08 - 3,36)	10
Malonaatti	0,45	(0,13 - 0,70)	9	0,39	(0,11 - 0,75)	8	2,60	(0,45 - 9,20)	8
SO ₄ ²⁻	0,90	(0,75 - 1,02)	10	0,83	(0,48 - 0,97)	10	1,27	(0,97 - 1,82)	10
Oksalaatti	0,77	(0,49 - 1,04)	10	0,71	(0,34 - 1,26)	10	1,58	(1,11 - 2,06)	10
Na ⁺	1,10	(0,97 - 1,28)	10	1,05	(0,93 - 1,28)	10	1,20	(0,97 - 1,81)	10
NH ₄ ⁺	0,80	(0,64 - 0,97)	10	0,77	(0,52 - 0,95)	10	1,34	(1,05 - 1,82)	10
K ⁺	0,94	(0,76 - 1,17)	10	0,79	(0,64 - 1,05)	10	1,27	(0,76 - 1,95)	10
Mg ²⁺	1,38	(1,03 - 2,08)	10	1,21	(0,89 - 1,63)	10	1,21	(1,00 - 1,72)	10
Ca ²⁺	1,49	(1,03 - 2,13)	10	1,35	(0,47 - 2,9)	10	1,70	(1,06 - 2,92)	10

KEMIALLISTEN KOMPONENTTIEN KOKOJAKAUMAT JA PITOISUUDET

Alkuaineiden ja ionien kokojakaumat

Alkuaineet ja ionit jaettiin viiteen ryhmään niiden esiintymisen perusteella: I) melkein kaikki (> 90 %) tai II) suurimmaksi osaksi (70 - 90 %) pienissä hiukkasissa, III) suunnilleen yhtä paljon suurissa ja pienissä hiukkasissa, IV) suurimmaksi osaksi (70 - 90 %) tai V) melkein kaikki (> 90 %) isoissa hiukkasissa. Vallilan 56 VI-näytteestä määritetyt alkuaineet ja ionit jakautuivat pienten ($PM_{2,3}$) ja isojen ($PM_{2,3-15}$) hiukkasten välillä keskimäärin seuraavasti:

Ryhmä I NH_4^+ MSA, SO_4^{2-}

Ryhmä II As, Cd, Ni, Pb, V, ox, pyr, suk, glut, NO_3^-

Ryhmä III Ag, Bi, Co, Cu, K, Mo, Na, Sb, Se, Tl, Zn, mal, K^+ , Na^+ , Mg^{2+}

Ryhmä IV Al, Ba, Ca, Fe, Li, Mg, Mn, Sr, U, Cl, Ca^{2+}

Ryhmä V Th, Ti

Luukista oli käytössä vain 17 VI-näytettä isoista hiukkasista. Näissä alkuaineet ja ionit jakautuivat em. ryhmiin samankaltaisesti kuin Vallilassa. Kuitenkin Luukissa Cd ja Bi kuuluivat ryhmään I, malonaatti, Sb, Tl ja Zn ryhmään II, Fe, Mg, Sr, Ba, Mn ja Cl ryhmään III ja Mg^{2+} ryhmään IV.

Kokojakaumakäyrien avulla voidaan tarkemmin selvittää alkuaineiden ja ionien jakautuminen yksittäisissä näytteissä. Kuten julkaisussa B on esitetty, Vallilassa yli 90 % hiukkasten sisältämästä Al, Ba, Ca, Fe, K, Mg, Sr, Th, Ti ja U oli yli yhden mikrometrin hiukkasissa.

Vallilan ja Luukin alkuaineiden ja sulfaatti-ionin keskimääräiset kokojakaumat on esitetty julkaisussa F ja ionien kokojakaumat julkaisussa H. Julkaisussa B on esitetty Vallilan BLPI-näytteiden alkuaine- ja ionipitoisuuksien keskimääräiset kokojakaumat 3,5 ja 20 metrin korkeudella.

Kuvissa 7 a - j (sivu 13) on eräiden terveydellisiin haittoihin yhdistettyjen komponenttien (SO_4^{2-} , As, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, V ja Zn) keskimääräiset kokojakaumat. Esim. Salonen (1998) on esittänyt, että hiukkasten sisältämä sulfaatti, eräät vesiliukoiset raudan, vanadiinin, nikkelin, kuparin ja sinkin yhdisteet sekä maaperän Si aiheuttaisivat lyhyen aikavälin terveydellisiä haittoja. Joidenkin raskasmetallien (Cd, Cr, Ni ja As) on arvioitu vaikuttavan hengityselimien syöpien syntyyn. Muihin pitkäaikaisiin haittoihin on yhdistetty mm. Pb ja Mn (Salonen, 1998).

Usein eri komponenteilla esiintyi hiukkaskokoalueella 0,15 - 1,0 μ m kaksi kertymämoodia, ylempi ja alempi akkumulaatiomoodi. Yleensä ylempi akkumulaatiomoodi oli suurempi kuin alempi. Keskimääräisissä Ag-, Bi-, Co-, Mo-, Ni-, Se-, Sr- ja Th-kokojakaumakäyrissä näkyy selvä Aitkenmoodi (EAD < 0,15 μ m). Luukissa myös keskimääräisissä B-, Sb- ja V-kokojakaumakäyrissä näkyy selvä Aitkenmoodi (julkaisu F). Joillakin alkuaineilla, kuten As, Ni ja V, oli Vallilassa suuri alempi akkumulaatiomoodi (julkaisu F), mikä viittaa siihen, että näiden alkuaineiden tärkein lähde on muista poikkeava.

Pienhiukkasten ($PM_{2,3}$) alkuaine- ja ionipitoisuudet

Usean alkuaineen ja ionin keskiarvopitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa (ero < 50 %) Vallilassa ja Luukissa (taulukot 4 ja 5, sivut 14 ja 15). Suurin ero oli bariumin ja antimonin keskiarvopitoisuuksissa, jotka olivat yli kaksinkertaiset Vallilassa Luukin pitoisuuksiin verrattuina. Lisäksi Vallilan keskimääräiset vanadiini-, rauta, malonaatti-, kalsium- ja nitraattipitoisuudet olivat yli 50 % korkeammat kuin Luukin vastaavat pitoisuudet.

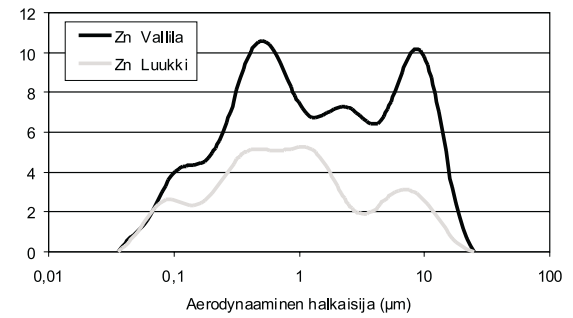
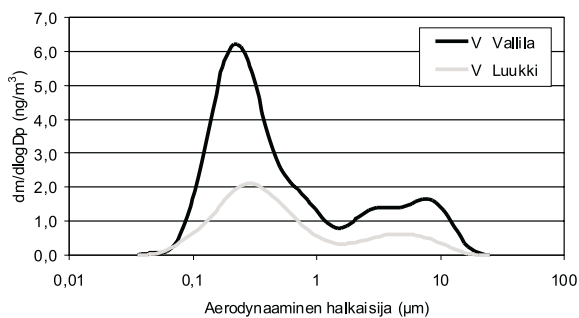
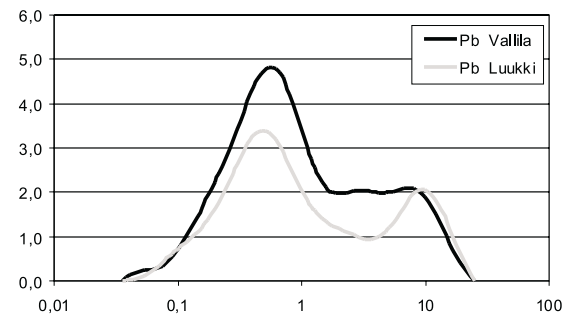
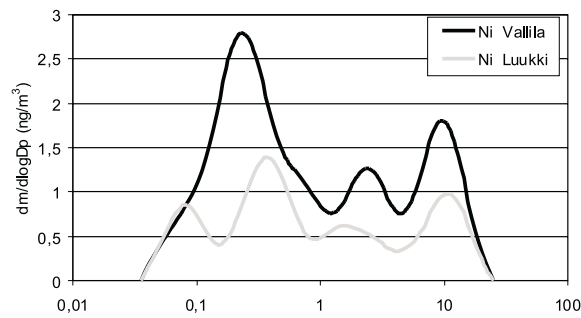
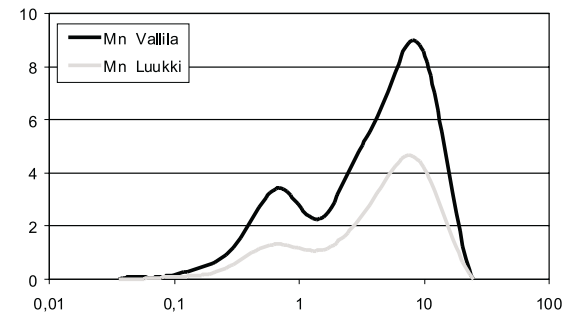
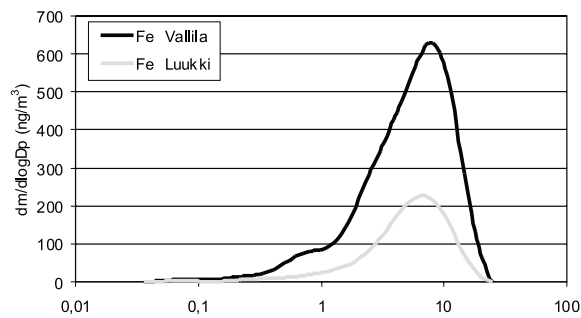
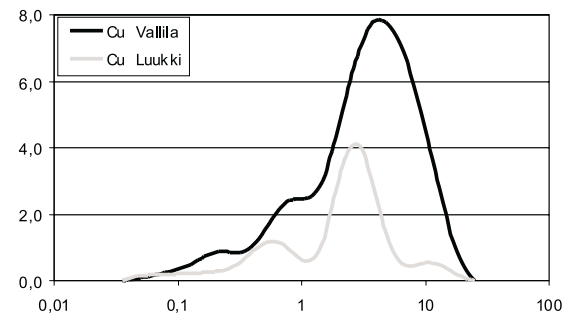
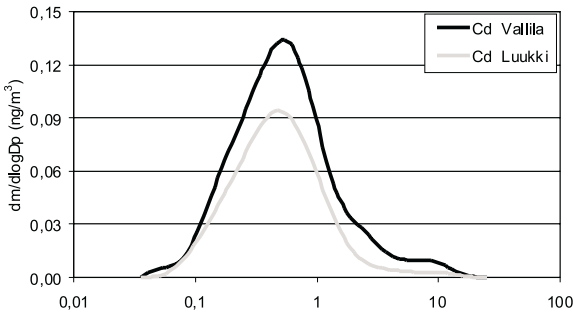
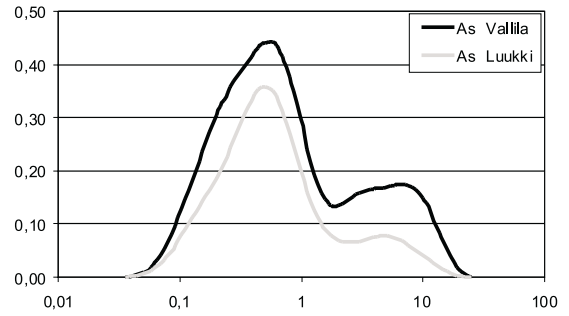
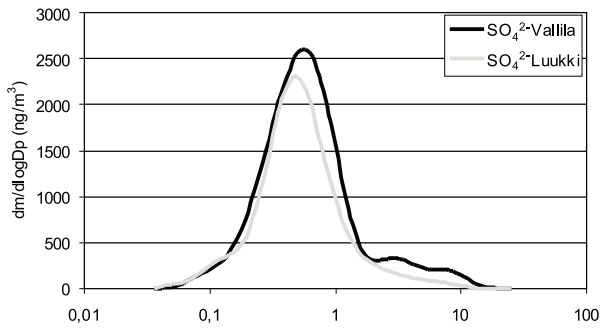
Vaikka alkuaine- ja ionipitoisuudet olivat suurimmaksi osaksi Luukissa matalammat kuin Vallilassa nostivat korkeat enimmäispitoisuudet eräitä keskiarvopitoisuuksia lähelle (ja jopa yli) Vallilassa mitattuja arvoja. Luukissa arseenin, natriumin, nikkelin ja uraanin pitoisuuksien enimmäisarvot olivat kaksinkertaisia ja kupari- sekä titaanipitoisuuksien enimmäisarvot jopa viisinkertaisia Vallilan enimmäispitoisuuksiin verrattuina.

Alle yhden mikrometrin (PM₁) ja ultrapienet hiukkaset (PM_{0,1})

Julkaisussa B tarkastellaan Vallilassa kesäkuun 1997 aikana kerättyjen 24 tunnin BLPI-näytteiden alkuaine-ioni- ja massapitoisuuksia kahdella eri korkeudella (3,5 m ja 20 m). Alemmalla mittausasemalla keskimääräiset Ag-, Al-, Ba-, Bi-, Cu-, Fe-, Sb- ja Th-pitoisuudet olivat selvästi korkeammat kuin ylhäällä, lähinnä katupölystä johtuen. PM₁:n keskimääräiset Co-, Se-, Ti-, MSA-, sukkinatti-, malonaatti- ja Na⁺-pitoisuudet olivat ylemmällä mittausasemalla selvästi korkeammat (yli 20 %) kuin alemmalla mittausasemalla, mikä viittaa korkealla sijaitseviin päästölähteisiin ja/tai kaukokulkeumaan. Alkuaineiden ja ionien pitoisuuksia ultrapienissä hiukkasissa on esitetty julkaisussa E.

Isojen hiukkasten (PM_{2,3-15}) alkuaine- ja ionipitoisuudet

Samaan aikaan kerätyistä VI-näytteistä määritettyjen kaikkien alkuaineiden sekä useimpien ionien keskiarvo- ja mediaanipitoisuudet olivat Vallilassa Luukkaa korkeammat (huom. vain keräysjaksot 10.4.1996 - 20.8.1996). Lisäksi jokaisessa Vallilassa kerätyssä näytteessä Al-, Ba-, Ca-, Fe-, K-, Mg-, Mn-, Na-, Sb-, Sr-, Ti-, Tl-, U-, V-, Zn-, NO₃⁻, Cl⁻ ja Ca²⁺-pitoisuudet olivat korkeammat (yleensä yli kaksinkertaiset) kuin Luukin vastaavassa näytteessä (taulukot 6 ja 7, sivut 16 ja 17). Vallilan suuremmat pitoisuudet johtuvat etupäässä liikenteen ja tuulen nostattamasta katupölystä. Luukissa kuitenkin ammoniumin ja metaanisulfonihapponionin pitoisuuksien keskiarvot ja mediaanit olivat korkeammat kuin Vallilassa.



Kuva 7 a - j. Eräiden terveydellisiin haittoihin yhdistettyjen komponenttien (SO_4^{2-} , AS, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, V ja Zn) keskimääräiset kokojakaumat.

Taulukko 4. Pienhiukkasten ($PM_{2,3}$) alkuainepitoisuuksia (ng/m^3) Vallilassa ja Luukissa (10.4.1996 - 4.6.1997)

	Keskiarvo (Keskihajonta)		Mediaani		25-% piste		75-% piste		Minimi		Maksimi	
	Vallila	Luukki	Vallila	Luukki	Vallila	Luukki	Vallila	Luukki	Vallila	Luukki	Vallila	Luukki
Ag	0,012 (0,009)	0,010 (0,009)	0,008	0,007	0,006	0,004	0,017	0,011	0,004	0,001	0,061	0,052
Al	59 (52)	46 (52)	50	29	25	15	79	64	2,9	0,87	322	308
As	0,80 (0,74)	0,90 (1,20)	0,59	0,48	0,40	0,32	0,76	0,90	0,19	0,20	1,3	7,7
Ba	2,2 (1,38)	1,03 (1,36)	1,7	0,54	1,28	0,32	2,7	1,24	0,65	0,05	7,2	8,1
Bi	0,024 (0,019)	0,023 (0,018)	0,019	0,018	0,012	0,011	0,030	0,028	0,005	0,001	0,094	0,104
Ca	71 (50)	68 (60)	63	51	46	30	85	84	20	7,5	367	347
Cd	0,12 (0,13)	0,13 (0,13)	0,094	0,078	0,043	0,047	0,12	0,17	0,010	0,022	0,70	0,63
Co	0,14 (0,25)	0,19 (0,42)	0,088	0,070	0,049	0,035	0,14	0,18	0,017	0,003	1,8	2,8
Cu	3,1 (1,6)	3,3 (6,0)	2,9	1,50	2,0	0,95	3,8	2,4	1,22	0,27	8,2	37
Fe	96 (55)	56 (69)	93	27	49	11,8	122	74	22	<1,7	292	312
K	85 (102)	88 (91)	54	55	31	33	81	97	9,7	4,1	508	489
Mg	25 (13,6)	26 (15)	22	23	14,5	13,0	33	35	6,1	2,0	74	80
Mn	3,3 (2,4)	2,5 (2,0)	2,9	1,9	1,90	0,86	3,7	3,7	0,69	0,31	17	9,8
Mo	0,18 (0,12)	0,16 (0,15)	0,15	0,12	0,093	0,071	0,22	0,21	0,012	0,004	0,65	0,81
Na	173 (102)	176 (140)	168	159	89	77	214	207	20	12,8	424	836
Ni	2,0 (1,30)	1,5 (1,9)	1,8	1,08	0,89	0,70	2,6	1,6	0,23	0,24	6,5	13,1
Pb	5,8 (5,5)	5,5 (4,9)	4,3	3,7	2,7	2,2	6,9	6,9	0,79	0,63	34	27
Rb	0,24 (0,20)	0,29 (0,23)	0,20	0,22	0,13	0,12	0,26	0,33	0,044	0,033	1,17	1,19
Sb	0,77 (1,37)	0,36 (0,40)	0,46	0,24	0,32	0,11	0,76	0,41	0,14	0,015	10,2	1,9
Sr	0,46 (0,30)	0,36 (0,17)	0,39	0,35	0,29	0,25	0,52	0,45	0,13	0,079	1,8	0,82
Ti	0,83 (0,72)	1,24 (2,4)	0,65	0,51	0,26	0,13	1,34	1,46	<0,03	<0,03	3,1	16
Tl	0,017 (0,024)	0,016 (0,019)	0,010	0,012	0,006	0,007	0,018	0,018	0,001	<0,001	0,14	0,10
U	0,005 (0,004)	0,006 (0,009)	0,004	0,003	0,002	0,001	0,007	0,007	0,001	0,001	0,019	0,046
V	5,0 (3,7)	3,0 (2,3)	4,6	2,7	23,3	1,28	6,8	4,1	0,49	0,38	18	11,2
Zn	14,0 (8,6)	13,3 (10,1)	11,6	10,7	8,8	5,9	16	18	4,8	2,0	55	45

Taulukko 5. Pienhiukkasten ($PM_{2,3}$) ionipitoisuuksia (ng/m^3) sekä hiukkasmassa ja mustan hiilen pitoisuudet (g/m^3) Vallilassa ja Luukissa (10.4.1996 - 4.6.1997)

	Keskiarvo (Keskihajonta)		Mediaani		25-% piste		75-% piste		Minimi		Maksimi	
	Vallila	Luukki	Vallila	Luukki	Vallila	Luukki	Vallila	Luukki	Vallila	Luukki	Vallila	Luukki
SO ₄ ²⁻	2500 (1840)	2170 (1620)	1960	1700	1140	1140	3280	2700	468	281	7640	6460
NO ₃ ⁻	1580 (2220)	877 (1060)	1020	555	540	383	1530	1120	121	124	12550	6710
Cl ⁻	43 (62)	39 (77)	19	12,0	5,4	4,7	52	47	2,19	<0,02	371	518
NH ₄ ⁺	1091 (1000)	875 (769)	749	622	478	459	1330	884	174	135	4470	3910
Na ⁺	146 (103)	119 (108)	121	93	65	45	192	162	12,5	<0,2	391	444
Ca ²⁺	53 (53)	35 (44)	36	21	27	6,8	60	33	<0,4	<0,4	366	214
K ⁺	67 (97)	52 (63)	33	31	24	20	63	68	<0,7	<0,7	535	310
Mg ²⁺	17 (13,8)	12,8 (11,9)	13,7	9,2	8,5	4,5	21	18	0,93	<0,3	75	53
Oksalaatti	91 (70)	66 (54)	67	52	32	26	130	87	12,0	6,3	275	257
Malonaatti	8,9 (10,6)	5,9 (6,8)	5,5	4,5	0,50	0,36	14,1	8,6	<0,05	<0,05	53	36
Glutaraatti	2,8 (3,2)	2,6 (3,2)	1,55	1,32	0,51	0,44	3,8	3,5	<0,14	<0,14	11,0	14,3
MSA	32 (46)	24 (25)	15	14,6	4,3	4,6	39	36	1,08	<0,1	275	98
Sukkinaatti	8,5 (9,6)	7,7 (7,2)	4,7	5,2	2,1	2,3	11,4	11,3	<0,2	0,66	44	30
BC (musta hiili)	1,36 (0,67)	-	1,21	-	0,89	-	1,61	-	0,30	-	4,1	-
Hiukkasmassa	11,8 (7,5)	8,4 (5,1)	8,8	7,5	6,7	4,9	14,1	10,5	4,3	2,2	36	27

-) ei määritetty

Taulukko 6. Isojen hiukkasten ($PM_{2,3-15}$) alkuainepitoisuuksia (ng/m^3) Vallilassa ja Luukissa (10.4.1996 - 20.8.1996)

	Keskiarvo (Keskihajonta)				Mediaani		25-% piste		75-% piste		Minimi		Maksimi	
	Vallila		Luukki		Vallila	Luukki	Vallila	Luukki	Vallila	Luukki	Vallila	Luukki	Vallila	Luukki
Ag	0,015	(0,011)	0,011	(0,013)	0,013	0,008	0,008	0,002	0,018	0,013	0,002	*	0,051	0,056
Al	619	(475)	147	(122)	437	129	301	80	673	188	112	8	1720	550
As	0,20	(0,16)	0,12	(0,15)	0,12	0,05	0,10	0,04	0,23	0,15	0,069	*	0,59	0,61
Ba	10,3	(5,9)	1,45	(1,17)	9,9	1,50	5,3	0,74	13,7	1,81	3,2	*	23,4	5,20
Bi	0,016	(0,012)	*	(*)	0,015	*	0,006	*	0,018	*	0,001	*	0,046	*
Ca	599	(423)	142	(127)	471	97	289	61	904	133	63	*	1588	447
Cd	0,018	(0,011)	0,005	(0,007)	0,014	0,001	0,011	0,000	0,025	0,011	0,000	*	0,041	0,017
Co	0,26	(0,21)	0,20	(0,50)	0,18	0,05	0,15	0,01	0,32	0,07	0,040	*	0,78	2,04
Cu	7,7	(3,8)	6,96	(7,71)	7,2	4,30	4,3	0,92	10,7	10,8	2,8	0,54	17,3	25,86
Fe	701	(464)	88	(81)	601	61	369	46	876	122	240	*	1835	356
K	251	(163)	65	(69)	226	31	143	16	267	107	31	*	641	233
Mg	164	(128)	42	(27)	111	35	97	24	194	54	28	6,8	480	112
Mn	10,9	(7,6)	2,15	(1,77)	8,2	1,93	6,0	1,03	12,4	2,89	2,5	0,11	30,0	7,64
Mo	0,26	(0,14)	0,134	(0,20)	0,26	0,051	0,14	0,006	0,34	0,186	0,085	*	0,51	0,792
Na	294	(232)	92	(85)	208	60	154	31	367	144	63	2,3	929	279
Ni	0,91	(0,58)	0,86	(1,19)	0,88	0,29	0,51	*	1,08	1,20	0,23	*	2,28	3,72
Pb	2,46	(1,21)	0,63	(0,72)	2,31	0,46	1,59	0,05	2,88	1,02	0,81	*	4,73	2,75
Sb	0,91	(0,51)	0,036	(0,033)	0,92	0,032	0,46	0,002	1,24	0,045	0,26	*	2,20	0,096
Sr	2,32	(1,80)	0,52	(0,35)	1,59	0,53	1,28	0,30	2,53	0,74	0,63	0,028	7,05	1,45
Ti	33	(28)	7,1	(6,4)	24	5,4	16	3,9	33	9,0	5	0,06	102	28,9
Tl	0,008	(0,007)	0,002	(0,002)	0,007	0,001	0,003	0,000	0,011	0,002	0,001	*	0,026	0,009
U	0,065	(0,043)	0,014	(0,013)	0,058	0,013	0,039	0,007	0,086	0,017	0,014	0,001	0,163	0,056
V	1,59	(1,08)	0,29	(0,23)	1,20	0,27	0,89	0,089	2,09	0,44	00,48	*	3,91	0,64
Zn	11,1	(5,8)	1,44	(1,09)	10,1	1,41	6,7	0,71	14,4	1,85	3,6	*	24,0	3,75

*) pitoisuus alle määrittäysrajan

Taulukko 7. Isojen hiukkasten ($PM_{2,3-15}$) ionipitoisuuksia (ng/m^3) sekä hiukkasmassa (g/m^3) Vallilassa ja Luukissa (10.4.1996 - 20.8.1996)

	Keskiarvo (Keskihajonta)		Mediaani		25-% piste		75-% piste		Minimi		Maksimi	
	Vallila	Luukki	Vallila	Luukki	Vallila	Luukki	Vallila	Luukki	Vallila	Luukki	Vallila	Luukki
SO ₄ ²⁻	181 (106)	161 (135)	168	112	114	86	210	172	53	18	491	520
NO ₃ ⁻	421 (444)	314 (391)	254	153	105	75	604	293	25	12	1650	1430
Cl ⁻	133 (143)	41 (66)	66	13	31	2,7	22	53	6,3	*	503	256
NH ₄ ⁺	2,1 (6,4)	27 (41)	*	2,6	*	*	*	48	*	*	24	113
Na ⁺	211 (274)	116 (125)	95	51	57	20	250	161	16	2,5	1150	428
Ca ²⁺	452 (293)	119 (134)	468	61	213	42	603	143	25	*	1220	462
K ⁺	39 (29)	27 (15)	33	19	22	16	45	35	12	12	141	59
Mg ²⁺	29 (19)	19 (14)	28	14	13	8,3	42	26	2,2	2,9	64	54
Oksalaatti	27 (15)	19 (14)	24	17	20	7,2	34	30	6,3	3,2	53	44
Malonaatti	6,7 (2,6)	4,7 (3,4)	6,6	3,5	4,3	2,4	7,7	7,8	3,5	0,52	12	10,0
Glutaraatti	0,83 (0,96)	0,98 (1,39)	0,47	0,48	0,15	0,081	1,46	1,00	*	*	3,1	4,16
MSA	1,12 (1,07)	2,40 (1,89)	0,94	1,95	0,21	0,90	1,73	3,12	*	*	3,2	6,4
Sukkinaatti	4,0 (2,8)	2,0 (1,9)	4,1	1,5	1,9	0,28	6,1	3,19	*	*	8,0	5,8
Pyruvaatti	0,25 (0,18)	0,075 (0,112)	0,22	0,005	0,11	*	0,39	0,161	*	*	0,50	0,28
Hiukkasmassa	17,1 (13,0)	5,8 (3,5)	12,7	4,9	9,1	3,2	18,2	7,1	3,2	1,14	48	12,8

*) pitoisuus alle määrittysrajan

HIUKKASTEN KESKIMÄÄRÄINEN KOOSTUMUS

VI-näytteistä mitattujen pienten-, isojen- ja PM_{15} -hiukkasten keskimääräiset koostumukset on esitetty julkaisuissa A ja G. Kuvassa 8 a-f (sivu 20) on esitetty Vallilan ja Luukin $PM_{2,3}$ -, $PM_{2,3-15}$ - ja PM_{15} -näytteiden keskimääräiset koostumukset. Kuvissa 9 a ja 9b (sivut 21 ja 22) on esitetty Vallilan ja Luukin pienhiukkasten sekä Vallilan isojen ja PM_{15} -hiukkasten keskimääräiset koostumukset vuodenaajoittain. Maaperän ja raskasmetallien osuudet on laskettu oksideina samalla tavoin kuin Brook ym. (1997) ovat esittäneet: maaperäksi laskettiin kuuluvan Al-, Si-, Fe-, Ca-, K- ja Ti-oksidit. Si-pitoisuuden arvioitiin PIXE/INAA analyysien perusteella olevan kolminkertainen Al-pitoisuuteen nähden. Raskasmetalleja edustavat Pb:n, Zn:n, V:n, Ni:n, Cu:n, Mn:n ja Ba:n yleisimmät oksidit. Merisuolaksi on laskettu Na^+ -, Cl^- - ja Mg^{2+} -pitoisuuksien summa. Dihapponioneiksi on laskettu oksalaatti-, malonaatti-, sukkinaatti- ja glutaraatti-pitoisuudet. Ryhmä muut sisältää pääasiassa hiilyyhdisteitä ja vettä.

Pienhiukkasten ($PM_{2,3}$) keskimääräinen koostumus

Vallilan ja Luukin pienhiukkaset koostuvat samoista pääkomponenteista (kuva 8 a-b): sulfaatista (Vallilassa 21 % ja Luukissa 25 %), nitraatista (Vallilassa 12 % ja Luukissa 11 %), maaperän kiteisistä aineista (Vallilassa 12 % ja Luukissa 11 %) sekä ammoniumista (Vallilassa 9 % ja Luukissa 10 %). Suuri osa pienhiukkasmassasta oli kuitenkin tuntematonta ainesta (Vallilassa 43 % ja Luukissa 39 %), jonka voidaan arvioida koostuvan pääasiassa hiilyyhdisteistä ja vedestä.

Pienhiukkasten sisältämää mustaa hiiltä (BC) mitattiin Vallilassa marraskuun 1996 ja kesäkuun 1997 välisenä aikana yhteensä 130 kokonaisena päivänä. Mittausten keskimääräinen BC-pitoisuus oli $1,4 \text{ g/m}^3$, joka oli noin 17 % rinnakkaisissa VI-mittauksissa määritetystä pienhiukkasmassasta. Kirjallisuuden perusteella oletettiin pienhiukkasten OC/BC-suhteen olevan hieman yli yksi, ja näin orgaanisten hiilyyhdisteiden (OC) määräksi arvioitiin 19 %. Lisäksi kirjallisuuden perusteella (McInnes ym. 1996) pienhiukkasten vesipitoisuudeksi arvioitiin noin 5 %. Koska BC-mittauksia tehtiin vain tutkimuksen loppupuolella ja OC-mittauksia ei tehty lainkaan, yllä esitetyt BC:n ja OC:n osuudet ovat vain suuntaa antavia. Vallilassa on vuonna 2000 tehty EC/OC-mittauksia, jotka jatkuvat vuonna 2001, joten pitoisuuksia voidaan arvioida myöhemmin. BC-pitoisuuden arvioitiin Luukissa olevan hieman Etelä-Suomen taustapitoisuutta ($0,4 \text{ g/m}^3$) korkeampi (julkaisu D). Mustan hiilen (BC) ja epäorgaanisen hiilen (EC) eroa on käsitelty julkaisussa D.

Pienhiukkasten koostumus eri vuodenaikoina on esitetty kuvassa 9a. Vallilassa maaperäaineksen osuus oli korkeimmillaan keväällä, jolloin korkeat pitoisuudet aiheutuivat suurimmaksi osaksi hiekoitushiekasta ja nastarenkaiden tien pinnasta irrottamasta materiaalista. Luukissa maaperäaineksen osuus oli korkeimmillaan keväällä ja kesällä. Sekä Vallilassa että Luukissa merisuolan ja nitraatin osuudet olivat suurimmillaan talvella ja dihapponionien osuus kesällä (julkaisu C).

Pienhiukkasten ($PM_{2,3}$) koostumus Vallilassa 3.5m ja 20m korkeudella

Kesäkuun 1997 aikana Vallilassa samanaikaisesti kahdella korkeudella kerättyjen BLPI -näytteiden pienhiukkasten keskimääräiset koostumukset on esitetty julkaisussa B. Eri komponenttien pitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa molemmilla korkeuksilla. Vaikka sääolosuhteet olivat keräysten aikana hyvin samankaltaiset vaihteli pienhiukkasten koostumus 3.5m korkeudella huomattavasti näytteestä toiseen: esimerkiksi maaperäaineksen osuus oli minimissään 12 % ja maksimissaan 30 % $PM_{2,3}$:sta.

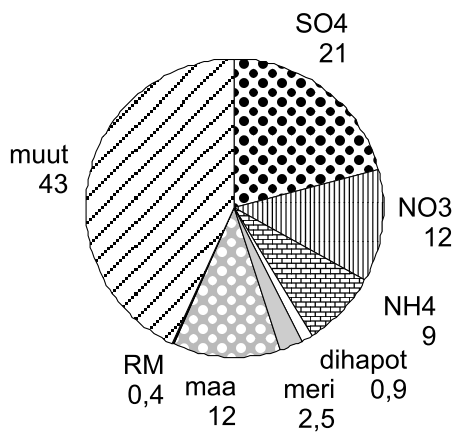
Ultrapienten hiukkasten (UFP, $PM_{0,1}$) keskimääräinen koostumus

Ultrapienten hiukkasten alkuaine-ioni- ja massapitoisuuksia on tarkasteltu julkaisussa E. Määritettyjen alkuaineiden ja ionien yhteenlasketut osuudet olivat noin 15 - 20 % $PM_{0,1}$ -hiukkasmassasta. Analysoimattoman aineen oletettiin koostuvan etupäässä hiilyyhdisteistä (60 -80 % kokonaismassasta) ja osittain vedestä (noin 5% kokonaismassasta).

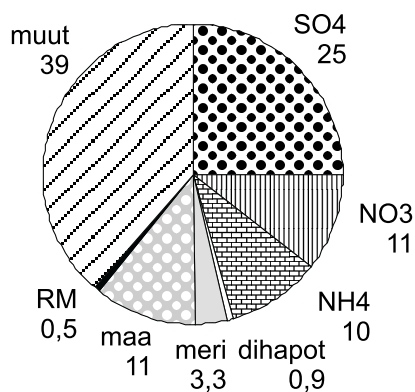
Isojen hiukkasten (PM_{2,3-15}) keskimääräinen koostumus

Isoissa hiukkasissa suurin massaosuus oli kiteisellä maaperäaineksella (Vallila 59 %, Luukki 37 %). Huomattava osa isojen hiukkasten massasta jäi tunnistamatta: Vallilassa 28 % ja Luukissa 51 %. Sulfaatin, nitraatin ja ammoniumin osuudet olivat pieniä (kuva 8 c-d, s. 20). Huomattakoon, että Vallilan ja Luukin isojen hiukkasten mittaukset olivat eri ajanjaksoilta.

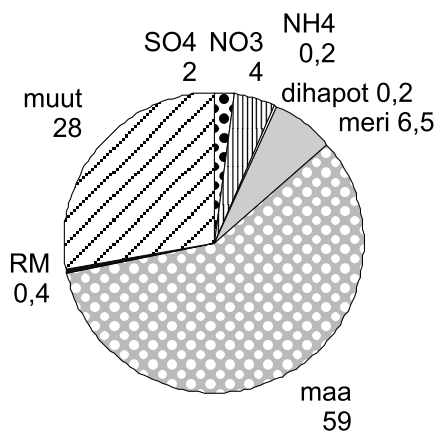
Vallilan isoissa hiukkasissa maa-aineksen osuus oli korkeimmillaan keväällä katupölystä johtuen (kuva 9b s. 22). Na⁺-pitoisuuksista voidaan päätellä, että Vallilassa merisuolan osuus oli korkeimmillaan talvella. Kokojakaumamittausten perusteella voidaan päätellä edelleen, että Luukissa on suoraan mereltä tullutta merisuolaa (hiukkasten halkaisija noin 1-6 μm) keskimäärin noin 75 - 80 % verrattuna Vallilan merisuolamääriin (huom.: osa merisuolasta kuuluu pienhiukkasiin). Vallilassa havaittiin Na⁺-ioneja tulevan ilmakehään myös katupölyn mukana (hiukkasten halkaisija noin 4-12 μm). Katupölystä tulleita Na⁺-ioneja oli noin 40 - 50 % verrattuna suoraan merisuolasta tulleeseen määrään. Luukissa havaittiin 4 - 12 μm:n kokoisissa hiukkasissa Na⁺-ioneja olevan vain vähän. Vallilan isoissa hiukkasissa (EAD>2.3 μm) Na⁺-ioneista oli noin puolet suoraan merestä tullutta ja puolet katupölystä. Na⁺-ionien suhde suoraan merestä tulleen materiaalin ja katupölyn välillä oli samaa luokkaa kesällä ja talvella, joten katupölynkin sisältämä Na⁺ lienee tullut pääosin meriaerosolien mukana.



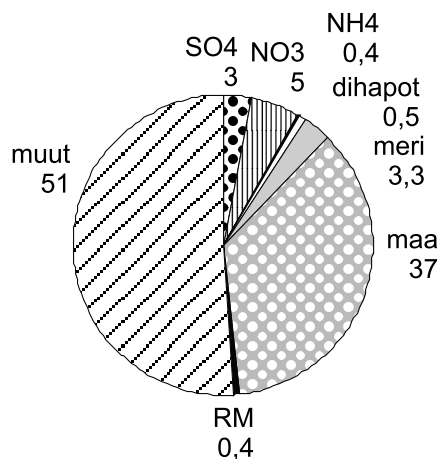
PM_{2,3} VALLILA
(10.4.1996 - 4.6.1997)



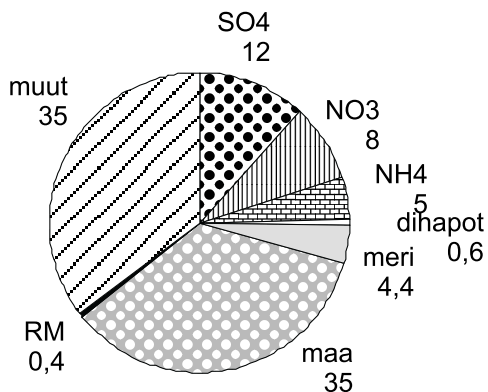
PM_{2,3} LUUKKI
(10.4.1996 - 4.6.1997)



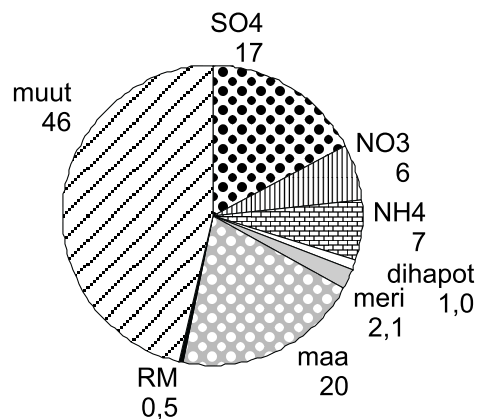
PM_{2,3-15} VALLILA
(10.4.1996 - 4.6.1997)



PM_{2,3-15} LUUKKI
(10.4.1996 - 20.8.1996)



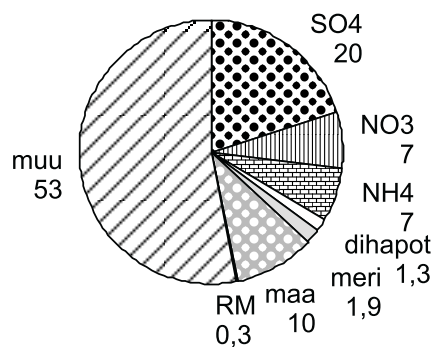
PM₁₅ VALLILA
(10.4.1996 - 4.6.1997)



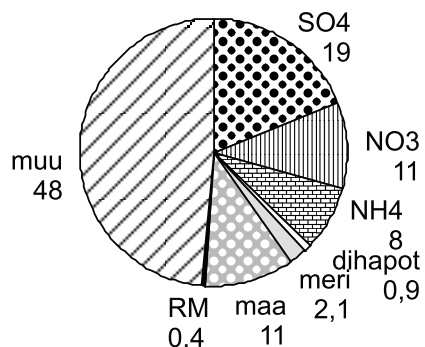
PM₁₅ LUUKKI
(10.4.1996 - 20.8.1996)

Kuva 8 a - f. Pienten, isojen ja kokonaishiukkasten keskimääräinen koostumus (%) Vallilassa ja Luukissa (RM: raskasmetallit, muu: hiiliyhdisteet ja vesi)

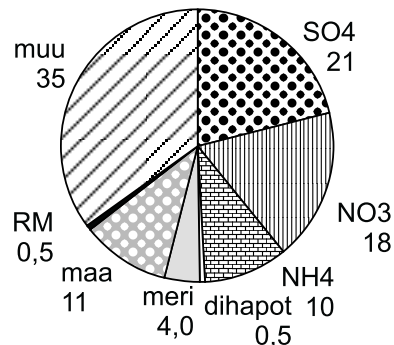
Kuva 9a. Pienhiukkasten keskimääräinen koostumus (%) vuodenajoittain Vallilassa ja Luukissa sekä (9b) Vallilan isojen ja PM₁₅-hiukkasten keskimääräiset koostumukset (%) vuodenajoittain (RM: raskasmetallit, muut: hiiliyhdisteet ja vesi)



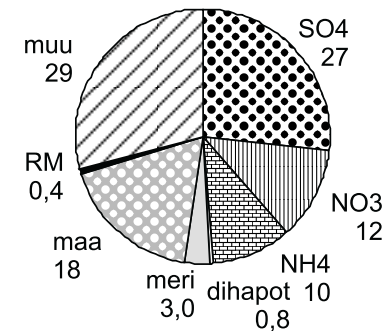
**PM_{2.3} VALLILA
(Kesä 1996)**



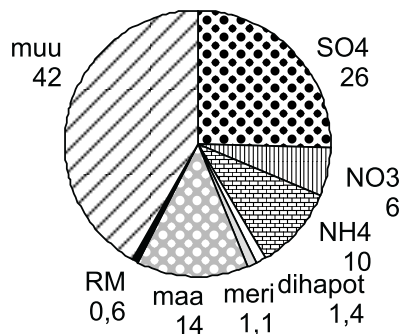
**PM_{2.3} VALLILA
(Syksy 1996)**



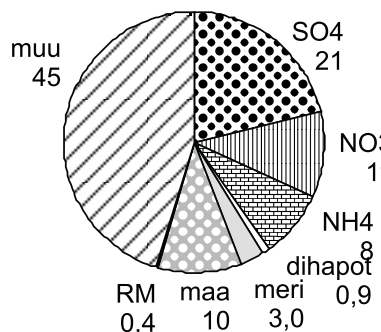
**PM_{2.3} VALLILA
(Talvi 1996-97)**



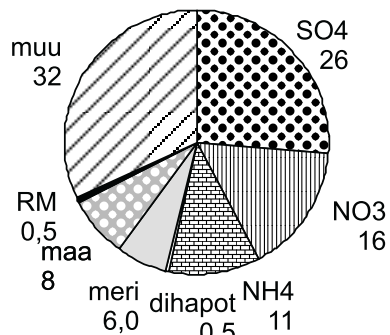
**PM_{2.3} VALLILA
(Kevät 1997)**



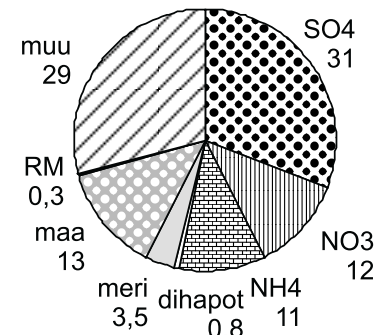
**PM_{2.3} LUUKKI
(Kesä 1996)**



**PM_{2.3} LUUKKI
(Syksy 1996)**

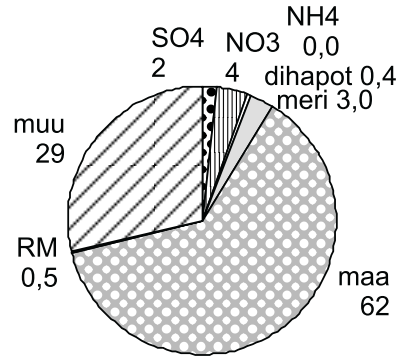


**PM_{2.3} LUUKKI
(Talvi 1996 - 97)**

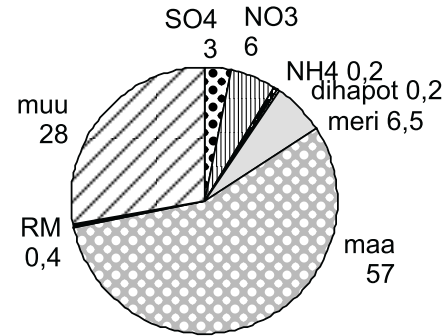


**PM_{2.3} LUUKKI
(Kevät 1997)**

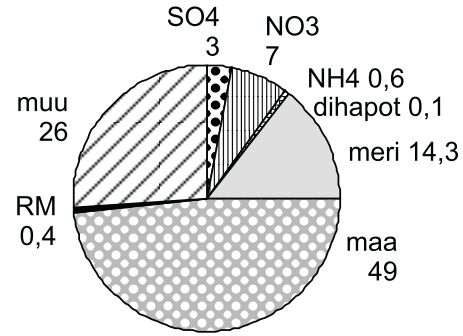
Kuva 9b. Pienhiukkasten keskimääräinen koostumus (%) vuodenajoittain Vallilassa ja Luukissa (9a) sekä Vallilan isojen ja PM₁₅-hiukkasten keskimääräiset koostumukset (%) vuodenajoittain (9b) (RM: raskasmetallit, muut: hiiliyhdisteet ja vesi)



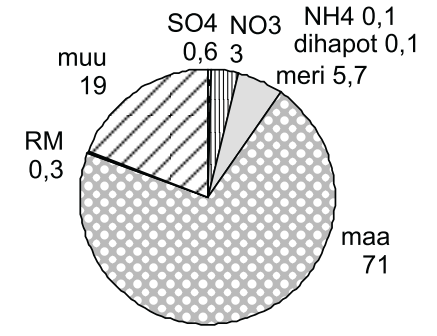
**PM_{2.3-15} VALLILA
(Kesä 1996)**



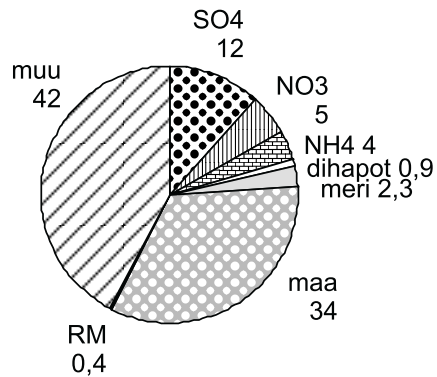
**PM_{2.3-15} VALLILA
(Syksy 1996)**



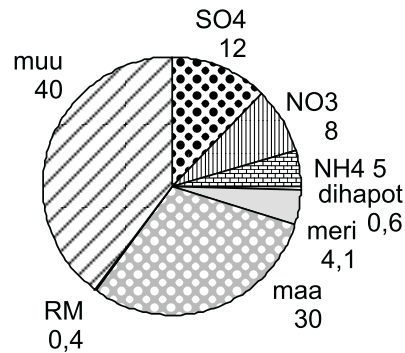
**PM_{2.3-15} VALLILA
(Talvi 1996 - 97)**



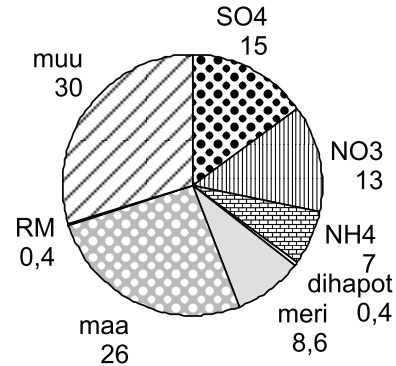
**PM_{2.3-15} VALLILA
(Kevät 1997)**



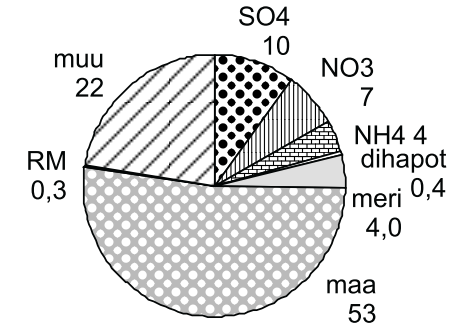
**PM₁₅ VALLILA
(Kesä 1996)**



**PM₁₅ VALLILA
(Syksy 1996)**



**PM₁₅ VALLILA
(Talvi 1996 - 97)**



**PM₁₅ VALLILA
(Kevät 1997)**

PIENHIUKKASTEN LÄHTEITÄ

Pienhiukkasten lähteitä voidaan arvioida hiukkasten koostumuksen, kokojakauman tai niiden sisältämien komponenttien pitoisuuksien perusteella. Lisäksi voidaan käyttää hyödyksi eri mittausasemilla mitattujen pitoisuuksien korrelaatioita ja tietoja ilmassojen kulkeutumisreiteistä. Päästöinventariot antavat viitteitä mahdollisista päästölähteistä.

Paikalliset päästölähteet ja kaukokulkeuma

Vallilan ja Luukin pienhiukkaspitoisuuksien vertailu

Vallilassa Ba-, Fe-, Sb-, Cl⁻, NO₃⁻- ja Ca²⁺-pitoisuudet olivat yleensä korkeammat kuin Luukissa. Paikallisten päästölähteiden voidaan siten olettaa vaikuttavan näiden alkuaineiden pitoisuuksiin Vallilassa huomattavasti enemmän kuin Luukissa.

Luukissa puolestaan As- ja K-pitoisuudet olivat yleisesti korkeammat kuin Vallilassa. Lisäksi Luukissa Cu:n, Ti:n, As:n, Na:n, Ni:n ja U:n maksimipitoisuudet olivat huomattavan korkeat Vallilan maksimipitoisuuksiin verrattuna. Luukin ympäristössä on siten todennäköisesti ao. alkuaineiden lähilähteitä. Verrattaessa eri suunnilta tulevia ilmassoja ei kuitenkaan havaittu suuria eroja komponenttien keskiarvopitoisuuksissa.

Sulfaatin, ammoniumin ja metaanisulfonihappoanionin (MSA) pitoisuudet olivat Vallilassa ja Luukissa samaa suuruusluokkaa, joten paikallisilla päästölähteillä näyttäisi olevan vain vähäinen vaikutus niiden pitoisuuksiin.

Vallilassa ja Luukissa mitattujen pitoisuuksien välinen korrelaatio

Julkaisussa C on esitetty virtuaali-impaktorilla kerättyjen pienhiukkasten SO₄²⁻, NH₄⁺ ja MSA-pitoisuuksien sekä oksalaatti-, malonaatti- ja sukkinaaattipitoisuuksien ajallinen vaihtelu Vallilan ja Luukin mittausasemilla. Pienhiukkasnäytteiden SO₄²⁻, NH₄⁺, MSA- ja oksalaattipitoisuudet korreloivat keskenään Vallilassa ja Luukissa ($R > 0,95$), mikä viittaa kaukokulkeuman suureen osuuteen. Myös pienhiukkasten malonaatti-, glutaraatti-, Mg²⁺-, NO₃⁻ ja Ti-pitoisuuksien välinen korrelaatio asemien välillä oli melko suuri ($0,85 < R < 0,95$). Sen sijaan Vallilan Mo-, Ba-, Sb-, Mn-, Ag-, Ni-, Sr-, Ca-, Co- ja Cu-pitoisuuksien ajallinen vaihtelu erosi huomattavasti ($R < 0,45$) Luukin vastaavien alkuaineiden pitoisuuksien vaihteluista, joten paikalliset päästölähteet näyttävät vaikuttavan huomattavasti näiden alkuaineiden pitoisuuksiin.

Pitoisuuksien ja trajektorien yhteys

Pienhiukkasten sulfaatti-, ammonium- ja MSA-pitoisuudet olivat korkeimmillaan ilmassojen kulkeutuessa mittauspaikoille lounaasta. Vastaavasti pitoisuudet olivat alhaisimmat ilmassojen ollessa peräisin pohjoisesta ja/tai luoteesta. Pitoisuuksien ja trajektorien välisen yhteyden perusteella hiukkasten sisältämän sulfaatin, ammoniumin ja MSA:n oletettiin olevan suurimmaksi osaksi kaukokulkeumaa. Muilla yhdisteillä ei havaittu yhtä selvää pitoisuuksien ja trajektorien välistä yhteyttä.

Kokojakaumien tarkastelu

BLPI-näytteiden kokojakaumakäyrien samankaltaisuutta arvioitaessa on otettu huomioon yhdeksän parhaiten korreloivaa näyteparia (max 10), jotta satunnaisen eroavaisuuden (esim. erittäin pienten pitoisuuksien aiheuttama analyysivirhe) osuus pienenee. Vallilan pienhiukkasten Mg-, Na-, Mg²⁺- ja Na⁺-kokojakaumakäyrät olivat samanmuotoiset Luukin vastaavien kokojakaumakäyrien kanssa ($R > 0,95$), joten näiden komponenttien päästölähteet (mm. meri) vaikuttavat samalla tavoin molemmilla mittausasemilla. Asemien välillä havaittiin samankaltaisuutta myös alumiinin, sulfaatin, oksalaatin ja ammoniumin kokojakaumakäyrissä ($0,90 < R < 0,95$) sekä mangaanin, kadmiumin, strontiumin ja vanadiinin kokojakaumakäyrissä ($0,80 < R < 0,90$). Tässäkin samankaltaisuus viittaa samankaltaisiin lähteisiin.

Eniten mittausasemien välisiä kokojakaumakäyrien poikkeavuuksia esiintyi Co:n, Ni:n, Ag:n, Mo:n, Sb:n,

Se:n, pyruvaatin, Cu:n, glutaraatin ja sukkiniaatin kokojakaumissa. Näillä komponenteilla on todennäköisesti paikallisia päästölähteitä, jotka vaikuttavat eri tavoin Vallilassa ja Luukissa.

Vallilassa pienhiukkasten Mg-, Na-, Mg²⁺-, Na⁺-kokojakaumakäyrissä ei havaittu ajallisia vaihteluita. Onkin todennäköistä, että ko. alkuaineilla ja ioneilla ei ole kovin useita paikallisia päästölähteitä tai lähdeyyppöjä. Vallilassa myös Al:n, Ca²⁺:n, Ba:n, Cu:n, Fe:n, Sr:n, Ti:n ja U:n ja Luukissa Mg:n, Mg²⁺:n, Na⁺:n, Al:n ja Na:n kokojakaumien ajallinen vaihtelu oli vähäistä. Ajallisesti eniten eroavaisuutta oli Vallilan Se-, Ag-, Co-, pyruvaatti- ja glutaraattipitoisuuksissa sekä Luukin Co-, Se-, pyruvaatti-, Ni-, Mo-, Ag-, glutaraatti- ja Cu-kokojakaumakäyrissä. Näillä alkuaineilla ja ioneilla saattaa olla useampia erilaisia lähdeyyppöjä, tai tärkein lähde voi olla pistemäinen, jolloin tuulen suunta vaikuttaa pitoisuuksiin ja kokojakaumiin merkittävästi.

Julkaisussa F on tarkasteltu alkuaineiden kokojakaumien akkumulaatiomodeja välillä 0,15 m < EAD < 1,0 m. Vallilassa alkuaineiden kokojakaumissa esiintyi useammin kaksi akkumulaatiomoodia kuin Luukissa, mikä viittaa siihen, että Vallilassa on useita paikallisia päästölähteitä. Esimerkiksi melkein kaikissa (9-10 kpl) Al-, Ba-, Cd-, Co-, Cu-, Mn-, Ni-, Pb-, Rb, Sb- ja V-kokojakaumakäyrissä havaittiin kaksi akkumulaatiomoodia. Luukissa kaksi akkumulaatiomoodia havaittiin 9 kertaa antimonin kokojakaumassa ja 7 kertaa bariumin, kadmiumin ja kuparin kokojakaumissa. Li:n, Mg:n, Na:n, Se:n, Sr:n, Th:n ja Ti:n kokojakaumakäyrillä oli usein vain yksi akkumulaatiomoodi, joten merkittäviä paikallisia päästölähdeyyppöjä lienee vähän. Raportissa F on ryhmitelty alkuaineita, joilla on useassa BLPI-näytteessä samankaltaiset akkumulaatiomoodit. Taulukkoon 8 on koottu ne alkuaineet, joilla 5 - 10 näytteessä kymmenestä akkumulaatiomoodit olivat samankaltaiset. Samankaltaisten akkumulaatiomoodien perusteella voidaan olettaa komponenttien olevan huomattavassa määrin samoista lähteistä peräisin.

Taulukko 8. Useimmin esiintyneet samankaltaiset akkumulaatiomoodit eri komponenttien välillä (maksimimäärä 10).

VALLILA	LUUKKI
Cd ja Pb (6 kpl)	SO ₄ ²⁻ ja massa (8 kpl)
Mo ja Ni (6 kpl)	As ja Pb (6 kpl)
Ba ja Ca (5 kpl)	As ja SO ₄ ²⁻ (6 kpl)
Bi ja Tl (5 kpl)	Cd ja Cu (6 kpl)
Ca ja Sr (5 kpl)	Cd ja Pb (6 kpl)
Cd ja K (5 kpl)	Fe ja Mg (6 kpl)
Cd ja Rb (5 kpl)	Na ja Rb (6 kpl)
Fe ja V (5 kpl)	Na ja massa (6 kpl)
Ni ja V (5 kpl)	Pb ja SO ₄ ²⁻ (6 kpl)
Pb ja SO ₄ ²⁻ (5 kpl)	As ja Ba (5 kpl)
SO ₄ ²⁻ ja massa (5 kpl)	As ja Sb (5 kpl)
	Ba ja SO ₄ ²⁻ (5 kpl)
	Mg ja Ti (5 kpl)
	Na ja SO ₄ ²⁻ (5 kpl)
	Pb ja massa (5 kpl)
	Rb ja massa (5 kpl)

Paikallisten päästölähteiden kokonaisvaikutuksen arviointi

Kvantitatiivisen suhteellisen kokojakaumamenetelmän (quantitative relative size distributions method, QRSD-method) avulla arvioitiin pääkaupunkiseudun paikallisten päästölähteiden vaikutusta alkuaineiden pitoisuuksiin vertaamalla alkuaineiden kokojakaumakäyrien ja kaukokulkeumaa edustavan sulfaatin kokojakaumakäyrän muotoja (julkaisu F). Vallilan mittauspaikalla paikallispäästöjen arvioitiin vaikuttavan eniten (yli 90 %) Al-, Ba-, Ca-, Fe-, Mg-, Ti- ja U-pitoisuuksiin ja vähiten As-, Cd-, Pb- ja Tl-pitoisuuksiin (alle 40 %), missä prosenttiluvut edustavat tuulen alapuolella mitattavaa paikallista vaikutusta alle 2.3 m hiukkasissa. Huomattakoon, että kunkin alueen paikallinen vaikutus tuulen yläpuolella on nolla.

Eräiden päästölähteiden ja komponenttien arviointi

Päästölähteitä on arvioitu tiettyjen merkkiaineiden avulla ja tarkastelemalla pitoisuuksien ajallisen vaihtelun ja kokojakaumakäyrien samankaltaisuutta. Taulukossa 9 (sivulla 27) on esitetty 25 korkeinta pitoisuuksien välistä korrelaatiota. Pienhiukkasilla kaikki 25 korkeinta korrelaatiota olivat tilastollisesti merkitseviä ($R > 0,75$ ja merkitsevyysarvot alle 0,0001). Mikäli komponenttien välinen korrelaatio on korkea ja tilastollisesti merkitsevä, komponenttien voidaan olettaa olevan pääosin peräisin samoista lähteistä.

Kaukokulkeuma

Sulfaatti-, ammonium- ja MSA-pitoisuudet olivat Vallilassa ja Luukissa samaa suuruusluokkaa. Lisäksi niiden pitoisuudet korreloivat keskenään ja olivat riippuvaisia ilmassojen kulkeutumissuunnista. Suurin osa pienhiukkasten sulfaatista on muodostunut rikkidioksidipäästöjen ilmakeiällisen muuntumisen kautta. Koska SO_2 hapettuu varsin hitaasti sulfaatiksi (noin 1% tunnissa), niin lähes kaikki pääkaupunkiseudun pienhiukkasten sulfaatti on kaukokulkeumaa. Sulfaatin ja ammoniumin kokojakaumat olivat samanmuotoiset sekä Vallilassa että Luukissa, joten myös ammoniumin arvioitiin olevan valtaosin kaukokulkeutunutta. Toisin kuin sulfaatilla ja ammoniumilla, vaihtelivat MSA-pitoisuudet vuodenajan mukaan. Ero selittyy päästölähteillä: MSA on peräisin merestä vapautuvasta dimetyylisulfidista (DMS), sulfaatti puolestaan tulee pääosin energiantuotannon SO_2 -päästöistä ja ammonium maatalouden ym. ammoniakkipäästöistä. MSA:n kokojakaumat muistuttivat usein sulfaatin ja ammoniumin kokojakaumia, joten myös MSA näyttää olevan peräisin pääosin kaukokulkeumasta. Huomattakoon, että kaukokulkeumaa käsiteltiin osittain jo kohdassa "Paikalliset päästölähteet ja kaukokulkeuma", s. 23).

Pienhiukkasten massasta merkittävä osa on ammoniumsulfaattia. Edellä todettiin sen olevan pääosin kaukokulkeutunutta, joten kaukokulkeuman osuus pääkaupunkiseudun pienhiukkaspitoisuuksissa on merkittävä. Kaukokulkeuman osuudeksi arvioitiin 55 % Vallilan pienhiukkasmassasta (julkaisu F). Kun oletetaan kaukokulkeuman olevan yhtä suuri Vallilassa ja Luukissa, saadaan Luukissa keskimääräiseksi kaukokulkeuman osuudeksi 77 %.

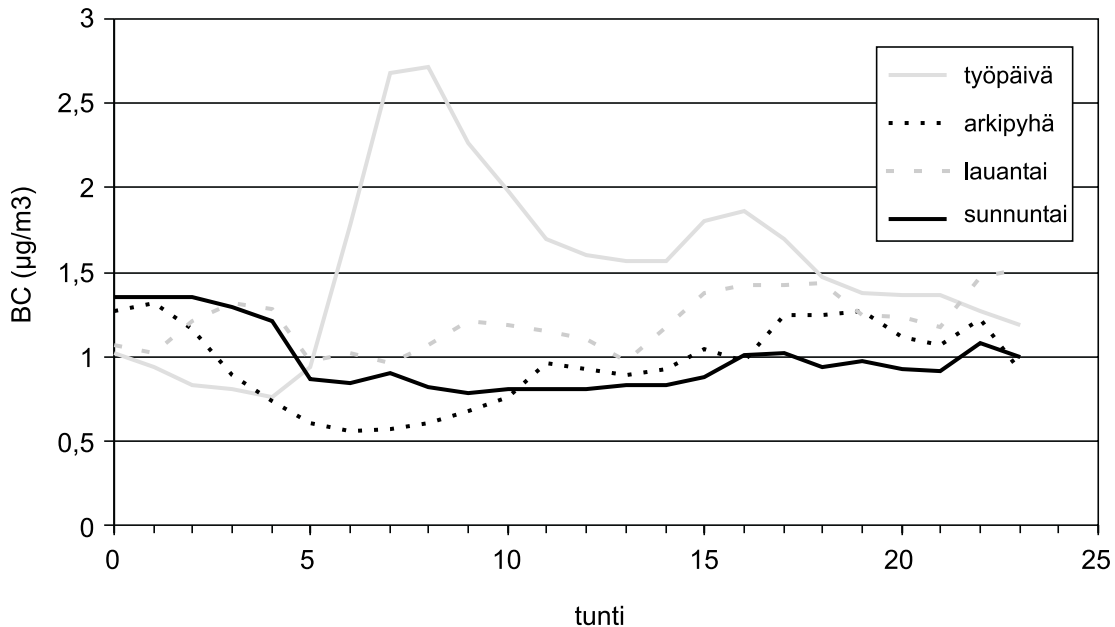
Vallilan ja Luukin oksalaattipitoisuudet korreloivat paitsi keskenään myös hiukkaspitoisuuksien kanssa. Lisäksi alle yhden mikrometrin kokoisissa hiukkasissa oksalaatin kokojakauma oli samankaltainen kuin sulfaatin, ammoniumin ja MSA:n kokojakaumat, joten myös oksalaatti lienee suurimmaksi osaksi peräisin kaukokulkeumasta.

Vallilan pienhiukkasten SO_4^{2-} -, NH_4^+ -, $\text{PM}_{2,3}$ -, Tl-, oksalaatti-, Pb- ja Se-pitoisuuksien todettiin korreloivan voimakkaasti keskenään (julkaisu A). Lisäksi Vallilan hiukkasten SO_4^{2-} -, $\text{PM}_{2,3}$ -, Pb-, As- ja Tl-kokojakaumakäyrissä esiintyi usein samankaltaisia akkumulaatiomoodeja (julkaisu F). Vastaavasti Luukissa pienhiukkasten SO_4^{2-} - ja NH_4^+ -, $\text{PM}_{2,3}$ -, Tl- ja oksalaattipitoisuudet korreloivat voimakkaasti keskenään ja pienhiukkasten SO_4^{2-} -, $\text{PM}_{2,3}$ -, Pb-, As- ja Cd-kokojakaumissa esiintyi usein samankaltaisia akkumulaatiomoodeja (julkaisu F). Kaukokulkeumalla näyttäisi siten olevan huomattava vaikutus kaikkien näiden komponenttien pitoisuuksiin pääkaupunkiseudulla.

Liikenne ja musta hiili

Pienhiukkasten sisältämän mustan hiilen (BC) pitoisuuksia mitattiin Vallilassa marraskuun 1996 ja kesäkuun 1997 välisenä aikana 130 täyttä vuorokautta. BC-pitoisuuksien keskiarvo oli työpäivinä noin 1,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lauantaisin noin 1,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja sunnuntaisin sekä arkipyhinä hieman alle 1,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (julkaisu D). Kuvassa 10 on esitetty BC-pitoisuuksien vuorokauden sisäinen vaihtelu. Arkiaamuina pitoisuudet nousivat voimakkaasti aamuruuhkan aikaan ja laskivat jälleen noin klo 9 alkaen. Toinen pitoisuushuippu ajoittui iltpäiväruuhkaan klo 16-19 väliseksi ajaksi. Muina päivinä pitoisuudet pysyivät varsin tasaisina vuorokauden ympäri. Paikallisen liikenteen osuuden arvioitiin olevan noin 63 % työpäivinä mitatuista BC-pitoisuuksista (julkaisu D). Kaukokulkeuman mukana tulevan BC:n arvioitiin olevan keskimäärin noin 0,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mikä lienee hyvä arvio koko Etelä-Suomen alueelle.

Vallilassa pienhiukkasten K-, Ni-, V- ja Zn-pitoisuudet korreloivat BC-pitoisuuksien kanssa. Voidaan olettaa, että osa näistä alkuaineista on peräisin liikenteen päästöistä. BC-pitoisuuksien korrelaatio Ni- ja V-pitoisuuksien kanssa puolestaan viittaa siihen, että osa Vallilan mustasta hiilestä olisi peräisin paikallisesta raskaan polttoöljyn poltosta.



Kuva 10. Mustan hiilen tuntikeskiarvot Vallilassa eri päivinä marraskuusta 1996 kesäkuuhun 1997.

Taulukko 9. Vallilan ja Luukin korkeimmat korrelaatiot hiukkasmassa-, alkuaine- ja ionipitoisuuksien vaihteluiden välillä (VI-mittaus)

PIENET HIUKKASET				ISOT HIUKKASET			
VALLILA		LUUKKI		VALLILA		LUUKKI	
Ni ja V	R = (0,96)	NH ₄ ⁺ ja SO ₄ ²⁻	R = (0,97)	Al ja PM _{2,5-15}	R = (0,99)	Al ja Fe	R = (0,99)
NH ₄ ⁺ ja SO ₄ ²⁻	R = (0,95)	Ox ja Glut	R = (0,89)	Ba ja Fe	R = (0,97)	Al ja U	R = (0,97)
Ox ja PM _{2,5}	R = (0,89)	Cd ja Pb	R = (0,89)	PM _{2,5-15} ja Mg	R = (0,97)	Ba ja U	R = (0,96)
Glut ja Ox	R = (0,89)	Ox ja PM _{2,5}	R = (0,87)	Fe ja U	R = (0,96)	Fe ja Mn	R = (0,95)
NH ₄ ⁺ ja PM _{2,5}	R = (0,88)	Mal ja Ox	R = (0,86)	Al ja Ti	R = (0,96)	Al ja Mn	R = (0,94)
Pb ja Tl	R = (0,88)	Ba ja Fe	R = (0,86)	Fe ja Ti	R = (0,95)	Al ja Ti	R = (0,94)
Glut ja Succ	R = (0,88)	Glut ja Mal	R = (0,85)	Cu ja Sb	R = (0,95)	Al ja Sr	R = (0,94)
Na ja Na ⁺	R = (0,87)	Pb ja Tl	R = (0,85)	Ba ja U	R = (0,95)	Ba ja Mn	R = (0,94)
Ba ja Cu	R = (0,86)	NH ₄ ⁺ ja PM _{2,5}	R = (0,84)	Al ja Sr	R = (0,94)	Fe ja U	R = (0,94)
PM _{2,5} ja Se	R = (0,86)	Fe ja Mn	R = (0,83)	Ti ja U	R = (0,94)	Al ja Ba	R = (0,94)
PM _{2,5} ja SO ₄ ²⁻	R = (0,86)	Pb ja Sb	R = (0,83)	Al ja U	R = (0,94)	U ja Mn	R = (0,93)
Mal ja Ox	R = (0,86)	Pb ja V	R = (0,83)	Sr ja Ti	R = (0,94)	Ba ja Fe	R = (0,93)
Ba ja Fe	R = (0,84)	Glut ja Succ	R = (0,82)	Li ja Ti	R = (0,93)	Fe ja Ti	R = (0,93)
K ja Pb	R = (0,84)	Ba ja Mn	R = (0,81)	Li ja U	R = (0,93)	Ox ja Mal	R = (0,92)
K ja K ⁺	R = (0,84)	Mal ja Succ	R = (0,81)	K ja U	R = (0,93)	NO ₃ ⁻ ja NH ₄ ⁺	R = (0,92)
Cd ja Pb	R = (0,83)	PM _{2,5} ja SO ₄ ²⁻	R = (0,81)	Al ja Mn	R = (0,93)	Sr ja Mn	R = (0,91)
Th ja U	R = (0,83)	Ox ja Succ	R = (0,80)	Al ja Fe	R = (0,93)	NH ₄ ⁺ ja SO ₄ ²⁻	R = (0,91)
Mal ja MSA	R = (0,83)	K ja Mn	R = (0,79)	Ba ja Ti	R = (0,93)	Mg ja Mn	R = (0,90)
Glut ja Mal	R = (0,83)	Sb ja Zn	R = (0,79)	Li ja Fe	R = (0,93)	Sr ja U	R = (0,90)
Ox ja Succ	R = (0,82)	Ni ja V	R = (0,78)	K ja Ti	R = (0,93)	Sr ja Ti	R = (0,89)
Pb ja PM _{2,5}	R = (0,82)	Sb ja V	R = (0,78)	Fe ja K	R = (0,92)	Sr ja Mg	R = (0,89)
Mal ja Succ	R = (0,81)	Pb ja Zn	R = (0,78)	PM _{2,5-15} ja Ti	R = (0,92)	Ca ja Ca ²⁺	R = (0,89)
Pb ja Zn	R = (0,79)	Mn ja U	R = (0,77)	Ca ja K	R = (0,92)	SO ₄ ²⁻ ja Mal	R = (0,89)
NH ₄ ⁺ ja Tl	R = (0,78)	As ja Pb	R = (0,76)	Al ja K	R = (0,92)	U ja Ti	R = (0,89)
MSA ja Succ	R = (0,78)	Ba ja U	R = (0,75)	Fe ja Mn	R = (0,91)	Ba ja Ti	R = (0,88)

Energian tuotanto

Kivihiili

Vuosina 1996 ja 1997 pääkaupunkiseudun suorista hiukkaspäästöistä arviolta noin puolet oli peräisin energiantuotannosta (liite 1). Pääkaupunkiseudulla kivihiiltä käyttäviä voimalaitoksia on Hanasaassa, Salmisaassa, Suomenojalla ja Martinlaaksossa. Koska kivihiilivoimaloiden piiput ovat korkeita päästöt leviävät tuulten mukana laajalle alueelle.

Kivihiilen polton merkkiaineena on usein käytetty arseenia. Kappaleessa "Kaukokulkeuma" (s. 25) arviointiin tärkeimmäksi arseenilähteeksi kaukokulkeuma, mutta pääkaupunkiseudun voimalaitosten korkeat päästökorkeudet saattavat antaa arseenihiukkasille kaukokulkeumaa muistuttavia ominaisuuksia. Luukissa pienhiukkasten arseenipitoisuudet korreloivat parhaiten lyijypitoisuuksien kanssa. Arseenilla ja lyijyllä esiintyi usein samankaltaisia akkumulaatiomoodeja (julkaisu F), joten myös osa lyijystä saattaa olla peräisin kivihiilen poltosta. Esim. Kauppinen ja Pakkanen (1990) havaitsivat, että kivihiilen poltosta aiheutuu lyijypäästöjä. Luukin arseenipitoisuudet olivat korkeammat kuin Vallilassa, joten hiilivoimaloiden päästöt näyttäisivät vaikuttavan enemmän Luukin pitoisuuksiin, tai sitten Luukin lähellä on jokin kivihiilenpoltosta poikkeava arseenilähde.

Raskas polttoöljy

Yleisimmät öljynpolton merkkiaineet ovat nikkeli ja vanadiini. Öljynpoltossa nikkelin ja vanadiinin ominaispäästöjen suhde on 1,0 : 2,4 (Pohjola ym. 1983). Nikkeli- ja vanadiinipäästöjä syntyy myös kivihiilen poltossa, mutta öljynpolton vanadiinin ominaispäästöt ovat 250-kertaiset ja nikkelin ominaispäästöt 50-kertaiset kivihiilenpolttoon verrattuna.

Vallilassa korkein pienhiukkasten kemiallisten komponenttien välinen korrelaatio havaittiin Ni- ja V-pitoisuuksien välillä. Myös Luukissa nikkelin ja vanadiinin välinen korrelaatio oli merkittävä, mutta ei yhtä korkea kuin Vallilassa (taulukko 9, s. 27). Vanadiini/nikkeli-suhde oli Vallilassa keskimäärin noin 2,5 ja Luukissa noin 2,2, eli Vallilassa vanadiinin osuus oli hieman korkeampi kuin Luukissa. Kumpikin suhde on hyvin lähellä raskaan polttoöljyn nikkelin ja vanadiinin ominaispäästöjen teoreettista suhdetta, joten tärkein nikkelin ja vanadiinin päästölähde on raskaan polttoöljyn poltto. Vallilassa nikkelin ja vanadiinin kokojakaumissa esiintyi Luukia useammin yhtäaikaaisesti samankaltaiset akkumulaatiomoodit (julkaisu F). Sekä nikkelin että vanadiinin pitoisuuksien korrelaatiot Luukin ja Vallilan välillä olivat alhaiset ($R = 0,33$ ja $0,53$), eli aineilla on paikallisia lähteitä, jotka vaikuttavat Vallilan ja Luukin pitoisuuksiin eri tavoin. Laivaliikenne saattaa olla eräs Vallilan Ni- ja V-pitoisuuksia korottava tekijä. Lisäksi asfaltin sisältämässä bitumissa on vanadiinia, mutta bitumista tulevan vanadiinin pitäisi olla pääosin isoissa hiukkasissa.

Vallilassa Mo-, Ni-, V-, Fe-, ja Co-kokojakaumilla oli usein samankaltaiset akkumulaatiomoodit (julkaisu F). Näiden alkuaineiden tärkeimmäksi lähteeksi (hiukkasten halkaisija $< 1 \mu\text{m}$) oletettiin öljynpoltto, mutta myös muiden lähteiden vaikutus varsinkin Mo-, Co- ja Fe-pitoisuuksiin lienee merkittävä. Myös Luukissa Co-, Mo-, V- ja Ni-kokojakaumilla oli samankaltaisia akkumulaatiomoodeja, mikä vahvistaa oletusta, että ne kaikki ovat osittain öljynpoltosta peräisin. Ni- Mo- ja Co-kokojakaumissa oli myös samankaltaisia Aitken-moodeja (julkaisu E). Vanadiinin Aitken-moodeilla ei havaittu yhtäläisyyksiä Ni-, Mo- ja Co-kokojakaumien Aitken-moodien kanssa. Eräs Ni-, Mo- ja Co-lähde saattaa olla autojen moottorien kuluvat metalliosat (julkaisu E).

Katupöly

Katupölyn massasta valtaosa on suuria hiukkasia, mutta pienimmät katupölyhiukkaset lienevät aerodynaamiselta halkaisijaltaan noin $1 \mu\text{m}$ tai hieman alle. Kuva 3 (s. 6) ja kuva 4 a-j (s. 7) esittävät tässä tutkimuksessa mitattuja hiukkasmassajakaumia. Kuvassa 8 a-b (s. 20) on esitetty Vallilan ja Luukin pienhiukkasten keskimääräinen koostumus. Molemmissa paikoissa pienhiukkasten massasta yli 10% oli maaperän ja/tai katupölyn kiteisiä aineksia, jotka koostuvat pääosin piin, alumiinin, kalsiumin, raudan, magnesiumin ja kaliumin oksideista ja/tai silikaateista. Kuvassa 7 a-j (s.13) on esitetty mm. raudan keskimääräiset kokojakaumat Vallilasta ja Luukista. Kuvassa 7 a-j nähdään myös, että Vallilan katupölyssä on merkittäviä määriä mm. kuparia, mangaania, lyijyä ja sinkkiä. Katupölyä käsitellään tarkemmin isojen hiukkasten yhteydessä sivulta 30 alkaen.

Merisuola

Sekä Vallilassa että Luukissa tärkeimpien merisuolaionien (Mg^{2+} , Na^+ ja Cl^-) pitoisuudet korreloivat keskenään. Korrelaatio havaittiin myös asemien välillä. Aikaisemmin todettiin paikallisten päästölähteiden vaikuttavan hyvin vähän merisuolaionien pitoisuuksiin. Mg^{2+} - ja Na^+ -ionien kokojakaumakäyrissä ei havaittu merkittävää ajallista eikä paikallista vaihtelua. Na^+ - ja Cl^- -ioneilla oli voimakas negatiivinen korrelaatio lämpötilan kanssa ($-0,54 < R < -0,43$). Korkeammat talvipitoisuudet johtunevat meteorologisista tekijöistä. Vuodenaikojen vaikutus voidaan havaita myös pienhiukkasten koostumuskuvista (kuva 9a ja 9b, s. 21 ja 22), joissa pienhiukkasten merisuolaosuus on talvella selvästi korkeampi kuin muina vuodenaikoina. Teiden talvisuolauksella lienee vain vähäinen vaikutus Na^+ -pitoisuuksiin (katso s. 19).

Lyijy

Suomessa lopetettiin lyijyllisen bensiinin myynti kokonaan vuonna 1994, joten liikenteen aiheuttaman lyijykuormituksen voidaan olettaa alentuneen huomattavasti. QRSD-menetelmällä arvioitiin, että paikallisten päästölähteiden osuus Vallilan $PM_{2,3}$:n lyijypitoisuuksissa on noin 30% (julkaisu F). Kahdella eri korkeudella (3,5 ja 20 m) tehdyissä mittauksissa PM_{10} -hiukkasten lyijypitoisuudet olivat korkeammat alemmassa mittauspisteessä, mikä todennäköisesti johtuu maan lähellä sijaitsevista lähteistä, esim. liikenteestä (resuspensio ei juurikaan vaikuta alle 1 m hiukkasiin). Ruotsin ympäristöhallinnon tekemässä tutkimuksessa arvioitiin autojen jarrupaloista vapautuvan 560 kg lyijyä Tukholman alueella. Jos Helsingin liikennemäärien arvioidaan olevan noin 1/2 Tukholman määristä, jarrupaloista vapautuvan lyijyn määräksi saadaan noin 300 kg, mikä on edelleen kaksinkertainen verrattuna Helsingin Energian ilmoittamiin lyijypäästöihin. Täten merkittävä osa pääkaupunkiseudun lyijypäästöistä olisi edelleen liikenteestä peräisin. Jarrupaloista tulevan lyijyn hiukkaskoosta ei em. viitteessä ollut arviota.

Molemmilla mittausasemilla kadmiumpitoisuudet korreloivat lyijypitoisuuksien kanssa (Vallilassa $R = 0,83$ ja Luukissa $R = 0,89$). Lisäksi kadmiumin ja lyijyn kokojakaumissa esiintyi usein samankaltaiset akkumulaatiomoodit (julkaisu F). Näillä alkuaineilla lienee kaukokulkeuman lisäksi jokin yhteinen paikallinen lähde. Aikaisemmin osa lyijystä yhdistettiin kivihiilenpolttoon, josta myös osa kadmiumista lienee peräisin (Kauppinen ja Pakkanen, 1990).

Vallilan As-, Bi-, Cd-, K-, Tl- ja Zn-pitoisuudet korreloivat parhaiten Pb-pitoisuuksien kanssa. Aikaisemmin on todettu kaukokulkeuman vaikuttavan merkittävästi pääkaupunkiseudun As-, Tl-, Pb-, ja Cd-pitoisuuksiin. As-, Cd- ja Pb-päästöjä tulee myös hiilivoimalaitoksista, mutta korkeiden päästökorkeuksien ansiosta päästöjen leviäminen saattaa muistuttaa kaukokulkeuman leviämistä. Paikallisia sinkin ja lyijyn yhteisiä päästölähteitä edustavat hiilivoimalaitokset, mutta myös autojen jarrupaloista syntyy yllättävän paljon sinkki- ja lyijypäästöjä. Aitken-moodien perusteella arvioitiin, että pääkaupunkiseudulla on jokin paikallinen ultrapienien Zn- ja Pb-hiukkasten lähde (julkaisu E).

Luukissa Cd:n, Tl:n, Sb:n, V:n, Zn:n ja As:n pitoisuudet korreloivat parhaiten lyijypitoisuuksien kanssa. Julkaisussa A näiden alkuaineiden lähteiksi arvioitiin kaukokulkeuman lisäksi joitain paikallisia lähteitä, kuten hiilivoimalaitokset.

Dikarboksylihapot

Taulukossa 9 (s. 27) havaitaan dihapojen (oksalaatti, malonaatti, glutaraatti ja sukkiinaatti) pitoisuuksien korreloivan keskenään. Myös MSA käyttäytyi dihapojen tavoin (julkaisu A). Vallilassa dihapojen pitoisuudet korreloivat MSA-pitoisuuksien kanssa hieman paremmin kuin Luukissa: Vallilassa $0,74 < R < 0,83$ ja Luukissa $0,65 < R < 0,75$. Edellä on todettu MSA:n ja oksalaatin olevan pääasiassa kaukokulkeumaa. Asemien ja ionien välisten korrelaatioiden perusteella myös muiden dihapojen voidaan olettaa olevan pääasiassa kaukokulkeutunutta ainesta. Vallilan ja Luukin dihapojen pitoisuudet olivat kesäisin korkeammat kuin muina vuodenaikoina. Dihappoja syntyy mm. ilmakeiillisissä reaktioissa, joiden tiedetään olevan voimakkaimmillaan kesäisin. Tämä viittaa siihen, että Vallilan ja Luukin dihapot ovat pääosin peräisin ilmakeiillisistä reaktioista (kaukokulkeumasta).

Muita lähteitä

Vallila

Vallilassa barium- ja rautapitoisuudet olivat korkeammat kuin Luukissa. Katupölyn kiviaines ja useat moottoriöljyt sisältävät bariumia ja mm. jarrupalat kuparia. Koska tässä tutkimuksessa todettiin bariumpitoisuuksien korreloivan kuparipitoisuuksien kanssa, barium ja kupari ovat todennäköisesti liikenneperäisiä. Bariumin ja kuparin kokojakaumat eivät kuitenkaan muistuttaneet toisiaan, joten Ba- ja Cu-hiukkasten muodostumismekanismit poikkeavat toisistaan. Pienhiukkasten keskimääräinen antimonipitoisuus oli Vallilassa kaksinkertainen Luukkiin verrattuna. Alle yhden mikrometrin hiukkasissa antimonipitoisuudet olivat Vallilassa selvästi korkeammat lähellä maanpintaa (3,5 m) kuin 20 m korkeudella (julkaisu B). Lisäksi antimonipitoisuudet korreloivat barium- ja kuparipitoisuuksien kanssa. Antimonia on aiemmin jopa ehdotettu liikenteen merkkiaineeksi (Huang ym., 1994), joten Vallilassa antimoni lienee liikenteestä peräisin. Myös katupölyssä oli kohtalaisen paljon antimonia ja lyijyä (katso s. 28 "Katupöly").

Luukki

Luukissa kuparin korkeimmat pitoisuudet olivat viisinkertaisia Vallilaan nähden, mutta mediaanipitoisuudet olivat selvästi Vallilaa alhaisemmat. YTV:n tekemässä tutkimuksessa havaittiin Juvanmalmilla ja Juvanpuistossa korkeampia (3 - 4 -kertaisia) kuparipitoisuuksia kuin liikenneympäristössä Leppävaarassa. Juvanmalmi sijaitsee noin 5 km:n etäisyydellä Luukista, joten yhtäläisten koetulosten perusteella Luukin korkeat kuparipitoisuudet voisivat olla peräisin samoista lähteistä kuin Juvanmalmin teollisuusalueella havaittu kupari.

ISOJEN HIUKKASTEN PÄÄSTÖLÄHTEIDEN ARVIOINTI

Sekä VI- että BLPI-näytteissä isojen hiukkasten alkuaine- ja ionipitoisuudet olivat suurimmaksi osaksi Vallilassa Luukkia korkeammat. Vallilan isojen hiukkasten natrium-, nitraatti-, sulfaatti-, malonaatti-, oksalaatti- ja kloridipitoisuudet korreloivat Luukin vastaavien pitoisuuksien kanssa ($0,80 < R < 0,95$). Na:n ja Cl:n esiintyminen tässä ryhmässä viittaa merisuolaan. Kuitenkin Luukista oli enimmillään vain 17 isojen hiukkasten näytettä, joten tulos on vain suuntaa antava. Vallilassa isojen hiukkasten malonaatti-, sukkinnaatti ja oksalaattipitoisuudet olivat korkeimmillaan kesäisin. Na⁺- ja Cl⁻-pitoisuudet puolestaan olivat korkeimmat talvisin.

Vallilassa PM_{2,3-15}-, Al-, Ba-, Ca-, Fe-, K-, Li-, Mg-, Mn-, Sr-, Th-, Ti- ja U-pitoisuudet korreloivat keskenään. Myös Luukissa isojen hiukkasten Al-, Ba-, Fe-, Mn-, Mn-, Sr-, Ti- ja U-pitoisuudet vaihtelivat keskenään samankaltaisesti sekä osittain myös PM_{2,3-15}- ja Mg-pitoisuuksien kanssa. Näiden hiukkasten ja alkuaineiden pääasiallinen lähde on katupöly ja maaperän kiviaines (resuspensio).

Pitoisuudet Vallilan PM₁₋₁₅-hiukkasissa 3,5 m ja 20 m korkeudella

Kesäkuussa 1997 Vallilassa tehdyssä tutkimuksessa pyrittiin siihen, että pienet hiukkaset sisältäisivät vain vähän katupölyhiukkasia, joten pienten ja isojen hiukkasten väliseksi rajaksi valittiin 1 m (julkaisu B). Isojen hiukkasten (PM₁₋₁₅) mittauksissa hiukkasmassan ja melkein kaikkien kemiallisten komponenttien keskiarvopitoisuudet olivat selvästi korkeammat alemmassa mittauspisteessä. Kuitenkin Co:n, Ni:n, Se:n, nitraatin, sulfaatin, oksalaatin, malonaatin, sukkinnaatin, glutaraatin, ammoniumin, K⁺:n, Mg²⁺:n ja Na⁺:n pitoisuudet olivat ylempässä mittauspisteessä hieman korkeammat tai samaa tasoa kuin katutasolla. Koska isot hiukkaset eivät yleensä kulkeudu pitkiä matkoja, täytyy näillä komponenteilla olla joitain paikallisia korkealla sijaitsevia isojen hiukkasten lähteitä. Ni:n ja Co:n isojen hiukkasten lähde lienee paikallinen raskaan polttoöljyn poltto. Vanadiinipitoisuus oli korkeampi alemmassa mittauspisteessä todennäköisesti siksi, että maaperän kiteinen aines (katupölyn merkittävin komponentti) sisältää merkittäviä määriä vanadiinia. Na⁺:n ja Mg²⁺:n korkeammat pitoisuudet 20 m:ssä viittaavat selvästi merisuolaan, koska ylhäältä tuleva merisuolalaskema vähenee deposition vaikutuksesta (depositio puihin ja rakennusten katoille ja seiniin) ennen kuin se saavuttaa katutasoa.

Kaasumaisten dihapponen, typpihapon ja rikkidioksidin tiedetään reagoivan merisuolan kanssa, mikä selittäisi osan dihapponien, nitraatin ja sulfaatin kohtalaisen korkeista pitoisuuksista 20 m:ssä. Sen sijaan kloridilla näyttäisi olevan jokin lähde lähellä alemmaa mittauspistettä.

Ammoniumin ja sulfaatin suhteellisen korkea pitoisuus ylemmässä mittauspisteessä voisi osittain johtua siitä, että osa pienhiukkasten sisältämästä ammoniumsulfaatista on yli 1 m hiukkasissa. K⁺-ioneja tulee kivihiilen poltosta (Lucey et al., 2001), mikä voisi selittää samankaltaiset pitoisuudet 3,5 m ja 20 m korkeuksilla.

Maaperästä lähtöisin olevien alkuaineiden (Ba, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Sb, Ti ja U) pitoisuudet olivat odotetusti korkeammat katutasolla kuin kattotasolla. Molemmilla mittauskorkeuksilla PM₁₋₁₅-hiukkasten Al:n, Ca:n, Fe:n, Li:n, Mg:n, Mn:n, Rb:n, Ti:n ja U:n kokojakaumat olivat keskenään samanmuotoiset (R > 0,90), mikä vahvistaa arviota, että näiden alkuaineiden pääasiallinen lähde on katupöly ja maaperä.

Alemmassa mittauspisteessä isojen hiukkasten Ba-, Cu-, Mo-, Pb- ja Sb-kokojakaumat muistuttivat toisiinsa ja pitoisuudet korreloivat keskenään. Onkin todennäköistä että näillä alkuaineilla on katupölyn lisäksi joku toinenkin yhteinen isojen hiukkasten lähde. Pienhiukkasten Ba-, Cu-, Pb- ja Sb -pitoisuudet on yhdistetty liikenteeseen, joten myös isojen hiukkasten eräänä Ba-, Cu-, Mo-, Pb- ja Sb -lähteenä saattaisi olla liikenne.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän hankkeen (MOBILE M2T9904) aikana analysoitiin MOBILE 225T -projektin aikana kerätyn mittausaineiston yksityiskohtia. Vallilan ja Luukin pienhiukkaspitoisuudet (PM_{2,3}) korreloivat keskenään. Eniten pienhiukkaspitoisuuksiin vaikuttivat kaukokulkeuma ja sääolosuhteet. Vallilassa pienhiukkasten massasta (11,8 g/m³)hieman vajaat puolet (45 %) oli peräisin paikallisista päästölähteistä, mutta Luukissa (8,4 g/m³)paikallisten lähteiden osuus arvioitiin huomattavasti pienemmäksi (33 %). Kaukokulkeumalla katsottiin olevan vain pieni merkitys isojen hiukkasten pitoisuuksissa.

Ammonium, metaanisulfonihappoanioni ja sulfaatti esiintyivät pääosin pienissä hiukkasissa. Vastaavasti suurin osa alumiinista, bariumista, kalsiumista, raudasta, kaliumista, magnesiumista, strontiumista, toriumista, titaanista ja uraanista esiintyi isoissa hiukkasissa.

Vallilan ja Luukin pienhiukkaset koostuivat samoista pääkomponenteista: sulfaatista (Vallilassa 21 % ja Luukissa 25 %), nitraatista (Vallilassa 12 % ja Luukissa 11 %), maaperän kiteisistä aineksista (Vallilassa 12 % ja Luukissa 11 %) sekä ammoniumista (Vallilassa 9 % ja Luukissa 10 %). Merkittävä osa pienhiukkasmassasta oli kuitenkin tuntematonta ainesta (Vallilassa 43 % ja Luukissa 39 %), jonka arvioitiin koostuvan pääasiassa hiiliyhdisteistä ja osittain vedestä. Useiden alkuaineiden ja ionien keskimääräiset pitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa Vallilan ja Luukin pienhiukkasissa.

Pienhiukkasten sulfaatti, ammonium, metaanisulfonihappoanioni, orgaaniset dihapoanionit, arseeni, kadmium, lyijy ja tallium olivat lähes kokonaan tai suurimmaksi osaksi kaukokulkeutunutta. Vallilassa pääosa nikkelistä ja vanadiinista sekä osa koboltista ja molybdeenistä oli peräisin paikallisesta öljynpoltosta. Tärkeimmät pienhiukkasten paikalliset kadmium-, lyijy- ja arseenilähteet lienevät Vallilassa liikenne ja hiilenpoltto. Mustan hiilen pitoisuudet vaihtelivat liikenteen rytmin mukaisesti. Paikallisen liikenteen arvioitiin tuottavan keskimäärin 63 % (0,94 g/m³) arkipäivinä mitatusta mustasta hiilestä. Mustan hiilen kaukokulkeuma vaihteli voimakkaasti riippuen lähdealueista ja oli keskimäärin 0,4 g/m³.

Isot hiukkaset ja niiden sisältämä Al, Ba, Ca, Fe, K, Li, Mg, Mn, Sr, Th, Ti ja U olivat peräisin katupöly- ja maaperähiukkasista. Lisäksi bariumilla, kuparilla, molybdeenillä, lyijyllä ja antimonilla todettiin Vallilassa maaperän lisäksi jokin muu lähde, todennäköisimmin liikenne.

Tässä tutkimuksessa on tuotettu tietoa hiukkasten ja niiden sisältämien komponenttien mahdollisista päästölähteistä. Jatkossa on tarpeellista tarkentaa näiden päästölähteiden arviointia. Vuosina 2000 - 2001 Vallilassa toteutettavat orgaanisen ja epäorgaanisen hiilen pitoisuusmittaukset tuovat merkittävää lisätietoa pääkaupunkiseudun hiukkasten koostumuksesta.

KIITOKSET

Tekijät kiittävät kaikkia henkilöitä, jotka ovat avustaneet mittauslaitteiden asennuksessa ja mittausten tekemisessä. Erityiskiitokset Annikka Sinkkoselle (YTV), joka on muokannut tämän loppuraportin ulkoasun. Kiitokset Liikenneministeriölle, Ympäristöministeriölle, sekä TEKESin MOBILE -, MOBILE2 - ja SIHTI2 -ohjelmille, jotka ovat toimineet tämän tutkimuksen rahoittajina.

VIITTEET

TÄSSÄ PROJEKTISSA TUOTETUT JULKAISUT:

- A) Pakkanen T., Loukkola K., Korhonen C., Aurela M., Mäkelä T., Hillamo R., Aarnio P., Koskentalo T., Kousa A. and Maenhaut W.: Sources and chemical composition of atmospheric fine and coarse particles in the Helsinki area. (*Atmospheric Environment*, in press)
- B) Pakkanen T., Loukkola K., Kerminen V.-M., Hillamo R., Aarnio P., Koskentalo T. and Maenhaut W.: Urban atmospheric particles at street and roof levels in Helsinki. (to be submitted)
- C) Kerminen V.-M., Ojanen C., Pakkanen T., Hillamo R., Aurela M. and Meriläinen J. (2000) Low-molecular-weight dicarboxylic acids in an urban and rural atmosphere. *J. Aerosol Sci.* 31, 349-362
- D) Pakkanen T., Kerminen V.-M., Ojanen C., Hillamo R., Aarnio P. and Koskentalo T. (2000) Atmospheric black carbon in Helsinki. *Atmospheric Environment* 34, 1497-1506.
- E) Pakkanen T., Kerminen V.-M., Korhonen C., Hillamo R., Aarnio P., Koskentalo T. and Maenhaut W. (2001) Urban and rural ultrafine (PM_{0.1}) particles in the Helsinki area. *Atmospheric Environment* 35, 4593-4607.
- F) Pakkanen T., Kerminen V.-M., Korhonen C., Hillamo R., Aarnio P., Koskentalo T. and Maenhaut W. (2001) Use of atmospheric elemental size distributions in estimating aerosol sources in the Helsinki area. (*Atmospheric Environment*, in press).
- G) MOBILE 225T -loppuraportti: Ojanen C., Pakkanen T., Aurela M., Mäkelä T., Meriläinen J., Hillamo R., Aarnio P., Koskentalo T., Hämekoski K., Rantanen L. ja Lappi, M. (1998) Hengitettävien hiukkasten kokojakauma, koostumus ja lähteet pääkaupunkiseudulla. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1998: 7. Pääkaupunkiseudun yhteistyö-valtuuskunta (YTV), Helsinki 1998.
- H) Pakkanen T., Kerminen V.-M., Hillamo R., Aarnio P. and Koskentalo T. Size-segregative measurements of atmospheric particulate ions in the Helsinki area. (to be submitted)

MUUT VIITTEET:

- Aarnio P., Koskentalo T., Hämekoski K. (1997) Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 1996 + liiteosa. *PJS C* 1997:6
- Aarnio P., Koskentalo T., Hämekoski K. (1998) Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 1997 + liiteosa. *PJS C* 1998:1
- Berner A. and Lürzer C., 1980. Mass size distributions of traffic aerosols at Vienna. *Journal of Physical Chemistry* 84, 2079-2083.
- Brook J.R., Dann T.F. and Burnett R.T. (1997) The relationship among TSP, PM₁₀, PM_{2.5} and inorganic constituents of atmospheric particulate matter at multiple Canadian locations. *J. Air & Waste Manage. Assoc.* 47, 2-19.
- Hansen A.D.A., Rosen H. and Novakov T. (1982) Real-time measurement of the absorption coefficient of aerosol particles. *Appl. Opt.* 21, 3060-3062.
- Hillamo R.E. and Kauppinen E.I., 1991. On the performance of the Berner low-pressure impactor. *Aerosol Science and Technology* 14, 33-47.

- Huang X., Olmez I., Aras N.K. and Gordon G.E. (1994) Emissions of trace elements from motor vehicles: potential marker elements and source composition profile. *Atmospheric Environment* 28, 1385-1391.
- Liu B.Y.H and Pui D.Y.H (1981) Aerosol sampling inlets and inhalable particles. *Atmos. Environ.* 15, 589-600.
- Loo B.W. and Cork C.P., 1988. Development of high efficiency virtual impactors. *Aerosol Science and Technology* 9, 167-176.
- Lucey D., Hadjiiski L., Hopke P.K., Scudlark J.R. and Church T. (2001) Identification of sources of pollutants in precipitation measured at the mid-Atlantic US coast using potential source contribution function (PSCF). *Atmos. Environ.* 35, 3979-3986.
- Kauppinen E.I. ja Pakkanen T.A. (1990) Coal combustion aerosols: a field study. *Environmental Science & Technology* 24, 1811-1818.
- McInnes L.M., Quinn P.K., Covert D.S. and Anderson T.L. (1996) Gravimetric analysis, ionic composition, and associated water mass of the marine aerosol. *Atmos. Environ.* 30, 869-884.
- Pohjola V., Hahkala M. and Häsänen E. (1983) Emission inventory of coal, peat and oil-fired power plants (in Finnish). Technical Research Centre of Finland, Research Reports 231. (125 p. + app. 131 p.).
- Salonen R.O., 1998. Liikenteen hiukkaspäästöt ja terveys Suomessa. *Ympäristö ja terveys -lehti* 29 (9-10), 59 - 61.
- Valkama I. and Salonoja M., 1995. Experimentation with the Finnish long-range trajectory and dispersion model (TRADOS). In: Anttila P. et al. (eds.), *Proceedings of the 10th World Clean Air Congress*, Espoo, May 28 - June 2, 1995, FAPPS, Vol. 2, paper 308, 4 p.
- Wolfenbarger J.K. and Seinfeld J.H. (1990) Inversion of aerosol size distribution data. *J. Aerosol Sci.* 21, 227-247.

VUOSIEN 1996 - 1997 HIUKKASPÄÄSTÖJÄ

Hiukkaspäästöjä syntyy pistelähteistä, pintalähteistä ja liikenteestä. Pistelähteitä ovat mm. suu-
rehkot teollisuus- ja energialaitokset. Niiden ympäristövaikutuksia seurataan mm. ympäristölupa-
järjestelmän kautta. Pintalähteillä tarkoitetaan pieniä päästölähteitä kuten pienpolttoja, talokoh-
taista lämmitystä sekä pientä ja keskisuurta teollisuutta. Liikenteen päästöjä muodostuu auto-,
laiva-, juna- ja ilmailuliikenteestä sekä työkoneista.

Merkittävimmät ilman epäpuhtauksien päästölähteet pääkaupunkiseudulla ovat energiantuotanto
ja liikenne. Taulukkoon 1 on koottu eräitä pääkaupunkiseudun suurimpia päästölähteitä (vuodet
1996 ja 1997).

<i>Paikalliset päästölähteet hiukkasia t/a (YTV vuosiraportti 1996 ja 1997)</i>				
	1996		1997	
	t	%	t	%
Energialaitokset	900	48	1100	55
Muut pistelähteet	80	4	50	3
Pintalähteet	60	3	60	3
Autoliikenne	800	42	720	37
Lento- ja laivaliikenne	50	3	40	2
Yhteensä	1900	100	1900	100

Uudenmaan suurimmat päästöjen aiheuttajat ovat Fortum Oil and Gas Oy:n Porvoon laitokset
sekä pääkaupunkiseudun energialaitokset. Niiden osuus esimerkiksi vuoden 1999 hiukkaspääs-
töistä edustaa 88 % ilmalupavollisten laitosten aiheuttamista päästöistä. Koko maan teollisuu-
den ja energiantuotannon hiukkaspäästöistä Uudenmaan osuudet ovat vain 10 %. (UYKE tiedote
55/2000).

Vuonna 1996 esiintyneet päästöhuiput johtuivat suurelta osin Inkoon voimalaitoksesta (Fortum
Power and Heat Oy), jota jouduttiin käyttämään kun sähkövoiman osto oli tavallista vähäisempää.
(UYKE tiedote 55/2000).

<i>Hiukkaset t/a</i>	1996	1997
Helsingin Energia	708	793
Espoon Sähkö	135	239
Vantaan Energia	54	32
Fortum Oil and Gas Oy	620	623
Porvoon laitokset		
Fortum Power and Heat Oy		
Inkoon voimalaitos	134	25
Fortum Power and Heat Oy		
Kirkniemen voimalaitos	92	90

LUETTELO KUVISTA JA TAULUKOISTA

Kuva 1.	YTV:n mittausverkosto	s. 2
Kuva 2.	kokonaishiukkasten (PM_{15}) massapitoisuus Vallilassa ja Luukissa (VI-mittaus)	s. 5
Kuva 3.	Keskimääräinen hiukkaskokojakauma Vallilassa ja Luukissa	s. 6
Kuva 4 a-j.	Vallilan ja Luukin hiukkaskokojakaumat yksittäisissä näytteissä	s. 7
Kuva 5.	Pienhiukkasten ($PM_{2,3}$) massapitoisuudet Vallilassa ja Luukissa	s. 8
Kuva 6.	Isojen hiukkasten ($PM_{2,3-15}$) massapitoisuudet Vallilassa ja Luukissa	s. 9
Kuva 7 a-j.	Eräiden terveydellisiin haittoihin yhdistettyjen komponenttien keskimääräiset kokojakaumat	s.13
Kuva 8 a-f.	Pienten, isojen ja kokonaishiukkasten keskimääräinen koostumus Vallilassa ja Luukissa	s. 20
Kuva 9a . ja 9b.	Pienhiukkasten keskimääräinen koostumus vuodenajoittain Vallilassa ja Luukissa, sekä Vallilan isojen ja PM_{15} -hiukkasten keskim. koostumukset vuodenajoittain	s. 21 s. 22
Kuva 10.	Mustan hiilen tuntikeskiarvot Vallilassa	s. 26
Taulukko 1.	Eri analyysimenetelmillä määritetyt komponentit	s. 3
Taulukko 2.	BLPI-näytteiden ja rinnakkaisten VI-näytteiden hiukkaspitoisuudet	s. 5
Taulukko 3.	Pienhiukkasten kemiallisten komponenttien pitoisuuksien suhde BLPI- ja VI-näytteissä, sekä BLPI-näytteiden alkuaine- ja ionipitoisuuksien suhde mittausasemien välillä	s. 10
Taulukko 4.	Pienhiukkasten ($PM_{2,3}$) alkuainepitoisuuksia Vallilassa ja Luukissa	s. 14
Taulukko 5.	Pienhiukkasten ($PM_{2,3}$) ionipitoisuuksia sekä hiukkasmassa ja mustan hiilen pitoisuudet Vallilassa ja Luukissa	s. 15
Taulukko 6.	Isojen hiukkasten ($PM_{2,3-15}$) alkuainepitoisuuksia Vallilassa ja Luukissa	s. 16
Taulukko 7.	Isojen hiukkasten ($PM_{2,3-15}$) ionipitoisuuksia sekä hiukkasmassa ja mustan hiilen pitoisuudet Vallilassa ja Luukissa	s. 17
Taulukko 8.	Useimmin esiintyneet samankaltaiset akkumulaatiomoodit eri komponenttien välillä	s. 24
Taulukko 9.	Vallilan ja Luukin korkeimmat korrelaatiot hiukkasmassa-, alkuaine- ja ionipitoisuuksien vaihteluiden välillä (VI-mittaus)	s. 27

Projektin koodi

M2T9904

Projektin nimi

Hengitettävien hiukkasten kokojakauma, koostumus ja lähteet pääkaupunkiseudulla -jatkotutkimukset

Vastuuorganisaatio

Ilmatieteen laitos

Projektin vastuhenkilö

Tuomo Pakkanen

Projektin yhteyshenkilö

Tuomo Pakkanen

Osoite

Ilmatieteen laitos, Sahaajankatu 20 E, 00810 Helsinki

Puhelinnumero

09 - 19295505

Telefax

09 - 19295403

Sähköpostiosoite

tuomo.pakkanen@fmi.fi

Muut tahot:

Organisaatio

YTV

Yhteyshenkilö

Päivi Aarnio

Puhelinnumero

09 - 1561222

Sähköpostiosoite

paivi.aarnio@ytv.fi

Hankkeen alkamisaika

1.2.1999

Hankkeen suunniteltu kesto

25 kk

Hankkeen päättymisaika

28.2.2001

Projektin rahoitus (kmk)

Organisaatio	1999	2000	2001	2002	Yhteensä
MOBILE2-rahoitus	150	175			325
Muu rahoitus eriteltyinä					
Ilmatieteen laitos	60	191			251
YTV	100	50			150
Yhteensä	310	416			726

Hankkeen tavoite

Tavoitteena oli tutkia edellisessä hankkeessa (MOBILE 225T) kerätyn mittausaineiston yksityiskohtia, kuten

- mustan hiilen pitoisuuksiin vaikuttavia tekijöitä
- hiukkaskokojakaumiin vaikuttavia tekijöitä
- kemiallisten komponenttien kokojakaumien samankaltaisuuksia
- vuorovaikutuksia kaasujen ja hiukkasten välillä
- paikallisia päästölähteitä
- paikallisten päästöjen ja kaukokulkeuman osuuksia mitatuista pitoisuuksista
- paikallisten päästöjen leviämistä
- ultrapienien hiukkasten ominaisuuksia

Projektin julkaisu-uettelo

Ojanen C., Pakkanen T., Aurela M., Mäkelä T., Meriläinen J., Hillamo R., Aarnio P., Koskentalo T., Häme Koski K., Rantanen L. ja Lappi M. (1998) Hengitettävien hiukkasten kokojakauma, koostumus ja lähteet pääkaupunkiseudulla. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1998:7. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta (YTV), Helsinki 1998.

Pakkanen T., Kerminen V.-M., Ojanen C., Hillamo R., Aarnio P. and Koskentalo T. (2000) Atmospheric black carbon in Helsinki. Atmos. Environ. 34, 1497-1506.

Kerminen V.-M., Ojanen C., Pakkanen T., Hillamo R., Aurela M. and Meriläinen J. (2000) Low-molecularweight dicarboxylic acids in an urban and rural atmosphere. J. Aerosol Sci. 31, 349-362.

Pakkanen T., Kerminen V.-M., Korhonen C., Hillamo R., Aarnio P., Koskentalo T. and Maenhaut W. (2001) Urban and rural ultrafine (PM_{0.1}) particles in the Helsinki area. Atmospheric Environment 35, 4593-4607.

Pakkanen T., Kerminen V.-M., Korhonen C., Hillamo R., Aarnio P., Koskentalo T. and Maenhaut W. (2001) Use atmospheric elemental size distributions in estimating aerosol sources in the Helsinki area. (Atmospheric Environment, in press).

Pakkanen T., Loukkola K., Korhonen C., Aurela M., Mäkelä T., Hillamo R., Aarnio P., Koskentalo T., Kousa A. and Maenhaut W. Sources and chemical composition of atmospheric fine and coarse particles in the Helsinki area. (Atmospheric Environment, in press).

Pakkanen T., Loukkola K., Kerminen V.-M., Hillamo R., Aarnio P., Koskentalo T. and Maenhaut W. Urban atmospheric particles at street and roof levels in Helsinki. (to be submitted)

Pakkanen T., Kerminen V.-M., Hillamo R., Aarnio P. and Koskentalo T. Size-segregative measurements of atmospheric particulate ions in the Helsinki area. (to be submitted)

Pakkanen., Loukkola K., Hillamo R., Aarnio P. ja Koskentalo T. (2001) Hengitettävien hiukkasten kokojakauma, koostumus ja lähteet pääkaupunkiseudulla - jatkotutkimukset. Mobile² -loppuraportti. (YTV:n julkaisusarja)

Seminaarit

(Seminaarit ja konferenssit joissa projektia on esitelty, ml. MOBILE²-seminaarit)

European Aerosol Conference, Prague, Czech Republic, 6-10 September, 1999.

European Aerosol Conference, Dublin, Republic of Ireland, 3-8 September 2000.

MOBILE² seminaari, 9.-10.10.2000.

Opinnäytteet hankkeeseen liittyen

Patentit hankkeeseen liittyen



PÄÄKAUPUNKISEUDUN
YHTEISTYÖVALTUUSKUNTA

Joukkoliikenteen
Reittiopas

JÄTE-
BENCHMARKING

UUTISET

LIIKENNE

› aikataulut

› matkakortti

JÄTEHUOLTO

ILMANSUOJELU

› ilmanlaatu nyt

SEUTUKEHITYS

SEUTUTIEDOT



NETROPOLI-
KESKUSTELU

MIKÄ ON YTV ?

YHTEYSTIEDOT

JULKAISUT

HAKU

PALAUTE

PÅ SVENSKA

IN ENGLISH

[▶ IN ENGLISH](#) [▶ PÅ SVENSKA](#)

UUTISET

LIIKENNE

> *aikataulut*

> *matkakortti*

JÄTEHUOLTO

ILMANSUOJELU

> *ilmanlaatu nyt*

SEUTUKEHITYS

SEUTUTIEDOT

MIKÄ ON YTV ?

YHTEYSTIEDOT

JULKAISUT

HAKU

PALAUTE

ETUSIVULLE

PÅ SVENSKA

IN ENGLISH

▶ [ILMANLAATU NYT](#) Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla, Tampereella, Turussa jne.

Pääkaupunkiseudun tiedot myös puh. 1561 350

▶ [UUTISET](#) Tiedotteita ilmanlaadusta ja ilmansuojelutoiminnasta

▶ [TUTKIMUKSIA JA SELVITYKSIÄ](#) Tutkimuksen painopistealoja ovat hiukkasten ominaisuudet ja vaikutukset, epäpuhtauksien leviäminen ja niille altistumisen arviointi.

▶ [LAAJA KATSAUS](#) Perustietoa päästöistä, pitoisuuksista ja trendeistä

▶ [AINEISTOLUETTELO](#) Ilmansuojelun julkaisuja, esitteitä jne.

▶ [HENKILÖSTÖ](#) Ympäristötoimiston työntekijät

▶ [LINKIT](#) Alan linkkejä ja tiedonhaun välineitä



Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta,
ympäristötoimisto
PL 521, 00521 Helsinki (käynti: Opastinsilta 8 E)
Puh. (09) 156 11, fax. (09) 1561 334
Sähköposti toimistolle ymt@ytv.fi
(henkilöiden osoite on muotoa etunimi.sukunimi@ytv.fi)



AIR QUALITY MANAGEMENT

HELSINKI METROPOLITAN AREA COUNCIL

NEWS

[SUOMEKSI](#) [PÅ SVENSKA](#)

TRANSPORT

> *timetables*

> *travel card*

WASTE
MANAGEMENT

AIR QUALITY
MANAGEMENT

> *air quality now*

DEVELOPMENT
PLANNING

DATA SERVICE

ABOUT YTV

CONTACT INFO

PUBLICATIONS

SEARCH

FEEDBACK

HOME PAGE

IN SWEDISH

IN FINNISH

Helsinki Metropolitan Area Council (YTV) is responsible for the waste management, public transportation, development planning and environmental tasks that are joint for the metropolitan area, i.e. the cities of Helsinki, Espoo, Kauniainen and Vantaa.

YTV Environmental Office takes care of air quality monitoring as well as the planning, research, and education of air quality management.

Look for more information in:

[Air Quality Index](#) (in Finnish)

[Air Quality Components](#)

[Research](#)

Recently published:

[Concentrations, Emissions and Trends report](#)

([PDF format](#), size about 2 Mb)

[Air Quality Management brochure](#)

([PDF format](#), size about 0,6 Mb)

[The Impacts of Climate Change in the Helsinki Metropolitan Area](#)

([PDF format](#), size about 0,7 Mb)

We'd like to hear from You, please contact:

Päivi Aarnio (head of research)

Tarja Koskentalo (air quality monitoring)

(email: firstname.surname@ytv.fi)

YTV Helsinki Metropolitan Area Council
PO BOX 521 (Opastinsilta 8 E)
FIN-00521 HELSINKI, Finland
tel +358 9 15611, fax +35891561334

YTV logo

[[AirQualityManagement](#)]

Air Quality Research

In air quality research we focus on particulate matter and nitrogen oxides, which at the present are the most problematic air pollutants in the Helsinki metropolitan area. Health effects, sources, composition, and size distribution of particulate matter are our main interests in particulate matter studies.

Other topics of research, worth mentioning, are dispersion of and exposure to different pollutants. In all our air quality research activities we have extensive co-operation with research institutes and cities at both the national and international level. Our main partners in Finland are the Finnish Meteorological Institute, National Public Health Institute, Technical Research Centre of Finland and universities.

Air quality management software, database and Web server has been installed in May 2001, see [system.html](#) . Data acquisition software is currently under development ([Tarja Koskentalo](#) will tell more about it). It is expected that by the spring of 2002 everything is ready and fully working, as all the necessary data is stored, models are in use, air quality and indices data are presented on hourly basis etc. [Maria Myllynen](#) and [Anu Kousa](#) will answer questions about data and models.

[Päivi Aarnio](#)

YTV Helsinki Metropolitan Area Council

[Environmental Office](#)

PO BOX 521 (Opastinsilta 8 E)

FIN-00521 HELSINKI, Finland

tel +358 9 15611, fax +35891561334

[UUTISET](#)[LIIKENNE](#)[> aikataulut](#)[> matkakortti](#)[JÄTEHUOLTO](#)[ILMANSUOJELU](#)[> ilmanlaatu nyt](#)[SEUTUKEHITYS](#)[SEUTUTIEDOT](#)[MIKÄ ON YTV ?](#)[YHTEYSTIEDOT](#)[JULKAISUT](#)[HAKU](#)[PALAUTE](#)[ETUSIVULLE](#)[PÅ SVENSKA](#)[IN ENGLISH](#)

YTV:N YLEISET YHTEYSTIEDOT

Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta YTV

Käyntiosoite: Opastinsilta 6 A, 00520 Helsinki

Postiosoite: PL 521, 00521 Helsinki

Puh. (09) 156 11, faksi (09) 156 1369

ytv@ytv.fi

▶ [KULKUYHTEYDET](#)

TULOSALUEITTEN YHTEYSTIETOSIVUT

▶ [ILMANSUOJELU](#)

▶ [JÄTEHUOLTO](#)

▶ [KEHITYSTOIMISTO](#)

▶ [LIIKENNE](#)

▶ [SEUTUTIEDOT](#)

▶ [JOHTO JA YLEISHALLINTO](#)

LUOTTAMUSHENKILÖT

▶ [HALLITUS](#)

▶ [TARKASTUSLAUTAKUNTA](#)