

**Pro gradu -tutkielma**

**Ilmanlaadun seurannan kehittämistarpeet  
Esimerkkitapaus Pirkanmaa**

**Elina Tampio**



**Jyväskylän yliopisto**  
Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Ympäristötiede ja -teknologia  
1.9.2010

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta  
Bio- ja ympäristötieteiden laitos  
Ympäristötiede ja -teknologia

Elina Tampio: Ilmanlaadun seurannan kehittämistarpeet  
Esimerkkitapaus Pirkanmaa  
Pro gradu -tutkielma: 112 s., 5 liitettä (9 s.)  
Työn ohjaajat: FT Timo Ålander, FM Sari Tuomivaara  
Tarkastajat: FT Kari Hänninen, FT Timo Ålander  
Toukokuu 2010

---

Hakusanat: ilmansuojelu, ilmanlaatu, Pirkanmaa, epäpuhtaudet, kehittäminen, ympäristön tila, Tampere, Valkeakoski

## TIIVISTELMÄ

Tässä tutkimuksessa kartoitettiin ilmanlaadun tilaa Pirkanmaalla 2000-luvulla, selvitettiin sen seurannan tarvetta ja esitettiin erilaisia kehitysehdotuksia ilmanlaadun parantamiseksi alueella. Päästötietoja tutkittiin niin liikenteen, energiantuotannon ja teollisuuden kuin maataloudenkin osalta. Liikenteen päästötiedot saatiin VTT:n LIPASTO-järjestelmästä, energiantuotannon ja teollisuuden tiedot ympäristöhallinnon VAHTI-järjestelmästä ja maatalouden päästötiedot taas ympäristöhallinnon Hertta-järjestelmästä. Ilmanlaadun seurannan tarvetta ja kuntien merkittävimpiä päästölähteitä kartoitettiin Pirkanmaan kuntiin lähetetyn kyselyn avulla.

Liikenteen päästöjen havaittiin laskeneen huolimatta ajoneuvokannan sekä polttoaineenkulutuksen kasvusta. Myös teollisuuden ja energiantuotannon päästömäärien havaittiin laskeneen entisestään 2000-luvulla huolimatta puutteista ja ongelmista päästötiedoissa. Maatalouden osalta päästöjen lasku ei ole ollut yhtä selkeää, vaan päästömäärät vaihtelivat vuosittain. Ilmanlaadun seurannan osalta tarvetta laajemmille tutkimuksille esimerkiksi bioindikaattorikartoituksille ilmeni ympäri Pirkanmaata, kun taas ilmanlaadun mittausten jatkumista toivoivat lähinnä sitä jo harjoittavat kunnat. Merkittävimmiä päästölähteiksi osoittautuivat energiantuotanto ja liikenne.

Ilmanlaadun kehittämisen osalta ongelmakohtiksi tutkimuksessa nousivat liikenne, pienpoltto, maatalous, turvetuotanto, teollisuus ja energiantuotanto sekä mittausten ja tutkimusten vähäinen määrä. Kehitysehdotuksiin taas kuuluivat oleellisena osana alueidenkäyttö sekä kaavoitus, uudet päästöjen ja katupölyn puhdistustekniikat, polttoaineiden ja -laitteiden valinta, joukkoliikenteen lisäys sekä tiedotus. Uudet ilmanlaadun tutkimukset ja mittausten yhtenäistäminen sekä teollisuus- ja energiantuotantolaitosten velvoitemittausten uudistaminen kuuluivat myös tämän tutkimuksen esittämiin kehitysehdotuksiin.

UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ, Faculty of Mathematics and Science  
Department of Biological and Environmental Sciences  
Environmental Science and Technology

Elina Tampio: Development needs of air quality monitoring  
A case study in Pirkanmaa  
Master thesis: 112 p., 5 appendices (9 p.)  
Supervisors: Ph.D. Timo Ålander, M.Sc. Sari Tuomivaara  
Inspectors: Ph.D. Kari Hänninen, Ph.D. Timo Ålander  
May 2010

---

Key words: air pollution control, air quality, Pirkanmaa, air pollutants, development, state of the environment, Tampere, Valkeakoski

## **ABSTRACT**

In this study the state of air quality in Pirkanmaa in the 21st century was reported, the need for air quality monitoring was examined and some development suggestions were made to improve air quality in the area. Emission data from traffic, energy production and industry as well as agriculture was investigated. Traffic-related data was gathered from VTT's LIPASTO system, data of energy production and industry was from environmental administration's VAHTI system and agricultural data from environmental administration's Hertta system. The need for air quality monitoring and the major emission sources were solved with an inquiry sent to municipalities in Pirkanmaa.

Emissions from traffic were noticed to decrease despite the increase of number of vehicles and use of fuel. There was also a decrease in the energy production and industry related emissions in the 21st century despite the lacks and problems with the data. Decrease in the emissions from the agriculture was not as clear and emissions were observed to vary from year to year. The need for more extensive air quality research, for example bioindicator studies, was detected all around Pirkanmaa, while continuation of air quality monitoring was expected only in municipalities where monitoring is currently in operation. Energy production and traffic were the most significant emission sources according to municipalities.

In this report the problems in improving the air quality in Pirkanmaa were traffic, small-scale combustion, agriculture, peat production, industry and energy production as well as small amount of monitoring and researching practices. Suggestions to improve air quality were related to land use and planning, new techniques to reduce emissions and road dust, selection of fuel and combustion techniques, increase in public transport as well as information and guidance. Further air quality studies and the unification of current monitoring systems as well as new commitment measures for industry and energy production were also suggested in this report to improve air quality.

## Sisällysluettelo

<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 ILMAN EPÄPUHTAUKSIEN TEORIAA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Sääilmiöiden vaikutus ilman epäpuhtauksien liikkeisiin.....	5
2.2 Hiukkaset .....	7
2.2.1 Kasvihuonevaikutukset .....	10
2.2.2 Terveysvaikutukset .....	11
2.2.3 Luontovaikutukset.....	12
2.3 Otsoni.....	13
2.3.1 Kasvihuonevaikutukset .....	15
2.3.2 Terveysvaikutukset .....	15
2.3.3 Luontovaikutukset.....	15
2.4 Typen oksidit .....	16
2.4.1 Kasvihuonevaikutukset .....	18
2.4.2 Terveysvaikutukset .....	19
2.4.3 Luontovaikutukset.....	19
2.5 Dityppioksidi .....	20
2.5.1 Kasvihuonevaikutukset .....	21
2.5.2 Terveysvaikutukset .....	21
2.6 Ammoniakki .....	22
2.6.1 Terveysvaikutukset .....	23
2.6.2 Luontovaikutukset.....	23
2.7 Amiinit.....	24
2.7.1 Terveysvaikutukset .....	24
2.8 Orgaaniset yhdisteet.....	25
2.8.1 Kasvihuonevaikutukset .....	27
2.8.2 Terveysvaikutukset .....	27
2.9 Hiilimonoksidi .....	28
2.9.1 Kasvihuonevaikutukset .....	29
2.9.2 Terveysvaikutukset .....	29
2.10 Rikkidioksidi.....	30
2.10.1 Terveysvaikutukset .....	31
2.10.2 Luontovaikutukset.....	31
2.11 Haisevat rikkiyhdisteet .....	31
2.11.1 Terveysvaikutukset .....	32

<b>3 ILMANLAADUN TUTKIMUS.....</b>	<b>33</b>
3.1 Ilmanlaadun tutkimus Suomessa ja Euroopassa.....	33
3.2 Ilmanlaadun mittaus .....	34
3.3 Leviämismallit.....	34
3.4 Bioindikaattorikartoitukset .....	36
<b>4 ILMANLAATUUN LIITTYVÄ LAINSÄÄDÄNTÖ.....</b>	<b>39</b>
4.1 EU:n lainsäädäntö.....	39
4.1.1 EU:n rooli ilmansuojelussa.....	39
4.1.2 Ilmanlaatudirektiivi.....	39
4.1.3 Päästökattodirektiivi ja IPPC-direktiivi .....	40
4.1.4 Ajoneuvojen päästörajoitukset.....	41
4.1.5 Bensiinihöyryjen talteenottodirektiivi .....	43
4.2 Kansainväliset sopimukset .....	44
4.3 Suomen lainsäädäntö .....	45
4.3.1 Ympäristönsuojelulaki ja -asetus .....	45
4.3.2 Ilmanlaatuasetus.....	46
4.3.3 Päätös ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvoista.....	47
4.3.4 Asetus arseenista, kadmiumista, elohopeasta, nikkelistä sekä polysyklisistä aromaattisista hiilivedyistä .....	48
4.3.5 Asetus alailmakehän otsonista .....	49
4.3.6 Muut ilmanlaatuun liittyvät asetukset.....	50
<b>5 AINEISTO JA MENETELMÄT.....</b>	<b>51</b>
5.1 Pirkanmaa .....	51
5.2 Ilmanlaadun tarkkailu ja tiedotus .....	52
5.2.1 Ilmanlaadun tarkkailu Tampereella ja Valkeakoskella.....	52
5.2.2 Ilmanlaadusta tiedottaminen .....	55
5.3 Mittaukset, leviämismallit ja bioindikaattorikartoitukset.....	57
5.4 Päästöt Pirkanmaalla .....	57
5.4.1 Päästötietokannat .....	57
5.4.2 Tie- ja raideliikenteen päästöt.....	57
5.4.3 Teollisuuden päästöt .....	60
5.4.4 Maatalouden päästöt .....	61
<b>6 TULOKSET .....</b>	<b>63</b>
6.1 Mittaukset, leviämismallit ja bioindikaattorikartoitukset.....	63
6.2 Päästöt Pirkanmaalla .....	64
6.2.1 Kokonaispäästöt.....	64
6.2.2 Tie- ja raideliikenteen päästöt.....	65

6.2.3 Teollisuuden ja energiantuotannon päästöt.....	71
6.2.4 Maatalouden päästöt .....	76
<b>7 TULOSTEN TARKASTELU .....</b>	<b>79</b>
7.1 Mittaukset, leviämismallit ja bioindikaattorikartoitukset .....	79
7.2 Päästöt Pirkanmaalla.....	80
7.2.1 Tie- ja raideliikenteen päästöt .....	80
7.2.2 Teollisuuden ja energiantuotannon päästöt.....	81
7.2.3 Maatalouden päästöt .....	83
7.3 Innovaatiot Pirkanmaalla .....	83
<b>8 ILMANLAADUN PARANTAMINEN JA SEURANNAN KEHITTÄMINEN PIRKANMAALLA.....</b>	<b>85</b>
8.1 Ilmanlaadun ongelmakohdat Pirkanmaalla.....	85
8.1.1 Liikenne .....	86
8.1.2 Pienpoltto ja energiantuotanto .....	86
8.1.3 Maatalous ja turvetuotanto.....	86
8.2 Ilmanlaadun parantaminen ja seurannan kehittäminen.....	88
8.2.1 Ilmanlaadun seuranta ja mittaukset.....	88
8.2.2 Energiantuotanto .....	88
8.2.3 Liikenne .....	89
8.2.4 Pienpoltto .....	91
8.2.5 Maatalous ja turvetuotanto.....	92
8.2.6 Alueidenkäyttö ja kaavoitus.....	93
<b>9 JOHTOPÄÄTÖKSET .....</b>	<b>95</b>
<b>KIITOKSET .....</b>	<b>97</b>
<b>KIRJALLISUUS.....</b>	<b>98</b>
<b>VIRALLISLÄHTEET.....</b>	<b>109</b>
<b>LIITTEET.....</b>	<b>113</b>

## SYMBOLILUETTELO

AKE	Ajoneuvohallintokeskus
BVOC	Biogenic Volatile Organic Compounds, biologisesti muodostuneet haihtuvat orgaaniset yhdisteet
CH <sub>3</sub> SH	Metyylimerkaptaani
CH <sub>3</sub> SCH <sub>3</sub>	Dimetyylisulfidi
CH <sub>3</sub> SSCH <sub>3</sub>	Dimetyylidisulfidi
CO	Hiilimonoksidi
EEV	Enhanced Environmentally Friendly Vehicles
ELPI	Electrical Low Pressure Impactor, hiukkasten mittauslaite
Hertta	Ympäristöhallinnon ympäristötiedon hallintajärjestelmä
H <sub>2</sub> S	Rikkivety
HC	Hydrocarbons, hiilivedyt
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change, hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli
IPTJ	Ilmapäästötietojärjestelmä
LIISA	LIPASTO laskentajärjestelmän tieliikennettä koskeva alamalli
LIPASTO	Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä
N <sub>2</sub> O	Dityppioksidi, typpioksiduuli
NH <sub>3</sub> + NH <sub>4</sub>	Ammoniakki + ammoniumtyppi
NH <sub>3</sub>	Ammoniakki
NMVOC	Non-Methanous Volatile Organic Compounds, haihtuvat orgaaniset yhdisteet metaania lukuun ottamatta
NO	Typpimonoksidi
NO <sub>2</sub>	Typpidioksidi
NO <sub>x</sub>	Typen oksidit
O <sub>3</sub>	Otsoni
PAH	Polycyclic Aromatic Hydrocarbon, polysykliset aromaattiset hiilivedyt
PM <sub>0,1</sub>	Ultrapienet hiukkaset, alle 0,1 µm:n massapitoisuus
PM <sub>2,5</sub>	Pienhiukkaset, alle 2,5 µm:n massapitoisuus
PM <sub>10</sub>	Hengitettävät hiukkaset, alle 10 µm:n massapitoisuus
RAILI	LIPASTO laskentajärjestelmän rautatieliikennettä koskeva alamalli

SO <sub>2</sub>	Rikkidioksidi
TEOM	Tapered Element Oscillating Microbalance, hiukkasten mittauslaite
TRS	Total Reduced Sulphur, haisevat rikkiyhdisteet, pelkistyneet rikkiyhdisteet
TSP	Total Suspended Particulates, kokonaisleijuma
VOC	Volatile Organic Compounds, haihtuvat orgaaniset yhdisteet
VAHTI	Ympäristöhallinnon valvonta- ja kuormitustietojärjestelmä



## 1 JOHDANTO

Ilmanlaatuun vaikuttavia tekijöitä ovat usein ihmisperäisistä eli antropogeenisistä lähteistä ilmakehään vapautuvat yhdisteet tai niistä erilaisissa ilmakehäprosesseissa muodostuvat uudet yhdisteet. Päästöjen lähteitä ovat mm. liikenne, energiantuotanto, lämmitys, teollisuus sekä maatalous, mutta haitallisia yhdisteitä voi muodostua myös luonnollisesti ilmakehän omissa prosesseissa, tulivuorenpurkauksissa ja maaperän toiminnassa (Karvosenoja 2008, Seinfeld & Pandis 2006). Tässä tutkimuksessa käsiteltyjä epäpuhtauksia ovat hiukaset, otsoni, typen oksidit, dityppioksidi, ammoniakki, amiinit, hiilimonoksidi, hiilivedyt, rikkidioksidi sekä haisevat rikkiyhdisteet. Nämä yhdisteet voivat vaikuttaa ilmakehässä eri tavoin. Päästöjen muodostumiseen vaikuttavat päästöjen lähde ja elinkaari, kuten kulkeutuminen ilmakehässä ja haitallisen aineen pitoisuus ilmassa. Kulkeutumiseen vaikuttavia tekijöitä taas ovat esimerkiksi meteorologiset ilmiöt, kuten tuulet tai auringon säteilyn muutokset (kuva 1) (Mayer 1999).

Epäpuhtauksia pidetään haitallisina niiden erilaisten vaikutusten vuoksi. Eräät päästökomponentit voivat vaikuttaa merkittävästi terveyteen (mm. Curtis ym. 2006, WHO 2004) tai kasvillisuuteen ja luontoon (mm. Reig-Armiñana ym. 2004, Vallero 2008), kun taas toiset voivat olla ilmastonmuutoksen kannalta voimakkaita kasvihuonekaasuja (mm. IPCC 2007, Jacob & Winner 2009). Ilman epäpuhtauksien aiheuttamia terveys- ja ekologisia vaikutuksia on pyritty estämään kansallisilla sekä kansainvälisillä ohjaukeinoilla, kuten Euroopan Unionin (EU) ja sen valtioiden lainsäädännöllä. Myös ilman epäpuhtauksien aiheuttamat kasvihuonekaasuvaikutukset on viime aikoina otettu huomioon lainsäädännössä. Esimerkiksi valtioneuvoston hyväksymässä ilmasto- ja energiastrategiassa sekä valtakunnallisissa alueidenkäytön tavoitteissa on listattu monia toimia ilmansaasteiden terveys-, viihtyvyys- ja luontovaikutusten sekä kasvihuonekaasujen haittojen ehkäisemiseksi (VN 2008, YM 2001, YM 2009).

Ilmasto- ja energiastrategian tavoitteena on esitellä päästövähennys- sekä energiatehokkuustoimia, joita esitetään myös maakunnille sekä kunnille. Valtioneuvosto hyväksyi strategian marraskuussa 2008. Uusi strategia on osa EU:n päästötavoitteita ja ilmastoneuvotte-luja ja pääosin se keskittyy kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen. Strategia esittää päästötavoitteita sekä päästöjä vähennys- ja energiatehokkuustoimia vuoteen 2050 asti, joskin yksityiskohtaisemmin vuoteen 2020 asti (VN 2008).

Valtakunnalliset alueidenkäytön tavoitteet tulivat voimaan valtioneuvoston päätöksellä 30. marraskuuta vuonna 2000 (YM 2001), ja tavoitteiden tarkistus tapahtui vuonna 2008, jolloin tarkoituksena oli saada alueidenkäyttötavoitteet mukautumaan nykypäivän tilanteeseen, esimerkiksi ilmastonmuutokseen (YM 2009). Alueidenkäyttötavoitteiksi luokitellaan sellaiset toimet, joilla on esimerkiksi alueidenkäytön, liikenne- tai energiaverkon kannalta maakuntaa suurempi tai kansainvälinen vaikutus. Myös hyvin merkittävästi kulttuuri- tai luonnonperinteeseen, ekologiseen kestävyYTEEN tai aluerakenteen taloudellisuuteen kansallisesti vaikuttavat ja merkittävästi ympäristöhaittoja vähentävät toimet ovat osa valtakunnallisia alueidenkäyttötavoitteita (MRL 132/1999).

Suomessa ilmanlaadun tarkkailua suorittavat niin kunnat, teollisuus- kuin tutkimuslaitoksetkin. Ilmanlaadun tutkimuksen ja tarkkailun osalta koko maan tilanne on hyvä, mutta kunta- ja maakuntakohtaisia kehittämistarpeita esiintyy. Esimerkiksi liikenteen, etenkin katupölyn, aiheuttamat ongelmat vaativat erilaisia ratkaisuja, joihin voidaan vaikuttaa esimerkiksi uusien teknologioiden ja innovaatioiden, tutkimuksen sekä alueidenkäytön suunnittelun avulla.

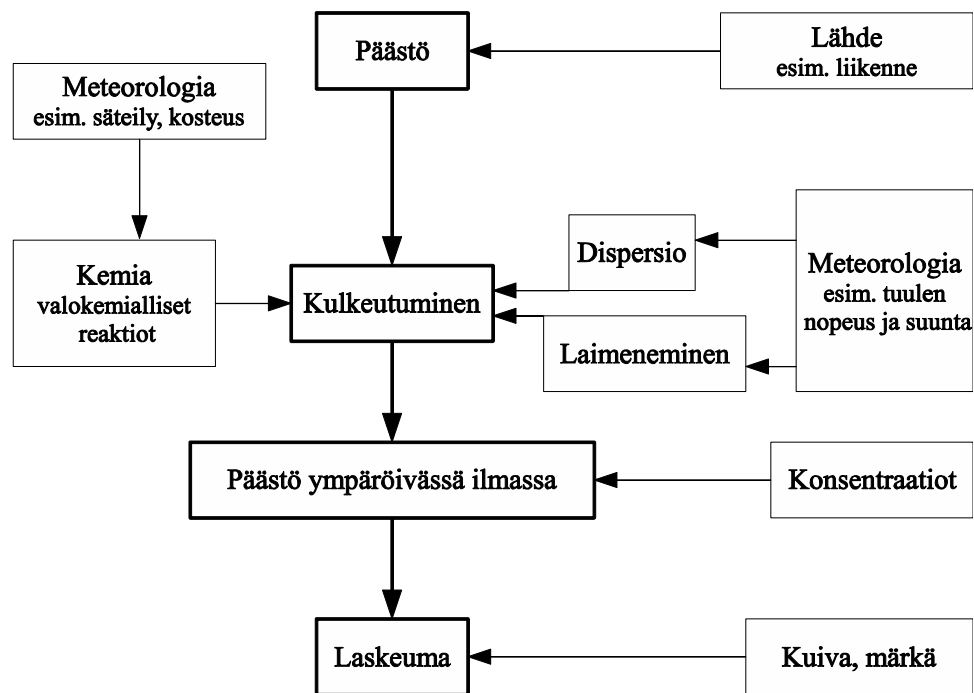
Pirkanmaalla ilmanlaadun tarkkailun järjestämiseen vaikuttavat tällä hetkellä teollisuuden sekä ilmanlaadun tutkimuksen resurssien väheneminen valtion ja kuntien säästötoimien myötä. Toisaalta taas alati lisääntyvä liikenteen määrä asettaa haasteita ilmanlaadulle ja sen tarkkailulle. Ilmanlaadun tarkkailun ja toteutuksen rahoituksesta vastaavat Pirkanmaalla teollisuuslaitokset ja kunnat yhdessä, mutta teollisuuden, esimerkiksi selluteollisuuden, vähetessä ilmanlaadun rahoitus pienenee, ja suuri osa ilmanlaadun seurannan vastuusta ja rahoituksesta siirtyy kunnille. Näiden seikkojen vuoksi ilmanlaadun ja sen seurannan tila Pirkanmaalla ei ole enää sama kuin vuosikymmen sitten, ja kattavaa yhteenvetoa koko maakunnan ilmanlaadun tilasta tarvitaan. Myös ympäristönsuojelulain mukaisesti alueelliset ympäristökeskukset on velvoitettu edistämään ja ohjaamaan lain mukaisia, mm. ilmanlaatuun liittyviä toimintoja alueellaan (YSL 86/2000).

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää kirjallisuuden avulla ilmanlaatuun vaikuttavien komponenttien ominaisuuksia, vaikutuksia ympäristöön ja terveyteen sekä kasvihuonekaasupotentiaalia. Tavoitteena oli myös tutkia Pirkanmaan ilmanlaadun tilaa ja ilmanlaatu tutkimuksen historiaa alueella, koska koko Pirkanmaan kattavaa tutkimusta ei aikaisemmin ollut tehty. Tarkastelun kohteena olivat 2000-luvun päästöt, niiden määrät ja mahdollinen

alueen ilmanlaadun lisätutkimuksen tarve. Yhtenä tavoitteena oli myös esittää erilaisia keinoja ilmanlaadun parantamiseksi Pirkanmaalla.

Tutkimuksen aineiston keruu suoritettiin Pirkanmaan ympäristökeskuksella (nyk. Pirkanmaan ELY-keskus) kesän 2009 aikana. Tiedonhaussa apuna käytettiin ympäristöhallinnon tietojärjestelmiä sekä Pirkanmaan kuntien ympäristöviranomaisille lähetetyn kyselyn vastauksia. Tutkimuksen tuloksia voidaan jatkossa käyttää apuna sekä Pirkanmaan kuntien että ympäristökeskusten tiedonhaussa, mutta myös esimerkiksi alueidenkäytön suunnittelussa, kaavoituksessa ja liikennesuunnittelussa, ilmanlaadun seurannan suunnittelussa sekä lupamenettelyissä.

Vuoden 2010 alussa tapahtuneen valtion aluehallinnon uudistuksen myötä alueelliset ympäristökeskukset jakautuivat alueellisiin elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksiin (ELY) sekä aluehallintovirastoihin (AVI). Tämän työn kirjoitusajankohdasta johtuen nämä uudistukset eivät kuitenkaan ole tässä työssä näkyvissä.



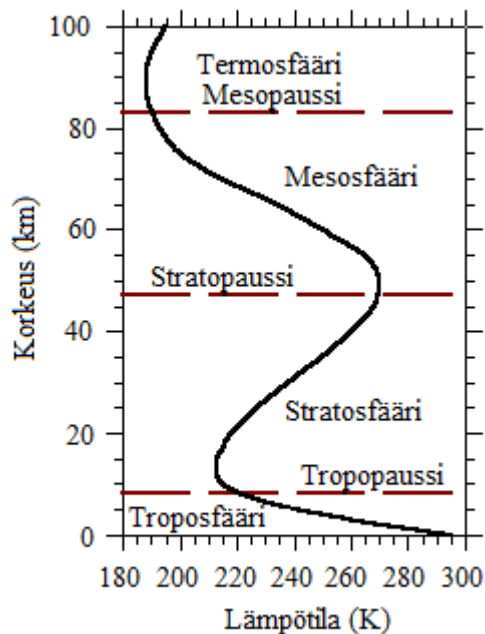
Kuva 1. Epäpuhtauksien siirtyminen ja muuntuminen ilmakehässä (Mayer 1999, muokattu).



## 2 ILMAN EPÄPUHTAUKSIEN TEORIAA

### 2.1 Sääilmiöiden vaikutus ilman epäpuhtauksien liikkeisiin

Ilman epäpuhtaudet muodostuvat joko primaaripäästöinä päästölähteessä tai sekundaaripäästöinä ilmakehässä (de Nevers 1995). Sekä sääilmiöt että päästöt vaikuttavat epäpuhtauksien syntymiseen, minkä vuoksi ilmastonmuutoksen eteneminen vaikuttaa myös päästöjen kulkeutumiseen ja ilmanlaatuun (Jacob & Winner 2009). Ilman epäpuhtauksiin vaikuttavat sääilmiöt tapahtuvat ilmakehän alimmassa kerroksessa, troposfäärissä, ja myös suurin osa epäpuhtauksista kulkeutuu tähän kerrokseen. Troposfääri eli alailmakehä ulottuu napal alueilla noin 10 km:n ja päiväntasaajan alueella noin 15 kilometrin korkeuteen, kun taas seuraava ilmakehän kerros, stratosfääri, ulottuu kaikkialla n. 45 – 55 km:n korkeuteen. Näiden kahden ilmakehän kerroksen välistä osaa kutsutaan tropopausiksi. Esimerkkinä kerrosten vaikutuksesta epäpuhtauksiin on otsoni, joka stratosfäärissä ei ole ilmanlaatua huonontava tekijä, mutta muuttuu troposfääriin kulkeutuessaan haitalliseksi alailmakehän otsoniksi (Seinfeld & Pandis 2006). Ilmakehän kerrokset on esitetty kuvassa 2, jossa ovat mukana myös lämpötilat eri kerroksissa.



Kuva 2. Ilmakehän kerrokset ja lämpötilan muutos (NUS 2009, suomennettu).

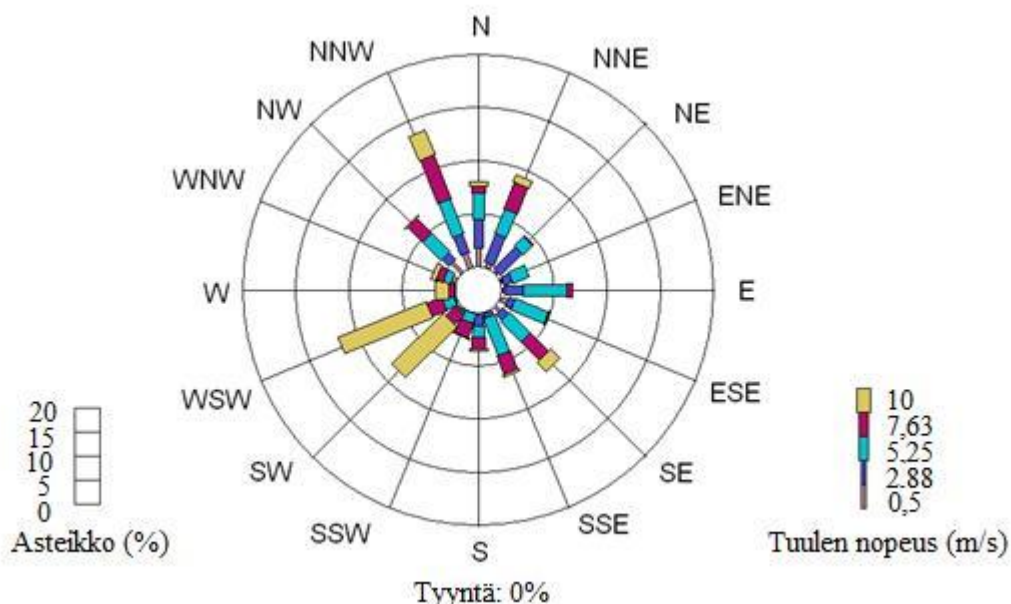
Meteorologian eli ilmatieteen avulla voidaan arvioida ja mallintaa ilman epäpuhtauksien liikkeitä ilmakehässä. Ilmanlaadun kannalta tärkeimpiä päästöjen leviämiseen vaikuttavia meteorologisia sääilmiöitä ovat ilmakehän stabiilius, tuulet, turbulenssi (Elminir 2005)

sekä inversio. Turbulenssi voi olla joko mekaanista tai lämmön vaikutuksesta aiheutuvaa. Mekaaninen turbulenssi syntyy tuulen nopeuden ja suunnan muutoksista. Nämä muutokset aiheuttavat ilmassa pyörteitä, jotka ovat sitä suurempia mitä suurempi on tuulen nopeus. Maanpinnan lämpeneminen taas saa aikaan turbulenssin silloin, kun se lämmittää yläpuolellaan olevaa ilmassaa. Turbulenssi muodostuu, kun ilmassa alkaa lämmitessään pyörteillä (Davis & Cornwell 1998).

Stabiiliudella (tasapainotilalla) tarkoitetaan ilmakehän herkkyyttä sekoittumiselle eli kykyä joko lisätä tai vastustaa ilmakehässä tapahtuvaa vertikaalista liikettä. Stabiilius vaikuttaa sekä tuulen nopeuteen että ilman lämpötilan muutoksiin. Yksinkertaistetusti ilmakehä voi esiintyä kolmessa tilassa, neutraalissa, epästabiilissa ja stabiilissa. Neutraalissa tilanteessa vertikaalista virtausta ei tapahdu, jolloin liikkeelle sysätty ilmapaketti jää paikalleen. Stabiilissa tilanteessa lämpö estää mekaanisen turbulenssin muodostumista ja vertikaalinen liike on negatiivista, kun taas epästabiilissa tilanteessa turbulenssi lisääntyy ja vertikaalinen liike on positiivista, jolloin ilmapaketti jatkaa kulkuaan (Davis & Cornwell 1998, Mohan & Siddiqui 1998, Suomen tuuliatlas 2010). Stabiilissa tilassa ilmakehän potentiaali-lämpö myös kasvaa ylöspäin mentäessä, kun taas epästabiilissa lämpötila vastaavasti laskee (Suomen tuuliatlas 2010). Ilmakehän stabiilius voidaan myös jakaa tarkemmin kuuteen luokkaan, hyvin epästabiiliin/konvektiiviseen, kohtuullisen epästabiiliin, lievästi epästabiiliin, neutraaliin, kohtuullisen stabiiliin ja erittäin stabiiliin (Mohan & Siddiqui 1998, Turner 1970).

Yksi ilmakehän stabiiliuden ilmentymistä on inversio, joka sekoituskorkeuden ohella vaikuttaa päästöjen leviämiseen ilmakehässä. Inversiolla tarkoitetaan lämpötilainversiota, jossa normaalista poiketen kylmää ilmaa virtaa tai muodostuu troposfäärissä lämpimän ilmassan alle eikä pääse enää sekoittumaan. Esimerkiksi pintainversio on yksi inversion muodoista, jolloin lämpösäteilyn johdosta maanpinta ja alimmat ilmakerrokset jäähtyvät. Tällaisessa tilanteessa ilmassa on stabiilia eivätkä ilman epäpuhtaudet leviä vaan jäävät maanpinnan läheisyyteen. Sekoituskorkeudella taas tarkoitetaan sitä korkeutta, joka mahdollistaa päästöjen hyvän sekoittumisen ilmakehään, mutta jonka yläpuolella sekoittumista ei kuitenkaan tapahdu. Sekoituskorkeus on riippuvainen erilaisista fysikaalisista parametreista sekä maanpinnan turbulenttisista virtauksista. Sekoituskorkeus myös seuraa päivittäistä sykliä ja onkin siksi alhaisempi aamuisin sekä talvella (de Nevers 1995).

Tuulen tärkeimmät ominaisuudet päästöjen leviämisen kannalta ovat sen nopeus sekä suunta. Tuuli muodostuu ilmakehän paine-erojen vaikutuksesta ja sen nopeuteen vaikuttavat suuret ilmanpaine-erot. Tuulen suuntaan taas vaikuttaa maapallon pyörimisliikkeestä johtuva Coriolis-ilmiö. Ilmiön vaikutuksesta tuulet eivät puhalla suoraan pienemmän paine-eron suuntaan, vaan kääntyvät pohjoisella pallonpuoliskolla kohti itää ja eteläisellä kohti länttä (David & Cornwell 1998, de Nevers 1995). Korkealla yli 500 m:n korkeudessa tuulet kuitenkin puhaltavat suoraan paine-erojen suuntaan, koska kitkalla ei enää ole riittävästi vaikutusta tuuleen. Muita tuulensuuntaan vaikuttavia tekijöitä ovat maapallon pinnanmuodot, esimerkiksi vuoristot estävät, jotka tuulen kulkeutumisen. Tuulen suuntaa ja nopeutta voidaan kuvata tuuliruusun avulla (de Nevers 1995), kuten kuvassa 3, jossa on esitetty tuulen suunnat, nopeudet ja frekvenssit Tampereen Näsinneulassa vuoden 2009 alussa.



Kuva 3. Tuuliruusu Näsinneulan sääasemalta tammikuussa 2009 Tampereella. Aseman korkeus 135 m, mittaukset 10 min keskiarvoja. Asteikko kertoo tuulen nopeuden ja suunnan frekvenssin prosentteina, esimerkiksi tuuli on 10 m/s länsilounaan (WSW) suunnasta noin 10 % ajasta. N = pohjoinen, E = itä, S = etelä, W = länsi, NE = koillinen, SE = kaakko, SW = lounas, NW = luode, NNE = pohjoiskoillinen, ENE = itäkoillinen, ESE = itäkaakko, SSE = eteläkaakko, SSW = etelälounas, WSW = länsilounas, WNW = länsiluode, NNW = pohjoisluode (Tampere 2009a).

## 2.2 Hiukkaset

Hiukkaset ovat päästölähteistä ilmakehään kulkeutuneita primaarihiukkasia tai ilmakehässä kaasusta syntyneitä sekundaarihiukkasia, jotka voivat päästä ilmakehään joko luonnollisesti tai ihmisen toiminnan vuoksi. Hiukkaset poistuvat ilmakehästä joko märkä- tai kuivalaskeuman (depositio) mukana. Märkälaskeumassa hiukkaset kiinnittyvät vesipisaroihin

ja lopulta laskeutuvat maahan sateen mukana. Kuivalaskeumassa taas hiukkaset laskeutuvat ilman sadetta maahan ja muille pinnoille (Seinfeld & Pandis 2006).

Hiukkasten koko vaihtelee muutamista nanometreistä kymmeneen mikrometreihin, ja yksittäisenkin hiukkasen koko voi vaihdella kemiallisten reaktioiden, haihtumisen tai esimerkiksi muiden partikkelien kanssa yhdistymisen (koagulaatio) vuoksi. Ilmansuojelussa tutkimuksen kohteena ovat useimmiten hiukkaskoot  $PM_{10}$  ja  $PM_{2,5}$ , joista esimerkiksi hengittävillä hiukkasilla  $PM_{10}$  tarkoitetaan hiukkasia, joiden aerodynaaminen halkaisija on alle 10  $\mu m$ . Aerodynaamisella halkaisijalla tarkoitetaan sellaista kuvitteellisen pallomaisen hiukkasen läpimittaa, jonka tiheys on  $1 \text{ g/cm}^3$ , ja jonka laskeutumisenopeus on sama kuin todellisella hiukkasella. Pienhiukkasilla  $PM_{2,5}$  halkaisija on alle 2,5  $\mu m$ . Ultrapieniksi hiukkasiksi taas kutsutaan alle 0,1  $\mu m$ :n kokoisia  $PM_{0,1}$ -partikkeleja (Seinfeld & Pandis 2006, WHO 2006). Kaikkien hiukkaskokojen yhteenlaskettu pitoisuus on kokonaisleijuma, TSP (Total Suspended Particulates). Hiukkasten tutkimuksessa tarkkaillaan useimmiten hiukkasten massakonsentraatiota ( $\mu\text{g/m}^3$ ), mutta myös lukumääräkonsentraatio ja pinta-alakonsentraatio ovat hiukkasten tärkeitä ominaisuuksia (WHO 2006).

Hiukkasten koostumus ja konsentraatio vaihtelevat suuresti, mikä johtuu erilaisista lähteistä ja lähteiden sijoittumisesta sekä hiukkasten lyhyestä elinajasta ilmakehässä. Hiukkaset voivat sisältää esimerkiksi vettä, sulfaatteja, hiiliyhdisteitä, ammoniumtyyppiä, nitraatteja, metalleja sekä maanpinnan mineraaleja. Hiukkasten luonnollisia lähteitä ovat maanpinnan rapautuminen, vulkaaninen toiminta, meriveden roiskeet, biomassan poltto ja luonnolliset kaasupäästöt (Seinfeld & Pandis 2006) sekä kasvien siitepöly ja ilman mikrobit (Vallero 2008). Antropogeenisiä eli ihmisperäisiä lähteitä taas ovat polttoaineiden poltto, teollisuuden prosessit (Seinfeld & Pandis 2006) kuten maalaus ja muu pintakäsittely (Antson ym. 2008), liikkuvat lähteet kuten ajoneuvot, sekä muut hajapäästöjen lähteet. Hajapäästöjen lähteitä ovat esimerkiksi viljelysmaiden tuulesta aiheutuva eroosio, katupöly (Seinfeld & Pandis 2006), renkaiden ja jarrujen kulumisesta aiheutuvat hiukkaset (WHO 2006), turvetuotanto (Tissari ym. 2006) sekä kiviaineksen kaivu- ja murskaustyöt (Vallero 2008).

Karvosenojan (2008) mukaan pääasiallisesti korkeissa lämpötiloissa tapahtuvan polton hiukkaspäästöt ovat 1 – 2,5  $\mu m$ :n kokoluokkaa, mutta hajapäästöjen hiukkaskoot ovat suurempia, yli 2,5  $\mu m$ . Energiantuotannon tuhka hiukkasilla Moisio (1999) mukaan voidaan kuitenkin havaita kaksihuippuinen kokojakauma, jolloin poltossa esiintyy hiukkasia sekä karkeasta 1  $\mu m$ :n että hienosta 0,1  $\mu m$ :n fraktiosta. Puuta poltettaessa hiukkaskoko on



yleensä alle 1  $\mu\text{m}$ . Polton osalta hiukkaspäästöihin vaikuttavat polttotapa sekä varsinkin polttoilman saanti, koska huonossa vedossa hiukkaspäästöjä syntyy runsaasti. Suomessa puun polton hiukkaspäästöt ovat ongelmana varsinkin talvella, jolloin puuta käytetään toissijaisena lämmönlähteenä useissa kotitalouksissa (Haaparanta ym. 2003, Hellén ym. 2008). Liikenteessä esimerkiksi dieselajoneuvojen primaarihiukkasten koko voi vaihdella välillä 3 – 30 nm (Kittelson ym. 2002). Yhteenliittyneet dieselpäästöjen hiukkaset taas voivat muodostaa Kittelsonin ym. (2002) mukaan 30 – 500 nm:n kokoisia agglomeraatteja.

Erosion vuoksi ilmakehään kulkeutuu myös mineraalipölyä, jonka suurimmat syntyalueet ovat aavikoilla sekä muilla kuivilla ja ihmisen toiminnan kuluttamilla alueilla. Mineraalipölyn kokojakauma vaihtelee alueen maalajin mukaan ja voi vaihdella 0,1  $\mu\text{m}$ :stä 10  $\mu\text{m}$ :iin (Seinfeld & Pandis 2006). Myös katupöly on yksi hiukkaspäästöjen lähteistä. Sen kokojakauma vaihtelee suuresti, mikä johtuu kadulle kulkeutuneen massan murskautumisesta renkaiden alla ja samalla myös katupäällysteen murskaantumisesta. Hiekoitushiekan määrä ja erilaisten rengastyypin, varsinkin nastarenkaiden, käyttö lisää katupölyn määrää (Kupiainen 2007). Renkaiden ja jarrujen sekä moottorin kulumisesta aiheutuvat hiukkaspäästöt taas voivat olla paljon pienempiä, ja esimerkiksi Dahlin ym. (2006) tutkimuksessa havaittiin hiukkasia kokoluokasta 15 – 700 nm.

Hiukkasissa usein esiintyviä metalleja ovat mm. lyijy, rauta ja kupari, kun taas esimerkiksi kobolttin, elohopean ja antimonin pitoisuudet hiukkasissa ovat yleensä pienempiä (Seinfeld & Pandis 2006). Lyijyä vapautuu ilmakehään sekä luonnollisista että antropogeenisistä lähteistä. Lyijyn luonnollisia lähteitä ovat mm. tulivuoret ja maaperä, antropogeenisiä lähteitä taas esimerkiksi poltto sekä metallien jalostus ja sulatustoiminta (Davis & Cornwell 1998). Myös liikenne on aiemmin ollut yksi lyijypäästöjen lähteistä, mutta sen osa Suomessa on pienentynyt johtuen lyijypitoisen bensiinin käytön vähentämisestä ja lopulta lopettamisesta 1990-luvulla. Muita metallipäästöjen antropogeenisiä lähteitä ovat mm. kaivokset, sulatot ja muu metalliteollisuus (Kyllönen ym. 2009). Esimerkiksi arseenin osalta päästöjen lähteenä on kyllästetyn puun poltto (Helsen 2005) ja elohopean osalta kloorialkaliteollisuus.

Suomessa ulkomailta, varsinkin Itä-Euroopasta, tuleva raskasmetallilaskeuma vaikuttaa myös metallien pitoisuuteen ilmassa. Liikenteestä on tutkittu aiheutuvan myös palladium- ja platinapäästöjä, jotka ovat peräisin autojen katalysaattoreista. Katalysaattoreissa jalometallit katalysoivat hiilimonoksidin ja typen oksidien reaktioita hiilidioksidiksi ja typeksi

sekä hiilivetyjen muuntumista vedeksi (Limbeck ym. 2007). Limbeckin ym. (2007) tekemän tutkimuksen mukaan suurin osa tutkituista jalometalleista vapautui ilmaan PM<sub>10</sub> hiukkaskajakauman mukana ja alle 20 % PM<sub>2,5</sub> jakauman mukana.

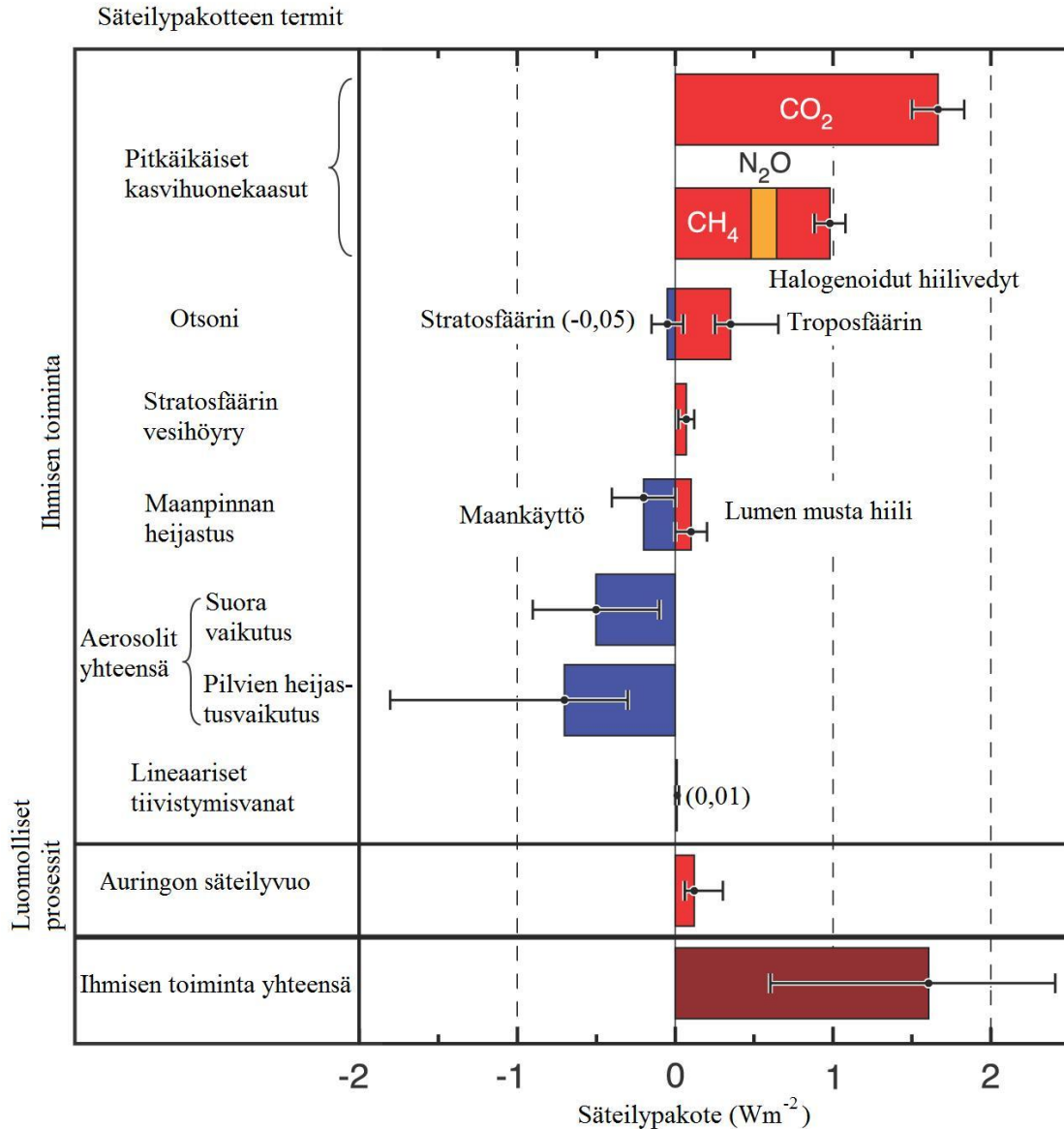
### 2.2.1 Kasvihuonevaikutukset

Hiukkasten vaikutukset ilmastonmuutokseen voivat olla joko negatiivisia tai positiivisia. Hiukkaset tällöin joko lämmittävät tai viilentävät ilmastoa. Hiukkasten toimintatapa kasvihuonekaasuihin verraten on erilainen, koska hiukkaset toimivat auringon säteilyä absorboivana massana toisin kuin kasvihuonekaasut, jotka absorboivat maanpinnan säteilyä. Hiukkaset, etenkin hygroskooppiset sulfaatti- ja ammoniumsulfaattihiukkaset, voivat vaikuttaa esimerkiksi pilvissä muuttaen pilven optisia ominaisuuksia ja vaikuttaen pilvien muodostumiseen (Giorgi & Meleux 2007, IPCC 2007). Kuvassa 4 on esitetty kansainvälisen ilmastopaneelin IPCC:n vuonna 2007 laatima arvio maapallon säteilypakotteen muutoksista vuoden 1750 jälkeen. Säteilypakotteella tarkoitetaan maapallon tulevan ja lähtevän säteilyn eli säteilybalanssin muutosta, joka ilmaistaan energiamäärän muutoksella tietyllä pinta-alalla. Säteilypakotteen ollessa negatiivinen ilmasto kylmenee ja pakotteen ollessa positiivinen se lämpenee (IPCC 2007). Liitteessä 1 on esitetty IPCC:n vuoden 2007 mukainen arvio eri päästökomponenttien säteilypakotteesta.

IPCC:n (2007) raportissa tutkittuja aerosolihiukkasia olivat sulfaatit, fossiilisten polttoaineiden poltosta syntyvä orgaaninen ja musta hiili eli noki, biomassan polton hiukkaset ja mineraalipöly. Sulfaattiaerosolit syntyvät pilvissä kemiallisten reaktioiden kautta rikkidioksidista, ja sulfaattien pääasiallisena lähteenä ovat fossiilisten polttoaineiden poltto (72 %) sekä luonnolliset lähteet, kuten kasviplanktonin (19 %) ja tulivuorten (7 %) toiminta (IPCC 2007).

Orgaaninen hiili sisältää hiili-hiili-sidoksellisia kemiallisia yhdisteitä, jotka syntyvät fossiilisten sekä biopolttoaineiden palamisessa ja sitä voi syntyä myös orgaanisten kaasujen kondensoituessa. Musta hiili taas on epätäydellisessä palamisessa syntyvää nokea, joka on peräisin esimerkiksi fossiilisten polttoaineiden tai puun poltosta. Orgaanista hiiltä syntyy IPCC:n arvion mukaan n. 34 – 38 % biomassan poltosta ja loput 62 – 66 % fossiilisten polttoaineiden poltosta, joskin vaikutus säteilypakotteeseen on molemmissa samaa luokkaa. Biomassan poltosta syntyvät hiukkaspäästöt voivat sisältää orgaanista sekä mustaa hiiltä ja esimerkiksi typpiyhdisteistä syntyviä nitraatteja sekä jonkin verran myös sulfaatteja, jotka ovat peräisin yleensä hallitsemattomasta poltosta. Lähes kaikkien aerosolihiukkask-

ten aiheuttama säteilypakote on negatiivinen lukuun ottamatta mustaa hiiltä, jonka vaikutus sekä ilmakehässä että laskeutena lumella on positiivinen. Musta hiili lumella vähentää säteilyn heijastusta ja lisää näin ilmastoja lämmittävää vaikutusta (IPCC 2007).



Kuva 4. Ilmakehää lämmittävät ja jähdyttävät tekijät säteilypakotteen avulla arvioituna (IPCC 2007).

### 2.2.2 Terveysvaikutukset

WHO:n mukaan vakavimmat ilman epäpuhtauksien aiheuttamat terveysvaikutukset aiheutuvat hiukkasista. Pahimmillaan pitkäaikainen altistus hiukkasille saattaa lyhentää elin-iän odotetta noin vuodella. Muita terveysvaikutuksia ovat lyhyestä altistuksesta aiheutuvat keuhkotulehdukset, hengitysteiden oireet sekä sydämelle ja verisuonille haitalliset vaikutukset. Pitkäaikaisesta altistuksesta taas saattaa seurata alempien hengitysteiden oireita,

keuhkojen vajaatoimintaa sekä kroonista keuhkotukkeumaa. Hiukkasille altistuminen lisää myös lääkkeiden käyttöä sekä sairaalakäyntejä. Herkimpää hiukkasten aiheuttamille vaikutuksille ovat lapset ja vanhukset sekä sydän- ja hengitysteiden sairauksista kärsivät. Myös astmaa ja keuhkoputken tulehdusta sairastavat reagoivat hiukkasiin muita herkemmin (WHO 2004).

Hiukkasten terveysvaikutusten kannalta tärkeimpinä ominaisuuksina on pidetty sekä hiukkasten kokoa että kemiallisia ominaisuuksia. Partikkelikokoalla on merkitystä hiukkasten terveysvaikutusten selvittämisessä, sillä mitä pienempiä hiukkaset ovat, sitä syvemmälle keuhkoihin ja keuhkorakkuloihin ne kulkeutuvat ja siirtyvät myös helpommin verenkiertoon (Vallero 2008). Halosen (2009) tutkimuksessa todettiin ultrapienillä hiukkasilla olevan enemmän vaikutusta lasten terveyteen, kun vanhusten ja vanhusten terveydelle haitallisimpia taas olivat suuremmat partikkelit. 2,5 mikrometrin kokoisten primääripartikkeleiden on tutkittu aiheuttavan Suomessa kymmeniä ennenaikaisia kuolemantapauksia vuodessa (Tainio 2009). Jalavan (2008) mukaan taas hiukkasten kemialliset ominaisuudet saattavat vaikuttaa terveysvaikutuksiin partikkelikokoa enemmän. Hiukkasten kemiallinen koostumus myös vaihtelee alueittain, mikä vaikuttaa myös eri terveysvaikutusten esiintymiseen eri alueilla. Tämän vuoksi hiukkasten voidaankin ajatella toimivan terveydelle haitallisten ja/tai toksisten aineiden kuljettajina (Englert 2004).

Hiukkasten sisältämistä yhdisteistä on terveysvaikutuksia tutkittu mm. rikkidioksidin (WHO 2006), PAH-yhdisteiden (Lewtas 2007) ja raskasmetallien osalta (Karlsson ym. 2009). Tämän lisäksi terveysvaikutuksia voivat lisätä muut hiukkasten kanssa esiintyvät ilman epäpuhtaudet, kuten esimerkiksi otsoni (Halonen 2009). Tainion (2009) tutkimuksen mukaan Suomen primäärisistä PM<sub>2,5</sub>-hiukkasten terveyshaitoista hyvin suuri osa aiheutui Venäjältä, Ukrainasta, Ruotsista ja Virosta kaukokulkeumana tulevasta hiukkasmassasta, kun tutkimuksessa näitä hiukkasia verrattiin Suomessa muodostuvan hiukkasmassan terveysvaikutuksiin.

### 2.2.3 Luontovaikutukset

Hiukkasilla on vaikutuksia myös muuhun luontoon. Metallia sisältävät hiukkaset voivat aiheuttaa terveysvaikutuksia eläimille samaan tapaan kuin ihmisille tai aiheuttaa ongelmia kasvillisuudelle (Vallero 2008). Tomaševićin ym. (2005) tekemässä tutkimuksessa löydettiin lähellä liikennettä sijaitsevalta kasvillisuudelta runsaita määriä metallia ja nokea sisältäviä partikkeleita. Metallit vaikuttavat kasvillisuuteen hidastamalla kasvua (Grantz ym.

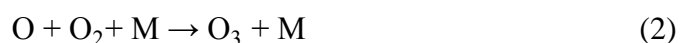
2003) ja esimerkiksi kellastamalla lehtiä (Vallero 2008). Vaikutukset ulottuvat yleensä kasvin lehtien pintakerrokseen, mutta sadeveden mukana juuren kautta kasviin kulkeutuaan metallien aiheuttamia vaikutuksia esiintyy myös syvemmillä kasvissa (Grantz ym. 2003). Muista hiukkasten sisältämien epäpuhtauksien luontovaikutuksista on kerrottu kyseistä epäpuhtautta käsittelevässä kappaleessa.

### 2.3 Otsoni

Otsoni ( $O_3$ ) poikkeaa muista ilmakehän epäpuhtauksista siinä, että sitä muodostuu ainoastaan sekundaarisesti ilmakehän yhdisteiden reagoitessa keskenään kemiallisesti, kun taas muita epäpuhtauksia syntyy myös primäärisesti. Ilmakehän otsonilla voidaan myös sanoa olevan eräänlainen kaksoisluonne. Otsonista noin 90 % on yläilmakehässä, mutta myös alailmakehän nousseet pitoisuudet aiheuttavat vakavia terveyshaittoja (Seinfeld & Pandis 2006).

Yläilmakehässä, stratosfäärissä, otsoni toimii UV-B-säteilyä absorboivana elementtinä. 1980-luvulla kuitenkin havaittiin otsonin määrän vähenemistä yläilmakehässä, jolloin otsonipitoisuuden laskiessa ultraviolettisäteilyn määrä maassa kasvoi aiheuttaen mm. ihosyöpää (Seinfeld & Pandis 2006). Tuoreiden tutkimusten mukaan stratosfäärin otsonikerroksen on kuitenkin viime vuosien aikana havaittu paksuuntuneen, johtuen otsonikatoa aiheuttaneiden yhdisteiden käytön vähentämisestä (Godin-Beekmann 2010, Krzyścin & Rajewska-Więch 2009). Tässä selvityksessä keskitytään ainoastaan alailmakehän eli troposfäärin otsoniin.

Otsonin muodostuminen troposfäärissä liittyy typen oksidien kiertoon ilmakehässä. Otsonin muodostuksen pääreaktiossa otsonimolekyylit syntyvät typpidioksidin hajotessa, kun UV-säteilyn aallonpituus on alle 424 nm (yhtälöt 1 ja 2) (Seinfeld & Pandis 2006).



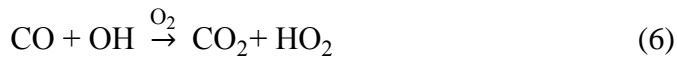
Samaan tapaan otsonimolekyylit voi myös hajota typpimonoksidin hapettuessa typpidioksidiksi (yhtälö 3). Reaktio on samaan aikaan lähtöreaktio typpidioksidin muodostumiselle yhtälössä 1, joskin typpidioksidin muodostuminen esimerkiksi antropogeenisesti on reaktiota todennäköisempää (Jacob 2000, Seinfeld & Pandis 2006).



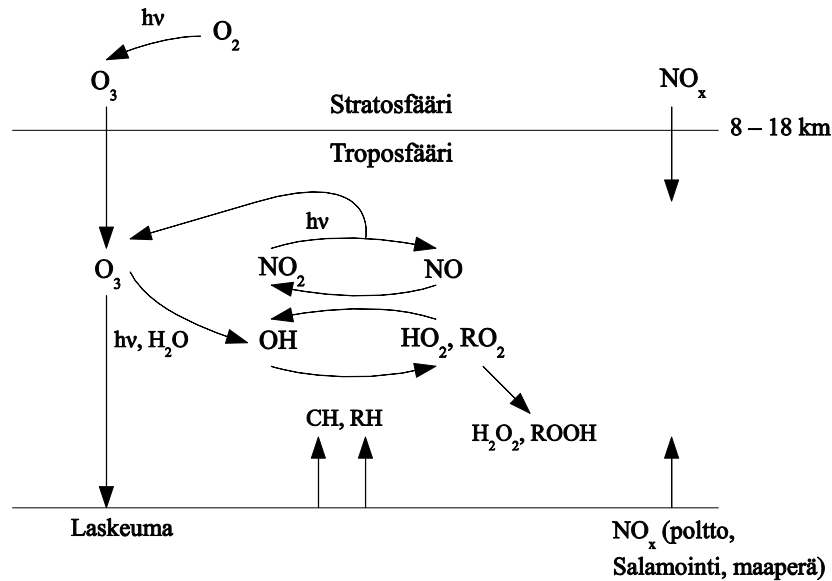
Otsonin muodostumis- ja poistumismekanismeja voivat myös olla reaktiot hydroksidi- tai vetyperoksidiradikaalien kanssa. Radikaalien muodostuminen saa alkunsa yhtälöiden 4 ja 5 mukaisista reaktioista, joissa auringon säteily ( $\lambda \approx 305$  nm) hajottaa otsonimolekyylin ja lopulta muodostaa hydroksyyli- ja vetyperoksidiradikaalin (Jacob 2000, Seinfeld & Pandis 2006).



Tämän jälkeen radikaali voi reagoida hiilimonoksidin sekä typpimonoksidin kanssa (yhtälöt 6 – 8), josta nettoreaktiona saadaan otsonia sekä hiilidioksidia. Radikaalit voivat muodostaa otsonia myös reagoidessaan hiilivetyjen kanssa (Jacob 2000, Seinfeld & Pandis 2006). Reaktiot ovat kuitenkin riippuvaisia lähtöaineiden pitoisuuksista ilmakehässä.



Auringonvalo on tärkeä elementti otsonin muodostuksessa ja suurimmat otsonipitoisuudet esiintyvätkin auringonpaisteen aikana, koska auringon säteilyn vaikutuksesta typpidioksidi hajoaa typpioksidiksi ja happiatomiksi, joka edelleen muodostaa happimolekyylin kanssa otsonia (reaktio 8). Myös alueilla, joilla on korkeat typen oksidi-, hiilimonoksidi- sekä hiilivety- ja vetyperoksidipitoisuudet, esimerkiksi liikenteen ja teollisuuden vaikutuksesta, ja voimakas auringonpaiste, otsonipitoisuudet saattavat nousta hyvinkin korkeiksi. Ilmakehän kemiallisten reaktioiden lisäksi troposfäärin otsonin lähteenä voidaan pitää myös stratosfääristä kulkeutuvaa otsonia. Kulkeutuminen on seurausta otsonin tiheydestä ( $2,144 \text{ kg/m}^3$ ), joka on ilman tiheyttä ( $1,293 \text{ kg/m}^3$ ) korkeampi. Otsonin kemiaa ja muuntumista ilmakehässä on mallinnettu Jacobin (2000) laatimassa kaaviokuvassa (kuva 5).



Kuva 5. Troposfäärin otsonin kemia (Jacob 2000).

### 2.3.1 Kasvihuonevaikutukset

Otsonin kasvihuonevaikutuksia on tarkasteltu IPCC:n vuoden 2007 arviointiraportissa. Kuvan 4 mukaan troposfäärin otsoni vaikuttaa säteilypakotteeseen positiivisesti eli ilmastoa lämmittävästi. Tämä johtuu otsonin reaktioista positiivisen säteilypakotteen omaavien metaanin ja muiden haihtuvien hiilivetyjen, hiilimonoksidin sekä typen oksidien kanssa. Stratosfäärin otsoni taas aikaansaa negatiivisen säteilypakotteen, koska se toimii auringon säteilyä absorboivana kaasuna (IPCC 2007).

### 2.3.2 Terveysvaikutukset

Otsonin vaikutuksia terveyteen voi ilmetä jo pienissäkin pitoisuuksissa. Se toimii voimakkaana hapettimena, joka esimerkiksi keuhkoissa saa aikaan vaurioita kudoksessa (WHO 2005a). Yleisimpiä vaikutuksia ihmiskehoon ovat keuhkojen toiminnan heikkeneminen, yskä ja rintakivut, lisääntyneet astmaoireet (Vallero 2008), muut hengitysteiden oireet sekä keuhkotulehdus (WHO 2004). WHO:n (2005b) mukaan sekä allergiset että ei-allergiset hengitysteiden sairaudet lisääntyvät kasvaneen otsonipitoisuuden mukana, samoin kuin myös kuolleisuuden on todettu lisääntyvän. Myös yhteisvaikutukset muiden päästöjen kanssa lisäävät sekä riskiä sairastua että oireiden määrää (WHO 2005a).

### 2.3.3 Luontovaikutukset

Otsoni vaikuttaa kasvillisuuteen haitallisesti. Otsonipitoisuuden ollessa 0,03 ppm kasvien lehdillä voi esiintyä täplikkyyttä, vaaleita laikkuja, virheitä pigmentinmuodostuksessa sekä

havupuiden neulasten ruskettumista ja kuolleisuutta. Myös metsien lajikoostumus sekä kestävyys eri tuholaislajeille saattaa otsonikuormituksen seurauksena muuttua (Vallero 2008). Oksasen (2001) mukaan otsoni aiheuttaa ongelmia sekä kasvien juurille että leh-dille, koska se heikentää fotosynteesin tuottoa, minkä vuoksi kasvi ja sen juuret saattavat heikentyä. Koivulla tutkimuksen mukaan esiintyy usein lehtien tiputtelua (Oksanen 2001). Välttämättä otsoni ei kuitenkaan aiheuta välittömästi näkyviä vaurioita. Vaurioita voi ai-heutua esimerkiksi lehden sisäosissa, solujen plastideissa sekä solunesterakkuloissa (Reig-Armiñana ym. 2004).

## 2.4 Typen oksidit

Typen oksidit ( $\text{NO}_x$ ) koostuvat typpimonoksidista ( $\text{NO}$ ) ja typpidioksidista ( $\text{NO}_2$ ). Typpi-monoksidin pääasiallisena lähteenä ovat ihmisperäiset toiminnot, kuten poltto, liikenne sekä luonnolliset lähteet, kun taas typpidioksidista merkittävä osa muodostuu ilmakehän kemiallisten reaktioiden kautta ja polttoprosesseissa. Liikenteen päästöt perustuvat poltossa syntyviin päästöihin, jotka ovat kuitenkin vähentyneet bensiiniautojen kolmitoi-mikatalysaattorien myötä (Hansen ym. 1995). Dieselaajoneuvoissa käytettävissä katalysaat-toreissa pakokaasuista poistettavia komponentteja ovat hiukkaset sekä typen oksidit. Typen oksidien poisto saadaan aikaan esimerkiksi SCR-katalysaattorin (Selective Catalytic Re-duction) ja urealiuoksen avulla, jolloin ammoniakkin avulla poistetaan typen oksideja pako-kaasuvirrasta (Fang & DaCosta 2003). Bensiini- ja dieselaajoneuvojen lisäksi lentoliikenne on hyvin ongelmallinen liikennemuoto  $\text{NO}_x$ :ien tuoton kannalta. Lentokoneet vapauttavat huomattavia määriä typen oksideja ylempään troposfääriin sekä alempaan stratosfääriin, jossa ne välittömästi vaikuttavat otsonin muodostumiseen (Schumann 1997).

Poltossa syntyvä typpimonoksidi voidaan jakaa kahteen osaan sen perusteella, mistä typpi-oksidi-päästöt syntyvät.  $\text{NO}$  syntyy termisesti polttoaineen sisältämästä tpeestä sekä poltos-sa palamisilman sisältämästä tpeestä (Vallero 2008). Esimerkiksi hiilen poltossa noin 80 % syntyvästä  $\text{NO}$ :sta on peräisin polttoaineen tpeestä, kun taas bensiinin poltosta syntyvä typpioksidit muodostuvat lähes kokonaan polttoilman tpeestä (Gaffney & Marley 2009). Puun ja sen eri tuotteiden poltossa taas suurin osa  $\text{NO}$ :sta muodostuu polttoaineen sisältä-mästä tpeestä (Johansson ym. 2004, Haaparanta ym. 2003). Muita typen oksidipäästöjen lähteitä ovat mm. öljyn, maakaasun ja esimerkiksi alkoholipolttoaineiden käyttö (Gaffney & Marley 2009).



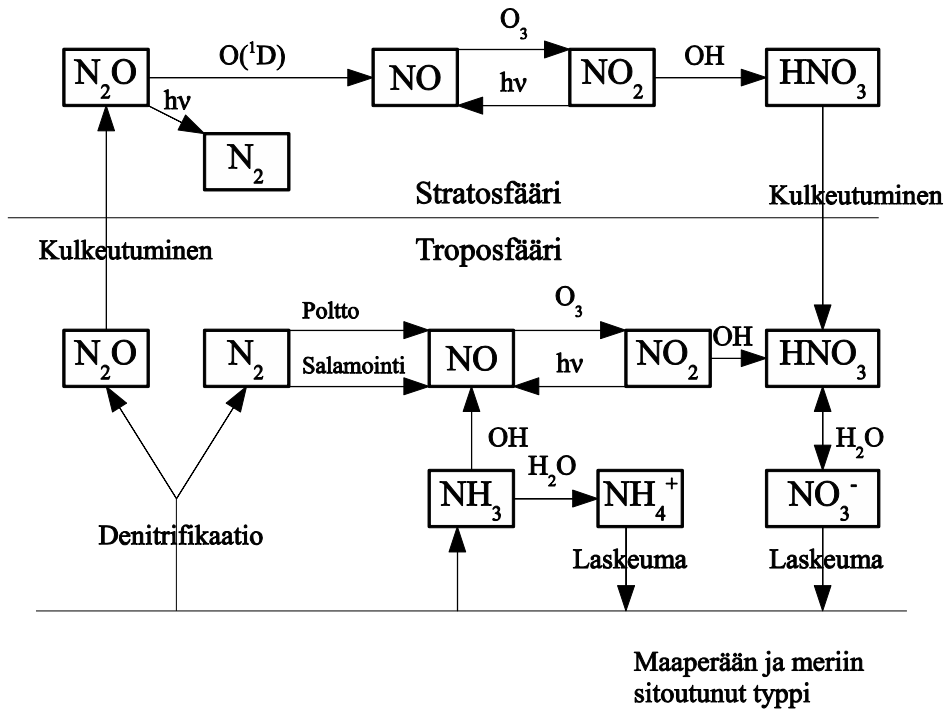
Luonnollisena NO:n lähteenä ovat maaperässä tapahtuvat nitrifikaatio ja denitrifikaatioprosessit. Pääasiallisena lähteenä näistä kahdesta kuitenkin toimii nitrifikaatio, jossa typpimonoksidia muodostuu prosessin välituotteena. Nitrifikaatio ja denitrifikaatioprosesseissa muodostuu myös dityppioksidia (N<sub>2</sub>O) (Koponen ym. 2006), jonka ominaisuuksia on käsitelty kappaleessa 2.4. N<sub>2</sub>O:n määrään verrattuna muodostuneen NO:n määrä maaperässä on tutkimusten mukaan kuitenkin vähäisempää, johtuen prosessien vaatimista erilaisista olosuhteista (Horváth ym. 2006). NO:n muodostuminen on hyvin riippuvainen ravinteiden, esimerkiksi ammonium- sekä nitraattitypen, määrästä maaperässä (Koponen ym. 2006), minkä vuoksi lannoitteiden, kuten urean, lisäys nostaa maaperän typpioksidin tuotantoa (Maljanen ym. 2007). Myös salamointi on yksi typen oksidien luonnollisista lähteistä. Kovassa kuumuudessa atomaarinen typpi sekä happi yhdistyvät ja muodostuu typen oksideja (Goldenbaum & Dickerson 1993).

Myös kasvien on havaittu joissain tilanteissa toimivan NO<sub>x</sub>-päästöjen lähteenä. Tämän on kuitenkin todettu riippuvan typpiyhdisteiden pitoisuudesta ilmassa. Ns. kompensatiopisteeksi kutsutaankin sitä typpipitoisuuden rajaa, jossa kasvien typen oksidien ottaman laskeuman määrä vaihtuu emissioksi (Raivonen ym. 2009). Raivosen (2008) mukaan emissio aiheutuu laskeumana kasville tulleiden nitraattien sekä typpihapon hajoamisesta UV-säteilyn vaikutuksesta. Kyseinen mekanismi on kuitenkin vielä suhteellisen vähän tutkittu, joten sen vaikutusta koko ilmakehän typpipitoisuuteen on vielä vaikea arvioida (Raivonen 2008).

Typen oksidit osallistuvat ilmakehässä otsonin muodostukseen, kuten kappaleessa 2.2 on esitetty. Typen oksideja syntyy korkeissa lämpötiloissa tapahtuvassa poltossa, kun typpi ja happi reagoivat keskenään (yhtälöt 9 ja 10) (Davis & Cornwell 1998). Esimerkiksi suurten typpimonoksidipäästöjen läheisyydessä typpidioksidia voi muodostua myös suoraan NO:n ja hapen reaktiossa (yhtälö 11) (Davis & Cornwell 1998). Otsonin ja samalla typpidioksidin muodostumiselle hyödyllisiä mekanismeja ovat reaktiot HO<sub>2</sub>- (yhtälö 7) ja peroksiradiikaalien kanssa (Seinfeld & Pandis 2006).



Typpidioksidi reagoi ilmakehässä myös muodostaen typpihappoa (yhtälö 12) (Seinfeld & Pandis 2006), joka taas edelleen muodostaa yhtälön 13 mukaan sekä happamia vetyioneja että ravinteena toimivia nitraatti-ioneja, jotka laskeutuvat hiukkasmuodossa joko märkä- tai kuivalaskeuman mukana maahan ja vesistöihin (Vallero 2008). Kuvassa 6 on esitetty yhteenvedon tyyppien reaktioista ilmakehässä.



Kuva 6. Tyyppien reaktiot ilmakehässä (Seinfeld & Pandis 2006, muokattu).

#### 2.4.1 Kasvihuonevaikutukset

Tyyppien oksidien kasvihuonevaikutukset (kuva 4 ja liite 1) perustuvat niiden otsoninmuodostuskykyyn, nitraatinmuodostukseen sekä reagointiin metaanin kanssa. IPCC:n neljännessä arviointiraportissa tyyppien oksidit on luokiteltu lyhytikäisiksi kaasuiksi yhdessä hiilimonoksidin (CO) ja ei-metaanisten haihtuvien hiilivetyjen (NMVOC) kanssa. NO<sub>x</sub>:lla on sekä ilmastoa lämmittävä eli positiivinen säteilypakote että ilmastoa viilentävä eli negatiivinen säteilypakote. Positiivinen vaikutus perustuu tyyppien oksidien otsoninmuodostukseen, koska troposfäärin otsoni reagoi muiden ilmakehän yhdisteiden kanssa voimakkaasti muodostaen maanpinnan säteilyä absorboivia komponentteja. Negatiivinen säteilypakote taas muodostuu sekä tyyppien oksidien nitraatinmuodostuksesta että reaktioista metaanin kanssa, jolloin metaanin määrä ilmakehässä pienenee. Nitraatti taas kiinnittyy hiukkasiin ja toimii hiukkasten tapaan auringon säteilyn absorboijana (IPCC 2007).

#### 2.4.2 Terveysvaikutukset

Typen oksideilla on useita merkittäviä vaikutuksia terveyteen, koska otsonin tavoin typen oksidit toimivat kudoksissa hapettajina. WHO:n mukaan lyhytaikaiset  $\text{NO}_2$ -altistukset voivat aiheuttaa varsinkin astmaatikoilla mm. oireita keuhkojen toiminnassa ja hengitysteiden allergisia tulehdusreaktioita. Pitkäaikaisesta altistuksesta taas voi seurauksena olla keuhkojen toiminnan heikkeneminen ja hengitysteiden lisääntyneet oireet, ja lisääntyneistä sairauksista aiheutuneita sairaalakäyntejä (WHO 2004). Muita typpidioksidin aiheuttamia terveydellisiä haittoja ovat astman lisääntyminen, sydänoireet, aivohalvaus, keuhkosityöpä (Curtis ym. 2006) ja lisääntymisvaikeudet varsinkin miehillä (DeRosa ym. 2003). Typen oksidien ja kuolleisuuden välillä on myös tutkittu olevan yhteyttä (WHO 2005b), ja Samolin ym. (2006) mukaan varsinkin sydän- ja verisuonitautiin sekä hengitystiesairauksiin liittyvät kuolemat lisääntyvät typpidioksidipäästöjen lisääntymisen myötä. Typpidioksidi myös altistaa hengitysteiden patogeeneille (Vallero 2008) aiheuttaen noin 5 ppm:n pitoisuudessa yskää ja hengitysteiden ärsytystä sekä toistuvassa samankokoisessa altistuksessa keuhkoödeemaa (Davis & Cornwell 1998). Typpimonoksidin taas on tutkittu muodostavan kudoksissa toksisia yhdisteitä ja mm. inhiboivan joidenkin proteiinien tuotantoa. Tämän seurauksena typpimonoksidi aiheuttaa mm. lisääntynyttä tulehdusalttiutta sekä immunitettiin muutoksia (Coleman 2001). Duncanin & Healesin (2005) mukaan typpimonoksidilla on vaikutusta myös aivojen neurologiaan.

#### 2.4.3 Luontovaikutukset

Luontoon typen oksideilla on erilaisia vaikutuksia riippuen siitä, missä muodossa, kuivavai märkälaskeumana, ne laskeutuvat maahan. Märkälaskeumana typpihapon muodossa happamoittavia vaikutuksia kohdistuu niin maaperään, vesistöihin kuin kasvillisuuteenkin (Vallero 2008). Kasvit voivat ottaa kaasumaista typpimonoksidia lehtiinsä ilmarakojensa kautta hapettaen  $\text{NO}$ :n typpidioksidiksi tarpeeksi korkeissa ulkoilman typpimonoksidipitoisuuksissa. Tästä mekanismista on hyötyä typenoksidipäästöjen vähentämisen kannalta (Sparks ym. 2001), mutta kasville  $\text{NO}_2$  voi osoittautua myös haitalliseksi. Noin 2,5 ppm:n  $\text{NO}_2$ -pitoisuudessa kasvillisuudessa ilmenee esimerkiksi epäsäännöllisiä ruskettuneita tai vaalentuneita vaurioita lehtikudoksen keskiosassa, ja pahiten  $\text{NO}_2$ :n vaikutuksesta vaurioituvat mesofyllisolut (Vallero 2008). Happaman laskeuman aiheuttamia vaurioita on kuvattu rikkidioksidin aiheuttamien vaurioiden ohessa kappaleessa 2.9.

## 2.5 Dityppioksidi

Dityppioksidi eli typpioksiduuli ( $N_2O$ ) on kaasumainen, lähes kokonaan luonnollisista prosesseissa syntyvä yhdiste, jonka vaikutus kasvihuonekaasuna on merkittävä. Dityppioksidia kutsutaan myös nimellä ilokaasu ja sitä käytetään esimerkiksi nukutusaineena.  $N_2O$ :n suurimpina lähteinä pidetään meriä sekä trooppisten alueiden maaperää (Seinfeld & Pandis 2006), mutta tutkimusten mukaan myös muilla alueilla maaperä tuottaa typpioksiduulia (esim. Horváth ym. 2006, Maljanen ym. 2007).

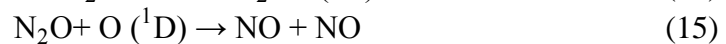
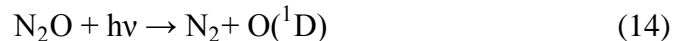
Dityppioksidin tuotanto perustuu maaperän mikrobien denitrifiointikykyyn, jolloin mikrobit muuntavat maaperän muita typpipitoisia yhdisteitä, esimerkiksi ammoniakkaa ja nitraattia, atomaarisiksi typeksi sekä dityppioksidiksi (Horváth ym. 2006). Tutkimusten mukaan maaperän  $N_2O$ -tuottokykyä lisäävät sekä kosteus (Kiese & Butterbach-Bahl 2002) että ravinteet. Näin ollen myös viljeltyjen ja lannoitettujen maiden dityppioksidin tuotanto on merkittävää (Maljanen ym. 2007, Petersen ym. 2006). Dityppioksidi kuitenkin kilpailee kasvien kanssa ravinteista, ja Silvanin ym. (2005) tutkimuksessa todettiin kasvien nitraatinoton rajoittavan  $N_2O$ :n tuotantoa. Suomessa tehtyjen tutkimusten mukaan boreaalisten metsämaiden typpioksiduulin tuotantoa lisäävänä tekijänä ovat sekä maaperän jäätyminen ja sulaminen että lumipeite. Lumipeitteen on todettu vaikuttavan denitrifikaatioon positiivisesti, ja jäätyminen sekä sulamisen vapauttavan hiiltä maaperään, mikä lisää  $N_2O$ -tuotantoa myös talviaikaan (Maljanen ym. 2003).

Antropogeenisiä dityppioksidin lähteitä ovat esimerkiksi polttoprosessit, liikenne sekä teollisuus. Poltossa  $N_2O$ -päästöt riippuvat polttotavasta, polttoaineesta sekä laitoksen tyypistä. VTT:n vuonna 2006 tekemän tutkimuksen mukaan suurimmat dityppioksidipäästöt voimalaitoksissa sekä lämpökeskuksissa aiheutuivat poltosta liian alhaisessa lämpötilassa. Saman tutkimuksen mukaan kuitenkin pienpolton dityppioksidipäästöt pysyvät suhteellisen pieninä erilaisissa tilanteissa (Tsupari ym. 2006). Eri energiamuotojen päästövertailussa Gaffney & Marley (2009) totesivat hiilikäyttöisten laitosten olevan suurimpia dityppioksidipäästöjen lähteitä.  $N_2O$ -päästöt näissä laitoksissa johtuvat hiilen ja sen sisältämän typpi- ja muiden yhdisteiden kaasufaasissa tapahtuvan haihtumisen estymisestä (Verma 2002).

Liikenteessä dityppioksidia muodostuu ajoneuvojen katalysaattoreissa.  $N_2O$  syntyy sekä ammoniakkin hapettuessa että typpimonoksidin pelkistyessä katalyytin avulla, joskin  $NO$ :n pelkistymisen aiheuttama muodostuminen on runsaampaa (Takigawa ym. 2005). Teolli-

suudessa dityppioksidia taas muodostuu erilaisissa tyyppiä käyttävissä laitoksissa, kuten typpihapon sekä lannoitteiden valmistukseen erikoistuneessa teollisuudessa (Ramírez 2007). Myös esimerkiksi jäteveden käsittelylaitoksista vapautuu ilmaan  $N_2O$ :a, johtuen laitoksilla käytettävistä nitrifikaatio-denitrifikaatio-prosesseista (Mao ym. 2006b).

Dityppioksidi poistuu ilmakehästä vasta stratosfäärin alueella pysyen troposfäärissä inerttinä kasvihuonekaasuna (yhtälöt 14 - 16) (Seinfeld & Pandis 2006). Kuitenkin  $N_2O$  osallistuu myös typpioksidin muodostukseen reaktion 17 mukaisesti (Davis & Cornwell 1998).



### 2.5.1 Kasvihuonevaikutukset

Dityppioksidi on arvioitu yhdeksi merkittävimmistä ihmisen aiheuttamista kasvihuonekaasupäästöistä, hiilidioksidin ( $CO_2$ ), metaanin ( $CH_4$ ) ja halogenoitujen hiilivetyjen jälkeen.  $N_2O$ -päästöt ovat IPCC:n mukaan lisääntyneet johtuen liikenteen sekä lannoitteiden käytöstä ja valmistuksesta, mikä lopulta on johtanut siihen, että  $N_2O$ :a vapautuu ilmakehään enemmän kuin sitä sieltä luonnollisesti poistuu. Dityppioksidin haitallisuutta kasvihuonekaasuna lisää sen osallistuminen typen oksidien muodostukseen (IPCC 2007).

IPCC on neljännessä raportissaan (IPCC 2007) arvioinut dityppioksidin säteilypakotteeksi  $0,16 \pm 0,02 \text{ W/m}^2$ , kun se kolmannessa raportissa oli  $0,15 \text{ W/m}^2$  ja toisessa raportissa  $0,14 \text{ W/m}^2$ . Hiilidioksidin säteilypakotteeksi neljännessä raportissa taas arvioitiin  $1,66 \pm 0,17 \text{ W/m}^2$ . Dityppioksidin haitallisuus kuitenkin perustuu sen pitkään ikään ilmakehässä (arvioidaan n. 140 vuotta) ja siihen, että suuren ilmastonmuutospotentiaalinsa vuoksi  $N_2O$  on hiilidioksidia 300 kertaa voimakkaampi kasvihuonekaasu (IPCC 2001).

### 2.5.2 Terveysvaikutukset

Dityppioksidin terveysvaikutuksista tietoa on saatavilla lähinnä sisäilman, etenkin ilokaasua käyttävien sairaaloiden ilman, laadusta. Dityppioksidilla on tutkimusten mukaan havaittu vaikutuksia mm. lisääntymiskykyyn ja muihin perimään liittyviin ongelmiin, minkä on tutkittu johtuvan  $N_2O$ :n kyvystä aiheuttaa mutaatioita DNA:ssa (Wrońska-Nofer ym. 2009). Dityppioksidin on todettu vaikuttavan myös  $B_{12}$ -vitamiiniin ja sitä kautta metionii-

nientsyymien synteesiin. Tämän vuoksi hyvin korkeat  $N_2O$ -pitoisuudet voivat aiheuttaa luuytimen verisolujen tuoton heikkenemistä tai keskus- ja ääreishermoston vaurioita (Weimann 2003). Dityppioksidin HTP-arvoksi (haitalliseksi tunnettu pitoisuus) onkin sen aiheuttamien vaikutusten vuoksi asetettu 100 ppm (TTL 2005). Nämä tutkimukset kuitenkin liittyvät dityppioksidin käyttöön sairaaloissa, joten tuloksia ei voi verrata  $N_2O$ :n terveysvaikutuksiin ulkoilmassa.

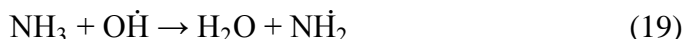
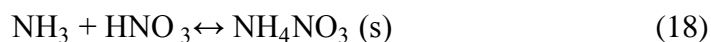
## 2.6 Ammoniakki

Ammoniakki ( $NH_3$ ) on yksi typen kaasumaisista muodoista, jota kemikaalina käytetään lannoitteiden ja muiden typpipitoisten yhdisteiden, kuten typpihapon ja muovien valmistuksessa, jäädytysaineena sekä muissa teollisuuden prosesseissa (OVA 2009). Ilmaan typpiyhdisteitä vapautuu suurimmaksi osaksi maatalouseläinten jätteen sekä maaperän ja kasvien hajoamisen haihtuvista päästöistä, lannoitteiden aiheuttamista sekä teollisuuden päästöistä. Suurin osa ammoniakkipäästöistä on siis antropogeenista alkuperää, ja luonnollisia ammoniakkin lähteitä ovat lähinnä meret, luonnontilainen maaperä sekä villieläinten päästöt ja joltain osin myös biomassan poltto (Seinfeld & Pandis).

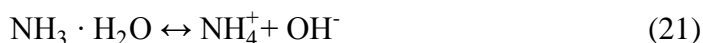
Kotieläinten jätteistä peräisin olevat ammoniakkipäästöt johtuvat eläinten virtsan ja ulosteen sisältämän ammoniakkin nopeasta haihtumisesta ilmaan. Haihtumisen nopeus ja määrä on kuitenkin riippuvainen niin eläinlajista, lannan ominaisuuksista, käsittelytavoista, ulkoisista olosuhteista, kuten lämpötilasta ja kosteudesta sekä jätteen vastaanottavan maaperän ominaisuuksista (Grönroos ym. 1998). Maaperän ja kasvillisuuden aiheuttamat päästöt taas johtuvat mikrobien hajotustoiminnasta, ja päästöjen määrä on hyvin riippuvainen lämpötilasta sekä maaperän pH:sta. Maaperään ja varsinkin maatalouden käyttämille maa-aloille lisätyt lannoitteet aiheuttavat ammoniakkipäästöjä, kun lannoitteen sisältämä ammoniakki haihtuu ilmaan. Lannoitetyypeistä varsinkin urea on helposti haihtuvaa (Vallero 2008).

Suttonin ym. (2000) tekemässä tutkimuksessa muista kuin maataloudessa syntyvistä ammoniakkipäästöistä päästöjen määrää tutkittiin mm. ihmisperäisistä, lemmikkien, kotitaloustarvikkeiden, kuljetuksen, hiilen ja jätteenpolton, sekä viemäriverkostojen ja kaatopaikkojen ammoniakkipäästöistä. Ihmisperäiset päästöt esimerkiksi ovat pääosin peräisin hien ja hengityksen sisältämästä ammoniakista, kun taas polttoaineiden sisältämän ammoniakkin lisäksi päästöjä aiheutuu myös ajoneuvojen katalysaattorien toiminnasta. Viemäriverkostojen päästöt taas aiheutuvat sekä jäteveden käsittelyn anaerobisen osan ja maatalouteen lopuksi jätettävän tuotteen päästöistä (Sutton ym. 2000).

Ammoniakki poistuu ilmakehästä joko märkä- tai kuivalaskeuman kautta (Krupa 2003). Se voi poistua ilmakehästä reagoimalla typpihapon kanssa muodostaen ammoniumnitraattia (yhtälö 18). Toinen tapa on reagointi hydroksyyliiradikaalin kanssa muodostaen vettä ja amiiniradikaalin (yhtälö 19), mikä kuitenkin on ammoniumnitraatin muodostukseen verrattuna hidas reaktio (Seinfeld & Pandis 2006).



Veden kanssa reagoidessaan ammoniakki muodostaa ammoniumtyypeä reaktioyhtälöiden 20 ja 21 mukaan, kun taas helposti veteen liukeneva typpihappo muodostaa nitraattia (yhtälöt 22 ja 23). Nitraatti ja ammoniumtyppi toimivat ravinteina maaperässä (Seinfeld & Pandis). Ammoniumtyppi toimii ilmakehässä happamuutta, kuten typpi- ja rikkihappoa neutraloivana tekijänä (Vallero 2008).



### 2.6.1 Terveysvaikutukset

Ammoniakin konkreettisimmat vaikutukset liittyvät viihtyisyyteen. Ammoniakilla on hyvin voimakas, pistävä haju. Hajukynnys ammoniakille on 5 – 50 ppm, mutta kuitenkin terveyshaitan kannalta kynnys ei toimi hyvänä varoitusmerkinä. Jo noin 20 ppm:n pitoisuudessa alkaa ilmetä ärsytystä hengitysteissä ja ärsytys kasvaa ammoniakin pitoisuuden kasvaessa. Ammoniakki ärsyttää silmiä noin 100 ppm:n pitoisuudessa vaikuttaen sarveiskalvoon ja kyynelvuotoon. Korkeissa yli 5000 ppm:n pitoisuuksissa keuhkopöhöä saattaa seurata myös kuolema (OVA 2009).

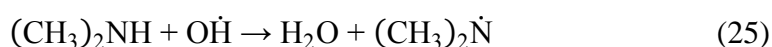
### 2.6.2 Luontovaikutukset

Ammoniakin vaikutukset kasvillisuuteen voivat olla joko positiivisia tai negatiivisia. Kasvit käyttävät ilmakehän ammoniakkia sekä juurten (Vallero 2008) että lehdistön kasvuun. Lehtien kaasunottoon vaikuttaa suuresti ulkoilman ammoniakki (Renard ym. 2004) sekä lehden typpipitoisuus (Schjoerring ym. 1998). Normaalisti kasvit pyrkivät estämään ammoniakin aiheuttamaa toksisuutta muuttamalla sitä orgaanisiksi typpiyhdisteiksi. Tämän

kapasiteetin ylittyessä aiheutuu kuitenkin negatiivisia vaikutuksia kasvuun. Krupan vuonna 2003 tekemän katsausartikkelin mukaan liika ammoniakki muuttaa kasvien ravinnetasapainoa. Muita vaikutuksia Krupan mukaan ovat mm. lisääntynyt haihtuminen, kutikulan eli lehtien vahakerroksen vauriot, sieni- ja bakteeritautien ilmestyminen sekä hyönteis- ja pakkasvauriot. Noin 20 ppm:n pitoisuudet aiheuttavat kasvillisuudella muutoksia kudoksissa, jolloin lehdet ruskettuvat sekä kuivuvat ja joillakin lajeilla saattavat mustua (Vallero 2008).

## 2.7 Amiinit

Amiinit voidaan lukea Zhangin ym. (2008) mukaan kuuluviksi haihtuviin orgaanisiin yhdisteisiin (VOC). Tässä selvityksessä amiinit kuitenkin käsitellään erikseen muiden tyyppiyhdisteiden kanssa. Amiineja muodostuu luonnollisesti biologisessa hajoamisprosessissa, kun hajoava aines sisältää esimerkiksi proteiineja, aminohappoja tai muita tyyppipitoisia yhdisteitä (Sacher ym. 1997). Antropogeenisiä lähteitä on useita riippuen amiinien molekyylimuodosta. Esimerkiksi trimetyyliamiinia voidaan käyttää kemianteollisuudessa kasvinsuojeluaineiden, desinfektioaineiden sekä muovien ja erilaisten reagenssien valmistukseen (OVA 2009), ja myös poltosta aiheutuu jonkin verran amiinipitoisia päästöjä (Lemieux ym. 2004). Amiineja muodostuu kuitenkin myös ammoniakkin kanssa samanlaisissa prosesseissa, kuten maataloudessa (Zhang ym. 2008) sekä jätteiden ja jäteveden käsittelyssä (Mao ym. 2006a). Amiinit poistuvat ilmakehästä pääasiallisesti reagoimalla OH-radikaalien kanssa muodostaen erilaisia typpiradikaaleja (yhtälöt 24 - 26) (Seinfeld & Pandis 2006).



### 2.7.1 Terveysvaikutukset

Amiinien yleisin haitta on niiden haju, joka varsinkin trimetyyliamiinin osalta on yleensä aistittavissa jo hyvin alhaisissa (0,00044 ppm) pitoisuuksissa. Pienissä pitoisuuksissa haju on kalamainen, ja suurissa yli 100 ppm:n pitoisuuksissa se alkaa muistuttaa ammoniakkin hajua. Trimetyyliamiinin terveysvaikutuksia ovat lyhyestä altistuksesta aiheutuvat hengitysteiden ärsytys, mikä voi johtaa yskään tai oksenteluun ja suurissa pitoisuuksissa jopa keuhkopöhön. Silmiin kohdistuvia terveyshaittoja ovat mahdollinen sarveiskalvovaurio,



ja pitkäaikaisen altistuksen oireena voivat olla sidekalvotulehdus ja iholla ihotulehdus (OVA 2009). Aromaattisilla amiiniyhdisteillä on myös todettu olevan syöpää aiheuttavia vaikutuksia (Yang & Omaye 2009).

## 2.8 Orgaaniset yhdisteet

Eloperäiset orgaaniset yhdisteet sisältävät hiiltä, vetyä, happea, rikkiä, typpeä tai muita alkuaineita. Ainoastaan hiiltä ja vetyä sisältäviä orgaanisia yhdisteitä kutsutaan hiilivedyiksi, mutta esimerkiksi halogeeneja sisältäviä orgaanisia yhdisteitä kutsutaan halogenoiduiksi hiilivedyiksi. Halogenoituja hiilivetyjä ei kuitenkaan käsitellä tässä tutkimuksessa, koska niillä ei ilmansuojelun kannalta ole suurtakaan merkitystä, vaikkakin niitä ilmastonmuutoksen kannalta pidetään oleellisina yhdisteinä positiivisten kasvihuonevaikutustensa vuoksi. Hiilivetyjä ovat esimerkiksi yksöissidoksista koostuvat alkaanit, kuten metaani, kaksoissidoksista koostuvat alkeenit ja kolmoissidoksista koostuvat alkyynit. Muita hiilivetyjä ovat esimerkiksi alkoholit, ketonit, aldehydit sekä aromaattiset yhdisteet, kuten esimerkiksi bentseeni (Seinfeld & Pandis 2006).

Hiilivetyjä muodostuu ihmisperäisen toiminnan seurauksena poltossa, esimerkiksi pienpoltossa (Lemieux ym. 2004), mutta niitä voi syntyä myös luonnollisesti kasvien metabolian tuloksena (Räisänen 2008) sekä luonnollisesta biomassan palamisesta, jonka päästöt ovat kuitenkin antropogeenisiä päästöjä huomattavasti pienempiä (Lemieux ym. 2004). Muita lähteitä ovat mm. teollisuuden prosessit sekä liuottimien käyttö (Antson ym. 2008), mutta myös liikenteestä ja esimerkiksi ajoneuvojen tankkauksesta vapautuu ilmaan haihtuvia päästöjä. Liikenne on hiilivedyn päästölähteistä ehkä merkittävin johtuen polttoaineesta vapautuvista hiilivetyypäästöistä. Liikenteessä hiilivetyjen määrään vaikuttavat mm. ajonopeus (Hansen ym. 1995) sekä polttoaineen laatu. Esimerkiksi bensiinin lisätty alkoholi nostaa polttoaineen hiilivetyypäästöjä (Gaffney & Marley 2009). Katalysaattorien käyttöön-otto on vähentänyt hiilivetyjen päästöjä, mikä esimerkiksi Zambonin ym. (2008) mukaan on joissakin kaupungeissa suhteellisesti lisännyt muiden liikennemuotojen merkittävyyttä HC-päästöjen lähteenä.

Antropogeenisten ja luonnollisten lähteiden lisäksi orgaanisia yhdisteitä, mm. hiilivetyjä, voi muodostua myös ilmakehässä. Varsinkin aldehydeille ilmakehän muodostumisreaktiot ovat oleellisia ja niissä aldehydejä muodostuu muiden orgaanisten yhdisteiden valokemiallisesta hajoamisesta. Yhdisteet poistuvat ilmakehästä reagoimalla eri radikaalien sekä esimerkiksi typpimonoksidin kanssa muodostaen lopulta useiden reaktioiden kautta typpidi-

oksidia sekä otsonia. Kaksoissidokselliset hiilivedyt taas reagoivat otsonin kanssa muodostaen ketoneita sekä biradikaaleja. Ilmakehästä orgaaniset yhdisteet palaavat joko märkä- tai kuivalaskeumana maahan, mutta maasta haihtuvat yhdisteet voivat palata uudelleen ilmaan. Kasveille laskeutunut joko kaasu- tai hiukkasmainen hiilivetyjäte ja aldehydit kuitenkin absorboituvat kasveihin ja näin kasvit voivat toimia varsinkin PAH-yhdisteiden ja aldehydien nieluina (St-Amand ym. 2009).

Orgaanisia yhdisteitä luokitellaan usein eri tavoin niiden ominaisuuksien tai kemiallisen rakenteen mukaan. Esimerkiksi haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC, Volatile Organic Compounds) ovat yhdisteitä, joiden kiehumispiste korkeintaan 260 °C, mikä määrää myös sen että yhdiste voi koostua enintään 12 hiiliatomista (de Nevers 1995). Haihtuvien hiiliyhdisteiden ohella käytetään myös termiä NMVOC (Non-Methanous Volatile Organic Compounds) eli haihtuvat hiilivedyt, joihin ei lueta kuuluvaksi metaania. Metaani poikkeaa muista haihtuvista orgaanisista yhdisteistä voimakkaan kasvihuonepotentiaalinsa vuoksi (kuva 4) (Seinfeld & Pandis 2006). VOC- ja NMVOC-päästöjä syntyy muiden hiilivetyjen tapaan poltossa, ja esimerkiksi VOC-päästöistä suurin osa saattaa olla biomassaa poltettaessa metaania (Johansson ym. 2004). Puuta poltettaessa taajamissa saattavat taas bentseenin pitoisuudet nousta hyvinkin korkeiksi (Hellén ym. 2008).

PAH-yhdisteet (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) eli polysykliset aromaattiset hiilivedyt taas koostuvat ainoastaan hiilestä ja vedystä muodostuneista kahdesta tai useammasta yhteen liittyneestä aromaattisesta rengasrakenteesta. Ilmanlaatuun vaikuttavia PAH-yhdisteitä on tunnistettu noin sata ja rakenteesta riippuen ne voivat olla haitallisimmillaan joko kaasun- tai hiukkasmuodossa. PAH:t muodostuvat pääosin epätäydellisessä palamisessa, kun polttoaineena on esimerkiksi puu, hiili, öljy tai bensiini. Tämän vuoksi antropogeenisiä PAH:n lähteitä ovat muiden hiilivetyjen tavoin mm. energiantuotanto, pienpoltto, liikenne sekä teollisuuden prosessit (Seinfeld & Pandis 2006). Liikenteen polttoprosessien lisäksi PAH-yhdisteitä vapautuu ilmaan myös katupölyn kautta, jonka partikkelirakenteeseen päästöt kiinnittyvät (Bari ym. 2009). Puun pienpoltto kotitalouksissa on hyvin merkittävä PAH-päästöjen lähde ja konsentraatiot taajama-alueilla voivat nousta hyvinkin korkeiksi (Hellén ym. 2008). Luonnollisia PAH-yhdisteiden lähteitä taas ovat mm. tulivuorten purkaukset sekä metsäpalot (Nikolaou ym. 1984).

BVOC-yhdisteet (Biogenic Volatile Organic Compounds) eli biologisesti muodostuneet haihtuvat orgaaniset yhdisteet ovat peräisin kasvillisuudesta. Kasvit, varsinkin puut, tuotta-

vat lajista riippuen erilaisia BVOC-yhdisteitä, kuten monoterpeeniä, isopreeniä, asetonia (Janson & de Serves 2001), asetaldehydiä sekä formaldehydiä (Janson ym. 1999), ja etenkin havupuiden on havaittu tuottavan valtaosin monoterpeeniä (Janson ym. 1999, Smiatek & Steinbrecher 2006). Myös soiden on tutkittu metaanin ohella tuottavan VOC-yhdisteitä (Rinnan ym. 2005), isopreeniä sekä jonkin verran myös monoterpeeniä (Janson ym. 1999). Metsien hakkuulla on erityisesti vaikutusta BVOC-päästöihin. Päästöjen on todettu lisääntyvät hakkuualueilla, tosin vuosien kuluessa jälleen palaavan alhaisemmalle tasolle. Hakkuut myös vaikuttavat päästöjen koostumukseen muuttamalla alueen kasvillisuutta ja näin ollen myös BVOC:ien rakennetta (Räisänen 2008). Atkinsonin (2001) mukaan BVOC-yhdisteet ovat antropogeenisesti muodostuneita yhdisteitä helpommin ilmakehässä reagoivia, mikä tekee näistä yhdisteistä myös kasvihuoneilmiön kannalta ongelmallisia.

### 2.8.1 Kasvihuonevaikutukset

Orgaanisten yhdisteiden kasvihuonevaikutuksia voidaan tarkastella eri komponenttien osalta (liite 1). IPCC on neljännessä vuosiraportissaan arvioinut kasvihuonevaikutuksia metaanin, NMVOC-yhdisteiden ja mm. teollisuudessa syntyvien halogenoitujen hiilivetyjen osalta. Halogenoitujen hiilivetyjen säteilypakote on pääosin positiivinen johtuen niiden kyvystä absorboida infrapunasäteilyä. Negatiivinen pakote taas ilmenee halogenoitujen hiilivetyjen asemasta vähäisenä stratosfäärin otsonin lähteenä. Metaani taas on pääosin maatalouden, polton ja maaperän mikrobitoiminnan tuloksena syntyvä kaasu, jolla on voimakas, hiilidioksidin jälkeen toiseksi suurin, positiivinen kasvihuonekaasupotentiaali. Hiilidioksidin tavoin metaani toimii maanpinnan säteilyä absorboivana kaasuna, mikä nostaa maapallon lämpötilaa (IPCC 2007).

NMVOC-yhdisteet taas on IPCC:n raportissa luokiteltu lyhytikäisiksi kasvihuonekaasuiksi hiilimonoksidin ja typen oksidien rinnalle. Haihtuvien hiilivetyjen (metaania lukuun ottamatta) säteilypakote on positiivinen, mikä johtuu yhdisteiden osallisuudesta sekä otsonin, hiilidioksidin että OH-radikaalien muodostukseen. OH-radikaalien avulla ilmakehässä voi muodostua edelleen voimakkaan positiivisen säteilypakotteen omaavaa metaania, kunhan OH-radikaalien pitoisuudet ovat riittävän suuria (IPCC 2007).

### 2.8.2 Terveysvaikutukset

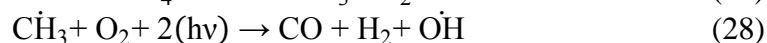
Orgaanisilla yhdisteillä on erilaisia terveysvaikutuksia johtuen erilaisista kemiallisista muodoista. PAH-yhdisteitä ja niiden karsinogeenisuutta on tutkittu kauan (Seinfeld & Pan-

dis), ja yhdisteet voivatkin aiheuttaa vaurioita DNA:ssa ja tätä kautta myös syöpää (WHO 2005b). Koska altistuminen PAH-yhdisteille tapahtuu hengityksen kautta, on Armstrongin ym. (2004) tutkimuksen mukaan toistuvasti altistuneilla suuri riski sairastua keuhkosityöpään. PAH-yhdisteistä varsinkin bentso[a]pyreenin (BaP) on todettu vaikuttavan karsinogeenisesti (Armstrong ym. 2004).

VOC-yhdisteistä taas varsinkin bentseenin on todettu lisäävän hengitysteiden oireita kuten astmaa (Curtis ym. 2006), ja yhdisteet saattavat myös aiheuttaa hajuhaittoja sekä niihin liittyviä terveysvaikutuksia (Gallego ym. 2008, Ling & Liao 2007). Bentseenin on myös todettu aiheuttavan syöpää (OVA 2009). Lingin & Liaon vuonna 2007 tekemässä tutkimuksessa VOC-yhdisteiden sisältämien tolueenin ja ksyleenin terveysvaikutusten kuitenkin todettiin olevan vähäisiä, mutta erittäin suurissa pitoisuuksissa riski aineiden vaikutuksille hengitysteissä, keskushermostossa, maksassa, munuaisissa sekä silmissä on mahdollista. Pienissä pitoisuuksissa varsinkin silmien ja nenän ärsytys on mahdollista (Ling & Liao 2007).

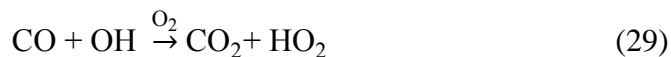
## 2.9 Hiilimonoksidi

Hiilimonoksidia eli häkää (CO) muodostuu yleensä epätäydellisen palamisen seurauksena, kun hiili ei hapetu täydellisesti. Tällöin hiilimonoksidipäästöjen lähteitä ovat polttoainesten poltto, liikenne ja teolliset prosessit (Davis & Cornwell 1998). Epätäydellinen palaminen ei kuitenkaan välttämättä johdu liian vähäisestä hapensaannista, vaan myös liika ilma voi jäädyttää palamisprosessia ja saada aikaan hiilimonoksidipäästöjä (Johansson ym. 2004). Palamiseen vaikuttaa ilman lisäksi oleellisesti myös palamisen lämpötila, minkä nostaminen kaasumaisten päästöjen ohella vähentää myös hiukkaspäästöjä (Lemieux ym. 2004). Luonnollisesti hiilimonoksidia muodostuu biomassan poltossa (Davis & Cornwell 1998), merissä (Stubbins ym. 2006) sekä kasvien ja maaperän hajoamistoiminnan kautta. Hajoamistoiminnan vapauttama metaani reagoi ilmakehässä kemiallisesti muodostaen monimutkaisten reaktioiden kautta hiilimonoksidia (yhtälöt 27 ja 28). Reaktioiden merkitys riippuu OH-radikaalien konsentraatiosta ilmakehässä (Davis & Cornwell 1998).



Hiilimonoksidi poistuu ilmakehästä eri tavoin. Se voi troposfäärissä reagoida hydroksyyli-radikaalien kanssa muodostaen hiilidioksidia reaktioyhtälön 29 mukaan. Tämä reaktio

myös johtaa lopulta otsonin muodostumiseen (yhtälö 6) (Seinfeld & Pandis 2006). Toinen hiilimonoksidinielu on maaperä. Hiilimonoksidin sitoutumiseen vaikuttavat varsinkin maaperän ominaisuudet sekä lämpötila, koska hiilimonoksidia hyväkseen käyttävät maaperän mikrobit ovat näistä tekijöistä riippuvaisia (Badr & Probert 1995).



### 2.9.1 Kasvihuonevaikutukset

Hiilimonoksidilla ei ole suoria kasvihuonevaikutuksia, vaan yhdisteestä aiheutuvat vaikutukset perustuvat hiilimonoksidin muuntumiseen alailmakehän otsoniksi, metaaniksi sekä hiilidioksidiksi (liite 1). Hiilimonoksidin reaktioista syntyvät hiilidioksidipäästöt eivät kuitenkaan kasvihuonepäästöjen vertailussa ole samoja päästöjä kuin pitkäikäisten kasvihuonekaasujen hiilidioksidipäästöt, koska nämä pitkäikäiset CO<sub>2</sub>-päästöt ovat suoraan palamisesta ja muista prosesseista johtuvia päästöjä. Kaikilla hiilimonoksidin reaktiotuotteilla on kuitenkin arvioiden mukaan pitkäikäisten hiilidioksidipäästöjen tavoin ilmakehää lämmitävä eli positiivinen säteilypakote (IPCC 2007).

### 2.9.2 Terveysvaikutukset

Hiilimonoksidin vaikutukset terveyteen tunnetaan hyvin. Ihmiskehossa hiilimonoksidia muodostuu hemoproteiinien hajoamisessa sekä hengitettyjen halogenoitujen hiilivetyjen metaboliassa (Raub 1999). Hiilimonoksidi vaikuttaa veren hemoglobiiniin muodostamalla karboksihemoglobiinia (COHb) ja syrjäyttämällä happea. Sitoutuminen tapahtuu yli 200 kertaa nopeammin kuin hapen sitoutuminen hemoglobiiniin. Tällöin kudosten, esimerkiksi aivojen ja sydämen, hapensaanti vaikeutuu, ja korkeissa pitoisuuksissa on olemassa aivo- sekä hermostovaurion vaara, kooma (Cho ym. 2008, Davis & Cornwell 1998, Prockop & Chichkova 2007, Raub 1999, Whalen & Reeburgh 2001) ja yli 5000 ppm pitoisuuksissa kuolema (Davis & Cornwell 1998).

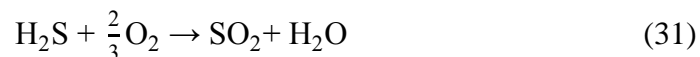
Erittäin haitallista hiilimonoksidi on sydän- ja verisuonitauteja sairastaville, ja hermostollisten oireiden riskiryhmiä Raubin (1999) mukaan ovat masennuksesta kärsivät, vanhukset ja sairaat. Sydän- ja verisuonitauteja sairastavilla hiilimonoksidin aiheuttamia oireita ovat rintakivut sekä rytmihäiriöt. Muita kaikille väestöryhmille aiheutuvia oireita ovat mm. keuhkojen heikentynyt kestävyys, valppauden herpaantuminen, käsi-silmä-koordinaation heikkeneminen, päänsäryt, huimaus, näköhäiriöt, pahoinvointi ja heikkous sekä sekavuus (Cho ym. 2008, Davis & Cornwell 1998, Prockop & Chichkova 2007, Raub 1999, Whalen

& Reeburgh 2001). WHO:n (2005b) mukaan hiilimonoksidista voi aiheutua myös lisääntymiseen liittyviä ongelmia. Myös hiilimonoksidin ja muiden ilman epäpuhtauksien yhteisvaikutusta on tutkittu. Ennen aikaisten kuolemien, samoin kuin esimerkiksi syövän, allergioiden, sydän- ja verisuoni- sekä hengitystiesairauksien on todettu aiheutuvan useiden päästökomponenttien yhteisvaikutuksesta (Raub 1999, Curtis ym. 2006).

## 2.10 Rikkidioksidi

Rikkidioksidia muodostuu pääosin antropogeenisesti rikkipitoisten fossiilisten polttoaineiden poltosta sekä liikenteestä, mutta myöskään biopolttoaineet eivät ole täysin rikkittömiä (Gaffney & Marley 2009). Rikkidioksidia vapautuu ilmaan myös rikkiä käyttävästä teollisuudesta (Smith ym. 2001) sekä malmien louhinnasta ja sulatuksesta (Vallero 2008). Biomassan poltosta (Lewtas 2007), vulkaanisesta toiminnasta (Bhugwant ym. 2009) ja sulfaattipitoisista maista (Macdonald ym. 2003) aiheutuvat luonnolliset päästöt taas ovat huomattavasti ihmisperäisiä pienempiä. Rikkidioksidia muodostuu myös sekundaarisesti ilmakehässä esimerkiksi rikkivedystä ja muista rikkipitoisista yhdisteistä (Seinfeld & Pandis 2006).

Poltossa rikkidioksidi muodostuu polttoaineen sisältämän rikin reagoidessa poltossa hapen kanssa (yhtälö 30) (deNevers 1995). Rikkidioksidia voi myös muodostua jo ilmakehässä olevista yhdisteistä reagoimalla yhdisteiden kanssa kemiallisesti (yhtälöt 31 ja 32) (Davis & Cornwell 1998, Vallero 2008). Termodynamiikan mukaisesti rikkidioksidi reagoi hapen kanssa muodostaen rikkitrioksidia, vaikkakin ilman katalyyttiä tämä reaktio on ilmakehässä hyvin hidas (yhtälö 33) (Seinfeld & Pandis 2006).



Rikkidioksidi voi poistua ilmakehästä myös valokemiallisten prosessien kautta. Prosessissa muodostuu virittynyt  $\text{SO}_2$ -molekyyli, joka reagoi hapen kanssa muodostaen rikkitrioksidia ja lopulta reaktiossa veden kanssa rikkihappoa (yhtälöt 34 – 36) (Davis & Cornwell 1998).



### 2.10.1 Terveysvaikutukset

Rikkidioksidin vaikutuksia terveyteen ovat mm. yskä, liman erity, ylempien hengitysteiden oireet (Forsberg ym. 1997), astman pahentuminen lapsilla (Curtis ym. 2006) sekä lisääntymisvaikeudet (WHO 2005b). Hedleyn ym. (2002) mukaan rikkidioksidipitoisuuksien vähetessä myös ilmansaasteisiin liittyvät hengitystie- sekä sydän- ja verisuonisairauksien aiheuttamat kuolemat vähenevät. Rikkiä yksinään ei kuitenkaan pidetä kovin vakavana terveyshaittana (Forsberg ym. 1997), vaan sen vaikutusta lisää se, että altistuminen tapahtuu samaan aikaan muiden ilman epäpuhtauksien, kuten typen oksidien ja hiilimonoksidin kanssa. Merkittäviä vaikutuksia on todettu myös rikin esiintyessä yhdessä hiukkasten kokonaisleijuman (TSP) (WHO 2005a), sekä typpidioksidin kanssa (Forsberg ym. 1997, Wong ym. 2001). Wongin ym. (2001) tutkimuksessa rikki- ja typpidioksidia pidettiin myös parhaimpana indikaattorina, kun tarkastelun kohteena olivat ilman epäpuhtauksista johtuvat kuolemat.

### 2.10.2 Luontovaikutukset

Rikkidioksidin poistuminen ilmakehästä happamana laskeumana aiheuttaa usein ongelmia luonnossa. Näitä ongelmia voivat olla esimerkiksi vesistöjen ja maaperän pH:n muutokset (Vallero 2008). Maaperän happamoituessa useat maaperän ravinteet (Persson & Majdi 1995) sekä esimerkiksi alumiini (Nelleman & Thomsen 2001) lähtevät liikkeelle ja haitallisia vaikutuksia aiheutuu myös kasveille. Metsiin happaman laskeuman vaikutuksia ovat useimmiten puiden kellastuminen, harsuuntuminen, neulasten sekä lehtien tiputtelu, pak-kaskestävyyden heikkeneminen (Metla 2009) ja lehtivihreän puute (Vallero 2008). Havu-puissa rikkidioksidi vaikuttaa muuttamalla ja kuluttamalla neulasten kutikulaa sekä vioit-tamalla ilmarakoja. Seurauksena ovat kasvin hiilidioksidinottokyvyn heikkeneminen ja aineenvaihdunnan muuttuminen (Metla 2009).

## 2.11 Haisevat rikkiyhdisteet

Haiseviin rikkiyhdisteisiin (TRS, Total Reduced Sulphur) kuuluvat pelkistyneet rikkiä sisältävät yhdisteet kuten rikkivety ( $\text{H}_2\text{S}$ ), metyylimerkaptani ( $\text{CH}_3\text{SH}$ ), dimetyylisulfidi ( $\text{CH}_3\text{SCH}_3$ ) ja dimetyylidisulfidi ( $\text{CH}_3\text{SSCH}_3$ ). Yhdisteet haisevat voimakkaasti jo pienissä

pitoisuuksissa, mikä tekee niistä varsinkin viihtyisyydelle erittäin haitallisia (taulukko 1) (Bordado & Gomes 1998). Rikkiyhdisteiden luonnollisia lähteitä ovat maaperän ja kasvien toiminta, vulkaaninen toiminta sekä suot ja kosteikot. Dimetyylisulfidin merkittävimpana luonnollisena lähteenä ovat valtameret, joissa sitä tuottaa kasviplankton. Antropogeenisiä rikkiyhdisteiden lähteitä taas ovat fossiilisten polttoaineiden käyttö (Seinfeld & Pandis 2006), eri teollisuuden alat, kuten paperi- ja selluteollisuus (Bordado & Gomes 1998, Haahtela ym. 1992) sekä jätteiden ja jätevesien käsittely ja rikkivedyn osalta myös liikenne (Kourtidis ym. 2008).

### 2.11.1 Terveysvaikutukset

Haisevien rikkiyhdisteiden terveysvaikutuksia voidaan tarkastella jokaisen päästökomponeentin osalta erikseen. Rikkivedyn aiheuttamia oireita ovat useimmiten hengitysteiden oireet kuten hengitysvaikeudet, mutta myös pahoinvointia, päänsärkyä ja silmien kirvelyä voi esiintyä (Haahtela ym. 1992, OVA 2009). Vakavampia oireita, kuten sydän- ja keuhko-oireita, neurologisia oireita, hajuaistin lamaantumista sekä lisääntymisvaikeuksia on todettu esiintyvän hyvin korkeissa pitoisuuksissa ja kuolleisuutta rikkivedyn pitoisuuden ollessa noin 700 – 1000 mg/m<sup>3</sup> (OVA 2009, WHO 2003). Metyylimerkaptani taas vaikuttaa terveyteen samoin kuin rikkivety, vaikkakin on rikkivetyä myrkyttömämpi kaasu. Pienille pitoisuuksille altistuminen aiheuttaa oireita silmissä ja hengitysteissä, kun taas vakavassa altistuksessa vaikutukset kohdistuvat mm. keskushermostoon. Dimetyylisulfidi on huomattavasti vähemmän terveydelle haitallista kuin rikkivety ja metyylimerkaptani. Se aiheuttaa oireita, esimerkiksi silmien ärsytystä, allergista ihottumaa sekä hemolyyttistä anemiaa, ainoastaan voimakkaissa pitoisuuksissa (TTL 2005).

Taulukko 1. Haisevien rikkiyhdisteiden sekä rikkidioksidin hajukynnykset Bordadon & Gomesin (1998) mukaan.

Yhdiste	Hajun havaintokynnys	
	(ppm)	(mg/m <sup>3</sup> )
SO <sub>2</sub>	1,0 - 5,0	2,5 - 12,5
H <sub>2</sub> S	0,0009 - 0,0085	0,0013 - 0,0119
CH <sub>3</sub> SH	0,0006 - 0,040	0,0012 - 0,08
CH <sub>3</sub> SCH <sub>3</sub>	0,0001 - 0,0036	0,00025 - 0,009
CH <sub>3</sub> SSCH <sub>3</sub>	0,0001	0,00038



### 3 ILMANLAADUN TUTKIMUS

#### 3.1 Ilmanlaadun tutkimus Suomessa ja Euroopassa

Suomessa ilmanlaatua tutkitaan pääosin Ilmatieteen laitoksen, Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) ja eri yliopistojen, mm. Helsingin yliopiston ja Tampereen teknillisen yliopiston toimesta (Pietarila ym. 2001, VYH 2009c ja mm. HY 2009, TTY 2009). Ilmanlaadun tutkimukseen kuuluvat erilaiset päästöjen pitoisuuden mittaukset, leviämismallilaskelmat sekä bioindikaattorikartoitukset (Kartastenpää ym. 2004, Pietarila ym. 2001). Ilmanlaatumittauksia suorittavat Ilmatieteen laitos, teollisuus sekä kunnat ja kuntien yhteenliittymät. Kunnat ja teollisuus tekevät mittauksia omalla alueellaan, kun taas Ilmatieteen laitos tekee aktiivisia mittauksia koko maassa. Ilmatieteen laitoksen laboratorio on myös vuonna 2001 valittu ilmanlaadun vertailulaboratorioksi, jonka tehtävänä on mm. koordinoida, vertailla ja kehittää kansallista ilmanlaadun mittausta sekä toimittaa ilmanlaadun asiantuntijapalveluja (Anttila ym. 2003). Myös Metsäntutkimuslaitos (Metla) tekee osaltaan ilmanlaatuun liittyviä tutkimuksia. Metsien terveydentilan seuranta on osa Metlan viranomaistehtäviä, johon myös kuuluvat ilmansaasteet ja niiden vaikutusten selvitys. Metla on myös osallisena YK:n alaisessa ja EU:n Life+ -ohjelman rahoittamassa FutMon-hankkeessa, jonka tarkoituksena on jatkaa ja kehittää metsien tilan seurantaa, jotta saatavilla olisi tietoa mm. ilmansaasteiden ja ilmastonmuutoksen vaikutuksista metsäekosysteemiin (Päivi Merilä, henkilökohtainen tiedonanto 1.6.2009).

Muualla Euroopassa ilmanlaadun mittaus- ja tutkimustuloksia on saatavilla runsaasti. EU:iin kuuluvissa maissa ilmanlaadun mittaus on EU-lainsäädännön mukaan yhtenäistä ja näin ollen EU-maissa pätevät samat raja-arvot kuin Suomessa. Euroopan ympäristökeskus EEA (European Environment Agency) AirBase-tietokantaan raportoivat Euroopan maat vuosittain ilmanlaadun mittaustuloksiaan. Tällä hetkellä AirBase:en raportoivia maita on 37. EEA:n mittausverkon asemat on luokiteltu pääosin kolmeen ryhmään, teollisuus-, liikenne-, ja tausta-asemiin (EEA 2009). Liikenteen asemat sijaitsevat alueilla, joissa suurin osa päästöistä on lähtöisin liikenteestä ja teollisuuden asemat taas alueilla, joilla päästöt aiheutuvat teollisuuslaitoksista. Tausta-asemilla taas ei mitata minkään pistemäisen lähteen päästöjä vaan mitattavana ovat laajan alueen päästöt. Asemia, jotka eivät vastaa mitään näistä luokittelukuvauksista, kutsutaan luokittelemattomiksi (Anttila ym. 2003).

### 3.2 Ilmanlaadun mittaus

Ilmatieteen laitoksen mittausohjeen mukaan ilmanlaatumittausten tarve tarkastellaan ilmanlaadun perusselvityksissä, jossa apuna käytetään mm. leviämis- ja bioindikaattoriselvityksiä. Rikkidioksidin ja haisevien rikkiyhdisteiden mittaukselle perusteena ovat yhden tai useamman merkittävän ympäristöluvanvaraisen laitoksen läheinen sijainti tai rikkidioksidin osalta sijainti esimerkiksi päästöjen kaukokulkeutumisreitillä varrella. TRS-pitoisuutta voidaan mitata alueilla, joilla haisevien yhdisteiden on todettu aiheuttavan viihtyvyshaittaa. Hiukkasia ja kokonaisleijumaa on perusteltua mitata esimerkiksi alueilla, joilla on runsasta liikennettä, terveydelle ja viihtyisyydelle haitallisia hiukkaspäästöjä aiheuttavia laitoksia ja joilla on epäilty hiukkasten aiheuttamaa likaantumista. Runsa liikenne on tyyppien oksidien tärkein mittausperuste, kun taas otsonin pitkän aikavälin tavoitearvojen, kynnyksien tai raja-arvojen ylittyminen luo tarpeen otsonimittauksille (Kartastenpää ym. 2004).

Euroopassa ilmanlaadun mittausmenetelmät ovat EU-maissa yhtenäisiä vertailumenetelmiä, jotka laaditaan Euroopan standardoimisjärjestö CEN:issä (European Committee for Standardization). Kullekin epäpuhtaudelle on olemassa mittausstandardi, mutta esimerkiksi hiukkasmassa voidaan mitata myös standardoimattomalla TEOM-menetelmällä (Tapered Element Oscillation Microbalance) ja haisevia rikkiyhdisteitä standardoimattomalla SO<sub>2</sub>-analysointilaitteella. Kokonaisleijumaa taas vertailumenetelmän puuttuessa mitataan leijuvan pölyn mittausstandardin mukaan (Kartastenpää ym. 2004).

### 3.3 Leviämismallit

Ilmanlaadun mallinnuksessa käytetään apuna myös leviämismalleja. Leviämismallit ovat matemaattisia malleja, joiden avulla saadaan tietoa epäpuhtauksien konsentraatioista tietynä ajanhetkinä tutkituissa paikoissa. Malleissa otetaan huomioon tutkittavan alueen meteorologiset tiedot, ja myös alueen ilmanlaadun mittaustietoja käytetään mallinnuksen apuna (Davis & Cornwell 1998, Vardoulakis 2003). Leviämismalleja on kehitetty eri epäpuhtauksien tutkimiseen erilaisissa olosuhteissa esimerkiksi liikenteessä, kaupungeissa (Pietarila ym. 2001), maataloudessa (Zhang ym. 2008) ja katukuiluissa (Vardoulakis ym. 2003). Suomessa Ilmatieteen laitos on kehittänyt kaupunkialueen tilaa mallintamaan kaupunkialueen päästöjen leviämismallin (Pietarila ym. 2001) ja liikenteen päästöjen leviämisen mallinnukseen taas viivalähdemallin, jotka molemmat ovat gaussilaisia malleja (Karppinen ym. 2000b). Gaussilaisessa mallissa oletuksena on, että ilmakehän stabiilius on yhtenäistä

ja päästön sekoittuminen ilmaan sekä vaaka- että pystysuorassa tapahtuu normaalija-kauman mukaisesti (Davis & Cornwell 1998).

Ilmatieteen laitoksen kaupunkimallissa (UDM-FMI, Urban Dispersion Modeling system – Finnish Meteorological Institute) tarkastelun kohteena ovat kiinteät piste-, pinta- ja tilavuuslähteet, kuten esimerkiksi teollisuuslaitokset ja energiantuotannon päästöt. Malli soveltuu paikallisiin leviämistarkasteluihin noin 30 kilometrin säteelle, ja lähtötietoina vaaditaan tiedot päästön määrästä ja ajallisesta vaihtelusta, kaasujen lämpötilasta ja tilavuusvirrasta sekä korkeudesta, jolta epäpuhtaudet vapautuvat ilmaan. Meteorologian lisäksi myös esimerkiksi ilmakehässä tapahtuva epäpuhtauksien muuttuminen ja ilman liikkeet mm. turbulenssin vaikutuksesta otetaan mallissa huomioon (Pietarila ym. 2001).

Liikenteen päästöjä tarkastelevassa viivalähdemallissa (CAR-FMI, Contaminants in the Air from a Road – Finnish Meteorological Institute) kaupunkimallin tavoin tarkastelusäteenä on 30 km. CAR-FMI-mallin avulla tutkitaan liikkuvien lähteiden, kuten ajoneuvojen päästöjen leviämistä. Malli tarvitsee lähtötietoinaan tutkittavan liikenneväylän päästöjen määrän ja ajallisen vaihtelun, ajoneuvojen ajonopeuden (Karppinen ym. 2000b), päästölähteiden sijainnin sekä päästöjen korkeuden. Kuten myös kaupunkimallissa, viivalähdemallia laskettaessa ilmoitetaan päästöjen pitoisuustiedot tuntikeskiarvoina, koska meteorologisen tilanteen ja päästöjen määrän oletetaan pysyvän samana tunneittain (Pietarila ym. 2001). CAR-FMI ja UDM-FMI-mallit voidaan myös yhdistää, kun halutaan tutkia esimerkiksi kaupunkialueen kaikkien, sekä pysyvien että liikkuvien, päästölähteiden päästöjä (Karppinen ym. 2000a,b, Pietarila ym. 2001).

Muita Suomessa kehitettyjä leviämismalleja ovat esimerkiksi päästöjen alueellinen leviämismalli FRESH (Karvosenoja 2008), kaukokulkeutumismalli HILATAR (Hongisto 1998, 2003) sekä hiukkaspäästöjen leviämistä arvioiva KOPRA (Kukkonen ym. 2007). HILATAR-malli on Ilmatieteen laitoksen kehittämä typen ja rikin kulkeutumista, kemiallista muuntumista ja laskeumaa mallintava työkalu. Tarkastelukohteen kokoa voidaan säädellä halutun suuruiseksi ja mallinnuksessa voidaan tutkia niin Suomen kuin Skandinavian ja Baltian alueella tapahtuvaa epäpuhtauksien liikettä (Hongisto 1998, 2003).

Hiukkasia (TSP, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1</sub> ja PM<sub>0,1</sub>), rikkidioksidia (SO<sub>2</sub>), typen oksideja (NO<sub>x</sub>) sekä haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (NMVOC) Suomen alueella mallintavaa SYKE:n laskeumajohjelmaa taas kutsutaan nimellä FRES (Finnish Regional Emission Scenario). Malli

ottaa huomioon myös kaikki antropogeenisistä lähteistä aiheutuvat päästöt, niin pysyvät kuin liikkuvatkin lähteet, ja tulokset saadaan ulos ohjelmasta  $1 \text{ km}^2 \times 1 \text{ km}^2$  kokoisella resoluutiolla. Mallissa myös tehdään päästöarvioita tuleville vuosille (Karvosenoja 2008). Suomen ympäristökeskuksen, Ilmatieteen laitoksen ja Kansanterveyslaitoksen yhteistyössä kehittämä KOPRA-malli taas on matemaattis-fysikaalinen malli pienhiukkasten tutkimukseen. Mallia voidaan käyttää apuna pienhiukkasten päästöjen tutkimuksessa ja esimerkiksi terveysriskin sekä pitoisuuksien hallinnassa (Kukkonen ym. 2007).

Ilman epäpuhtauksien leviämismalleja on kehitetty myös suppeampiin kohteisiin, kuten esimerkiksi katukuiluihin. Katukuilut ovat yleensä kaupungeissa korkeiden rakennusten välisiä tiloja, joissa liikenne on runsasta, mutta ilman liike vähäistä, mikä nostaa päästöjen konsentraatioita kuilussa. Tunneli-ilmiö, tuulipyörteitä ja matalapainealueita saattaa muodostua katualueilla, jolloin päästöjen pitoisuudet nousevat, mutta myös auringonvalon aiheuttamat valokemialliset reaktiot lisäävät päästöjen konsentraatioita. Päästöjen laimeneeseen ja leviämiseen vaikuttavia tekijöitä ovat katukuilun leveys sekä korkeus. Katukuilupäästöjen mallinnuksessa käytetään sekä gaussilaisia ja puoli-empiirisiä malleja, laskennallista virtaustekniikkaa ja fysikaalista mallinnusta. Kaikilla malleilla on sekä hyviä että huonoja ominaisuuksia, joiden minimoimiseksi mallin valinnassa tulisi ottaa huomioon tutkittavan alueen ja mallin ominaisuudet (Vardoulakis 2003).

### **3.4 Bioindikaattorikartoitukset**

Bioindikaattorilla tarkoitetaan eliölajia tai sen populaatiota, jonka avulla voidaan arvioida ja mitata metsäympäristöissä tapahtuvia muutoksia, esimerkiksi laskeumaa ja päästöjä. Ilman epäpuhtauksia kartoitettaessa indikaattorilajeina käytetään useimmiten jäkäliä, sammalia ja havupuiden neulasia, mutta myös maaperää ja puiden kaarnaa voidaan käyttää tutkimuksissa (Jussila ym. 1999). Bioindikaattorit voidaan jakaa varsinaisiin bioindikaattoreihin ja biomonitoreihin. Bioindikaattorit ovat eliöitä, jotka tuottavat laadullista eli kvantitatiivista tietoa ympäristöstä (Markert 2007), kun taas biomonitorit tuottavat laskennallista eli kvantitatiivista tietoa. Biomonitorit voidaan jakaa vielä herkkiin ja akkumuloiviin lajeihin. Herkissä indikaattorilajeissa ilmenee esimerkiksi morfologisia muutoksia johtuen ilman epäpuhtauksista, kun akkumuloivat lajit taas sitovat epäpuhtauksia kudoksiin, joista pitoisuudet voidaan erilaisin analyysimenetelmin laskea (Conti & Cecchetti 2001, Markert 2007).

Sammalet soveltuvat bioindikaattoreiksi hyvin, koska ne puuttuvan lehtien vahakerroksen (kutikulan) vuoksi absorboivat helposti sadeveden ja ilman mukana olevia raskasmetalleita sekä muita epäpuhtauksia. Sammalleista yleisimpiä, ja tiheään kasvustonsa vuoksi bioindikaattoreiksi soveltuvimpia, ovat metsäkerrossammal (*Hylocomium splendens*) ja seinäsammal (*Pleurozium schreberi*) (Poikolainen ym. 2004).

Jäkälät ovat myös hyvin yleisiä bioindikaattori- ja biomonitorointilajeja. Jäkälät koostuvat symbioosissa elävästä levä- ja sieniosakkaasta, eikä sammalten tavoin jäkälissä ole lainkaan kutikulaa (Conti & Cecchetti 2001). Poikolaisen (2004) mukaan jäkälät eivät kuitenkaan ilmaise raskasmetallien pitoisuuksia yhtä herkästi kuin sammalet. Näin ollen jäkälää onkin käytetty enemmän esimerkiksi rikkidioksidipäästöjen tutkimuksissa. Kuusisen ym. (1990) ja Lodeniuksen ym. (2002) mukaan ilman epäpuhtauksille herkimpiä jäkälälajeja ovat naavat ja lupot, jotka varsinkin 1960 – 1980 luvuilla hävisivät saastuneimmilta alueilta. Kestävimmiksi lajeiksi taas todettiin mm. epifyyttijäkälä *Scoliciosporum chlorococcum* (taulukko 2).

Havupuiden neulasia voidaan sammalten ja jäkäläiden ohella käyttää bioindikaattoritutkimuksissa. Neulasiin epäpuhtaudet voivat kulkea joko juuriston tai pintasolukon kautta, mutta suurin osa päästöistä kiinnittyy neulasten pintaan, jolloin sateet voivat vaikuttaa huomattavastikin neulasten pitoisuuksiin (Jussila ym. 1999). Epäpuhtauksien vaikutusta voidaan tutkia myös kasvien kemiallisten yhdisteiden, esimerkiksi fenolien avulla. Tämän kaltainen tutkimus voidaan toteuttaa pienissä pitoisuuksissa ja se myös auttaa ennakoimaan päästöjen vaikutuksia, koska muutokset kasvin kemiallisissa yhdisteissä ilmenevät jo ennen morfologisia ja fysikaalisia muutoksia (Pasqualini ym. 2003).

Taulukko 2. Eri jäkälälajien herkkyys ilman epäpuhtauksille (Lodenius ym. 2002, Kuusinen ym. 1990).

Herkät	Naavat <i>Usnea spp.</i> Viherlupot <i>Alectoria spp.</i> Tummalupot <i>Bryoria spp.</i>
Melko herkät/ indifferentit	Harmaatyvikarve <i>Parmeliopsis hyperopta</i> Kalpea tyvikarve <i>Parmeliopsis aleurites</i> Harmaahankakarve <i>Pseudevernia furfuracea</i> Raidanisokarve <i>Pamelia sulcata</i> Valkohankajäkälä <i>Evernia prunastri</i> Ruskoröyhelö <i>Cetraria chlorophylla</i> Keltaröyhelö <i>Cetraria pinastri</i> Harmaaröyhelö <i>Platismatia glauca</i>
Melko kestävät	Sormipaisukarve <i>Hypogymnia physodes</i> Keltatyvikarve <i>Parmeliopsis ambigua</i> Ruskoröyhelö <i>Cetraria chlorophylla</i> Keltaröyhelö <i>Cetraria pinastri</i> Haavankeltajäkälä <i>Xanthoria parietina</i>
Kestävät	Vihersukkulajäkälä <i>Scoliciosporum chlorococcum</i> ja viherlevä <i>Desmococcus olivaceus</i> Seinäsuomujäkälä <i>Hypocenomyce scalaris</i>

## 4 ILMANLAATUUN LIITTYVÄ LAINSÄÄDÄNTÖ

### 4.1 EU:n lainsäädäntö

#### 4.1.1 EU:n rooli ilmansuojelussa

Euroopan Unionin (EU) lainsäädäntö pitää sisällään direktiivejä, asetuksia ja päätöksiä. Direktiivit ovat velvoittavia, joten jäsenvaltioiden on otettava ne osaksi omaa lainsäädäntöään, mutta niiden toteuttamistavasta jäsenvaltiot päättävät itse. EU:n säätämät asetukset taas ovat sitovaa lainsäädäntöä, jota jäsenmaissa sovelletaan suoraan. Päätökset poikkeavat asetuksista ja direktiiveistä siinä, että ne ovat yksittäisiä tapauksia koskevia, mutta kuitenkin sitovia säädöksiä (UM 2009).

EU:n rooli ilmansuojelussa on ilmanlaatua parantavien ja ylläpitävien keinojen kehittäminen ja hyväksyminen. Tällaisia keinoja ovat päästöjen vähentäminen ja polttoaineiden laadun parantaminen, mutta EU:n tavoitteena on myös ottaa ilman- ja ympäristönsuojelu huomioon liikenteen ja energiantuotannon päätöksissä. Ilmansuojelutoimet ovat osa EU:n ympäristöä ja terveyttä edistävää strategiaa, jonka tavoitteena seuraavan 10 vuoden aikana on kehittää jäsenmaissa tapahtuvaa lainsäädännön toimeenpanoa. Tällä hetkellä Euroopan komission toimintaohjelma CAFE (Clean Air for Europe) kerää tietoa ilmansuojelutoimien suunnittelua ja toteutusta varten. Ohjelman toimeenpanemiseksi EU on laatinut lainsäädäntöehdotuksia, esimerkiksi ehdotuksen ilmanlaatudirektiiviksi 2008/50/EY (YM 2009).

#### 4.1.2 Ilmanlaatudirektiivi

EU:n ilmansuojelun lähtökohtana on ollut ilmanlaadun arviointia ja hallintaa koskeva yleinen puitedirektiivi (96/62/EY), jonka nojalla on vuoteen 2008 asti valmisteltu ilmanlaatuun liittyviä tytärdirektiivejä. Puitedirektiivi kuitenkin kumoutui, kun ilmanlaatudirektiivi (2008/50/EY) astui voimaan. Ilmanlaatudirektiivi yhdisti puitedirektiivin lisäksi neuvoston direktiivit ilmassa olevien rikkidioksidin, typpidioksidin ja typen oksidien, hiukkasten ja lyijynpäästöjen pitoisuuksien raja-arvoista (1999/30/EY), ilmassa olevan bentseenin ja hiilimonoksidin raja-arvoista (2000/69/EY), Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin ilman otsonista (2002/3/EY) ja neuvoston päätöksen ilman epäpuhtauksia mittaavien jäsenvaltioiden mittausasemaverkostojen ja yksittäisten mittausasemien tietojenvaihtojärjestelmän käyttöönottamisesta (97/101/EY). Myös ns. metallidirektiivin (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi ilmassa olevasta arseenista, kadmiumista, elohopeasta, nikkelistä ja polysyklisistä aromaattisista hiilivedyistä, 2004/107/EY) sisällyttämistä ilmansuojeludi-

rekttiiviin harkitaan, kunhan sen täytäntöönpanosta on saatu riittävästi tietoa. Sisällytettyjen direktiivien ja päätösten lisäksi ilmanlaatudirektiivin osana ovat myös pienhiukkasten (PM<sub>2,5</sub>) uudet raja- ja ohjearvot (VYH 2009c).

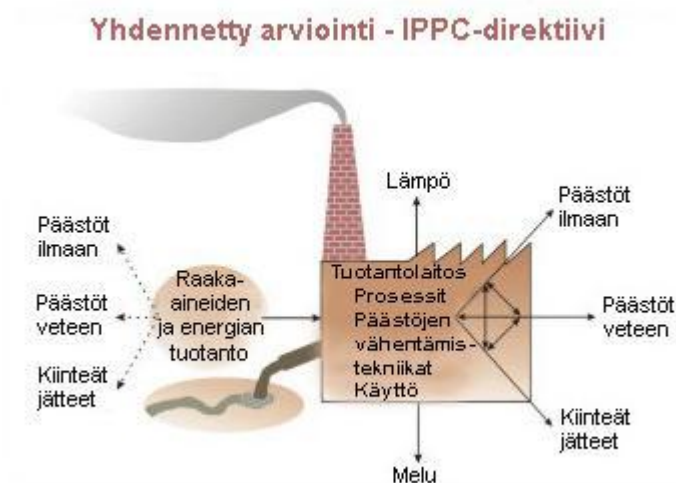
Ilmanlaatudirektiivin säädökset on Suomessa sisällytettävä lainsäädäntöön kesään 2010 mennessä. Todennäköisesti nykyisen ilmanlaatuasetuksen raja-arvot ja otsonin tavoitearvot pysyvät ennallaan ja lähinnä seuranta koskeviin laadunvarmennuksen täsmennyksiin on tulossa muutoksia. Direktiivin mukaisia joustoelementtejä Suomi tulee todennäköisesti hyödyntämään hiekoitushiekan (artikla 21) osalta ja myös typpidioksidin määrääjän pidentä harkitaan. Määrääjän pidentä haettaessa tulee siihen anoa komissiolta lupaa (Tarja Lahtinen, henkilökohtainen tiedonanto 9.6.2009).

#### 4.1.3 Päästökattodirektiivi ja IPPC-direktiivi

Muuta ilmansuojeluun ja -laatuun liittyvää EU:n lainsäädäntöä ovat päästökattodirektiivi (2001/81/EY) ja IPPC-direktiivi (2008/1/EY). Päästökattodirektiivin eli ns. NEC-direktiivin (National Emission Ceilings for Certain Atmospheric Pollutants) tarkoituksena on rajoittaa rikkidioksidin, typen oksidien, haihtuvien hiilivetyjen sekä ammoniakkin päästöjä. Suomessa päästökattodirektiivi on pantu täytäntöön Ilmansuojeluohjelma 2010:n avulla. Se asettaa kansalliset päästörajat, jotka on saavutettava vuoteen 2010 mennessä. Suomen päästörajat rikkidioksidille ovat 110 kilotonnia, typpidioksidille 170 kilotonnia, haihtuville orgaanisille yhdisteille 130 kilotonnia ja ammoniakille 31 kilotonnia. Jatkossa päästökattodirektiiviä on tarkoitus tarkistaa ja päästökattoja tiukentaa, jolloin myös pienhiukkaset otetaan direktiiviin mukaan (Tarja Lahtinen, henkilökohtainen tiedonanto 9.6.2009).

IPPC-direktiivi (Integrated Pollution Prevention and Control) on suurimpien teollisuuslaitosten ympäristökuormitusta vähentämään tarkoitettu direktiivi, joka Suomessa on sisällytetty ympäristönsuojelulakiin ja -asetukseen. Tarkoituksena on ympäristölupaa myönnettäessä tarkastella teollisuuslaitosten päästöjä kokonaisuutena. Direktiivin mukaisia päästökokonaisuuksien tarkastelukohteita ovat esimerkiksi päästöt ilmaan ja veteen sekä kiinteät jätteet, melu ja lämpö (kuva 7).





Kuva 7. IPPC-direktiivin mukainen päästöjen yhdennetty arviointi (VYH 2009b).

#### 4.1.4 Ajoneuvojen päästörajoitukset

Ajoneuvoille on EU:ssa laadittu päästörajoituksia asetuksen 2007/715/EY mukaan. Asetus koskee moottoriajoneuvojen tyyppihyväksyntää kevyiden henkilö- ja hyötyajoneuvojen päästöjen (Euro 5 ja Euro 6) osalta ja ajoneuvojen korjaamiseen sekä huoltamiseen tarvittavien tietojen saatavuutta. Asetuksessa on moottoriajoneuvoille ja niiden varaosille laadittu standardit tieliikenteen aiheuttaman ilmanlaadun huononemisen estämiseksi. Asetus pitää sisällään päästöjen raja-arvoja kevyille M1-, M2-, N1- ja N2-luokan ajoneuvoille (henkilöautot, pakettiautot ym.), joiden massa on enintään 2610 kg.

Euro 5 -standardi tuli voimaan syyskuussa 2009 ja siinä on asetettu päästöraajat dieselautojen (CI, Compression Ignition) hiilimonoksidi-, hiukkas- ja typenoksidipäästöille sekä hiilivetyjen ja typen oksidien yhteenlasketuille päästöille. Bensiini-, maakaasu- ja nestekaasuautojen (PI, Positive Ignition) päästöjen osalta rajoituksia on annettu hiilimonoksidille, ei-metaanisille orgaanisille hiilivedyille, hiilivedyille ja typen oksideille. Hiukkaspäästöraajat on asetettu ainoastaan bensiinikäyttöisille autoille, joissa on suoraruiskutusmoottori (taulukko 3).

Vuoden 2014 syyskuussa voimaantuleva Euro 6 -standardi tiukentaa päästörajoja entisestään. Tiukennuksia on tulossa dieselautojen typenoksidipäästöihin sekä hiilivetyjen ja typen oksidien yhteenlaskettuun massaun (taulukko 4). Sekä Euro 5 että Euro 6 -standardeihin on tulossa vielä raja-arvot hiukkasten lukumääräpäästöille, mutta raja-arvojen määrittäminen tapahtuu myöhemmin.

Taulukko 3. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen 2007/715/EY mukaiset hiilimonoksidin (CO), hiilivetyjen massan (THC), ei-metaanisten hiilivetyjen massan (NMHC), typen oksidien (NO<sub>x</sub>), hiilivetyjen ja typen oksidien yhteenlasketun massan (THC + NO<sub>x</sub>) ja hiukkasten (PM) Euro 5 -standardin päästörajat.

Ajoneuvo- luokka	Ala- luokka	Vertailumassa (kg)	Raja-arvot (mg/km)											
			CO		THC		NMHC		NO <sub>x</sub>		THC + NO <sub>x</sub>		PM	
			PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI*	CI
M	-	Kaikki	1000	500	100	-	68	-	60	180	-	230	5	5
N <sub>1</sub>	I	RM ≤ 1305	1000	500	100	-	68	-	60	180	-	23	5	5
		1305 < RM ≤ 1760	1810	630	130	-	90	-	75	235	-	295	5	5
	III	1760 < RM	2270	740	160	-	108	-	82	280	-	350	5	5
N <sub>2</sub>			2270	740	160	-	108	-	82	280	-	350	5	5

PI = (Positive Ignition) ottomoottorit, CI (Compression Ignition) puristussytytysmoottorit

\*ottomoottoreja koskevia hiukkasmassastandardeja sovelletaan vain ajoneuvoihin, joissa on suoraruiskutusmoottori

Taulukko 4. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen 2007/715/EY mukaiset hiilimonoksidin (CO), hiilivetyjen massan (THC), ei-metaanisten hiilivetyjen massan (NMHC), typen oksidien (NO<sub>x</sub>), hiilivetyjen ja typen oksidien yhteenlasketun massan (THC + NO<sub>x</sub>) ja hiukkasten (PM) Euro 6 -standardin päästörajat.

Ajoneuvo- luokka	Ala- luokka	Vertailumassa (kg)	Raja-arvot (mg/km)											
			CO		THC		NMHC		NO <sub>x</sub>		THC + NO <sub>x</sub>		PM	
			PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI*	CI
M	-	Kaikki	1000	500	100	-	68	-	60	80	-	170	5	5
N <sub>1</sub>	I	RM ≤ 1305	1000	500	100	-	68	-	60	80	-	170	5	5
		1305 < RM ≤ 1760	1810	630	130	-	90	-	75	105	-	195	5	5
	III	1760 < RM	2270	740	160	-	108	-	82	125	-	215	5	5
N <sub>2</sub>			2270	740	160	-	108	-	82	125	-	215	5	5

PI = (Positive Ignition) ottomoottorit, CI (Compression Ignition) puristussytytysmoottorit

\*ottomoottoreja koskevia hiukkasmassastandardeja sovelletaan vain ajoneuvoihin, joissa on suoraruiskutusmoottori

Päästörajat on asetettu myös raskaille ajoneuvoille, kuten kuorma- ja linja-autoille. Raskaiden ajoneuvojen ja kevyempien ajoneuvojen päästöjen raja-arvojen erona on se, että raskaiden ajoneuvojen päästömäärät on määritelty tehtyä työyksikköä kohti, kun taas kevyiden ajoneuvojen päästöt ilmoitetaan kilometriä kohden. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 1999/96/EY mukaan julkaistiin Euro IV ja Euro V mukaiset päästörajat,

jotka myöhemmin lisättiin direktiiviin 2005/55/EY. Euro IV -standardi tuli voimaan lokakuussa 2005 ja Euro V -standardi vuoden 2008 lokakuussa. Uusista Euro VI -standardeista on tätä kirjoitettaessa tullut myöntävä päätös Euroopan neuvoston ensimmäisessä käsittelyssä, mutta päästörajoja ei ole vielä julkaistu EUVL:ssä (Euroopan Unionin virallinen lehti) (PreLex 2009). Euroopan yhteisöjen komission ehdotuksen (KOM(2007) 851 lopull.) mukaan uudet standardit tulevat voimaan vuoden 2013 huhtikuussa.

Raskaiden ajoneuvojen standardien Euro IV, V ja VI mukaisessa päästörajojen määrittämisessä käytetään apuna erilaisia testisyklejä. Dieselmootoreiden osalta käytetään vakio-moodista ESC-testisykliä (European Stationary Cycle) ja pakokaasuhiukkasten mittaukseen ELR-testejä (European Load Response) (taulukko 5). Transienttia testisykliä ETC (European Transient Cycle) taas käytetään sekä dieseliä että esimerkiksi maakaasua käyttävien PI-mootoreiden testauksessa (taulukko 6) (DieselNet 2009, Söderström 2002).

Taulukko 5. ESC:n ja ELR:n mukaiset Euro IV, V ja VI -standardien hiilimonoksidin (CO), hiilivetyjen (HC), typen oksidien (NO<sub>x</sub>), hiukkasten PM ja savun raja-arvot (DieselNet 2009).

	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NO <sub>x</sub> (g/kWh)	PM (g/kWh)	Savu (m <sup>l</sup> )
Euro IV	1,5	0,46	3,5	0,2	0,5
Euro V	1,5	0,46	2	0,2	0,5
Euro VI	1,5	0,13	0,4	0,1	

Taulukko 6. ETC testisyklin mukaiset hiilimonoksidin, ei-metaanisen hiilivetyymassan, metaanin, typen oksidien ja hiukkasten Euro IV, V ja VI -standardien mukaiset raja-arvot (DieselNet 2009).

	CO (g/kWh)	NMCH (g/kWh)	CH <sub>4</sub> (g/kWh)	NO <sub>x</sub> (g/kWh)	PM (g/kWh)
Euro IV	4	0,55	1,1	3,5	0,03
Euro V	4	0,55	1,1	2	0,03
Euro VI	4	0,16	0,5	0,4	0,01

#### 4.1.5 Bensiinihöyryjen talteenottodirektiivi

Euro VI -standardin lisäksi EU:ssa on valmisteilla direktiivi huoltoasemien bensiinihöyryjen talteenottamiseksi. Tämän raportin kirjoittamisen aikaan Euroopan parlamentti on jo hyväksynyt komission direktiiviehdotuksen (KOM(2008) 812 lopull.) ja Euroopan talous- ja sosiaalikomitea on antanut asiasta lausunnon, mutta direktiivin toimeenpano odottaa vielä neuvoston päätöstä (PreLex 2009). Bensiinihöyryjen talteenottodirektiivi on jatkoa direktiiville bensiinin varastoinnista ja sen jakelusta varastoalueilta huoltoasemille aiheutuvien haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) päästöjen torjunnasta (94/63/EY), joka

sisälsi bensiinihöyryjen talteenoton vaiheen 1. Tämä direktiivi on Suomessa pantu täytäntöön mm. valtioneuvoston päätöksellä 468/1996 bensiinin varastoinnista ja jakelusta aiheutuvien orgaanisten yhdisteiden päästöjen rajoittamisesta.

Komission ehdotuksen mukaan bensiinihöyryjen talteenotto-ohjelman 2. vaiheessa tarkoituksena on vähentää huoltoasemilla tankkauksen yhteydessä ilmaan vapautuvien haihtuvien hiilivetyjen määrää erilaisten talteenottotekniikoiden avulla. Direktiiviehdotuksen 3. artiklassa esitetään, että kaikki uudet ja uudistettavat yli 500 m<sup>3</sup> vuodessa jakavat sekä työskentely- tai asuinrakennuksessa sijaitsevat huoltamot on varustettava bensiinihöyryjen talteenotto-ohjelman toisen vaiheen järjestelmillä. Kaikkien yli 3000 m<sup>3</sup> bensiiniä vuodessa jakavien asemien taas on otettava talteenotto-ohjelman toisen vaiheen järjestelmät käyttöön vuoden 2020 loppuun mennessä. Järjestelmissä hiilivetyjen talteenottotehokkuuden taas tulee olla vähintään 85 %, ja jos talteenotetut höyryt tullaan sijoittamaan maanalaiseen säiliöön, on säiliössä vallitsevan höyry/bensiini-suhteen oltava välillä 0,95 – 1,05. Direktiivin tullessa voimaan on jäsenvaltioilla vuoden 2012 kesäkuuhun asti aikaa ratifioida se osaksi maan omaa lainsäädäntöä (KOM(2008) 812 lopull.).

#### **4.2 Kansainväliset sopimukset**

Suomi on EU-lainsäädännön lisäksi sitoutunut ilmansuojeluun liittyviin kansainvälisiin sopimuksiin. Ensimmäinen ilman epäpuhtauksien kaukokulkeumaa koskeva yleissopimus tehtiin Yhdistyneiden Kansakuntien Euroopan talouskomission (ECE) piirissä vuonna 1979 (SopS 15/1983). Kaukokulkeumasopimuksen myötä sopimuksen osapuolet laativat myös kahdeksan sopimukseen liittyvää pöytäkirjaa vuosina 1984 – 1999. Göteborgin moniaine-monivaikutuspöytäkirja laadittiin vähentämään rikin, typen oksidien, ammoniakkin ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden aiheuttamaa happamoitumista, rehevöitymistä sekä alailmakehän otsonin määrää. Pöytäkirjan päästövähennysvelvoitteet ovat Suomelle lähes samat, tosin rikin osalta lievemmat kuin Euroopan parlamentin ja neuvosto päästökattodirektiivissä 2001/81/EY (VYH 2009c).

Ilmanlaadun seuranta, arviointia, mittauksia ja mallintamistyötä sekä tutkimuksen rahoitusta koskeva rahoituspöytäkirja allekirjoitettiin vuonna 1984 (SopS 2/1988). Rikkipäästöjen vähentämiseen puututtiin vuoden 1985 pöytäkirjassa Helsingissä (SopS 50/1987) sekä vuonna 1994 Oslolla, kun päätettiin rikkipäästöjen lisävähennyksen toisesta pöytäkirjasta (SopS 68/1998). Sofiassa vuonna 1988 taas tehtiin typen oksidien päästöjä rajoittava pöytäkirja, joka puuttui sekä päästöjen määriin että kulkeutumiseen (SopS 46/1991). Haih-

tuvien orgaanisten yhdisteiden rajoittamista koskeva pöytäkirja allekirjoitettiin Genevessä vuonna 1991 (SopS 71/1997). Århusissa hyväksyttiin vuonna 1998 sekä raskasmetalleja (kadmium, lyijy ja elohopea) koskeva raskasmetallipöytäkirja (SopS 78/2003) että pysyviä orgaanisia yhdisteitä koskeva pöytäkirja (SopS 68/2003). Suomi on myös jonkin verran tehnyt ilmansuojelun puitteissa yhteistyötä niin Viron kuin Venäjänkin kanssa (VYH 2009c).

### **4.3 Suomen lainsäädäntö**

#### **4.3.1 Ympäristönsuojelulaki ja -asetus**

Ympäristönsuojelulaki (YSL 86/2000) on Suomen ympäristölainsäädännön keskeinen säädös. Ilmansuojelun osalta ympäristönsuojelulakia edelsivät ilmansuojelulaki (67/1982) ja ilmansuojeluasetus (716/1982). Ilmansuojelulain kumoutuessa vuonna 2000 pääosa ilmanlaatua koskevista vaatimuksista kuitenkin siirtyi osaksi ympäristönsuojelulakia ja säilyi näin ennallaan.

Ympäristönsuojelulain tavoitteena on ehkäistä ympäristön pilaantumista, poistaa ja vähentää pilaantumisesta aiheutuvia haittoja sekä ehkäistä jätteen syntyä ja sen haitallisia vaikutuksia. Tavoitteena on myös turvata terveellinen elinympäristö, joka on niin viihtyisä kuin kestävä ja monimuotoinenkin. Laki myös pyrkii tehostamaan niiden toimintojen arviointia, joilla on ympäristölle haitallisia vaikutuksia ja parantaa kansalaisten vaikutusmahdollisuuksia päätöksenteossa. Myös luonnonvarojen kestävä käyttö sekä ilmastonmuutoksen torjuminen ja kestävä kehityksen tukeminen ovat ympäristönsuojelulaissa keskeistä. Ilmansuojelun kannalta tärkeimpiä tavoitteita ovat pilaantumisen ehkäiseminen sekä terveellisen ja viihtyisän elinympäristön turvaaminen. Ympäristönsuojelulaissa säädetään myös valtioneuvoston oikeudesta antaa asetuksella säännöksiä pilaantumisen vähentämiseksi ja ehkäisemiseksi.

Ympäristönsuojelulaissa säädetään myös valtionviranomaisista ja viranomaisten tehtävistä. Yleinen toiminnan ohjaus sekä kehittäminen ja seuranta ympäristöasioissa on osoitettu ympäristöministeriölle. Kunnan ympäristönsuojeluviranomaisen toimivaltaan kuuluu sille osoitetut lupa- ja valvontatehtävät sekä yleisen edun puhevalta lain mukaisessa päätöksenteossa. Alueelliset ympäristökeskukset ohjaavat, edistävät alueellaan lain mukaisten säännösten toteutumista, toimivat valvonta- ja lupaviranomaisina sekä vastaavat myös yleisen edun puhevallasta ympäristönsuojelussa. Ympäristönsuojelulain mukaisia valvontaviran-

omaisia ovat myös työsuojelu- ja terveysturvaviranomaiset, Suomen ympäristökeskus, tulli- ja rajavartiolaitos sekä Työvoima- ja elinkeinolaitos niiltä osin kun niille laissa on määritelty tehtäviä. Kuntien ja ympäristökeskusten lisäksi lupaviranomaisina toimivat ympäristölupavirastot.

Ympäristönsuojelulain säätämistä ympäristöluvista ja -menettelyistä annetaan tarkempia määräyksiä ympäristönsuojeluasetuksessa (VNA 169/2000). Asetuksessa säädetään tarkemmin mm. ympäristöluvan tarvitsevista toiminnoista, lupaviranomaisten toimivallasta sekä muista lupamenettelyn vaiheista.

#### 4.3.2 Ilmanlaatuasetus

Valtioneuvoston asetuksessa ilmanlaadusta (VNA 711/2001) tavoitteena on ehkäistä ympäristön pilaantumista asettamalla epäpuhtauksille raja-arvoja. Asetuksessa määritellään myös ajankohdat, joihin mennessä epäpuhtauksien pitoisuuksien on alitettava raja-arvot. Lisäksi tavoitteena on pitää ilmanlaatu mahdollisimman hyvänä myös niillä alueilla, joilla raja-arvot eivät ole ylittyneet. Ilmanlaatuasetuksessa on asetettu terveyshaittojen ehkäisemiseksi raja-arvot rikkidioksidille, typpidioksidille, hiukkasille (PM<sub>10</sub>), lyijylle, hiilimonoksidille sekä bentseenille (taulukko 7). Myös kasvillisuuden ja ekosysteemien suojelemiseksi on asetuksessa määrätty raja-arvot (taulukko 8). Taulukossa 7 on otettu huomioon myös pienhiukkaset (PM<sub>2,5</sub>) Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2008/50/EY mukaisesti.

Ilmanlaatuasetuksessa säädetään myös typpi- ja rikkidioksidin varoituskynnyksistä, ilmanlaadun seurannan järjestämisestä ja seuranta-alueista. Seuranta-alueiksi (14 kpl) säädetään alueellisten ympäristökeskusten sekä YTV:n alue pääkaupunkiseudulla. Bentseenin seuranta-alueiksi asetuksessa säädetään Etelä-Suomi, Pohjois-Suomi sekä pääkaupunkiseutu. Mittauslaitteista, seurantamenetelmistä, tulosten käsittelystä ja keräämisestä sekä vertailumenetelmistä säädetään ilmanlaatuasetuksessa, kuin myös väestölle tiedottamisesta sekä ilmanlaatatietojen saatavuudesta.

Taulukko 7. Ilmanlaatuasetuksen (VNA 711/2001) mukaiset ilman epäpuhtauksien raja-arvot terveyshaittojen ehkäisemiseksi ja direktiivin 2008/50/EY mukainen pienhiukkasten raja-arvo.

Yhdiste	Aika	Raja-arvo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Sallitut ylitykset kalenterivuodessa	Saavutettava viimeistään
Rikkidioksidi	tunti	350	24	1.1.2005
	vuorokausi	125	3	1.1.2005
Typpidioksidi	tunti	200	18	1.1.2010
	kalenterivuosi	40		1.1.2010
Hiukkaset	vuorokausi	50*	35	1.1.2005
	vuosi	40*		1.1.2005
Lyijy	vuosi	0,5*		15.8.2001
Hiilimonoksidi	8 tuntia	10 000		1.1.2005
Bentseeni	vuosi	5		1.1.2010
Pienhiukkaset	vuosi	25**		1.1.2015

\* tulokset ilmaistaan ulkoilman lämpötilassa ja paineessa

\*\* 11.6.2008 voimaan tulleen direktiivin ohjeellinen raja-arvo

Taulukko 8. Ilmanlaatuasetuksen (VNA 711/2001) mukaiset raja-arvot kasvillisuuden ja ekosysteemien suojelemiseksi.

Yhdiste	Keskiarvon laskenta-aika	Raja-arvo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Saavutettava viimeistään
Rikkidioksidi	kalenterivuosi ja talviaika*	20	15.8.2008
Typen oksidit	kalenterivuosi	30	15.8.2001

\* Talviaika 1.10. - 31.3.

#### 4.3.3 Päätös ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvoista

Valtioneuvoston päätöksessä ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvoista (VNp 480/1996) on tavoitteena ehkäistä ilman epäpuhtauksien aiheuttamia terveyshaittoja. Tarkoituksena on ottaa ohjearvot huomioon maankäytön ja liikenteen suunnittelussa, rakentamisen suunnittelussa ja lupakäsittelyissä. Valtioneuvosto on asettanut taulukon 9 mukaiset ohjearvot, joiden ylittämistä on pyrittävä estämään ennakolta. Asetus myös määritte-

lee rikkilaskeuman tavoitearvoksi 0,3 g/m<sup>3</sup>, jonka tavoitteena on järvi- ja metsäekosysteemeissä tapahtuvien vaikutusten ehkäiseminen.

Taulukko 9. Valtioneuvoston päätöksen (VNp 480/1996) mukaiset ilmanlaadun ohjearvot.

Aine	Ohjearvo µg/m <sup>3</sup> (20 °C, 1 atm)	Tilastollinen määrittely
Hiilimonoksidi	20 000 8 000	tuntiarvo tuntiarvojen liukuva 8 tunnin keskiarvo
Typidioksidi	150 70	kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste* kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Rikkidioksidi	250 80	kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste* kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Hiukkaset, kokonaisleijuma	120 50	kuukauden tuntiarvojen 98. prosenttipiste* vuosikeskiarvo
Hengitettävät hiukkaset	70	kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Haisevien rikkiyhdisteiden kokonaismäärä	10	kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo, ilmoitetaan rikkinä

\* Aineiston q. prosenttipiste on se pitoisuusarvo, jota pienempiä pitoisuusarvoja aineistossa on q %

#### 4.3.4 Asetus arseenista, kadmiumista, elohopeasta, nikkelistä sekä polysyklisistä aromaattisista hiilivedyistä

Valtioneuvoston asetuksessa arseenista, kadmiumista, elohopeasta, nikkelistä sekä polysyklisistä aromaattisista hiilivedyistä (VNA 164/2007) päämääränä on vahvistaa tavoitearvot (taulukko 10) näille yhdisteille ympäristön pilaantumisen ja terveyshaittojen estämiseksi. Asetuksessa säädetään myös arseenin, kadmiumin, nikkelin sekä bentso(a)pyreenin seuranta-alueista. Näitä alueita ovat pääkaupunkiseudun alue sekä muu Suomen seuranta-alue. Myös maaseututausta-asemia käytetään apuna seurannassa, mutta muista seuranta-alueista poiketen maaseututausta-asemilla mitataan myös elohopean kokonaismääriä ja mahdollisuuksien mukaan myös hiukkasmaisen ja kaksiarvoisen kaasumaisen elohopean pitoisuuksia. Asetuksessa säädetään alueiden lisäksi seurannan järjestämisestä, mittalaitteista ja mitta-asemien sijainnista, laatuvaatimuksista, tietojen saatavuudesta sekä toimitamisesta ympäristönsuojelun tietojärjestelmään.



Taulukko 10. Arseenin, kadmiumin, nikkelin sekä bentso(a)pyreenin tavoitearvot valtioneuvoston asetuksen (VNA 164/2007) mukaan.

Epäpuhtaus	Keskiarvon laskenta-aika	Tavoitearvo vuodelle 2013 (ng/m <sup>3</sup> )*
Arseeni	Kalenterivuosi	6
Kadmium	Kalenterivuosi	5
Nikkeli	Kalenterivuosi	20
Bentso(a)pyreeni**	Kalenterivuosi	1

\*Pitoisuus määritetään hengitettävien hiukkasten massapitoisuudesta kalenterivuoden keskiarvona, tulokset ilmoitetaan ulkoilman lämpötilassa ja paineessa

\*\* Bentso(a)pyreeni on polysyklinen aromaattinen yhdiste, jota käytetään näiden yhdisteiden syöpävaarallisuuden merkkiaineena

#### 4.3.5 Asetus alailmakehän otsonista

Alailmakehän otsoniasetuksen (VNA 783/2003) tavoitteena on tavoitearvojen sekä pitkän ajan tavoitteiden avulla ehkäistä otsonin aiheuttamia ympäristö-, kasvillisuus ja terveys-haittoja. Tavoitearvot on asetettu vuodelle 2010 (taulukko 11). Asetuksessa otsonin tiedotuskynnykseksi on määritetty 180 µg/m<sup>3</sup> (293 K, 101,3 kPa) ja varoituskynnykseksi 240 µg/m<sup>3</sup> (293 K, 101,3 kPa). Otsonin seuranta-alueiksi asetuksessa säädetään pääkaupunki-seutu sekä muun Suomen seuranta-alue.

Taulukko 11. Alailmakehän otsonin tavoite- ja pitkän ajan tavoitearvot valtioneuvoston asetuksen (VNA 783/2003) mukaan.

Aine	Tilastollinen määrittely	Tavoitearvo vuodelle 2010	Pitkän ajan tavoite
Otsoni	Korkein päivittäinen 8h keskiarvo*	120 µg/m <sup>3</sup> (enintään 25 ylitystä kolmen vuoden aikana)	120 µg/m <sup>3</sup> (ei ylityksiä)
	AOT40**, joka lasketaan 1.5. - 31.7. ajan tuntiarvoista	18 000 µg/m <sup>3</sup> h (viiden vuoden keskiarvona)	6000 µg/m <sup>3</sup> h

\* Vuorokauden korkein 8 tunnin keskiarvo, joka valitaan tarkastelemalla 8 tunnin liukuvia keskiarvoja. Kukin 8 tunnin jakso osoitetaan sille päivälle, jona jakso päättyy

\*\* AOT 40 tarkoittaa otsonin kuormitusta, joka ilmaistaan 80 µg/m<sup>3</sup> (= 40 ppb) ylittävien otsonin tuntipitoisuuksien ja 80 µg/m<sup>3</sup> erotuksen kumulatiivisena summana laskettuna päivittäisistä tuntiarvoista

Asetuksen mukaan otsonin seurannan lisäksi on seurattava myös otsonia muodostavia yhdisteitä, typpidioksidia sekä haihtuvia orgaanisia yhdisteitä. Muut otsoniasetuksessa säädetty toimet koskevat mittauslaitteita ja -asemia, seurannan laatutavoitteita, vertailumenetelmiä sekä tiedottamista ja tietojen toimittamista ympäristönsuojelun tietojärjestelmiin.

#### 4.3.6 Muut ilmanlaatuun liittyvät asetukset

Ilmansuojelussa huomioon otettavia muita asetuksia ja päätöksiä on valtioneuvosto säättänyt liittyen päästöihin, polttoaineisiin sekä jätteiden polttoon. Päästöihin liittyen on säädetty asetuksia sekä orgaanisten liuottimien käytöstä ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden päästöjen rajoittamisesta eräissä toiminnoissa ja laitoksissa (VNA 435/2001) sekä maaleissa, lakoissa ja ajoneuvojen korjausmaalaustuotteissa (VNA 837/2005). Yli 50 MW polttolaitosten ja kaasuturbiinien rikki-, typpi- ja hiukkaspäästöjä säännellään vuonna 2002 valmistuneella asetuksella (VNA 1017/2002). Polttomoottoreiden pakokaasupäästöjen samoin kuin moottorikäyttöisten ajoneuvojen joutokäynnin rajoittamisesta on myös säädetty asetuksilla (VNA 844/2004, VNA 1266/2002).

Polttoaineisiin liittyen asetuksia on laadittu koskemaan öljyjätehuoltoa (VNp 101/1997), polttoaineiden varastointia ja jakelua (VNp 468/1996), kivihiilen rikkipitoisuutta (VNp 888/1987) sekä meriliikenteessä käytettävien polttoöljyjen rikkipitoisuuksia (VNA 689/2006). Moottoribensiinin sekä dieselöljyn laatuvaatimuksista on myös säädetty asetuksella (VNA 1271/2000), ja asetuksen mukaiset bensiinin ja dieselöljyn suurimmat sallittavat rikkipitoisuudet ovat esimerkiksi moottoribensiinissä laskeneet yhdeksässä vuodessa pitoisuudesta 150 mg/kg pitoisuuteen 10 mg/kg:n (taulukko 12).

Jätteiden polttoon liittyviä säädöksiä on tullut voimaan vuosina 1994, 1997 ja 2003. Vuonna 1994 valtioneuvosto päätti yhdyskuntajätettä polttavien laitosten aiheuttamasta ilman pilaantumisen ehkäisemisestä (VNp 626/1994) ja vuonna 1997 ongelmajätteiden poltosta (VNp 842/1997). Vuonna 2003 tuli voimaan asetus jätteenpoltosta (VNA 362/2003), jossa on annettu määräyksiä mm. ilmaan johdettavien päästöjen mittauksista. Asetuksen mukaan jatkuvatoimisia mittauksia tulee suorittaa hiilimonoksidin, hiukkasten ja orgaanisen hiilen kokonaismäärän, suolahapon, fluorivedyn, rikkidioksidin ja tarvittaessa typenoksidin osalta.

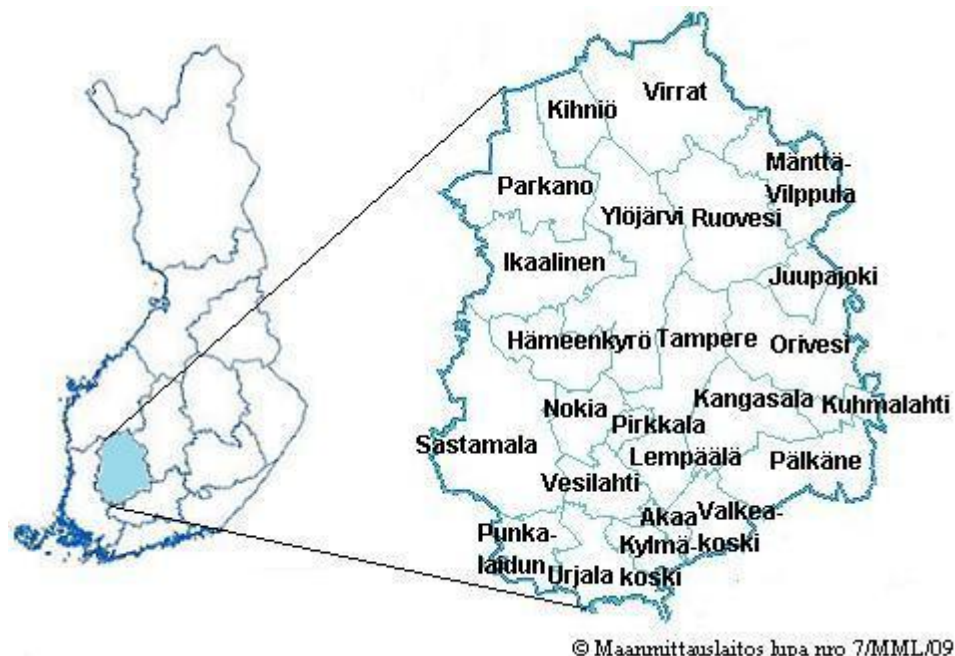
Taulukko 12. Valtioneuvoston asetuksen mukaiset moottoribensiinin ja dieselöljyn suurimmat sallittavat rikkipitoisuudet vuosina 2000, 2003 ja 2009 (VNA 1271/2000).

Vuosi	Moottoribensiini maksimi (mg/kg)	Dieselöljy maksimi (mg/kg)
2000	150	350
2005	50	50
2009	10	10

## 5 AINEISTO JA MENETELMÄT

### 5.1 Pirkanmaa

Vuonna 2009 Pirkanmaan ympäristökeskuksen alueen kattavaan Pirkanmaan maakuntaan kuului 24 kuntaa (kuva 8). Punkalaitumen kunta liittyi Pirkanmaahan vuonna 2005 ja sen jälkeen kuntaliitoksia on tapahtunut vielä kahdeksan. Vuonna 2007 silloiset Toijala ja Viiala yhdistyivät Akaan kaupungiksi ja Suodenniemi liittyi Vammalan, Luopioinen Pälkäneen ja Viljakkala Ylöjärven kuntaan. Längelmäen kunta jakautui Oriveden ja Jämsän kesken. Vuonna 2009 Kurun kunta liittyi Ylöjärveen, Mänttä ja Vilppula muodostivat Mänttä-Vilppulan kaupungin sekä Vammala, Mouhijärvi ja Äetsä muodostivat Sastamalan kaupungin (Pirkanmaan liitto 2009).



Kuva 8. Pirkanmaan ympäristökeskuksen alue ja kunnat.

Pirkanmaa voidaan jakaa kuuteen seutukuntaan, joita ovat Etelä-Pirkanmaa, Lounais-Pirkanmaa, Luoteis-Pirkanmaa, Ylä-Pirkanmaa, Kaakkois-Pirkanmaa sekä Tampereen seutukunta. Asukasluvultaan ylivoimaisesti suurin on Tampereen seutukunta, jossa asukkaita oli vuoden 2008 lopussa 338 642, siitä Tampereen kaupungin asukkaita oli 209 552. Muita Pirkanmaan yli 20 000 asukkaan kaupunkeja ovat Kangasala, Pirkkala, Nokia, Valkeakoski ja Ylöjärvi (Tilastokeskus 2009b). Maakunta voidaan jakaa myös maaseutumaisiin, taajaan asuttuihin sekä kaupunkimaisiin kuntiin Tilastokeskuksen (2009a) kuntaryhmittelyn mukaan (taulukko 13).

Taulukko 13. Pirkanmaan kuntien luokittelu ja jako luokkiin (Tilastokeskus 2009a).

<b>Kaupunkimaiset kunnat</b>	<b>Taajaan asutut kunnat</b>	<b>Maaseutumaiset kunnat</b>
Akaa	Hämeenkyrö	Juupajoki
Kangasala	Ikaalinen	Kihniö
Lempäälä	Mänttä-Vilppula	Kuhmalahi
Nokia	Orivesi	Kylmäkoski
Pirkkala	Parkano	Punkalaidun
Tampere	Sastamala	Pälkäne
Valkeakoski		Ruovesi
Ylöjärvi		Urjala
		Vesilahti
		Virrat

## 5.2 Ilmanlaadun tarkkailu ja tiedotus

### 5.2.1 Ilmanlaadun tarkkailu Tampereella ja Valkeakoskella

Tampereella ilmanlaatua on mitattu jo neljä vuosikymmentä ja mittauspaikkoja on mittaushistorian aikana ollut n. 50 eri puolilla kaupunkia. Tällä hetkellä mittauspisteitä on kuusi, joista kahdessa, Näsinneulassa ja keskustorilla, mitataan sääolosuhteita ja neljässä, Santalahdessa, Pirkankadulla, linja-autoasemalla ja Kalevassa, mitataan ilman epäpuhtauksia (kuva 9). Näistä Santalahden asema on siirrettävä mittausasema, jonka paikkaa voidaan muuttaa niin haluttaessa. Näsinneulan sääasemalla tarkkaillaan tuulitietoja 135 m:n korkeudella, lämpötilaa ja kosteustietoja taas 5 m, 43 m, 88 m ja 135 m:n korkeudella. Keskustorilla lämpötilaa, kosteutta ja tuulen nopeutta mitataan 30 m:n korkeudella maan pinnasta. Ilman epäpuhtauksien mittausasemista Santalahdessa mitataan ainoastaan hengitettäviä hiukkasia, linja-autoasemalla taas pienhiukkasia ja typen oksideja. Pirkankadulla mittausparametreja ovat hiilimonoksidi, typen oksidit, hengitettävät hiukkaset sekä pienhiukkaset ja Kalevan asemalla typen oksidit, otsoni sekä pienhiukkaset. Kalevan pienhiukkasmittaus toimii myös EU:n ilmanlaatudirektiivin (2008/50/EY) mukaisena asemana pienhiukkasaltistuksen seurannassa (Ari Elsilä, henkilökohtainen tiedonanto 10.6.2009, Tampere 2009a).

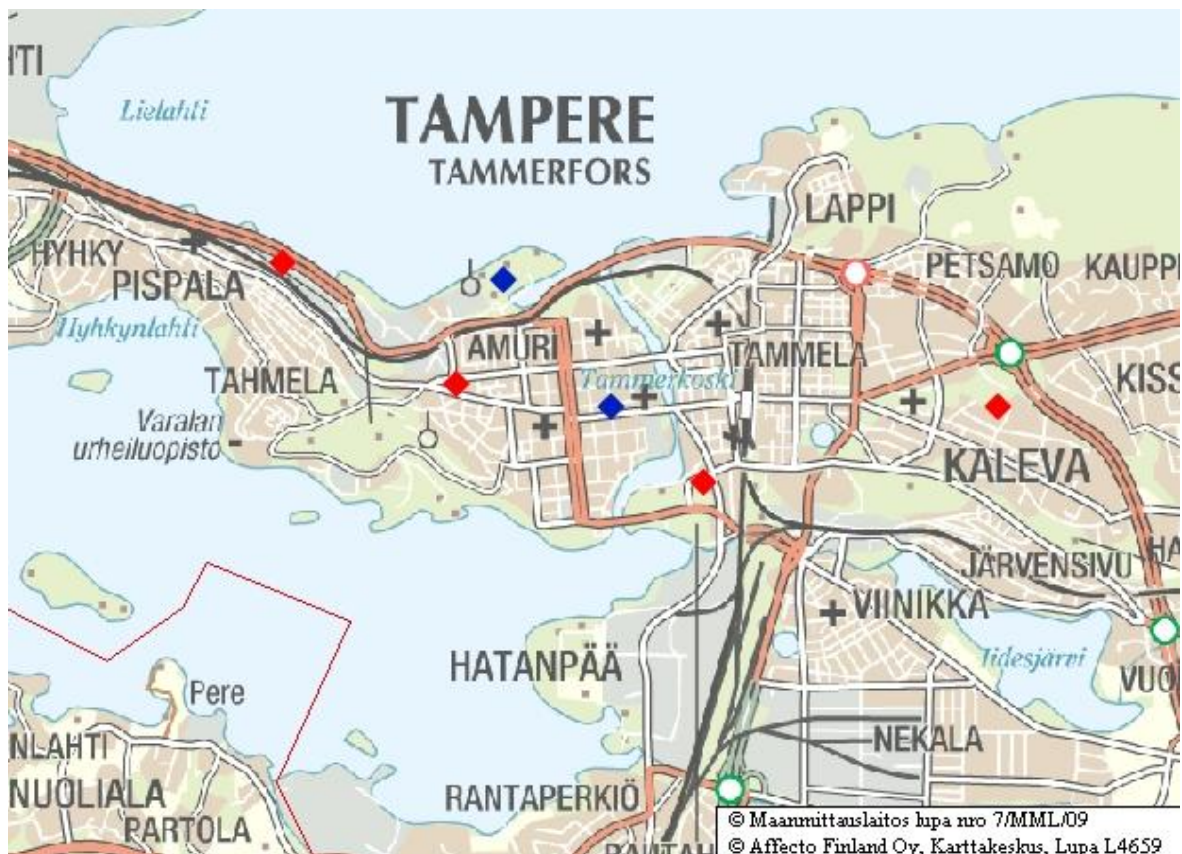
Pienhiukkasia tutkitaan Tampereella yhteistyössä Tampereen teknillisen yliopiston sekä Tampereen ammattikorkeakoulun kanssa pienhiukkasten terveysvaikutuksia tarkastelevan hankkeen yhteydessä. Tampereella mitattiin aikaisemmin rikkidioksidia, mutta mittaukset lopetettiin vuonna 2003 johtuen alhaisista pitoisuuksista. Metallipäästöjä taas mitattiin Liehahdessa vuosina 2006 – 2008. (Ari Elsilä, henkilökohtainen tiedonanto 10.6.2009). Tam-

pereen ilmanlaadun mittausparametreja tällä hetkellä ovat hengitettävät hiukkaset, pienhiukkaset, typen oksidit, otsoni sekä hiilimonoksidi (taulukko 14). Tampereella on pienhiukkasten mittaukseen käytetty vuonna 2007 ELPI-mittalaitetta ja vuonna 2008 TEOM 1400 A -laitetta. Tällä hetkellä Santalahdessa toimivalla mittausasemalla on joulukuussa 2009 tarkoituksena ottaa käyttöön pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten laserdiffraktioliite Grimm 180. Mittausasema on samalla tarkoitus siirtää Pispalan valtatielle (Ari Elsilä, henkilökohtainen tiedonanto 10.6.2009).

Taulukko 14. Tampereella mitattavat epäpuhtaudet, analyysit, laitteet ja mittauspaikat. (Tampere 2009b).

Aine	Metodi	Mittalaite	Mittauspaikka
PM <sub>10</sub>	Värähtelevä mikrovaaka	TEOM 1400A	Santalahti, Pirkankatu
PM <sub>2,5</sub>	Värähtelevä mikrovaaka	TEOM 1400A	Linja-autoasema, Kaleva
PM <sub>2,5</sub>	Sähköinen alipaineimpaktori	ELPI	Pirkankatu
NO <sub>x</sub>	Kemilumenesenssi	ME 9841B	Linja-autoasema, Pirkankatu, Kaleva
O <sub>3</sub>	UV-absorptio	TEI model 49	Kaleva
CO	IR-absorptio	TEI model 48	Pirkankatu

ELPI = Electrical Low Pressure Impactor, ME = Monitor Europe, TEI = Thermo Electric Instruments Inc, TEOM = Tapered Element Oscillating Microbalance



Kuva 9. Tampereen kuusi mittausasemaa. Sääasemat merkitty sinisellä ja epäpuhtauksien mittausasemat punaisella.

Valkeakoskella ilmanlaatua on mitattu vuodesta 1968 alkaen, ja tällä hetkellä ilmanlaadun mittauspisteitä on kolme kappaletta. Mittausasemat sijaitsevat Sorrilassa, terveystakeskuk-sella sekä hiekkatekonurmen alueella. Sorrilassa mitattavia päästökomponeentteja ovat hai-sevat rikkiyhdisteet, kun taas hiekkatekonurmella mitataan hengitettäviä hiukkasia. Terve-ykeskuksen mittausasemalla mitataan haisevien rikkiyhdisteiden pitoisuutta, rikkidioksi-dia sekä typpidioksidia (taulukko 15, kuva 10). Säätietoja, kosteutta, lämpötilaa ja tuulen suuntaa mitataan myös terveystakeskuksen mittausasemalla rakennuksen katolta (Jorma Ky-tölä, henkilökohtainen tiedonanto 27.4.2009, Valkeakoski 2007).

Taulukko 15. Valkeakoskella mitattavat epäpuhtaudet, analyysit, laitteet sekä mittauspaikat (Jorma Kytölä, henkilökohtainen tiedonanto 27.4.2009, Valkeakoski 2007).

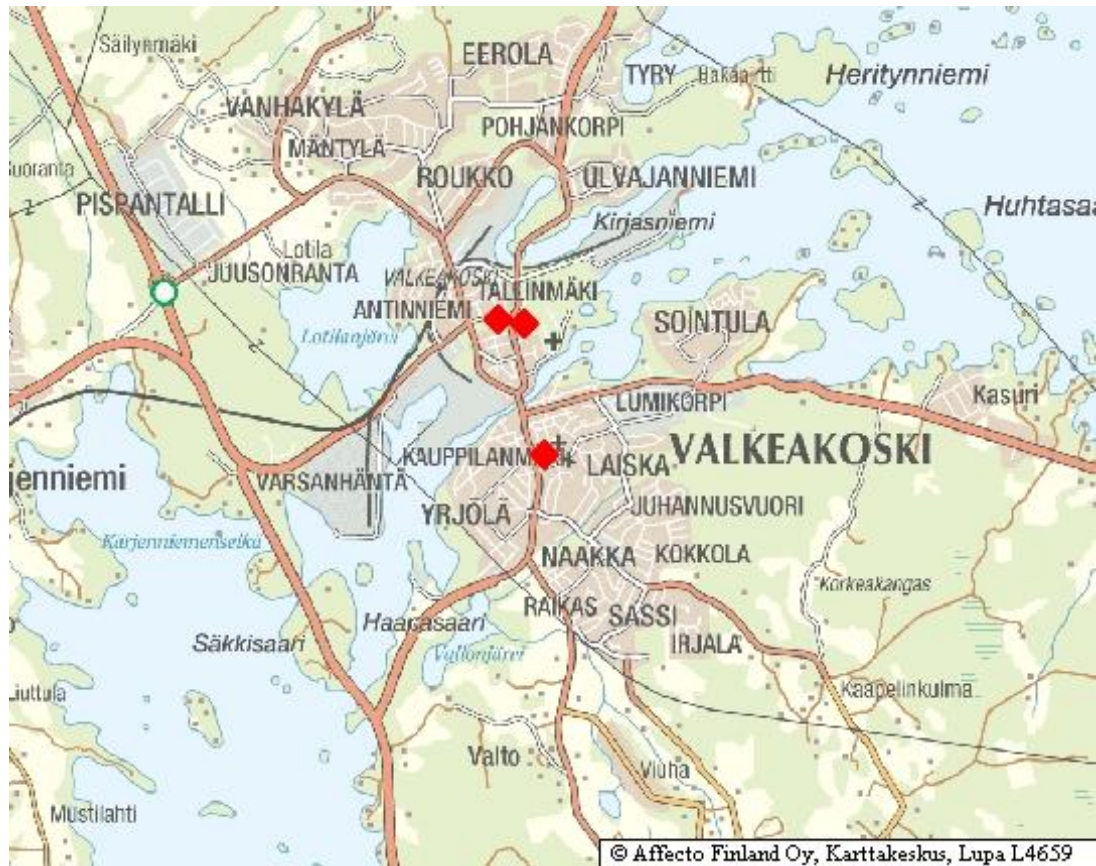
Aine	Metodi	Mittalaite	Mittauspaikka
PM <sub>10</sub>	Värähtelevä mikrovaaka	TEOM 1400A	Hiekkatekonurmi
NO <sub>2</sub>	Kemilumenesenssi	ME ML 9841	Terveystakeskus
SO <sub>2</sub>	UV-fluoresenssi	ME ML 9850	Terveystakeskus
TRS	UV-fluoresenssi + TRS-yhdisteitä hapettava konvertteri	API 100A + PPM 891	Sorrila, Terveystakeskus
Metallit	TEOM-analyysaattorin ohivirtaus suodatetaan ja määri-tetään sinkki kerran kuukaudessa		

ELPI = Electrical Low Pressure Impactor, ME = Monitor Europe, TEI = Thermo Electric Instru-ments Inc, TEOM = Tapered Element Oscillating Microbalance

Sekä Tampereella että Valkeakoskella on voimassa yhteistarkkailusopimus kunnan ja teol-lisuuslaitosten kesken. Sopimuksen mukaan ilmanlaadun tarkkailusta koituvat kulut jae-taan päästöjä aiheuttavien laitosten ja kunnan kesken. Itse tarkkailusta, laitteiden hoidosta ja raportoinnista vastaavat kunnat. Tampereella sopimusosapuolille tiedotetaan ilmanlaa-dusta neljännesvuosiraporttien muodossa neljä kertaa vuodessa ja Valkeakoskella kuukau-sittain. Molemmissa kunnissa ilmanlaadun tiedotukseen kuuluvat myös vuosittaiset raportit (Ari Elsilä, henkilökohtainen tiedonanto 10.6.2009, Valkeakoski 2007).

Ilmanlaadun mittauksia tehdään myös Juupajoella Hyytiälässä, jossa sijaitsee Helsingin yliopiston tutkimusasema. Tutkimusasema on SMEAR II (Stations Measuring Atmosphere Ecosystem Relationships) -asema, jossa tutkitaan mm. laskeumaa ja päästöjen vaikutuksia metsiin. Asemalla mitataan ilmanlaadutietoja rikkidioksidin, typpimonoksidin, typen oksii-dien, hiilimonoksidin sekä otsonin osalta, ja mittaustietoja on saatavilla internetissä noin

viikon ajalta (HY 2009). Tietoja ei kuitenkaan toimiteta ympäristöhallinnon järjestelmiin, joten niitä ei tässä tutkimuksessa ole tarkasteltu.



Kuva 10. Valkeakosken kolme mittausasemaa kartalla. Asemat merkitty punaisella.

### 5.2.2 Ilmanlaadusta tiedottaminen

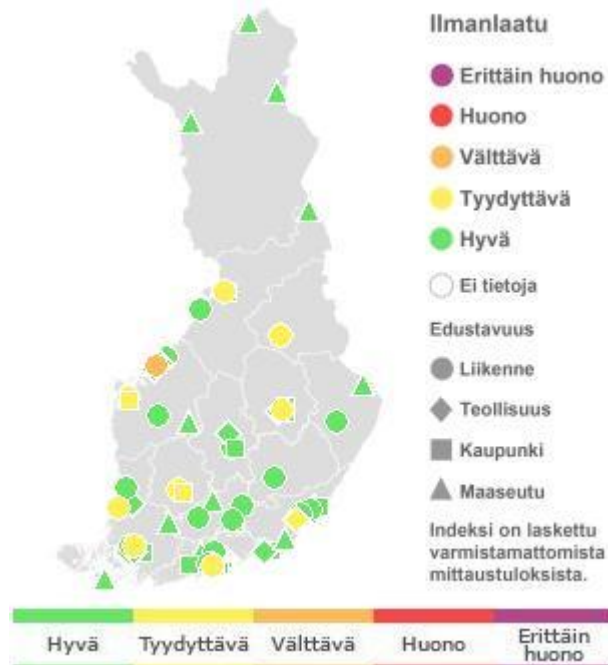
Ilmanlaatuasetuksen (VNA 711/2001) mukaan mittausasemien ilmanlaatu tietojen tarvittavat tunti-, kuukausi tai vuosiarvot tulee olla saatavilla ajantasaisina jonkin viestintämuodon välityksellä. Viestintämuotona voivat olla painetut tekstit, internet, radio tai esimerkiksi televisio. Kun näitä tietoja julkistetaan, on lukuja vertailtava myös olemassa oleviin raja- ja ohjearvoihin. Jos raja- ja ohjearvot taas ylittyvät on väestölle tiedotettava arvojen ylityksestä välittömästi terveys ja viihtyvyyshaittojen minimoimiseksi. Myös varoituskynnyksen ylittyessä väestöä tulee informoida ja molemmissa tapauksissa sekä pitoisuuksien suhde raja-arvoihin että mahdollisesti aiheutuvat terveyshaitat tulee ilmoittaa. Varoitukset voidaan antaa joko television, radion tai lehtien välityksellä.

Tampereella mitatut ilmanlaadun tulokset ilmoitetaan tällä hetkellä reaaliaikaisesti Ilmatieteen laitoksen ja ympäristöministeriön yhteisessä ilmanlaatuportaalissa, osoitteessa [www.ilmanlaatu.fi](http://www.ilmanlaatu.fi). Myös kuntien kotisivuilla ilmoitetaan ilmanlaadun mittausten tuloksista sekä esimerkiksi ohjearvojen ylityksistä. Suurimpien kaupunkien ilmanlaatu tiedot esite-

tään myös televisiossa arkaamuisin klo 8.30. Ilmanlaatuportaaliissa ilmanlaatatiedot ilmoitetaan ilmanlaatuindeksin avulla (kuva 11). Indeksissä mitatut pitoisuudet on muutettu tunneittaisiksi vertailuluvuiksi, joita voidaan kuvata viidellä luokalla, hyvä, tyydyttävä, välttävä, huono, erittäin huono (taulukko 16). Indeksiarvo on aina mittausasemakohtainen ja sisältää asemalla mitatut yhdisteiden pitoisuudet, jotka on suhteutettu vallitseviin raja- ja ohjearvoihin. Indeksien arvo saadaan asettamalla jokaiselle epäpuhtaudelle oma ali-indeksinsä, joista korkeimman mukaan määräytyy aseman ilmanlaatuindeksi (YTV 2009).

Taulukko 16. Indeksiluokkien määräytyminen epäpuhtauden pitoisuuden mukaan (YTV 2009).

Ilmanlaatu (Indeksin arvo)	CO (mg/m <sup>3</sup> )	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>2,5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	TRS (µg/m <sup>3</sup> )
Hyvä (< 50)	< 4	< 40	< 20	< 60	< 20	< 10	< 5
Tyydyttävä (50 - 75)	8	70	80	100	50	25	10
Välttävä (75 - 100)	20	150	250	140	100	50	20
Huono (100 - 150)	30	200	350	180	200	75	50
Erittäin huono (> 150)	> 30	> 200	> 350	> 180	> 200	> 75	> 50



Kuva 11. Ilmanlaatu Suomessa 14.9.2009 klo 7 – 8 (IL & YM 2009).



### 5.3 Mittaukset, leviämismallit ja bioindikaattorikartoitukset

Pirkanmaan eri kunnissa on vuosien saatossa tehty joko kunnan tai teollisuuden toimesta erilaisia tutkimuksia bioindikaattorikartoituksista leviämismalleihin ja ilmanlaadun mittaustarvetta selvittäviin esi- ja perusselvityksiin. Tiedot tehdyistä selvityksistä kerättiin kuntien ympäristöviranomaisilta, Ilmatieteen laitokselta sekä Pirkanmaan ympäristökeskukselta, mutta tietojen niukan saatavuuden vuoksi tässä tutkimuksessa on todennäköisesti esitetty vain osa tehdyistä kartoituksista ja selvityksistä. Jo tehtyjen tutkimusten lisäksi haluttiin selvittää myös kuntien halukkuutta uusille ilmanlaatuselvityksille. Uusien tutkimusten tarvetta tiedusteltiin kuntien ympäristöviranomaisilta, joista kyselyyn vastasi 17 kuntaa. Pirkanmaan kuntiin lähetetyssä kyselyssä (liite 2) tiedusteltiin myös ympäristöviranomaisten arviota kunnan merkittävimmistä päästölähteistä ja näitä vastauksia saatiin 14 kpl.

### 5.4 Päästöt Pirkanmaalla

#### 5.4.1 Päästötietokannat

Pirkanmaan päästöjä tarkasteltiin kokonaisuutena sekä ympäristöhallinnon Hertta 5.2-järjestelmään kuuluvan Ilmapäästötietojärjestelmän (IPTJ) (VYH 2009a) avulla sekä erikseen sektorikohtaisesti VTT:n LIPASTO-järjestelmän (VTT 2009; Kari Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 2.7.2009) ja ympäristöhallinnon VAHTI-tietojärjestelmän (VYH 2009b) avulla. VAHTI- ja LIPASTO-järjestelmät, joiden avulla tarkasteltiin liikenteen ja energiantuotannon päästöjä, eivät kuitenkaan ole suoraan verrattavissa IPTJ:n päästöjen kanssa. Tämä johtuu järjestelmien erilaisista päästöjen laskentatavoista ja -menetelmistä. Myös eri sektoreiden tarkasteltavat ajanjaksot vaihtelevat johtuen eroista järjestelmien tiedoissa. Pirkanmaan kokonaispäästöjen tarkastelua varten IPTJ:n avulla haettiin päästötiedot hiilimonoksidille (CO), typen oksideille (NO<sub>x</sub>), haihtuville hiilivedyille (NMVOC), hiukkasille sekä rikkidioksidille (SO<sub>2</sub>).

#### 5.4.2 Tie- ja raideliikenteen päästöt

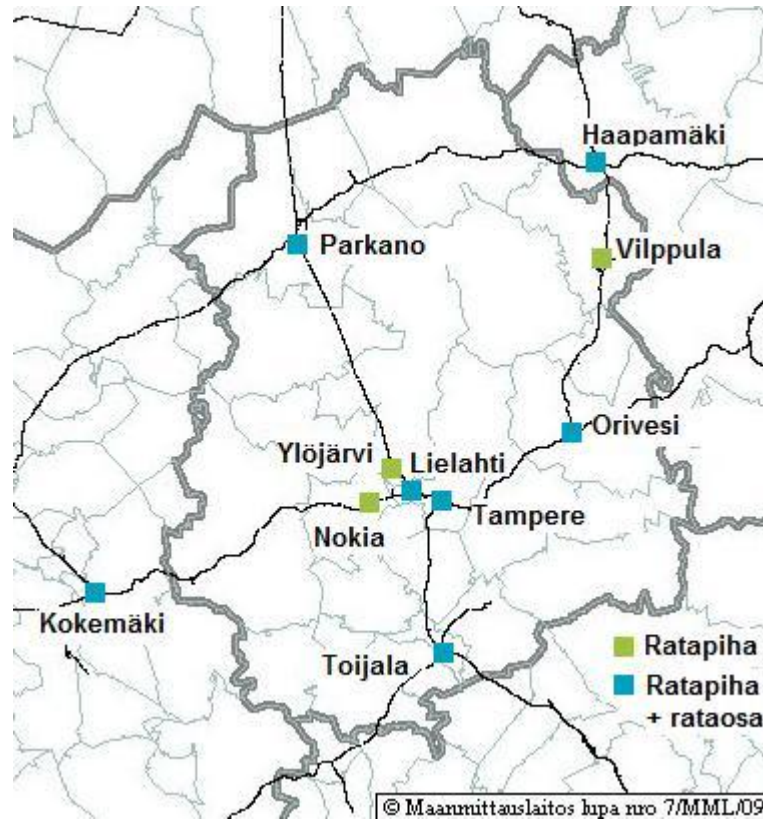
Vuosittainen raide- ja tieliikenteen aineisto kerättiin VTT:n Suomen liikenteen pakokaasujen ja energiankulutuksen LIPASTO-laskentajärjestelmästä. Tieliikenteen päästötiedot saatiin järjestelmän LIISA- ja raideliikennetiedot RAILI-osiosta (VTT 2009; Kari Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 2.7.2009). Liikenteen osalta tutkittiin raide- ja tieliikenteen päästöjen kehitystä, polttonesteen kulutusta sekä liikennesuoritetta. Suoritteella VTT:n (2009) mukaan tarkoitetaan laskennallista ajokilometrimäärän tulosta, jolloin tietyn pituisella tieosuudella tietyssä ajassa havaittujen ajoneuvojen määrä muutetaan koko vuoden

kattavaksi ajokilometrimääräksi. Tutkittavia tie- ja raideliikenteen päästöjä olivat hiilimonoksidi (CO), hiilivedyt (CH), typen oksidit (NO<sub>x</sub>), hiukkaset (PM) sekä rikkidioksidi (SO<sub>2</sub>).

Tiedot tieliikenteen ajoneuvokannoista saatiin Ajoneuvohallintokeskuksen (AKE) ajoneuvokantatilastoista vuosilta 2000 – 2009. Vuoden 2009 tilastot koskevat Ajoneuvohallintokeskuksen tietoja 31.3.2009 (AKE 2009). Tieliikenteen päästöihin on LIPASTO-laskentaohjelmassa laskettu erilaisten autotyyppeiden lisäksi moottoripyörien ja mopediin päästöt. Polttonesteen kulutuksen tarkastelu otettiin myös mukaan tarkasteluun. Polttonesteellä tarkoitetaan ajoneuvojen käyttämää bensiiniä sekä dieselöljyä, ja sen kokonaiskulutus on riippuvainen autojen ominaiskulutuksesta sekä liikennesuoritteiden määrästä. Päästöissä hiukkasten määrä on esitetty kokonaismassana, joka sisältää kaikki hiukkaskoot (VTT 2009).

Raideliikenteen päästöjä tarkasteltiin RAILI-laskentajärjestelmän (VTT 2009; Kari Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 2.7.2009) tietojen avulla. Täysin Pirkanmaan rajojen sisäpuolelta raideliikenteen tietoja ei ollut mahdollista saada, joten tarkastelu ulotettiin osittain myös Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueelle Kokemäelle sekä Keski-Suomen ympäristökeskuksen alueelle Haapamäelle. Pirkanmaan raideverkostosta valittiin kuusi rataosuutta (Tampere-Lielähti, Lielähti-Kokemäki, Lielähti-Parkano, Tampere-Toijala, Tampere-Orivesi ja Orivesi-Haapamäki) (kuva 12). Kultakin rataosalta päästötietoja oli liikenteestä molempiin suuntiin. Kuvassa 12 näkyvät myös ne ratapihat, joilta tarkasteltiin dieselvetureiden ratapihapäästöjä.

Rataosan Tampere-Lielähti (TPE-LLH) pituus on noin 6 kilometriä ja sen kautta liikennöivät junat sekä länteen Porin ja Rauman suuntaan että pohjoiseen Oulun suuntaan. Porin suuntaan kulkee 91 kilometrin mittainen Lielähti-Kokemäki (LLH-KKI) rataosa, joka näin ollen ulottuu Lounais-Suomen ympäristökeskuksen alueelle. Pohjoiseen suuntautuvan Lielähti-Parkano (LLH-PKO) ratavälin pituus taas on 69 km ja etelään Helsinkiä ja Turkuun kohti vievän Tampere-Toijala (TPE-TL) välin pituus 40 km. Itä-Suomeen, kohti Jyväskylää johtavan 42 kilometrin mittaisen Tampere-Orivesi (TPE-OV) rataosuuden varrelta erkanevat myös Keski-Suomen ympäristökeskuksen alueelle ulottuva 72 km:n Orivesi-Haapamäki (OV-HPK) välinen rataosuus (Kari Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 2.7.2009).



Kuva 12. Ratapihat ja rataosat Pirkanmaalla.

Koko raideliikenteen (kuva 19) päästöjä sekä yksityiskohtaisia rataosapäästöjä (liite 4) tarkasteltiin molempiin suuntiin, mutta Tampere-Orivesi rataosan päästötietoja tarkasteltiin ainoastaan yhteen suuntaan. Päästötiedot yhteen suuntaan tarkoittavat päästöjä, jotka syntyvät ajettaessa tietyllä ratavälillä kerran (menomatka). Päästöt molempiin suuntiin taas syntyvät, kun tietyllä ratavälillä ajetaan kahteen kertaan (meno- ja paluumatka).

Koko junaliikenteen päästötiedot koottiin laskemalla yhteen ratapihoilta aiheutuvat dieselvetureiden päästöt sekä kaikkien ratavälien päästöt molempiin suuntiin. Koska sähkökäyttöisellä kalustolla ei ilmene lainkaan päästöjä käytön aikana, on sähköjunien päästöjen osuudeksi RAILI-järjestelmässä laskettu voimalaitoksissa aiheutuneet sähköntuotannon päästöt. Tämän vuoksi päästöjen tarkastelussa on otettava huomioon se, että ainoastaan dieselvetureiden päästöt vaikuttavat ratapihojen- ja raiteiden lähialueilla, kun taas sähköjunaliikenteen päästöjen vaikutukset ilmenevät sähköntuotantolaitosten läheisyydessä. Rataosien päästötiedot taas poikkeavat toisistaan riippuen siitä, kuinka paljon rataosalla liikennöi sähkö- tai dieselkäyttöisiä junia. Rataosia vertailtiin jokaisen rataosan kilometrikohtaisten päästöjen avulla.

Raideliikenteen päästöjä tarkasteltiin myös ratapihojen osalta. Ratapihoilla päästöjä aiheuttaa erilaisista dieselvetureilla tehtävistä vaihto- ja siirtotöistä. Ratapihakohtaisessa tarkas-

telussa olivat mukana Tampereen, Lielahden, Nokian, Parkanon, Toijalan, Vilppulan ja Ylöjärven ratapihat. Tampereen ja Oriveden välistä rataosuutta tarkasteltiin vuosina 2001 – 2008 esimerkkinä päästömäärien muutoksista pitemmällä aikavälillä.

RAILI-järjestelmässä on saatavilla myös koko Suomen polttoaineen, primäärienergian sekä sähköenergiankulutuksen muutostietoja, joiden avulla voidaan arvioida ja perustella myös päästöjen kehittymistä (VTT 2009). Sen lisäksi myös Ratahallintokeskuksen vuoden 2008 rautatietilastoa käytettiin apuna diesel- ja sähköjunien vetokilometrejä selvittäessä.

#### 5.4.3 Teollisuuden päästöt

Teollisuuden sekä energiantuotannon päästöjä Pirkanmaalla tarkasteltiin VAHTI valvontaja kuormitusjärjestelmän avulla. VAHTI on ympäristönsuojelun tietojärjestelmän operatiivinen osa, joka sisältää päästötietoja, ympäristönsuojelulain mukaisiin lupiin ja ilmoituksiin sekä jätteisiin liittyviä tietoja. Kuntien luvittamat teollisuus- ja energiantuotantolaitokset eivät kuitenkaan ole mukana VAHTI-järjestelmän tiedoissa. Päästötiedoissa on oma osionsa ilmaan kulkeutuvista päästöistä ja niiden määristä. Teollisuus- ja energiantuotantolaitokset ilmoittavat itse päästötietonsa järjestelmään ja näin ollen järjestelmän tiedoissa saattaa olla myös joitakin virheitä (VYH 2009b).

Päästötietoja haettiin VAHTI-järjestelmästä rikkidioksidin, typen oksidien, hiukkasten sekä haisevien rikkiyhdisteiden osalta. Haku suoritettiin Pirkanmaan ympäristökeskuksen alueella rikkidioksidin sekä typen oksidien osalta aikavälille 1987 – 2008 ja hiukkasten sekä haisevien rikkiyhdisteiden osalta vuosille 2000 – 2008. Päästötietoja tutkittiin myös haihtuvien hiilivetyjen, hiilimonoksidin sekä metallien osalta, mutta näiden osalta tiedoissa oli hyvin paljon puutteita, minkä vuoksi ne käsiteltiin vain hyvin suppeasti vuosien 2000 – 2008 osalta. Tarkastellut metallipäästöt koostuivat alumiinista, antimonia, arsenista, elohopeasta, kadmiumista, koboltista, kromista, kuparista, lyijystä, magnesiumista, mangaanista, nikkelistä, raudasta, talliumista sekä vanadiinista. Myös muita metalleja syötettiin VAHTI-järjestelmän hakuun, mutta niistä ei löytynyt raportoituja päästötietoja Pirkanmaan alueelta.

Päästötietoja tarkasteltiin VAHTI-järjestelmän avulla sekä maakunta- että kuntakohtaisesti. Juupajoelta, Kihniöstä, Kuhmalahdelta, Kylmäkoskelta, Orivedeltä, Punkalaitumelta, Pälkäneeltä, Urjalasta, Vesilahdelta ja Ylöjärveltä ei VAHTI-järjestelmään kuitenkaan oltu raportoitu lainkaan teollisuuden ja energiantuotannon päästötietoja.

Vuosina 2008 ja 2009 Pirkanmaan teollisuuden ja energiantuotantolaitosten määrissä on tapahtunut muutoksia, ja muutamia kohtalaisen suuria päästöjä vuosina 2000 – 2008 aiheuttaneita laitoksia on lopettanut toimintansa, esimerkiksi viskoosikuitua valmistanut tehdas Valkeakoskella. Tämän vuoksi useimpia tutkimuksessa esitettyjä tuloksia ei voi rinnastaa vuoden 2009 vallitseviin päästömääriin.

#### 5.4.4 Maatalouden päästöt

Maatalouden päästöjä ilmaan tutkittiin ympäristöhallinnon ilmapäästötietojärjestelmän (IPTJ) avulla. Järjestelmä on osa Hertta 5.2 -tietojärjestelmäkokonaisuutta, joka sisältää tietoja ympäristön kuormituksesta ja valvonnasta, vesivaroista, luonnonsuojelusta ja alueidenkäytöstä. Ilmapäästötietojärjestelmä sisältää tiedot koko Suomen kokonaispäästöistä ja sen tiedonlähteinä ovat VTT:n LIPASTO-, ympäristönsuojelun VAHTI-järjestelmä sekä muut tilastoidut päästötiedot (VYH 2009a). Päästötietoja tarkasteltiin Hertta-järjestelmästä vuosilta 2000 – 2007. Vuoden 2008 päästötietoja ei tarkasteltu, koska niitä ei järjestelmässä ollut vielä saatavilla.



## 6 TULOKSET

### 6.1 Mittaukset, leviämismallit ja bioindikaattorikartoitukset

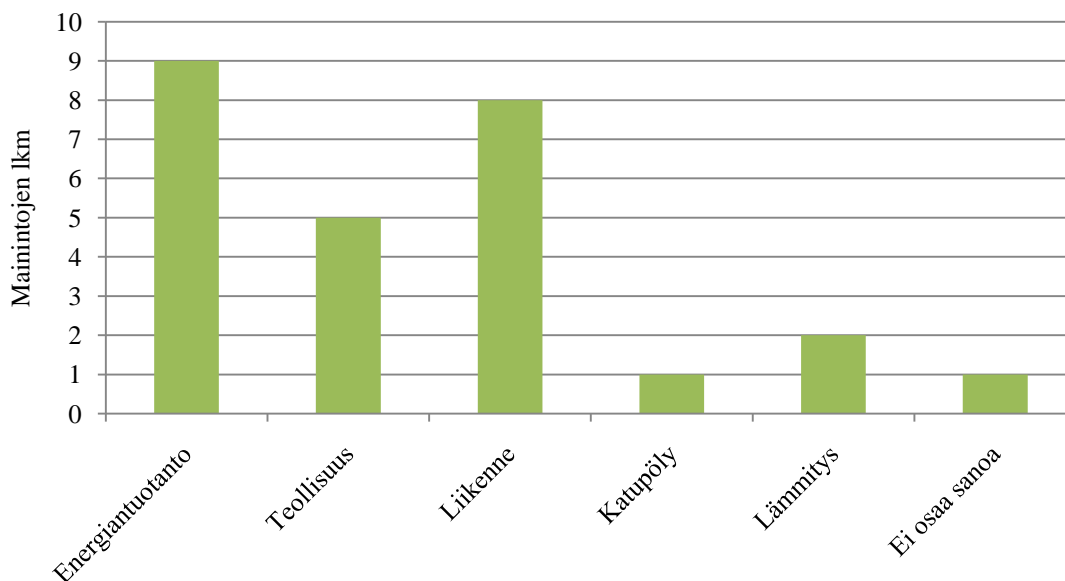
Pirkanmaalla aikaisemmin tehtyjen ilmanlaatuun liittyvien tutkimusten kartoituksessa pyrittiin selvittämään, millaisia tutkimuksia kunnissa on vuosien saatossa tehty. Tehdyt tutkimuksia on esitetty taulukossa 17, jossa on esitetty myös kuntien mielipiteet uusista ilmanlaatuun liittyvistä tutkimuksista. Tarkemmin jo tehdyt tutkimukset ovat nähtävissä liitteessä 3.

Taulukko 17. Pirkanmaan kunnissa ja/tai yrityksissä tehdyt ilmanlaatuun liittyvät tutkimukset sekä ilmanlaadun tarkkailun tarve Pirkanmaalla kuntien ympäristöviranomaisten arvioiden mukaan. Bioindikaattorikartoitus (B), hajututkimus (H), ilmanlaadun tarkkailu (I), leviämismallilaskelma, perus/esiselvitys (P), ei tarkkailua (E).

Kunta	Tehdyt tutkimukset					Tarkkailun tarve			Kunta	Tehdyt tutkimukset					Tarkkailun tarve		
	B	I	H	L	P	I	B	E		B	I	H	L	P	I	B	E
Akaa	x				x				Pirkkala	x		x				x	
Hämeenkyrö	x				x			x	Pälkäne	x							
Ikaalinen					x		x		Punkalaidun								
Juupajoki	x							x	Ruovesi	x							
Kangasala	x		x	x	x			x	Sastamala pohj.							x	
Kihniö									Sastamala etel.	x							
Kuhmalahti	x							x	Tampere	x	x	x	x	x	x		
Kylmäkoski	x								Urjala	x							
Lempäälä	x			x	x		x		Valkeakoski	x	x	x	x	x	x	x	
Mänttä-Vilppula	x	x		x	x		x		Vesilahti	x						x	
Nokia	x		x	x	x			x	Virrat	x						x	
Orivesi	x			x	x			x	Ylöjärvi	x		x	x			x	
Parkano				x			x	x									

17 vastanneesta kunnasta kahdeksassa ei pidetty tarpeellisena uusia tutkimuksia, kun taas kuudessa kunnassa bioindikaattorikartoituksista oltiin kiinnostuneita, jotta esimerkiksi aikaisempia tutkimuksia voitaisiin täydentää ja ympäristön tilasta saataisiin tarkempaa tietoa. Tampereella ilmanlaadun tarkkailua haluttiin jatkossakin jatkaa, samoin Valkeakoskella, missä myös bioindikaattorikartoituksia pidettiin mittausten ohella tärkeinä. Parkanossa taas tulevaisuuden kannalta pidettiin tutkimuksia ja näytteenottoja aina kannattavina keinoina ilmanlaadun tilan selvittämisessä.

Pirkanmaan kuntiin lähetetyssä kyselyssä tiedusteltiin myös ympäristöviranomaisten arviota kunnan merkittävimmistä päästölähteistä. Neljästätoista vastauksesta yhdeksässä pidettiin energiantuotantoa yhtenä kunnan merkittävimmistä päästölähteistä. Myös kahdeksassa vastauksessa mainittiin liikenne. Teollisuus mainittiin viidessä vastauksessa ja kotitalouksien lämmitys kahdessa. Katupöly esitettiin yhdeksi merkittävimmistä päästöistä yhdessä vastauksessa ja yhdessä ei merkittävintä lähdettä osattu arvioida (kuva 13).



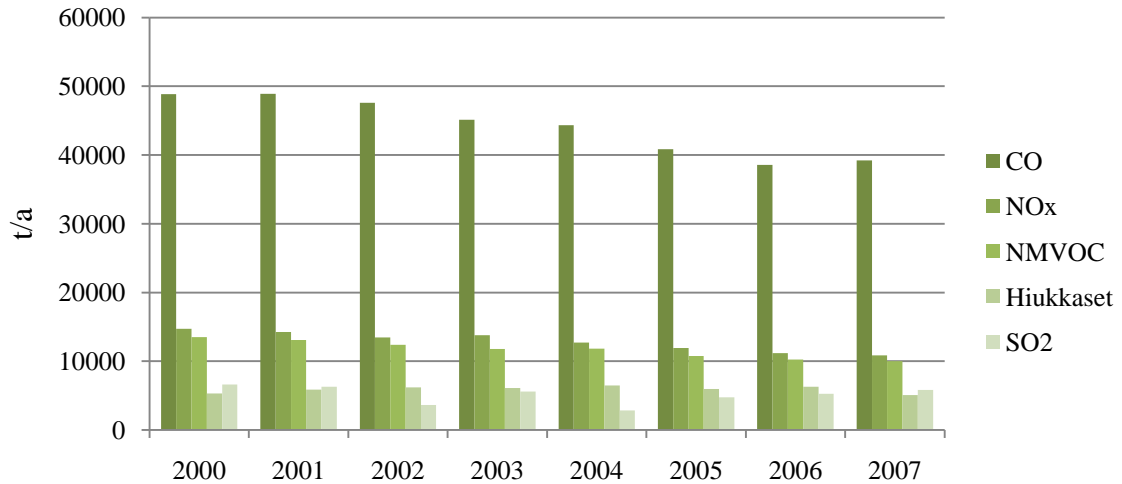
Kuva 13. Pirkanmaan kuntien ympäristöviranomaisten arvioimat merkittävimmät päästölähteet, kun kyselyyn vastanneita kuntia oli 14.

## 6.2 Päästöt Pirkanmaalla

### 6.2.1 Kokonaispäästöt

Kuvan 14 mukaan koko Pirkanmaalla esiintyneistä päästöistä hiilimonoksidin, typen oksidien ja haihtuvien hiilivetyjen määrät ovat vuosien 2000 ja 2007 välillä laskeneet, kun taas hiukkasten ja rikkidioksidin määrissä on ollut enemmän vaihtelua. IPTJ:n mukaan suurimmat hiilimonoksidipäästöt aiheutuivat liikenteestä ja lisäksi mm. energiantuotannosta sekä teollisuudesta. Typen oksidien päästölähteenä olivat sähkön ja lämmön tuotanto sekä liikenne, kun taas haihtuvien orgaanisten yhdisteiden lähteenä ovat olleet liikenne, teollisuus, liuottimien ja maalien käyttö sekä asuntojen lämmityksestä. Hiukkaspäästöjä aiheutui pääosin liikenteestä, energiantuotannosta sekä asuntojen energiantuotannosta. Rikkidioksidin pääasiallisena lähteenä oli teollisuus, mutta myös energiantuotanto on aiheuttanut osan päästöistä.

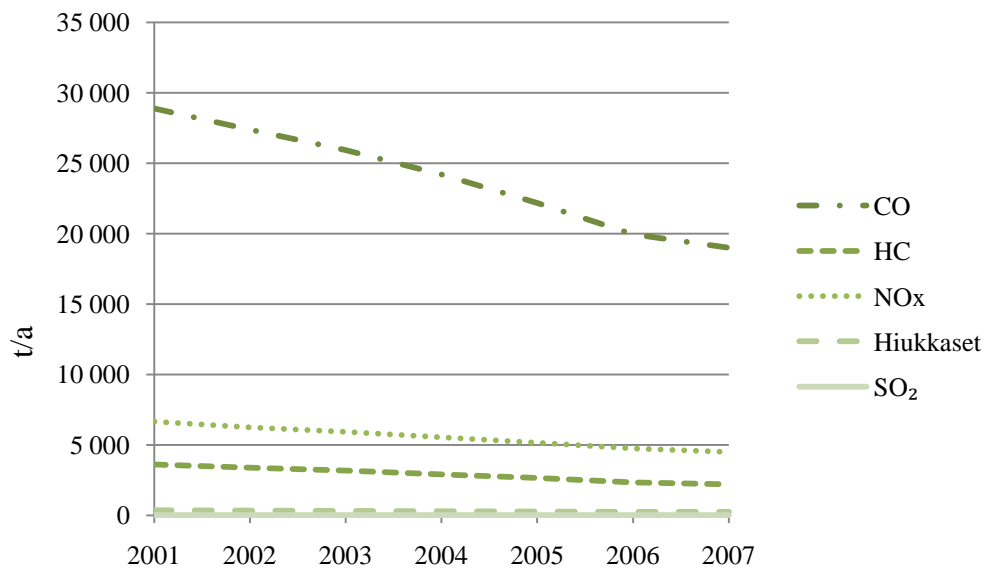




Kuva 14. Pirkanmaan hiilimonoksidin (CO), typen oksidien (NO<sub>x</sub>), haihtuvien hiilivetyjen (NMVOC), hiukkasten sekä rikkidioksidin (SO<sub>2</sub>) kokonaispäästöt Pirkanmaalla vuosina 2000 – 2007.

### 6.2.2 Tie- ja raideliikenteen päästöt

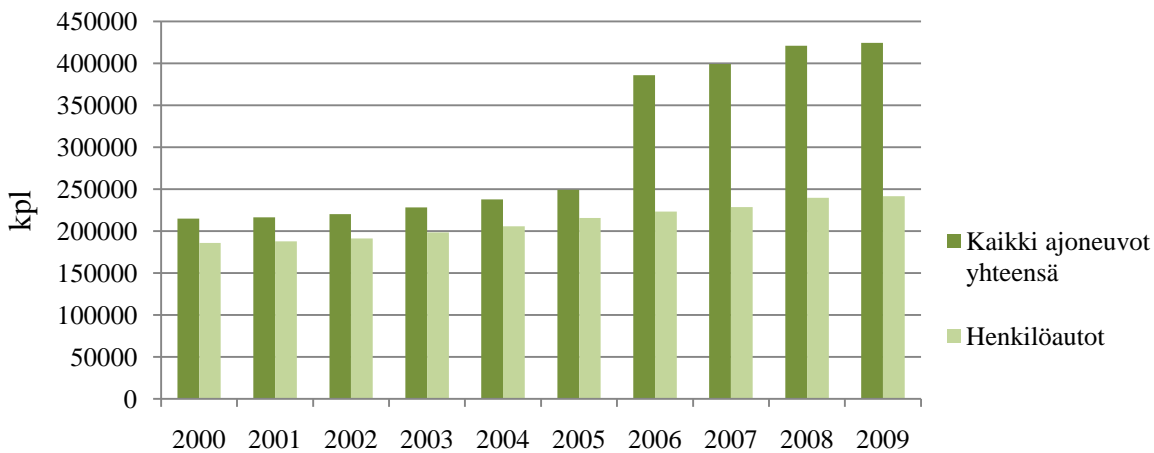
Pirkanmaan tieliikenteen päästöjä tarkasteltiin vuosina 2001 – 2007 (kuva 15 ja kuva 17). Tuloksissa on otettu huomioon vuosina 2005 ja 2006 tapahtuneet kuntaliitokset, joskin Punkalaitumen kunnan päästömäärät on laskettu mukaan kaikkina tarkasteltuina vuosina.



Kuva 15. Tieliikenteen hiilimonoksidin (CO), hiilivedyn (HC), typen oksidien (NO<sub>x</sub>), hiukkasmassan ja rikkidioksidin (SO<sub>2</sub>) määrä Pirkanmaalla vuosina 2001 – 2007.

Pirkanmaan ajoneuvokantaa tarkasteltiin vuosina 2000 – 2009 (kuva 16), jossa henkilöautojen määrät on esitetty yhdessä kaikkien yhteenlaskettujen ajoneuvojen määrien kanssa. Kaikkien ajoneuvojen yhteenlaskettu määrä on noussut tasaisesti vuoteen 2005 asti, jonka jälkeen on tapahtunut voimakas ajoneuvojen määrän nousu noin 250 000 ajoneuvosta yli

380 000:een. Samaan aikaan henkilöautojen määrä ei kuitenkaan ole merkittävästi lisääntynyt.



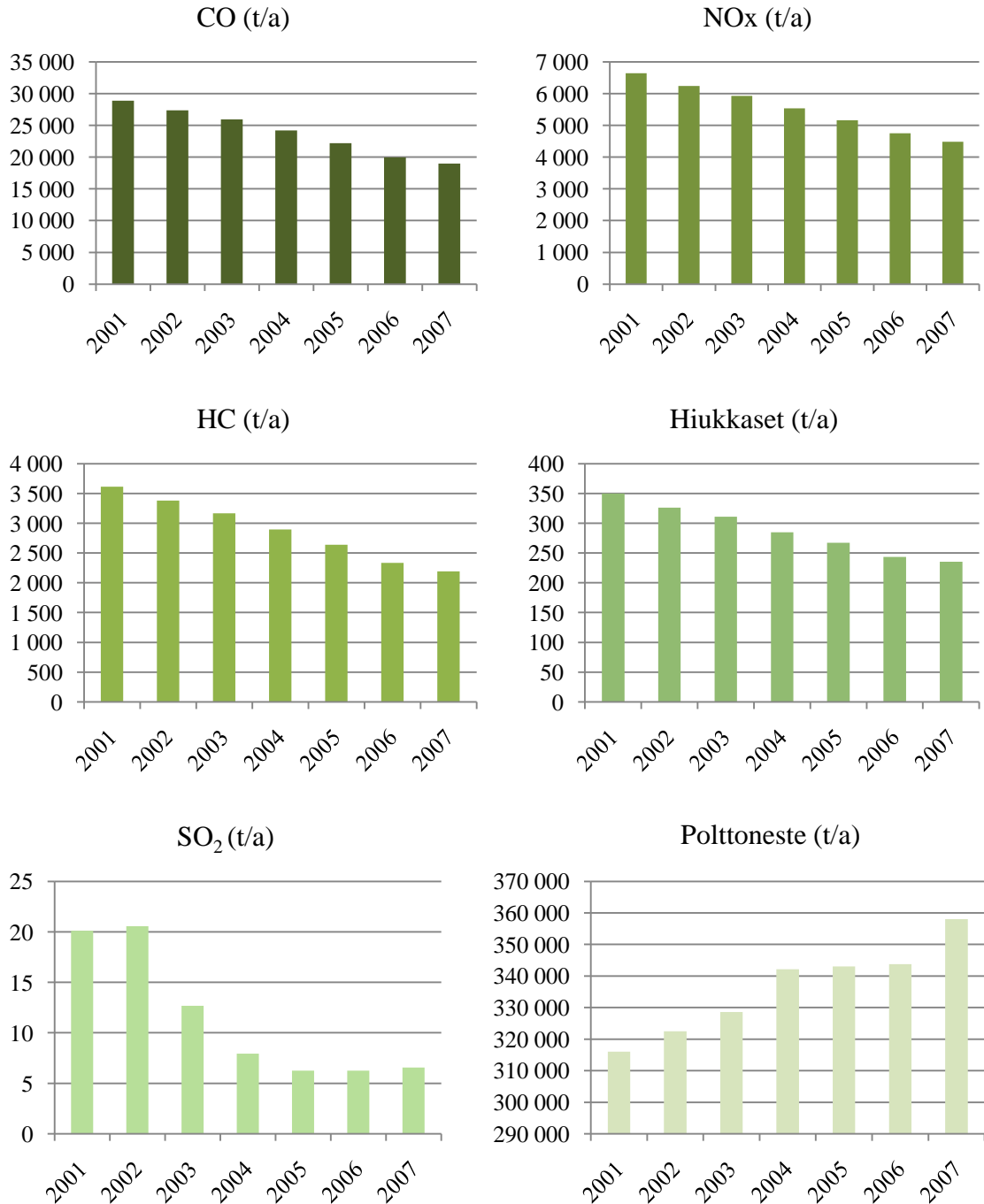
Kuva 16. Ajoneuvojen yhteenlasketut lukumäärät ja henkilöautojen osuus vuosina 2000 – 2009 Pirkanmaalla.

Yksityiskohtaisemmassa tieliikenteen päästötarkastelussa (kuva 17) nähdään päästöjen määrän pienentyneen vuosina 2001 – 2007 kaikkien päästökomenttien osalta huolimatta ajoneuvojen lukumäärän lisääntymisestä Pirkanmaalla. Varsinkin rikkidioksidin päästömäärät laskivat suuresti, lähes 14 tonnia. Typen oksidien määrä on vähentynyt vuoden 2001 yli 6 500 tonnista vuoden 2007 noin 4 500 tonniin. Hiilivetyjen määrä liikenteessä on pienentynyt 1 400 tonnilla ja hiukkasten määrä noin 100 tonnilla. Polttonesteen käyttömäärät taas nousivat vuoden 2001 noin 315 000 tonnista vuoden 2007 lähes 360 000 tonniin.

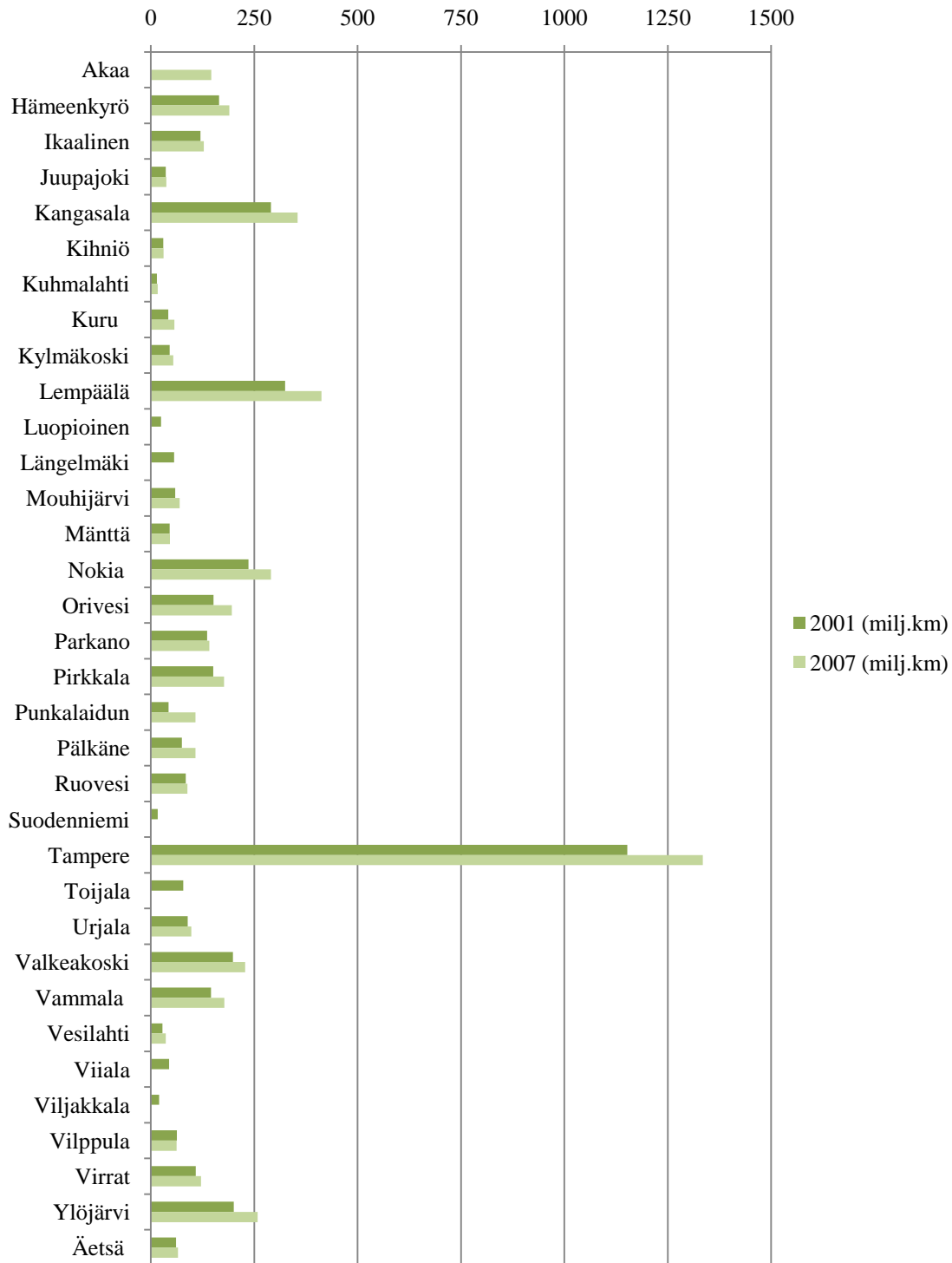
Pirkanmaan liikennesuorite on vuosina 2001 – 2007 muuttunut johtuen autokannan lisääntymisestä. Suoritteen määrä Pirkanmaalla on kasvanut 1 152 miljoonasta 1 334 miljoonaan ajokilometriin vuodessa (kuva 18). Liikennesuoritetta kuvattaessa on otettu huomioon vuosien 2001 ja 2007 välillä tapahtuneet kuntaliitokset. Tämän vuoksi Luopioisten, Längelmäen, Suodenniemen, Toijalan, Viialan ja Viljakkalan osalta tietoja on ainoastaan vuodelta 2001 ja Akaan osalta vain vuodelta 2007.

Tarkastellun ajoneuvosuoritteen mukaisesti vuosittainen suorite on kaikissa kunnissa kasvanut vuodesta 2001 vuoteen 2007. Kuitenkin esimerkiksi Kihniössä ja Juupajoella suoritteen kasvu on ollut vähäistä. Suorite on kasvanut eniten Tampereella yli 200 miljoonalla kilometrillä, ja myös Lempäälässä suorite on kasvanut lähes 100 miljoonalla kilometrillä. Pirkanmaan kunnista vuoden 2007 suurin liikennesuorite, yli 1 300 miljoonaa kilometriä vuodessa, ajettiin Tampereella. Yli 250 miljoonan vuosikilometrin suoritteita ajetaan Tam-

pereen seutukunnissa Kangasalla, Lempäälässä, Nokialla ja Ylöjärvellä. Valkeakoskella liikennesuorite oli lähes 230 miljoonaa kilometriä vuodessa. Pienimmät alle 40 miljoonan vuosittaiset suoritteet ajetaan Juupajoella, Kuhmalahdella, Kihniössä ja Vesilahdella.



Kuva 17. Liikenteen hiilimonoksidin (CO), typen oksidien (NO<sub>x</sub>), hiilivetyjen (HC), hiukkasten, rikkidioksidin (SO<sub>2</sub>) ja polttonesteen (sis. sekä bensiinin että dieselin) määrien muutokset Pirkanmaalla vuosina 2001 – 2007.



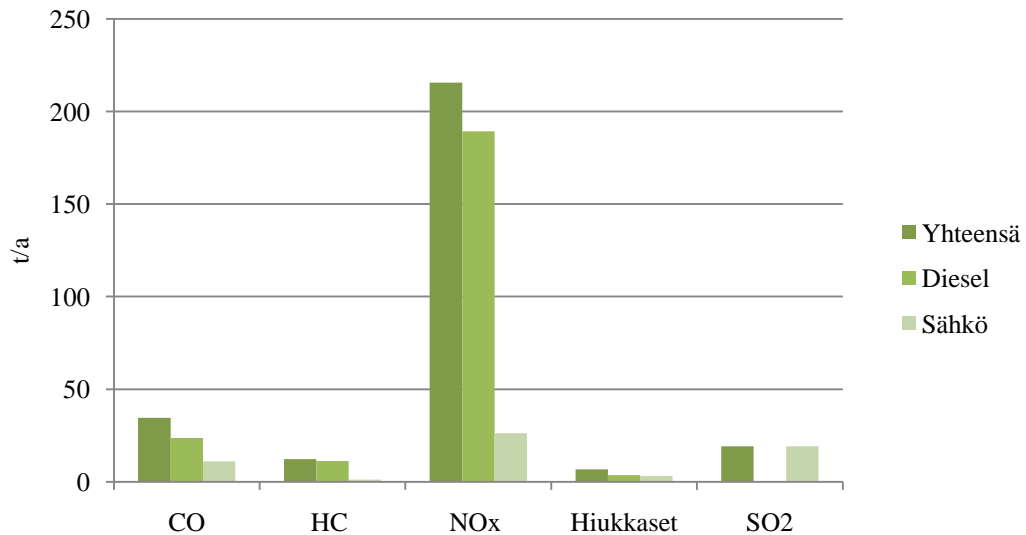
Kuva 18. Pirkanmaan tieliikenteen ajoneuvosuorite (milj.km) vuosina 2001 ja 2007.

Raideliikenteen osalta kaikilla tutkituilla Pirkanmaan rataosuuksilla liikennöivät vuoden 2008 päästötietojen mukaan sekä henkilö- että tavarajunat. Päästömäärien perusteella dieselvetureita käytettiin tavaraliikenteessä sähköisiä enemmän, kun taas henkilöliikenteessä

käytettiin sekä diesel- että sähkökäyttöisiä vetureita. Orivesi-Haapamäki välistä rataosuutta ei ole sähköistetty, joten kaikki liikenne tällä välillä suoritettiin dieselkäyttöisillä vetureilla.

Koko raideliikenteen päästötietoja (kuva 19) tarkasteltaessa havaittiin typen oksidien ja hiilivetyjen päästöjen aiheutuvan kokonaan tai lähes kokonaan dieselvetureista. Hiilimonoksidipäästöistä taas noin kaksi kolmasosaa oli dieselvetureiden aiheuttamaa. Hiukkaspäästöt jakoutuivat lähes tasan sähkö- ja dieselkäyttöisten vetureiden kesken, kun taas rikkidioksidipäästöt olivat kokonaan peräisin sähköntuotannosta.

Raideliikenteen polttonesteen kulutusta tarkasteltaessa havaittiin dieselkäyttöisen kaluston vetokilometrien olevan koko Suomessa 32,5 % raideliikenteen kokonaiskilometreistä vuonna 2003, kun vuonna 2007 määrä oli enää 27,3 %. Vastaavasti sähköä käyttävän kaluston vetokilometrit kasvoivat 67,5 %:sta lähes 73 %:iin (Ratahallintokeskus 2008).



Kuva 19. Raideliikenteen hiilimonoksidi- (CO), hiilivety- (HC), typenoksidi- (NO<sub>x</sub>), hiukkas- sekä rikkidioksidipäästöt (SO<sub>2</sub>) Pirkanmaalla vuonna 2008. Päästötiedot ovat ratapihoilla ja rataosilla käytettävistä sähkö- sekä dieselvetureista.

Rataosa- ja ratapihakohtaisia päästötietoja tarkasteltiin myös koko Pirkanmaan alueelta. Rataosuuksista Tampere-Toijala- ja Tampere-Lielähti-väleillä havaittiin suurimmat päästöt ja myös Tampere-Lielähti- ja Tampere-Orivesi-välien kilometrikohtaiset päästöt olivat huomattavia. Vähäisimmät päästöt taas aiheutuivat Oriveden ja Haapamäen sekä Lielahden ja Kokemäen välisillä rataosuuksilla (taulukko 18). Ratapihoista Toijalan ja Tampereen ratapihojen päästötiedot olivat suurimpia (taulukko 19). Tarkemmat rataosakohtaiset päästötiedot vuodelta 2008 on nähtävissä liitteessä 4.

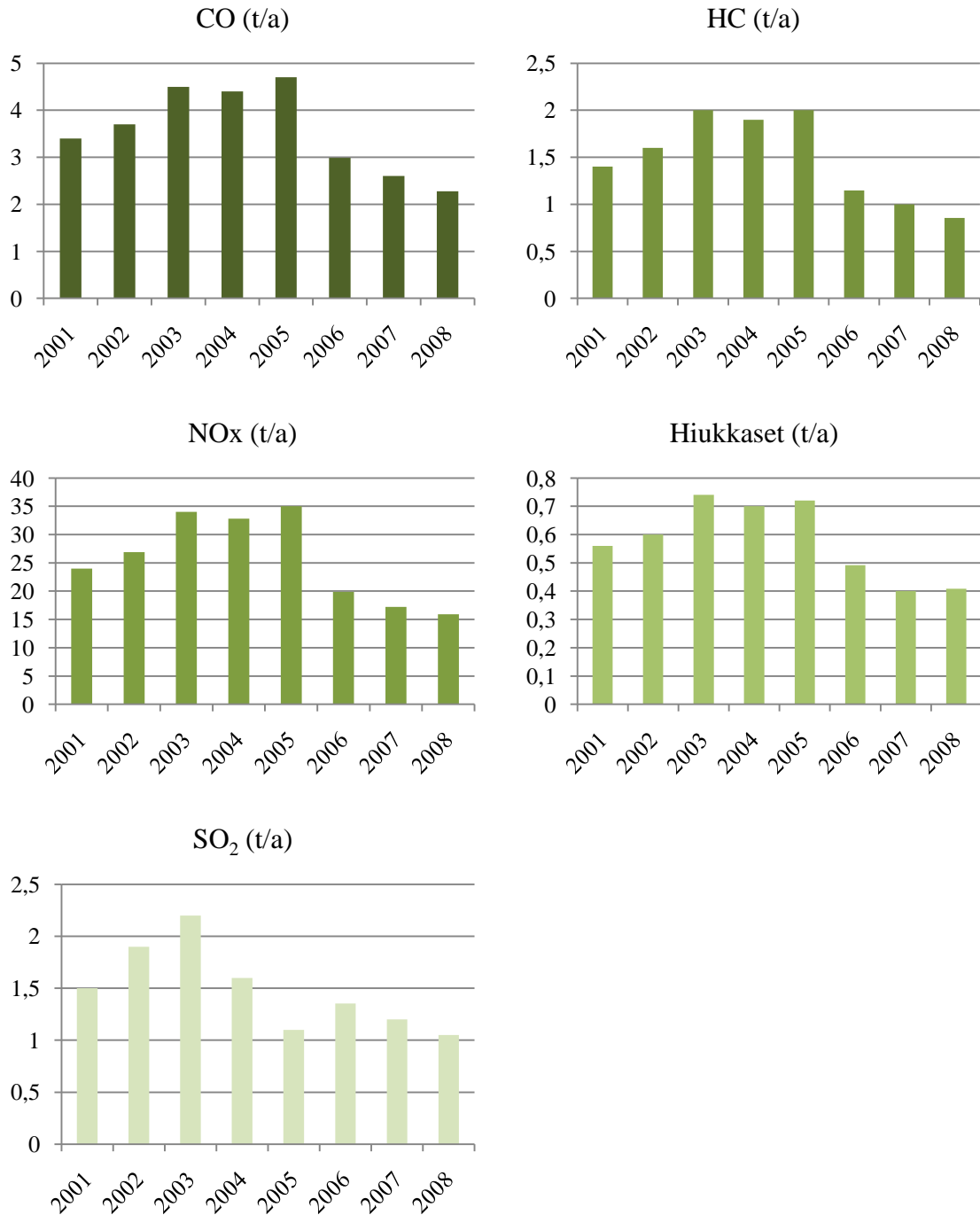
Taulukko 18. Tampere-Lielähti (TPE-LLH), Lielähti-Kokemäki (LLH-KKI), Lielähti-Parkano (LLH-PKO), Tampere-Toijala (TPE-TL), Tampere-Orivesi (TPE-OV) ja Orivesi-Haapamäki (OV-HPK) välisten rataosuuksien kilometrikohtaiset hiilimonoksidin (CO), hiilivedyn (HC), typenoksidin (NO<sub>x</sub>), hiukkasten sekä rikkidioksidin (SO<sub>2</sub>) päästötiedot vuonna 2008.

	Päästö (t/a*km)				
	CO	HC	NO <sub>x</sub>	Hiukkaset	SO <sub>2</sub>
TPE-LLH	0,17	0,05	0,96	0,03	0,12
LLH-KKI	0,05	0,01	0,26	0,01	0,04
LLH-PKO	0,10	0,03	0,54	0,02	0,08
TPE-TL	0,24	0,08	1,40	0,05	0,18
TPE-OV	0,13	0,05	0,91	0,02	0,06
OV-HPK	0,04	0,02	0,34	0,01	0,00

Taulukko 19. Pirkanmaan ratapihojen hiilimonoksidin (CO), hiilivedyn (HC), typenoksidin (NO<sub>x</sub>), hiukkasten sekä rikkidioksidin (SO<sub>2</sub>) päästötiedot vuonna 2008.

	Päästö (t/a)				
	CO	HC	NO <sub>x</sub>	Hiukkaset	SO <sub>2</sub>
Tampere	2,52	1,13	11,92	0,64	$4,3 \times 10^{-3}$
Lielähti	0,04	0,02	0,30	0,01	$7,4 \times 10^{-5}$
Nokia	0,06	0,03	0,50	0,01	$1,2 \times 10^{-4}$
Parkano	0,18	0,09	1,52	0,03	$3,7 \times 10^{-4}$
Toijala	1,24	0,59	10,24	0,17	$2,5 \times 10^{-3}$
Vilppula	0,65	0,31	5,36	0,09	$1,3 \times 10^{-3}$
Ylöjärvi	0,01	0,01	0,11	$1,7 \times 10^{-3}$	$2,5 \times 10^{-5}$

Kuvassa 20 on esitetty diesel- ja sähköjunaliikenteen sekä yksittäisten vetureiden yhteensä lasketut päästöt vuosina 2001 – 2007 Tampereen ja Oriveden välisellä rataosalla. Kuvan mukaisesti raideliikenteen päästömäärät Tampere-Orivesi-välillä ovat olleet nousussa aina vuoteen 2005 asti. Vuodesta 2006 lähtien päästöt ovat kuitenkin kaikkien komponenttien osalta laskeneet. Typen oksidien määrä on vuoden 2005 noin 35 tonnista laskenut vuoden 2008 16 tonniin ja hiilimonoksidipäästöt 4,7 tonnista alle 2,3 tonniin. Rikkidioksidin osalta tarkastelujakson huippuvuosi oli vuosi 2003, jolloin päästömäärät olivat yli 2 tonnia. Vuoden 2008 mennessä päästöt ovat kuitenkin laskeneet 1,1 tonniin.



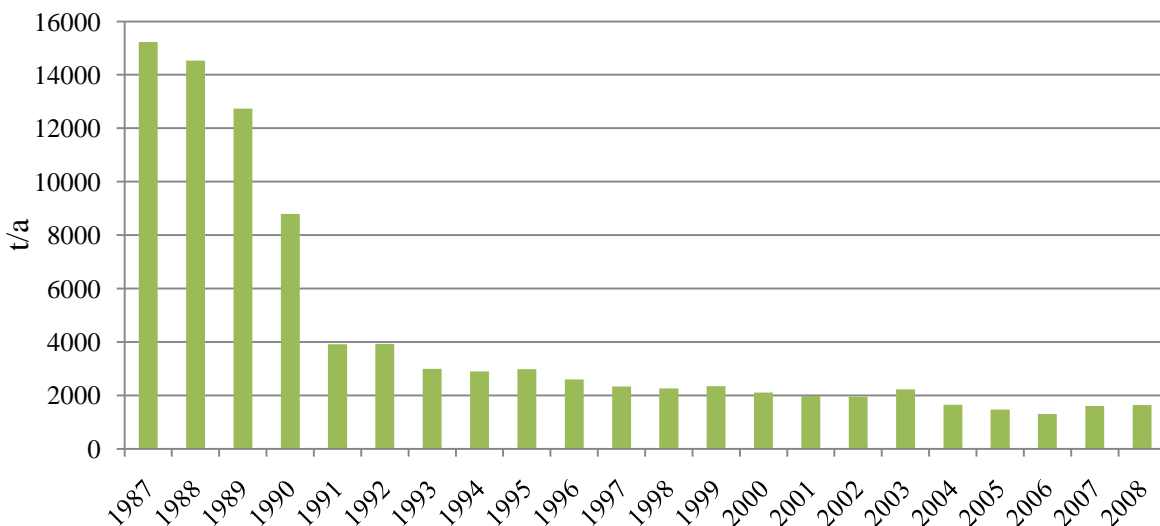
Kuva 20. Raideliikenteen hiilimonoksidin (CO), typen oksidien (NO<sub>x</sub>), hiilivetyjen (HC), hiukkasten ja rikkidioksidin (SO<sub>2</sub>) päästöt (t/a) vuosina 2001 – 2008 ratavälillä Tampere-Orivesi. Päästötiedot laskettuna rataväliltä yhteen suuntaan.

### 6.2.3 Teollisuuden ja energiantuotannon päästöt

Rikkidioksidin osalta päästöjä tarkasteltiin aikavälillä 1987 – 2008, jolloin havaittiin selkeää rikkipäästöjen vähenemisen varsinkin vuosien 1989 ja 1991 välillä (kuva 21). Vuosien -90 ja -91 kaltaista päästömärien laskua ei kuitenkaan enää 2000-luvulla tapahtunut, vaan

päästöt pysyivät likimain samoina. Vuosina 2000 – 2003 päästömäärät pysyttelivät 2000 tonnin molemmin puolin.

Vuonna 2004, samoin kuin vuosina 2007 ja 2008 rikkidioksidipäästöt olivat hieman yli 1500 tonnia ja vuosina 2005 – 2006 alle 1500 tonnia. VAHTI-järjestelmään vuosina 2000 – 2008 raportoineiden laitosten lukumäärät on esitetty taulukossa 20.



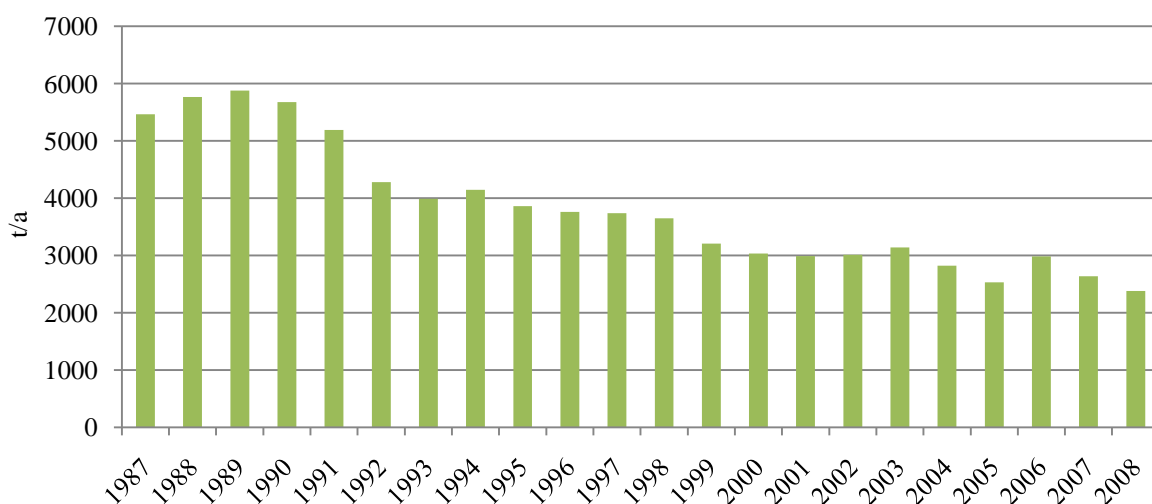
Kuva 21. Teollisuuden ja energiantuotannon rikkidioksidipäästöt Pirkanmaalla vuosina 1987 – 2008.

Liitteessä 5 esitetään kuntakohtaiset teollisuuden ja energiantuotannon päästöt vuosina 2000 – 2008. Liitteen mukaan merkittävimmät rikin oksidien päästöt sijoittuivat runsaasti teollisuutta ja energiantuotantoa harjoittaviin kuntiin Tampereelle, Valkeakoskelle, Mänttä-Vilppulaan ja Sastamalaan. Tampereella ja Valkeakoskella rikkipäästöt olivat noin 400 – 800 tonnia vuodessa, kun taas Mänttä-Vilppulassa päästöt olivat alle 300 tonnia ja Sastamalassa alle 100 tonnia. Myös Ruovedellä teollisuuden ja energiantuotannon päästöt olivat kohtalaisen suuret, keskimäärin 15 tonnia vuodessa.

Typen oksidien päästöjä tarkasteltiin vuosina 1987 – 2008 (kuva 22). Typen oksidien päästöistä raportoineiden laitosten lukumäärät on esitetty taulukossa 20. Kuvasta 22 havaittiin typen oksidien päästöjen vähentyneen vuoden 1989 lähes 6 000 tonnista 2000-luvun alun 3 000 tonniin. Vuosina 2000 – 2008 päästöjen määrät vaihtelivat 3 000 ja 2 400 tonnin välillä. Vuosina 2000 – 2003 typen oksidien päästöt pysyttelivät 3 000 tonnissa, kun taas 2003 – 2005 ja 2006 – 2008 päästöissä havaittiin selvä lasku 3 000 tonnista 2 500 tonniin.



Kuntakohtaiset typen oksidien päästöt (liite 5) ovat olleet korkeimmillaan Tampereella ja Valkeakoskella, molemmissa n. 1 000 tonnia vuodessa, johtuen paperi-, kartonki- ja muusta teollisuudesta sekä energiantuotannon päästöistä. Mänttä-Vilppulassa, Nokialla, Sastamalassa ja Hämeenkyrössä NO<sub>x</sub>-päästöt ovat olleet n. 100 – 200 tonnia vuodessa. Näissä kunnissa päästöjen lähteenä olivat erilaiset teollisuuden alat, kuten metalli- ja paperiteollisuus sekä energiantuotanto. Myös Ikaalisissa ja Virroilla esiintyi jonkin verran, 10 – 40 tonnia vuodessa, typenoksidien päästöjä, jotka olivat Ikaalisissa peräisin kevytbetonia valmistavasta teollisuudesta sekä metalliteollisuudesta. Virroilla suurin typen oksidien lähde on vuodesta 2004 lähtien ollut energiantuotanto, jonka aiemmat päästöt eivät olleet mukana VAHTI-raportoinnissa.

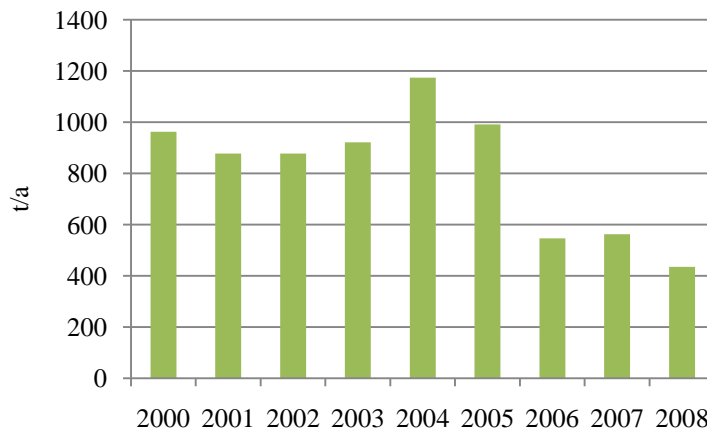


Kuva 22. Teollisuuden ja energiantuotannon typen oksidien päästöt Pirkanmaalla vuosina 1987 – 2008.

Hiukkasten osalta 2000-luvun päästömäärät on esitetty kuvassa 23 ja raportoineiden laitosten lukumäärä taulukossa 20. Vuoteen 2004 asti hiukkasten määrän havaittiin olevan nousussa, mutta tämän jälkeen hiukkaspäästöt laskivat alle 600 tonniin vuodessa. Huippuvuonna 2004 hiukkasia vapautui ilmaan lähes 1 200 tonnia ja vähiten päästöjä oli vuonna 2008, noin 400 tonnia.

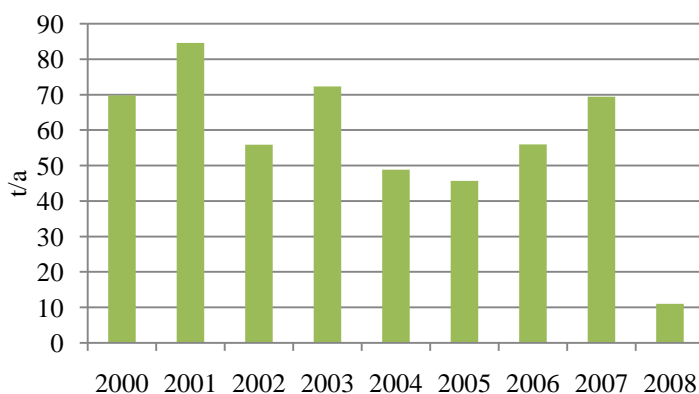
Suurimmat kuntakohtaiset hiukkaspäästöt liitteen 5 mukaan ovat olleet Valkeakoskella, noin 300 – 600 tonnia vuodessa. Tampereella, Ruovedellä, Sastamalassa, Mänttä-Vilppulassa ja Akaassa päästöt olivat noin 10 – 200 tonnia vuodessa. Valkeakosken merkittävänä päästölähteenä on ollut sellu- ja paperitehdas, kun taas muissa kunnissa erilaiset

teollisuudenalat ja energiantuotanto aiheuttivat päästöjä. Hiukkaspäästöjä esiintyi myös Parkanossa jonkin verran, n. 8 tonnia vuodessa, johtuen puuteollisuuden päästöistä.



Kuva 23. Teollisuuden ja energiantuotannon hiukkasten päästömäärät Pirkanmaalla vuosina 2000 – 2008.

Teollisuuden ja energiantuotannon haisevien rikkiyhdisteiden päästöjä tutkittiin aikavälillä 2000 – 2008 (kuva 24). Taulukossa 20 taas on esitetty päästöistään raportoineiden laitosten lukumäärä. Haisevien rikkiyhdisteiden päästömäärät vaihtelivat vuosien 2000 – 2007 välillä 45 – 85 tonnin välillä, kun vuonna 2008 päästöt olivat enää hieman yli 10 tonnia. Kaikki haisevien rikkiyhdisteiden päästöt Pirkanmaalla sijoittuivat Valkeakoskelle (liite 5), jossa päästölähteenä ovat olleet kemikaaleihin ja sellu- sekä paperiteollisuuteen erikoistuneet laitokset.



Kuva 24. Teollisuuden ja energiantuotannon haisevien rikkiyhdisteiden päästömäärät vuosina 2000 – 2008 Pirkanmaalla.

Taulukko 20. Rikkidioksidin (SO<sub>2</sub>), typen oksidien (NO<sub>x</sub>), hiukkasten sekä haisevien rikkijyhdisteiden (TRS) päästöistä VAHTI-järjestelmään raportoineiden laitosten lukumäärät.

	Laitosten lukumäärä (kpl)								
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
SO <sub>2</sub>	44	37	36	33	34	33	35	35	23
NO <sub>x</sub>	53	48	46	45	50	56	54	57	40
Hiukkaset	48	44	42	41	43	40	44	39	32
TRS	2	3	2	2	1	1	1	1	1

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden, metaania lukuun ottamatta, päästöjä tutkittiin myös vuosina 2000 – 2008. VAHTI-järjestelmään raportoineiden ympäristölupapalveluisten laitosten päästöissä oli kuitenkin hyvin suuria vaihteluja ja epäselvyyksiä, minkä vuoksi NMVOC-yhdisteiden päästömääriä ei tässä esitetä kuvaajan muodossa. VAHTI-järjestelmän mukaiset puutteelliset päästötiedot vuosilta 2000 – 2008 ovat näkyvissä liitteessä 5. Liitteen avulla voidaan ainakin suurpiirteisesti tarkastella sitä, millaisista lähteistä ja millä Pirkanmaan alueilla haihtuvien hiilivetyjen päästöjä muodostui.

Liitteen 5 mukaan suurimmat haihtuvien orgaanisten yhdisteiden päästöt olivat vuonna 2000 Tampereella, jossa painoteollisuuden päästöt olivat noin 3 000 tonnia. Päästöt kuitenkin laskivat, ja vuosina 2001 – 2008 suurimmat NMVOC-päästöt olivat Tampereella, Sastamalassa (yli 300 tonnia vuodessa), Nokialla ja Valkeakoskella (60 – 150 tonnia vuodessa) ja Mänttä-Vilppulassa, jossa päästöt olivat vuosittain noin 10 – 25 tonnia. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden päästöjä vapautui eri kunnissa ilmaan mm. muovi- ja kumiteollisuudesta, kemikaali-, metalli- ja puuteollisuudesta sekä energiantuotannosta.

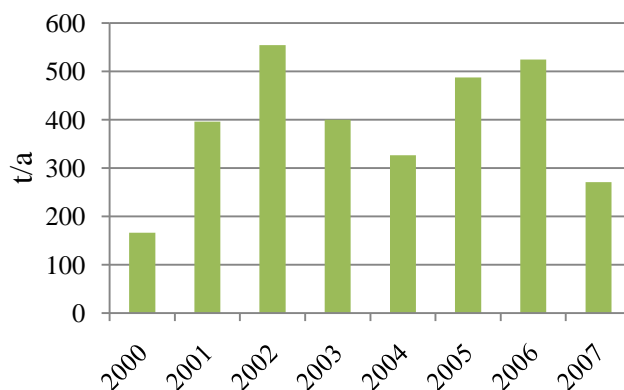
Hiilimonoksidipäästöjen osalta koko Pirkanmaan kattavia tietoja ei myöskään esitetä. Hiilimonoksidin osalta kuntakohtaisten päästötietojen (liite 5) mukaan ainoastaan Tampereella hiilimonoksidin päästöjä on esiintynyt vuosittain koko tarkastellun ajanjakson, vuosien 2000 ja 2008 välisen ajan. Päästöjen määrä on pysynyt 400 – 700 tonnin välillä ja pääasiallisena päästölähteenä on ollut energiantuotanto. Vuosina 2000 ja 2001 hiilimonoksidipäästöt Kangasalla olivat noin 85 tonnia vuodessa johtuen valimoteollisuuden päästöistä. Hämeenkyrössä päästöjen aiheuttajana oli kartonkitehdas. Liitteessä 5 esitetyistä 2000-luvun kuntakohtaisista päästöistä Valkeakosken viskoosikuitutehtaan virheelliset päästömäärät on poistettu, jotta epäselvyyksiä päästöistä ei syntyisi.

Metallipäästöjen muutoksista 2000-luvulla ei myöskään esitetä tarkempia kuvauksia. Liitteessä 5 on esitetty metallien osalta kuntakohtaiset päästötiedot 2000-luvulta, joskin päästömäärät eivät välttämättä vastaa todellisia päästöjä eikä kuntien luvittamia laitoksia oletettu huomioon. Akaan kunnan metallipäästöt aiheutuivat vaneritehtaan energiantuotannosta. Hämeenkyrön päästöjen aiheuttajana on ollut kartonkitehtaan energiantuotanto, kun taas Ikaalisissa ja Kangasalla metallisulatto ja metallivalimo ovat olleet päästöjen lähteinä. Mänttä-Vilppulan ja Nokian metallipäästöt olivat lähtöisin yksinomaan energiantuotannosta. Pirkkalassa, Sastamalassa ja Ruovedellä metalliteollisuus on aiheuttanut päästöjä ja Ruovedellä osa päästöistä oli peräisin myös puuteollisuuden energiantuotannosta.

Tampereella ja Valkeakoskella metallipäästöjen lähteitä oli muista kunnista poiketen useampia. Päästöjä aiheuttavaa teollisuutta olivat metalli- ja valimoteollisuus sekä energiantuotanto.

#### 6.2.4 Maatalouden päästöt

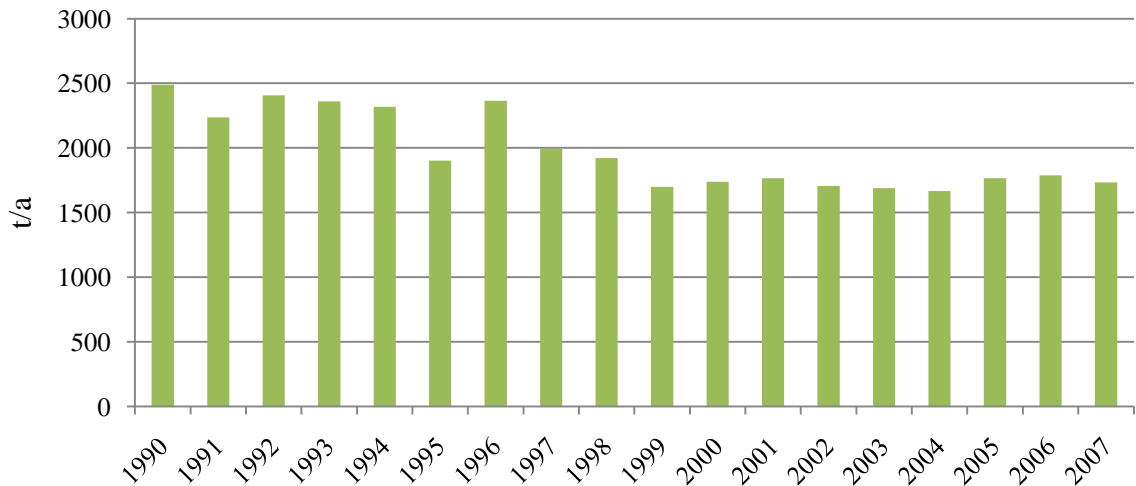
Maatalouden päästöistä tarkasteltiin ammoniakkin ja ammoniumin yhteenlaskettua päästö määrää sekä hiukkasten päästöjä. Hiukkasten tarkastelujaksona olivat vuodet 2000 – 2007 (kuva 25) ja ammoniakkin sekä ammoniumin tarkastelujaksona vuodet 1990 – 2007 (kuva 26).



Kuva 25. Maatalouden hiukkaspäästöt vuosina 2000 – 2007 Pirkanmaalla.

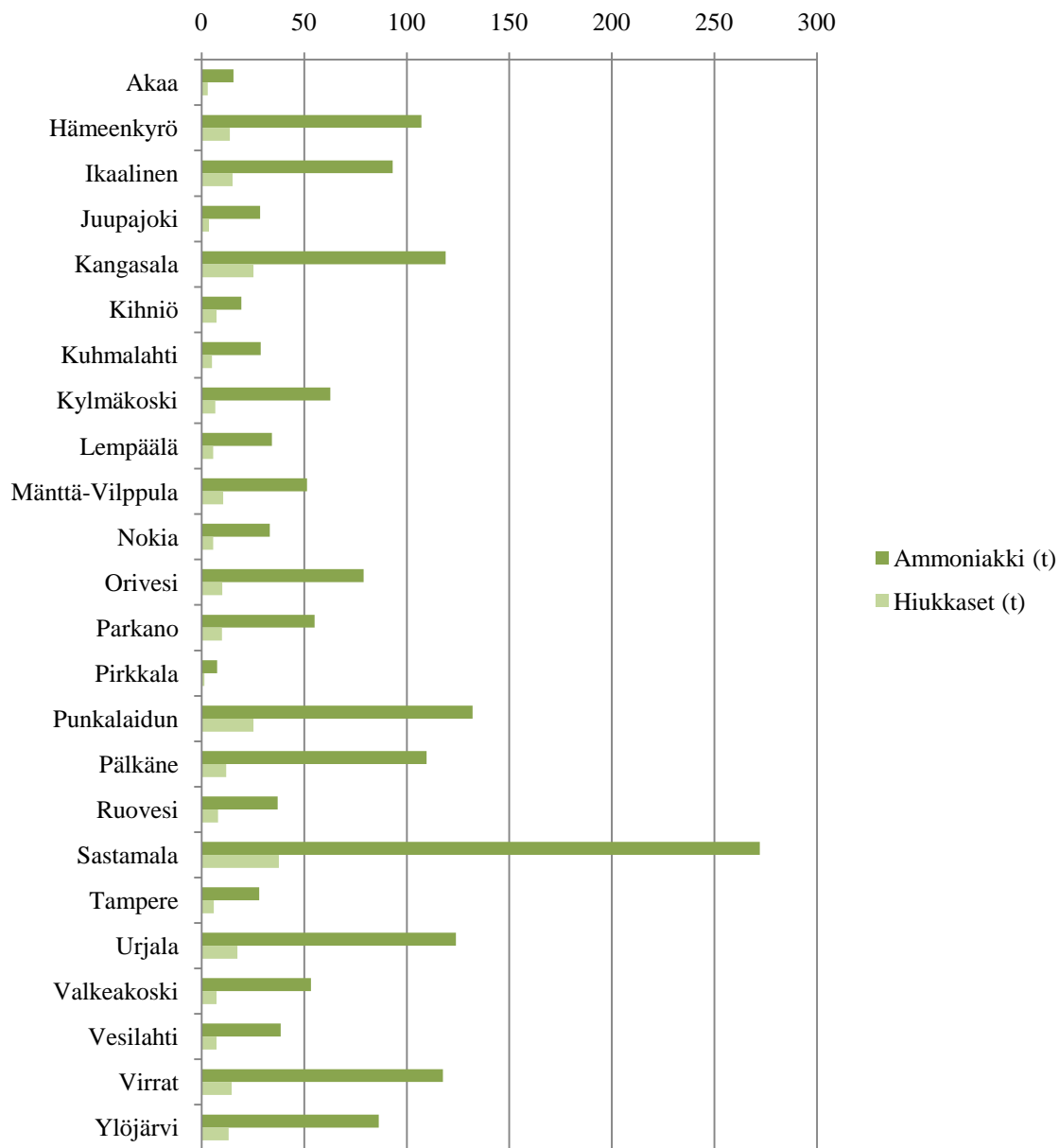
Hiukkasten päästöt maataloudesta ovat IPTJ:n mukaan pääosin peräisin eläinsuojista, varsinkin broileritiloilta. Osa päästöistä aiheutuu myös lannoitetuista viljelmistä ja viljelykasveista. Vuosina 2000 – 2007 hiukkaspäästöt ovat vaihdelleet runsaasti (kuva 25). Vuoteen 2002 saakka päästöt nousivat 550 tonniin, kun taas vuosina 2003 ja 2004 hiukkaspäästöjen määrä väheni lähes 300 tonniin. Päästöt kasvoivat vuosina 2005 ja 2006 hieman yli 500 tonniin, mutta laskivat taas vuonna 2007 alle 300 tonniin.

Kuvan 26 mukaan ammoniakkipäästöt ovat vähentyneet vuodesta 1990 vuoteen 2007. Vuonna 1990 päästömäärä oli 2 500 tonnia, vuonna 1996 2 300 tonnia ja vuonna 2007 enää 1 700 tonnia. Maatalouden ammoniakki- ja ammoniumionipäästöt aiheutuivat IPTJ:n mukaan suureksi osaksi lannan käsittelystä, mutta myös lannoitetut viljelmät, viljelykasvit, kasvijätteen poltto ja kulotus muodostivat tyypillisiä päästöjä.



Kuva 26. Maatalouden ammoniakki- ( $\text{NH}_3$ ) ja ammoniumionipäästöt ( $\text{NH}_4$ ) Pirkanmaalla vuosina 1990 – 2007.

Kuvassa 27 on esitetty ammoniakin ja hiukkasten päästöt kunnittain vuonna 2007. Suurimmat yli 100 tonnin ammoniakkipäästöt aiheutuivat Hämeenkyrössä, Kangasalla, Punkalaitumella, Pälkäneellä, Sastamalassa, Urjalassa ja Virroilla. Suurimmat hiukkaspäästöt taas ilmenivät Sastamalassa, Punkalaitumella, Kangasalla ja Urjalassa. Pienimmät ammoniakki- ja hiukkaspäästöt olivat vuonna 2007 Akaassa ja Pirkkalassa.



Kuva 27. Pirkanmaan kuntien maatalouden ammoniakki- ja hiukkaspäästöt vuonna 2007.

## 7 TULOSTEN TARKASTELU

### 7.1 Mittaukset, leviämismallit ja bioindikaattorikartoitukset

Pirkanmaalla aiemmin suoritetuja tutkimuksia selvitetessä havaittiin että bioindikaattorikartoituksia on tehty lähes jokaisessa Pirkanmaan kunnassa, ja ainoastaan Ikaalisten, Kihniön, Parkanon ja Punkalaitumen tilanteesta ei ollut tietoa saatavilla. Entiseen Hämeen lääniin kuuluneiden kuntien osalta on niiden oletettu osallistuneen Hämeen mäntymetsien neulas- ja maaperäkartoitukseen, jos varmaa tietoa ei kunnista saatu. Perus- tai esiselvityksiä on tehty useissa kunnissa 1980- ja 1990-luvuilla. Leviämismallien avulla tehtyjä kartoituksia taas on tehty vähemmän, enimmäkseen teollisuuslaitosten toimesta teollisuuspaikkakunnilla. Myös hajututkimuksia on tehty muutamissa kohteissa, kuten Kangasalla sijaitsevalla broileritilalla, Nokian kaupunkialueella kumiteollisuuden hajuista, Tampereella teollisuus- ja jätteenkäsittelyalueilla sekä Valkeakoskella teollisuuden hajuista.

Ilmanlaadun tarkkailu on ollut toiminnassa aiemmin Mäntässä, Tampereella ja Valkeakoskella. Sekä Tampereella että Valkeakoskella mittaukset jatkuvat edelleen, kun taas Mäntässä ilmanlaadun tarkkailu lopetettiin vuonna 1992 ympäristöviranomaisen päätöksellä alhaisten pitoisuuksien vuoksi tarpeettomana. Esimerkiksi rikkidioksidin tuntipitoisuudet olivat alle  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , kun niiden ohjearvo valtioneuvoston päätöksen 480/1996 mukaan on  $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Uusien ilmanlaatuun liittyvien tutkimusten osalta tarkoituksena oli saada tietoa siitä, ovatko kunnat halukkaita suorittamaan uusia bioindikaattorikartoituksia, pidetäänkö niitä tarpeellisena, ja ovatko kunnat kiinnostuneita aloittamaan tai jatkamaan ilmanlaadun tarkkailua. 17:sta kyselyyn vastanneesta kunnasta vain kuudessa uusia ilmanlaatuututkimuksia pidettiin tarpeellisina. Koska tämä on vain hyvin pieni osa Pirkanmaan kunnista, eikä kaikista kunnista vastausta edes saatu, ei uusien ilmanlaatuututkimusten toteuttamista tule perustaa tälle kyselylle.

Liikenne nostettiin merkittävimmäksi päästölähteeksi suuremmissa kaupungeissa, esimerkiksi Lempäälässä, Pirkkalassa ja Ylöjärvellä. Kuitenkin Tampereen arvion mukaan kaupungin merkittävimpanä päästölähteenä on energiantuotanto. Pienemmät kunnat nostivat sekä energiantuotannon että liikenteen merkittävimmiksi päästölähteikseen, Hämeenkyrö ja Vesilahti mainitsivat myös tärkeänä lähteenä kotitalouksien lämmityksen. Koska suuremmissa kunnissa liikennesuorite on huomattavasti merkittävämpää kuin pienemmissä

kunnissa, on selvää että liikenteen osuus kunnan päästöistä on keskeisempi kuin energiantuotannon. Tampereella taas ylivoimaisesti suurimman asukasluvun vuoksi energiantuotannosta aiheutuvat päästöt ovat merkittäviä.

Missään vastauksista ei kuitenkaan mainittu esimerkiksi maataloutta tai turvetuotantoa merkittävimpänä päästöjen aiheuttajana. Tämä voi johtua myös huonosta kysymyksen asetelusta, jossa esimerkkivaihtoehtoina esitettiin ainoastaan energiantuotanto, liikenne ja teollisuus. Kuitenkin muutamissa vastauksista nostettiin esimerkkien ulkopuolelta esiin sekä katupöly että kiinteistöjen lämmitys.

## **7.2 Päästöt Pirkanmaalla**

### **7.2.1 Tie- ja raideliikenteen päästöt**

Tieliikenteen päästötarkasteluissa erityisesti rikkipäästöjen havaittiin laskeneen, mikä on johtunut rikittömän polttoaineen lisääntyneestä käytöstä. Rikittömän polttoaineen käyttöönottoa ovat tukeneet mm. lakimuutokset. Typen oksidien, hiilimonoksidin ja hiilivetyjen määrän pieneneminen taas on johtunut katalysaattoreiden käytöstä autoissa. Vaikka katalysaattoreiden tulo uusiin autoihin on ollut EU-lainsäädännön mukaista jo vuodesta 1991, on Suomen hidas autokannan uudistuminen vaikuttanut katalysaattoreiden käyttöönoton viivästytykseen. Myös moottorien ja polttoaineiden kehittyminen lainsäädännön edellyttämällä tavalla on vaikuttanut päästömääriin. Huomattavaa on myös, että huolimatta polttoaineen kulutuksen lisääntymisestä, liikenteestä aiheutuvien päästöjen määrä on vähentynyt. Kuitenkin vuosina 2004 – 2007 tapahtunut polttoaineenkulutuksen nousu 340 000 tonnista lähes 360 000 tonniin on hidastanut päästömäärien laskua.

Ajoneuvotilaston ajoneuvojen yhteenlasketun määrän muutokset selittyivät muiden ajoneuvoluokkien, kuten paketti- ja kuorma-autojen, moottoripyörien, kolmi- ja nelipyörien sekä traktoreiden, määrän voimakkaalla kasvulla. On kuitenkin huomioitava, että ajoneuvokantaan on laskettu mukaan myös esimerkiksi itsessään päästöttömien perävaunujen lukumäärät.

Ajoneuvosuoritteiden tarkastelussa havaittiin suoritteiden kasvaneen vuodesta 2001 vuoteen 2007, ja suurimmat vuosittaiset ajokilometrimäärät ajettiin tarkastelun mukaan Tampereella sekä Tampereen seutukunnissa. Liikennesuoritteiden havaittiin myös seuraavan Tilastokeskuksen kuntaluokitusta, kun suurimmat ajokilometrimäärät Pirkanmaalla kerty-



vät kaupunkimaisissa kunnissa ja pienemmät suoritteet taas taajaan asutuissa tai maaseutumaisissa kunnissa.

Raideliikenteen päästöjen rataosakohtaisessa tarkastelussa suurimmat päästömäärät havaittiin Tampereen ja Toijalan välisellä rataosuudella, mutta myös Tampereen ja Lielahden sekä Tampereen ja Oriveden välisillä rataosuuksilla päästömäärät olivat kohtuullisen suuria. Tämä johtuu rataosien vilkkaasta liikenteestä, joka sisältää liikennöintiä sekä sähköettä dieselkäyttöisillä junilla. Vähäpäästöisillä rataosuuksilla, esimerkiksi Oriveden ja Haapamäen välillä liikennöintiä on vähemmän ja se tapahtuu ainoastaan dieselkäyttöisillä vetureilla. Ratapihojen päästöt taas vastasivat rataosuuksien päästötietoja, ja suurimmat ratapihakohtaiset päästöt havaittiin Toijalassa ja Tampereella. Ratapihakohtaiset rikkidioksidipäästöt olivat kuitenkin kaikilla ratapihoilla alhaiset johtuen dieselpolttoaineen alhaisesta rikkipitoisuudesta.

Raideliikenteen polttonesteen kulutuksen havaittiin vähentyneen koko Suomessa 2000-luvulla, mikä on johtunut dieselveturien käytön vähenemisestä. Tämä on vaikuttanut päästömäärien pienenemiseen, ja samalla dieselpolttoaineen yhä tiukemmat päästörajat ovat vaikuttaneet rikkidioksidipäästöjen vähenemiseen. Koska suurin osa tavaraliikenteestä kulkee dieselkäyttöisellä kalustolla, on se hyvin riippuvainen metsä-, metalli- ja kemianteollisuuden taloudellisesta tilanteesta sekä ulkomaankaupasta. Dieselveturien vaihtaminen sähkökäyttöisiin on kuitenkin ongelmallista, koska suurin osa tavaraliikenteen liikennöimistä rataosuuksista on sähköistämättömiä. Primääri- ja sähköenergian kulutus taas on lisääntynyt johtuen lisääntyneestä sähköveturien käytöstä, mikä on osaltaan myös pienentänyt aiheutuvia päästöjä. Sähköisen liikenteen päästöt olivatkin kolmasosan dieseliä käyttävän liikenteen päästöistä vuonna 2008. Sähköenergian päästöjen koostumus kuitenkin vaihtelee suuresti sen mukaan mitä sähköntuotantotapaa ja energianlähdettä on käytetty. VR on kuitenkin 1.1.2009 siirtynyt ainoastaan vesivoimalla tuotetun sähköenergian käyttöön, joten jatkossa sähköisen raideliikenteen päästöt ovat merkittävästi vähenemässä (VR 2008).

### 7.2.2 Teollisuuden ja energiantuotannon päästöt

Teollisuuden ja energiantuotannon vuosille 1987 – 2008 ulottuvassa tarkastelussa rikkipäästöjen osalta havaittiin voimakas lasku päästömäärissä 90-luvulle siirryttäessä. Tämä on johtunut suurimmaksi osaksi polttoaineiden ja polttotekniikoiden muutoksista energiantuotannossa, mm. maakaasun käytöstä, ja savukaasujen puhdistustekniikoiden kehittymisestä niin energiantuotannossa kuin teollisuudessakin. Myös teollisuudessa 1990-luvun laman

seurauksena tapahtunut rakennemuutos on vaikuttanut päästöihin. Vuonna 2003 tapahtunut nousu päästötiedoissa on kuitenkin todennäköisesti johtunut viskoosikuitutehtaan normaalia suuremmista päästöistä.

VAHTI-järjestelmään vuosina 2000 – 2008 raportoineiden laitosten lukumääriä kuvaavasta taulukosta havaittiin raportoineiden laitosten määrän lähes puolittuessa rikkidioksidipäästöjen pienentyvän vain noin neljäsosan, jolloin päästömäärät eivät olleet täysin riippuvaisia niitä tuottavien laitosten lukumäärästä. Liitteen 5 mukaisissa tiedoissa Virroilla vuosina 2007 ja 2008 havaittu energiantuotannon rikkidioksidipäästöissä tapahtunut nousu alle 5 tonnista 500 tonniin vuodessa johtui todennäköisesti virheestä VAHTI-järjestelmään ilmoitetuissa tiedoissa.

Rikkidioksidin tapaan typen oksidien päästöt olivat 80-luvulta lähtien laskeneet, tosin loivemmin. Myös typen oksidien kohdalla syynä päästömäärien laskuun ovat olleet polttoainoiden, poltto- sekä puhdistustekniikoiden kehitys. Typen oksidien päästöjen vaihtelu vuosina 1987 – 2008 aiheutui energiantuotannon ja paperi- sekä sellutuotannon päästöjen vaihteluista. Kun päästöjä verrattiin niistä raportoineiden laitosten lukumääriin, ei laitosten lukumäärällä ja päästöjen määrän lisääntymisellä havaittu olevan yhteyttä. Esimerkiksi vuonna 2003 havaittiin 2000-luvun suurimmat typen oksidien päästöt, mutta laitoksia oli ainoastaan 45, mikä on kahdeksan vuoden aikana toiseksi vähäisin laitosmäärä.

Hiukkasten osalta 2000-luvulla tarkastellut päästömäärät eivät osoittaneet selvää laskua, vaan hiukkaspäästöissä havaittiin vaihtelua. Päästöjen vaihtelun aiheuttivat sellu- ja paperiteollisuuden päästömäärissä tapahtuneet muutokset. Myöskään hiukkasten osalta laitosten määrä ei määritellyt päästöjen suuruutta, vaan esimerkiksi kahden laitoksen tuleminen mukaan raportointiin saattoi joko lisätä tai vähentää päästöjä.

Myös haisevien rikkiyhdisteiden osalta päästöissä havaittiin suurta vaihtelua, vaikka koko Pirkanmaan TRS-päästöt ovat sijoittuneet yhteen kuntaan, Valkeakoskelle. Vuonna 2008 tapahtunut päästöjen lasku on kuitenkin johtunut tuotannon seisokeista laitoksen meesauunissa sekä uunin kapasiteetin alenemisesta.

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden päästömääriä ei tässä tutkimuksessa esitetty, koska tuloksissa esiintyi liian suuria vaihteluita. Syynä päästömäärien vaihteluille olivat NMVOC-yhdisteiden puutteellinen raportointi laitoksilla, mikä johtui siitä, ettei laitoksille ole ympäristöluvassa välttämättä määrätty velvoitetta NMVOC:n raportointiin. Ongelmana

myös oli se, että joillain laitoksilla haihtuvia hiilivetyjä voitiin sisällyttää myös hiilivetyjen (HC) raportointiin.

Hiilimonoksidipäästöjen osalta tietoja ei myöskään esitetty, johtuen sekä raportointivelvoitteiden puuttumisesta laitoksilla että epäselvyyksistä päästömäärissä. Epäselvyydet päästöissä ilmenivät erittäin suurina vuosipäästöinä Valkeakoskella sijaitsevasta laitoksesta, josta laitoksen lopettamisen vuoksi ei oikeita päästötietoja kuitenkaan voitu enää selvittää.

Myöskään metallien päästötietojen osalta tuloksia ei esitetty johtuen laitosten erilaisista raportointivelvoitteista. Metallipäästöjen raportointien osalta VAHTI-järjestelmässä oli myös puutteita, koska kaikki laitokset eivät aina raportoineet tietojaan ajallaan.

### 7.2.3 Maatalouden päästöt

Maatalouden osuus Suomen ja koko Euroopan ammoniakkipäästöistä on yli 90 % (Grönroos ym. 1998, Erisman, ym. 2008). Päästöjen tasainen väheneminen Pirkanmaalla on johtunut eläinmäärien pienenemisestä, mutta alueellisesti päästömäärät saattavat nousta suurien yksiköiden perustamisen seurauksena (Mikkola ym. 2002). Ammoniakkipäästöjen pieneneminen näkyy yleensä myös vesistöjen ja maaperän kuormituksen vähenemisenä lähi-alueilla. Hiukkaspäästöjen osalta päästömäärien muutoksien syinä taas voidaan pitää maataloudessa käytettävien eläinsuojien määrän ja viljeltävän pinta-alan vaihteluita.

Suurimmat kunnittaiset ammoniakkipäästöt havaittiin Hämeenkyrössä, Kangasalla, Punkalaitumella, Pälkäneellä, Sastamalassa, Urjalassa ja Virroilla. Suurimmat hiukkaspäästöt taas ilmenivät Sastamalassa, Punkalaitumella, Kangasalla ja Urjalassa. Pienimmät ammoniakki- ja hiukkaspäästöt olivat vuonna 2007 Akaassa ja Pirkkalassa. Kun verrataan näitä tietoja Tilastokeskuksen kuntajakoon, huomataan maataloudesta aiheutuvien päästöjen olevan suurimmat maaseutumaisissa ja taajaan asutuissa kunnissa ja pienimmät kaupunkimaisissa kunnissa.

## 7.3 Innovaatiot Pirkanmaalla

Pirkanmaalaisista ilmanlaatuun tai sen tutkimukseen liittyvistä innovaatioista tarkasteltiin kahta kohdetta, hiukkasanalysointilaitetta valmistavaa Dekati Oy:tä sekä Sastamalassa sijaitsevaa Äetsän vetykylähanketta. Nämä hankkeet ovat vaikuttaneet positiivisesti ilmanlaatuun.

dun ja puhtaampien teknologioiden kehityksessä niin Suomessa kuin maailmanlaajuisesti-kin ja tuoneet uudet innovaatiot konkreettisesti myös lähelle kuluttajia.

Dekati on Tampereen Messukylässä sijaitseva yritys, joka valmistaa pienhiukkasten mittauslaitteita sekä aerosolien tutkimukseen erikoistuneita laitteita. Laitteiden käyttökohteina ovat esimerkiksi polttoprosessien tutkimus, ilmanlaadun mittaus, materiaalien prosessointi sekä farmasiaan ja turvallisuuteen liittyvät sovellukset. Laitteita käytetään ympäri maailmaa ja pienhiukkasten mittaukseen suunniteltu ELPI-mittalaite onkin yrityksen tunnetuksi tehnyt innovaatio. ELPI-analysointilaitteita kehitettiin Tampereen teknillisen yliopiston aerosolifysiikan laboratoriossa, josta se kaupallistettiin Dekati-yrityksen voimin 90-luvun alkupuolella (Dekati 2009).

Äetsän vetykylä -hanke on Sastamalan kaupungissa toimiva projekti, jonka tarkoituksena on tutkia teollisuuden ylijäämänä syntyvän vedyn hyötykäyttömahdollisuuksia. Hankkeessa ovat mukana Pirkanmaan, Satakunnan ja Etelä-Pohjanmaan maakunnat, muutamat kunnat sekä yritykset, joiden tuella hanketta rahoitetaan. Hankkeen tutkimuskohteena oleva vety saadaan klooraattia tuottavan kemikaalitehtaan sivutuotteena. Tavoitteena on edistää vetyteknologiaa, sen tutkimusta ja liiketoimintaa sekä parantaa yritysten toimintaedellytyksiä vetyteknologioiden parissa. Mukana tutkimuksessa ovat mm. VTT ja Tampereen teknillinen yliopisto. Tutkittavia kohteita ovat vedyn tuotantoon ja varastointiin liittyvät seikat, polttoaineena käytettävän vedyn kuljetus ja tankkausjärjestelmät sekä polttokennoteknologia. Tarkoituksena on toteuttaa pilot-mittakaavassa materiaalien tutkimusta sekä testaus- ja analyysipalveluja. Vetykylässä myös sijaitsee pienajoneuvojen tankkauspiste sekä pientaloja, joissa sähköä ja lämpöä tuotetaan vedystä (Prizztech 2007).

## **8 ILMANLAADUN PARANTAMINEN JA SEURANNAN KEHITTÄMINEN PIRKANMAALLA**

Ilmanlaadun parantamiseksi sekä sen seurannan kehittämiseksi on Pirkanmaalla tehtävä erilaisia toimenpiteitä. Toimijoina ilmanlaadun kehittämisessä ovat niin valtionhallinto, kunnat, teollisuus kuin asukkaatkin ja kehittämiskohteina ilmanlaadun seuranta ja mittaus, liikenteen päästöt ja katupöly, pienpoltto sekä maatalous ja turvetuotanto. Seuraavissa kappaleissa on käsitelty sekä Pirkanmaan ilmanlaadun seurannan ja kehittämisen ongelmakohtia että ratkaisuja näihin ongelmiin niin koko Suomen kuin Pirkanmaankin tasolla.

### **8.1 Ilmanlaadun ongelmakohdat Pirkanmaalla**

Ongelmakohtana Pirkanmaan ilmanlaadun tarkkailussa on tällä hetkellä tutkimusten vähäinen määrä. Mittausasemat ovat sijoittuneet suurimpiin päästokeskittyymiin Tampereelle ja Valkeakoskelle sekä maatalousvaltaiseen kohteeseen Helsingin yliopiston tutkimusasemalle Juupajoelle. Myöskään ilmanlaadun muita laajempia tutkimuksia, kuten bioindikaattorikartoituksia, ei ole viime vuosina tehty. Yhä enemmän tosin on selvitetty esimerkiksi yksittäisten laitosten tai liikenteen aiheuttamia päästöjä leviämismallilaskelmien avulla. Koska ilmanlaadun seuranta vaatii kallista mittausnäyttöä, olisivat bioindikaattoritutkimukset edullisempi vaihtoehto, joilla myös voitaisiin kartoittaa lisäseurannan tarvetta Pirkanmaalla.

Bioindikaattorikartoitusten sekä mittausten toteutuminen kuitenkin riippuu ilmanlaadun toimijoista, kuten ympäristökeskuksista, kunnista sekä teollisuudesta. Kunnissa ja valtiolla ilmansuojelun edistämistä estävät mittavat säästötoimet, joiden mukana työntekijät ja resurssit vähenevät. Teollisuuden osalta taas laitosten väheneminen ja toisaalta myös siirtyminen ulkomaille vähentävät ilmanlaadun tutkimuksen rahoittajia. Toisin sanoen, ennen kuin ilmanlaadun tutkimusta Pirkanmaalla voidaan edistää, täytyy sen vaatimat rahoitus- ja henkilöstöongelmat ratkaista.

Tällä hetkellä ilmanlaadun mittausten osalta ongelmana ovat esimerkiksi haihtuvien hiilivetyjen sekä metallien tutkimuksen vähäisyys. Ympäristölupavelvollisten laitosten mittausnäiden yhdisteiden osalta on riippuvainen luvan määräyksistä eikä kattavaa mittausverkostoa ole. Haihtuvien hiilivetyjen osalta ongelmana on liikenteen ja energiantuotannon päästöjen yhdistämisen vaikeus mittauksissa, koska mitattavia yhdisteluokkia voivat olla esimerkiksi VOC:t, NMVOC:t, PAH:t tai hiilivedyt. Tällä hetkellä hiilivedyt eivät myöskään

kuulu Tampereella tai Valkeakoskella ilmanlaadun yhteistarkkailun mitattaviin komponentteihin. Myös mittauslaitteiden ja -menetelmien saatavuus on vielä tällä hetkellä melko heikkoa. Haihtuvien hiilivetyjen mittaustarpeen suunnittelemiseksi esimerkiksi päästökartoitukset olisivat tärkeitä apuvälineitä.

### 8.1.1 Liikenne

Pirkanmaan kuntien ympäristöviranomaisille suunnatun kyselyn mukaan kuntien merkittävimiksi päästölähteiksi valittiin energiantuotanto sekä liikenne. Energiantuotannon osuus päästöistä on tällä hetkellä merkittävä, mutta ehkä tärkeämmäksi päästölähteeksi tulevaisuudessa voidaan kuitenkin nostaa liikenne. Liikenteen määrä ja polttoaineenkulutus Pirkanmaalla on lisääntynyt, mikä on hidastanut liikenteen päästöjen määrän laskua. Kaupunkien, varsinkin Tampereen seudun, kasvun sekä matkojen pituuden lisääntymisen seurauksena myös liikennemäärät kasvavat. Tästä on seurauksena merkittäviä päästöjä runsaasti liikennöidyillä tie- ja katuosuuksilla, mikä taas asettaa haasteita kaavoitukselle ja tiesuunnittelulle terveyshaittojen ehkäisemiseksi. Tieliikenteen osalta ongelmallisia ovat kahdessa paikassa syntyvät päästöt, kun sekä ajoneuvojen moottorien polttoprosesseissa (Gaffney & Marley 2009) että renkaiden ja tien sekä hiekoitushiekan kontaktissa syntyy päästöjä (Kupiainen 2007).

### 8.1.2 Pienpoltto ja energiantuotanto

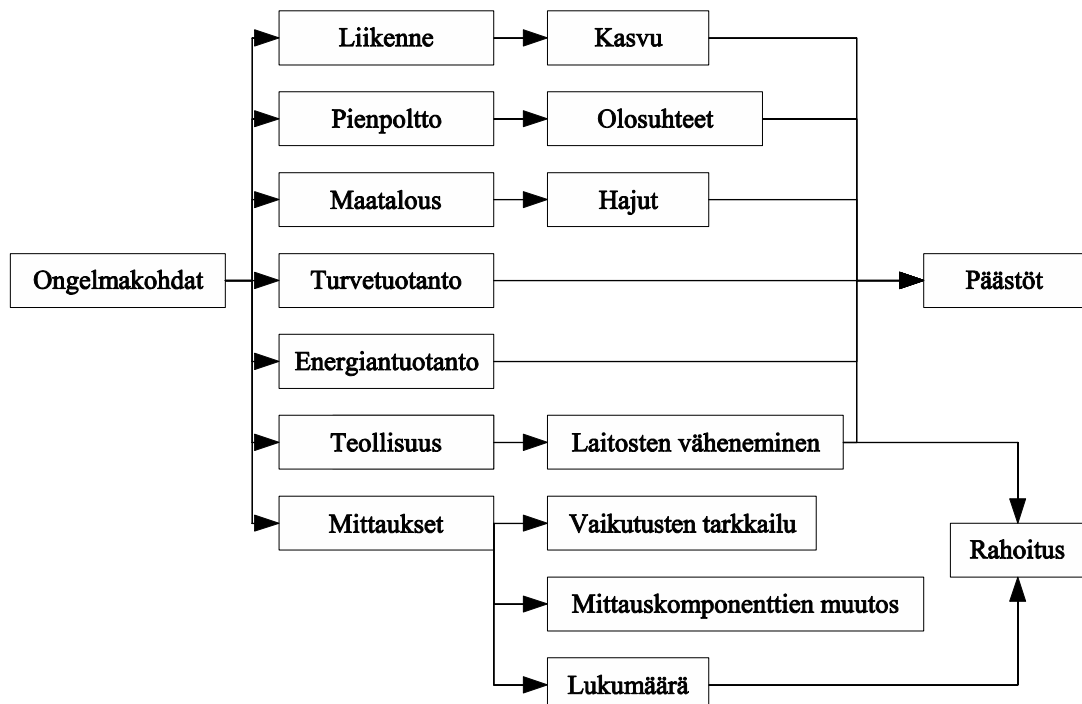
Pienpolton päästöjen tutkimus on viime vuosina lisääntynyt. Pienpolttoon kuuluu sekä lämmitys puilla että pelletti- tai esimerkiksi öljylämmitys kotitalouksissa, jolloin savukaasuja ei yleensä puhdisteta. Ongelmallisinta pienpoltto on tiheään asutuilla taajama-alueilla, joissa sitä käytetään runsaasti varsinkin talviaikaan (Haaparanta ym. 2003). Tällöin savukaasut vaikuttavat paikallisesti ja ilmanlaatu voi huonontua merkittävästikin. Laajamittainen energiantuotanto taas pistelähteenä on merkittävä päästöjen tuottaja, mutta savukaasujen puhdistustekniikoidensa vuoksi sitä ei tässä selvityksessä tarkastella merkittävänä lähteenä.

### 8.1.3 Maatalous ja turvetuotanto

Maatalous on päästölähde, johon Pirkanmaalla ei aikaisemmin ole kiinnitetty kovinkaan paljon huomiota. Tällä hetkellä kuitenkin esimerkiksi teollisuuden ja energiantuotannon päästöt ovat pienentyneet niin paljon, että maatalouden päästöt nousevat aikaisempaa merkittävämpään asemaan. Terveydelle haitallisista päästöistä hiukkaset ja karjatalouden am-

moniakki ovat maatalouden ensisijaisia päästöjä (Mikkola ym. 2002), mutta myös esimerkiksi kasvihuoneilmiötä voimistavaa typpioksiduulia vapautuu maaperästä, ja varsinkin lannoituksen on todettu lisäävän  $N_2O$ -päästöjä (Maljanen ym. 2007, Petersen ym. 2006). Maatalouden osalta etenkin ammoniakki ja amiinien aiheuttamat hajuhaitat saattavat Pirkanmaalla nousta suurempaan osaan ja niiden tarkkailuun tulisi jatkossa suunnata voimavaroja. Varsinkin suurilla tuotantotiloilla syntyvät hajut voivat haitata läheisten asutusalueiden viihtyisyyttä huomattavasti, ja tilojen koon kasvaessa hajuhaitat lisääntyvät.

Myös turvetuotantoon tulisi tulevaisuudessa suunnata huomiota Pirkanmaalla. Turvetuotannon päästöt koostuvat pölystä, jota esiintyy kesän kuivina aikoina. Pölyn kulkeutumiseen vaikuttavat sääolosuhteet, maastonmuodot, ja terveys- sekä viihtyvyshaitan kannalta asutuksen sijainti turvetuotantoalueeseen nähden on oleellinen (Väyrynen ym. 2008). Turvetuotannon päästöt vaativat huomioonottamista niin toiminnanharjoittajalta kuin lupa- ja kaavoitusviranomaisiltakin. Turvetuotannon tavoin myös kiviaineksen otto-, louhinta-, murskaus- ja muussa toiminnassa ilmaan vapautuvat päästöt tulisi huomioida. Kuvassa 28 on esitetty yhteenvetona Pirkanmaalla ilmanlaatuun liittyvät ongelmakohdat mittausten ongelmista turvetuotannon päästöihin.



Kuva 28. Yhteenveto ilmanlaadun kehittämisen ongelmista Pirkanmaalla.

## 8.2 Ilmanlaadun parantaminen ja seurannan kehittäminen

### 8.2.1 Ilmanlaadun seuranta ja mittaukset

Pirkanmaan ympäristökeskuksessa oli jo vuosia sitten tarkoitus suorittaa koko Pirkanmaan kattava bioindikaattorikartoitus yhdessä kuntien kanssa, samaan aikaan Hämeen ja Uudenmaan ympäristökeskusten alueella tehtyjen kartoitusten kanssa. Tämä hanke kuitenkin peruuntui rahoituksen puuttuessa (Leena Ivalo, henkilökohtainen tiedonanto 15.9.2009), mutta jo osittain tehtyjen valmistelujen vuoksi uuden selvityksen aloittaminen rahoituksen järjestyessä saattaisi olla mahdollista.

Kartoitusten uusiminen tietyin välein olisi myös tärkeää ilmanlaadun aiheuttamien ympäristön muutosten havaitsemiseksi. Nykyiset mittausasemat tuottavat tärkeää tietoa, josta on Pirkanmaalla jo vuosikymmenten perinteet, joten ilmanlaadun mittausten jatkuminen on edellytyksenä tehokkaalle ympäristön tilan seuraamiselle, ja mahdollisten uusien mittauserustusten perustaminen tulisi selvittää esimerkiksi bioindikaattorikartoituksin. Leviämis- ja hajumallinnuslaskelmien suorittaminen on tulevaisuudessakin tärkeää, koska niiden avulla saadaan tarkkaa tietoa tietyn alueen ilmanlaadun tilasta ja kehittymisestä. Hajuhaittojen torjumiseksi esimerkiksi karjataloudessa hajumittaukset ja -mallinnukset ovat keino selvittää hajun kulkeutumista kohti asutusta. Liikenteen ja etenkin tiettyjen vilkkaasti liikennöityjen tieosuuksien päästöjen mallinnukseen leviämismallilaskelmat ovat oivallisia apuvälineitä.

Ilmanlaadun mittauksessa huomiota tullaan kiinnittämään tulevaisuudessa yhä enemmän haihtuviin hiilivetyihin sekä metalleihin. Rikkidioksidin ja haisevien rikkijyhdisteiden osalta mittausten tarpeellisuus on harkinnassa, ja Tampereella SO<sub>2</sub>-mittaukset on jo lopetettu. Kun yhteistarkkailua rikkidioksidipäästöille ei ole, tietoa rikkipäästöjen kehityksestä ei saada, vaikka päästöjä yhä aiheutuu esimerkiksi energiantuotannosta. Tämän vuoksi energiantuotantolaitoksille voitaisiin esimerkiksi ympäristöluvan yhteydessä määrätä oma itsenäinen mittausvelvoite tai leviämismallikartoituksen toteutusvelvoite, jotta rikkipäästöjä pystyttäisiin kontrolloimaan ja valvomaan ilman yhteistarkkailuakin.

### 8.2.2 Energiantuotanto

Koko Suomen osalta teollisuus- ja energiantuotantolaitosten savukaasujen puhdistustekniikoiden kehitys, ja sitä kautta uusien tekniikoiden ottaminen laitoksissa käyttöön, on apuna pistemäisten lähteiden aiheuttamien päästöjen hillinnässä. Tekniikoiden käyttöönotto on



kuitenkin kiinni laitokset omistavista yrityksistä, mutta myös viranomaisilla on lupakäytäntöjen puolesta mahdollisuus vaikuttaa laitosten prosesseihin, jos niiden katsotaan nykytilassa olevan ympäristölle haitallisia. Myös polttoaineen valinta niin energiantuotannossa kuin pienpoltossa ja liikenteessä vaikuttaa.

### 8.2.3 Liikenne

Ajoneuvoissa moottoritekniikat vaikuttavat päästöjen syntyyn ja koostumukseen. Esimerkiksi Tampereella joukkoliikenteen uusin kalusto kulkee EEV-standardoiduilla (Enhanced Environmentally Friendly Vehicles) vähäpäästöisillä moottoreilla ja tulevaisuudessa kiinnostusta on erilaisiin hybridi ajoneuvoihin (TKL 2009). EEV-standardi on Euroopan neuvoston ja parlamentin direktiiviin perustuva standardi, jonka päästörajat raskaille ajoneuvoille ovat samankaltaisia kuin EURO 5 -standardissa. Erona EURO 5 -standardiin on EEV-standardin noin 33 % matalampi hiukkasten raja-arvo (2005/55/EY).

Muita koko Suomen liikennepäästöjen vähentämisen keinoja ovat esimerkiksi verotus (Weckström 2007), vanhojen ajoneuvojen poistaminen käytöstä ja katsastuksen valvonta (Nagl ym. 2006). Vanhojen ajoneuvojen käytöstä poisto perustuu niiden vanhentuneisiin tekniikoihin, kuten katalysaattorien puuttumiseen sekä huomattaviin päästömääriin. Muita, varsinkin Pirkanmaalla mahdollisia liikenteen päästöjen vähentämisen keinoja ovat esimerkiksi joukkoliikenteen kehittäminen, hinnoittelu ja asiakasmyönteisyys, tiesuunnittelu, vyöhykemaksut, joutokäynnin rajoittaminen ja kävelyn sekä pyöräilyn lisääminen.

Joukkoliikenteen kehittäminen sisältää monia toimia, joiden avulla kannustetaan yksityisautoilusta siirtymistä joukkoliikenteen käyttöön. Joukkoliikenteen vähäpäästöisemmän kaluston lisäksi esimerkiksi kuljettajien kouluttaminen vähäpäästöisempään ajotapaan on yksi keino alentaa päästöjä. Joukkoliikenteen kehittäminen sisältää taas esimerkiksi aikataulujen, vuorojen, linjojen sekä joukkoliikenteelle varattujen kaistojen suunnittelua ja uudistamista (Weckström 2007). Tavoitteena olisi saada aikaan toimiva ja kattava joukkoliikennejärjestelmä Pirkanmaalla, koska etenkin Tampereen seudulla joukkoliikenteen toimivuus on erityisen tärkeää. Joukkoliikenteen lippujen hinnoittelulla voidaan myös kannustaa sen käyttöön ja lisätä asiakasmyönteisyyttä.

Tampereella linja-autoliikenteen lisäksi on tutkittu myös mahdollisuutta lisätä raitiotie- sekä lähijunaliikenneverkosto seudun joukkoliikenteeseen. Erilaisia vaihtoehtoja ja niiden vaikutuksia pitkällä aikavälillä on tutkittu aina vuoteen 2025 asti. Tarkasteltuja joukkoliik-

kennevaihtoehtoja olivat bussiliikenteen kehittäminen, katuraitiotie-, pikaraitiotie- ja lähijunaliikennevaihtoehto, joiden toteutukseen myös laadittiin aikatauluja. Vuoteen 2015 tarkoituksena on kehittää bussiliikennettä sekä aloittaa katuraitiotiehanke sekä lähijunaliikenteen parantaminen (TASE 2007).

Keskustojen hyvän ilmanlaadun takaamiseksi pyöräilyn ja kävelyn suosiminen on tärkeää. Näitä toimintoja varten tulisi varata riittävästi jalankulku- ja pyöräilykaistoja. Myös yksityisautoilun vähentämisellä saadaan keskustoissa lisää tilaa jalankulkua ja pyöräilyä varten (Weckström 2007). Yksityisautoilun vähentäminen keskusta-alueilla pienentää autoilun päästöjä vilkaskulkuisilla ja kapeillakin kaduilla. Autoilua voitaisiin vähentää hyvillä pysäköintialueilla keskustojen lähellä tai esimerkiksi vyöhyke- ja ruuhkamaksuilla. Ruuhkamaksuja voidaan ottaa käyttöön myös ruuhkaisilla tieosuuksilla keskustojen ulkopuolella. Pysäköintialueilla huomioitavaa olisi pysäköintipaikkojen määrä ja hinnoittelu, sallittu pysäköinti-aika, -virhemaksut sekä toiminnan sujuvuus. Myös ympäristövyöhykkeet voitaisiin ottaa kaupungeissa käyttöön. Vyöhykkeellä tarkoitetaan sellaista aluetta, jonka sisällä voisivat ajaa ainoastaan tietyn päästöluokan tai tekniikan omaavat ajoneuvot (Weckström 2007).

Muiden liikenteen päästöjen osalta tiesuunnittelulla on suuri merkitys. Ruuhkaisten katu- ja tieosuuksien sujuvuutta voidaan parantaa liikenneohjauksen, esimerkiksi liikennevalojen avulla. Myös uusia tieliittymiä voidaan rakentaa sujuvuuden parantamiseksi (Weckström 2007). Ajonopeuden ja joutokäynnin rajoittamisella sekä ohjaamisella voitaisiin myös parantaa liikenteen asemaa päästölähteenä.

Katupölyn muodostumisen ja poiston menetelmistä tehtiin vuosina 2005 – 2007 KAPU-projektin merkeissä tutkimus, johon myös Tampereen kaupunki osallistui. Tutkimuksen aikana katupölynmittauksia tehtiin Tampereella Nuuskija-auton avulla. Nuuskija-auto on Helsingin ammattikorkeakoulun liikkuva ilmanlaadun laboratorio, jolla voidaan tutkia kadun pinnasta nousevan pölyn määrää normaalin ajon aikana. Katupölyn muodostumiseen vaikuttavat niin vuodenaika, sääolosuhteet, tien materiaalit, hiekoitus, tienpinnan kosteus, ajonopeus sekä rengasmallit. Sääolosuhteet, kuten tuulet vaikuttavat hiukkasten leviämiseen, kun taas toisaalta sadeolosuhteet ja katupinnan kosteus sitovat pölyä maahan (Tervahattu ym. 2007).

Eri rengastyyppeiden osalta nastarenkaat kuluttavat tienpintaa eniten ja myös murskaavat hiekoitushiekkaa, mikä saa aikaan enemmän pölyä, kuin esimerkiksi kitkarenkaat (Kupiainen, 2007, Norman & Johansson 2006, Tervahattu ym. 2007). Talvisin käytettävän hiekoitushiekan tai -murskeen ominaisuudet vaikuttavat myös pölyn muodostukseen (Kupiainen 2007, Tervahattu ym. 2007). Mitä pienempi raekoko materiaalilla on, sitä helpommin se murskautuu, hienontuu pieneksi ja nousee pölynä ilmaan. Toisaalta myös materiaalin mineraalikoostumus vaikuttaa, koska heikot mineraalit ovat herkempiä murskautumaan. Myös tien materiaaleissa on eroja. Kova asfaltti ei murskaannu helposti renkaiden alla, mutta sitä vasten taas hiekoitusmateriaalit murskautuvat helpommin. Tämän ongelman ratkaisemiseksi hiekoitusmateriaalin ja tien pinnoitteen suhteella on merkitystä katupölyn muodostumisessa. Tienpäällystemateriaaleista esimerkiksi nupukiveyksen on tutkittu olevan hankalinta katupölyn kannalta verrattuna asfalttiin, koska sen epätasaisuuden vuoksi puhdistustoimet ovat ongelmallisia (Tervahattu ym. 2007). Näiden seikkojen huomioon ottamisen lisäksi katupölyn vaikutusten ehkäisemiseksi parhaan puhdistustekniikan, kuten esimerkiksi imulakaisun, pesun, painepesun tai liukkauden esto suolaamalla on tärkeää.

#### 8.2.4 Pienpoltto

Puun tai muiden materiaalien pienpolttota käytetään asunnoissa useimmiten toissijaisena lämmönlähteenä, kun taas esimerkiksi kevyttä polttoöljyä ja pellettejä voidaan käyttää koko asunnon lämmityksessä polttoaineena. Poltto tapahtuu yleensä tulisijoissa tai pienkattiloissa, joiden päästöille ei Suomessa kuitenkaan tällä hetkellä ole päästörajoja (Haaparanta ym. 2003). Päästöjen vähentämiseen on kuitenkin erilaisia keinoja, jolloin huomiota tulee kiinnittää erilaisiin polttoainesiin, polttotapaan ja -paikkaan liittyviin seikkoihin. Puunpolton päästöihin vaikuttavat polttoaineen fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet, kuten palakoko, kosteus, lämpöarvo ja tuhkapitoisuus. Polttolaitteen osalta sen tyyppi (esim. liesi, pienkattila, kiuas, takkasydän), polttoteknisen ominaisuudet, säätölaitteet ja mahdolliset puhdistimet myös vaikuttavat päästöihin. Ominaisuuksia ja säätölaitteita ovat esimerkiksi polttoperiaate, arina, palamisilman syöttö sekä teho. Laitteen käyttäjä voi osaltaan vaikuttaa polttoaineeseen, sen laatuun ja varastointiin, panos- ja palakokoon, sytykkeisiin ja sytytystapaan, ilmamäärän säätöön sekä laitteen huoltoon (Tissari 2009).

Pienpolton päästöjen vähentämisessä tiedotus ja opastus kuluttajille puuttuvien raja-arvojen vuoksi on tärkeää. Oikean tulisijan tai polttolaitteen valintaan tulisi olla saatavilla ohjausta esimerkiksi internetin kautta. Myös polttoaineen valinnassa ja oikean polttotavan

oppimisessa tulisi antaa ohjausta. Myös mm. puutarhajätteen poltosta ja sen toteuttamisesta tulisi olla saatavilla tietoa. Tulevaisuudessa pienpolton päästöjä kontrolloidaan ehkä enemmän savukaasun puhdistusjärjestelmien avulla, mutta puhtaan polttotavan hallitseminen ja omaksuminen nyt on taajamien ilmanlaadun kannalta erityisen tärkeää.

#### 8.2.5 Maatalous ja turvetuotanto

Maatalouden päästöjä ovat pääasiassa tässäkin selvityksessä tarkastellut hiukkaset ja ammoniakki. Hiukkaspäästöjä syntyy lannankäsittelystä orgaanisina yhdisteinä sekä maaperästä vapautuvana päästönä esimerkiksi peltojen muokkauksessa (VYH 2009a). Hiukkaspäästöjen vähentämisen keinoina ovat lannankäsittelyn kehittäminen sekä maaperän muokkauksen ajoittaminen. Maan pölyäminen on runsainta kuivan sään aikana, joten maaperän muokkaus esimerkiksi sateiden jälkeen vapauttaa vähemmän hiukkasia ilmaan.

Ammoniakin osalta päästöjen suurimpana lähteenä ovat karjatalouden lannan säilytys ja käsittely sekä lannoitteiden käyttö. Ammoniakkipitoisten lannoitteiden vähentäminen on tärkeää, mutta myös lannan säilytyksessä ja käsittelyssä voidaan tehdä erilaisia muutoksia päästöjen minimoimiseksi. Ammoniakkipitoinen lanta voidaan mahdollisimman nopeasti mullata tai levittää maaperään. Lantavarastojen osalta esimerkiksi virtsasäiliöt ja lietesäiliöt voidaan kattaa päästöjen haihtumisen estämiseksi ja kuivalantavarastot peittää. Lannan johtaminen säiliöihin voidaan toteuttaa alakautta ja karjasuojissa voidaan käyttää huuhtelujärjestelmiä, kun taas siipikarjasuojissa lanta voidaan kuivata (Grönroos 1998).

Turvetuotannon hiukkaspäästöjen vähentämisessä periaatteena on estää hiukkasten leviäminen asutukseen asti. Yksinkertaisimpana toimenpiteenä voidaan pitää turvetuotantoalueiden sijoittamista riittävän kauaksi asutuksesta ja suunnitella myös turpeen kuljetus etäälle asutuksesta. Turvesoilla päästöjen leviämiseen voidaan vaikuttaa suuntaamalla sarat poikittain asutukseen nähden, ja tuotantoa voidaan myös ajoittaa niin, että siitä aiheutuisi mahdollisimman vähän haittoja. Päästöjen leviämisen estämiseen taas voidaan käyttää suojavyöhykettä. Se koostuu vähintään 400 m leveästä metsäisestä alueesta tuotantoalueen ja asutuksen välillä. Suojavyöhyke on toimivimmillaan korkea, tiheä ja useita eri lajeja sisältävä, koostuen eri kasvillisuuskerroksista, jolloin hiukkasten pidättyminen alueeseen on mahdollisimman suuri (Väyrynen ym. 2008).

Itse turpeen tuotannossa hiukkasten aiheuttamia haittoja voidaan torjua erilaisilla tekniikoilla. Imuvaunuissa voidaan esimerkiksi käyttää sykloneita hiukkasten erottamiseksi il-

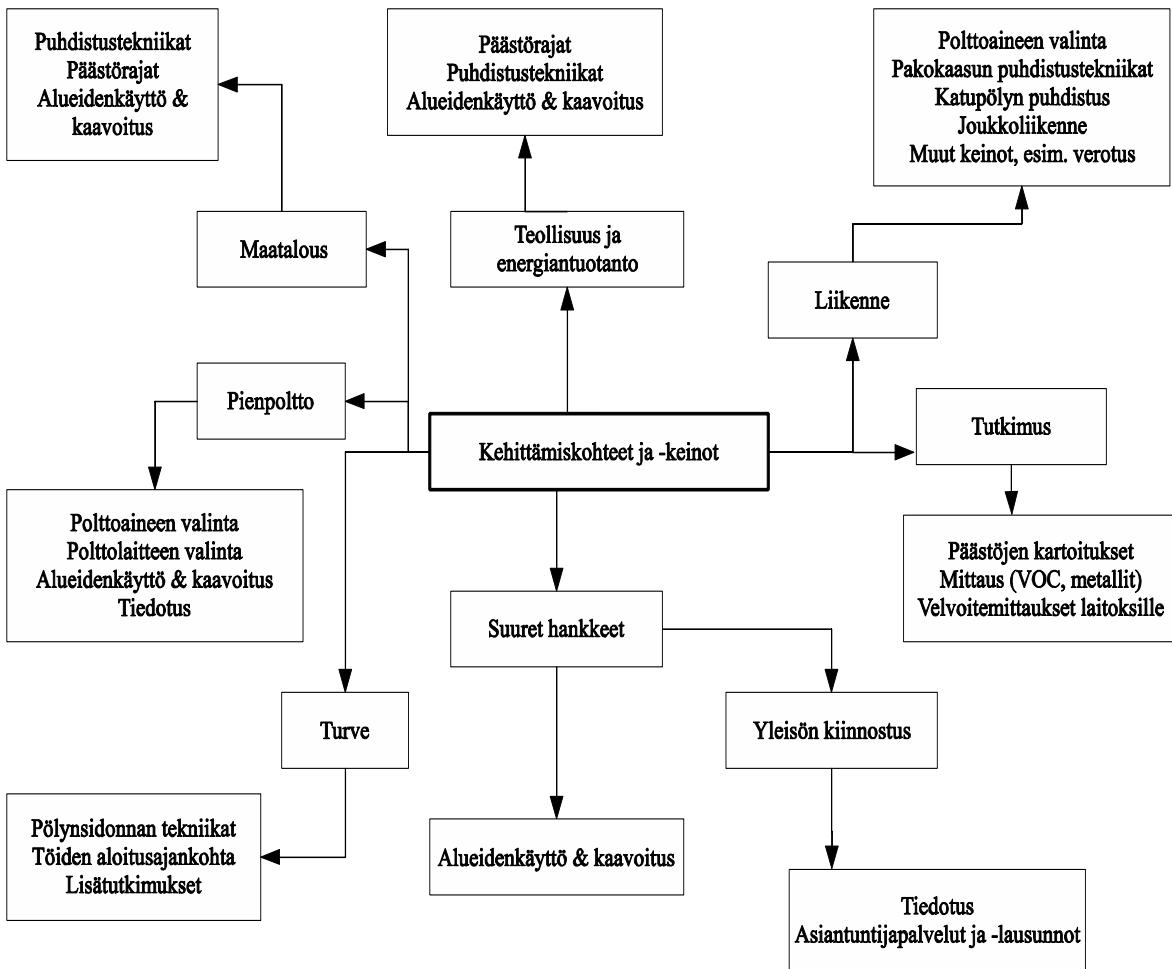
mavirrasta. Aumauksen päästöjä voidaan vähentää aumojen sijoittamisella suojaisiin paikkoihin ja niiden peittämisellä. Kuivauskenttien osalta tulisi huolehtia siitä, ettei kentille jää kuivaa turvetta. Myös tuulen suunta tulisi ottaa huomioon turvetuotannossa, ja esimerkiksi lastaustoimet suunnitella tuuliolosuhteiden mukaan. Turvetuotantoalueilla tuulen suuntaa ja voimakkuutta tulisi myös mitata leviävän pölyn haitan arvioimiseksi (Väyrynen ym. 2008).

#### 8.2.6 Alueidenkäyttö ja kaavoitus

Alueidenkäytöllä ja kaavoituksella on ilmapäästöjen vähentämisessä keskeinen rooli. Alueidenkäytön suunnittelulla voidaan vaikuttaa teollisuusalueiden sijoittumiseen ja näin estää asuinalueiden sijoittuminen lähelle päästölähdettä. Samalla tavoin myös maatalouden osalta alueidenkäytössä voidaan kiinnittää huomiota suurten maatalousalueiden sijoittumiseen ja aiheutuvan hajun haittoihin. Päästöjen leviämisen ja vaikutusten arvioinnissa voidaan tällöin käyttää apuna esimerkiksi leviämismalleja, päästökartoituksia ja hajujen osalta hajumallinnuksia. Jo valtakunnallisissa alueidenkäytön tavoitteissa ja niitä ohjaavassa energia- ja ilmastostrategiassa tavoitteena on pyrkiä terveelliseen ja viihtyisään elinympäristöön (VN 2008, YM 2009).

Kaavoituksella taas varsinkin liikenteen päästöjen ja niiden vaikutusten vähentämisessä on suuri rooli. Vilkasliikenteisten uusien väylien sijoittuminen etäälle asutuksesta voidaan toteuttaa kaavoituksella. Liikenteeseen vaikuttavista tekijöistä myös ruuhkia ja niiden sijoittumista voidaan ohjata kaavoituksen avulla. Muita liikenteen päästöihin vaikuttavia kaavoituksen toimia ovat esimerkiksi pyöräily- ja kävelykaistojen lisäys. Myös pienpoltto ja siitä aiheutuvat haitat tulisi tulevaisuudessa ottaa kaavoituksessa huomioon. Tiheästi rakennetulla pientaloalueella puun ja muiden polttoaineiden poltosta aiheutuvat päästöt ja haittavaikutukset voivat olla huomattavia.

Suurten hankkeiden kohdalla yleisön kiinnostus terveys- ja viihtyvyshaittoja kohtaan usein lisääntyy ja sekä alueidenkäytössä että kaavoituksessa tämä seikka tulisi ottaa huomioon. Tarjolla tulisi tällöin olla asianmukaista tietoa esimerkiksi päästöistä ilmaan ja niiden vaikutuksista, jotka usein pyritään selvittämään jo YVA-arvioinnissa. Tällaisia merkittäviä ilmanlaatuun joko paikallisesti tai laajemmaltikin vaikuttavia hankkeita ovat esimerkiksi Tampellan tunnelihanke Tampereella sekä jätteenpolttolaitoshanke. Kuvassa 29 on esitetty yhteenveto kohteista, joihin Pirkanmaan ilmanlaadun kehittämisessä tulisi kiinnittää huomiota, sekä keinoista, joiden avulla ilmanlaadun kehittämistä voidaan edistää.



Kuva 29. Ilmanlaadun kehittämiskohteet ja keinoja ilmanlaadun parantamiseksi Pirkanmaalla.

## 9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän työn tavoitteena oli tarkastella Pirkanmaan ilmanlaadun tilaa 2000-luvulla, kartoittaa tehtyjä selvityksiä ja ongelmakohtia ilmanlaadun tarkkailussa sekä esittää ehdotuksia sen kehittämiseksi. Kuntien ympäristöviranomaisille lähetetyn kyselyn mukaan merkittävin päästölähde Pirkanmaalla on liikenne, mutta myös teollisuus ja energiantuotanto ovat huomattavia päästöjen lähteitä liikenteen ohella. Myös katupöly on liikenteeseen liittyvä ajallisesti ja paikallisesti ilmanlaatua heikentävä tekijä, joka huomioitiin myös kyselyn vastauksissa. Maataloutta tai turvetuotantoa ei kuitenkaan kunnissa vielä pidetä ilmanlaadun ongelmana.

Päästötietojen tarkastelun perusteella päästöt Pirkanmaalla ovat olleet laskussa, kun tarkasteltavia päästölähteitä olivat liikenne, teollisuus ja energiantuotanto sekä maatalous. Liikenteen päästöissä laskua on tapahtunut koko 2000-luvun ajan huolimatta liikennemäärien ja polttoaineenkulutuksen kasvusta. Myös teollisuuden ja energiantuotannon päästöt ovat laskeneet, mikä johtunee uusista savukaasujen puhdistusjärjestelmistä, polttoainevalinnoista sekä myös laitosten määrän vähenemisestä. Tässä tutkimuksessa teollisuuden ja energiantuotantolaitosten päästöjen kartoitusta kuitenkin häiritsi se, että tarkastelussa olivat mukana ainoastaan ympäristökeskusten ja ympäristölupavirastojen luvittamat ympäristölupavelvolliset laitokset, jolloin kokonaiskuvaa Pirkanmaan päästöistä ei saatu. Lupavelvollisten laitosten esittämissä päästömäärissä saattoi myös ajoittain olla virheitä, jotka vääristivät tuloksia.

Maatalouden päästöjen osalta taas selvää laskua ammoniakki- ja hiukkaspäästöissä ei havaittu, vaan päästöt vaihtelivat vuosittain, mikä on voinut johtua maatalouden muutoksista, mutta myös laskentajärjestelmän ominaisuuksista. Koska Hertta-laskentajärjestelmä saa maatalouden päästötietonsa kyselyjen sekä tilastotietojen avulla, virheet näissä tiedoissa voivat vaikuttaa myös tämän tutkimuksen tuloksiin. Liikenteen ja teollisuuden sekä energiantuotannon päästöistä maatalouden päästöt eroavat siinä, että maatalouden päästöt keskittyvät Pirkanmaalla lähinnä maatalousvaltaisiiin sekä taajaan asuttuihin kuntiin. Liikenteen, energiantuotannon sekä teollisuuden päästöt taas keskittyvät kaupunkimaisiin ja taajaan asuttuihin kuntiin.

Pirkanmaan ilmanlaadun tilaa tarkkaillaan tällä hetkellä kuntien toimesta kahdessa kunnassa, Tampereella ja Valkeakoskella. Muissa kunnissa aktiivista ilmanlaadun tutkimusta ei

ole käynnissä, vaikka aikaisempina vuosina varsinkin bioindikaattoritutkimusten teko kunnissa on ollut yleistä. Ilmanlaadun tarkkailupisteet myös sijaitsevat Pirkanmaalla melko suppealla alueella, mikä ei anna kokonaiskuvaa ilmanlaadun tilasta maakunnassa. Mittauspisteet tosin ovat keskittyneet luonnollisesti suurimpiin teollisuuden ja liikenteen keskittymiin, joissa mittaukset ovat terveyden ja viihtyvyyden kannalta tärkeimpiä. Tutkimuksia ja varsinkin bioindikaattorikartoituksia tämän selvityksen mukaan kaivattaisiin eri kunnissa vertailun ja nykyisen ilmanlaadun selvittämiseksi. Teknologian kehitystä ilmansuojeluun liittyen Pirkanmaalla kuitenkin edistetään voimakkaasti yliopistojen ja tutkimuslaitosten sekä yritysten ja yhteisöjen voimin.

Tärkeimmäksi ilmanlaadun parantamisen ja seurannan kehittämiskohteeksi nousi liikenne, johon voidaan vaikuttaa sekä alueidenkäytön että kaavoituksen keinoin, mutta myös kuntien omilla ratkaisuilla esimerkiksi joukkoliikenteen lisäämisellä ja katupölyn uusien poistotekniikoiden käyttöönotolla. Ilmanlaadun mittausten ja tutkimusten kehittämisellä, ja varsinkin haihtuvien hiilivetyjen sekä metallien mittauksen mukaan ottamisella ilmanlaadun yhteistarkkailuohjelmiin, on suuri rooli ilmanlaadun kehittämisessä Pirkanmaalla. Kuitenkin yhteistarkkailusta poistuvien yhdisteiden, kuten rikkidioksidin päästöjä, on syytä mitata jatkossakin esimerkiksi niitä tuottavien laitosten toimesta.

Alueidenkäytöllä voidaan vaikuttaa myös jossain määrin teollisuuden ja energiantuotannon sekä maatalouden päästöjen vaikutuksiin ja tulevaisuudessa ehkä myös pienpolton vaikutuksiin. Merkittävässä hankkeissa ilmanlaadun huomioiminen ja esimerkiksi päästökartoitusten ja leviämismalliselvitysten tekeminen tuo apua suunnitteluun. Näissä hankkeissa myös yleisön kiinnostus lisääntyy, jolloin tarvetta asiantunteville palveluille ja neuvonnalle on runsaasti. Eri sektoreilla, kuten maataloudessa, liikenteessä, teollisuudessa, energiantuotannossa ja pienpoltossa, laitteistojen sekä puhdistustekniikoiden valinta on olennaista. Samalla yleisölle on myös oltava tietoa eri toimintojen vaikutuksesta ilmanlaatuun ja keinoista päästöjen hillitsemiseksi. Myös lisää tutkimusta eri aloilta kaivataan.



## **KIITOKSET**

Suuri kiitos ohjaajalleni ja työni tarkistajalle Timo Ålanderille Jyväskylän yliopistolla sekä ohjaajalleni Sari Tuomivaaralle Pirkanmaan ELY-keskuksella. Kiitos myös Kari Hännisel-  
le työni tarkastamisesta. Erityisesti haluan kiittää ohjausryhmääni, Sari Tuomivaaraa, An-  
neli Vainosta, Hannu Wirolaa ja Leena Strandenia Pirkanmaan ELY-keskuksella sekä Ari  
Elsilää Tampereen kaupungilla, mahdollisuudesta päästä tekemään tätä työtä sekä hyvistä  
neuvoista ja ohjauksesta. Kiitos myös Pirkanmaan kuntien ympäristöviranomaisille sekä  
muille haastattelemilleni henkilöille mielenkiinnosta työtäni kohtaan ja asiantuntevista  
vastauksista. Kesästä 2009 ei olisi tullut mitään ilman mukavia ihmisiä ympäristökeskuk-  
sella, ja haluaisinkin kiittää etenkin Matleenaa, Heliä, Tiinaa ja Marjoa kahvihetkien piris-  
tyksestä. Isoimman kiitoksen ansaitsee Eero tuestaan ja neuvoistaan teknisissä ongelmissa.

**KIRJALLISUUS**

- AKE 2009: Ajoneuvokantatilastot. Ajoneuvohallintokeskus.  
<http://www.ake.fi/AKE/Tilastot/Ajoneuvokanta/> (luettu 1.7.2009)
- Antson, H., Hakala, I., Karjalainen, A., Koivula, K., Gyllenberg, P., Hirvikallio, H., Lahti, J., Soljamo, K., Silvo, K., Silander, S., Tikkanen, S. & Villikka, J. 2008: Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) liuottimia käyttävässä pintakäsittelyssä. –Suomen ympäristö 23/2008. Suomen ympäristökeskus. Edita Prima Oy. Helsinki. 109 s.
- Anttila, P., Alaviippola, B. & Salmi, T. 2003: Ilmanlaatu Suomessa -mitatut pitoisuudet suhteessa ohje- ja raja-arvoihin sekä vertailua eurooppalaisiin pitoisuusarvoihin. –Ilmanlaadun julkaisuja 33. Ilmatieteen laitos. Edita Oy. Helsinki. 105 s.
- Armstrong, B., Hutchinson, E., Unwin, J. & Fletcher, T. 2004: Lung cancer risk after exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: a review and meta-analysis. –Environmental Health Perspectives 112: 970 – 978.
- Atkinson, R. 2000: Atmospheric chemistry of VOCs and NO<sub>x</sub>. –Atmospheric Environment 34: 2063 – 2101.
- Badr, O. & Probert, S.D. 1995: Sinks and environmental impacts for atmospheric carbon monoxide. –Applied Energy 50: 339 – 372.
- Bari, A., Baumbach, G., Kuch, B. & Scheffknecht, G. 2009: Wood smoke as a source of particle-phase organic compounds in residential areas. –Atmospheric Environment 31: 4722 – 4732.
- Bhugwant, C., Siéja, B., Bessafi, M., Staudacher, T. & Ecomier, J. 2009: Atmospheric sulfur dioxide measurements during the 2005 and 2007 eruptions of the Piton de la Fournaise volcano: Implications for human health and environmental changes. –Journal of Volcanology and Geothermal Research 184: 208 – 224.
- Bordado, J.C.M. & Gomes, J.F.P. 1998: Characterisation of non-condensable sulphur containing gases from Kraft pulp mills. –Chemosphere 7: 1235 – 1240.
- Cho, C-H., Chiu, N-C., Ho, C-S. & Peng C-C. 2008: Carbon monoxide poisoning on children. –Pediatr Neonatol 49: 121 – 125.
- Coleman, J.W. 2001: Nitric oxide immunity and inflammation. –International Immunopharmacology 1: 1397 – 1406.
- Conti, M.E., Cecchetti, G. 2001: Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment -a review. –Environmental Pollution 114: 471 – 492.
- Curtis, L., Rea, W., Smith-Willis, P., Fenyves, E. & Pan, Y. 2006: Adverse health effects of outdoor air pollutants. –Environment International 32: 815 – 830.
- Dahl, A., Gharibi, A., Swietlicki, E., Gudmundsson, A., Bohgard, M., Ljungman, A., Blomqvist, G. & Gustafsson, M. 2006: Traffic-generated emissions of ultrafine particles from pavement-tire interface. –Atmospheric Environment 40: 1314 – 1323.
- Davis, M.L. & Cornwell, D.A. 1998: Introduction to environmental engineering. –Third edition. WCB/McGraw-Hill. 919 s.
- Dekati 2009: <http://www.dekati.fi/> (luettu 17.9.2009).
- de Nevers 1995: Air pollution engineering. –Mc Graw-Hill, Inc. 506 s.

- De Rosa, M., Zarilli, S., Paesano, L., Carbone, U., Boggia, B., Petretta, M., Maisto, A., Cimmino, F., Puca, G., Colao, A. & Lombardi, G. 2003: Traffic pollutants affect fertility in men. –*Human Reproduction* 5: 1055 – 1061.
- DieselNet 2009: Emission standards. Heavy-Duty Diesel Truck and Bus Engines. –European Union. <http://www.dieselnet.com/standards/eu/hd.php> (luettu: 30.6.2009)
- Duncan, A.J. & Heales, S.J.R. 2005: Nitric oxide and neurological disorders. –*Molecular Aspects of Medicine* 26: 67 – 96.
- EEA 2009: AirBase -the European air quality database. –European Environment Agency. <http://dataservice.eea.europa.eu/dataservice/metadetails.asp?id=1079> (luettu: 20.7.2009)
- Elminir, H.K. 2005: Dependence of urban air pollutants on meteorology. –*The Science of Total Environment* 350: 225 – 237.
- Englert, N. 2004: Fine particles and human health –a review of epidemiological studies. –*Toxicology Letters* 149: 235 – 242.
- Erisman, J.W., Bleeker, A., Hensen, A. & Vermeulen, A. 2008: Agricultural air quality in Europe and the future perspectives. –*Atmospheric Environment* 42: 3209 – 3217.
- Fang, H.L. & DaCosta, H.F.M. 2003: Urea thermolysis and NO<sub>x</sub> reduction with and without SCR catalyst. –*Applied Catalyst B: Environmental* 46: 17 – 34.
- Forsberg, B., Stjernberg, N. & Wall, S. 1997: Prevalence of respiratory and hyperreactivity symptoms in relation to levels of criteria air pollutants in Sweden. –*European Journal of Public Health* 3: 291 – 196.
- Gaffney, J.S. & Marley, N.A. 2009: The impacts of combustion emissions on air quality and climate – From coal to biofuels and beyond. –*Atmospheric Environment* 43: 23 – 36.
- Gallego, E., Soriano, C., Roca, F.X., Perales, J.F., Alarcón, M. & Guardino, X. 2008: Identification of the origin of odour episodes through social participation, chemical control and numerical modeling. –*Atmospheric Environment* 42: 8150 – 8160.
- Giorgi, F. & Meleux, F. 2007: Modelling the regional effects of climate change on air quality. –*C. R. Geoscience* 339: 721 – 733.
- Godin-Beekmann, S. 2010: Spatial observations of the ozone layer. –*C. R. Geoscience* 342: 339 – 348.
- Goldenbaum, G.C. & Dickerson, R.R. 1993: Nitric oxide production by lightning discharges. –*Journal of Geophysical Research* D10: 18333 – 18338.
- Grantz, D.A., Garner, J.H.B. & Johnson, D.W. 2003: Ecological effects of particulate matter. –*Environment International* 29: 213 – 239.
- Grönroos, J., Nikander, A., Syri, S., Rekolainen, S. & Ekqvist, M. 1998: Maatalouden ammoniakkipäästöt. Osa 1: Päästöt ja niiden kehittyminen, osa 2: päästöjen vähentäminen ja vähentämiskustannukset. –*Suomen ympäristö 206*. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 65 s.
- Haahtela, T., Marttila, O., Vilkka, V., Jäppinen, P. & Jaakkola, J.J.K. 1992: The South Karelia air pollution study: Acute health effects of malodorous sulphur air pollutants released by a pulp mill. –*American Journal of Public Health* 82: 603 – 605.

- Haaparanta, S., Myllynen, M. & Koskentalo, T. 2003: Pienpoltto pääkaupunkiseudulla. –Pääkaupunkiseudun julkaisusarja B 2003:18. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta (YTV). YTV:n monistamo, Helsinki. 44 s.
- Halonen, J. 2009: Acute cardiorespiratory health effects of size-segregated ambient particulate air pollution and ozone. –Academic dissertation. Publications of the National Institute for Health and Welfare, Research 19/2009. National Institute of Health and Welfare, University of Kuopio. Helsinki University Print. Helsinki.174 s.
- Hansen, J.Q., Winther, M. & Sorenson, S.C. 1995: The influence of driving patterns on petrol passenger car emissions. –The Science of the Total Environment 169: 129 – 139.
- Hedley, A.J., Wong, C-M., Thac, T.Q., Ma, S., Lam, T-H. & Anderson, H.R. 2002: Cardiorespiratory and all-cause mortality after restrictions on sulphur content of fuel in Hong Kong: an intervention study. –The Lancet 23: 1646 – 1653.
- Hellén, H., Hakola, H., Haaparanta, S., Pietarila H. & Kauhaniemi, M. 2008: Influence of residential wood combustion on local air quality. –Science of the Total Environment 393: 283 – 290.
- Helsen, L. 2005: Sampling technologies and air pollution control devices for gaseous and particulate arsenic: A review. –Environmental Pollution 137: 305 – 315.
- HY 2009: Ilmakehätieteet. –Ilmakehätieteiden ja geofysiikan osasto, fysiikan laitos. Helsingin yliopisto. <http://www.atm.helsinki.fi/> (luettu: 13.7.2009)
- Hongisto, M. 2003: Hilatar, a limited area simulation model for acid contaminants – Part I: model description and verification. –Atmospheric Environment 37: 1535 – 1547.
- Hongisto, M. 1998: Hilatar, a regional scale grid model for the transport of sulphur and nitrogen compounds. Description of the model. –Part of the report: Finnish Meteorological Institute Contributions No. 21. Yliopistopaino. Helsinki. 58 s. Saatavilla osoitteesta: [http://www.fmi.fi/kuvat/hilatar\\_model\\_description\\_partA.pdf](http://www.fmi.fi/kuvat/hilatar_model_description_partA.pdf)
- Horváth, L., Führer, E. & Lajtha, K. 2006: Nitric oxide and nitrous oxide emissions from Hungarian forest soils; linked with atmospheric N-deposition. –Atmospheric Environment 40: 7786 – 7795.
- IL & YM 2009: Ilmanlaatuportaali.fi. Ilmatieteen laitos ja Ympäristöministeriö. <http://www.ilmanlaatu.fi/> (luettu 18.9.2009)
- IPCC 2007: IPCC Fourth Assessment Report – Climate Change 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change. Saatavilla osoitteessa: [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_and\\_data\\_reports.htm](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.htm)
- IPCC 2001: IPCC Third Assessment Report – Climate Change 2001. Intergovernmental Panel on Climate Change. Saatavilla osoitteessa: [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_and\\_data\\_reports.htm](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.htm)
- Jacob, D.J. & Winner, D.A. 2009: Effect of climate change on air quality. –Atmospheric Environment 43: 51 – 63.
- Jacob, D.J. 2000: Heterogeneous chemistry and tropospheric ozone. –Atmospheric Environment 34: 2131 – 2159.
- Jalava, P. 2008: Toxicological characterization of size-segregated urban air particulate matter in macrophage cell line. Effects of chemical composition and sources. –Academic dissertation. Publications of the National Public Health Institute, A30/2008.

- National Public Health Institute, University of Kuopio. Yliopistopaino. Helsinki. 105 s.
- Janson, R. & de Serves, C. 2001: Acetone and monoterpene emissions from the boreal forest in northern Europe. –*Atmospheric Environment* 35: 4629 – 4637.
- Janson, R., de Serves, C. & Romero, R. 1999: Emission of isoprene and carbonyl compounds from a boreal forest and wetland in Sweden. –*Agricultural and Forest Meteorology* 98 – 99: 671 – 681.
- Johansson, L.S., Leckner, B., Gustavsson, L., Cooper, D., Tullin, C. & Potter, A. 2004: Emission characteristics of modern and old-type residential boilers fired with wood logs and wood pellets. –*Atmospheric Environment* 38: 4183 – 4195.
- Jussila, I., Joensuu, E. & Laihonon, P. 1999: Ilman laadun bioindikaattorisuuranta metsäympäristössä. –*Ympäristöopas* 59. Ympäristöministeriö. Helsinki. 57 s.
- Karlsson, H.L., Gustafsson, J., Cronholm, P. & Möller, L. 2009: Size-dependent toxicity of metal oxide particles -a comparison between nano- and micrometer size. –*Toxicology Letters* 188: 112 – 118.
- Karppinen, A., Kukkonen, J., Elolähde, T., Konttinen, M. & Koskentalo, T. 2000a: A modelling system for predicting urban air pollution: comparison of model predictions with the data of an urban measurement network in Helsinki. –*Atmospheric Environment* 34: 3735 – 3743.
- Karppinen, A., Kukkonen, J., Elolähde, T., Konttinen, M., Koskentalo, T. & Rantakrans, E. 2000b: A modelling system for predicting urban air pollution: model description and applications in the Helsinki metropolitan area. –*Atmospheric Environment* 34: 3723 – 3733.
- Kartastenpää, R., Pohjola, V., Walden, J., Salmi, T. & Saari, H. 2004: Ilmanlaadun mittausohje. Versio 1.0. –Ilmatieteen laitos, ilmanlaadun tutkimus. Helsinki. 124 s. Saatavilla osoitteesta: [http://www.fmi.fi/kuvat/ilmanlaadun\\_mittausohje.pdf](http://www.fmi.fi/kuvat/ilmanlaadun_mittausohje.pdf)
- Karvosenoja, N. 2008: Emission scenario model for regional air pollution. –*Monographs of the Boreal Environment Research* 32. Finnish Meteorological Institute. Edita Prima Ltd. Helsinki. 55 s.
- Kiese, R. & Butterbach-Bahl, K. 2002: N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> emissions from three different tropical forest sites in the wet tropics of Queensland, Australia. –*Soil Biology & Biochemistry* 34: 975 – 987.
- Kittelson, D.B., Watts, W.F. & Johnson, J.P. 2002: Diesel aerosol sampling methodology. CRC E-43. Final report. –University of Minnesota, Department of Mechanical Engineering, Minneapolis. Saatavilla osoitteesta: <http://www.crcao.com/reports/recentstudies00-02/E-43%20Final%20Report.pdf>
- Koponen, H.T., Escudé Duran, C., Maljanen, M., Hytönen, J. & Martikainen, P.J. 2006: Temperature responses of NO and N<sub>2</sub>O emissions from boreal organic soil. –*Soil Biology & Biochemistry* 38: 1779 – 1787.
- Kourtidis, K., Kelesis, A. & Petrakakis, M. 2008: Hydrogen sulfide (H<sub>2</sub>S) in urban ambient air. –*Atmospheric Environment* 42: 7476 – 7482.
- Krupa, S.V. 2003: Effect of atmospheric ammonia (NH<sub>3</sub>) on terrestrial vegetation: a review. –*Environmental Pollution* 124: 179 – 221.

- Krzyściński, J.W. & Rajewska-Więch 2009: Ozone recovery as seen in perspective of the Dobson spectrophotometer measurements at Belsk (52°N, 21°E) in the period 1963 – 2008. –*Atmospheric Environment* 43: 6369 – 6375.
- Kukkonen, J., Karppinen, A., Sofiev, M., Kangas, L., Karvosenoja, N., Johansson, M., Tuomisto, J., Tainio, M., Koskentalo, T., Aarnio, P., Kousa, A., Pirjola, L. & Kupiainen, K. 2007: Kokonaismalli pienhiukkasten päästöjen, leviämisen ja riskin arviointiin – KOPRA. –Tutkimuksia No. 1 STU-1. Ilmatieteen laitos. Yliopistopaino. Helsinki. 41 s. Saatavilla osoitteesta: <http://hdl.handle.net/10138/1141>
- Kupiainen, K. 2007: Road dust from pavement wear and traction sanding. –*Monographs of the Boreal Environment Research* 26. Finnish Environment Institute. Helsinki. 52 s.
- Kuusinen, M., Mikkola, K. & Jukola-Sulonen, E-L. 1990: Epiphytic lichens on conifers in the 1960's to 1980's in Finland. Teoksessa: Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies K. (toim.), *Acidification in Finland*. –Springer-Verlag. Berlin Heidelberg. s. 397 – 420.
- Kyllönen, K., Karlsson, V. & Ruoho-Airola, T. 2009: Trace element deposition and trends during ten year period in Finland. –*Science of the Total Environment* 407: 2260 – 2269.
- Lemieux, P.M., Lutes, C.C. & Santoianni, D.A. 2004: Emissions of organic air toxics from open burning: a comprehensive review. –*Progress in Energy and Combustion Science* 30: 1 – 32.
- Lewtas, J. 2007: Air pollution combustion emissions: Characterization of causative agents and mechanisms associated with cancer, reproductive, and cardiovascular effects. –*Mutation research* 636: 95 – 133.
- Liang, H-M. & Liao, C-M. 2007: Modeling VOC-odor exposure risk in livestock buildings. –*Chemosphere* 68: 781 – 789.
- Limbeck, A., Puls, C. & Handler, M. 2007: Platinum and palladium emissions from on-road vehicles in the Kaisermühlen tunnel (Vienna, Austria). –*Environmental Science & Technology* 41: 4938 – 4945.
- Lodenius, M., Manninen, S., Nieminen, T., Raiskinen, H., Ranta P. & Willamo, R. 2002: Bioindikaattorit. –*Ympäristönsuojelun opetusmonisteita* N:o 21. Helsingin yliopisto, limnologian ja ympäristönsuojelun laitos. 7. painos. Helsinki. 66 s. Saatavilla osoitteesta: <http://www.helsinki.fi/biosci/environment/Asiakirjat/Opmon21-2002.pdf>
- Macdonald, B.C.T., Denmead, O.T., White, I. & Melville, M.D. 2004: Natural sulfur dioxide emissions from sulfuric soils. –*Atmospheric Environment* 38: 1473 – 1480.
- Maljanen, M., Martikkala, M., Koponen, H.T., Virkajärvi, P. & Martikainen, P.J. 2007: Fluxes of nitrous oxide and nitric oxide from experimental excreta patches in boreal agricultural soil. –*Soil Biology & Biochemistry* 39: 914 – 920.
- Maljanen, M., Liikanen, A., Silvola, J. & Martikainen, P.J. 2003: Nitrous oxide emissions from boreal organic soil under different land-use. –*Soil Biology & Biochemistry* 25: 1 – 12.
- Mao, I-F., Tsai, C-J., Shen, S-H., Lin, T-F., Chen, W-K. & Chen, M-L. 2006a: Critical components of odors in evaluating the performance of food waste composting plants. –*Science of the total environment* 370: 323 – 329.

- Mao, J., Jian, X-Q., Yang, L-Z., Zhang, J., Qiao, Q-Y., He, C-D. & Yin, S-X. 2006b: Nitrous oxide production in a sequence batch reactor. Wastewater treatment system using synthetic wastewater. –*Pedosphere* 16: 415 – 456.
- Markert, B. 2007: Definitions and principles for bioindication and biomonitoring of trace metals in the environment. –*Journal of the Trace Elements in Medicine and Biology* 21: 77 – 82.
- Mayer, H. 1999: Air pollution in cities. –*Atmospheric Environment* 33: 4029 – 4037.
- Metla 2009: Metsien terveys. –Metsäntutkimuslaitos.  
<http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/> (luettu: 18.9.2009)
- Mikkola, H., Puumala, M., Kallioniemi, M., Grönroos, J., Nikander, A. & Holma, M. 2002: Paras käytettävissä oleva tekniikka kotieläintaloudessa. –*Suomen ympäristö* 564. Suomen ympäristökeskus. Edita Prima Ad. Helsinki. 166 s.
- Mohan, M. & Siddiqui, T.A. 1998: Analysis of various schemes for the estimation of atmospheric stability classification. –*Atmospheric Environment* 21: 3775 – 3781.
- Moisio, M. 1999: Real time size distribution measurement of combustion aerosols. –*Tampereen teknillinen korkeakoulu. Julkaisuja* 279. TTKK-Paino, Tampere. 234 s.
- Nagl, C., Moosmann, L. & Schneider, J. 2006: Assessment of plans and programmes reported under 1996/62/EC -final report. –*Umweltbundesamt GmbH. Vienna.* 139 s.
- Nelleman, C. & Thomsen, M.G. 2001: Long term changes in forest growth: potential effects of nitrogen deposition and acidification. –*Water, Air and Soil Pollution* 128: 197 – 205.
- Nelson, P.F., Tobbett, A.R. & Day, S.J. 2008: Effects of vehicle type and fuel quality on real world toxic emissions from diesel vehicles. –*Atmospheric Environment* 42: 5291 – 5303.
- Nikolaou, K., Masclat, P. & Mouvier, G. 1984: Sources and chemical reactivity of polynuclear aromatic hydrocarbons in the atmosphere. A critical review. –*Science of the Total Environment* 32: 103 – 132.
- Norman, M. & Johansson, C. 2006: Studies of some measures to reduce road dust emissions from paved roads in Scandinavia. –*Atmospheric Environment* 40: 6154 – 6164.
- NUS 2009: Atmosphere. –Center of Remote Imaging, Sensing and Processing. National University of Singapore. <http://www.crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/atmos.htm> (luettu 20.7.2009).
- Oksanen, E.J. 2001: Increasing tropospheric ozone level reduced birch (*Betula pendula*) dry mass within a five years period. –*Water, Air, and Soil Pollution* 130: 947 – 952.
- OVA 2009: OVA-ohjeet. Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet -turvallisuusohjeet. <http://www.ttl.fi/ova/> (luettu: 24.8.2009).
- Pasqualini, V., Robles, C., Garzino, S., Greff, S., Bousquet-Melou, A. & Bonin, G. 2003: Phenolic compounds content in *Pinus halepensis* Mill. needles: a bioindicator of air pollution. –*Chemosphere* 52: 239 – 248.
- Persson, H. & Majdi, H. 1995: Effects of acid deposition on tree roots in Swedish forest stands. –*Water, Air and Soil Pollution* 85: 1287 – 1292.
- Petersen, S.O., Regina, K., Pöllinger, A., Rigler, E., Valli, L., Yamulki, S., Esala, M., Fabri, C., Syväsalö, E. & Vinther, F.P. 2006: Nitrous oxide emissions from organic and

conventional crop rotations in five European countries. –Agriculture, Ecosystems and Environment 112: 200 – 206.

- Pietarila, H., Salmi, T., Saari, H. & Pesonen, R. 2001: Ilmanlaadun alustava arviointi Suomessa, rikkidioksidi, typen oksidit, PM10 ja lyijy. –Ilmatieteen laitos, ilmanlaadun tutkimus. Helsinki. 83 s. Saatavilla osoitteesta: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=2953&lan=fi>
- Pirkanmaan liitto 2009: Pirkanmaan kunnat. [http://www.pirkanmaa.fi/tietoa\\_kunnista.html](http://www.pirkanmaa.fi/tietoa_kunnista.html) (luettu: 1.7.2009)
- Poikolainen, J., Kubin, E., Piispanen, J. & Karhu, J. 2004: Atmospheric heavy metal deposition in Finland during 1985 – 2000 using mosses as bioindicators. –The Science of the Total Environment 318: 171 – 185.
- Prizztech Oy 2009: Äetsän vetykylä. <http://www.prizz.fi/sivu.aspx?taso=3&id=549> (luettu: 18.9.2009)
- Prockop, L.D. & Chichkova, R.I. 2007: Carbon monoxide intoxication: An updated review. –Journal of Neurological Sciences 262: 122 – 130.
- Raivonen, M., Vesala, T., Pirjola, T., Altimit, N., Keronen, P., Kulmala, M. & Hari, P. 2009: Compensation point of NO<sub>x</sub> exchange: Net result of NO<sub>x</sub> consumption and production. –Agricultural and Forest Meteorology 149: 1073 – 1081.
- Raivonen, M. 2008: UV-induced NO<sub>y</sub> emissions in gas-exchange chambers enclosing Scots pine shoots: an analysis on their origin and significance. –Academic dissertation. Dissertationes Forestales 71. Department of Forest Ecology, Faculty of Agriculture and Forestry. University of Helsinki. Helsinki. 50 s. Saatavilla osoitteesta: <https://oa.doria.fi/handle/10024/42255>
- Ramírez, J.P. 2007: Prospects on N<sub>2</sub>O emission regulations in the European fertilizer industry. –Applied Catalysis B: Environmental 70: 31 – 35.
- Ratahallintokeskus 2008: Suomen rautatietilasto 2008. Saatavilla osoitteesta: <http://rhk-fibin.directo.fi/@Bin/8d90b39c2692bc1336111397878613aa/1247030881/application/pdf/2922376/srt08.pdf>
- Raub, J.A. 1999: Health effects of exposure to ambient carbon monoxide. –Chemosphere: Global Change Science 1: 331 – 251.
- Reig- Armiñana, J., Calatayud, V., Cerveró, J., García-Breijo, F.J., Ibars, A. & Sanz, M.J. 2004: Effects of ozone on the foliar histology of the mastic plant (*Pistacia lentiscus* L.). –Environmental Pollution 132: 321 – 331.
- Renard, J.J., Calidonna, S.E., Henley, M.V. 2004: Fate of ammonia in the atmosphere -a review for applicability to hazardous releases. –Journal of Hazardous Materials B108: 29 – 60.
- Rinnan, R., Rinnan, Å., Holopainen, T., Holopainen, J.K. & Pasanen, P. 2005: Emission of non-methane volatile organic compounds (VOCs) from boreal peatland microcosms – effects of ozone exposure. –Atmospheric Environment 39: 921 – 930.
- Räisänen, T. 2008: Impacts of climate change and forest management on monoterpene emission and needle secondary compounds of Boreal Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). –Academic dissertation. Dissertationes Forestales 72. Faculty of Forest Sciences. University of Joensuu 2008. 42 s. Saatavilla osoitteesta: <http://www.metla.fi/dissertationes/df72.htm>



- Sacher, F., Lenz, S. & Brauch, H-J. 1997: Analysis of primary and secondary aliphatic amines in waste water and surface water by gas chromatography-mass spectrometry after derivatization with 2,4-dinitrofluorobenzene or benzenesulfonyl chloride. –Journal of Chromatography A. 764: 85 – 93.
- Samoli, E., Aga, E., Touloumi, G., Nisiotis, K., Forsberg, B., Lefranc, A., Pekkanen, J., Wojtyniak, B., Schindler, C., Niciu, E., Brunstein, R., Dodić Fikfak, M., Schwartz, J. & Katsoyanni, K. 2006: Short-term effects of nitrogen dioxide on mortality: an analysis within the APHEA project. –European Respiratory Journal 26: 1129 – 1137.
- Schjoerring, J.K., Husted, S. & Puolsen, M.M. 1998: Soil-plant-atmosphere ammonia exchange associated with *Calluna vulgaris* and *Deschampsia flexuosa*. –Atmospheric Environment 32: 507 – 512.
- Schumann, U. 1997: The impact of nitrogen oxides emissions from aircraft upon the atmosphere at flight altitudes –result from AERONOX project. –Atmospheric Environment 12: 1723 – 1733.
- Seinfeld, J.H. & Pandis, S.N. 2006: Atmospheric chemistry and physics – From air pollution to climate change. –Second edition. John Wiley & Sons, Inc 2006. New York. 1203 s.
- Silvan, N., Tuittila, E-S., Kitunen, V., Vasander, H. & Laine, J. 2005: Nitrate uptake by *Eriophorum vaginatum* controls N<sub>2</sub>O production in a restored peatland. –Soil Biology and Biochemistry 37: 1519 – 1526.
- Silvan, N., Regina, K., Kitunen, V., Vasander, H. & Laine, J. 2002: Gaseous nitrogen loss from a restored peatland buffer zone. –Soil Biology and Biochemistry 34: 721 – 728.
- Smiatek, G. & Steinbrecher, R. 2006: Temporal and spatial variation of forest VOC emissions in Germany in the decade 1994 – 2003. –Atmospheric Environment 40: S166 – S117.
- Smith, S.J., Pitcher, H. & Wigley, T.M.L. 2001: Global and regional anthropogenic sulfur dioxide emissions. –Global and Planetary Change 29: 99 – 119.
- Sparks, J.P., Monson, R.K., Sparks, K.L. & Lerdau, M. 2001: Leaf uptake of nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) on a tropical wet forest: implications for tropospheric chemistry. –Oecologia 127: 214 – 221.
- St-Amand, A.D., Mayer, P.M. & Blais, J.M. 2009: –Atmospheric Environment 43: 4283 – 4288.
- Stubbins, A., Uher, G., Law, C.S., Mopper, K., Robinson, C. & Upstill-Goddard, R.C. 2006: Open-ocean carbon monoxide photoproduction. –Deep-Sea Research II 53: 1696 – 1705.
- Suomen tuuliatlas 2010: Stabiilius eli ilman tasapainotila.  
[http://www.vindatlas.fi/tuulisuus/tuulisuus\\_5.html](http://www.vindatlas.fi/tuulisuus/tuulisuus_5.html) (luettu: 14.5.2010)
- Sutton, M.A., Dragosits, U., Tang, Y.S. & Fowler, D. 2000: Ammonia emissions from non-agricultural sources in the UK. –Atmospheric Environment 34: 855 – 869.
- Söderström, C. 2002: Pakokaasumääräysten kehittymisen seuranta. Osana Rake valmius -projektiä. Teoksessa: Mobile2 vuosiraportti 2001. s.187 – 192. –VTT prosessit, moottoritekniikka. Saatavilla osoitteesta:  
[http://virtual.vtt.fi/virtual/mobile/vuosikirja2001/19\\_t0129.pdf](http://virtual.vtt.fi/virtual/mobile/vuosikirja2001/19_t0129.pdf)

- Tainio, M. 2009: Methods and uncertainties in the assessment of the health effects of fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) air pollution. –Academic dissertation. National Institute for Health and Welfare (THL), Research 18. National Institute for Health and Welfare, University of Kuopio. Helsinki University Print. Helsinki. 165 s.
- Takigawa, A., Matsunami, A., Arai, N. & Peng, Y.Z. 2005: Effects of CO and H<sub>2</sub> on the formation of N<sub>2</sub>O via catalytic NO reduction. –Energy 30: 475 – 484.
- Tampere 2009a: Tampereen ilmanlaadun mittaustulokset. –Neljännesvuosiraportti 1/2009. Tampereen kaupunki, kaupunkiympäristön kehittäminen, ympäristönsuojelu. 40 s. Saatavilla osoitteesta: [http://www.tampere.fi/material/attachments/t/5hXwH7FEq/ilma01\\_2009.pdf](http://www.tampere.fi/material/attachments/t/5hXwH7FEq/ilma01_2009.pdf)
- Tampere 2009b: Tampereen ilmanlaatu 2008, päästöt ja ilmanlaadun mittaustulokset. –Ympäristöpalvelujen julkaisuja 4/2009. Tampereen kaupunki. Tampereen yliopistopaino Oy. Saatavilla osoitteesta: <http://www.tampere.fi/material/attachments/t/5jJJBoJAK/ilmarap2008.pdf>
- TKL 2009: Kestävän kehityksen linjalla. Tampereen kaupunkiliikenne. <http://www.tampere.fi/tkl/kestavakehitys.html> (luettu 13.1.2010)
- TASE 2007: TASE 2025, Tampereen kaupunkiseudun joukkoliikennejärjestelmävaihtoehtojen vertailu. 82 s. [http://www.tase2025.fi/julkaisut/TASE\\_loppuraportti.pdf](http://www.tase2025.fi/julkaisut/TASE_loppuraportti.pdf)
- TTY 2009: Aerosol physics. Tampereen teknillinen yliopisto. <http://www.tut.fi/index.cfm?mainsel=10775&sel=10787&show=13601&siteid=119> (luettu 13.1.2010)
- Tervahattu, H., Kupiainen, K., Pirjola, L. & Viinanen, J. 2007: Tutkimuksia katupölyn vähentämiseen tähtäävistä toimenpiteistä. KAPU-projektin loppuraportti. –Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 14/2007. Kopio Niini Oy, Helsinki. 81 s. Saatavilla osoitteesta: <http://www.tampere.fi/tiedostot/5vWFXx6J3/KAPU-julkaisu.pdf>
- Tilastokeskus 2009a: Tilastollinen kuntaryhmitys 2009. [http://www.stat.fi/meta/luokitukset/kuntaryhmitys/001-2009/luokitusavain\\_teksti.txt](http://www.stat.fi/meta/luokitukset/kuntaryhmitys/001-2009/luokitusavain_teksti.txt) (luettu 1.7.2009)
- Tilastokeskus 2009b: Kuntaportaali. <http://www.stat.fi/tup/kunnat/index.html> (luettu 1.7.2009)
- Tissari, J. 2009: Millaisilla tulisijoilla päästöt pieniksi? –Pienhiukkas- ja aerosoliteknikan laboratorio, Kuopion yliopisto. 34. Ilmansuojelupäivät, 18. – 19.8.2009 Lappeenranta.
- Tissari, J.M., Yli-Tuomi, T., Raunemaa, T.M., Tiitta, P.T., Nuutinen, J.P., Willman, P.K., Lehtinen, K.E. & Jokinen, J.K. 2006: Fine particle emissions from milled peat production. –Boreal Environmental Research 11: 283 – 293.
- Tomašević, M., Vukmirovi, Z., Rajšić, S., Tasić, M. & Stevanović, B. 2005: Characterization of trace metal particle on some deciduous tree leaves in an urban area. –Chemosphere 61: 753 – 760.
- Tsupari, E., Tormonen, K., Monni, S., Vahlman, T., Kolsi, A. & Linna, V. 2006: Dityppioksidin (N<sub>2</sub>O) ja metaanin (CH<sub>4</sub>) päästökertoimia Suomen voimalaitoksille, lämpökeskuksille ja pienpoltolle. –VTT Working Papers 43. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 101 s. Saatavilla osoitteesta: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2006/W43.pdf>

- Turner, D.B. 1970: Workbook of atmospheric dispersion estimates. – Public Health Service Publication No. 999-AP-26. U.S Department of Health, Education and Welfare. National Air Pollution Control Administration. Cincinnati, Ohio.
- TTL 2005: Kemikaalit ja työ. Selvitys työympäristön kemikaaliriskeistä. –Työterveyslaitos. Vammalan kirjapaino Oy, Vammala. 318 s. Saatavilla osoitteesta: <http://www.ttl.fi/Internet/Suomi/Aihesivut/Kemikaaliturvallisuus/Valittua+kemikaali+tietoa/Kemikaalit+ja+tyo/>
- UM 2009: Euroopan unionin lainsäädäntö. Ulkoasiainministeriö. <http://formin.finland.fi/Public/default.aspx?nodeid=31623&contentlan=1&culture=fi-FI> (luettu: 30.6.2009)
- Valkeakoski 2007: Ilmanlaadun mittaustulokset 2007. –Valkeakosken kaupunki, ympäristöpalvelut. Saatavilla osoitteesta: [http://www.valkeakoski.fi/attachments/julkaisut/sote/ymparistopalvelut/vuosiraportti\\_2007.pdf](http://www.valkeakoski.fi/attachments/julkaisut/sote/ymparistopalvelut/vuosiraportti_2007.pdf)
- Vallero, D. 2008: Fundamentals of air pollution. –Fourth edition. Academic Press, Elsevier Inc. 942 s.
- VR 2008: Vastuuraportti 2008. –VR-konserni. Valtionrautatiet. Lönnberg Painot Oy. 61 s. Saatavilla osoitteesta: [http://www.vrkonserni.fi/attachments/5gppbmBLc/5G6oYqbdM/VR\\_YKv\\_2008\\_Fi.pdf](http://www.vrkonserni.fi/attachments/5gppbmBLc/5G6oYqbdM/VR_YKv_2008_Fi.pdf)
- VYH 2009a: Ilmapäästötietojärjestelmä. –Hertta-järjestelmä, versio 5.2, ympäristön kuormitus. Valtion ympäristöhallinto. <http://hertta.vyh.fi/scripts/hearts/welcome.asp> (luettu 1.7.2009)
- VYH 2009b: Ympäristönsuojelun tietojärjestelmä. –VAHTI 2003 -järjestelmä, versio 1.5. Valtion ympäristöhallinto. <http://vahti.vyh.fi/scripts/vahti2003/vahti2003.asp> (luettu 1.7.1009)
- VYH 2009c: Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu. <http://www.ymparisto.fi/> (luettu 1.7.2009)
- Vardoulakis, S., Fisher, B.E.A., Pericleous, K. & Gonzalez-Flesca, N. 2003: Modelling air quality in street canyons: a review. –Atmospheric Environment 37: 155 – 182.
- Verma, S.S. 2002: Parametric studies in N<sub>2</sub>O formation and destruction mechanisms. –Energy Conversion and Management 43: 1737 – 1746.
- VTT 2009: Läänien ja kuntien tieliikenteen pakokaasupäästöt vuosina 2001 – 2007. – LIPASTO, Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä. <http://lipasto.vtt.fi/> (luettu 1.7.2009)
- Väyrynen, T., Aaltonen, R., Haavikko, H., Juntunen, M., Kalliokoski, K., Niskala, A-L. & Tukiainen, O. 2008: Turvetuotannon ympäristönsuojeluopas. –Ympäristöopas. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus, Oulu. Edita Prima, Helsinki. 87 s.
- Weckström, M. 2007: Katsaus Euroopan kaupungeissa tehtyihin ilmansuojelun toimintaohjelmiin. –Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 8/2007. Helsingin kaupungin hankintakeskus, Helsinki. 57 s. Saatavilla osoitteesta: [http://www.hel.fi/wps/wcm/connect/5304d9804a1722a299d2f93d8d1d4668/Julkaisu\\_08\\_07net.pdf?MOD=AJPERES](http://www.hel.fi/wps/wcm/connect/5304d9804a1722a299d2f93d8d1d4668/Julkaisu_08_07net.pdf?MOD=AJPERES)

- Weimann, J. 2003: Toxicity of nitrous oxide. –Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology 1: 47 – 61.
- Whalen, S.C. & Reeburgh, W.S. 2001: Carbon monoxide consumption in upland boreal forest soils. –Soil Biology & Biochemistry 33: 1329 – 1338.
- Wong, C-M., Ma, S., Hedley, A.J. & Lam, T-H. 2001: Effect of air pollution on daily mortality in Hong Kong. –Environmental Health Perspectives 4: 335 – 340.
- WHO 2006: Health risks of particulate matter from long-range transboundary air pollution. –Joint WHO/Convention Task Force on the Health Aspect of Air Pollution. European Centre for Environment and Health, Bonn Office. World Health Organization. 111 s. Saatavilla osoitteesta: <http://www.euro.who.int/document/E88189.pdf>
- WHO 2005a: Effects of air pollution on children's health and development. A review of the evidence. –Special Programme on Health and Environment. European Centre for Environment and Health, Bonn Office. World Health Organization. 189 s.
- WHO 2005b: Health effects of transport related air pollution. –World Health Organization. 203 s.
- WHO 2004: Health aspects of air pollution. Results from the WHO project: “Systematic review of health aspects of air pollution in Europe”. –World Health Organization. 28 s.
- WHO 2003: Hydrogen sulfide: Human health aspects. –Concise International Chemical Assessment Document 53. World Health Organization. Geneva. 40 s.
- Wrońska-Nofer, T., Palus, J., Krajewski, W., Jajite, J., Kucharska, M., Stetkiewicz, J., Wąsowick, W. & Rydzyński, K. 2009: DNA damage induced by nitrous oxide: study in medical personnel of operating rooms. –Mutation Research 666: 39 – 43.
- Yang, W. & Omaye, S.T. 2009: Air pollutants, oxidative stress and human health. –Mutation Research 674: 45 – 54.
- YM 2009: Tulevaisuuden alueidenkäytöstä päätetään nyt. Tarkistetut valtakunnalliset alueidenkäyttötavoitteet. –Ympäristöministeriö. Helmikuu/2009. Saatavilla osoitteesta: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=98972&lan=sv>
- YM 2001: Valtioneuvoston päätös valtakunnallisista alueidenkäyttötavoitteista. –Maankäyttö- ja rakennuslaki 2000, opas 5. Oy Edita Ab, Helsinki. 55 s.
- YTV 2009: YTV:n ilmanlaatuindeksi. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta. [http://www.ytv.fi/FIN/ilmanlaatu/indeksin\\_maarittely.htm](http://www.ytv.fi/FIN/ilmanlaatu/indeksin_maarittely.htm) (luettu: 25.9.2009).
- Zamboni, G., Capobianco, M. & Daminelli, E. 2008: Estimation of road vehicle exhaust emissions from 1992 to 2010 and comparison with air quality measurements in Genoa, Italy. –Atmospheric Environment 43: 1086 – 1092.
- Zhang, Y., Wu, S-Y., Krishnan, S., Wang, K., Queen, A., Aneja, V.P. & Arya, S.P. 2008: Modeling agricultural air quality: Current status, major challenges, and outlook. –Atmospheric Environment 42: 3218 – 3237.

**VIRALLISLÄHTEET**

- Direktiivi 94/63/EY: Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 94/63/EY bensiinin varastoinnista ja sen jakelusta varastoalueilta huoltoasemille aiheutuvien haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) päästöjen torjunnasta. EYVL L365, 31.12.1994, s. 24 – 33. Saatavilla osoitteesta: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31994L0063:FI:HTML>
- Direktiivi 96/62/EY: Neuvoston direktiivi 96/62/EY ilmanlaadun arvioinnista ja hallinnasta EYVL L296, 21.11.1996, s. 55 – 63. (Kumottu). Saatavilla osoitteesta: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31996L0062:FI:HTML>
- Direktiivi 99/96/EY: Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 1999/96/EY ajoneuvojen puristussytytysmoottoreiden kaasumaisten ja hiukkasmaisten päästöjen sekä ajoneuvoissa käytettävien maa- tai nestekaasulla toimivien ottomoottoreiden kaasupäästöjen torjumiseksi toteutettavista toimenpiteistä annetun jäsenvaltioiden lainsäädännön lähentämisestä ja neuvoston direktiivin 88/77/ETY muuttamisesta. EYVL L44, 16.2.2000, s. 1 – 155. (Kumottu). Saatavilla osoitteesta: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31999L0096:FI:HTML>
- Direktiivi 99/30/EY: Neuvoston direktiivi 1999/30/EY ilmassa olevien rikkidioksidin, typidioksidin ja typen oksidien, hiukkasten ja lyijyn pitoisuuksien raja-arvoista. EYVL L163, 29.6.1999, s. 41 – 60. (Kumottu). Saatavilla osoitteesta: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31999L0030:FI:HTML>
- Direktiivi 2000/69/EY: Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2000/69/EY ilmassa olevan bentseenin ja hiilimonoksidin raja-arvoista. EYVL L313, 13.12.2000, s. 12 – 21. (Kumottu). Saatavilla osoitteesta: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32000L0069:FI:HTML>
- Direktiivi 2001/81/EY: Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2001/81/EY tiettyjen ilman epäpuhtauksien kansallisista päästörajoista. EYVL L309, 27.11.2001, s. 22 – 30. Saatavilla osoitteesta: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32001L0081:FI:HTML>
- Direktiivi 2002/3/EY: Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2002/3/EY ilman otsonista. EYVL L67, 9.3.2002, s. 14 – 30. (Kumottu). Saatavilla osoitteesta: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32002L0003:FI:HTML>
- Direktiivi 2004/107/EY: Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2004/107/EY ilmassa olevasta arseenista, kadmiumista, elohopeasta, nikkelistä ja polysyklisistä aromaattisista hiilivedyistä. EUVL L23, 26.1.2005, s. 3 – 16. Saatavilla osoitteesta: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2005:023:0003:01:FI:HTML>
- Direktiivi 2005/55/EY: Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2005/55/EY ajoneuvojen puristussytytysmoottoreiden kaasumaisten ja hiukkasmaisten päästöjen sekä ajoneuvoissa käytettävien maa- tai nestekaasulla toimivien ottomoottoreiden kaasupäästöjen torjumiseksi toteutettavia toimenpiteitä koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön lähentämisestä. EUVL L275, 20.10.2005, s. 1 – 163. Saatavilla osoitteesta: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2005:275:0001:01:FI:HTML>

Direktiivi 2007/715/EY: Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 715/2007/EY moottoriajoneuvojen tyyppi hyväksynnästä kevyiden henkilö- ja hyötyajoneuvojen päästöjen (Euro 5 ja Euro 6) osalta ja ajoneuvojen korjaamiseen ja huoltamiseen tarvittavien tietojen saatavuudesta. EUVL L171, 29.6.2007, s. 1 – 16. Saatavilla osoitteesta: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:171:0001:01:FI:HTML>

Direktiivi 2008/1/EY: Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/1/EY ympäristön pilaantumisen ehkäisemisen ja vähentämisen yhtenäistämiseksi. EYVL L24, 29.1.2008, s. 8 – 29. Saatavilla osoitteesta: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:024:0008:01:FI:HTML>

Direktiivi 2008/50/EY: Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/50/EY ilmanlaadusta ja sen parantamisesta. EUVL L152, 11.6.2008, s. 1 – 44. Saatavilla osoitteesta: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:152:0001:01:FI:HTML>

Ilmansuojelulaki 25.1.1982/67. (Kumottu)

Ilmansuojeluasetus 24.7.1982/716. (Kumottu)

KOM(2007) 851: Ehdotus, Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi moottoriajoneuvojen ja moottorien tyyppi hyväksynnästä raskaiden hyötyajoneuvojen päästöjen osalta (Euro VI) ja ajoneuvojen korjaamiseen ja huoltamiseen tarvittavien tietojen saatavuudesta, annettu 21. joulukuuta 2007. 25s. Saatavilla osoitteesta: <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2007:0851:FIN:FI:PDF>

KOM(2008) 812: Ehdotus, Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi bensiinihöyryn talteenotto-ohjelman toisesta vaiheesta, joka koskee henkilöautojen polttoainetäydennystä huoltoasemilla, annettu 4. joulukuuta 2008. 12 s. Saatavilla osoitteesta: <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0812:FIN:FI:PDF>

Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132.

PreLex 2009: Toimielinten välinen päätöksentekoprosessi komission ehdotuksesta KOM (2007) 851. [http://ec.europa.eu/prelex/detail\\_dossier\\_real.cfm?CL=fi&DosId=196599#399991](http://ec.europa.eu/prelex/detail_dossier_real.cfm?CL=fi&DosId=196599#399991) (luettu 30.6.2009)

Päätös 97/101/EY: Neuvoston päätös 97/101/EY ilman epäpuhtauksia mittaavien jäsenvaltioiden mittausasemaverkostojen ja yksittäisten mittausasemien tietojenvaihtojärjestelmän käyttöönottamisesta. EYVL L35, 5.2.1997, s. 14 – 22. (Kumottu)

SopS 15/1983: Valtiosta toiseen tapahtuvaa ilman epäpuhtauksien kaukokulkeutumista koskeva yleissopimus.

SopS 2/1988: Asetus vuoden 1979 valtiosta toiseen tapahtuvaa ilman epäpuhtauksien kaukokulkeutumista koskevaan yleissopimukseen liittyvän, ilman epäpuhtauksien kaukokulkeutumisen tarkkailun ja arvioinnin Euroopan yhteistyöohjelman (EMEP) pitkän aikavälin rahoittamista koskevan pöytäkirjan voimaansaattamisesta.

SopS 50/1987: Asetus vuoden 1979 valtiosta toiseen tapahtuvaa ilman epäpuhtauksien kaukokulkeutumista koskevaan yleissopimukseen liittyvän, rikkipäästöjen tai valtiosta toiseen kulkeutuvan rikkivuon vähentämisestä vähintään 30 prosenttia tehdyn pöytäkirjan voimaansaattamisesta.

- SopS 46/1991: Asetus vuoden 1979 valtiosta toiseen tapahtuvaa ilman epäpuhtauksien kaukokulkeutumista koskevaan yleissopimukseen liittyvän typen oksidien päästöjen tai niiden valtiosta toiseen kulkeutuvan vuon rajoittamisesta tehdyn pöytäkirjan voimaansaattamisesta.
- SopS 71/1997: Asetus vuoden 1979 valtiosta toiseen tapahtuvaa ilman epäpuhtauksien kaukokulkeutumista koskevaan yleissopimukseen liittyvän haihtuvien orgaanisten yhdisteiden päästöjen tai niiden valtiosta toiseen kulkeutuvan vuon rajoittamisesta tehdyn pöytäkirjan voimaansaattamisesta.
- SopS 68/1998: Asetus vuoden 1979 valtiosta toiseen tapahtuvaa ilman epäpuhtauksien kaukokulkeutumista koskevaan yleissopimukseen liittyvän rikkipäästöjen edelleen vähentämistä koskevan pöytäkirjan voimaansaattamisesta.
- SopS 78/2003: Tasavallan presidentin asetus valtiosta toiseen tapahtuvaa ilman epäpuhtauksien kaukokulkeutumista koskevaan vuoden 1979 yleissopimukseen liittyvän raskasmetalleja koskevan pöytäkirjan voimaansaattamisesta.
- SopS 68/2003: Tasavallan presidentin asetus valtiosta toiseen tapahtuvaa ilman epäpuhtauksien kaukokulkeutumista koskevaan vuoden 1979 yleissopimukseen liittyvän pysyviä orgaanisia yhdisteitä koskevan pöytäkirjan voimaansaattamisesta.
- Valtioneuvoston asetus moottoribensiinin ja dieselöljyn laatuvaatimuksista 28.12.2000/1271.
- Valtioneuvoston asetus ympäristönsuojelusta 18.2.2000/169.
- Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta 9.8.2001/117.
- Valtioneuvoston asetus orgaanisten liuottimien käytöstä eräissä toiminnoissa ja laitoksissa aiheutuvien haihtuvien orgaanisten yhdisteiden päästöjen rajoittamisesta 23.5.2001/435.
- Valtioneuvoston asetus moottorikäyttöisten ajoneuvojen joutokäynnin rajoittamisesta 19.12.2002/1266.
- Valtioneuvoston asetus polttoaineteholtaan vähintään 50 megawatin polttolaitosten ja kaasuturbiinien rikkidioksidi-, typenoksidi- ja hiukkaspäästöjen rajoittamisesta 3.12.2002/1017.
- Valtioneuvoston asetus alailmakehän otsonista 9.9.2003/738.
- Valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta 15.5.2003/362.
- Valtioneuvoston asetus polttomoottoreiden pakokaasu- ja hiukkaspäästöjen rajoittamisesta 9.9.2004/844.
- Valtioneuvoston asetus orgaanisten liuottimien käytöstä eräissä maaleissa ja lakoissa sekä ajoneuvojen korjausmaalaustuotteissa aiheutuvien haihtuvien orgaanisten yhdisteiden päästöjen rajoittamisesta 20.10.2005/837.
- Valtioneuvoston asetus raskaan polttoöljyn ja meriliikenteessä käytettävän kaasuöljyn rikkipitoisuudesta 3.8.2006/689.
- Valtioneuvoston asetus ilmassa olevasta arseenista, kadmiumista, elohopeasta, nikkelistä ja polysyklisistä aromaattisista hiilivedyistä 8.2.2007/164.
- Valtioneuvoston päätös kivihiilen rikkipitoisuudesta 26.11.1987/888.

Valtioneuvoston päätös yhdyskuntajätettä polttavien laitosten aiheuttaman ilman pilaantumisen ehkäisemisestä 23.6.1994/626. (Kumottu)

Valtioneuvoston päätös bensiinin varastoinnista ja jakelusta aiheutuvien haihtuvien orgaanisten yhdisteiden päästöjen rajoittamisesta 19.6.1996/468.

Valtioneuvoston päätös ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvoista 19.6.1996/480.

Valtioneuvoston päätös ongelmajätteiden poltosta 28.8.1997/842. (Kumottu)

Valtioneuvoston päätös öljyjätehuollosta 30.1.1997/101.

VN 2008: Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia. –Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 6. päivänä marraskuuta 2008. Saatavilla osoitteesta:

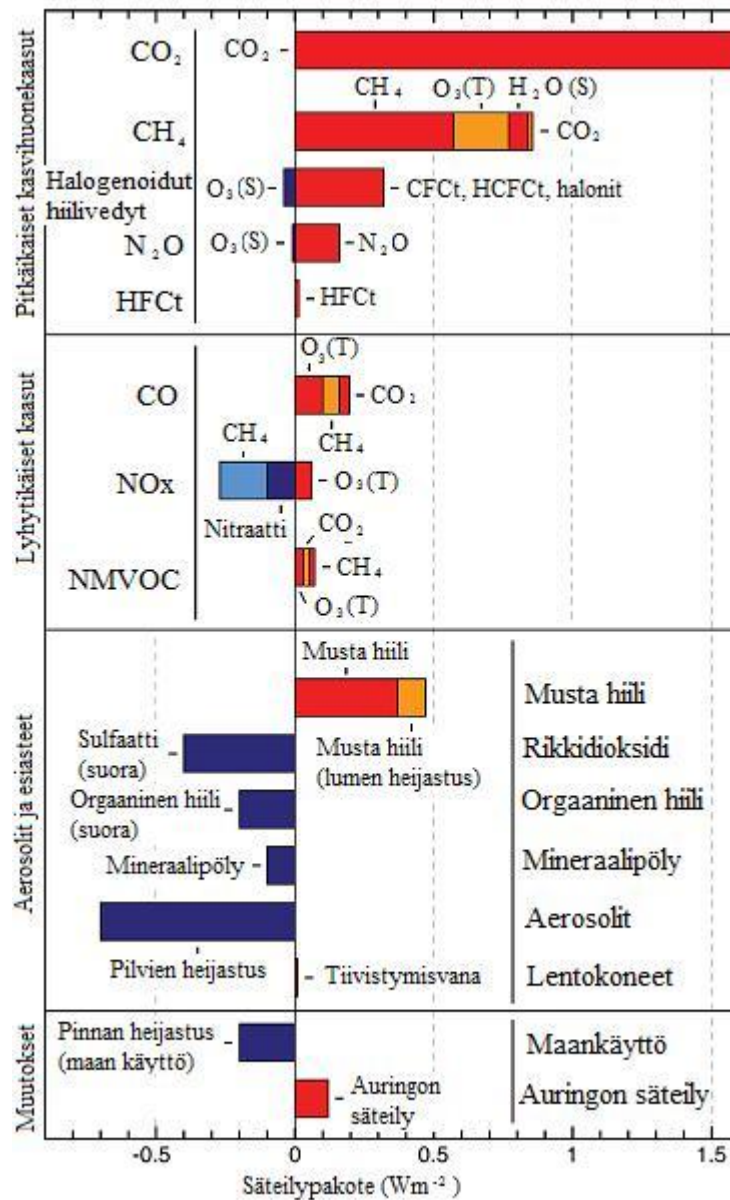
[http://www.tem.fi/files/20585/Selontekoehdotus\\_311008.pdf](http://www.tem.fi/files/20585/Selontekoehdotus_311008.pdf)

Ympäristönsuojelulaki 4.2.2000/86.



## LIITTEET

Liite 1. IPCC:n (Intergovernmental Panel on Climate Change) arvion mukaiset päästöjen pääkomponentit ja niiden säteilypakote vuodesta 1750 vuoteen 2005. Troposfääri (T), stratosfääri (S) (IPCC 2007).



Liite 2. Pirkanmaan kunnille 23.4.2009 lähetetty kysely koskien kuntien ilmanlaadun tutkimusta, päästölähteitä ja lisätutkimustarvetta.

Hei,

Olen ympäristötieteen opiskelija Jyväskylän yliopistosta ja olen tekemässä Pirkanmaan ympäristökeskuksella opinnäytetyötä Pirkanmaan ilmanlaadun seurannasta ja kehittämistarpeista. Tarkoituksena olisi kesän aikana kerätä haastatteluiden ja julkaisujen avulla tietoa Pirkanmaan ilmanlaadun tilasta ja historiasta ja koota niistä selvitys.

Pyytäisin teitä ystävällisesti osallistumaan työn aineiston keruuseen ja vastaamaan muutama kysymykseen kuntanne ilmanlaadusta ja päästölähteistä. Vastausaikaa on toukokuun loppuun ja vastaukset voi osoittaa sähköpostiini.

- Onko kunnassanne mitattu tai tarkkailtu ilmanlaatua ja jos on, niin milloin ja mitä tekniikoita käyttäen?

- Onko kunnassanne tehty aiemmin kirjallisia selvityksiä tai raportteja ilman laatuun ja tarkkailuun liittyen?

- Onko tehty bioindikaattorikartoituksia, esimerkiksi neulas- tai jäkäläkartoituksia ja jos on, niin milloin?

- Onko kunnassanne tehty päästökartoituksia?

- Nimeäisittekö kuntanne suurimmat päästölähteet (esimerkiksi teollisuudesta, energiantuotannosta ja/tai liikenteestä).

- Onko mielestänne kunnassanne tarvetta ilmanlaadun tarkkailulle ja mittauksille tai bioindikaattorikartoituksille?

## Liite 3. Ilmanlaatuun liittyviä tiedossa olevia selvityksiä Pirkanmaan kunnissa.

Kunta	Vuosi	
Akaa	1988	Toijalan ilmanlaadun esiselvitys. Lumme, J. 1988.
	1992	Hämeen mäntymetsien neulas- ja maaperäkartoitus. Huttunen, S. & Lampu, J. 1992. Oulun yliopisto.
Hämeenkyrö	1990	Hämeenkyrön ilmanlaadun esiselvitys 1990, Hämeenkyrön ympäristönsuojelulautakunta.
	2006	Hämeenkyrön bioindikaattoritutkimus. Oulun yliopisto & Hämeenkyrön kunta 2006.
Ikaalinen Juupajoki	1993	Ilmanlaadun esiselvitys.
	1992	Hämeen mäntymetsien neulas- ja maaperäkartoitus. Huttunen, S. & Lampu, J. 1992. Oulun yliopisto.
Kangasala	1985	Ilmansuojelun perusselvitys Kangasalan kunnassa. Emitek Oy 1985.
	1989	Jäkälä- ja neulasvauriokartoitus Kangasalan kunnassa kesällä 1988. Aulio & Aulio 1989. Tutkimuksia 3/1989. Turun yliopisto, biologian laitos, ympäristönsuojelu.
	1992	Hämeen mäntymetsien neulas- ja maaperäkartoitus. Huttunen, S. & Lampu, J. 1992. Oulun yliopisto.
	2002	Tampereen seudun typenoksidipäästöjen leviämislaskelmat vuosille 2002 ja 2020. Salmi, J. ym. 2002. Ilmatieteen laitos.
	2008	Kangasalan kunta. Sahalahden Pakkalan kylän broilerikasvattamoiden ja sikaloitten hajupäästöjen leviämismallilaskelmat. Lovén, K. & Pietarila, H. 2008. Ilmatieteen laitos.
Kihniö Kuhmalahti	1992	Hämeen mäntymetsien neulas- ja maaperäkartoitus. Huttunen, S. & Lampu, J. 1992. Oulun yliopisto.
Kylmäkoski	1992	Hämeen mäntymetsien neulas- ja maaperäkartoitus. Huttunen, S. & Lampu, J. 1992. Oulun yliopisto.
Lempäälä	1989	Ilmanlaadun esiselvitys. Ivalo, L. 1989.
	1992	Hämeen mäntymetsien neulas- ja maaperäkartoitus. Huttunen, S. & Lampu, J. 1992. Oulun yliopisto.
	2002	Tampereen seudun typenoksidipäästöjen leviämislaskelmat vuosille 2002 ja 2020. Salmi, J. ym. 2002. Ilmatieteen laitos.
Mänttä- Vilppula	1975	Mäntän paperitehtaat & yhdyskuntailma, tutkimusseloste 86. Mäntän paperitehtaat, laboratorio-osasto 1975.
	1989	Mäntän seudun ilmanlaadun perusselvitys. Pesonen ym. 1989. Ilmatieteen laitos.
		Ilmanlaadun mittaustulokset vuoteen 1990.
	1991	Selvitys raskasmetallien leviämisestä Mäntän ympäristössä. Jyväskylän yliopiston ympäristöntutkimuskeskus 1991.
	1992	Hämeen mäntymetsien neulas- ja maaperäkartoitus. Huttunen, S. & Lampu, J. 1992. Oulun yliopisto.
	1995	Selvitys ilmansaasteiden vaikutuksesta männyn kaarnajäkälisiin. Lillberg 1995.
Nokia	1979	Rikkidioksidin ympäristövaikutusten biologinen peruskartoitus Nokiolla. Laurila J. 1979.
	1990	Nokian ilmanlaadun perusselvitys. Air-Ix Oy 1990.
	1991	Nokian kaupungin jäkäläkartoitus. Air-Ix Oy 1991.
	1992	Hämeen mäntymetsien neulas- ja maaperäkartoitus. Huttunen, S. & Lampu, J. 1992. Oulun yliopisto.
	1995	Nokian kaupungin keskustan alueella esiintyneet hajut ajalla 1.10.1993 - 30.9.1994, raportti hajuhavainnoista. Enwald, E. 1995. Nokian renkaat.
	1994	Mäntyjen runkojäkäläkartoitus Nokiolla. Mikkonen, S. 1994.

Kunta	Vuosi	
	1997	Nokian kaupungin jäkäläkartoitus. Jyväskylän yliopiston ympäristöntutkimuskeskus 1997.
	2002	Tampereen seudun typenoksidipäästöjen leviämislaskelmat vuosille 2002 ja 2020. Salmi, J. ym. 2002. Ilmatieteen laitos.
	2005	Selvitys Nokian kaupungin ympäristön tilasta 2005. Nokian kaupunki, ympäristökeskus, ympäristönsuojeluyksikkö 2005.
Orivesi	1984	Oriveden Aluelämpö Oy:n Oriveden lämpökeskuksen savukaasujen leviämiselvitys. Pietarinen, M. 1984. Ilmatieteen laitos.
	1988	Ilmanlaadun esiselvitys. Oriveden kaupunki 1988.
	1992	Hämeen mäntymetsien neulas- ja maaperäkartoitus. Huttunen, S. & Lampu, J. 1992. Oulun yliopisto.
	1995	Männyn runkojäkäläkartoitus. Oriveden opiston ympäristöbiologian opiskelijat 1995.
Parkano	2006	Parkanon Voima Oy, CCA -puun polttolaitoksen savukaasupäästöjen leviämiselvitys. Lappi, S. & Varjoranta, R. 2006. Ilmatieteen laitos.
Pirkkala	1992	Hämeen mäntymetsien neulas- ja maaperäkartoitus. Huttunen, S. & Lampu, J. 1992. Oulun yliopisto.
	2002	Tampereen seudun typenoksidipäästöjen leviämislaskelmat vuosille 2002 ja 2020. Salmi, J. ym. 2002. Ilmatieteen laitos.
Pälkäne	1992	Hämeen mäntymetsien neulas- ja maaperäkartoitus. Huttunen, S. & Lampu, J. 1992. Oulun yliopisto.
Punkalaidun		
Ruovesi	1992	Hämeen mäntymetsien neulas- ja maaperäkartoitus. Huttunen, S. & Lampu, J. 1992. Oulun yliopisto.
Sastamala	1992	Nokia Chemicals Äetsän tehtaan ympäristön laadun tarkkailu bioindikaattorien avulla. Jussila, J. 1992. Satakunnan ympäristöntutkimuskeskus. Tutkimusraportti 1/1992.
Tampere		Ilmanlaadun tarkkailun neljännesvuosiraportit ja vuosiraportit.
	1981	Tampereen ilman rikki- ja pölypitoisuudet. Häkkinen, A. J. & Rantakrans, E. 1981. Ilmatieteen laitos.
	1992	Hämeen mäntymetsien neulas- ja maaperäkartoitus. Huttunen, S. & Lampu, J. 1992. Oulun yliopisto.
	1992	Tampereen ilmanlaadun perusselvitys. Pesonen R. ym. 1992. Ilmatieteen laitos.
	1993	Tampereen ilmanlaadun kehitys vuoteen 2000 mennessä. Pesonen R. ym. 1993. Ilmatieteen laitos. Tampereen kaupungin ympäristöviraston julkaisu 1/93.
	1994	Ilmanlaadun seuranta 25 vuotta Tampereella, mittaustulokset 1969 - 1993. Tampereen kaupunki, ympäristövirasto, ympäristövalvonta 1994.
	2002	Tampereen seudun typenoksidipäästöjen leviämislaskelmat vuosille 2002 ja 2020. Salmi, J. ym. 2002. Ilmatieteen laitos.
	2004	Pirkanmaan jätehuolto Oy, Tarastejärven jätteenkäsittelykeskuksen hajupäästöjen leviämiselvitys. Pietarila, H. & Alaviippola B. 2007. Ilmatieteen laitos.
	2004	Tampereen Ratinan alueen asemakaavan ilmanlaatuselvitys. Rasila, T. & Pietarila, H. 2004. Ilmatieteen laitos.
	2004	Tampereen sähkölaitos. Kattilalaitoksen typenoksidipäästöjen leviämislaskelmat. Puputti, K. & Pietarila, H. 2004. Ilmatieteen laitos.
	2005	Ligno Tech Finland Oy, haju- ja hiukkaspäästöjen leviämiselvitys. Lappi, S. & Pietarila, H. 2005. Ilmatieteen laitos.

Kunta	Vuosi	
	2007	Destia. Tampereen valtatie 3. Autoliikenteen vuosien 2006 ja 2030 typenoksi- ja hiukkaspäästöjen leviämisselvitys. Rasila, T. & Pietarila, H. 2007. Ilmatieteen laitos.
	2007	Pirkanmaan jätehuolto Oy, Koukkujärven jätteenkäsittelykeskuksen hajupäästöjen leviämisselvitys. Lappi, S. & Pietarila, H. 2007. Ilmatieteen laitos.
	2008	Tampereen sähkölaitos, Sarankulman lämpökeskuksen savukaasupäästöjen leviämislaskelmat. Buyukay, M. ym. 2008. Ilmatieteen laitos.
Urjala	1992	Hämeen mäntymetsien neulas- ja maaperäkartoitus. Huttunen, S. & Lampu, J. 1992. Oulun yliopisto.
Valkeakoski		Ilmanlaadun seurannan kuukausi- ja vuosiraportit
	1978	Valkeakosken puustovauriot. Jokinen, J. 1978.
	1981	Valkeakosken ilmanlaadun perusselvitys V/1977...IV/1979. Kartastenpää, R. ym. 1981.
	1992	Hämeen mäntymetsien neulas- ja maaperäkartoitus. Huttunen, S. & Lampu, J. 1992. Oulun yliopisto.
	2002	Hajututkimus Valkeakoskella. VTT, Valkeakosken kaupunki 2002.
	2005	Valkeakosken typenoksi-, hiukas- ja haisevien rikkiyhdistepäästöjen leviämislaskelmat. Rasila, T. ym. 2005. Ilmatieteen laitos.
Vesilahti	1992	Hämeen mäntymetsien neulas- ja maaperäkartoitus. Huttunen, S. & Lampu, J. 1992. Oulun yliopisto.
Virrat	1992	Hämeen mäntymetsien neulas- ja maaperäkartoitus. Huttunen, S. & Lampu, J. 1992. Oulun yliopisto.
Ylöjärvi	1984	Rikkiyhdisteiden leviäminen Hämeen läänin metsissä. Huttunen, S. ym. 1984. Oulun yliopisto.
	1987	Epifyyttijäkäläkartoitus Ylöjärven kunnassa kesällä 1987. Ympäristönsuojelulautakunta 1987.
	1992	Hämeen mäntymetsien neulas- ja maaperäkartoitus. Huttunen, S. & Lampu, J. 1992. Oulun yliopisto.
	1992	Ilmanlaadun esiselvitys. Air-Ix Oy 1992.
	1997	Runkojäkäläkartoitus Ylöjärvellä 1996. Keskitalo, P. 1997.
	2002	Tampereen seudun typenoksidipäästöjen leviämislaskelmat vuosille 2002 ja 2020. Salmi, J. ym. 2002. Ilmatieteen laitos.

## Liite 4. Junaliikenteen päästöt Pirkanmaalla vuonna 2008.

Tampere-Lielähti rataosuuden yhteenlasketut hiilimonoksidi- (CO), hiilivety- (HC), typen oksidi- (NO<sub>x</sub>), hiukkas- ja rikkidioksidipäästöt (SO<sub>2</sub>) sähkö- ja dieseljunaliikenteestä.

Liikennemuodot (t/a)	CO	HC	NO <sub>x</sub>	Hiukkaset	SO <sub>2</sub>
Sähköjunaliikenne	0,41	0,04	0,98	0,11	0,71
Dieseljunaliikenne	0,58	0,27	4,78	0,08	1,2 × 10 <sup>-3</sup>
Yhteensä	0,99	0,32	5,75	0,20	0,71

Lielähti-Kokemäki rataosuuden yhteenlasketut hiilimonoksidi- (CO), hiilivety- (HC), typen oksidi- (NO<sub>x</sub>), hiukkas- ja rikkidioksidipäästöt (SO<sub>2</sub>) sähkö- ja dieseljunaliikenteestä.

Liikennemuodot (t/a)	CO	HC	NO <sub>x</sub>	Hiukkaset	SO <sub>2</sub>
Sähköjunaliikenne	2,16	0,22	5,17	0,61	3,76
Dieseljunaliikenne	2,22	1,05	18,32	0,31	4,2 × 10 <sup>-3</sup>
Yhteensä	4,38	1,27	23,49	0,92	3,77

Lielähti-Parkano rataosuuden yhteenlasketut hiilimonoksidi- (CO), hiilivety- (HC), typen oksidi- (NO<sub>x</sub>), hiukkas- ja rikkidioksidipäästöt (SO<sub>2</sub>) sähkö- ja dieseljunaliikenteestä.

Liikennemuodot (t/a)	CO	HC	NO <sub>x</sub>	Hiukkaset	SO <sub>2</sub>
Sähköjunaliikenne	3,06	0,31	7,31	0,86	5,32
Dieseljunaliikenne	3,61	1,71	29,75	0,51	0,01
Yhteensä	6,67	2,02	37,06	1,37	5,33

Tampere-Toijala rataosuuden yhteenlasketut hiilimonoksidi- (CO), hiilivety- (HC), typen oksidi- (NO<sub>x</sub>), hiukkas- ja rikkidioksidipäästöt (SO<sub>2</sub>) sähkö- ja dieseljunaliikenteestä.

Liikennemuodot (t/a)	CO	HC	NO <sub>x</sub>	Hiukkaset	SO <sub>2</sub>
Sähköjunaliikenne	4,04	0,41	9,66	1,13	7,03
Dieseljunaliikenne	5,63	2,67	46,43	0,79	0,01
Yhteensä	9,67	3,08	56,08	1,93	7,04

Tampere-Orivesi rataosuuden yhteenlasketut hiilimonoksidi- (CO), hiilivety- (HC), typen oksidi- (NO<sub>x</sub>), hiukkas- ja rikkidioksidipäästöt (SO<sub>2</sub>) sähkö- ja dieseljunaliikenteestä.

Liikennemuodot (t/a)	CO	HC	NO <sub>x</sub>	Hiukkaset	SO <sub>2</sub>
Sähköjunaliikenne	1,34	0,14	3,20	0,38	2,33
Dieseljunaliikenne	4,11	1,95	35,21	0,59	0,01
Yhteensä	5,45	2,09	38,41	0,96	2,34

Orivesi-Haapamäki rataosuuden yhteenlasketut hiilimonoksidi- (CO), hiilivety- (HC), typen oksidi- (NO<sub>x</sub>), hiukkas- ja rikkidioksidipäästöt (SO<sub>2</sub>) sähkö- ja dieseljunaliikenteestä.

Liikennemuodot (t/a)	CO	HC	NO <sub>x</sub>	Hiukkaset	SO <sub>2</sub>
Sähköjunaliikenne	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dieseljunaliikenne	2,75	1,31	24,81	0,40	0,01
Yhteensä	2,75	1,31	24,81	0,40	0,01

Liite 5. Kunnittaiset VAHTI-järjestelmän mukaiset teollisuuden ja energiantuotannon päästömäärät vuosina 2000 – 2008, jossa eivät ole mukana kuntien luvittamat laitokset. NMVOC:n, CO:n ja metallien osalta tiedot ovat puutteelliset.

<b>AKAA</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>
PM (t)	24,09	28	35,8	23,1	15,5				
NMVOC (t)	5,9		4,4	4,8	2,7				
SO <sub>x</sub> /SO <sub>2</sub> (t)	39	0,6	0,6	0,54	7,5				
NO <sub>x</sub> /NO <sub>2</sub> (t)	29,02	11,5	11,5	13,4	8,8				
Metallit (kg)	3,71	3,5							
<b>HÄMEEN- KYRÖ</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>
CO (t)		34	34						14976
PM (t)	0,5	0,02	0,06	0,06	0,09		0,2		
NMVOC (t)		21,2	21,5		0,02				
SO <sub>x</sub> /SO <sub>2</sub> (t)	3,1	0,09	0,11	0,14	0,13	0,08	0,26	0,09	0,09
NO <sub>x</sub> /NO <sub>2</sub> (t)	168	170,03	208,83	159,47	155,21	133,05	165,72	145,61	112,6
Metallit (kg)	95,64						4,26		
<b>IKAALINEN</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>
PM (t)	2,61	0,35	0,35	0,46	0,38	0,43	0,3	0,1	0,2
SO <sub>x</sub> /SO <sub>2</sub> (t)	32,4					0,76	0,81	0,82	0,82
NO <sub>x</sub> /NO <sub>2</sub> (t)	16,23	21,2	38,84	34,87	36,38	37,82	34,6	41,03	14,51
Metallit (kg)	4,42	5,96	3,05	4,03	3,38	3,85	4,17	3,39	4,69
<b>KANGASALA</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>
CO (t)	82	85							
PM (t)	1,33	1,33	1,33	1,25	5,26	3,78	3,81	4	0,28
NMVOC (t)	7	7	7	7	7,1	7	7	4,6	9,8
SO <sub>x</sub> /SO <sub>2</sub> (t)	0,9	0,9	0,92	0,9	59,8	66,48	67,07	70,61	1,12
NO <sub>x</sub> /NO <sub>2</sub> (t)					20,66	27,57	27,83	29,31	
Metallit (kg)	78,58	78,58	78,58	78,58	78	77	78	78	88
<b>LEMPÄÄLÄ</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>
CO (t)								0,8	
PM (t)							1,03	1,99	4,5
NMVOC (t)								3,6	16,7
SO <sub>x</sub> /SO <sub>2</sub> (t)							0,42	10,69	
NO <sub>x</sub> /NO <sub>2</sub> (t)							3,02	8,71	

<b>MÄNTTÄ-VILPPULA</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>
CO (t)						1,1			0,1
PM (t)	32,31	35,03	41,96	53,6	87,74	87,52	56,66	36,57	2,61
NMVOC (t)	26,4	16	22,7	24,2	9,2	20,1	11,2	18,7	22,2
SO <sub>x</sub> /SO <sub>2</sub> (t)	350,85	340,3	329,1	353,3	377,89	330,77	199,82	55,01	48,19
NO <sub>x</sub> /NO <sub>2</sub> (t)	262,83	256,55	263,32	270,12	291,55	304	229,04	80,84	25,9
Metallit (kg)	180,84	160,65	65,78	160,75	143,02	249,75	139,78	132,95	133,96
<b>NOKIA</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>
CO (t)						3,04		2,3	1,7
PM (t)	1,99	0,2			0,5	1,18	0,6	0,6	0,4
NMVOC (t)	142,5	119,3	87,6	95,5	76,3	90,5	70,2	87,7	79,6
SO <sub>x</sub> /SO <sub>2</sub> (t)	20,44	0,4							
NO <sub>x</sub> /NO <sub>2</sub> (t)	95,51	75,88	65,41	81,14	101,46	106,45	109,1	130,73	106,69
Metallit (kg)		0,92			0,79				
<b>PARKANO</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>
PM (t)							7	9,4	8
SO <sub>x</sub> /SO <sub>2</sub> (t)							0,05		
NO <sub>x</sub> /NO <sub>2</sub> (t)							6,5	7,05	6,16
<b>PIRKKALA</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>
PM (t)	5	7,95	1,86	1,76	1,62	2,94	0,56	0,61	
SO <sub>x</sub> /SO <sub>2</sub> (t)	5,9	3,6	1,4		0,72		0,5	0,61	
NO <sub>x</sub> /NO <sub>2</sub> (t)	6	7,5	0,7		1	2	1,5	1,62	0,5
Metallit (kg)	286	280			826	788	827	957	
<b>RUOVESI</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>
CO (t)						9,9	8,57	8,14	8,65
PM (t)	31,71		32,62	32,43	34,6	41	14,91	14,84	11,33
SO <sub>x</sub> /SO <sub>2</sub> (t)	22,55		17,66	18,74	29,5	20,11	11,64	15,93	8,84
NO <sub>x</sub> /NO <sub>2</sub> (t)	21,58		10,09	10,86	12,43	11,31	4,7	6,28	3,61
Metallit (kg)			116,71	119,21	162,09	168,18	125,65	135,65	110,48
<b>SASTAMALA</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>
PM (t)	21,84	14,12	5,83	3,06	9,48	8,97	14,84	16,76	30,17
NMVOC (t)	316,7	268,2	318,1	401,2	400,1	424,2	478,8	456,7	367,5
SO <sub>x</sub> /SO <sub>2</sub> (t)	74,68	62,93	53,81	48,98	58,37	63,9	57,25	60,79	50,45
NO <sub>x</sub> /NO <sub>2</sub> (t)	90,73	43,02	132,31	121,62	85,75	78,8	95,09	100,06	73,22
Metallit (kg)		836,35							



<b>TAMPERE</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>
CO (t)	568,8	684	503	684	684	491,9	735,8	506	382,9
PM (t)	225,31	179,04	139,48	113,68	67,94	58,23	59,37	53,9	47,18
NMVOC (t)	3312,4	1125,7	744,9	723,5	1125,6	956,5	392,7	384,3	325,1
SO <sub>x</sub> /SO <sub>2</sub> (t)	676,17	655,59	580,51	621,35	511,1	329,13	521,02	562,46	401,86
NO <sub>x</sub> /NO <sub>2</sub> (t)	1111,37	1169,01	1093,1	1282	1171,1	1033,8	1160,8	1152,9	899,25
Metallit (kg)	2863,55	1688,41	1534,1	1687,2	1463,4	1338,5	1687	1954	687,2
<b>VALKEAKOSKI</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>
CO (t)									9,09
PM (t)	614,96	610,51	617	691,03	947,77	783,44	383,59	419,34	325,87
NMVOC (t)	156,9	148,2	118,9	112,8	84,6	61,3	72,1	89,5	74,2
TRS (t)	69,8	84,6	55,9	72,3	48,8	45,7	56	69,4	11
SO <sub>x</sub> /SO <sub>2</sub> (t)	870,8	902,8	955,15	1179,8	597,6	656,3	439,9	542,1	612,2
NO <sub>x</sub> /NO <sub>2</sub> (t)	1232,9	1235,02	1187,6	1165,6	919,61	776,9	1126,4	907,89	1113,2
Metallit (kg)	92,15	261,74	109,14	99,64	97	96,04	53,15	57,93	92,03
<b>VIRRAT</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>
PM (t)	0,69	0,86	0,98	0,9	3,45	3,32	3,56	4,53	4,95
NMVOC (t)	86,2	78,7	89,4	90,5	90,6	93	71,8	78,6	13,5
SO <sub>x</sub> /SO <sub>2</sub> (t)	4,44	4,44	4,72	4,36	1,72	2,55	2,98	285,98	514,08
NO <sub>x</sub> /NO <sub>2</sub> (t)	1,98	1,44	1,62	1,5	19,16	18,05	18,41	25,36	28,54