



# Väestön altistuminen ilmansaasteille pääkaupunkiseudulla

# **Väestön altistuminen ilmansaasteille pääkaupunkiseudulla**

YTV Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta  
Opastinsilta 6 A  
00520 Helsinki  
Puh. vaihde. (09) 15611  
faksi (09)156 1369  
[www.ytv.fi](http://www.ytv.fi)

Kansikuva: YTV / Hannu Bask

Valopaino Oy  
Helsinki 2007

## Esipuhe

Tämä työ on toteutettu YTV:n ja Ilmatieteen laitoksen yhteistyönä. Se pohjautuu laajempaan tutkimuskokonaisuuteen ”Ilmansaasteiden terveysvaikutukset pääkaupunkiseudun liikennejärjestelmäsuunnitelman vaihtoehtoille”, joka kuului Suomen Akatemian terveyden edistämisen tutkimusohjelmaan vuosina 2001 – 2004. Tutkimuksessa kehitettiin mallijärjestelmää, jonka avulla voidaan arvioida päästöjen leviämistä ja väestön altistumista ilmansaasteille. Lisäksi leviämis- ja altistumismallin lähtötietoja kehitettiin ja päivitettiin projektin kuluessa. Mallilaskelmat tehtiin vuoden 2002 liikenteen typenoksidi- ja pienhiukkaspäästöillä sekä Pääkaupunkiseudun liikennejärjestelmäsuunnitelmassa vuodelle 2025 arvioiduilla päästöillä.

Pääkaupunkiseudun kaupungit ja YTV ovat vuonna 2006 aloittaneet ilmansuojeluohjelmien teon. Hengitettävien hiukkasten ja typpidioksidin raja-arvot ylittyvät paikoin pääkaupunkiseudulla ja ohjelmissa esitettävien toimenpiteiden tavoitteena on parantaa ilmanlaatua siten, että raja-arvot eivät enää ylittyisi. Ohjelmia varten laaditaan uudet leviämislaskelmat pääkaupunkiseudun merkittävimpien päästölähteiden vaikutuksista ilmanlaatuun nyt ja tulevaisuudessa. Laskelmissa otetaan liikenteen lisäksi huomioon nyt myös muiden päästölähteiden vaikutus. Tässä tutkimustyössä kehitettyä mallijärjestelmää ja kerättyä tietämystä käytetään hyväksi ohjelmatyössä.

Tässä tutkimuksessa päätutkijana on toiminut Anu Kousa YTV:stä. Tutkimuksen tekemiseen osallistuivat lisäksi Päivi Aarnio, Tarja Koskentalo, Timo Elolähde, Birgitta Alaviippola YTV:stä sekä Jaakko Kukkonen, Ari Karppinen, Mari Kauhaniemi, Kari Riikonen, Jari Härkönen Ilmatieteen laitokselta. Suuret kiitokset myös monille muille henkilöille, jotka osallistuivat tutkimuksessa käytettyjen erilaisten tietojen tuottamiseen.

Helsingissä 21.3.2007

PÄÄKAUPUNKISEUDUN YHTEISTYÖVALTUUSKUNTA (YTV)  
SEUTU- JA YMPÄRISTÖTIETO

Tietopalvelujohtaja  
Ilmansuojeluryhmän päällikkö

Irma Karjalainen  
Tarja Koskentalo

## Tiivistelmäsiivu

Julkaisija: YTV Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta	
Tekijät: Anu Kousa, Päivi Aarnio, Tarja Koskentalo, Timo Elolähde, Birgitta Alaviippola, Jaakko Kukkonen, Ari Karppinen, Mari Kauhaniemi, Kari Riikonen, Jari Härkönen	Päivämäärä 21.03.2007
Julkaisun nimi: Väestön altistuminen ilmansaasteille pääkaupunkiseudulla	
Rahoittaja / Toimeksiantaja: YTV Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta, Ilmatieteen laitos	
<b>Tiivistelmä</b>	
<p>Ilman epäpuhtauksien terveysvaikutusten arvioimiseksi tarvitaan tietoja altistumisesta. Altistumisen määrään vaikuttavat epäpuhtauden pitoisuus ja ko. pitoisuudessa vietetty aika.</p> <p>Tässä työssä parannettiin aiemmin kehitettyä altistumismallijärjestelmää (EXPAND), joka koostuu useasta osamallista. Altistumisen mallinnuksessa yhdistetään tiedot ilmansaasteiden pitoisuuksista väestön ajankäyttöä ja sijaintia koskeviin tietoihin. Tulokset esitetään karttakuvina, joiden avulla voidaan esim. havainnollistaa ilmanlaadun ja altistumisen kannalta ongelmallisimpia alueita ja ajanjaksoja. Aiempaan versioon tehtiin tässä työssä useita parannuksia. Mallijärjestelmään kehitettiin pienhiukkasten leviämismalli. Lisäksi malliin sisällytettiin kokeelliset kertoimet (nk. I/O-suhde), joiden avulla ulkopitoisuuksien perusteella laskettiin pitoisuudet kodeissa ja työpaikoilla sisällä. Ajankäyttötietoja parannettiin hankkimalla Tilastokeskuksen ajankäyttötutkimuksen tiedot YTV-alueen väestöstä. Altistumisen arvioinnissa otettiin huomioon väestön aktiviteetti henkilö- ja linja-autojen lisäksi junissa, raitiovaunuissa, metrossa ja kevyessä liikenteessä. Lisäksi kehitettiin menetelmiä, joilla arvioidaan muualla kuin kotona, työpaikoilla tai liikenteessä tapahtuvaa altistumista.</p> <p>Mallin sovelluksessa arvioitiin väestön altistumista pienhiukkasille (PM<sub>2,5</sub>) ja typpidioksidille (NO<sub>2</sub>). Pitoisuuksien mallinnuksessa otettiin huomioon autoliikenteen suorat ja epäsuorat päästöt, pienhiukkasten kaukokulkeuma ja otsonin sekä typpidioksidin taustapitoisuudet. Sen sijaan esim. energiantuotannon, satamien, pienpolton ym. päästöt eivät ole mukana laskelmissa. Altistumislaskelmat tehtiin vuodelle 2002 ja Pääkaupunkiseudun liikennejärjestelmäsuunnitelman (PLJ2002) skenaariovuodelle 2025.</p> <p>Leviämismallilla laskettu typpidioksidin vuosikeskiarvo ylitti vuonna 2002 raja-arvon vilkkaimmin liikennöityjen väylien varrella. Vuoteen 2025 mennessä pitoisuudet laskevat mallin perusteella huomattavasti eikä raja-arvojen ylityksiä enää esiintyisi. Leviämismallilla lasketut pienhiukkasten pitoisuudet jäivät vuonna 2002 alle EU:n ehdottaman vuosiraja-arvon. Sen sijaan pitoisuudet ylittivät WHO:n edellä mainittua huomattavasti tiukemman ohjearvon paikoittain vilkkaasti liikennöidyissä ympäristöissä.</p> <p>Tässä tutkimuksessa työ painottui altistumismallin kehittämiseen sekä lähtötietojen arviointiin ja parantamiseen. Mallin tuloksia on esitelty esimerkikuvissa, joissa on kuvattu väestön altistuminen typpidioksidille ja pienhiukkasille ”tyypillisenä” talvipäivänä sekä inversiotilanteessa aamuruuhkatunnin aikana. Inversiotilanteessa ilmansaasteiden sekoittuminen ja laimeneminen on heikkoa ja pitoisuudet siten tavanomaista korkeampia</p> <p>Altistuminen oli suurinta Helsingin keskustassa, vilkkaasti liikennöityjen väylien varrella sekä liikennevälineissä. Esimerkiksi, yli 40 µg/m<sup>3</sup>:n typpidioksidipitoisuuksille altistui inversiopäivänä lähes kaksinkertainen määrä työkäisistä ”tyypilliseen” talvipäivään verrattuna. Väestön altistuminen on huomattavasti vähäisempää vuonna 2025 kuin 2002. Tämä johtuu siitä, että liikenteen suorien päästöjen on oletettu pienenevän huomattavasti vuoteen 2025 mennessä.</p> <p>EXPAND-mallilla voidaan täydentää mittausten ja leviämismallien tuottamaa tietämystä ilmanlaadusta ja sen vaikutuksista. Sen avulla voidaan havainnollistaa karttapohjalla ilmanlaadun kannalta ongelmallisia alueita.</p>	
Avainsanat: Altistuminen, leviämismallit, kaupunki-ilman laatu, pienhiukkaset, typpidioksidi	
Sarjan nimi ja numero: Pääkaupunkiseudun julkaisusarja 4/2007	
ISSN: 1796-6965	ISBN: 978-951-798-625-0
Sivuja: 42	Kieli: suomi
YTV Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta PL 521, 00521 Helsinki, puhelin (09) 156 11, faksi (09) 156 1369	



## Sammandragssida

Utgivare: Huvudstadsregionens samarbetsdelegation	
Författare: Anu Kousa, Päivi Aarnio, Tarja Koskentalo, Timo Elolähde, Birgitta Alaviippola, Jaakko Kukkonen, Ari Karppinen, Mari Kauhaniemi, Kari Riikonen, Jari Härkönen	Datum 21.03.2007
Publikationens titel: Befolkningens exponering för luftföroreningar i huvudstadsregionen	
Finansiär / Uppdragsgivare: Huvudstadsregionens samarbetsdelegation, Meteorologiska Institutet	
<b>Sammandrag</b>	
<p>För att bedöma hälsoeffekterna av luftens föroreningar behövs uppgifter om exponering. På graden av exponering inverkar föroreningens koncentration och tiden för vistelsen i ifrågavarande förorening.</p> <p>I detta arbete förbättrades det tidigare utvecklade exponeringsmodellsystem (EXPAND), som är sammansatt av olika delmodeller. I exponeringsmodellen kombineras uppgifterna om koncentrationen av luftföroreningar med uppgifter om befolkningens tidsanvändning och lokalisering. Resultaten presenteras som kartbilder, med hjälp av vilka man t.ex. kan åskådliggöra de, ur luftförorenings- och exponeringssynpunkt, mest problematiska områdena och tidsperioderna. I detta arbete har den tidigare versionen förbättrats på många punkter. För modellsystemet utvecklades en spridningsmodell för finpartiklar. Därtill infogades experimentella koefficienter i modellen (s.k. I/O- förhållandet), med vilkas hjälp man på basen av koncentrationerna utomhus räknade ut koncentrationerna inomhus i hemmen och på arbetsplatserna. Uppgifterna om tidsanvändning förbättrades genom att anskaffa Statistikcentralens uppgifter från tidsanvändningsundersökningen för befolkningen inom SAD-regionen. Vid bedömning av exponering beaktades befolkningens aktivitet, utöver tidigare personbilar och bussar, i tåg, spårvagnar, metro och lätt trafik. Därtill utvecklades metoder med vilka exponeringen på annat håll än hemma, på arbetsplatserna eller i trafiken, bedöms.</p> <p>I modellens tillämpning uppskattades befolkningens exponering för finpartiklar (PM<sub>2,5</sub>) och kvävedioxid (NO<sub>2</sub>). I modellen för koncentrationerna beaktades biltrafikens direkta och indirekta utsläpp, gränsöverskridande nedfall av finpartiklar samt bakgrundskoncentrationer av ozon och kvävedioxid. Däremot finns inte t.ex. utsläppen från energiproduktion, hamnar, småskalig förbränning, m.m. med i beräkningarna. Exponeringsberäkningarna gjordes för år 2002 och för scenarioåret för Huvudstadsregionens trafiksystemsplan (PLJ2002), 2025.</p> <p>Årsmedeltalet för kvävedioxid beräknat med exponeringsmodellen överskred år 2002 gränsvärdet längs de livligast trafikerade trafiklederna. Enligt modellen sjunker koncentrationerna märkbart fram till år 2025 och överskridningar av gränsvärdena skulle inte längre förekomma. Koncentrationerna av finpartiklar, beräknade med spridningsmodellen, stannade år 2002 under det av EU föreslagna årsgränsvärdet. Däremot överskred koncentrationerna WHO:s riktvärde, som är betydligt strängare än det förutnämnda, ställvis i livligt trafikerad miljö.</p> <p>I denna undersökning koncentrerades arbetet på att utveckla exponeringsmodellen, samt bedömning och förbättring av utgångsdata. Modellens resultat har presenterats i exempelbilder, där befolkningens exponering för kvävedioxid och finpartiklar har beskrivits en "typisk" vinterdag och en inversiondag under morgonrusningstimmen (kl. 7 – 8). Vid ett inversionstillfälle är utspädningen och blandningen av luftföroreningarna svag, och koncentrationerna nära markytan stiger högre än vanligt.</p> <p>Exponeringen var störst i Helsingfors centrum, i livligt trafikerade trafikleders närområden och i kommunikationsmedlena. Exempelvis, kvävedioxidhalter över 40 µg/m<sup>3</sup> exponerade på en inversiondag nästan dubbelt så många arbetsföräldrade jämfört med en vanlig vinterdag. Befolkningens exponering är betydligt mindre år 2025 än 2002. Detta beror på att trafikens direkta utsläpp förmodas minska märkbart till år 2025.</p> <p>Med Expand-modellen kan kunskapen om luftkvaliteten och dess olägenheter, producerade med mätningar och spridningsmodeller, kompletteras. Med hjälp av modellen kan man ur luftkvalitetssynpunkt åskådliggöra problematiska områden på kartbotten.</p>	
Nyckelord: Exponering, spridningsmodell, luftkvalitet, fina partiklar, kvävedioxid	
Publikationsseriens titel och nummer: Huvudstadsregionens publikationsserie 4/2007	
ISSN: 1796-6965	ISBN: 978-951-798-625-0
Sidantal:42	Språk: finska
Huvudstadsregionens samarbetsdelegation PL 521, 00521 Helsingfors, telefon (09) 156 11,telex (09) 156	

## Abstract page

Published by: YTV Helsinki Metropolitan Area Council	
Author: Anu Kousa, Päivi Aarnio, Tarja Koskentalo, Timo Elolähde, Birgitta Alaviippola, Jaakko Kukkonen, Ari Karppinen, Mari Kauhaniemi, Kari Riikonen, Jari Härkönen	Date of publication 21.03.2007
Title of publication: Population exposure to air pollutants in the Helsinki Metropolitan Area	
Financed by / Commissioned by: YTV Helsinki Metropolitan Area Council, Finnish Meteorological Institute	
<b>Abstract</b>	
<p>Data on the exposure to air pollutants is needed to evaluate their health effects. The concentration of a pollutant and the time spent in this concentration determine the amount of exposure.</p> <p>A mathematical model EXPAND (EXposure model for Particulate matter And Nitrogen oxiDes) has been developed to evaluate human exposure to air pollution in an urban area. The model combines the predicted concentrations and the information on the time use of the population on an hourly basis. The model allows for the exposure in residences, workplaces and traffic, and partly also in other activities, such as recreational facilities. The model has been integrated to an urban dispersion modelling system of the FMI. The computed results are processed and visualised using the GIS system MapInfo.</p> <p>Several improvements were made for the previous version of the model system during this study. Firstly, the modelling system has been generalised to include treatments for fine particulate matter. Secondly, the exposure model has been extended to allow for the infiltration of pollutants from outdoor to indoor. The new model version also allows the use of hourly time-activity, concentration and other data, and it also includes a more detailed treatment of the time use of population in various traffic modes, including cars and buses, trains, trams, metro, pedestrians and cyclists. In this study we also included into the model the latest time use data of the Statistics Finland, and developed methods to evaluate the exposure in other environments than homes, work places and traffic.</p> <p>As an example of the application of the model, we evaluated the population exposure to fine particles (PM<sub>2.5</sub>) and nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>). The direct and indirect emissions of traffic, the long range transported fine particles, and the background concentrations of ozone and nitrogen dioxide were included in the dispersion model of these pollutants. Instead, the emission data of energy production, harbours, small scale wood burning etc. was not used. The population exposure was evaluated for the year 2002 and for the scenario year 2025 of the traffic system plan of the Helsinki Metropolitan Area Council (YTV).</p> <p>The predicted annual average concentration of nitrogen dioxide exceeded the corresponding EU limit value near the busiest streets and highways. The concentrations decrease remarkably by the year 2025 and according to the model the limit values will not be exceeded in 2025. The predicted annual average concentrations of fine particles remained below the proposed EU limit value. Instead, the more stringent guide line value of the World Health Organisation was exceeded in busy traffic environments.</p> <p>The main focus of this study was the development of the model, and the evaluation and improvement of the available input data. The results of the modelling are presented in example figures. They show the exposure of the population to nitrogen dioxide and fine particles on a "typical" winter day and during a ground based inversion episode during the rush hour (at 7 – 8 am).</p> <p>The modelled exposure was highest in the Helsinki city centre, along the busy streets and in traffic. The model showed a remarkable difference in exposures on a typical day and during the inversion episode: for example the inversion episode doubled the population that was exposed to NO<sub>2</sub> concentrations above 40 µg/m<sup>3</sup> compared to the typical winter day. The population exposure was modelled to be much lower in 2025 than in 2002. This was due to the considerable reduction in traffic emissions by 2025.</p> <p>Exposure modelling complements the information on air quality given by the measurements and dispersion modelling. The GIS techniques are indispensable for the presentation of the results that illustrate e.g. the most problematic areas and time periods</p>	
Keywords: exposure modelling, dispersion modelling, urban air quality, fine particles, nitrogen dioxide	
Publication Series title and number: The Helsinki Metropolitan Area Publication Series 4/2007	
ISSN: 1796-6965	ISBN: 978-951-798-625-0
Pages: 42	Language: Finnish
YTV Helsinki Metropolitan Area Council, Box 521 00521 Helsinki, telephone +358 9 15 6 11, fax +358 9 1561369	

## Sisällysluettelo

<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>11</b>
<b>2 KANSAINVÄLISIÄ KOKEMUKSIA ALTISTUMISMALLEISTA .....</b>	<b>11</b>
<b>3 ALTISTUMISTA KÄSITTELEVIÄ TUTKIMUKSIA PÄÄKAUPUNKISEUDULLA.....</b>	<b>12</b>
3.1 EXPOLIS-PROJEKTIN KESKEISET TULOKSET .....	13
3.1.1 PIENHIUKKASILLE ALTISTUMINEN.....	13
3.1.2 TYPPIDIOKSIDILLE ALTISTUMINEN .....	14
3.1.3 VÄESTÖRYHMIEN VÄLISET EROT ALTISTUMISESSA .....	14
<b>4 ALTISTUMISMALLIN RAKENNE.....</b>	<b>15</b>
<b>5 PÄÄSTÖJEN ARVIOINTI .....</b>	<b>16</b>
<b>6 EPÄPUHTAUKSIEN LEVIÄMISEN MALLINNUS .....</b>	<b>17</b>
6.1 MAANTIE- JA KATULIIKENTEEN PÄÄSTÖ- JA LEVIÄMISMALLI (CAR-FMI).....	17
6.2 METEOROLOGISEN AINEISTON ESIKÄSITTELYMALLI (MPP-FMI) .....	17
<b>7 VÄESTÖN AJANKÄYTÖN, SIJAINNIN JA NK. AKTIVITEETIN ARVIOINTI.....</b>	<b>18</b>
<b>8 ALTISTUMISEN MALLINNUS .....</b>	<b>19</b>
<b>9 TULOKSET .....</b>	<b>20</b>
9.1 TYPPIDIOKSIDIN PITOISUUDET.....	20
9.2 PIENHIUKKASTEN PITOISUUDET .....	22
9.3 OTSONIPITOISUUDET .....	23
9.4 AKTIVITEETTIEIDEN ARVIOINTI .....	24
9.4 TYPPIDIOKSIDILLE JA PIENHIUKKASILLE ALTISTUMINEN.....	26
<b>10 YHTEENVETO JA EHDOTUKSIA MALLIN KEHITTÄMISEKSI .....</b>	<b>35</b>



## 1 Johdanto

Viimeksi kuluneen vuosikymmenen aikana on saatu todisteita siitä, että kaupunkien ilmansaasteet vaikuttavat ihmisten terveyteen enemmän kuin aiemmin on arvioitu (esim. Künzli ym. 2000, WHO 2002, Pekkanen 2003). Terveysvaikutusten arvioimiseksi on tarpeen tietää, miten ihmiset altistuvat ilman epäpuhtauksille. Altistumisella tarkoitetaan ihmisen ja epäpuhtauden ”kohtaamista”, ts. sitä, että ihminen ja epäpuhtaus ovat samanaikaisesti samassa tilassa. Altistumisen määrään vaikuttavat epäpuhtauden pitoisuus ja altistuvan henkilön ko. pitoisuudessa viettämä aika. Ihmisten ajankäyttö ja liikkumistottumukset vaikuttavat altistumiseen: koti ja työpaikka voivat sijaita eri puolilla kaupunkia, käydään ostoksilla, asioimassa jne. Altistumista voidaan mallittaa yhdistämällä epäpuhtauspitoisuuksia koskevat tiedot ihmisten ajankäyttötietoihin. Epäpuhtauspitoisuuksia ja niiden ajallista ja paikallista jakaumaa puolestaan voidaan arvioida mittauksin ja/tai leviämismallien avulla.

Vuosina 1998 – 2001 YTV, Ilmatieteen laitos ja Kansanterveyslaitos kehittivät yhteistyössä nk. EXPAND-mallin, jolla voidaan arvioida väestön altistumista ilmansaasteille. Tässä työssä mallia on kehitetty edelleen ja sovellettu sitä esimerkinomaisesti kaupunki-ilman pienhiukkas- ja typpidioksidipitoisuuksille. Altistumlaskelmat on tehty vuosille 2002 ja 2025 ja ne koskevat pääkaupunkiseudun työikäistä väestöä (25 - 59 -vuotiaat). Tutkimus on toteutettu yhteistyönä, johon osallistuivat Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunnan (YTV) Ympäristötoimisto, Ilmatieteen laitos (IL) ja Kansanterveyslaitos (KTL). Työssä on hyödynnetty aiempia töitä, joissa on tarkasteltu väestö altistumista typpidioksidille vuosina 1995 – 1997 (Stambej 1998 ja Kousa ym. 2001).

## 2 Kansainvälisiä kokemuksia altistumismalleista

Altistumista voidaan arvioida erilaisilla malleilla, joilla on kullakin omat etunsa ja puutteensa. Terveysvaikutusten arvioinnin kannalta monikäyttöisin altistumismalli olisi sellainen, jolla pystyttäisiin arvioimaan kaikkien asukkaiden henkilökohtainen altistuminen ja jolla pystyttäisiin arvioimaan myös altistumisen ajalliset ja paikalliset jakaumat. Lähtötietojen puutteellisuuden sekä laskenta-aikojen rajallisuuden vuoksi tällaista mallia ei ole valitettavasti olemassa, vaan käytännön joistakin mallin ominaisuuksista on pakko luopua. Yksilöiden henkilökohtaista altistumista voidaan mallintaa vain pienille ihmisryhmille kerrallaan (esim. Gulliver 2002, Jensen 1999). Mallilla, jolla pystytään arvioimaan koko väestön altistumista, ei joko pystytä arvioimaan todellista henkilökohtaista altistumista (EXPAND) tai ei pystytä arvioimaan altistumisen alueellista jakaumaa (Hänninen 2005). Seuraavassa esitellään muutamia altistumismalleja.

Ilmansaasteille altistumisen mallitusta on kehitetty mm. EU:n rahoittamissa FUMAPEX ja URBAN EXPOSURE –projektien yhteydessä (<http://fumapex.dmi.dk/> ja [http://www.nilu.no/urban\\_exposure/](http://www.nilu.no/urban_exposure/)).

Osana FUMAPEX-projektia kehitettiin seitsemässä projektiin osallistuneessa keskuksessa erilaisia altistumismalleja hyvinkin erilaisiin tarkoituksiin. Kööpenhaminassa ja Oslossa kehitettiin yksilötason malleja ja Helsingissä, Oslossa, Valenciassa ja Castellonissa väestötason nk. deterministisiä malleja. Lisäksi Bolognassa, Helsingissä, Lontoossa ja Torinossa kehitettiin nk. probabilistisia malleja.

Probabilistinen altistumismalli, jollainen on esim. Kansanterveyslaitoksen johdolla kehitetty Expolis-malli, perustuu todennäköisyyslaskentaan. Expolis-mallilla on arvioitu Helsingin väestön pienhiukkasaltistumista (Hänninen 2005). Lähtötietoina on käytetty kotien, työpaikkojen, eri liikennevälineiden ja muiden ympäristöjen mitattuja tai mallinnettuja pitoisuusjakaumia sekä jakaumia siitä,

miten paljon ja mihin aikaan ihmiset oleskelevat näissä ympäristöissä. Yhdistämällä tuhansien kuvitteellisten simuloitujen yksilöiden altistumiset saadaan koko väestön altistumisen jakauma. Siten mallissa ei tarvita kaikkien yksilöiden tarkkoja lähtötietoja, mutta sillä ei myöskään saada altistumisen alueellista jakaumaa selville.

Deterministisissä malleissa yhdistetään tiedot ilmaasaasteen pitoisuuksista, ihmisten sijainnista ja ajankäytöstä. Ne tarvitsevat laajat ja yksityiskohtaiset lähtötiedot, jos halutaan tarkastella useiden henkilöiden altistumista pidemmällä ajanjaksolla. Osassa malleista käytetään hyväksi myös paikkatietoja.

Yksittäisen henkilön altistumista arviointiin on kehitetty esim. TOTEM-malli (Gulliver 2002, Gulliver ja Briggs 2005). Mallissa seurataan koko päivän ajan ihmisen liikkumista erityisesti liikenneympäristöissä. Seurattavan henkilön altistuminen on summa eri mikroympäristöissä tapahtuneesta altistumisista. Mallia on käytetty koululaisten altistumisen arvioinnissa Northamptonissa. Mallitettujen ulkoilmapitoisuuksien perusteella laskettiin pitoisuudet kodeissa ja autoissa mittauksista sekä kirjallisuudesta saatujen vakiokertoimien avulla.

Väestötason deterministinen malli on esimerkiksi tässä työssä kehitetty EXPAND. Pienemmän alueen ja väestön altistumismalleja ovat esimerkiksi Jensenin (1999) Tanskassa ja Borregon ym. (2006) Portugalissa kehittämät mallit. Niissä käytetään hyväksi ihmisten ajankäyttötietoja, rakennusten sisä- ja ulkopitoisuuksia sekä paikkatietojärjestelmää. Malleilla on kuitenkin saatu mallitettua suhteellisen pienen ihmisjoukon henkilökohtaista altistumista. Toistaiseksi niitä ei ole kokeiltu suuren kaupungin koko väestön altistumisen mallituksessa.

Oslossa on käytössä mielenkiintoinen sovellutus altistumisen mallinnuksesta. Altistumistietoja hyödynnetään ilmanlaatutiedotuksessa talvikaudella (loka-huhtikuu). Ilmansaasteiden pitoisuudet ennustetaan päivittäin Oslon alueelle. Ilmanlaatu määritellään neljään luokkaan: hyvä, tyydyttävä, huono ja erittäin huono. Ilmanlaatuluokat perustuvat typpidioksidin tuntiarvoihin sekä hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten vuorokausiarvoihin. Mallissa yhdistetään kunkin epäpuhtauden ilmanlaatuluokka ja kaupunkialueen rakennuksissa asuvien ihmisten määrä. Oslon yleinen ilmanlaatuluokka määräytyy heikoimman ilmanlaatuluokan mukaan. Heikoimmaksi valitaan ilmanlaatuluokka, jonka vaikutuspiirissä on vähintään 20 000 asukasta. Heikentyneen ilmanlaadun alueet esitetään myös kartalla.

### 3 Altistumista käsitteleviä tutkimuksia pääkaupunkiseudulla

Pääkaupunkiseudulla on tutkittu varsin paljon ihmisten altistumista ilmansaasteille sekä mittauksin että mallittamalla. Typpidioksidille ja hiilimonoksidille altistumista mitattiin jo vuosina 1990 - 1991 Kansanterveyslaitoksen nk. "Lapset ja liikenne -projektissa (Alm 1999, Mukala 1999). Syksyllä 1996 käynnistettiin YTV:ssä kehittämistyö menetelmästä, jonka avulla liikenneväylähankkeiden ja erilaisten liikennepoliittisten toimenpiteiden vaikutuksia epäpuhtauksien päästöihin, pitoisuuksiin ja niille altistumiseen voitaisiin arvioida. Työssä tuotettiin laaja aineisto, jossa on yhdistettynä typpidioksidin pitoisuustiedot ja väestön ajankäyttötiedot (YTV, 1997a). Kyseistä aineistoa ja menetelmiä kehitettiin edelleen nk. Mini-Expand-projektissa sekä myöhemmin EXPAND-projektissa (Stambej 1998, Kousa ym. 2001).

Vuonna 1996 käynnistyi Kansanterveyslaitoksen koordinoima kansainvälinen EXPOLIS – tutkimushanke, jonka tavoitteena oli tuottaa tietoja väestön altistumisesta ilmansaasteille. Siinä mitattiin edustavien väestötosten altistuminen sekä työpaikkojen ja kotien sisä- ja ulkoilman ilmansaaste-pitoisuudet seitsemässä kaupungissa Euroopan eri osissa. Pääkaupunkiseudun lisäksi mittauksia teh-

tiin Ateenassa, Baselissa, Grenoblessa, Milanossa, Oxfordissa ja Prahassa. Pääkaupunkiseudulla mittaukset tehtiin työikäisen väestön satunnaisotokselle. Mittausotos jaettiin kahteen yhtä suureen ryhmään, joista molemmat ryhmät täyttivät ajankäyttöä ja altistukseen liittyviä tietoja kartoittavat kyselyt. Varsinaisen mittausryhmän koteihin ja työpaikoille asennettiin mittauslaitteet kahden arkipäivän ajaksi. Lisäksi mittauksiin osallistuneet henkilöt kantoivat mukanaan henkilökohtaista altistumismittaria, jolla seurattiin pienhiukkasten, hiilivetyjen, hiilimonoksidin ja typpidioksidin pitoisuuksia. Kerätyistä pienhiukkasnäytteistä analysoitiin myös niiden alkuainekoostumus. Alkuainekoostumusta käytettiin hyväksi hiukkasaltistumiseen vaikuttavien päästölähteiden selvittämisessä. Mittaukset ajoitettiin ympäri vuoden, ja tulokset kuvaavat siten altistumisen jakaumaa väestössä eri vuodenaikoina. (Hänninen ym. 2004).

### 3.1 EXPOLIS-projektin keskeiset tulokset

EXPOLIS-projekti tuotti runsaasti mielenkiintoista aineistoa pääkaupunkiseudun ilmanlaadusta ja ilmansaasteille altistumisesta. Seuraavassa on esitetty projektin keskeisiä tuloksia.

#### 3.1.1 Pienhiukkasille altistuminen

Tutkimuksen mukaan keskimääräiset pienhiukaspitoisuudet, joille työikäinen väestö altistui, olivat korkeampia kuin pitoisuudet kotien ulkopuolella, kodeissa tai työpaikoilla (Koistinen ym. 2004). Tämä aiheutui mm. oleskelusta tupakansavuisissa tiloissa, liikennevälineissä ja muissa ympäristöissä, joissa pitoisuudet olivat koteja tai työpaikkoja korkeampia. EXPOLIS-tutkimuksessa pienhiukkasaltistuksen mediaanitaso oli koko väestössä  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja tupakalle altistumattomassa osaväestössä  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Korkeimmat altistuspitoisuudet olivat jopa kymmenkertaisia keskimääräiseen verrattuna. (Hänninen ym. 2004).

Pienhiukkasten ylivoimaisesti merkittävin sisälähde oli tupakointi. Tupakansavulle altistuu, aktiivinen ja passiivinen altistuminen mukaan lukien, 40 % koko väestöstä. Passiivinenkin altistuminen tupakan savulle kohottaa väestön pienhiukkasaltistusta merkittävästi: se jopa kolmin - nelinkertaistaa altistuvan väestön pienhiukkasaltistuksen. Aktiivisen tupakoinnin aiheuttamaa altistumista ei tutkimuksessa mitattu eikä pyritty arvioimaan, mutta se on vielä ainakin kertaluokkaa korkeammalla tasolla kuin passiivisen tupakoinnin aiheuttama altistuminen. Muut sisälähteet kuin tupakointi aiheuttivat noin 10 – 20 % väestön kokonaisaltistumisesta. (Hänninen ym. 2004)

Pienhiukkasaltistumiseen vaikuttavia päästölähteitä oli tupakoinnin lisäksi useita. Suurin altistumisosuus oli peräisin eri polttoprosessien primaarisista hiukaspäästöistä. Näistä hiukkasista noin puolet oli kaukokulkeutunutta, ja merkittävä osa oli peräisin paikallisesta liikenteestä. Polttoperäisten hiukkasten kanssa lähes yhtä suurta osuutta edustivat ilmassa rikin- ja typenoksidien päästöistä muodostuneet nk. sekundaarihiukkaset (ammoniumsulfaatti ja -nitraatti). Ulkoilmassa näiden lähes kokonaan kaukokulkeutuneiden hiukkasten osuus oli suurempi kuin polttoperäisten hiukkasten. Kaiken kaikkiaan noin puolet pienhiukkasaltistuksesta oli peräisin kaukokulkeumasta. Ulkoilmassa mineraalipöly, joka on peräisin maaperästä, teiden pinnoilta ja rakennusmateriaaleista, ei ollut yhtä merkittävä kuin sisätiloissa ja erityisesti henkilökohtaisessa altistumisessa. Sisällä mineraalihiukkasten pitoisuuksia kohottivat rakenteiden ja rakennusten pintojen kulumisesta peräisin olevat hiukkaset sekä sisälle kulkeutuneiden maaperähiukkasten kohoaminen ilmaan. Mineraalihiukkasten merkitys väestöaltistuksessa kasvoi myös liikenteessä oltaessa, jolloin altistuttiin hiekoitus- ja asfalttipölylle. Noin puolet liikenneperäisille hiukkasille (pakokaasu- ja tiepöly) altistumisesta tapahtui liikenteessä. Ulkoilmapitoisuuksien mittaamiseen perustuva altistumisen arviointi aliarvioi altistumista mineraalipöly- ja

liikenteen pakokaasuhiukkasille, ja yliarvioi altistumista kaukokulkeutuneille, niin sekundaarisille kuin primaarisillekin hiukkasille. (Koistinen ym. 2004)

Pääkaupunkiseudun pienhiukkasaltistukset olivat selvästi alhaisempia kuin muissa tutkimuksiin osallistuneissa kaupungeissa. Pääkaupunkiseudulla noin puolet väestöstä altistui alle  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ :n pitoisuustasolle ja 95 % korkeintaan pitoisuudelle  $43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ateenassa altistumispitoisuudet olivat korkeimmat, mediaani oli  $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (= puolet väestöstä altistui tätä alhaisemmilla ja puolet korkeammille pienhiukkaspitoisuuksille). Baselissa ja Prahassa altistumispitoisuuden mediaanit olivat vastaavasti  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Sekä Ateenassa että Baselissa väestöstä 95 % altistui pitoisuuksille, jotka olivat korkeintaan  $74 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja Prahassa vastaavasti  $82 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Altistumispitoisuudet olivat lähimpänä pääkaupunkiseutua Oxfordissa, jossa altistumispitoisuudet mediaani oli noin  $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ja 95 % väestöstä altistui pitoisuuksille, jotka olivat enintään  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . (Hänninen 2005)

### 3.1.2 Typpidioksidille altistuminen

EXPOLIS-tutkimuksessa typpidioksidille altistumiseen vaikuttivat voimakkaasti asumiseen liittyvät tekijät. Kaupungin keskustassa asuvat altistuivat selvästi korkeammille typpidioksidipitoisuuksille kuin esikaupunkialueilla asuvat. Merkittävin tekijä lienee liikenteen määrä kodin lähikaduilla, sillä vilkasliikenteisten katujen läheisyydessä asuvat altistuivat selvästi korkeammille pitoisuuksille kuin rauhallisemmilla alueilla asuvat. Myös kerrostaloissa asuvat, ennen vuotta 1970 rakennetuissa asunnoissa asuvat sekä pienissä asunnoissa asuvat altistuivat korkeammille typpidioksidipitoisuuksille kuin uudempien ja suurempien asuntojen sekä pientalojen asukkaat.

Helsingin keskustassa työskentelevät altistuivat korkeammille typpidioksidipitoisuuksille kuin esikaupunkialueilla työskentelevät. Kesäkuukausina typpidioksidialtistuminen oli keskimäärin suurempaa kuin talviaikaan. Kaasulietettä käyttävät altistuivat korkeammille typpidioksidipitoisuuksille kuin sähköliedenkäyttäjät. Lisäksi altistumiseen vaikuttavat käyttäytymiseen liittyvät seikat, kuten ikkunoiden auki pitäminen ja altistuminen tupakansavulle. (Kousa ja Rotko, 2004)

### 3.1.3 Väestöryhmien väliset erot altistumisessa

Väestöryhmien välisistä pienhiukkasaltistumisen eroista suurin oli toimihenkilöiden ja työntekijöiden välillä. Työntekijät altistuivat keskimäärin kaksi kertaa suuremmille pienhiukkaspitoisuuksille kuin toimihenkilöt. Tärkein syy tähän eroon oli työperäisessä altistumisessa. Työntekijöiden pienhiukkasaltistukset työpaikoilla (esim. ravintolat, autokorjaamot, jne.) olivat siis huomattavasti korkeampia kuin toimistoympäristöissä. Sama ilmiö näkyi myös koulutusasteiden välillä; vähän koulutetut altistuivat korkeammille pienhiukkaspitoisuuksille kuin koulutetut. Tupakointi ja altistuminen ympäröivälle tupakansavulle selittivät osan ammattiasema- ja koulutusasteryhmien välisistä eroista. Nuoret aikuiset (25 - 34 -vuotiaat) altistuivat hieman vanhempia ikäryhmiä korkeammille pienhiukkaspitoisuuksille. Tämä ero näkyi sekä henkilökohtaisessa työ- ja vapaa-ajan altistumisessa että kodin sisäpitoisuuksissa, mutta ei työpaikan sisäpitoisuudessa tai kodin ulkopitoisuudessa. Luultavasti tärkein syy ikäryhmien väliselle altistuserolle on ajankäytön eroissa; nuoret liikkuvat enemmän erilaisissa ympäristöissä, joissa pienhiukkastasot vaihtelevat. Miehet altistuivat hieman naisia suuremmille pienhiukkaspitoisuuksille, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä. (Rotko ja Jantunen, 2004)

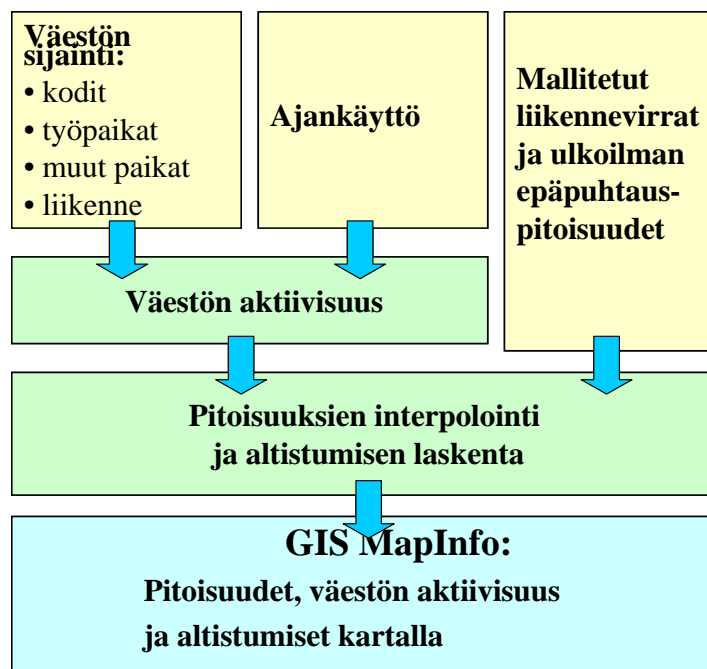
Myös typpidioksidialtistuksessa havaittiin ero koulutusasteryhmien välillä; vähän koulutetut altistuivat keskimäärin hieman korkeammille typpidioksidipitoisuuksille kuin enemmän koulutetut. Sen sijaan sukupuolten tai ikäryhmien välillä ei ollut merkitseviä eroja typpidioksidille altistumisessa. Aikuisten lukumäärä taloudessa vaikutti typpidioksidille altistumiseen. Yksinasuvat aikuiset altistuivat keskimää-

rin parisuhteessa eläviä korkeammille typpidioksidipitoisuuksille. Asumiseen liittyvät tekijät vaikuttivat voimakkaasti altistumiseen, koska typpidioksidin merkittävin lähde kaupunki-ilmassa on liikenne. Yksin elävät asuvat muita useammin pienissä, vanhoissa keskusta-asunnoissa, jotka sijaitsevat vilkasliikenteisissä ympäristöissä ja joissa mahdollisesti käytetään myös kaasuliettä. Typpidioksidipitoisuudet olivat tällaisissa asunnoissa, niin ulkona kuin sisälläkin, huomattavasti korkeampia kuin suuremmissa, uusissa tai esikaupungissa sijaitsevilla asunnoissa. (Rotko ja Jantunen, 2004)

## 4 Altistumismallin rakenne

Tässä tutkimuksessa kehitettiin edelleen aiemmin kehitettyä mallia, jolla voidaan arvioida kaupunki-alueen väestön altistumista ilman epäpuhtauksille (Kousa ym. 2001). Kehitetty malli yhdistää ihmisten sijaintipaikkoja koskevat tiedot ja epäpuhtauksien pitoisuustiedot. Kaaviokuva mallin rakenteesta on esitetty kuvassa 1. Altistumisen arviointi sisältää seuraavat vaiheet:

- a) päästöjen arviointi
- b) epäpuhtauksien pitoisuuksien mallintaminen
- c) väestön sijainnin ja ajankäytön arviointi tai mallintaminen ja näiden yhdistäminen nk. aktiiviteetiksi
- d) pitoisuustietojen ja aktiiviteettien yhdistäminen
- e) tulosten esittäminen graafisesti ja/tai muulla menetelmällä



Kuva 1. Kaaviokuva EXPAND-altistumismallin rakenteesta.

Tulokset kuvaavat altistumista väestötasolla, koska yksittäisen ihmisen liikkumista erilaisissa mikroympäristöissä ei ole otettu huomioon. Epäpuhtauksien kulkeutumista ulkoilmasta sisäilmaan arvioitiin EXPOLIS-tutkimuksessa saatujen tulosten perusteella: pienhiukkasten nk. I/O-suhteen (= asunnon tai työpaikan sisällä ja ulkopuolella mitatun pitoisuuden suhde) arvoksi oletettiin 0,59 ja typpidioksidille 0,71. Pitoisuuksista liikennevälineissä on riittämättömästi tietoja, joten epäpuhtauksien pitoisuuksien oletettiin liikennevälineissä olevan samat kuin ulkoilmassa väylällä.

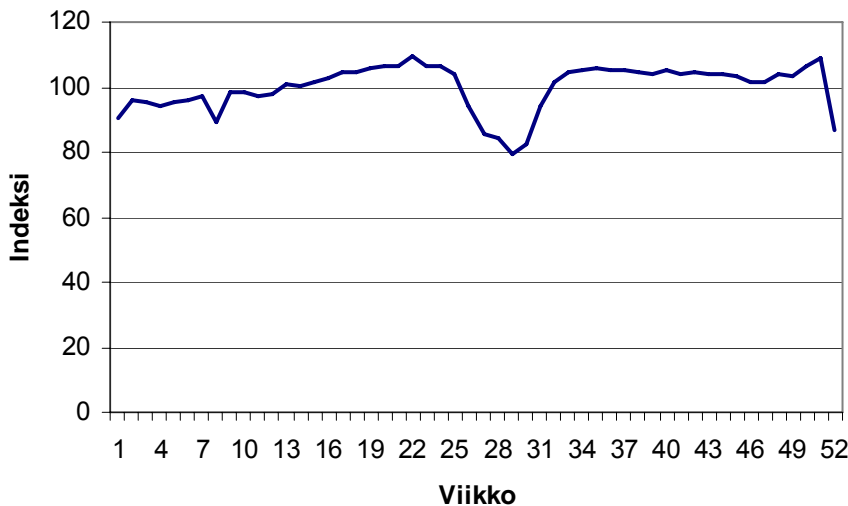


## 5 Päästöjen arviointi

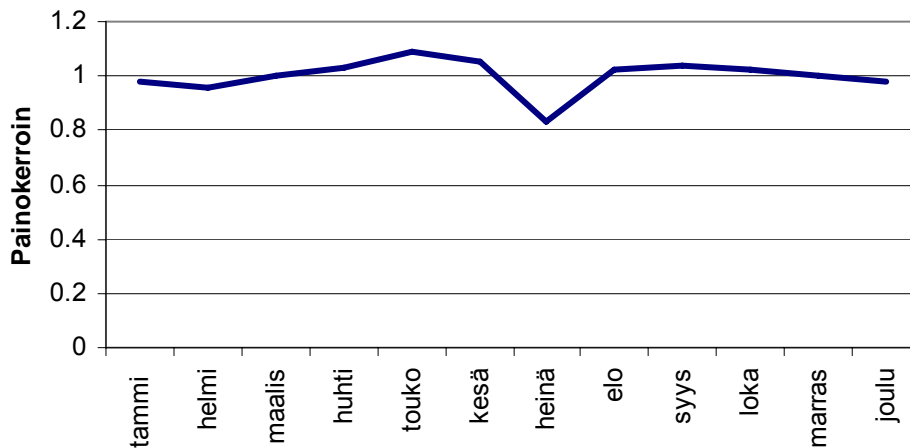
Päästöaineistona käytettiin liikenteen suoria päästöjä. Pienhiukkasten osalta myös epäsuorat päästöt otettiin huomioon. Liikenteen suorien päästöjen arvioinnissa hyödynnettiin pääkaupunkiseudun liikennejärjestelmäsuunnitelman tarkistuksen PLJ 2002 (YTV 2003a) mukaisia linkeittäisiä liikennesuoritteita arvioituna vuodelle 2000 ja vuodelle 2025. Tähän selvitykseen liikennemäärät ja keskinopeudet on arvioitu YTV Liikenteessä liikennemalleilla, jotka TKK:n liikennelaboratorio on uudistanut syksyn 2000 liikkumistottumustutkimuksen perusteella (YTV 2003b). Tutkimuksessa saatiin tietoja noin 8 700 pääkaupunkiseudun asukkaan matkoista arkivuorokauden aikana. Matkojen kokonaismäärä oli 27 600, joista seudun sisäisiä noin 26 700. Päästöjen arviointi on tarkemmin kuvattu liitteessä 1.

PLJ2002 –ennusteessa vuodelle 2025 seudun asukasmäärä on 1 133 500, työpaikkamäärä 662 400 ja keskimääräinen autotiheys 456 autoa 1000 asukasta kohden. Vastaavat luvut ennusteessa vuodelle 2000 olivat 928 950 asukasta, 540 401 työpaikkaa ja 348 autoa 1000 asukasta kohden. Vuoden 2025 liikennejärjestelmäsuunnitelmaan sisältyivät mm. metro Matinkylään, Marja-rata, Keskustatunneli ja Kehä II Länsiväylältä Hämeenlinnanväylälle.

VTT:n Energiatekniikan laatimien liikenteen päästöfunktioiden (Laurikko ym. 2003) sekä EMME/2:lla laskettujen liikennemäärien ja matkanopeuksien perusteella laskettiin typenoksidien päästöt sekä suorat pienhiukkaspäästöt. Typpidioksidipäästöt laskettiin ottamalla huomioon liikennelaskentojen perusteella arvioitu liikennemäärien viikkovaihtelu vuodelta 2000 (kuva 2). Sen sijaan pienhiukkasten päästöt laskettiin käyttämällä kuukausikertoimia (kuva 3).



Kuva 2. Ajoneuvoliikenteen viikkovaihtelu vuonna 2000 Helsingissä (Lilleberg ja Hellman, 2001).



Kuva 3. Liikenteen vaihtelu kuukausittain.

Kaikki päästökertoimet olivat keskinopeudesta riippuvaisia. Kiihdytyksiä tai jarrutuksia ei erikseen otettu huomioon, ei myöskään nopeuden hajontaa, vaan ne sisältyivät linkin keskinopeuteen.

Päästöfunktioita oli 14 ajoneuvotyyppille mm. sen mukaan onko henkilöautossa katalyysaattori tai kuorma-autossa perävaunu. Dieselhenkilö- ja pakettiautoille oli omat funktionsa. EU:n vuoden 2005 rajoitukset otettiin huomioon siten, että vuoden 2025 kertoimet olivat huomattavasti pienempiä kuin vastaavat vuoden 2000 kertoimet. Kylmäkäynnistysten ja kylmänä ajon päästöt laskettiin alueilta lähtevien matkojen määrien perusteella. Kylmäpäästöt otettiin leviämislaskuissa huomioon lämpötilasta ja viikonpäivästä riippuvina kertoimina, ts. viivalähddepäästöt on korjattu kylmäkäynnistystietojen perusteella. Epäsuorat päästöt (mm. resuspensio) arvioitiin kokeellisen aineiston perusteella. Epäsuorat päästöt laskettiin kertomalla suorat päästöt vakiokertoimella 1,7 (Tiitta ym. 2002).

## 6 Epäpuhtauksien leviämisen mallinnus

### 6.1 Maantie- ja katuliikenteen päästö- ja leviämismalli (CAR-FMI)

Maantie- ja katuliikenteen päästöjen kulkeutuminen ja hajaantuminen ilmakehässä arvioitiin Ilmatieteen laitoksella kehitetyllä matemaattis-fysikaalisella mallilla CAR-FMI (Härkönen 2002). Mallilla voidaan arvioida tieliikenteen päästöjä sekä leviämistä ja kemiallista muuntumaa ilmassa. Malli käsittelee rakennukset ja maastonmuodot yleisenä nk. rosoisuutena, mutta ei ota huomioon yksittäisten rakennusten vaikutusta epäpuhtauksien leviämiseen.

Tässä työssä mallin lähtöaineistona olivat noin 5 000 viivalähteen päästöjen tunneittaiset aikasarjat, noin 20 000 reseptoripistettä, joiden alueellinen tarkkuus vaihteli 5 m:stä 1 km:iin sekä tarvittavat meteorologiset tiedot.

### 6.2 Meteorologisen aineiston esikäsittelymalli (MPP-FMI)

Meteorologisen perusaineiston muodostivat Helsinki-Vantaa lentosääaseman synoptinen aineisto ja auringonpaistehavainnot, Helsinki-Isosaaren synoptisen aseman aineisto sekä Jokioisten observa-

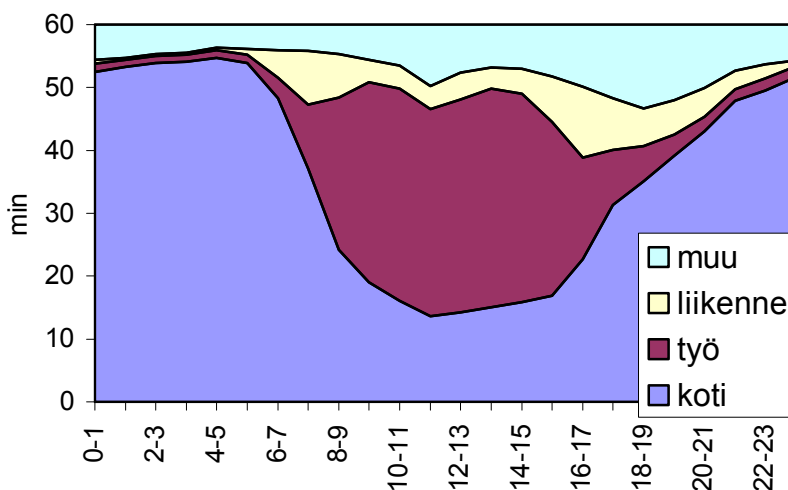
torion luotausaineisto. Tästä havaintomateriaalista laskettiin leviämismallien lähtötietoinaan tarvitsemat suureet käyttäen Ilmatieteen laitoksen meteorologisen aineiston parametrisointimallia MPP-FMI (Karppinen ym. 2000). Käsitelty aineisto muodostaa tunnitaisen meteorologisen aikasarjan vuodelle 2002. Leviämismallit tarvitsevat laskelmia varten mm. seuraavat lähtötiedot: tuulen suunta ja nopeus, kitkanopeus, lämpötila, ilmakehän stabiilisuutta kuvaava nk. Monin-Obukhov pituus ja sekoituskerroksen korkeus.

Meteorologisten parametrien käyttäytyminen osataan mallintaa hyvin vain kerroksessa, jossa rakennukset ja muut esteet eivät oleellisesti muuta esim. tuulikenttiä. Pitoisuuslaskelmat tehtiin 4 m:n korkeudelle maanpinnasta eli mahdollisimman lähelle mittauskorkeutta.

Sääolosuhteet vaikuttavat merkittävästi pitoisuuksiin pääkaupunkiseudulla. Sääaineistona päätettiin käyttää vuoden 2002 aineistoa. Vuosi 2002 oli sääolosuhteiltaan vaihtelevampi kuin vuosi 2000: tammi-elokuussa oli ennätysellisen lämmintä ja loppuvuodesta keskimääräistä kylmempää sekä koko vuoden sademäärä oli alhaisempi kuin keskimäärin. Näiden seikkojen myötävaikutuksesta kevätpölykausi oli vuonna 2002 vaikeampi kuin vuonna 2000 ja esimerkiksi lokakuussa oli voimakas inversio. Lisäksi ilmeni useampikin voimakas kaukokulkeumaepisodi. Liikenteen päästöjen ei arvioitu eroavan merkittävästi vuosien 2000 ja 2002 välillä. Siten tutkimuksessa laskettiin pienhiukkasten (PM<sub>2,5</sub>) ja typenoksidien (NO<sub>2</sub> ja NO<sub>x</sub>) pitoisuudet pääkaupunkiseudulla vuonna 2002, vaikka päästöaineisto olikin arvioitu vuodelle 2000.

## 7 Väestön ajankäytön, sijainnin ja nk. aktiviteetin arviointi

Väestön aktiviteetilla tarkoitetaan tässä työssä ihmisten yhteenlaskettua oloaikaa tietyllä alueella tietyssä ajassa. Sen yksikkö on henkilötunti.



Kuva 3. Tilastokeskuksen vuoden 1999 - 2000 ajankäyttötutkimuksen mukainen väestön ajankäyttö eri mikroympäristöissä vuorokauden aikana.

Altistumisen arvioinnissa aktiviteetit jaettiin seuraaviin mikroympäristöihin; kodit, työpaikat, liikenne sekä muut ympäristöt. Muita ympäristöjä kuvaavat esim. ostoksilla olo, liikunnan harrastaminen, ravintoloissa ja elokuvissa käynti. Ihmisten ajankäyttötiedot saatiin Tilastokeskuksen vuoden 1999 - 2000

haastattelututkimuksesta, joka oli osa harmonisoitua eurooppalaista ajankäyttötutkimusta (Tilastokeskus 2003). Tähän tutkimukseen valittiin ajankäyttötutkimukseen osallistuneet YTV-alueen asukkaat, joita oli yhteensä 850. Tutkittavien ajankäyttötiedot kerättiin 10 minuutin tarkkuudella kahden peräkkäisen vuorokauden ajalta. Ihmisten toiminnoista kartoitettiin a) liikkumista kävellen, pyöräillen, moottoripyörällä, henkilöautolla, kuorma-autolla, taksilla, linja-autolla, raitiotievaunulla tai metrolla ja junalla sekä b) oleskelua eri mikroympäristöissä kuten kotona, työssä tai muualla. Ajankäytön jakautuminen eri mikroympäristöihin vuorokauden eri tunteina on esitetty kuvassa 3.

Altistumisen arvioimiseksi tarvittiin tiedot kotien ja työpaikkojen sijainneista sekä ihmisten lukumääristä niissä. Nämä tiedot saatiin vuosittain ilmestyvältä SeutuCD:lta, joka sisältää erilaisia pääkaupunkiseutua koskevia rekisteritietoja. Kotikoordinaatteja ja niissä olevien 25 - 59 -vuotiaiden ihmisten lukumääriä koskevat tiedot ovat vuodelta 2002 (SeutuCD'02). Toimipaikkojen henkilöstömäärään sisältyvät kaikki ikäryhmät, sillä työpaikkojen henkilöstöstä on ilmoitettu vain kokonaislukumäärä. SeutuCD:llä ei ollut kaikkien pääkaupunkiseudun kotien tai työpaikkojen koordinaatteja, mutta tämän vaikutus ihmisten lukumääriin kodeissa ja työpaikoilla arvioitiin olevan vähäinen (kodit n. 4 % ja työpaikat n. 2 %).

Aktiviteetit liikenteessä arvioitiin käyttämällä hyödyksi em. EMME/2 laskelmissa saatuja liikennesuoritteita linkeittäin (YTV 2003b). EMME/2 mallittaa ajoneuvojen lukumäärän ja lisäksi käytettiin henkilöautojen osalta hyväksi tietoa niiden keskimääräisestä kuormitusasteesta, joka Helsingissä on 1,33 (Hellman 2004).

Projektin sisäisessä raportissa on tarkempi kuvaus siitä, kuinka aktiviteetit kotona, työssä, muualla ja liikenteessä on laskettu.

Väestön ajankäyttö oletettiin vuonna 2025 samanlaiseksi kuin vuonna 2002, koska siitä ei ole käytettävissä mitään ennusteita. Väestön lukumäärä ikäryhmittäin eri alueille arvioitiin vuodelle 2025. Väestön tarkemmassa sijoittamisessa on hyödynnetty kaupunkien kaavaluonnoksia (Espoo 2004, Helsinki 2002 ja Vantaa 2003). Samalla tavalla on arvioitu työpaikkojen lukumäärä ja tehty niiden sijoittelu vuodelle 2025. Liikenteen aktiviteetit on arvioitu EMME/2 laskelmien perusteella. Muiden ympäristöjen sijoittelua ja niissä käyvien henkilöiden lukumäärä ei osattu arvioida vuodelle 2025 (poikkeuksena kaupan työntekijöiden määrä, jonka on ennustettu kasvavan lähes 29 %).

## 8 Altistumisen mallinnus

Altistumisen arviointiin käytettiin Fortran-kielistä (Compaq Visual Fortran 6.1) EXPAND-ohjelmaa ("EXPosure to Air pollution, especially Nitrogen Dioxide and particulate matter"). Mallilla yhdistetään epäpuhtauden pitoisuustieto, ihmisten ajankäyttö ja sijainti toisiinsa. Altistuminen lasketaan ruudukossa, jonka koko on valittavissa. Epäpuhtauksien pitoisuudet interpoloidaan leviämismallin laskentapisteiköstä altistumismallin laskentaruutuihin siten, että ruutuihin, joihin osuu pitoisuuden laskentapisteitä, lasketaan ruudun pitoisuuksien keskiarvo ja tätä käytetään ruudun pitoisuutena. Väylille laskettuja pitoisuuksia käytettiin ainoastaan liikenteessä tapahtuvan altistumisen arvioinnissa. Niille altistumisen laskentaruuduille, joissa ei ole lainkaan pitoisuuspisteitä, arvioidaan pitoisuudet lähimpien pitoisuuspisteitä sisältävien naapuriruutujen keskiarvosta. Aktiviteetti ja siten myös altistuminen on nolla ruudussa, jossa ei ole ainuttakaan ihmistä. Pitoisuusarvot sen sijaan on interpoloitu kaikille ruuduille. Jotta liikenteessä altistumista voitaisiin verrata muuhun altistumiseen, myös se ruudutetaan valittuun ruudukkoon. Tässä työssä käytettiin ruutukokoa 100 m \* 100 m ja laskentaruutuja oli 85 116.

Laskentamallin tuloksina saatiin pienhiukkasten ja typpidioksidipitoisuuksien sekä väestön aktiviteettien ja altistumisen alueelliset jakaumat.

Altistumismallinnuksen tuloksina esitetään työikäisen väestön (25 – 59 -vuotiaat) altistuminen typpidioksidille ja pienhiukkasille. Esimerkeiksi valittiin tyypillisen talvipäivän ruuhka-ajan tunti klo 7 – 8 sekä vuonna 2002 että vuonna 2025. Lisäksi verrataan vuoden 2002 osalta tyypillisen talvipäivän altistumista episodipäivän altistumiseen.

## 9 Tulokset

Leviämismalleilla laskettiin pienhiukkas- ja typpidioksidipitoisuuksien tuntikeskiarvot koko pääkaupunkiseudun kattavalle laskentapisteikölle sekä erikseen väyläpisteille.

### 9.1 Typpidioksidin pitoisuudet

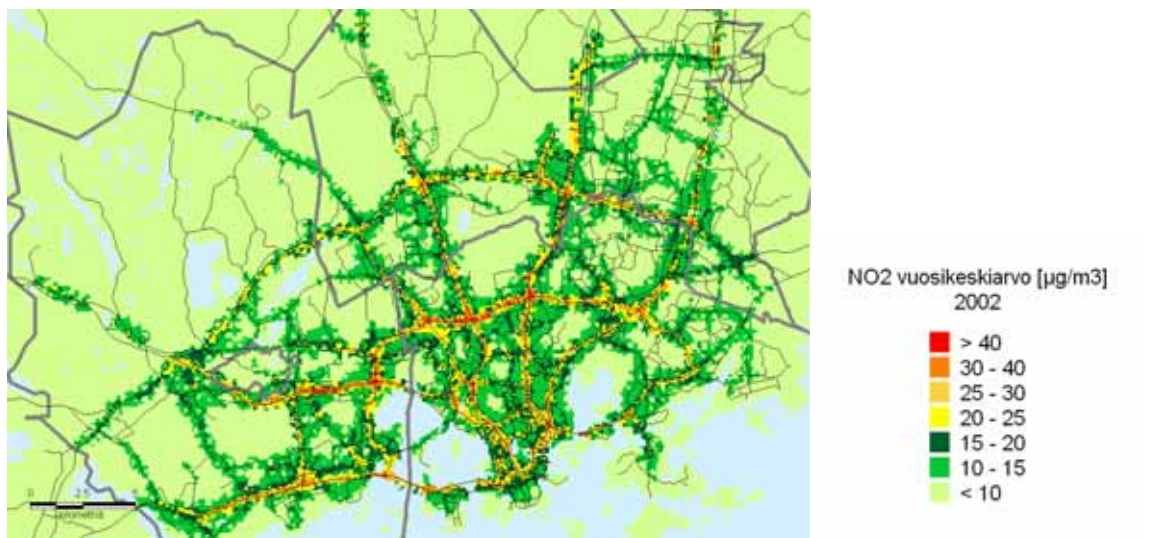
Työssä mallinnettiin liikenteen päästöjen aiheuttamat typpidioksidin pitoisuudet pääkaupunkiseudulla vuosille 2002 ja PLJ2002 -skenaariolle vuodelle 2025. Muita lähteitä ei laskelmissa ollut mahdollista huomioida. Typenoksidien ja otsonin taustapitoisuuksia eli vuoden 2002 Luukin mittausaseman tuloksia käytettiin kuitenkin laskennassa hyväksi. Typpidioksidipitoisuuden mallinnetut vuosikeskiarvot on esitetty kuvissa 4a ja 4 b

Typpidioksidipitoisuuden vuosiraja-arvo on  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Vuosiraja-arvon ylityksiä esiintyisi mallin perusteella vuonna 2002 Kehä I:n läheisyydessä Tuusulanväylän ja Vihdintien välisellä osuudella. Korkein mallin antama vuosikeskiarvo vuonna 2002 oli  $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . YTV:n tekemissä ilmanlaadun mittauksissa ei havaittu vuosiraja-arvojen ylityksiä vuonna 2002 (YTV 2003c). Sen sijaan raja-arvon ylityksiä on mitattu vuosina 2005 ja 2006 Helsingin keskustassa Mannerheimintielle ja Hämeentielle. Nämä mittausasemat eivät olleet käytössä vuonna 2002. Mallilla arvioidut typpidioksidin tuntipitoisuudet eivät ylittäneet raja-arvoa, eikä tuntiraja-arvon ylityksiä ole myöskään mittauksissa todettu.

Mallilaskelman perusteella typpidioksidille annettu vuorokausiohjearvo ylittyi monin paikoin suurten väylien läheisyydessä. Ylityksiä esiintyi Sörnäisten alueella, Lahdenväylän, Kehä I:n, Tuusulanväylän, Hämeenlinnanväylän, Turunväylän sekä Länsiväylän läheisyydessä. Malli tuotti korkeimmat pitoisuudet Kehä I:n ja Hämeenlinnanväylän risteykseen. Ilmanlaadun mittauksissa todettiin vuorokausiohjearvon ylityksiä vuonna 2002 mittausasemilla, jotka sijaittivat vilkkaasti liikennöidyissä ympäristöissä.

Liikenteen aiheuttamat typpidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvot PLJ2002 vaihtoehdossa vuodelle 2025 on esitetty kuvassa 4b. Tässä korkein mallinnettu  $\text{NO}_2$ :n vuosikeskiarvo olisi noin  $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Huomattakoon, että näissäkin laskelmissa typpidioksidin ja otsonin taustapitoisuuksina on käytetty Luukin mittaustuloksia vuodelta 2002, koska parempia arvioita ei ollut käytettävissä. Pitoisuudet ovat laskelman perusteella vuonna 2025 huomattavasti nykyistä alhaisemmat, eikä raja tai ohjearvojen ylityksiä enää esiintyisi.





© Helsinki KMO 051/2006 © Teema YTV 2006



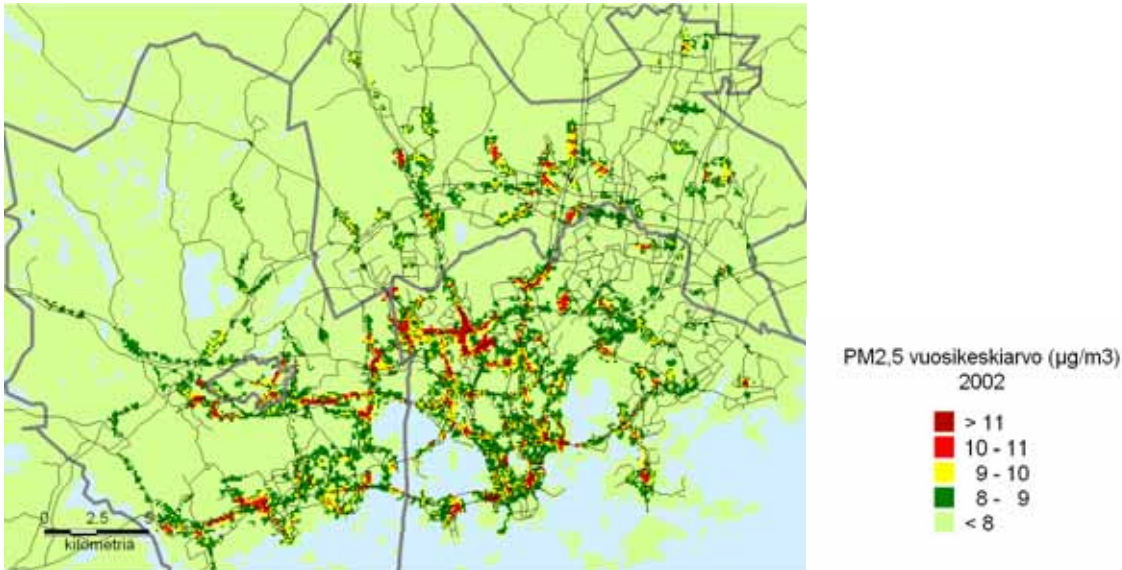
© Helsinki KMO 051/2006 © Teema YTV 2006

Kuva 4 a - b. Typpidioksidipitoisuuksien vuosikeskiarvot vuonna 2002 (ylhällä) ja PLJ2002-skenaariossa vuonna 2025 (alhaalla). Laskennassa ovat mukana liikenteen päästöt ja taustapitoisuus.

Typpidioksidipitoisuudet ovat korkeimmat vilkkaasti liikennöidyissä kapeissa katukuiluissa. Tässä työssä käytetty koko alueen kattava malli ei ota huomioon katukuilujen olosuhteita, vaan ne tulisi mallittaa erikseen, jos haluttaisiin yksityiskohtaista tietoa raja-arvon ylittymisestä. Lisäksi tiedot typpidioksidin osuudesta suorissa liikenteen päästöissä ovat puutteellisia, mistä saattaa aiheuttaa merkittävää aliarviota pitoisuuksissa. Tietoja täydennetään parhaillaan käynnissä olevissa tutkimuksissa ja uudet leviämisarviot tehdään vuonna 2007.

## 9.2 Pienhiukkasten pitoisuudet

Mallinnetut pienhiukkasten vuosipitoisuudet vuonna 2002 on esitetty kuvassa 5. Laskennassa ovat mukana sekä liikenteen suorat päästöt, epäsuorat päästöt että kaukokulkeuman aiheuttama taustapitoisuus, mutta ei muiden lähteiden päästöjä. Pienhiukkasten pitoisuuksia ei mallinnettu vuodelle 2025, koska sekä kaukokulkeumasta että epäsuorista päästöistä ei ollut riittävästi tietoja skenaariotarkaste-  
luja varten.



© Helsinki KMO 051/2006 © Teema YTV 2006

*Kuva 5. Pienhiukkasten keskimääräiset pitoisuudet pääkaupunkiseudulla vuonna 2002. Laskennassa on otettu huomioon liikenteen suorat ja epäsuorat päästöt sekä kaukokulkeuma.*

Pienhiukkasillem ei ole toistaiseksi ole voimassa raja-arvoja. Euroopan komission direktiiviehdotuksessa on esitetty pienhiukkasillem raja-arvoksi 25 µg/m<sup>3</sup>. Pääkaupunkiseudulla tehdyissä ilmanlaadun mittauksissa ei ole havaittu ehdotettua raja-arvoa ylittäviä vuosipitoisuuksia. Ilmanlaadun mittauksissa vuonna 2002 pienhiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvo oli liikenneympäristössä Vallilassa 10 µg/m<sup>3</sup> ja kaupunkitaustaa edustavalla asuinalueella Kalliossa 9 µg/m<sup>3</sup> (YTV 2003). Myöskään leviämismallin perusteella ehdotettu raja-arvo ei ylittynyt missään pääkaupunkiseudulla vuonna 2002. Maailman terveysjärjestön WHO:n vuosiohjearvo pienhiukkasillem (10 µg/m<sup>3</sup>) on huomattavasti EU:n direktiiviehdotusta tiukempi (WHO 2005). Tätä ylittäviä pitoisuuksia esiintyi mallin perusteella arvioiden vilkkaasti liikennöidyissä ympäristöissä. Korkeimmat pienhiukkaspitoisuudet olivat suurten liikenneväylien läheisyydessä: Kehä I, Hämeenlinnanväylä, Tuusulanväylä, Länsiväylä ja Turunväylä.

### 9.3 Otsonipitoisuudet

Otsonipitoisuuksia ei ole aiemmin pääkaupunkiseudulle mallinnettu. Tässä työssä mallinnetut otsonipitoisuuden vuosikeskiarvot on esitetty kuvassa 6. Otsonia ei ole päästöissä, vaan sitä muodostuu auringonvalon vaikutuksesta ilmassa hapen, typenoksidien ja hiilivetyjen välisissä kemiallisissa reaktioissa. Otsonia poistuu ilmassa sen reagoitessa muiden ilmansaasteiden, erityisesti typpimonoksidin kanssa. Siksi sen pitoisuudet ovat korkeimmat taajamien ulkopuolella. Pitoisuudet ovat alhaisimmat liikenneympäristöissä, missä otsonia kuluu sen reagoitessa typpimonoksidin kanssa. Tämä käy ilmi myös kuvan 6 pitoisuuskartasta. Korkein mallinnettu otsonin vuosipitoisuus oli  $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Vuonna 2002 korkein mitattu otsonipitoisuuden vuosiarvo oli  $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



© Helsinki KMO 051/2006 © Teema YTV 2006

Kuva 6. Otsonipitoisuuden vuosikeskiarvot pääkaupunkiseudulla vuonna 2002.

## 9.4 Aktiviteettien arviointi

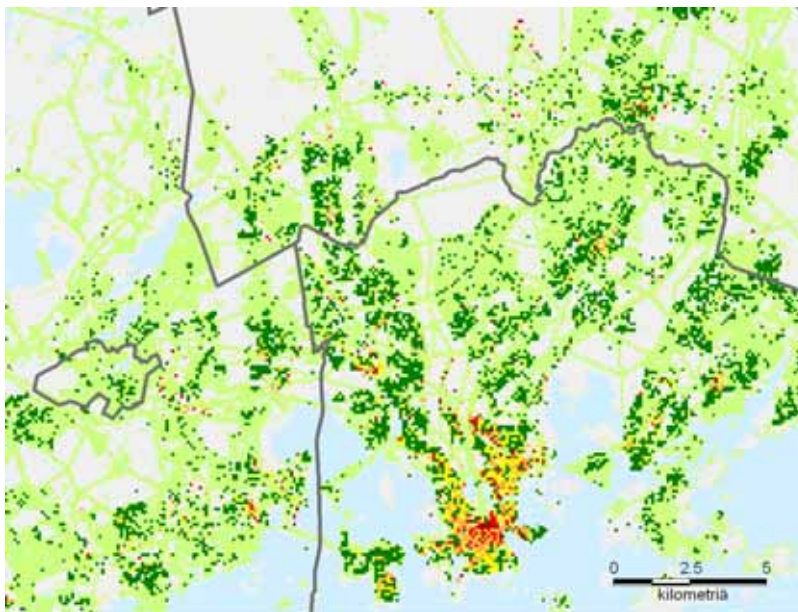
Väestön nk. aktiviteetilla määrätyn tunnin aikana määrätystä laskentaruudusta tarkoitetaan ruudussa ko. tunnin aikana olevien ihmisten määrää. Ajankäyttötietojen perusteella määriteltiin, kuinka suuri osa ruudun ihmisistä oli ko. tunnin aikana kotona, työpaikalla, liikenteessä tai muussa ympäristössä. Ajankäyttöjakauma on jokaisessa ruudussa sama, ts. jokaisessa ruudussa ihmiset on sijoitettu koteihin, työpaikoille ja muihin ympäristöihin keskimääräisen ajankäytön mukaan. Alueiden välisiä ajankäyttöeroja ei siis saada esille.

Kuvissa 7a ja 7b on esitetty väestön aktiviteetit aamuruuhkan aikaan klo 7 – 8 ja vertailuna iltapäivätunnin aikaan klo 13 – 14. Kuvista havaitaan, että aamuruuhkan aikaan ihmiset ovat keskittyneet asuinalueille ja liikenneväylille ja päiväaikaan puolestaan työpaikka-alueille.





© Helsinki KMO 051/2006 © Teema YTV 2006



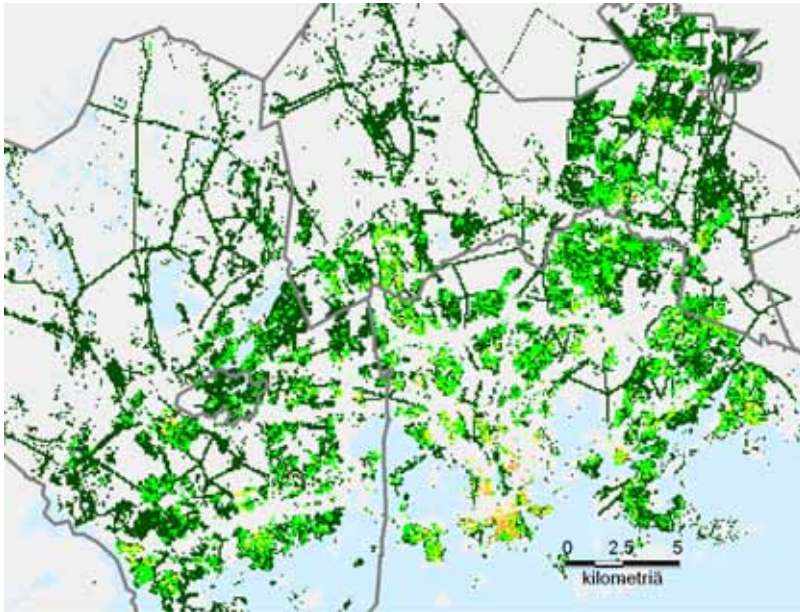
© Helsinki KMO 051/2006 © Teema YTV 2006

*Kuva 7 a ja b. Väestön aktiviteetit pääkaupunkiseudulla aamuruuhkan aikaan klo 7 – 8 (ylhällä) ja päivällä klo 13 – 14 (alhaalla).*



## 9.4 Typpidioksidille ja pienhiukkasille altistuminen

Väestön altistuminen typpidioksidille ja pienhiukkasille arvioitiin mallilla siten, että yhdistettiin laskenta-ruudun pitoisuustiedot ruudun aktiveettitietoihin. Esimerkeiksi valittiin tyypillisen talvipäivän aamuruuhkatunti klo 7 - 8, jolloin pitoisuudet olivat lähellä vuosikeskiarvoa ja vastaava tunti episodipäivänä, jolloin pitoisuudet olivat selvästi tavanomaista korkeammat. Tyypillisen talvipäivän tilanne mallinnettiin myös vuodelle 2025. Kohderyhmäksi valittiin työikäinen väestö, ts. 25 – 59 -vuotiaat (kuva 8).



© Helsinki KMO 051/2006 © Teema YTV 2006

Väestön määrä (<20 µg/m<sup>3</sup>)  
Talvipäivä 2002 klo 7-8

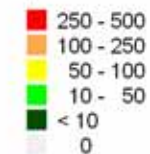


Väestöä yhteensä 289 308

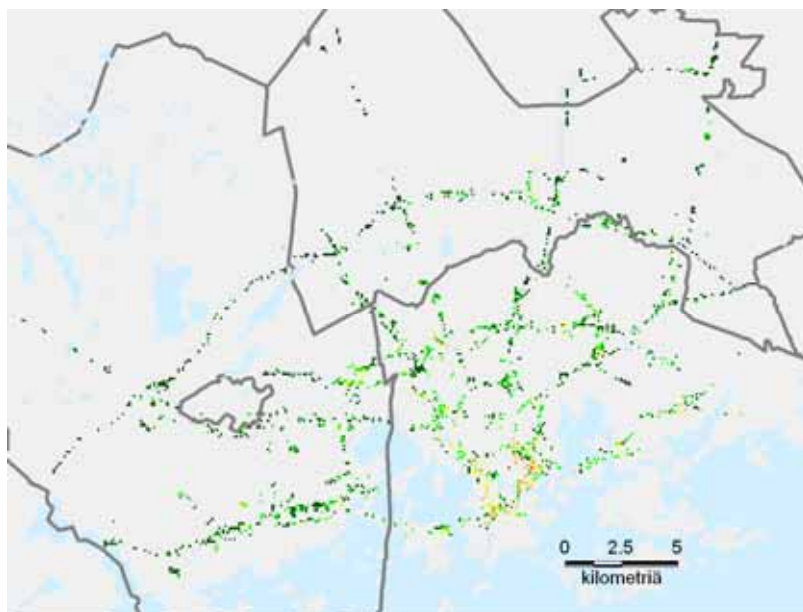


© Helsinki KMO 051/2006 © Teema YTV 2006

Väestön määrä (20-30 µg/m<sup>3</sup>)  
Talvipäivä 2002 klo 7-8

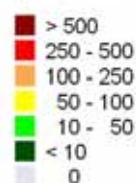


Väestöä yhteensä 75 441



© Helsinki KMO 051/2006 © Teema YTV 2006

Väestön määrä (30-40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )  
Talvipäivä 2002 klo 7-8

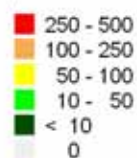


Väestöä yhteensä 40 141



© Helsinki KMO 051/2006 © Teema YTV 2006

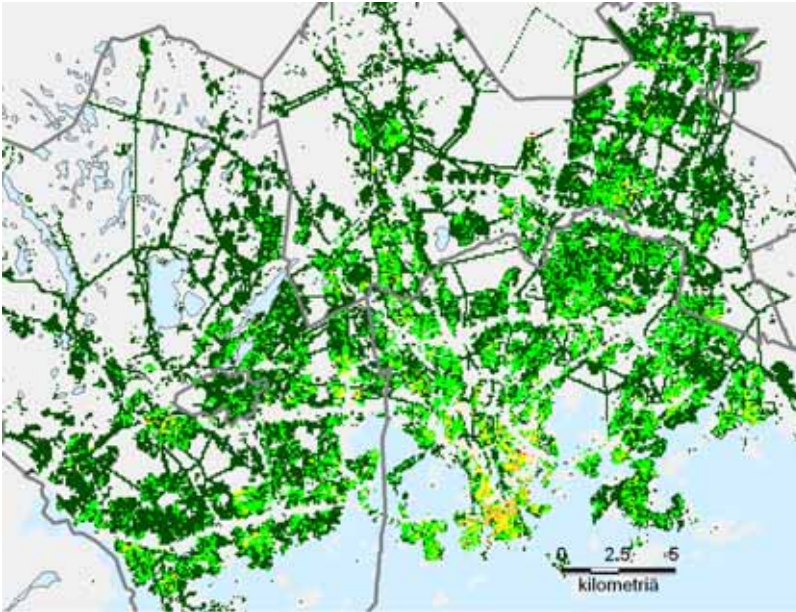
Väestön määrä (>40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )  
Talvipäivä 2002 klo 7-8



Väestöä yhteensä 38 014

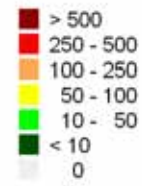
Kuva 8 a, b, c ja d. Pääkaupunkiseudun työikäisen väestön altistuminen typpidioksidille vuonna 2002 tyypillisenä talvipäivänä klo 7–8. Kuvissa on esitetty, kuinka paljon ihmisiä on 100x100 m:n ruuduissa, joissa pitoisuus on a) < 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , b) 20–30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , c) 30–40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ja d) > 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Aamuruuhkaan aikaan lähes 2/3 työikäisestä väestöstä oleskeli ympäristössä, jonka pitoisuus oli alle 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Nämä alhaisen pitoisuuden ympäristöt olivat pääsääntöisesti koteja tai työpaikkoja. Korkeimmille pitoisuuksille altistuttiin liikenneväylien välittömässä läheisyydessä (typpidioksidin pitoisuustaso 30–40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) tai suurimmilla liikenneväylillä (pitoisuustaso yli 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

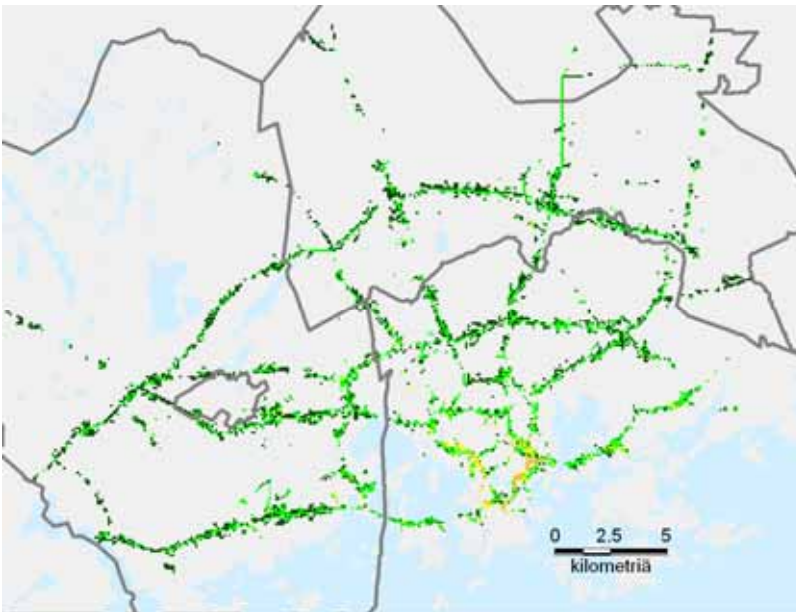


© Helsinki KMO 051/2006 © Teema YTV 2006

Väestön määrä ( $<10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )  
Talvipäivä 2025 klo 7-8

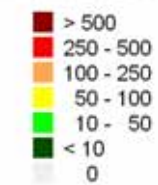


Väestöä yhteensä 358 999



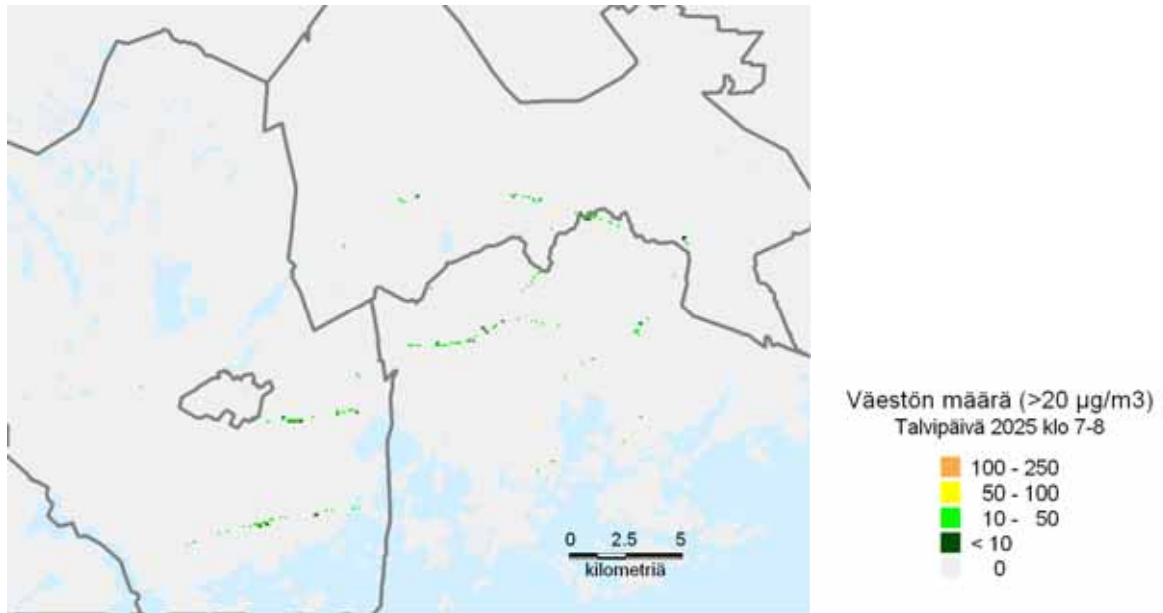
© Helsinki KMO 051/2006 © Teema YTV 2006

Väestön määrä ( $10-20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )  
Talvipäivä 2025 klo 7-8



Väestöä yhteensä 73 948



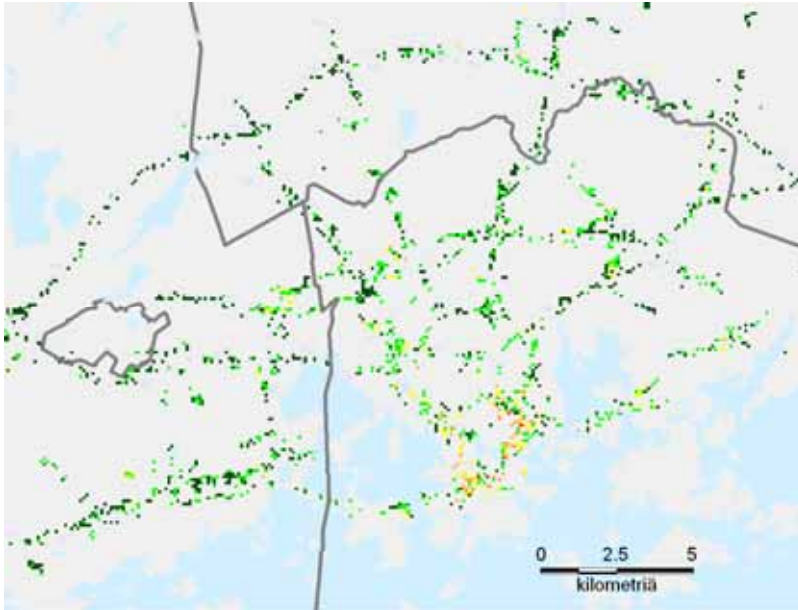


© Helsinki KMO 051/2006 © Teema YTV 2006

Väestöä yhteensä 3 134

*Kuva 9 a, b ja c. Pääkaupunkiseudun työikäisen väestön altistuminen typpidioksidille vuonna 2025 PLJ2002 – skenaariossa tyypillisenä talvipäivänä klo 7 – 8. Kuvissa on esitetty, kuinka paljon ihmisiä on 100x100 m:n ruuduissa, joissa pitoisuus on a)  $< 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , b)  $10 - 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja c)  $> 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .*

Vuoden 2025 PLJ2002 skenaariossa väestötason altistuminen on huomattavasti vähäisempää kuin vuonna 2002, mikä on seurausta typpidioksidin pitoisuuksien voimakkaasta vähenemisestä (kuva 9). Vuoden 2025 skenaariossa yli 80 % työikäisestä väestöstä altistuisi alle  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  typpidioksidipitoisuudelle, kun vuonna 2002 vastaava luku oli noin 25 %. Yli  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ :n pitoisuudelle väestö altistuisi vuoden 2025 skenaariossa vain kaikkein vilkkaimmin liikennöidyillä väylillä kuten Kehä I, Länsiväylä tai Turunväylä, kun vuonna 2002 tälle pitoisuustasolle altistui lähes 35 % työikäisestä väestöstä.

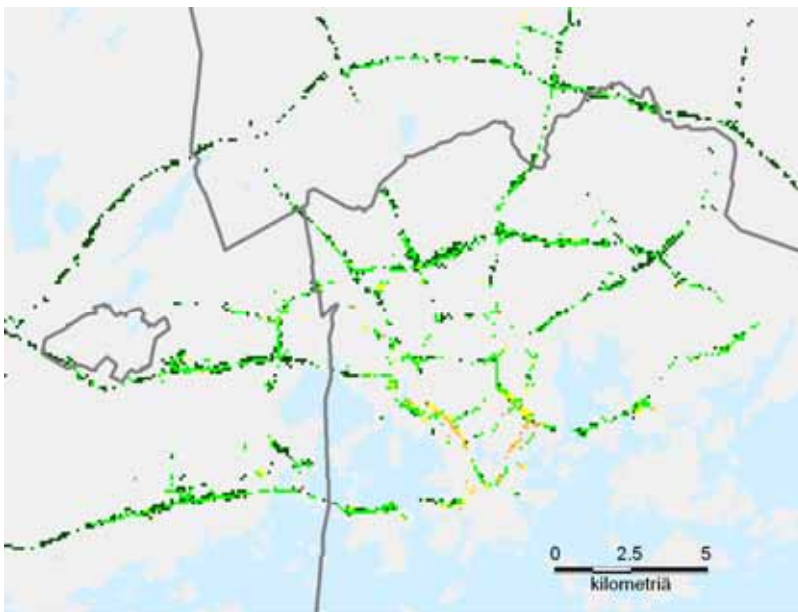


© Helsinki KMO 051/2006 © Teema YTV 2006

Väestön määrä (30-40 µg/m<sup>3</sup>)  
Talvipäivä 2002 klo 7-8

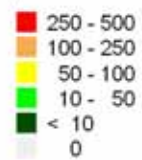


Väestöä yhteensä 40 141

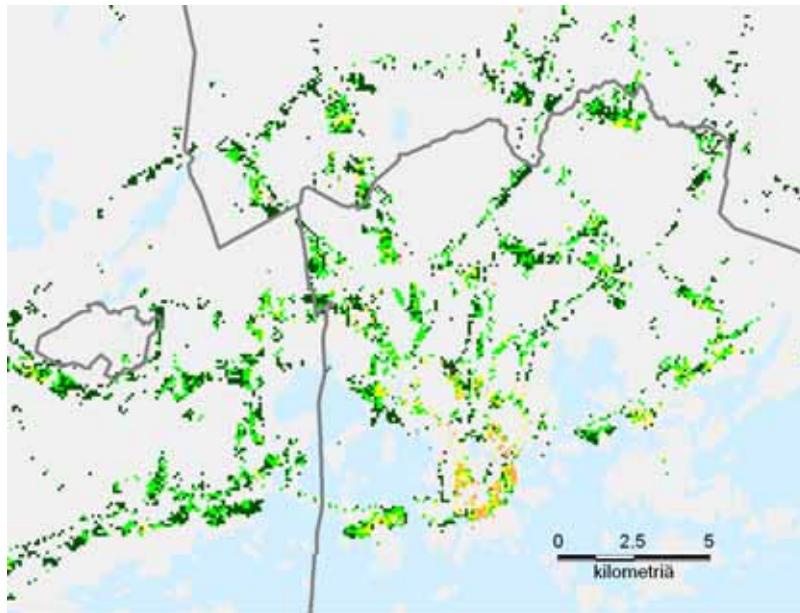


© Helsinki KMO 051/2006 © Teema YTV 2006

Väestön määrä (>40 µg/m<sup>3</sup>)  
Talvipäivä 2002 klo 7-8



Väestöä yhteensä 38 041

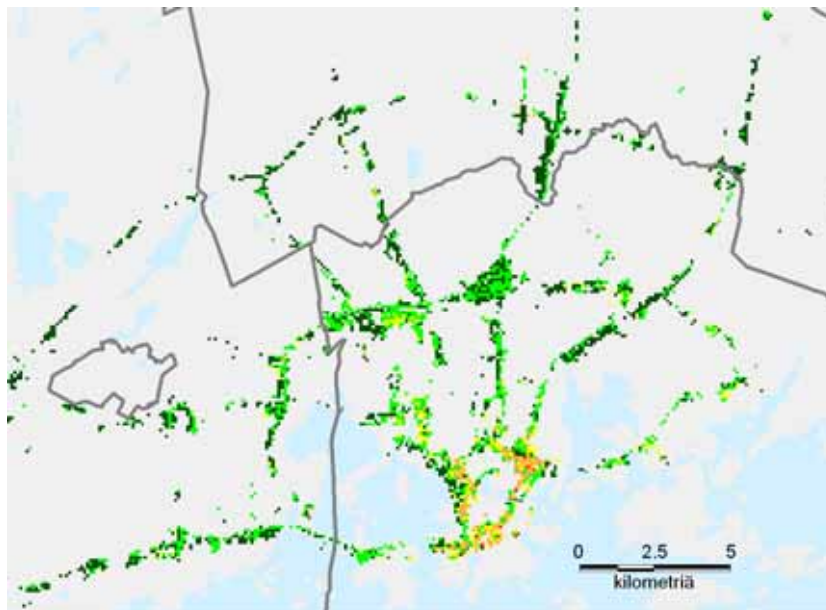


© Helsinki KMO 051/2006 © Teema YTV 2006

Väestön määrä (30-40 µg/m<sup>3</sup>)  
Inversiopäivä 2002 klo 7-8

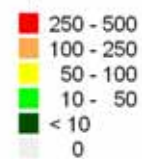


Väestöä yhteensä 93 920



© Helsinki KMO 051/2006 © Teema YTV 2006

Väestön määrä (>40 µg/m<sup>3</sup>)  
Inversiopäivä 2002 klo 7-8



Väestöä yhteensä 79 523

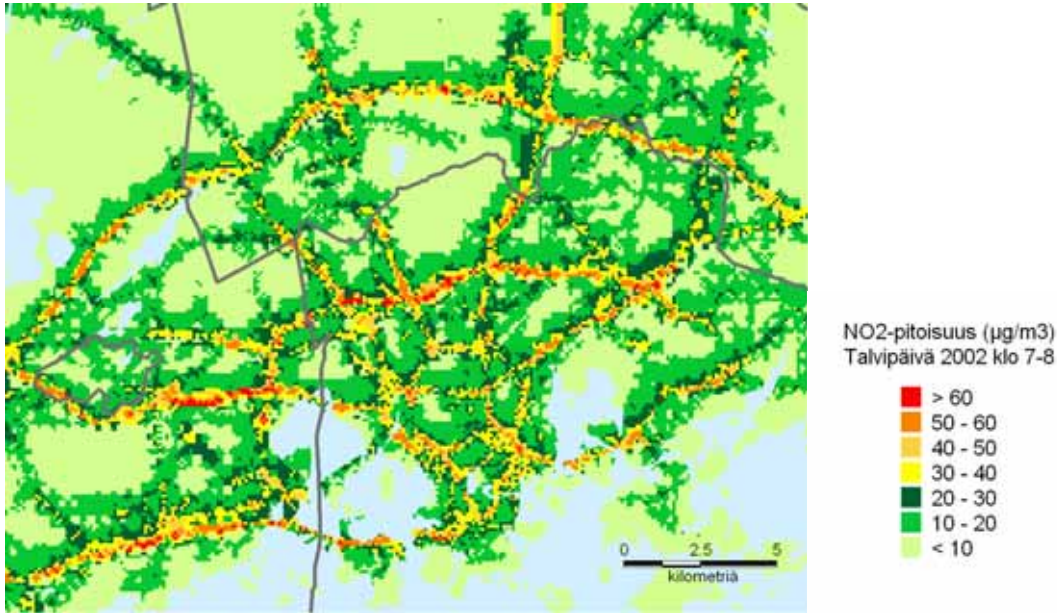
Kuva 10 a, b, c ja d. Pääkaupunkiseudun työikäisen väestön altistuminen typpidioksidille vuonna 2002 tyypillisenä talvipäivänä ja inversiopäivänä klo 7 – 8. Kuvissa on esitetty, kuinka paljon ihmisiä on 100x100 m:n ruuduissa, joissa pitoisuus on a) ja c) 30 - 40 µg/m<sup>3</sup> ja b) ja d) > 40 µg/m<sup>3</sup>.

Toisena esimerkkinä tarkastellaan pitoisuuksien ja altistumisen eroja vuoden 2002 tyypillisenä talvipäivänä ja inversiopäivänä, jolloin pitoisuudet ovat huomattavasti tavanomaista korkeammat. Kuvassa 10 on esitetty työikäisen väestön määrä ympäristöissä, joissa typpidioksidipitoisuus oli 30 - 40 µg/m<sup>3</sup> ja yli 40 µg/m<sup>3</sup> tyypillisenä talvipäivänä sekä inversiopäivänä. Inversiopäivänä aamuruuhkan aikaan lähes kaksinkertainen määrä ihmisiä altistui typpidioksidin pitoisuustasolle yli 40 µg/m<sup>3</sup> verrattuna talvipäivään. Talvipäivänä korkeammille pitoisuuksille (typpidioksidin pitoisuustaso yli 40 µg/m<sup>3</sup>) altistuttiin

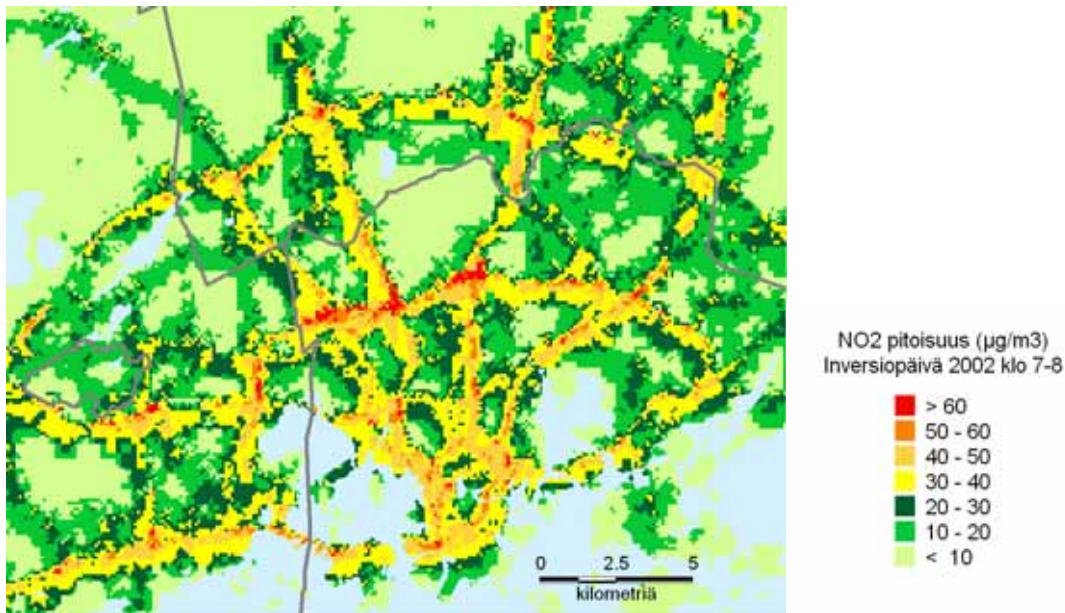


lähinnä liikenteessä, kun inversiöpäivänä tälle pitoisuustasolle altistuttiin myös Helsingin keskustassa ja suurimpien väylien välittömässä läheisyydessä.

Kuvassa 11 on esitetty mallilla lasketut typpidioksidin pitoisuudet tyypillisenä talviaamuna sekä inversiötilanteessa. Inversiöpäivänä pitoisuudet olivat laajoilla alueilla korkeampia kuin keskimääräisenä talvipäivänä. Pitoisuudet ovat inversiöpäivänä kohonneet erityisesti Helsingin keskustassa ja suurimpien liikenneväylien välittömässä läheisyydessä. Inversiöpäivänä aamuruuhkatunnin suurin typpidioksidin pitoisuus oli n.  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja talvipäivänä suurin pitoisuus oli n.  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

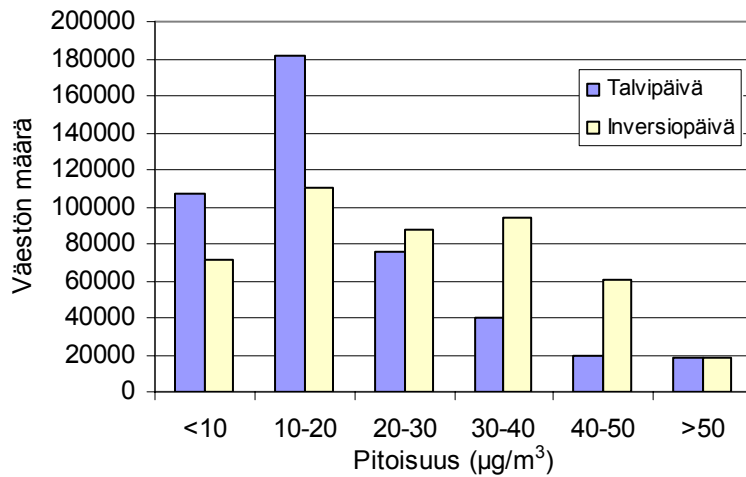


© Helsinki KMO 051/2006 © Teema YTV 2006



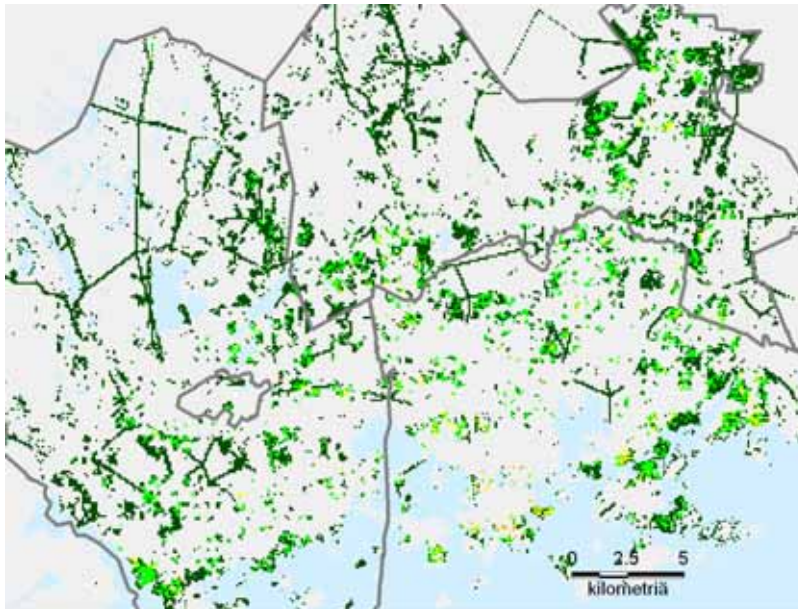
© Helsinki KMO 051/2006 © Teema YTV 2006

Kuva 11 a ja b. Typpidioksidin pitoisuudet aamuruuhkan aikaan tyypillisenä talvipäivänä sekä inversiöpäivänä.



Kuva 12. Työikäisen väestön määrä typpidioksidin eri pitoisuustasoilla tyypillisenä talvipäivänä sekä inversiopäivänä.

Altistuminen typpidioksidin eri pitoisuustasoille voidaan esittää myös jakaumakuvana (kuva 12). Samoin kuin karttakuvista jakaumakuvasta näkee, että inversiopäivänä pitoisuuksille 20 - 50 µg/m<sup>3</sup> altistuu enemmän ihmisiä kuin tavanomaisena talvipäivänä. Sen sijaan kaikkein korkeimmille pitoisuuksille (yli 50 µg/m<sup>3</sup>) altistuu lähes yhtä paljon ihmisiä kumpanakin esimerkkipäivänä.



© Helsinki KMO 051/2006 © Teema YTV 2006

Väestön määrä (<7 µg/m<sup>3</sup>)  
Talvipäivä 2002 klo 7-8



Väestöä yhteensä 119 922

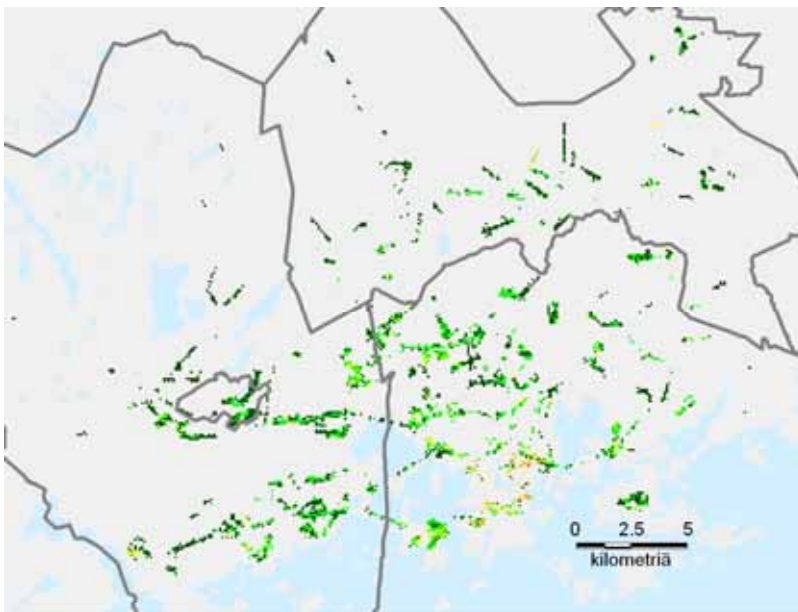


© Helsinki KMO 051/2006 © Teema YTV 2006

Väestön määrä (7-10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )  
Talvipäivä 2002 klo 7-8

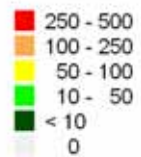


Väestöä yhteensä 267 194



© Helsinki KMO 051/2006 © Teema YTV 2006

Väestön määrä (>10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )  
Talvipäivä 2002 klo 7-8



Väestöä yhteensä 55 840

Kuva 13 a, b ja c. Pääkaupunkiseudun työikäisen väestön altistuminen pienhiukkasille vuonna 2002 tyypillisenä talvipäivänä klo 7–8. Kuvissa on esitetty, kuinka paljon ihmisiä on 100x100 m:n ruuduissa, joissa pitoisuus on a) < 7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , b) 7–10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ja c) > 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Kuvassa 13 on esitetty väestön altistuminen erilaisille pienhiukkasten pitoisuustasoille aamuruuhkan aikaan tyypillisenä talvipäivänä. Mallissa mukana olevasta väestöstä 27 % altistui pienhiukkaspitoisuudelle alle 7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 60 % pitoisuustasolle 7–10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ja 13 % yli 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .



## 10 Yhteenveto ja ehdotuksia mallin kehittämiseksi

Työssä kehitettiin EXPAND-mallia, jonka avulla pystytään arvioimaan pääkaupunkiseudun väestön altistumista ilmansaasteille.

Työssä mallitettiin työikäisen väestön altistumista liikenteen päästöjen aiheuttamille typpidioksidin ja pienhiukkasten pitoisuuksille pääkaupunkiseudulla vuonna 2002 sekä PLJ2002-skenaariossa vuodelle 2025. Altistumismallissa yhdistettiin tiedot työikäisten (25 - 59 v) ihmisten sijainnista ja ajankäytöstä pienhiukkasten ja typpidioksidin pitoisuustietoihin. Tarkastelun kohteina olivat kodit, työpaikat, liikennevälineet ja muut ympäristöt.

Pitoisuuksien mallinnuksessa otettiin huomioon autoliikenteen suorat ja epäsuorat päästöt, pienhiukkasten kaukokulkeuma ja otsonin sekä typpidioksidin taustapitoisuudet. Sen sijaan esim. energiantuotannon, satamien, pienpolton ym. päästöt eivät ole mukana laskelmissa.

Typpidioksidin ja pienhiukkasten pitoisuudet ulkoilmassa arvioitiin Ilmatieteen laitoksella leviämismallien avulla. Laskennassa olivat mukana vain autoliikenteen suorat ja epäsuorat päästöt, mittausten perusteella arvioidut typenoksidien ja otsonin taustapitoisuudet sekä pienhiukkasten kaukokulkeuma. Ilmansaasteiden pitoisuudet kodeissa ja työpaikoilla sisällä arvioitiin ulkoilmapitoisuuksista käyttäen hyväksi YTV-alueen rakennuksille mitattua keskimääräistä nk. I/O suhdetta (sisä- ja ulkopitoisuuden suhde). Liikennevälineissä I/O-suhteen arvoksi oletettiin 1, koska suhteen arvosta ei ollut käytettävissä riittävästi tietoja.

Leviämismallin perusteella arvioitu typpidioksidin vuosikeskiarvo olisi ylittänyt raja-arvon vuonna 2002 vilkkaimmin liikennöityjen väylien varrella. Vuoteen 2025 mennessä pitoisuudet laskisivat mallin perusteella huomattavasti eikä raja-arvojen ylityksiä enää esiintyisi.

Pienhiukkaset ovat haitallisin kaupunki-ilman epäpuhtaus. Pienhiukkasten on tutkimuksissa havaittu aiheuttavan terveyshaittoja myös Helsingissä, jossa pitoisuudet ovat suhteellisen matalia useimpiin Euroopan pääkaupunkiseutuihin verrattuna. Pienhiukkasille herkkiä ryhmiä ovat kaikenikäiset astmaatit sekä sepelvaltimotautia ja keuhkohtaumatautia sairastavat ja lapset. Tällä hetkellä ei ole täyttä selvyyttä siitä, mitkä hiukkasten ominaisuudet aiheuttavat havaitut terveysvaikutukset. Pienhiukkasten pitoisuudelle ei toistaiseksi ole voimassa raja- tai ohjearvoja. EU-komissio on ehdottanut vuosipitoisuudelle raja-arvoa  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Maailman terveysjärjestö WHO on esittänyt pienhiukkasten vuosipitoisuudelle huomattavasti EU:n raja-arvoehdotusta tiukempaa ohjearvoa  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Tässä työssä leviämismallilla vuodelle 2002 arvioidut pienhiukkasten vuosipitoisuudet olivat selvästi ehdotettua vuosiraja-arvoa alhaisemmat. Myöskään ilmanlaadun mittauksissa ei ole havaittu raja-arvoa ylittäviä pitoisuuksia. Pitoisuudet ylittivät kuitenkin WHO:n määrittelemän ohjearvon paikoin vilkkaasti liikennöidyissä ympäristöissä.

Pitoisuuksien mallintamisen suurimmat ongelmat liittyvät päästöarvioihin sekä taustapitoisuuksien mallintamiseen tulevaisuuden skenaarioissa. Liikenteen päästökertoimet uudistettiin työtä varten, mutta uusia tietoja päästökertoimista kertyy jatkuvasti, ja tässä työssä käytetyt ovat jo osin vanhentuneita. Mm. typpidioksidin osuudesta suorissa päästöissä oli tätä työtä tehtäessä käytettävissä melko vähän tietoja. Mittauksissa on todettu, että typpidioksidipitoisuudet ovat laskeneet hitaammin kuin on oletettu, joten on tärkeää saada lisätietoja tulevaisuuden ajoneuvokaluston suorista typpidioksidipäästöistä.

Pienhiukkasten osalta mallissa otettiin huomioon liikenteen suorat päästöt, kokeellisen kertoimen avulla arvioidut epäsuorat päästöt sekä kaukokulkeuma. Suorat päästöt kyettiin arvioimaan myös vuodelle 2025 päästöfunktioiden kehitystä ennakoimalla. Epäsuorien päästöjen sekä kaukokulkeuman arviot vuodelle 2025 ovat toistaiseksi hyvin epävarmoja eikä tuloksia sen vuoksi ole tässä raportissa esitetty.

Päästökertoimet vuodelle 2025 ovat todennäköisesti liian optimistisia. Päästökertoimista ja ajoneuvojakaumista kertyy jatkuvasti uutta tietoa ja mallilaskelmat on tarkoitettu uusien vuoden 2007 aikana.

Pitoisuusmallitus on tehty koko seudun kattavalla mallilla, jossa rakennukset ja maastonmuodot käsitellään yleisenä nk. rosoisuutena. Mallin tuloksena saatavat pitoisuudet vastaavat siten lähinnä kaupungin yleistä pitoisuustasoa, nk. kaupunkitaustapitoisuutta. Malli aliarvioi siten esimerkiksi pitoisuuksia katukuiluissa, joissa pitoisuuksien laimentuminen on heikentynyt rakennusten vuoksi. Katukuilut on kuitenkin mahdollista mallintaa erikseen.

Tässä tutkimuksessa työ painottui altistumismallin kehittämiseen sekä lähtötietojen arviointiin ja parantamiseen. Mallin tuloksia on esitelty esimerkkikuvissa, joissa on kuvattu väestön altistuminen tyypidioksidille ja pienhiukkasille ”tyypillisenä” talvipäivänä sekä inversiopäivän aamuruuhkatunnin (klo 7 – 8) aikana.

Altistuminen oli suurinta Helsingin keskustassa, vilkkaasti liikennöityjen väylien varrella sekä liikennevälineissä. Inversiotilanteessa ilmansaasteiden sekoittuminen ja laimeneminen on heikkoa ja pitoisuudet siten tavanomaista korkeampia. Esimerkiksi yli  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ :n tyypidioksidipitoisuuksille altistui inversiopäivänä lähes kaksinkertainen määrä työikäisistä ”tyypilliseen” talvipäivään verrattuna. Myös vuodelle 2025 arvioitiin altistumisia erilaisille tyyppipäiville. Väestön altistuminen on huomattavasti vähäisempää vuonna 2025 kuin 2002. Tämä johtuu siitä, että liikenteen suorien päästöjen on oletettu pienenevän huomattavasti vuoteen 2025 mennessä.

Altistumisen mallinnus vaatii monien hyvin erilaisten lähtötietojen yhteensovittamista. Tulevaisuuden skenaarioissa monet lähtötiedot perustuvat arvioihin siitä, miten pääkaupunkiseutu ja ihmisten ajankäyttö kehittyvät ja muuttuvat. Siksi mallinnuksen tuloksetkin ovat vain suuntaa-antavia.

Ihmiset oleilevat valtaosan ajastaan sisätiloissa, joten altistumisen arvioimiseksi tarvitaan tietoa ilmansaasteiden pitoisuuksista kodeissa, työpaikoilla, liikennevälineissä ym. Tässä työssä kotien ja työpaikkojen pitoisuudet arvioitiin ulkoilmapitoisuuksista vakiokertoimella. Lisäksi oletettiin, että liikennevälineissä on samat pitoisuudet kuin liikenneväylällä, koska mittaustuloksia ei ole ollut käytettävissä. Liikennevälineissä altistumisesta on erittäin vähän tietoa niin maailmalla kuin Suomessakin. Pääkaupunkiseudulla on tämän työn jälkeen tehty joitain pitoisuus- ja altistumismittauksia busseissa, raitiovaunuissa ja metrossa (Hämeri ym. 2006, Aarnio ym. 2006). Altistumisen mallinnusta ja arviointia voidaan parantaa nykyisestä, kunhan eri epäpuhtauksien ulko-sisäsiirtymistä sekä pitoisuuksista liikenneväylillä ja liikennevälineissä saadaan lisää tietoa.

Ajankäyttötutkimukset tuottavat tietoa erilaisista toiminnoista ja niihin käytetystä ajasta eivät suoraan paikoista, joissa ihmiset oleskelevat, mikä vaikeuttaa altistumisen arviointia. Lapset ovat tärkeä väestöryhmä ilmansaasteiden terveysvaikutusten arvioinnin kannalta, ja lasten altistumisen arviointi olisi tarpeen liittää malliin. Lasten ajankäytöstä on kuitenkin vain vähän tietoa saatavissa niin Suomesta kuin muistakin maista. Mallia voitaisiin kehittää myös väestön vapaa-ajanvieton ja liikenteen ajankäy-

tön osalta, sillä ihmisten liikkuminen ja ajankäyttö vapaa-ajan harrastuksissa muuttunevat suuresti tulevaisuudessa.

Työssä kehitettyä altistumismallia voidaan käyttää leviämismallien rinnalla hyödyksi hahmottamaan ilmanlaadun kannalta ongelmallisiksi muodostuvia alueita. Mallilla on monenlaisia käyttömahdollisuuksia: sitä voidaan soveltaa esim. eri-ikäisiin väestöryhmiin tai rajatuille alueille. Suunnittelun apuvälineenä sitä voidaan käyttää mm. arvioitaessa päästövähennysten tai muiden toimenpiteiden vaikutuksia ilmansaasteiden pitoisuuksiin ja altistumiseen.



## Viitteet

Aarnio, P., Yli-Tuomi, T., Jantunen, M., Kousa, A., Koskentalo, T., Mäkelä, T., Hillamo, R., Hirsikko, A., Hämeri, K., Räisänen, M., Tervahattu, H., 2006. Pienhiukkaset Helsingin metrossa. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja B 2006:1, Helsinki.

Borrego, C., Tchepel, O., Costa, A.M., Martins, H., Ferreira, J., Miranda, A.I., 2006. Traffic-related particulate air pollution exposure in urban areas. *Atmospheric Environment*, 40, 7205-7214.

Espoo 2004. Espoon eteläosien yleiskaavaaluonnos 2030. Yleiskaavaaluonnos 27.4.2004.

Gulliver, J., 2002. Time-space modeling of journey-time exposure to traffic-related air pollution using GIS. Väitöskirja. University of Leicester, UK.

Gulliver, J., Briggs, D., 2005. Time-space modeling of journey-time exposure to traffic-related air pollution using GIS. *Environmental Research* 2005, 97(1):10-25.

Hellman T., 2004. Henkilöautojen keskiuormitus Helsingissä vuonna 2004. Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto. Muistio 21.6.2004. Helsinki.

Helsinki, 2002. Helsingin yleiskaava 2002, ehdotus.

Hämeri, K., Vartiainen, E., Yli-Tuomi, T., Jantunen, M., Aarnio, P., Koskentalo, T., Kousa, A., Mäkelä, T., Hillamo, R., 2006. Exposure to Aerosols in Buses and Trams in Helsinki –Seasonal Dependence. 7th International Aerosol Conference, St. Paul, Minnesota, USA, September 10-15, 2006.

Hänninen, O., Alm, S., Rotko, T., Koistinen, K., Kousa, A., Jurvelin, J., Jantunen, M., 2004. Ilmansaasteiden altistustasot Suomessa. *Ympäristö ja Terveys-lehti* 4:2004, 50-55.

Hänninen, O., 2005. Probabilistic modelling of PM<sub>2.5</sub> exposures in the working age population of Helsinki Metropolitan Area. Väitöskirja. KTL A10/2005 Kuopio.

Härkönen, J., 2002. Regulatory dispersion modelling of traffic-originated pollution. Väitöskirja. Finnish Meteorological Institute, Contributions No. 38, Helsinki.

Jensen, S.S., 1999. A geographic approach to modelling human exposure to traffic air pollution using GIS. Väitöskirja, National Environmental Research Institute, Denmark.

Karppinen, A., S. M. Joffre and J. Kukkonen, 2000. The refinement of a meteorological preprocessor for the urban environment. *International Journal of Environment and Pollution*, Vol. 14, Nos. 1-6, pp. 565-572.

Karppinen, A., Härkönen, J., Kukkonen, J., Aarnio, P. and Koskentalo, T., 2004. Statistical model for assessing the portion of fine particulate matter transported regionally and long-range to urban air. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 30 (suppl. 2), pp. 47-53.

Koistinen, K., Hänninen, O., Jantunen M., 2004. Pääkaupunkiseudun pienhiukkasaltistuksia kohottavat tekijät. Ilmansuojelu 2/2004, 16-20.

Kousa, A., Rotko, T., 2004. Typpidioksidipitoisuudet ja -altistuminen pääkaupunkiseudulla. Ilmansuojelu 2/2004, 21-25.

Kousa, A., Karppinen, A., Aarnio, P., Kukkonen, J., Koskentalo, T., 2001. EXPAND-altistumismalli, Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 2001:12, Helsinki.

Künzli, N., Kaiser, R., Medina, S., Studnicka, M., Chanel, O., Filliger, P., Herry, M., Horak, F., Puybonnieux-Textier, V., Quénel, P., Schneider, J., Seethaler, R., Vergnaud, J-C., Sommer, H., 2000. Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment, The Lancet 356, 795-801.

Laurikko, J., Kukkonen, J., Koistinen, K., Koskentalo T., 2003 Integrated modelling system for the evaluation of the impact of Transport-related measures to urban air quality. In: Proceedings of the 12th symposium "Transport and Air Pollution", 16-18 June 2003, Avignon, France

Lilleberg, I., Hellman, T., 2001. Liikenteen kehitys Helsingissä vuonna 2000. Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston julkaisuja 2001:4, Helsinki.

Mukala, K., 1999. Personal Exposure to Nitrogen Dioxide and Health Effects among Preschool Children. Väitöskirja. Publications of the National Public Health Institute, A22/1999.

Rotko, T., Jantunen, M., 2004. Ilmansaastealtistuksen väestölliset riskitekijät Helsingissä. Ilmansuojelu 2/2004, 31-34.

Stambej, T., 1998 Pääkaupunkiseudun väestön altistuminen typpidioksidille MINI-EXPAND, Muistio 22.12.1998, Ympäristötoimisto, YTV.

Tiitta, P., Raunemaa, T., Tissari, J., Yli-Tuomi, T., Leskinen, A., Kukkonen, J., Härkönen, J., Karppinen, A., 2002. Measurements and Modelling of PM<sub>2.5</sub> Concentrations Near a Major Road in Kuopio, Finland. Atmospheric Environment 36/25, pp. 4057-4068.

Tilastokeskus 2003. Ajankäyttötutkimus. <http://tilastokeskus.fi/til/akay/index.html>

Vantaa, 2003. Vantaan maankäytön kehityskuva ja yleiskaavan tavoitteet. Kaupungin hallitus 28.4.2003.

YTV, 1997. Liikennejärjestelmän vaikutukset ilmanlaatuun. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja 1997:11, Helsinki.

YTV, 2003a. Pääkaupunkiseudun liikennejärjestelmäsuunnitelma PLJ 2002, Pääkaupunkiseudun julkaisusarja B 2003:9, Helsinki.

YTV, 2003b. Pääkaupunkiseudun liikenne-ennustemallit 2000, Pääkaupunkiseudun julkaisusarja B 2003:9, Helsinki.

YTV, 2003c. Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2002, Pääkaupunkiseudun julkaisusarja B 2003:11, Helsinki.

WHO, 2002. The World health report: 2002: Reducing risks, promoting healthy life. Geneva, World Health Organization.

WHO, 2005. Air quality guidelines global update 2005. Report on a Working Group meeting, Bonn, Germany, 18-20 October 2005

## Liikenteen sijoittelu- ja päästölaskelmien kuvaus

Käsittelyssä pääkaupunkiseutu jaetaan 129 alueeseen. Mallien syöttötietoja ovat mm. asukas- ja työpaikkamäärät sekä autotiheydet alueittain, alueiden väliset matka-ajat, kustannukset ja joukko-liikennevaihtojen määrät eri kulkutavoilla. Mallijärjestelmänä on neliporrasmalli, jonka vaiheita ovat matkatuotosten laskeminen, määräpaikan, kulkutavan ja reitin valinta. Mallit tuottavat alueiden väliset matkamäärät eri kulkutavoilla. Kun seudun asukkaiden seudun sisällä tekemiin henkilöautomatkoihin lisätään yksinkertaisilla malleilla lasketut seudun ulkopuolella asuvien matkat seudulla, seudun rajan ylittävät matkat sekä kuorma- ja pakettiautomatkat, saadaan ns. matkamatriisi eli alueiden välisten ajoneuvomatkojen kokonaismäärät.

YTV:ssä on tehty autoverkon kuvaukset, joiden solmuja ovat tärkeimmät liittymät. Niiden välisten linkkien ominaisuuksia ovat mm. pituus, kaistamäärä ja viivytysfunktio, josta saadaan linkin matka-aika eri liikennemäärillä. Kun verkkoa kuormitetaan matkamatriisilla, saadaan kunkin linkin liikennemäärä ja keskinopeus. Sijoittelumenetelmänä käytetään kapasiteettirajoitettua tasapainosijoittelua eli tasapainotilanteessa kukaan ei voi pienentää matka-aikaansa vaihtamalla toiselle reitille. Päästölaskelmissa käytetyn pääkaupunkiseudun sisäisen autoverkon kuvauksissa on 284 aluetta, noin 1 900 solmua ja noin 4 200 linkkiä.

Joukkoliikennejärjestelmän kuvauksessa on linjasto ja sen tarvitsema verkko. Linjoilla on tunnus, keskimääräinen vuoroväli ja reitti (kuvattu solmujen jonona). Linkkiattribuutteja ovat mm. pituus ja keskinopeus. Lisäksi on kuvattu syöttökävely-yhteydet alueiden ja pysäkkien välillä sekä vaihtokävely-yhteydet. Alueiden väliset matka-ajat ja vaihtomäärät saadaan, kun järjestelmää kuormitetaan joukkoliikenteen matkamatriisilla. YTV:n käyttämässä vuoden 2000 joukkoliikennejärjestelmän kuvauksessa on 597 aluetta, noin 4 800 bussi-, 300 raitiovaunu- ja 100 raskaan raideliikenteen linkkiä. Bussilinjoja on 292, raitiovaunulinjoja 10 ja raskaan raideliikenteen (lähijuna ja metro) linjoja 11. Vastaavat luvut vuodelle 2025 tehdyssä PLJ 2002 -kuvauksessa ovat 5 300 bussi-, 380 raitiovaunu- ja 200 raskaan raideliikenteen linkkiä. Bussilinjoja on vuoden 2025 kuvauksessa 249, raitiovaunulinjoja 12 ja raskaan raideliikenteen linjoja 14.

Kevyen liikenteen liikennemäärät ja suoritteet on laskettu sijoittelemalla kevyen liikenteen ennustematriisit pyöräilyverkolle. Viikon 72 tunnille on laskettu regressiomallit, joilla ko. tunteina laskentapisteissä havaittuja poikkileikkausliikennemääriä selitetään aamu-, ilta- ja päivätunnin liikennemäärillä. Malleja käyttäen voidaan laskea liikennemäärät kaikille linkeille kaikkina aikajaksoina. Regressiomallit ovat samat kuin henkilö- ja pakettiautoliikenteessä.

PLJ2002 –ennusteessa vuodelle 2025 seudun asukasmäärä on 1 133 500, työpaikkamäärä 662 400 ja keskimääräinen autotiheys 456 autoa 1000 asukasta kohden. Vastaavat luvut nykyennusteessa 2000 ovat 928 950 asukasta, 540 401 työpaikkaa ja 348 autoa 1000 asukasta kohden.

Vuoden 2025 liikennejärjestelmässä on metro Matinkylään, Marja-rata, Keskustatunneli ja Kehä II Länsiväylältä Hämeenlinnanväylälle.

Liikennemalleilla on ennustettu aamuhuippu-, iltahuippu- ja päivätunnin matkamatriisit 129-jaolla, joten ne on jaettava 284 alueeksi autosijoittelua ja 597 alueeksi joukkoliikennesijoittelua varten. Ennustetun matkamatriisin muunnoksessa verkon kuormituksen aluejakoon on käytetty asukas- ja työpaikkamääristä laskettuja jakosuhteita.

Neljällä laskentalinjalla tehtyjen liikennelaskentojen perusteella on tehty regressiomallit, joilla kolmesta ennustetusta ajoneuvomatkamatriisista saadaan 10 arki-, 7 lauantai- ja 7 sunnuntaitunnin matkamatriisit.

Joukkoliikennejärjestelmän linjaston kuvaus on vain kahdelta aikajaksolta eli aamuhuippu- ja päivä-tunnilta. Muut arkipäivän, lauantain ja sunnuntain tunnit saadaan regressiomalleilla.

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

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

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

**Pääkaupunkiseudun julkaisusarja 4/2007**

ISBN: 978-951-798-625-0  
ISSN: 1796-6965