



Kuva 1. Kuopion lämmitystä 1950-luvulla ja vuonna 2002. Kuvat otettu samasta paikasta.

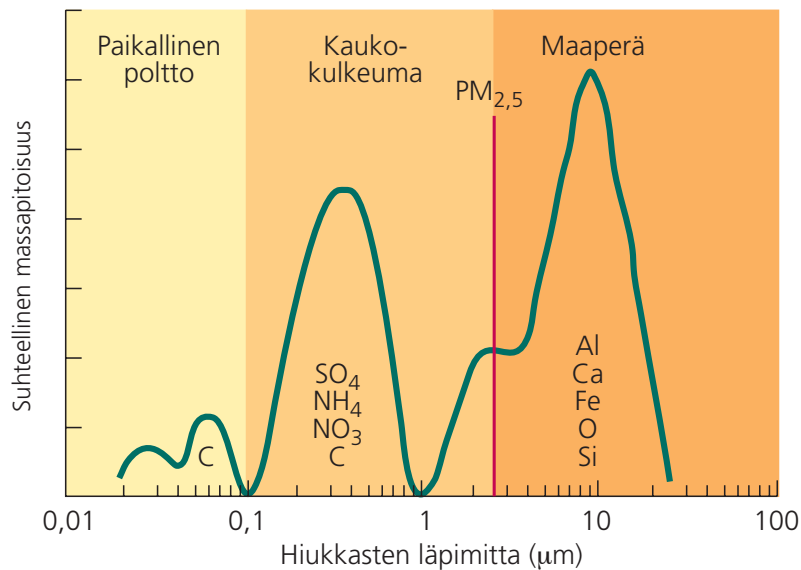
sia syntyy aina palamisessa, kaupunkialueilla erityisesti liikenteessä. Hyvin suurina pitoisuuksina ultrapieniä hiukkasia esiintyy vain lyhyen aikaa, mutta kaupunki-ilmassa esiintymisaika voi olla useita tunteja (Pekkanen ja Kulmala 2004). Ultrapienet hiukkaset muodostavat vain muutaman prosentin pienhiukkasten massasta mutta merkittävän osan pinta-alasta ja käytännössä koko lukumäärän (Pekkanen 2002a, Pekkanen ja Kulmala 2004). Ultrapienet hiukkaset kasvavat akkumulaatiohiukkasiksi, jotka pysyvät ilmakehässä viikkoja. Akkumulaatiohiukkasten keskeinen lähde onkin kaukokulkeuma. Karkeat hiukkaset ovat pääosin maaperän kiviainesta, esimerkkinä liikenteen ja nastarenkaiden asfaltista irrottama pöly ja hiekoitushiekka (kevätpöly).

Ainoastaan alle $10\text{ }\mu\text{m}$:n hiukkaset (PM_{10} , aerodynaaminen läpimitta alle $10\text{ }\mu\text{m}$) pystyvät tunkeutumaan ihmisen ilmateihin, ja EU:ssa säädellään nykyään keskeisesti PM_{10} -hiukkasten pitoisuuksia. Terveystaittojen arvellaan kuitenkin yhdistyvän erityisesti $\text{PM}_{2.5}$ -hiukkasiin (aero-

dynaaminen läpimitta alle $2,5\text{ }\mu\text{m}$) (Brunekreef ja Holgate 2002, WHO 2003). Suomen kaupungeissa tyypillinen PM_{10} -vuosikeskiarvo on noin $20\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$, josta noin puolet on $\text{PM}_{2.5}$ -hiukkasia. Helsingissä kaupunki-ilman $\text{PM}_{2.5}$ -pitoisuudesta runsas puolet muodostuu kaukokulkeumahiukkasista, 10–20 % liikenteessä ja muussa poltossa syntyneistä hiukkasista sekä pieneltä osalta merisuolasta ja hiekkapölystä (Vallius ym. 2003). Suomen pitoisuudet ovat samanveroiset kuin muualla Pohjoismaissa mutta pienemmät kuin muualla Euroopassa (Hoek ym. 1997). Keskimääräiset PM_{10} -tasot ovat Keski-Euroopassa noin $30\text{--}40\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Etelä-Euroopassa vielä suuremmat, Ateenassa lähes $100\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Lyhytaikaisvaikutukset

Lukuisissa aikasarjatutkimuksissa on osoitettu, että ulkoilman hiukkaspitoisuus on yhteydessä lisääntyneeseen sairastuvuuteen ja kuolleisuuteen (Brunekreef ja Holgate 2002, WHO 2003). Ai-



Kuva 2. Kaavio kaupunki-ilman hiukkasten massapitoisuuksista ja niiden lähteistä. Ultrapienet hiukkaset (läpimitta alle 0,1 µm) ovat kemialliselta koostumukseltaan pääosin hiiliyhdisteitä (C), kaukokulkeuma (0,1–1 µm) koostuu rikin (SO₄) ja typen (NO₃) oksideista ja hiiliyhdisteistä (C), ja karkeat hiukkaset (yli 1 µm tai 2,5 µm) ovat maaperän alkuaineita, kuten piitä (Si) ja alumiinia (Al).

kasarjatutkimuksissa verrataan hiukkaspitoisuuden päivittäisen vaihtelun yhteyttä kuolleisuuden päivittäiseen vaihteluun (kuva 3). Tyypillisesti vahvin yhteys on havaittu hengityselinten sairauksiin sekä toisaalta sydän- ja verisuonitauteihin. Hiukkaset aiheuttavat erityisesti astmatikoille ja muille hengitystiesairauksia poteville oireita, huonontavat keuhkojen toimintakykyä ja lisäävät sairaalakäyntejä. Kun ulkoilman päivittäisen pienhiukkaspitoisuuden (PM₁₀) muutos on 10 µg/m³, sen arvioidaan lisäävän päivittäistä kuolleisuutta noin 0,5 % (Katsoyanni ym. 2001, Samet ym. 2000, WHO 2003).

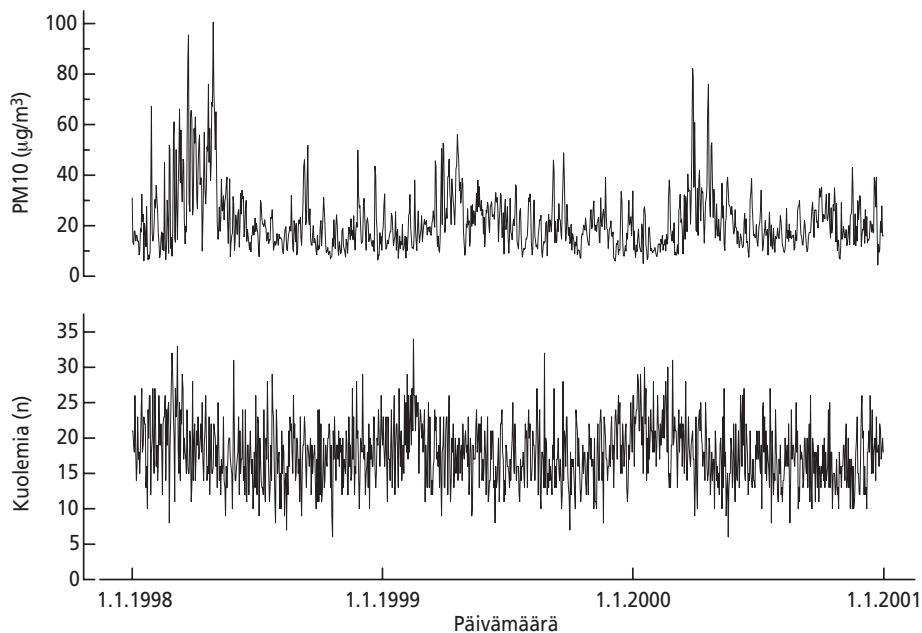
Vastaavia tuloksia on saatu myös Suomesta. Pienhiukkasten yhteys keuhkojen huonontuneeseen toimintakykyyn on havaittu astmaa sairastavilla lapsilla Kuopiossa (Pekkanen ym. 1997, Timonen ja Pekkanen 1997) ja aikuisilla astmatikoilla Helsingissä (Penttinen ym. 2001). Pienhiukkasten on myös todettu lisäävän sepelvaltimotautipotilailla toistetussa raskaus-EKG:ssä ST-välin laskun vaaraa (Pekkanen ym. 2002b) ja olevan yhteydessä sydän- ja verisuonitautien

ja hengityselinsairauksien aiheuttamaan kuolleisuuteen (Pönkä ym. 1998, Penttinen ym. 2004).

Aikasarjatutkimusten tuloksia pidetään hyvin luotettavina, koska ainoastaan tekijät, jotka vaihtelevat päivittäin yhdessä pienhiukkaspitoisuuksien kanssa, voivat sekoittaa tulosta. Tällaisia tekijöitä ovat lähinnä muiden ilmansaasteiden pitoisuudet ja säätila. Keskeinen kritiikki aikasarjatutkimuksia kohtaan on aiemmin liittynyt altistumisen arviointiin eli siihen, kuinka hyvin kaupungin keskustassa sijaitsevan kiinteän mittauspisteen pienhiukkaspitoisuus kuvaa asukkaiden henkilökohtaisen altistumisen päivittäistä vaihtelua. Viimeaikaisissa tutkimuksissa on kuitenkin osoitettu, että tämä yhteys on varsin hyvä erityisesti PM_{2,5}-hiukkasten osalta. Tämä koskee myös Helsinkiä (Janssen ym. 2000).

Pitkäaikaisvaikutukset

Pienhiukkasten terveysvaikutuksista on tehty erittäin suuri määrä aikasarjatutkimuksia eri puolilla maailmaa, mutta ne eivät kerro pien-



Kuva 3. PM10-pitoisuuden ja kuolemien lukumäärän päivittäinen vaihtelu pääkaupunkiseudulla vuosina 1998–2000.

hiukkasten pitkäaikaisesta vaikutuksesta kuolleisuuteen eli vaikutuksesta elinikään. Onhan mahdollista, että pienhiukkasten suuri päiväpitoisuus tappaa ne henkilöt, jotka olisivat joka tapauksessa kuolleet seuraavana päivänä. Uudet analyysit aikasarjatutkimuksista (Dominici ym. 2003) ja tulokset kohorttitutkimuksista eivät kuitenkaan tue tätä ajatusta (WHO 2003).

Ensimmäinen ja parhaiten tehty seuranta-tutkimus oli ns. Six Cities Study, joka suunniteltiin alun pitäen selvittämään hiukkasten terveysvaikutuksia (Dockery ym. 1993). Tutkimuksessa seurattiin 8 111:tä aikuista kuudessa eri kaupungissa. Kaupunkien pienhiukkaspitoisuuksia seurattiin tarkasti ja muut riskitekijät selvitettiin perusteellisesti. Tutkittavien kuolleisuus lisääntyi suorassa suhteessa kaupungin keskimääräisen pienhiukkaspitoisuuden kasvuun (kuva 4). Erityisesti lisääntyi kuolleisuus sydän- ja verisuonitauteihin ja keuhkosityöpään. Tulos on vahvistettu kahdessa muussa yhdysvaltalaisessa tutkimuksessa (Pope ym. 2002, McDonnell ym. 2000). Ensimmäisen eurooppalaisen seuranta-tutkimuksen (Hoek ym. 2002) tulosten mukaan

liikenneperäiset ilmansaasteet lisäsivät kuolleisuutta sydän- ja verisuonitauteihin. Ilmansaasteiden yhteyttä keuhkosityövän ilmaantuvuuteen tukevat monet toksikologiset ja muut epidemiologiset tutkimukset (Cohen 2000).

Hiukkaspitoisuuksien vähentämisen hyödyllisistä vaikutuksista on myös saatu uutta tietoa. Dublinissa Irlannissa siirryttiin öljykriisin seurauksena 1980-luvulla käyttämään yhä enemmän hiiltä kotien lämmitykseen. Vuonna 1990 hiilen käyttö kiellettiin, jolloin Dublinin hiukkaspitoisuudet pienenevät nopeasti ja myös kuolleisuus hengityselinsairauksiin sekä sydän- ja verisuonitauteihin väheni (Clancy ym. 2002). Kaliforniassa havaittiin lasten keuhkojen toiminnan parantuvan heidän muutettauaan vähemmän saastuneille alueille (Avol ym. 2001).

Pienhiukkasten lähteistä terveysvaikutuksiin – avoimia kysymyksiä

Monien mielestä pienhiukkasten terveysvaikutukset liittyvät erityisesti polttoperäisiin hiukkasiin, kuten liikenteestä ja hiilivoimaloista peräi-