



**LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU**  
*Lahti University of Applied Sciences*

# ILMANLAADUN TRENDITARKASTELU LAHDESSA 2000-LUVULLA

LAHDEN  
AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikan ala  
Ympäristöteknologia  
Ympäristötekniikka  
Opinnäytetyö  
Kevät 2013  
Tommi Malminen

Lahden ammattikorkeakoulu  
Ympäristötekniologia

MALMINEN, TOMMI:

Ilmanlaadun trenditarkastelu Lahdessa  
2000-luvulla

Ympäristötekniikan opinnäytetyö, 68 sivua, 4 liitesivua

Kevät 2013

## TIIVISTELMÄ

---

Tämän työn tavoitteena oli tarkastella typen oksidien ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia Lahdessa 2000-luvulla. Lahden alueella suurin osa typen oksideista ja hengitettävistä hiukkasista on peräisin energiantuotannosta ja liikenteestä.

Tässä työssä käytetty aineisto kerättiin Lahden seudun ympäristöpalveluilta, joka vastaa Lahden alueen ilmanlaadun seurannasta. Käytettyyn aineistoon valittiin vain sellaista dataa, jonka validiteetti eli ajallinen edustavuus oli vähintään 75 %. Mittausaineisto kerättiin neljältä jatkuvatoimiselta mittausasemalta. Typen oksideja mitattiin kaupungin keskustassa Vesijärvenkadulla (Vesku 11), kaupunkitaustasemalla Kisapuistossa ja keskustan ulkopuolella Launeella. Hengitettäviä hiukkasia ja pienhiukkasia mitattiin keskustassa torilla ja Launeella.

Aineistosta laskettiin vuosikeskiarvot, keskiarvot eri vuodenaikoina, viikonpäivinä ja kellonaikoina. Myös raja-arvoilytykset laskettiin. Mahdollisten trendien arvioimiseen käytettiin Ilmatieteen laitoksen MAKESENS-mallia, joka arvioi nousevan tai laskevan trendin todennäköisyyden.

Lahdessa on käytössä ilmanlaatuindeksi, joka luokittelee ilmanlaadun viiteen eri luokkaan (hyvä, tyydyttävä, välttävä, huono ja erittäin huono). Koko 2000-luvun aikana ilmanlaatu on ollut pääosin hyvä tai tyydyttävä.

Hengitettävien hiukkasten ja typen oksidien pitoisuudet nousevat ajoittain korkeiksi. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet nousevat keväisin, kun talven aikana jauhautunut asfaltti ja hiekoitushiekka nousevat hengitysilmään. Typen oksidien pitoisuudet seuraavat selkeästi liikenteen rytmiiä. Suurimmat pitoisuudet typen oksidien osalta osuvat yleensä talvikuukausille. Talvella syntyy usein inversiotalanteita, kun ilman sekoittumisolosuhteet huononevat ja pitoisuudet hengitysilmassa nousevat korkeiksi.

Avainsanat: ilmanlaatu, hengitettävät hiukkaset, pienhiukkaset, typen oksidit, trenditarkastelu.

Lahti University of Applied Sciences  
Degree Programme in Environmental Technology

MALMINEN, TOMMI:

Air quality in Lahti in the 2000s  
Trend Analysis

Bachelor's Thesis in Environmental Engineering, 68 pages, 4 appendices

Spring 2013

ABSTRACT

---

The aim of this thesis was to study the concentrations of nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) and particulate matter (PM<sub>10</sub>) in the city of Lahti in the 2000s. In the Lahti area most of these particles come from energy production and traffic.

The source data used in the work was collected from the Lahti Region Environmental Services, which is responsible for monitoring the air quality in the Lahti area. Only data with at least 75 % temporal representativeness was used in the study. The measurement data was collected from four continuous monitoring stations. Nitrogen oxides were measured in the city center at Vesijärvenkatu 11, in the city background station in Kisapuisto and outside the center in Laune. PM<sub>10</sub> was measured at the station called Tori and in Laune.

Based on the data, annual and seasonal averages were calculated, as well as weekly and time of day averages. Also exceeding of limit values was calculated. To examine possible trends, the MAKESENS model by the Finnish Meteorological Institute was used. The model calculates the probability of an upward or downward trend.

In the city of Lahti, an air quality index is used that has five categories: good, satisfactory, fair, poor or very poor. Throughout the 2000s, the air quality has been mainly good or satisfactory.

Occasionally the concentrations of particulate matter and nitrogen oxides rise to high levels. PM<sub>10</sub> concentrations rise during spring, when asphalt and gritting sand ground throughout winter rise to the breathing air. The concentrations of NO<sub>x</sub> clearly follow the rhythm of the traffic. The largest NO<sub>x</sub> concentrations generally occur during the winter months. During winter, there are often episodes of poor air quality, during which mixing conditions of the air deteriorate and concentrations in the breathing air rise to high levels.

Key words: air quality, particulate matter, nitrogen oxides, trend analysis.

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	LAHDESSA KÄYTETTÄVÄT MITTAUSASEMAT	2
2.1	Keskustan mittausasemat	2
2.2	Keskustan ulkopuoliset mittausasemat	3
3	ILMAN EPÄPUHTAUDET JA NIIDEN HAITTAVAIKUTUKSET	6
3.1	Hengitettävät hiukkaset	6
3.2	Typen oksidit	7
3.3	Otsoni	8
3.4	Hiilimonoksidi	9
3.5	Haihtuvat orgaaniset yhdisteet	9
3.6	Polysykliset aromaattiset hiilivedyt	10
3.7	Kasvihuonekaasut	11
4	MERKITTÄVIMMÄT PÄÄSTÖLÄHTEET LAHDESSA	13
4.1	Tieliikenteen päästöt	13
4.2	Teollisuuden päästöt	14
5	KÄYTETTÄVÄT MITTAUSLAITTEET	18
5.1	Mittaustoiminnan kuvaus	18
5.2	Hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten mittaaminen	18
5.3	Typen oksidien mittaaminen	20
5.4	Laadunvalvonta ja kalibrointi	22
5.5	Tiedontallennus- ja tiedonhallintaohjelmat	23
6	ILMANLAADUN OHJE-, RAJA-, KYNNYS- JA TAVOITEARVOT	24
7	ILMANLAATUINDEKSI	30
8	MAKESENS-MALLINNUS	33
9	TULOSTEN TARKASTELU	34
9.1	Ilmanlaatu Suomessa	34
9.1.2	Pienhiukkaset	34
9.1.3	Hengitettävät hiukkaset	36
9.1.4	Typen oksidit	38

9.2	Ilmanlaatu Lahdessa 2000-luvulla	40
9.2.1	Typpimonoksidin ja typpidioksidin vuosikeskiarvot	40
9.2.2	Typpimonoksidi- ja typpidioksidipitoisuudet eri vuodenaikoina	42
9.2.3	Typpimonoksidi- ja typpidioksidipitoisuudet eri viikonpäivinä	45
9.2.4	Typpimonoksidi- ja typpidioksidipitoisuudet eri kellonaikoina	47
9.2.5	Typpidioksidipitoisuuksien raja-arvoylitykset	50
9.2.6	Hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvot (PM <sub>10</sub> )	52
9.2.7	Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet eri vuodenaikoina	54
9.2.8	Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet eri viikonpäivinä	55
9.2.9	Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet eri kellonaikoina	56
9.2.10	Hengitettävien hiukkasten raja-arvoylitykset	58
10	YHTEENVETO	61
	LÄHTEET	64
	LIITTEET	69

## SANASTO

**Episodi:** Tilanne, jossa ilman epäpuhtauksien pitoisuudet kohoavat huomattavasti normaalia korkeammaksi.

**Ilmanlaatuindeksi:** Ilmanlaadun mittari, joka perustuu eri komponenttien vertaamiseen niiden raja-, ohje- ja tavoitearvoihin.

**Ilmansaasteet:** Ihmisen toiminnasta peräisin olevia terveydelle haittaa aiheuttavia kaasumaisia tai hiukkasmaisia aineita.

**Inversio:** Käänteinen ilman lämpötilakerrostuneisuus. Maanpintaa lähellä oleva kylmempi ilma jää sitä ylempänä olevan lämpimämmän ilman alle loukkuun. Tällöin ilma ei liiku ja päästöt eivät pääse laimenemaan ja sekoittumaan.

**Katalysaattori:** Laite, joka puhdistaa pakokaasut ja muuttaa aineita vähemmän haitalliseen muotoon. Laite hapettaa hään hiilidioksidiksi, palamattomat hiilivedyt hiilidioksidiksi ja vedeksi sekä pelkistää typen oksidit typeksi.

**Katupöly:** Liikenteen kadun pinnasta ilmaan nostattamia hiukkasia, jotka koostuvat muusta kuin pakokaasuista. Suurimpina lähteinä hiekoitus, tienpinnan ja renkaiden aiheuttama kuluminen sekä jarruista syntyvä pöly.

**Nielu:** Ilmansuojelussa tarkoittaa jotakin prosessia, toimintaa tai mekanismia, joka sitoo ilmansaasteita tai kasvihuonekaasuja ilmakehästä.

**NO<sub>2</sub>:** Typpidioksidi, väriltään keltaoranssista punaruskeaan, vesiliukoinen kaasu. Haitallinen terveydelle hengitettäessä ja aiheuttaa rehevöitymistä ja kiihdyttää korroosiota.

**NO:** Typpimonoksidi, ilmassa nopeasti typpidioksidiksi hapettava kaasu.

**NO<sub>x</sub>:** Typen oksidit (NO+NO<sub>2</sub> typpidioksidiksi laskettuna).

**PAH:** Polysykliset aromaattiset hiilivedyt. Useita aromaattisia renkaita sisältäviä yhdisteitä. Useat niistä ovat karsinogeenejä eli syöpää aiheuttavia yhdisteitä.

**Pitoisuus:** Epäpuhtauden määrä tietyssä määrässä ilmaa. Esitetään yleensä mikrogrammoina epäpuhtautta kuutiometrissä ilmaa ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

**PM<sub>2,5</sub>:** Pienhiukkaset, joiden aerodynaaminen halkaisija on alle 2,5  $\mu\text{m}$ .

**PM<sub>10</sub>:** Hengitettävät hiukkaset, joiden aerodynaaminen halkaisija on alle 10  $\mu\text{m}$ .

**Päästö:** Epäpuhtauden eli saasteen päästö esimerkiksi pakoputkesta tai savupiipusta. Päästöjen laimentuessa ja sekoittuessa sääolojen mukaan muodostuu pitoisuus.

**Trendi:** Ilmansaasteiden pitoisuuksien kehittyminen pitkällä aikavälillä.

**VOC:** Haihtuvat orgaaniset yhdisteet, suurin ryhmä hiilivedyt. Yleensä kaasumaisia yhdisteitä, jotka voivat reagoida typen oksidien ja hapen kanssa auringonvalossa otsonia muodostaen.

# 1 JOHDANTO

Ulkoilmanlaatu vaikuttaa yleiseen viihtyvyyteen, ihmisten terveyteen ja luonnon tilaan. Huono ilmanlaatu aiheuttaa mm. astmaa ja sydänsairauksia ja pahentaa jo sairastuneiden oireita. Ilman epäpuhtaudet aiheuttavat eniten ongelmia herkille väestöryhmille eli vanhuksille ja lapsille. Terveyshaittoja aiheuttavat mm. keväisin pölyävä katupöly ja talvipakkasilla inversiotilanteissa esiintyvät korkeat typen oksidien pitoisuudet. Terveyshaittojen lisäksi ilmansaasteet tekevät tuhoja myös luonnolle. Ilmansaasteet aiheuttavat vesistöjen ja maaperän happamoitumista ja rehevöitymistä. Lisäksi ilmansaasteet vahingoittavat kasveja lehtien, neulasten ja juuriston vaurioitumisen myötä.

Ilmanlaadun seuranta on Euroopassa ja Suomessa tiukasti määritelty. Erilaiset ohje-, raja- ja tavoitearvot on tehty suojelemaan kansalaisten terveyttä ja luonnon monimuotoisuutta. Lainsäädäntö antaa ohjeita epäpuhtauksien enimmäispitoisuuksista, ilmanlaadun seuranta-alueista, ilmanlaadun mittauksista, ilmanlaatu-tietojen saatavuudesta ja kansalaisille tiedottamisesta.

Tämän työn tarkoituksena on tarkastella Lahden ilmanlaatua vuosina 2000 - 2010. Tarkastelun kohteeksi valittiin typen oksidit ja hengitettävät hiukkaset. Työssä käytetyt tulokset saatiin Lahden seudun ympäristöpalveluilta.

Työn tavoitteena oli selvittää, kuinka suuria pitoisuuksia Lahden ulkoilmassa oli typen oksideja ja hengitettäviä hiukkasia vuosina 2000 - 2010 ja kuinka pitoisuudet vaihtelivat valitulla ajanjaksolla. Lisäksi tavoitteena oli tarkastella pitoisuuseroja eri vuodenaikoina, viikonpäivinä ja kellonaikoina. Viimeisenä tavoitteena oli selvittää, löytyykö typen oksidien tai hengitettävien hiukkasten pitoisuuksista nousevia tai laskevia trendejä.

## 2 LAHDESSA KÄYTETTÄVÄT MITTAUSASEMAT

Ilmanlaadun mittausasemat voidaan luokitella sijaintinsa, päästölähteiden etäisyyden ja luonteen mukaan. Asemat voidaan nimetä sijaintinsa mukaan kaupunki-, esikaupunki- ja maaseutuasemiksi tai näiden tausta-asemiksi. Tausta-aseman tarkoituksena on antaa edustava kuva ympäröivän alueen ilmanlaadusta. Tausta-aseman tulisi sijaita riittävän kaukana vilkasliikenteisistä kaduista ja muista yksittäisistä päästölähteistä, jotta saataisiin selville taustapitoisuudet. Mittausasemat voidaan nimetä myös päästöjen luonteen mukaan liikenneasemiksi tai teollisuusasemiksi. Teollisuusasemilla mitataan teollisuuden päästöjen vaikutusta yleiseen ilmanlaatuun eli mittausasemat sijaitsevat lähellä teollisuusalueita. Liikenneasemat sijaitsevat vilkkaasti liikennöityjen katujen varsilla ja ne edustavat väestön suurinta altistumista liikenteen päästöille. (VNA 38/2011.)

### 2.1 Keskustan mittausasemat

**Vesku 11:n** mittausasema sijaitsee aivan Lahden ydinkeskustassa. Asemalla mitatut epäpuhtaudet kuvaavat keskustan ilmanlaatua. Mittausasema sijaitsee Vesijärvenkadun ja Vapaudenkadun risteyksessä, jotka ovat molemmat vilkkaasti liikennöityjä. Liikennemäärä Vesijärvenkadulla on noin 19 000 ajoneuvoa vuorokaudessa ja Vapaudenkadulla noin 10 000 ajoneuvoa vuorokaudessa. (Kaasalainen 2010, liite 4.) Vesku 11:n mittausasemalla on mitattu jatkuvatoimisesti typen oksideja vuodesta 1990, hiilimonoksidia vuosina 1990 - 2009 ja rikkidioksidia vuosina 1995 - 1999. Otsonipitoisuuksien mittaaminen aloitettiin vuonna 1995 ja lopetettiin vuonna 1998. Vuonna 2002 mittausaseman yhteyteen lisättiin VOC-passiiviputki, jolla kerätään näyte haihtuvista orgaanisista yhdisteistä. Ilman epäpuhtauksien lisäksi Vesku 11:n asemalla on mitattu ulkoilman lämpötilaa, tuulen nopeutta ja tuulen suuntaa vuodesta 1992. Ilman epäpuhtauksien näytteenotto tapahtuu katukuilusta ja näytteenottokorkeus on noin kolme metriä. Kiinteistön katolle on sijoitettu meteorologiset mittauslaitteet, jotka sijaitsevat 32 metrin korkeudessa. (Kaasalainen 2004; Kaasalainen 2009; Kaasalainen 2010.)

**Torin** mittausasema sijaitsee aivan Lahden ydinkeskustassa kauppatorin laidalla. Asemalla mitattiin jaksottaisesti kokonaisleijumaa (TSP) vuodesta 1986 vuoteen

2004 asti. Hengitettäviä hiukkasia torilla mitattiin tehokeräysmenetelmällä vuosina 1991 - 1998. Jatkuvatoiminen hengitettävien hiukkasten mittaaminen aloitettiin vuonna 1997. Vuonna 2008 torin mittausasemalla aloitettiin myös pienhiukkasten mittaaminen eli PM<sub>2,5</sub>. Näytteenottokorkeus asemalla on 3 metrin korkeudessa. (Kaasalainen 2004; Kaasalainen 2008; Kaasalainen 2010.)

**Kisapuiston** mittausasema sijaitsee urheilukentällä lähellä kaupungin keskustaa. Aseman läheisyydessä kulkee Kariniemenkatu, jonka liikennemäärä on noin 10 000 ajoneuvoa vuorokaudessa. Lisäksi toinen mahdollinen päästölähde, Teivaanmäen voimalaitos, sijaitsee 500 metrin päässä asemasta. Kisapuiston mittausasema toimii kaupunkitausta-asemana. (Kaasalainen 2010, liite 4.) Kisapuiston asemalla on mitattu typen oksideja vuodesta 1986 lähtien, rikkidioksidia vuosina 1986 - 1995 ja hengitettäviä hiukkasia vuosina 1998 - 2000. Mittausaseman näytteenottokorkeus on kolme metriä (Kaasalainen 2000; Kaasalainen 2010.)

## 2.2 Keskustan ulkopuoliset mittausasemat

**Neopolin** sääasema otettiin käyttöön lokakuussa 1996. Sääasema sijaitsi Neopolin kiinteistön katolla osoitteessa Niemenkatu 73. Asemalla mitattiin ulkoilman lämpötilaa, tuulen nopeutta sekä tuulen suuntaa. Mittauslaitteet oli asennettu 6 metrin korkeuteen kattopinnasta ja 16 metrin korkeuteen maanpinnasta. Meteorologisia mittauksia jatkettiin vuoteen 2002 asti. Vuonna 2004 Neopolin kiinteistöön asennettiin haihtuvia orgaanisia yhdisteitä mittaava passiiviputki, joka keräsi epäpuhtauksia kahden viikon periodeissa. Kun kaksi viikkoa oli kulunut, passiiviputki vaihdettiin uuteen. VOC-yhdisteiden mittaaminen lopetettiin vuonna 2010. (Kaasalainen 2002; Kaasalainen 2004; Kaasalainen 2010.)

**Metsäkankaan** mittausasema sijaitsee Metsäkankaan koulun tiloissa. Mittausasema sijaitsee asuinalueella, joka on noin viiden kilometrin päässä Lahden ydinkeskustasta. Metsäkankaalla on hyvä mitata otsonin pitoisuuksia, koska aseman läheisyydessä ei kulje niin paljon liikennettä kuin kaupungissa, joten otsonia ei kulu hapettumisreaktioihin. Metsäkankaan asemalla on mitattu typen oksideja vuodesta 1992 vuoteen 1999 sekä vuosina 2007 - 2009. Otsonipitoisuuksia on mitattu jatkuvatoimisesti vuodesta 1998 lähtien. Otsonin mittauslaite siirrettiin

vuoden 2011 lopussa uuteen mittauspaiikkaan Satulakadulle. Lisäksi mittausasemalla on mitattu ulkoilman lämpötilaa vuodesta 1996 lähtien. Vuonna 2010 mittausasemalle asennettiin uusi sääasema, joka pystyy mittaamaan myös tuulen suuntaa ja nopeutta. Metsäkankaan mittausaseman näytteenottokorkeus on noin 7 metrin korkeudessa. (Kaasalainen 2007; Kaasalainen 2009; Kaasalainen 2010.)

**Launeen** mittausasema sijaitsee keskustan ulkopuolella kahden vilkasliikenteisen kadun risteyksessä. Uudenmaankadulla kulkee noin 20 000 ajoneuvoa vuorokaudessa ja Tapparakadulla noin 13 000 ajoneuvoa vuorokaudessa. (Kaasalainen 2010, liite 4.) Mittaukset aloitettiin vuonna 2000 ja mitattavat komponentit olivat NO- ja NO<sub>2</sub>-pitoisuudet. Seuraavana vuonna aloitettiin hengitettävien hiukkasten mittaaminen. Vuonna 2002 aseman katolle asennettiin VOC-passiiviputki haihtuvien yhdisteiden tarkkailuun. Aseman näytteenottokorkeus on noin kolmen metrin korkeudessa. (Kaasalainen 2000; Kaasalainen 2004; Kaasalainen 2010.)

**Möysän** mittausasema sijaitsi kaupungin ulkopuolella esikaupunkialueella Ruolan ostoskeskuksen katolla. Aseman läheisyydessä oli kaksi kohtalaisesti liikennöityä tietä, Viipurintie (10 000 ajoneuvoa vuorokaudessa) ja Ahtialantie (18 000 ajoneuvoa vuorokaudessa). (Kaasalainen 2010, liite 4.) Möysän asemalla mitattiin kokonaisleijumaa (TSP) sekä hengitettäviä hiukkasia (PM<sub>10</sub>) vuodesta 1994 vuoteen 2004 asti. Mittaus suoritettiin tehokeräysmenetelmällä, jossa näyteilmaa imeetään suodattimen läpi noin vuorokauden ajan. Kun tiedetään suodattimen läpi kulkenut ilmamäärä sekä punnitaan suodatin ennen keräystä ja keräyksen jälkeen, voidaan laskea ulkoilman hiukkaspitoisuus. Tehokeräinmittaukset lopetettiin vuonna 2004 ja aloitettiin haihtuvien yhdisteiden mittaus VOC-passiiviputkella. Näytteenottokorkeus oli noin viiden metrin korkeudessa. (Kaasalainen 2004; Kaasalainen 2010.)

VOC-yhdisteitä on mitattu 2000-luvulla kiinteästi samoilla paikoilla Vesku 11:ssä, Neopolissa, Metsäkankaalla ja Launeella. Lisäksi VOC-yhdisteitä on mitattu lyhyempiä aikoja **Patomäessä**, **Kytölässä**, **Vanhallatiellä**, **Holmassa** sekä **Karistossa**. (Kaasalainen 2006.) Taulukkoon 1 on kerätty yhteenvetona Lahden mittausasemat ja mitattavat epäpuhtaudet.

TAULUKKO 1. Lahden ilmanlaadun mittausasemat vuodesta 2000 eteenpäin sekä mittauskomponentit ja niiden käyttöaika (Kaasalainen 2000, 2002, 2004, 2006, 2008, 2009, 2010)

Mittausasema	Mittausaseman kuvaus	Mitattava komponentti	Käytössä vuodesta
Vesku 11 Vesijärvenkatu 11	Sääasema, katukuilu	lämpötila, tuulensuunta ja nopeus NO, NO <sub>2</sub> CO O <sub>3</sub> SO <sub>2</sub> VOC-passiiviputki	1992 -  1990 - 1990 - 2009 1995 - 1998 1995 - 1999 2004 -
Neopoli Niemenkatu 73	Sääasema	lämpötila, tuulensuunta ja nopeus VOC-passiiviputki	1996 - 2002   2004 - 2010
Kisapuisto	Ulkoharrastealue, lähellä kaupungin keskustaa ja teollisuutta	NO, NO <sub>2</sub> PM <sub>10</sub>	1986 - 1998 - 2000
Metsäkangas Suitsikatu 10	Keskustan ulkopuolinen asuinalue, ei päästölähteitä lähellä Metsäkankaan koulu	O <sub>3</sub> lämpötila VOC-passiiviputki NO, NO <sub>2</sub>	1998 - 2011 1995 - 2004 - 2010 1992 - 1999 2007 - 2010
Tori	Kauppatori	TSP (tehokeräin) PM <sub>10</sub> PM <sub>2,5</sub>	1986 - 2004 1991 - 2008 -
Laune	Keskustan ulkopuolinen vilkaasti liikennöity alue	NO, NO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub> VOC -passiiviputki	2000 - 2001 - 2004 -
Möysä Viipurintie 1	Esikaupunkialue Ruolan ostoskeskus	TSP ja PM <sub>10</sub> (tehoke- räin) VOC-passiiviputki	1991 - 2004  2004 - 2010
Patomäki, Kytölä Vanhatie, Holma Karisto	Keskustan ulkopuolinen omakotialue	VOC-passiiviputki	

### 3 ILMAN EPÄPUHTAUDET JA NIIDEN HAITTAVAIKUTUKSET

#### 3.1 Hengitettävät hiukkaset

Hiukkaset jaotellaan kahteen ryhmään: karkeisiin ja hienoihin hiukkasiin. Hienojen hiukkasten airodynaaminen halkaisija on pienempi kuin  $2,5 \mu\text{m}$  ja karkeiden yli  $2,5 \mu\text{m}$ . Ero näiden kahden hiukkasluokan välillä on yleensä selvä, sillä karkeiden ja hienojen hiukkasten syntymekanismi on erilainen. Karkeat hiukkaset syntyvät mekaanisista prosesseista (esim. hiekoitushiekka murenee auton renkaan alla), hienot hiukkaset taas syntyvät pääosin pakokaasuista (esim. dieselmoottorin käyttö). Karkeita hiukkasia kutsutaan nimellä hengitettävät hiukkaset ja hienoja hiukkasia kutsutaan pienhiukkasiksi. (Laukkanen 2005, 38.) Kaupunki-ilmassa leijuva pöly on peräsin niin luonnosta kuin ihmisen aiheuttamasta toiminnasta. Merkittävimmät hiukkasten päästölähteet ovat mm. energiantuotanto, liikenne ja erilaiset teollisuusprosessit. (Kaasalainen 2010, 5.)

Liikenteestä johtuvat hiukkas päästöt aiheutuvat monista prosesseista, mm. polttoaineiden käytöstä, jarrutuksissa kuluvista jarrupaloista, kuluvista renkaista ja laakereista. Liikenteessä syntyy niin hengitettäviä hiukkasia kuin pienhiukkasia. Pienhiukkasia syntyy paljon, jos käytössä on vanhoja dieselautoja, joissa ei ole hiukkassuodattimia. (Vallius 2005, 18.)

Hengitettäviä hiukkasia syntyy eniten keväisin, kun ajorata alkaa sulaa ja nastarenkaat hankaavat hiekoitushiekan avulla tien pintaa. Nastarenkaat ja hiekoitushiekka toimii kuin hiomapaperi, joka irrottaa tienpinnasta pölymäiseksi hienontunutta ainesta. Liikenteestä johtuva ilmavirta nostaa pölyn ilmaan, jolloin puhutaan re-emissiosta. (Laukkanen 2005, 41.)

Energiantuotanto aiheuttaa merkittävän suoran hiukkaslähteen Lahdessa. Vuonna 2010 hiukkas päästöistä 54 % aiheutui energiantuotannosta. Pahimpana pistelähteenä toimi Kymijärven voimalaitos. Liikenne ja energiantuotanto ovat Lahden merkittävimmät suorien hiukkas päästöjen lähteet. (Kaasalainen 2010, 11.)

Ihmiset altistuvat pienhiukkasten terveysvaikutuksille hengittämällä hiukkaspitoista ilmaa. Normaalityössä ihminen hengittää noin kymmenen litraa minuutissa, mutta raskasta työtä tehdessä hengitettävän ilman määrä voi nousta jopa 150 litraan minuutissa. (Laukkanen 2005, 114.) Tämän lisäksi pienhiukkasten altistumiseen vaikuttaa ulkona vietetty aika. Nykypäivänä useimmat ihmiset viettävät sisätiloissa jopa 80 - 90 prosenttia vuorokaudesta, esimerkiksi kotona, töissä ja koulussa. Sisätiloihin kulkeutuvat helposti ultrapienet hiukkaset, joiden läpimitta on alle 0,1 µm. Sen sijaan karkeat hiukkaset (PM<sub>10</sub>) eivät pääse helposti tunkeutumaan sisäilmaan, eli ihmiset altistuvat pienhiukkasille riippuen siitä, tekevätkö esimerkiksi toimistotöitä sisällä vai raskasta työtä ulkona. (Salonen & Pennanen 2006, 7.)

Hengitettävien hiukkasten halkaisijan ylärajana pidetään 10 µm, koska tätä isommat hiukkaset eivät pääse tunkeutumaan syvälle hengityselimiin. Karkeimmat hiukkaset jäävät ylähengitysteihin, ja mitä pienemmiksi hiukkasten halkaisija tulee, sitä syvemmälle hiukkaset pääsevät. Vain nanohiukkaset pystyvät tunkeutumaan syvälle keuhkoihin aina keuhkorakkuloihin asti. Siellä hiukkasiin sitoutuneet haitta-aineet pääsevät liukenemaan suoraan verenkiertoon. Myös itse hiukkaset voivat joutua verenkiertoon, josta ne voivat kulkeutua esimerkiksi sydänlihakseen aiheuttaen tulehdusreaktioita. (Laukkanen 2005, 115.)

Yleensä hiukkaset eivät aiheuta terveelle ihmiselle akuuttia terveyshaittaa. Suurina pitoisuuksina pienhiukkaset ovat vaaraksi mm. astmaatikoiden ja sydänsairaille, joilla on jo muutenkin huonontunut keuhkojen toimintakyky. (Terveyskirjasto 2013).

### 3.2 Typen oksidit

NO<sub>x</sub>-yhdisteillä tarkoitetaan typpidioksidia (NO<sub>2</sub>) ja typpimonoksidia (NO) yhteensä. Niitä syntyy aina palamisen yhteydessä. Typen oksideja pääsee ilmaan kaikissa polttotapahtumissa, mm. metsäpaloissa, energiantuotannossa, liikenteessä ja puun pienpoltossa. Typen oksideja syntyy eniten kovissa palamislämpötiloissa, ja jos happipitoisuus on tarpeeksi korkea. Typen oksidit vapautuvat ilmaan pääasiassa typpimonoksidina (NO), joka kuitenkin hapettuu otsonin vaikutuksesta

nopeasti typpidioksidiksi ( $\text{NO}_2$ ). (Ilmansuojeluin perusteet 2005, 26.) Lahdessa suurin osa typen oksideista on peräisin energiantuotannosta ja liikenteestä.

Typen oksideista terveydelle vaarallisempi on typpidioksidi. Se tunkeutuu tehokkaasti syvälle hengitysteihin ärsyttäen hengitysteitä. Suurina pitoisuuksina se supistaa keuhkoputkia. Tämän takia typen oksidit ovat haitallisia hengitystiesairaille, koska se vaikeuttaa jo valmiiksi heikentyntä hapensaantia. Tyyninä pakkaspäivinä syntyy paljon typen oksideja. Kylmä ilma rasittaa hengityselimiä ilman kohonneita typen oksidien pitoisuuksiakin. Kun tähän lisätään vielä tyynellä säällä syntyvät suuret typen oksidien pitoisuudet, niin silloin hengityssairaat saavat helposti oireita. (Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2009, 15.)

### 3.3 Otsoni

Otsoni on hapen kolmiatominen muoto, joka kuuluu oleellisena osana ilmakehän luonnolliseen kaasukoostumukseen. Suurin osa otsonista syntyy ilmakehän yläosassa stratosfäärissä, noin 20 kilometrin korkeudella. Siellä se muodostaa maapallolle elintärkeän suojakerroksen, joka suodattaa auringonvalosta tulevat lyhytaaltoiset ultraviolettisäteet. Joskus ilmavirrat saattavat tuoda yläilmakehän otsonia alempiin ilmakerroksiin, jolloin otsonia saattaa joutua jopa hengitettävään ilmaan. Mutta ihmisen kannalta merkittävin otsonin lähde on valokemiallinen muutunta. Otsonia muodostuu lähellä maanpintaa voimakkaan auringonsäteilyn aikana, jolloin ilman hapen, typen oksidien ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden välisissä valokemiallisissa reaktioissa syntyy terveydelle haitallista otsonia. (Tarvainen 2008.)

Maanpintaotsonille on tyypillistä pitoisuuksien voimakas vaihtelu vuorokauden ajan, vuodenajan ja paikan mukaan. Otsonipitoisuudet ovat yleensä suurimmillaan aurinkoisena kevätpäivänä keskustan ulkopuolella, koska keskustassa olevat saasteet (pääasiassa typpimonoksidi) toimivat otsoninieluina. (Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2010, 13.)

Otsoni toimii voimakkaana hapettimena, joka suurina pitoisuuksina on haitallista ihmisen terveydelle, luonnolle ja erilaisille materiaaleille. Otsonin aiheuttamia

oireita ovat silmien, nenän ja kurkun limakalvojen ärsytys. Suuret otsonipitoisuudet ovat erityisen hankalia hengityssairaille, koska otsoni lisää hengenahdistusta ja heikentää toimintakykyä. Otsoni saattaa myös pahentaa siitepölyn aiheuttamia oireita. (Hengitysliitto 2013.)

Otsoni aiheuttaa haittavaikutuksia myös luonnolle. Haittavaikutukset tulevat näkyviin jo huomattavasti alemmilla pitoisuuksilla kuin ihmisellä esiintyvät terveyshaitat. Otsoni vaurioittaa kasvien solukkoa ja häiritsee fotosynteesin toimintaa; nämä haittavaikutukset heikentävät metsien kasvua ja aiheuttavat viljelyksien satotappioita. Korkeat otsonipitoisuudet tuhoavat myös orgaanisia materiaaleja, mm. muovia, kumia ja tekstiilejä. (Tarvainen 2008.)

### 3.4 Hiilimonoksidi

Hiilimonoksidia eli häkää syntyy silloin, kun polttoaineen hiili palaa heikoissa palamisolosuhteissa. Hiilimonoksidia syntyy pääasiassa liikenteestä, kun moottorissa tapahtuu epätäydellistä palamista. Nykyautoissa käytettävät katalysaattorit ja pitkälle kehitetyt polttoaineet ovat vähentäneet hiilimonoksidipäästöjä. Hiilimonoksidi hapettuu ilmassa hiilidioksidiksi, joka on kasvihuoneilmiötä vahvistava kaasu. (Laukkanen 2005, 37.)

Hiilimonoksidi on erittäin myrkyllistä, sillä se sitoutuu veren hemoglobiiniin kaksisataa kertaa tehokkaammin kuin happi estäen tehokkaasti hapen kuljetuksen veressä. Siksi häkä onkin erityisen vaarallinen mm. hengityselinsairaille ja vanhuksille, joilla on jo valmiiksi heikentynyt hapensaanti. Pienissäkin pitoisuuksissa hiilimonoksidi aiheuttaa keskittymisvaikeuksia, päänsärkyä ja pahoinvointia. Hiilimonoksidille altistuu helposti ruuhka-aikana, jolloin on paljon liikennettä ja päästöt vapautuvat suoraan hengityskorkeudelle. (Laukkanen 2005, 37.)

### 3.5 Haihtuvat orgaaniset yhdisteet

Haihtuvilla orgaanisilla yhdisteillä (VOC) tarkoitetaan suurta määrää erilaisia orgaanisia yhdisteitä, jotka ovat pääasiassa kaasumaisessa muodossa. Osa näistä yhdisteistä on puolihaihtuvia ja esiintyvät olosuhteista riippuen myös hiukkas-

muodossa. VOC-yhdisteitä ovat mm. hiilivedyt, alkoholit, ketonit, aldehydit, esterit ja eetterit. VOC-yhdisteiden kiehumispiste on yleensä alhainen lämpötilan ollessa 50 – 260 °C. Haihtuvia orgaanisia yhdisteitä pääsee ilmaan usein liikenteestä, teollisuudesta ja pientalojen lämmityksestä. (Kaasalainen 2010, 6.)

Koska VOC-yhdisteet ovat helposti haihtuvia, niin ne nousevat helposti hengitysilmään ja aiheuttavat hajuhaittoja. Tärkeimpiä hajuongelmia aiheuttavia yhdisteryhmiä ovat akryylit, aromaattiset esterit, ketonit sekä erityisesti pelkistyneet rikkiyhdisteet eli merkaptaanit ja sulfidit. Hajuhaitat ovat usein hyvin paikallisia, sillä haihtuvat orgaaniset yhdisteet ovat ilmakemiallisesti hyvin lyhytikäisiä, joten useiden kymmenien kilometrien etäisyyksille ulottuvia hajuhaittoja syntyy harvoin. VOC-yhdisteitä syntyy teollisuudessa, jossa joudutaan käyttämään paljon mm. liimoja, maaleja, lakkoja, liuottimia ja painovärejä. (Laukkanen 2005, 110.) Lahdessa suurimmat yksittäiset VOC-päästölähteet ovat Isku Teollisuus Oy ja Nor-Maali Oy, jotka käyttävät tuotannossaan paljon liuottimia, liimoja ja painovärejä (Kaasalainen 2010, 12).

Suurina pitoisuuksina VOC-yhdisteet voivat aiheuttaa päänsärkyä, pahoinvointia, silmien ärsytystä, väsymystä ja astman kaltaisia oireita. Jotkut VOC-yhdisteet on luokiteltu myös syöpää aiheuttaviksi, kuten bentseeni. Bentseenipitoisuudet ovat usein koholla vilkkasliikenteisten katujen varsilla ja alueilla, missä käytetään paljon talokohtaista puulämmitystä. VOC-yhdisteet ja typen oksidit muodostavat alailmakehässä otsonia. (Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2010.)

### 3.6 Polysykliset aromaattiset hiilivedyt

Polysykliset aromaattiset hiilivedyt (eli PAH-yhdisteet) ovat orgaanisia yhdisteitä, joita syntyy epätäydellisen palamisen tuloksena. Ilmanlaatuun eniten vaikuttavia päästölähteitä ovat mm. liikenne, puun pienpoltto, energiantuotanto ja teollisuus. PAH-yhdisteet voivat olla joko kaasui- tai hiukkasmuodossa. Kaksi tai kolme aromaattista rengasta sisältävät PAH-yhdisteet ovat yleensä kaasumuodossa ja yli viisi aromaattista rengasta sisältävät yhdisteet ovat hiukkasmuodossa. PAH-yhdisteet ovat terveydelle vaarallisia, ne lisäävät syöpäriskiä. Erityisesti hiukkasiin (PM<sub>2,5</sub> ja PM<sub>10</sub>) sitoutuneet PAH-yhdisteet ovat vaarallisia, koska ne pääsevät

tunkeutumaan keuhkorakkuloihin asti. (Ulkoilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet Lahdessa ja Heinolassa 2004.)

Euroopan unioni on antanut direktiivin ulkoilman elohopean, arseenin, kadmiumin, nikkelin ja polysyklisen aromaattisten hiilivetyjen tavoitearvoista ilmassa. Direktiivissä PAH-yhdisteiden merkkiaineena toimii bentso(a)pyreeni, jonka tavoitearvo  $1 \text{ ng/m}^3$  on pyrittävä saavuttamaan vuoteen 2013 mennessä. (2004/107/EY.)

### 3.7 Kasviuonekaasut

Tärkeimmät ilmakehässä luonnostaan esiintyvät kasviuonekaasut ovat vesihöyry, hiilidioksidi, metaani, dityppioksidi ja otsoni. Näillä kasviuonekaasuilla on molekyyliarakenteensa ansiosta lämpösäteilyä peilaava vaikutus. Ne päästävät aurin-gosta peräisin olevan lämpösäteilyn lävitseen, mutta palauttavat osan avaruuteen palaavasta säteilystä takaisin maapallolle. Ihmisten aiheuttamat päästöt lisäävät ilmakehässä luonnostaan esiintyvien kasviuonekaasujen määrää. Lisäksi ihmiset päästävät ilmakehään kokonaan uusia sinne kuulumattomia kaasuja. (Nevanlinna 2008.)

Hiilidioksidi on ehdottomasti tärkein kasviuonekaasu, jota ihminen toimillaan ilmakehään päästää. Suurin osa ihmisen tuottamasta hiilidioksidista syntyy fossiilisten polttoaineiden (mm. öljyn, kivihiilen ja maakaasun) käytöstä. Toinen hiilidioksidin lähde on maankäyttö. Esimerkiksi trooppisten metsien hävittäminen vapauttaa hiilidioksidia ilmakehään, koska metsät toimivat tehokkaina hiilinieluinä. (Nevanlinna 2008.)

Ihmisen tuottamista kasvihuonekaasuista toiseksi merkittävin on metaani. Metaania syntyy, kun eloperäistä ainesta hajoaa hapettomissa oloissa esimerkiksi riisipelloilla ja kaatopaikoilla. Ilmakehään päästyään metaani alkaa hiljalleen hajota auringonvalosta energiansa saavissa kemiallisissa reaktioissa. Hajoamistuotteina syntyy vettä ja hiilidioksidia. Hiilidioksidipäästöjen vaikutusaikaan verrattuna metaanin elinikä ilmakehässä on lyhyt, vain noin 12 vuotta, kun taas hiilidioksidin elinikä on noin 120 vuotta. Vaikka metaanin elinikä ilmakehässä on suhteellisen lyhyt hiilidioksidiin verrattuna, niin sen maapalloa lämmittävä vaikutus on kaksikymmentäkertainen suhteessa hiilidioksidiin. (Nevanlinna 2008.)

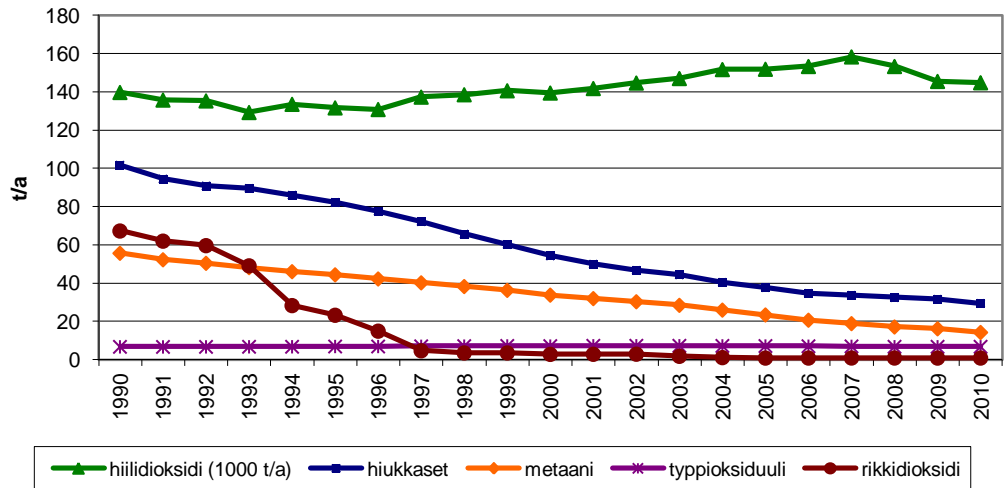
Dityppioksidia eli ilokaasua muodostuu maaperässä nitraattien hajotessa. Siksi dityppioksidin suurin päästölähde on maatalous, joka tuottaa runsaan kolmasosan kaikista dityppioksidipäästöistä. Dityppioksidimolekyylit hajoavat ilmakehässä auringon korkeaenergisestä ultravioletisäteilyn vaikutuksesta. Dityppioksidin elinikä ilmakehässä on noin 120 vuotta. Dityppioksidi on kolmikarbon voimakkain kasvihuonekaasu. Sen lämpövaikutus on jopa 200 - 300 kertaa voimakkaampi kuin hiilidioksidin. (Nevanlinna 2008.)

## 4 MERKITTÄVIMMÄT PÄÄSTÖLÄHTEET LAHDESSA

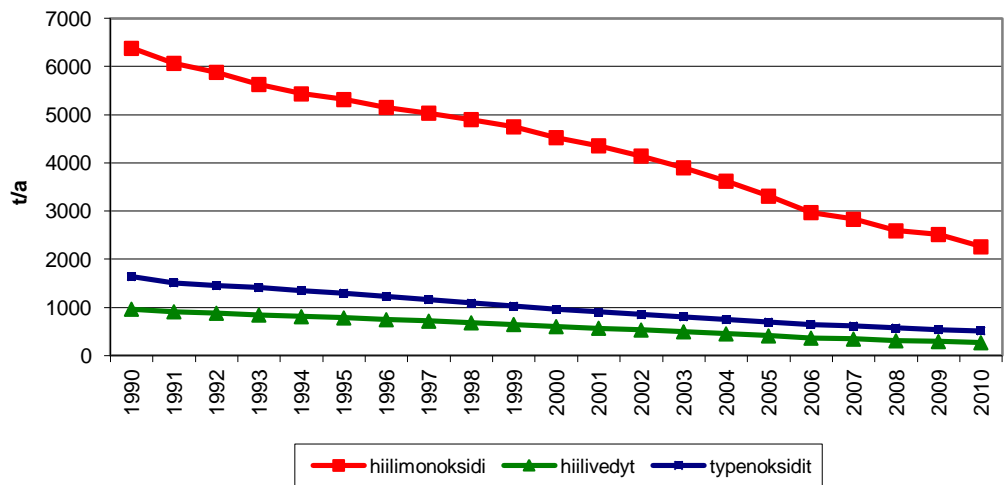
### 4.1 Tieliikenteen päästöt

Tieliikenteen päästöillä on suuri merkitys hengitettävän ilman laatuun, koska päästöt vapautuvat suoraan hengityskorkeudelle. Merkittävimmät liikenteestä aiheutuvat päästöt ovat hengitettävät hiukkaset ja pienhiukkaset, hiilimonoksidi, VOC-yhdisteet sekä typen oksidit. (Kaasalainen 2010.)

Lahdessa tieliikenne on teollisuuden ja energiantuotannon ohella suurin yksittäinen päästölähde (Kaasalainen 2010). Vuosina 2000 - 2010 kaikista typen oksidien päästöistä noin 26 % johtui liikenteestä. Liikenteen aiheuttaman suoran hiukkaspäästön osuus oli noin 38 %. Lisäksi liikenne aiheuttaa epäsuoria hiukkaspäästöjä erityisesti keväällä, koska sulan lumen alta paljastunut hiekoitushiekka ja asfalttipöly nousevat kadulta hengitysilmaan. Vuosien 2006 - 2010 aikana liikenteen osuus kaikista VOC-päästöistä oli 59 %. Rikkidioksidipäästöt johtuivat lähes kokonaan energiantuotannosta, ja liikenteen osuudeksi jäi ainoastaan 0,1 %. Hiilidioksidipäästöissä liikenteen osuus oli noin 15 %. Kuviossa 1 ja 2 on esitetty tieliikenteen päästöjen kehitys Lahdessa vuosina 1990 - 2010 VTT:n LIISA 2010 -laskentamallia käyttäen.



KUVIO 1. Tieliikenteen rikkidioksidi-, hiukkas- ja kasvihuonekaasupäästöjen kehitys Lahdessa vuosina 1990 - 2010 (VTT, LIISA 2010)

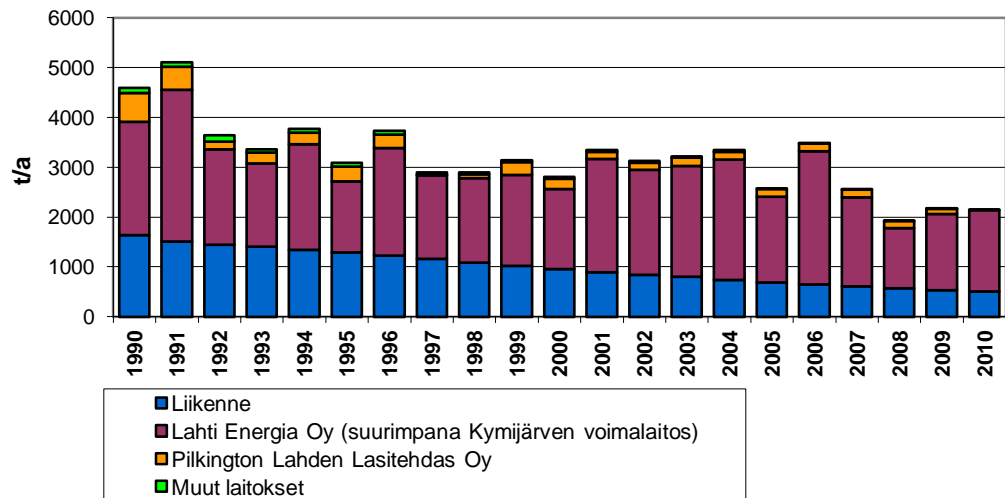


KUVIO 2. Tieliikenteen hiilimonoksidi-, hiilivedyt- ja typen oksidien päästöjen kehitys Lahdessa vuosina 1990 - 2010 (VTT, LIISA 2010)

#### 4.2 Teollisuuden päästöt

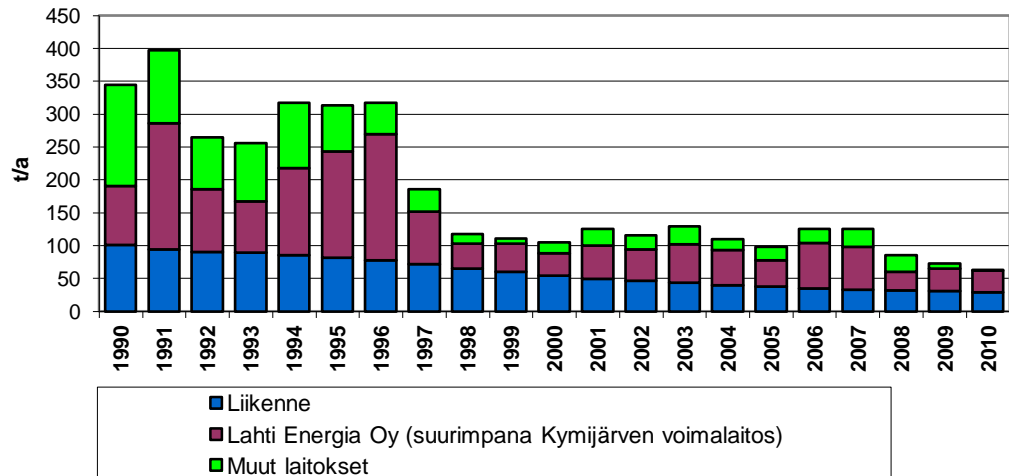
Ympäristölupavelvolliset yritykset, joiden päästöt joutuvat hengitettävään ilmaan, ottavat osaa ilmanlaadun yhteistarkkailuun. Suurin osa laitoksista kuuluu Lahti Energia Oy:n omistukseen, joista pahin ilman saastuttaja on Kymijärven voimalaitos. (Kaasalainen 2010, 10.)

Liikenteen lisäksi typen oksidien päästöjä aiheutti pääasiassa Lahti Energia Oy, joka tuotti 2000-luvulla noin 73 % kaikista teollisuuden typen oksidien päästöistä. Kymijärven voimalaitos on pahin yksittäinen saastuttaja, ja sen osuus typen oksideista oli jopa 67 %. Eri vuosien vaihtelut päästöissä johtuvat lähinnä energiantuotannon määrän vaihteluista. (Kaasalainen 2010, 10.) Kuviossa 3 - 6 on esitetty teollisuuden päästöjä Lahdessa vuosina 1990 - 2010.



KUVIO 3. Typen oksidien päästöjen jakautuminen päästölähteiden kesken Lahdessa vuosina 1990 - 2010 (Kaasalainen 2010, 11)

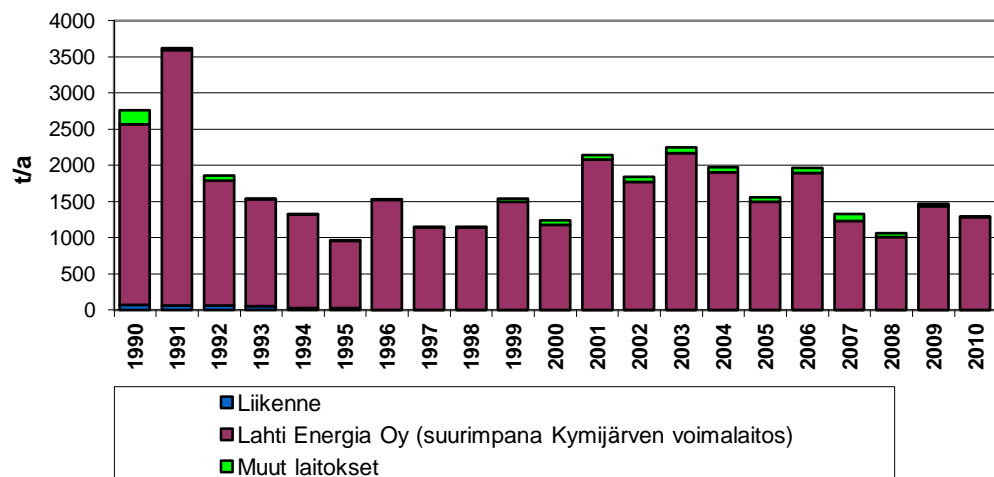
Liikenteen lisäksi hiukkaspäästöjä aiheutui teollisuuden ja energiantuotannon prosesseista (Kaasalainen 2010, 11). Pahin yksittäinen saastuttaja oli Lahti Energian Oy:n omistama Kymijärven voimalaitos, jonka hiukkaspäästöt olivat 2000-luvulla 45 % kaikista Lahden hiukkaspäästöistä. Lahti Energia Oy aiheutti siis suurimman osan myös hiukkaspäästöjen saastutuksesta. Muiden laitosten päästöt olivat noin 20 %:n luokkaa.



KUVIO 4. Hiukkaspäästöjen jakautuminen päästölähteiden kesken Lahdessa vuosina 1990 - 2010 (Kaasalainen 2010, 11)

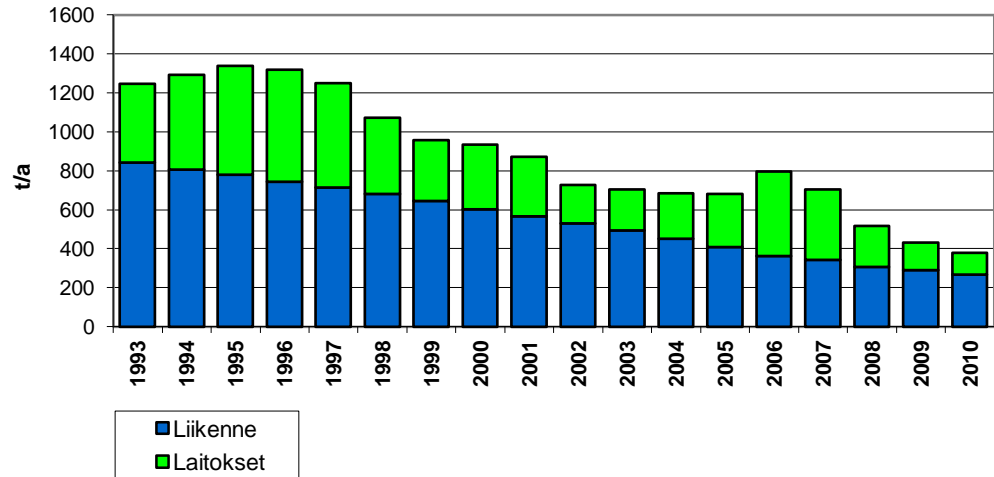
Rikkidioksidipäästöt olivat 2000-luvulla noin 1644 tonnia vuodessa. Suurin osa rikkidioksidipäästöistä aiheutui energiantuotannosta. (Kaasalainen 2010, 12.)

Kymijärven voimalaitos aiheutti yli 90 % rikkidioksidipäästöistä Lahdessa.



KUVIO 5. Rikkidioksidipäästöjen jakautuminen päästölähteiden kesken Lahdessa vuosina 1990 - 2010 (Kaasalainen 2010, 12)

Haihtuvista orgaanisista yhdisteistä (VOC) noin 58 % aiheutui liikenteestä ja noin 42 % päästöistä aiheutui laitostoiminnasta. Suurimmat yksittäiset VOC-päästöjen aiheuttajat olivat mm. Isku Yhtymä Oy, Nor-Maali Oy, CNC-Muotoco Oy ja Elofin Oy. (Kaasalainen 2010, 12)



KUVIO 6. VOC-päästöt Lahdessa vuosina 1993 - 2010 (Kaasalainen 2010, 12)

## 5 KÄYTETTÄVÄT MITTAUSLAITTEET

### 5.1 Mittaustoiminnan kuvaus

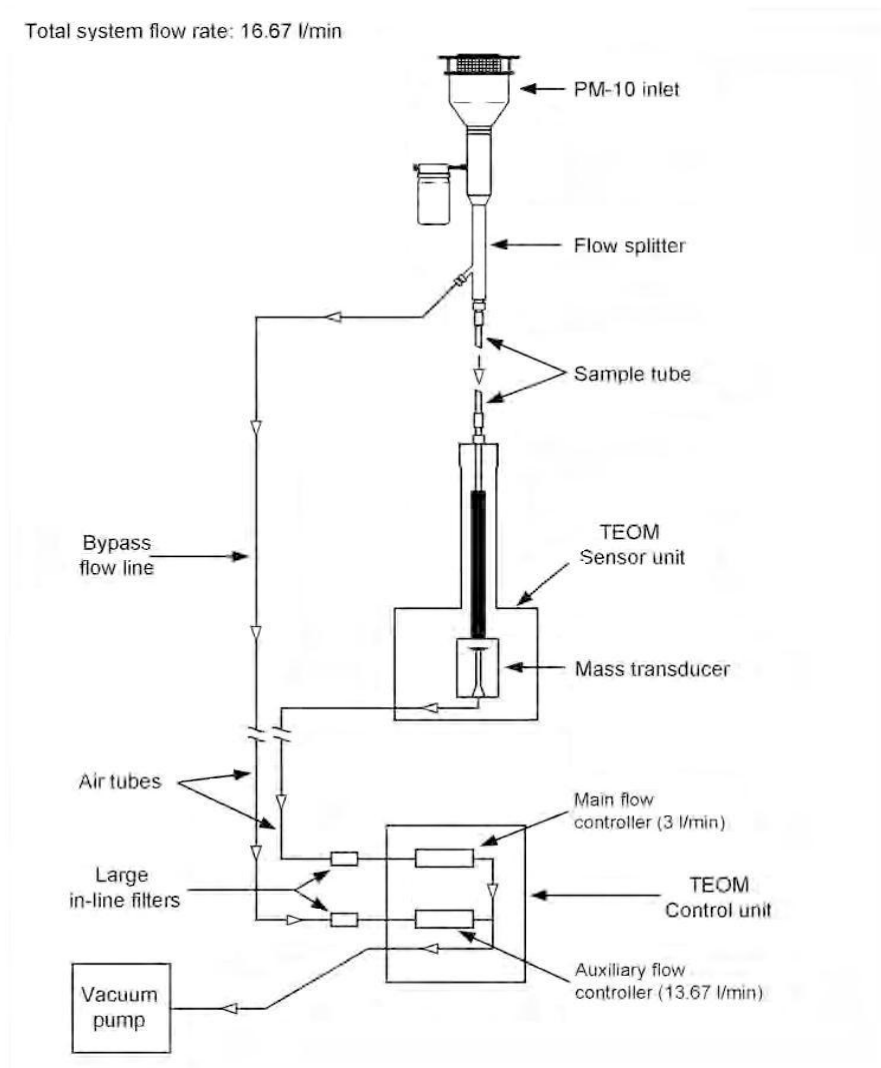
Vuosina 2000 - 2010 ilman epäpuhtauskomponentteja seurattiin viidellä auto-maattisella mittausasemalla. Kaupungin ydinkeskustassa Vesijärvenkadulla mitattiin typen oksideja, sääkomponentteja, hiilimonoksidia ja haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC). Kisapuistossa, joka toimii kaupunkitausta-asemana, mitattiin myös typen oksideja. Keskustan ulkopuolella vilkkaasti liikennöidyn tien varrella sijaitsee Launeen mittausasema. Launeen asemalla mitattiin typen oksideja,  $PM_{10}$ -arvoja ja haihtuvia orgaanisia yhdisteitä. Torilla sijaitsevalla mittausasemalla mitattiin  $PM_{10}$ - ja  $PM_{2,5}$ -arvoja. Metsäkankaan mittausasema sijaitsee keskustan ulkopuolella. Siellä mitattiin otsonipitoisuuksia, koska aseman lähellä ei ole paljon teollisuutta tai liikennettä, joka toimisi otsoninieluna. Metsäkankaan otsonilaitte siirrettiin Satulakadun uuteen mittauskoppiin vuoden 2010 lopussa. (Kaasalainen 2010, 13.)

Lisäksi käytössä oli mittaustulosten tulkintaa helpottamaan kaksi meteorologista asemaa. Ensimmäinen asema sijaitsi Vesijärvenkadulla keskustassa. Siellä mitattiin ilman lämpötilaa sekä tuulen suuntaa ja tuulen nopeutta. Toinen sääasema sijaitsi Metsäkankaalla. (Kaasalainen 2010, 14.)

### 5.2 Hengitettävien hiukkasten ja pienhiukkasten mittaaminen

Hengitettäviä hiukkasia mitataan  $PM_{10}$ -esierottimella varustetuilla TEOM 1400A -hiukkasanalysointilaitteilla, pienhiukkasia mitattaessa esierottimena toimii  $PM_{2,5}$ -erotin. TEOM 1400A -hiukkasanalysointilaitteen toiminta perustuu värähtelijälle kertyvän hiukkasmassan aiheuttaman värähtelytaajuuden muutokseen (kuvio 7). Värähtelytaajuuden muutoksella voidaan laskea hiukkasten pitoisuus. Ensin näyteilma imetään joko  $PM_{10}$ - tai  $PM_{2,5}$ -esierottimen läpi. Esierotin on muotoiltu siten, että vain halutun kokoiset hiukkaskoot pääsevät erottimen läpi. Esierotin toimii ”painovoimallisesti” eli halutun kokoiset hiukkaset leijuvat painovoiman vaikutuksesta erottimen läpi. (Kaasalainen 2010, 15.)

Näyteilmanottoon käytetään alipainepumppuja, jotka imevät näyteilmaa 16,7 litraa minuutissa. Mutta vain pieni osa (3 litraa minuutissa) näyteilmaa ohjataan värähtelijän päässä olevaan suodattimeen, ylimääräinen näyteilma ohjataan ulos mittausjärjestelmästä. Ennen kuin näyteilma saapuu värähtelijälle, se lämmitetään 50 celsiusasteeseen, jotta mahdollinen näyteilmassa oleva kosteus saataisiin poistettua, koska mahdollinen kosteus vääristäisi tuloksia. Lopuksi näyteilma saapuu värähtelijän päässä olevalle teflonpäällysteiselle suodattimelle. Suodattimen hiukkasmassan kasvaessa värähtelijän värähtelytaajuus muuttuu. Laite mittaa värähtelytaajuuden muutokset kahden sekunnin välein ja laskee näyteilman hiukkaspitoisuuden. (TEOM Operating Manual 2004, 6.)



KUVIO 7. TEOM 1400A -hiukkasanalysoijan toimintaperiaate (TEOM Operating Manual 2004, 6)

### 5.3 Typen oksidien mittaaminen

Typpimonoksidia ja typpidioksidia mitataan kolmella mittausasemalla (Vesku 11, Laune ja Kisapuisto). Mittaus tapahtuu jatkuvatoimisilla Environnement AC32M- tai Horiba APNA-360 -analysaattoreilla, joiden toiminta perustuu kemiluminesenssiin. Kaikilla kolmella asemalla pääanalysaattorina toimii Environnement AC32M, mutta vikatilanteissa varalaitteena toimii Horiba APNA-360. (Kaasalainen 2010, 15.)

Kemiluminesenssimenetelmällä toimiva Environnement AC32M -analysaattori mittaa typpimonoksidin (NO) pitoisuutta siten, että mittauskammiossa olevat NO-molekyylit muunnetaan otsonin avulla virittyneiksi typpidioksidimolekyyleiksi (NO<sub>2</sub>). Kun typpidioksidimolekyylit palaavat perustilaansa, ne emittoivat säteilyä, joka voidaan mitata herkällä detektorilla. Syntyneen säteilyn määrä on suoraan verrannollinen näyteilman NO-pitoisuuteen. (Kaasalainen 2010, 15.)

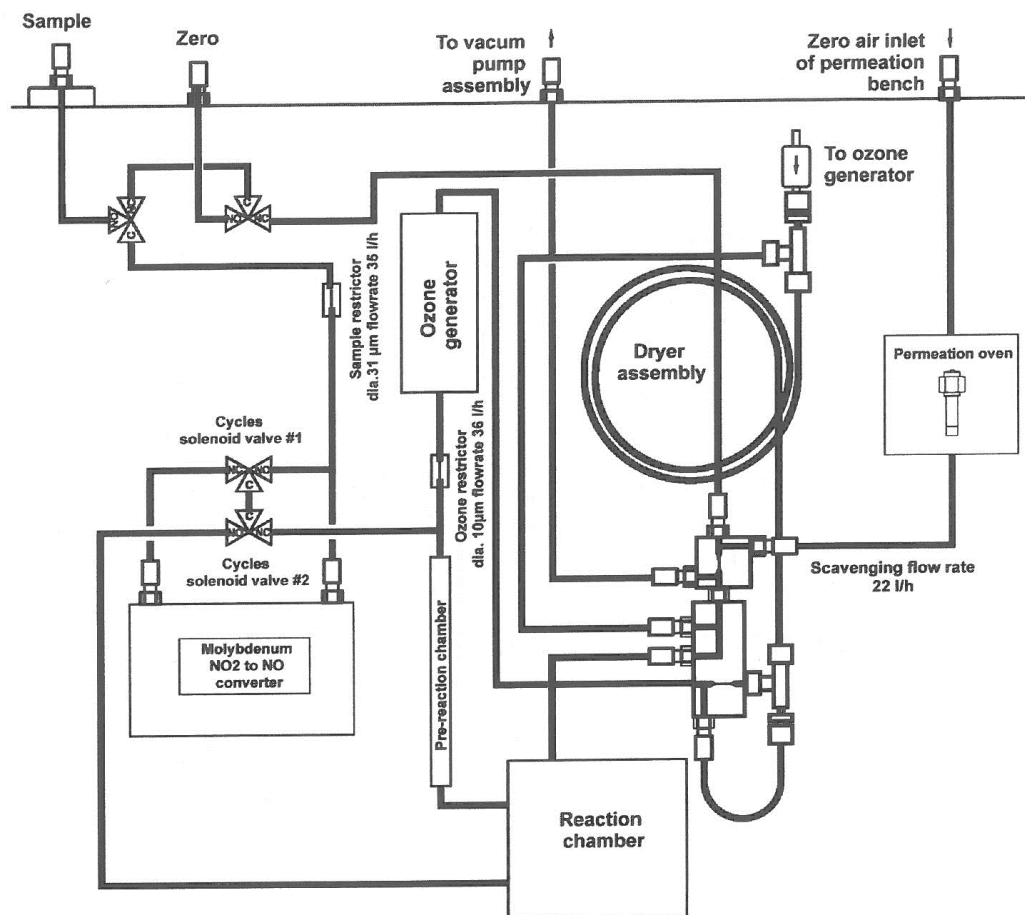
Käytetty mittauslaite on yksikammioanalysaattori, joka mittaa vuorotellen NO- ja NO<sub>x</sub>-pitoisuutta (kuvio 8). Mittaus suoritetaan kolmessa syklistä. Referenssikierro alkaa, kun näyteilma johdetaan esireaktiokammioon. Kammioon syötetään otsonia, joka virittää NO-molekyylit NO<sub>2</sub>-molekyyleiksi. Virittyneet NO<sub>2</sub>-molekyylit siirretään esireaktiokammioista eteenpäin mittauskammioon. Siellä näyte mitataan ilman kemiluminesenssiä, joten se toimii nollanäytteenä.

Seuraavaksi on NO-kierro, jossa näyteilma johdetaan suoraan mittauskammioon, jolloin NO reagoi kammiossa olevan otsonin kanssa. Reaktiossa syntyy hyvin heikko infrapuna-alueella syntyvä valon välähdys, joka johdetaan optisen suodatimen läpi valomonistinputkelle. Syntyvän valon määrä on suoraan verrannollinen NO-pitoisuuteen, joten valomonistinputkelta saadun lukeman jälkeen analysaattori pystyy laskemaan vallitsevan pitoisuuden. (AC32M Technical Manual 2008, 2.)

Viimeisenä on NO<sub>x</sub>-kierro, jossa näyteilma johdetaan konvertteriuniin. Uunin lämpötila on 340 celsiusastetta, mikä riittää muuttamaan näytteen NO<sub>2</sub>-molekyylit NO-molekyyleiksi. Kun tämä kaasuseos johdetaan reaktiokammioon, saadaan tulokseksi typen oksidien kokonaispitoisuus. Kun lähes samaan aikaan mitataan

molemmat pitoisuudet, saadaan  $\text{NO}_2$ -pitoisuus vähentämällä  $\text{NO}_x$ -pitoisuudesta  $\text{NO}$ -pitoisuus. (AC32M Technical Manual 2008, 2.)

Kemiluminesenssianalysaattori voidaan rakentaa niin, että magneettiventtiileillä näytekaasu johdetaan joko konvertterin kautta tai suoraan näytekammioon. Analyysaattori laskee keskiarvot molemmille tilanteille. Toinen tapa on rakentaa analyysaattori kahdella erillisellä reaktiokammioilla, jolloin toiseen kammioon menevä näytekaasu menee konvertterin ohi ja toiseen kammioon kaasu menee konvertterin kautta. Kaksikammioinen analyysaattori on kalliimpi rakentaa, mutta sillä pystyy mittaamaan nopeita pitoisuuksien muutoksia. Nykyiset yksikammioilaitteet ovat riittävän nopeita liikenteen päästöjen tarkkailuun. (Päästömittausten käsikirja 2007, 30.)



KUVIO 8. AC32M-typen oksidianalysaattorin toimintaperiaate. (AC32M Technical Manual 2008, 18)

#### 5.4 Laadunvalvonta ja kalibrointi

Analysaattorin oikea ja riittävän usein suoritettu kalibrointi on yksi tärkeimmistä tekijöistä, joilla varmistetaan mittaustulosten luotettavuus. Kalibroinnin tarkoituksena on saada selville analysaattorin mittaaman lukeman ja tiedetyn näytekäasupitoisuuden välinen yhteys. (Päästömittausten käsikirja 2007, 39.)

Typen oksideja mitattaessa analysaattorin konvertteri tulee olla kunnossa; siksi sen toiminta tulee tarkistaa riittävän usein. Konvertterin tarkistus tehdään NO<sub>2</sub>-kalibrointikaasulla. Kun konvertteri toimii oikein, sen tulos NO-moodissa on nolla ja NO<sub>x</sub>-moodissa kalibrointikaasun NO<sub>2</sub>-pitoisuus. (Environmental AC32M Technical manual 2007, 47.) Jotta konvertteri toimisi luotettavasti, sen hyötysuhteen alarajaksi on valittu 95 %. (Ilmanlaadun mittausohje 2004, 41.)

Lahdessa mittauksissa käytetyt analysaattorit huollettiin ja kalibroitiin laitteiden valmistajien ohjeiden mukaisesti. Kalibrointitulosten perusteella tallennetut mittaustulokset hyväksyttiin, editoitiin jälkikäteen oikeiksi tai hylättiin. (Kaasalainen 2010, 16.)

Typen oksideja mittaavat analysaattorit kalibroitiin kahden kuukauden välein NO-kalibrointikaasulla. Kalibroinnin yhteydessä tarkastettiin myös konvertterin hyötysuhde. Hengitettäviä hiukkasia ja pienhiukkasia mittaavien analysaattoreiden vaakavakiot ja näyteilman virtausnopeudet tarkastettiin 2 - 3 kertaa vuodessa. Itse kalibroinnit suoritti J. P. Pulkkisen Kalibrointi Ky. Kalibroinnissa käytetyt kaasureferenssit on jäljitetty kansallisiin kaasunormeihin Ilmatieteenlaitoksella. (Kaasalainen 2010, 16.) Lisäksi typen oksidianalysaattoreiden toimintakuntoa seurattiin aitomaattisilla nolla- ja aluetarkastuksilla kerran vuorokaudessa (Malminen & Kähäri 2011, 18).

## 5.5 Tiedontallennus- ja tiedonhallintaohjelmat

Vuoteen 2004 asti Lahdessa oli käytössä DILTA-ohjelmisto. Se keräsi ja tallensi tunnin välein analysointilaitteilta saadun tiedon Lahden valvonta ja ympäristökeskuksen (nykyisen Lahden seudun ympäristöpalveluiden) tietokoneelle. DILTA-ohjelmistoa käytettiin siis tiedon keruuseen, tiedon editointiin ja raportointiin. (Kaasalainen 2003, 14.)

Vuonna 2004 DILTA-ohjelmiston rinnalle otettiin käyttöön Enview/EnviDAS-tiedonkeruu ja tiedonkäsittelyjärjestelmä. Vuonna 2005 Enview/EnviDAS-ohjelmisto korvasi DILTA-ohjelmiston, koska se oli huomattavasti monipuolisempi ohjelma. (Kaasalainen 2006, 15.)

## 6 ILMANLAADUN OHJE-, RAJA-, KYNNYS- JA TAVOITEARVOT

Valtioneuvosto on antanut asetuksen ilmanlaadusta (38/2011), joka astui voimaan 25.1.2011. Asetuksen tullessa voimaan se kumosi valtioneuvoston asetukset 711/2001 ja 783/2003. Valtioneuvoston asetuksessa 38/2011 määritellään raja-arvot ilman epäpuhtauksille, joita ei saa ylittää ulkoilmassa. Raja-arvot ovat tulleet voimaan eri aikoina vuosina 2001, 2005 ja 2010 (pitoisuuksien voimaantulomispäivät näkyvät taulukossa 2). Asetuksessa on myös annettu tavoitearvo otsonille vuodelle 2010, lisäksi asetuksessa otsonille on annettu myös pitkänajan tavoitearvoja. Viimeisimmät ohjearvot ilman epäpuhtauksille on annettu valtioneuvoston päätöksessä 480/1996, missä annetaan ilmanlaadun ohjearvot sekä rikkilaskeuman tavoitearvot. (VNA 38/2011, VNP 480/1996.)

Raja-arvoilla tarkoitetaan ilman epäpuhtauksien maksimiarvoja, joiden ylittyminen velvoittaa viranomaiset toimenpiteisiin ilman laadun parantamiseksi ja uusien ylitysten ehkäisemiseksi. Raja-arvoylityksiä sallitaan kalenterivuoden aikana, mutta jo ensimmäisestä raja-arvon ylityksestä on tiedotettava väestölle. Ilmanlaatuasetuksessa olevat raja-arvot on säädetty terveyden, kasvillisuuden ja ekosysteemien suojelemiseksi. Raja-arvot terveyden suojelemiseksi koskevat lähinnä rikkidioksidia, hiilimonoksidia, hengitettäviä hiukkasia ja pienhiukkasia sekä tyypen oksideja. Raja-arvot on esitetty taulukossa 2. (Ympäristöministeriö 2011.)

TAULUKKO 2. Ilmanlaadun raja-arvot terveyshaittojen ehkäisemiseksi (VNA 38/2011)

Aine	Keskiarvon laskenta-aika	Raja-arvo <sup>1</sup> µg/m <sup>3</sup>	Sallittujen ylitysten määrä vuodessa (kpl)	Ajankohta, milloin raja-arvot olleet voimassa
Rikkidioksidi (SO <sub>2</sub> )	1 tunti	350 µg/m <sup>3</sup>	24	1.1.2005
	24 tuntia	125 µg/m <sup>3</sup>	3	1.1.2005
Typpidioksidi (NO <sub>2</sub> )	1 tunti	200 µg/m <sup>3</sup>	18	1.1.2010
	kalenterivuosi	40 µg/m <sup>3</sup>	-	1.1.2010
Hiilimonoksidi (CO)	8 tuntia <sup>2</sup>	10 000 µg/m <sup>3</sup>	-	1.1.2005
Bentseeni (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	vuosi	5 µg/m <sup>3</sup>	-	1.1.2010
Lyijy (Pb)	kalenterivuosi	0,5 µg/m <sup>3</sup>	-	15.8.2001
Hengitettävät hiukkaset (PM <sub>10</sub> )	24 tuntia	50 µg/m <sup>3</sup>	35	1.1.2005
	kalenterivuosi	40 µg/m <sup>3</sup>	-	1.1.2005
Pienhiukkaset (PM <sub>2,5</sub> )	kalenterivuosi	25 µg/m <sup>3</sup>	-	1.1.2010

<sup>1</sup>Kaasumaisilla yhdisteillä tulokset ilmaistaan 293 K lämpötilassa ja 101,3 kPa paineessa. Lyijyn ja hiukkasten tulokset ilmaistaan ulkoilman paineessa ja lämpötilassa.

<sup>2</sup>Vuorokauden korkein kahdeksan tunnin keskiarvo valitaan tarkastelemalla kahdeksan tunnin liukuvia keskiarvoja. Kukin kahdeksan tunnin jakso osoitetaan sille päivälle, jona jakso päättyy.

Ohjearvoilla pyritään hillitsemään ja ehkäisemään ilman epäpuhtauksien aiheuttamia terveyshaittoja. Lisäksi ohjearvoilla pyritään estämään luonnon vaurioitumista ja parantamaan viihtyisyyttä erityisesti kaupunkialueella. Ohjearvot on tarkoitettu ensisijaisesti ohjeeksi viranomaisille. Niitä pyritään soveltamaan mm. rakentamisessa, liikenteen suunnittelussa ja kaavoituksessa. Ohjearvot on otettava

myös huomioon ilman pilaantumisen vaaraa aiheuttavan toiminnan ympäristölupamenettelyssä. Ohjearvot ovat lähinnä suuntaa-antavia, eikä ohjearvojen ylittävistä pitoisuuksista tarvitse aloittaa ilmanlaatua parantavia toimenpiteitä. Ohjearvot on esitetty taulukoissa 3 ja 4. (Ilmanlaatu Suomessa 2003, 6.)

TAULUKKO 3. Ilmanlaadun ohjearvot terveyshaittojen ehkäisemiseksi (VNA 480/96)

<b>Aine</b>	<b>Ohjearvo (20 C, 1 atm)</b>	<b>Tilastollinen määrittely</b>
Hiilimonoksidi (CO)	20 mg/m <sup>3</sup> 8 mg/m <sup>3</sup>	Tuntiarvo Tuntiarvojen liukuva 8 tunnin keskiarvo
Typpidioksidi (NO <sub>2</sub> )	150 µg/m <sup>3</sup> 70 µg/m <sup>3</sup>	Kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Rikkidioksidi (SO <sub>2</sub> )	250 µg/m <sup>3</sup> 80 µg/m <sup>3</sup>	Kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Kokonaisleijuma (TSP)	120 µg/m <sup>3</sup> 50 µg/m <sup>3</sup>	Vuoden vuorokausiarvo- jen 98. prosenttipiste Vuosikeskiarvo
Hengitettävät hiukkaset (PM <sub>10</sub> )	70 µg/m <sup>3</sup>	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Haisevien rikkiyhdistei- den kokonaismäärä (TRS)	10 µg/m <sup>3</sup>	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo, TRS il- moitetaan rikkinä

TAULUKKO 4. Ohjearvot ekosysteemien ja kasvillisuuden suojelemiseksi (VNP 480/96)

<b>Aine</b>	<b>Ohjearvo</b>	<b>Tilastollinen määrittely</b>
NO+NO <sub>2</sub>	30 µg/m <sup>3</sup>	Vuosikeskiarvo
Rikkidioksidi (SO <sub>2</sub> )	20 µg/m <sup>3</sup>	Vuosikeskiarvo
Rikkilaskeuma	0,3 g/m <sup>3</sup>	Vuosiarvo

Tavoitearvot, varoitus- ja tiedotuskynnysarvot annettiin otsonille tarkoituksena ehkäistä terveyshaittoja sekä suojella kasvillisuutta. Otsonin tavoitearvot, tiedotus- ja varoituskynnysarvot sekä pitkän ajan tavoitearvot on esitetty taulukossa 5. (VNA 38/2011.)

TAULUKKO 5. Otsonin tavoitearvot vuodelle 2010 sekä pitkän ajan tavoitearvot (VNA 38/2011)

Peruste	Tilastollinen määrittely	Pitoisuus tai AOT-arvo (293 K, 101,3 kPa) <sup>1)</sup>	Sallitut ylitykset
Tavoitearvo vuodelle 2010 terveyshaittojen ehkäisemiseksi ja vähentämiseksi	Korkein päivittäinen kahdeksan tunnin liukuva keskiarvo	120 µg/m <sup>3</sup>	Enintään 25 päivänä kalenterivuodessa kolmen vuoden keskiarvona
Tavoitearvo vuodelle 2010 kasvillisuuden suojelemiseksi	AOT40	18 000 µg/m <sup>3</sup>	Ei ylity viiden vuoden keskiarvona
Pitkän ajan tavoite terveyshaittojen ehkäisemiseksi ja vähentämiseksi	Korkein päivittäinen kahdeksan tunnin liukuva keskiarvo	120 µg/m <sup>3</sup>	Ei ylity kalenterivuoden aikana
Pitkän ajan tavoite kasvillisuuden suojelemiseksi	AOT40	6000 µg/m <sup>3</sup>	-

<sup>1)</sup>Kaasumaisilla yhdisteillä tulokset ilmaistaan 293 K:n lämpötilassa ja 101,3 kPa:n paineessa.

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

Kriittiset tasot rikkidioksidille ja typen oksideille on laadittu suojelemaan ekosysteemejä sekä kasvillisuutta. Kriittiset tasot rikkidioksidille ja typen oksideille on esitetty taulukossa 6. (VNA 38/2011.)

TAULUKKO 6. Kriittiset tasot rikkidioksidille ja typen oksideille (VNA 38/2011)

Aine	Keskiarvon laskenta -aika	Kriittinen taso <sup>1)</sup>	Päivämäärä, jol- loin tasot olleet voimassa
Rikkidioksidi (SO <sub>2</sub> )	Kalenterivuosi ja talvikausi (1.10. -31.3.)	20 µg/m <sup>3</sup>	15.8.2001
Typen oksidit (NO <sub>x</sub> )	Kalenterivuosi	30 µg/m <sup>3</sup>	15.8.2001

<sup>1)</sup>Tulokset ilmaistaan 293 K:n lämpötilassa ja 101,3 kPa:n paineessa.

Kun tiedotus- tai varoituskynnyksen raja-arvot ylittyvät, täytyy valvojan viranomaisen tiedottaa väestölle ilmanlaadun heikkenemisestä. Tiedotus- ja varoituskynnykset on esitetty taulukossa 7. (VNA 38/2011.)

TAULUKKO 7. Tiedotus- ja varoituskynnykset. (VNA 38/2011)

Aine	Tiedotus-/ va- roitus- kynnys	Raja-arvo <sup>1)</sup>	Tilastollinen määrit- tely
Typidioksidi (NO <sub>2</sub> )	Varoitus	400 µg/m <sup>3</sup>	Mitattuna kolmen perättäisen tunnin aikana
Rikkidioksidi (SO <sub>2</sub> )	Varoitus	500 µg/m <sup>3</sup>	Mitattuna kolmen perättäisen tunnin aikana
Otsoni (O <sub>3</sub> )	Varoitus	240 µg/m <sup>3</sup>	Tuntikeskiarvona
Otsoni (O <sub>3</sub> )	Tiedotus	180 µg/m <sup>3</sup>	Tuntikeskiarvona

<sup>1)</sup>Tulokset ilmaistaan 293 K:n lämpötilassa ja 101,3 kPa:n paineessa.

## 7 ILMANLAATUINDEKSI

Ilmanlaatua kuvaavia parametreja on paljon ja niistä koostetut tunnusluvut ovat tavallisille kansalaisille monesti vaikeasti hahmotettavia. Siksi on ollut tarve kehittää järjestelmä, jonka avulla kansalaiset saisivat helposti tietoa ilmanlaadusta ja lähes reaaliajassa. Järjestelmän nimeksi tuli ilmanlaatuindeksi. Se auttaisi mm. ilmansaasteille herkkiä ihmisiä varautumaan ilmanlaadun muutoksiin esim. pysymällä sisätiloissa silloin, kun pitoisuudet ovat korkealla. (Laukkanen 2005, 94.)

Suomessa käytössä oleva ilmanlaatuindeksi on YTV:n eli nykyisen HSY:n (Helsingin seudun ympäristöpalvelut) kehittämä indeksi. Ensimmäinen versio indeksistä otettiin käyttöön vuonna 1988. Nykyisellä periaatteella toimiva indeksi on ollut käytössä vuodesta 1993 alkaen, mutta sen laskentaperusteita on uusittu vuosina 2002 ja 2007. Suomessa käytetty ilmanlaatuindeksi poikkeaa ulkomailla käytetyistä indekseistä siinä, että Suomessa käytetty järjestelmä on tuntipohjainen. Ulkomailla arvoon vaikuttavat vuorokausikeskiarvot sekä kahdeksan tunnin ja yhden tunnin keskiarvot. (Helsingin seudun ympäristöpalvelut vuonna 2011.)

Lahdessa on tällä hetkellä käytössä Helsingin seudun ympäristöpalveluiden (HSY) kehittämä ilmanlaatuindeksi, jonka avulla kansalaiset saavat helposti ja nopeasti tietoa ilmanlaadun muutoksista. Lahdessa ilmanlaatuindeksi otettiin käyttöön vuonna 1996. Ilmanlaatuindeksi päivitetään joka tunti mittaustulosten perusteella ja se luokitellaan viisiportaisen asteikon mukaan hyvästä erittäin huonoon taulukon 8 mukaisesti. Indeksien portaat perustuvat Valtioneuvoston antamiin ilmanlaadun ohjearvoihin. (Kaasalainen 2010, 29.)

TAULUKKO 8. Ilmanlaadun luokittelu indeksin perusteella (Helsingin seudun ympäristöpalvelut 2011).

<b>Indeksi</b>	<b>Luonnehdinta</b>	<b>Terveysvaikutukset</b>	<b>Muut vaikutukset</b>
0 - 50	Hyvä	Ei todettuja	Lieviä luontovaikutuksia pitkällä aikavälillä
51 - 75	Tyydyttävä	Hyvin epätodennäköisiä	Lieviä luontovaikutuksia pitkällä aikavälillä
76 - 100	Välttävä	Epätodennäköisiä	Selviä kasvillisuus- ja materiaalivaikutuksia pitkällä aikavälillä
101 - 150	Huono	Mahdollisia herkillä yksilöillä	Selviä kasvillisuus- ja materiaalivaikutuksia pitkällä aikavälillä
151 -	Erittäin huono	Mahdollisia herkillä väestöryhmillä	Selviä kasvillisuus- ja materiaalivaikutuksia pitkällä aikavälillä

Lahden ilmanlaatuindeksiä laskettaessa otetaan huomioon Vesku 11:n, Launeen ja Kisapuiston mittausasemien typpidioksidin tuntikeskiarvot. Hengitettävien hiukasten tuntikeskiarvot mitattiin Launeen sekä Torin mittausasemilla ja pienhiukkaspitoisuuksien tuntikeskiarvot mitattiin Torin mittausasemalla. Edellä mainituille epäpuhtauksille lasketaan joka tunti ali-indeksit, jonka korkein arvo määrittää tunnin ilmanlaatuindeksin. Indeksien laskemisessa käytetyt taitepisteet on esitetty taulukossa 9. (Kaasalainen 2010, 29.)

TAULUKKO 9. Indeksin taitepisteet (Helsingin seudun ympäristöpalvelut 2011)

Indeksi	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	CO (mg/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> )	SO <sub>2</sub> <sup>1</sup> (µg/m <sup>3</sup> )	TRS <sup>1</sup> (µg/m <sup>3</sup> )
50	40	4	60	20	10	20	5
75	70	8	100	50	25	80	10
100	150	20	140	100	50	250	20
150	200	30	180	200	75	350	50

<sup>1</sup>Kyseisiä arvoja ei lasketa Lahden mittausasemilla

## 8 MAKESENS-MALLINNUS

Ilmanlaatuodataa käsiteltiin Excel-ohjelmalla. Apuna käytettiin myös Ilmatieteen laitoksen kehittämää MAKESENS-ohjelmaa, joka toimi myös Excel-ohjelmassa. MAKESENS-ohjelma perustuu ei-parametriseen Mann-Kendall-menetelmään, jolla arvioidaan trendien todennäköisyyttä. Lisäksi ohjelma hyödyntää Senin menetelmää, jolla arvioidaan trendien suuruutta. (Ilmanlaatu Suomessa 2003, 15.)

Mann-Kendall-menetelmä soveltuu aikasarjojen laskemiseen, jonka käyttäytymistä voidaan olettaa kuvaavan monotonisesti kasvavan tai pienenevän trendikäyrän ja satunnaisvaihtelun yhdistelmä. Lisäksi on tärkeää, ettei mittausdatassa ole syklisiä vaihtelua. Koska ilmanlaatuodata on hyvin syklisiä (vuodenaika-, viikko- ja vuorokausisyklit), täytyy syklisyys poistaa keskiarvoja laskemalla. (Ilmanlaatu Suomessa 2003, 15.) Ohjelma laskee trendin todennäköisyyden ilmanlaatudatan keskiarvoista ja käyttää siihen seuraavia merkintöjä:

\*\*\* Trendi on olemassa 99,9 %:n todennäköisyydellä

\*\* Trendi on olemassa 99 %:n todennäköisyydellä

\* Trendi on olemassa 95 %:n todennäköisyydellä

+ Trendi on olemassa 90 %:n todennäköisyydellä

(Salmi 2002.)

## 9 TULOSTEN TARKASTELU

### 9.1 Ilmanlaatu Suomessa

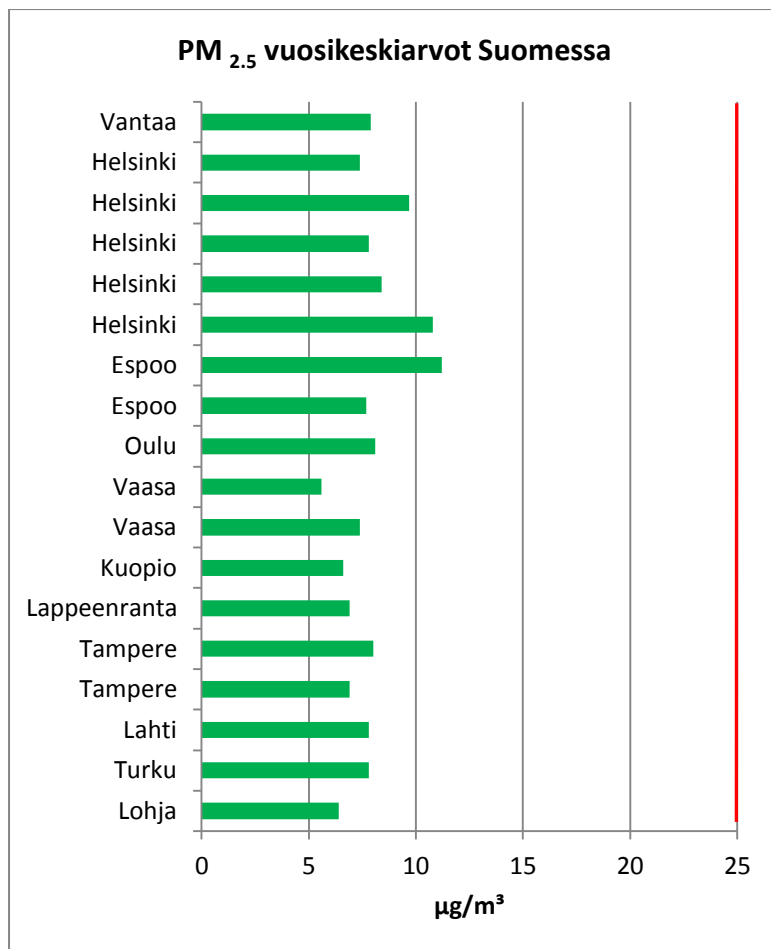
Kahdenkymmenen vuoden aikana ilmansaastepitoisuudet ovat joko laskeneet tai pysyneet samalla tasolla. Rikkidioksidi- ja hiilimonoksidipitoisuudet sekä haisevien rikkiyhdisteiden pitoisuudet ovat laskeneet huomattavasti. Rikkidioksidipitoisuuksia on saatu pienenemään kehittämällä vähärikkisiä polttoaineita. Tiukentuneet päästörajoitukset ja katalysaattorin käyttöönotto uusissa autoissa 1990-luvun alussa johtivat siihen, että hiilimonoksidipitoisuudet lähtivät jyrkkään laskuun. Myös typen oksidien pitoisuudet ovat laskeneet. Typen oksidien kokonaismäärä ( $\text{NO}_x$ ) on laskenut enemmän kuin ihmisen terveydelle vaarallisempi typpidioksidin ( $\text{NO}_2$ ) määrä. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet kohoavat suuriksi erityisesti kevät aikaan, kun liikenne nostattaa katupölyn ilmaan. Pitoisuudet ovat edelleen yhtä suuria kuin 1990-luvulla. Otsonipitoisuuksissa ei ole tapahtunut juuri muutoksia. (Anttila 2009.)

Ilmanlaatua koskeva yhteisöainsäädäntö uudistui vuonna 2008, jolloin ilmanlaadun puite- ja tytärdirektiivit yhdistettiin (2008/50/EY). Uudistuksen rinnalle jäi neljäs tytärdirektiivi (2004/107/EY), joka määrittää metallien ja PAH-yhdisteiden pitoisuudet ja seurantatavoitteet. Ilmatieteen laitos on tehnyt alustavat arvioinnit direktiivien mukaisille ilman epäpuhtauksille. Arvioinneissa verrattiin Suomen ilman epäpuhtauksien tasoa direktiivin raja-arvoihin. Osa arvioinneista tehtiin silloin, kun vanhat direktiivit olivat vielä voimassa. (Ilmanlaadun alustava arviointi Suomessa 2011.)

#### 9.1.2 Pienhiukkaset

Ilmatieteen laitos on tehnyt alustavan arvioinnin pienhiukkasten osalta vuonna 2011. Arvion mukaan merkittävimmät päästölähteet Suomessa ovat liikenteen pakokaasut, katupöly, energian- ja lämmöntuotto sekä puun pienpolto. Lisäksi kaukokulkeuma nostaa ajoittain pienhiukkaspitoisuuksia Suomessa esimerkiksi metsäpalotilanteissa. (Ilmanlaadun alustava arviointi Suomessa 2011, 40.)

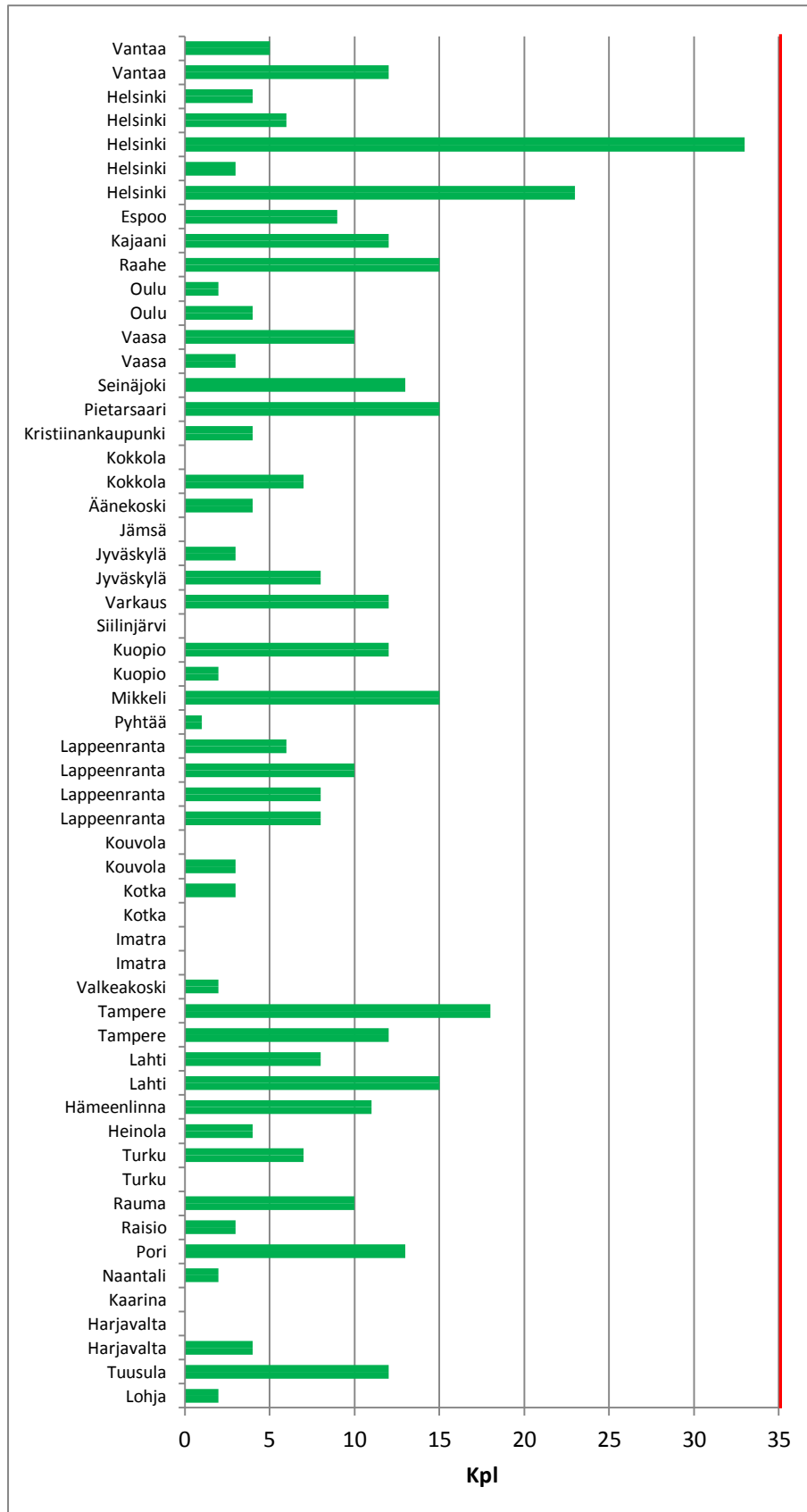
Suomessa suurimmat pienhiukkaspitoisuudet löytyvät Etelä- ja Kaakkois-Suomesta, mutta pitoisuudet pienenevät pohjoiseen kohti mentäessä. Alustavan arvioinnin mukaan pienhiukkasten alempi arviointikynnys ylittyy Suomessa ainoastaan pääkaupunkiseudulla vilkasliikenteisten katujen varsilla. (Ilmanlaadun arviointi Suomessa pienhiukkaset 2011, 40.) Kuviossa 9 esitetään vuonna 2009 mitattuja vuosikeskiarvoja Suomessa. Vuosikeskiarvot eivät ylitä annettua raja-arvoa ( $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), mutta WHO:n antama suositusarvo ( $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ylittyy Espoossa ja Helsingissä. (Helsingin seudun ympäristöpalvelut 2012.)



KUVIO 9. Pienhiukkaspitoisuuksien vuosikeskiarvoja Suomessa vuonna 2009 (Salmi 2012)

### 9.1.3 Hengitettävät hiukkaset

Hengitettävien hiukkasten alustava arviointi on tehty vuonna 2001. Arvioinnin mukaan ylempi arviointikynnys ylitettiin suurien kaupunkien keskustoissa, mutta ylityksiä tapahtui myös pienemmissä kaupungeissa. (Ilmanlaadun alustava arviointi vuonna 2001.) Kuviossa 10 nähdään vuorokausiarvon ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ylittävien päivien lukumäärä. Ylityksiä saa raja-arvon mukaan olla 35 kappaletta kalenterivuodessa. Raja-arvoylityksiä ei Suomessa ollut vuonna 2009. Vuosikeskiarvolle annettua raja-arvoa ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ei myöskään ylitetty Suomessa. (Salmi 2012.)

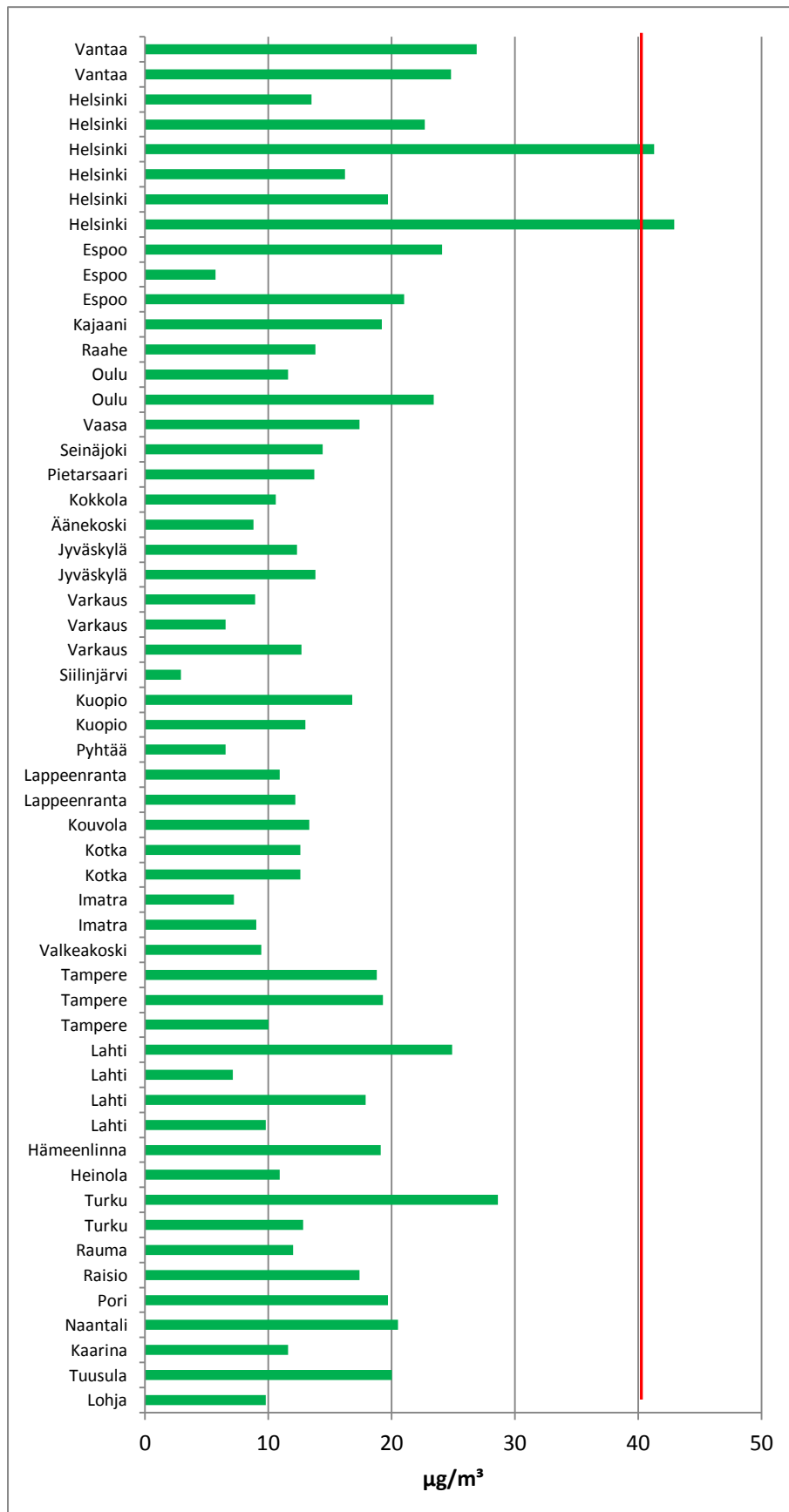


KUVIO 10. Hengitettävien hiukkasten (PM<sub>10</sub>) vuorokausiraja-arvon (50µg/m<sup>3</sup>) ylittävien vuorokausien lukumäärä Suomessa vuonna 2009 (Helsingin seudun ympäristöpalvelut 2012)

#### 9.1.4 Typen oksidit

Typen oksideja on arvioitu vuonna 2001. Arvioinnin mukaan suurimmat typen oksidienpäästöt syntyvät teollisuudesta ja liikenteestä. Suurimmat pitoisuudet löytyvät Etelä-Suomen suurimmista kaupungeista Helsingistä, Espoosta ja Vantaalta. Alustavassa arvioinnissa mitattiin raja-arvon ylittäviä pitoisuuksia vilkkaasti liikennöityjen katujen varsilla pääkaupunkiseudulla. Ylempi arviointikynnys ylittyy siis suurimpien kaupunkien keskusta-alueilla. Alemman arviointikynnyksen ylittäviä pitoisuuksia tavataan suurten kaupunkien ulkopuolella sekä pienemmillä paikkakunnilla. (Ilmanlaadun alustava arviointi vuonna 2001.)

Kuviossa 11 on esitetty typpidioksidin vuosikeskiarvoja. Kuten kuviosta näkyy, vuosiraja-arvo ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ylittyy Helsingissä. Tuntiraja-arvoa ( $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ei sen sijaan ylitetty Suomessa.



KUVIO 11. Typpidioksidin vuosikeskiarvot Suomessa vuonna 2009 (Helsingin seudun ympäristöpalvelut 2012)

## 9.2 Ilmanlaatu Lahdessa 2000-luvulla

### 9.2.1 Typpimonoksidin ja typpidioksidin vuosikeskiarvot

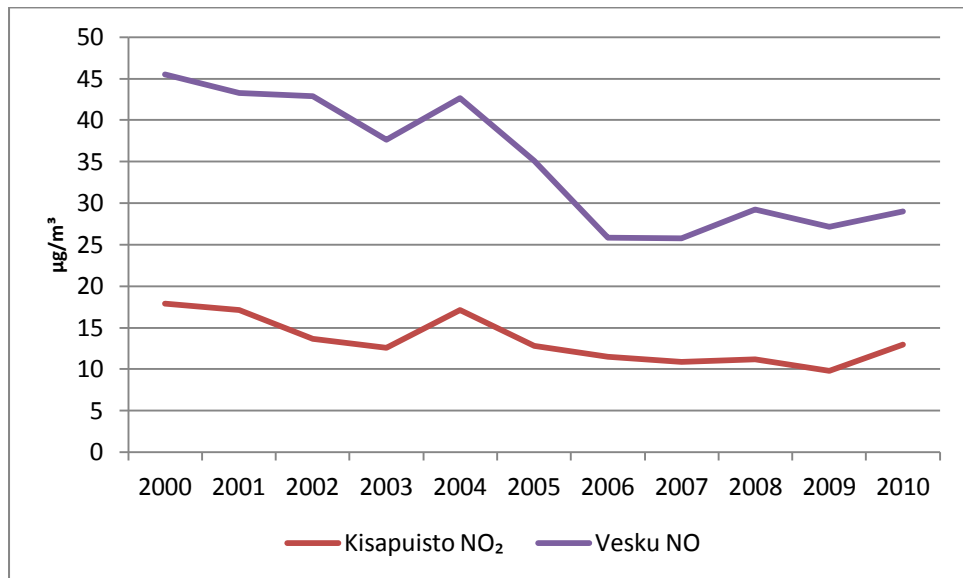
Tässä työssä käytetty aineisto kerättiin Lahden seudun ympäristöpalveluilta, joka vastaa Lahden alueen ilmanlaadun seurannasta. Mittauksissa käytetyt analysointilaitteet huollettiin ja kalibroitiin laitteiden valmistajien ohjeiden mukaan. Kalibrointitulosten perusteella mittaustulokset joko hyväksyttiin, editoitiin tai hylättiin. Työssä käytettyyn aineistoon valittiin vain sellaista dataa, jonka validiteetti eli ajallinen edustavuus on vähintään 75 %, joka vaaditaan ohjearvovertailuun. Pääsääntöisesti aineiston validiteetti on yli 90 %, joka vaaditaan raja-arvovertailuun. Mittaustulosten ajallista kattavuutta eli tietohukkaa aiheuttavat mm. laitteiden kunnossapito, kalibroinnit ja laiterikot.

Typpidioksidille annettua terveysperusteista raja-arvoa ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , vuosikeskiarvo) ei ylitetty millään asemalla 2000-luvulla. Typpimonoksidille ei ole annettu terveysperusteista raja-arvoa. Suurimmat yksittäiset vuosikeskiarvot typpidioksidin osalta vaihtelivat välillä  $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja  $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Typpimonoksidin osalta suurimmat vuosikeskiarvot olivat välillä  $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Keskiarvojen vaihteluväli typpidioksidin osalta oli  $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Typpimonoksidin keskiarvot vaihtelivat välillä  $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja  $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Taulukossa 10 esitetään typpimonoksidi- ja typpidioksidipitoisuuksien havaintoarvoista laskettuja tilastollisia tunnuslukuja.

TAULUKKO 10. Typpimonoksidin ja typpidioksidin tilastollisia tunnuslukuja vuosikeskiarvoista laskettuna vuosina 2000 - 2010

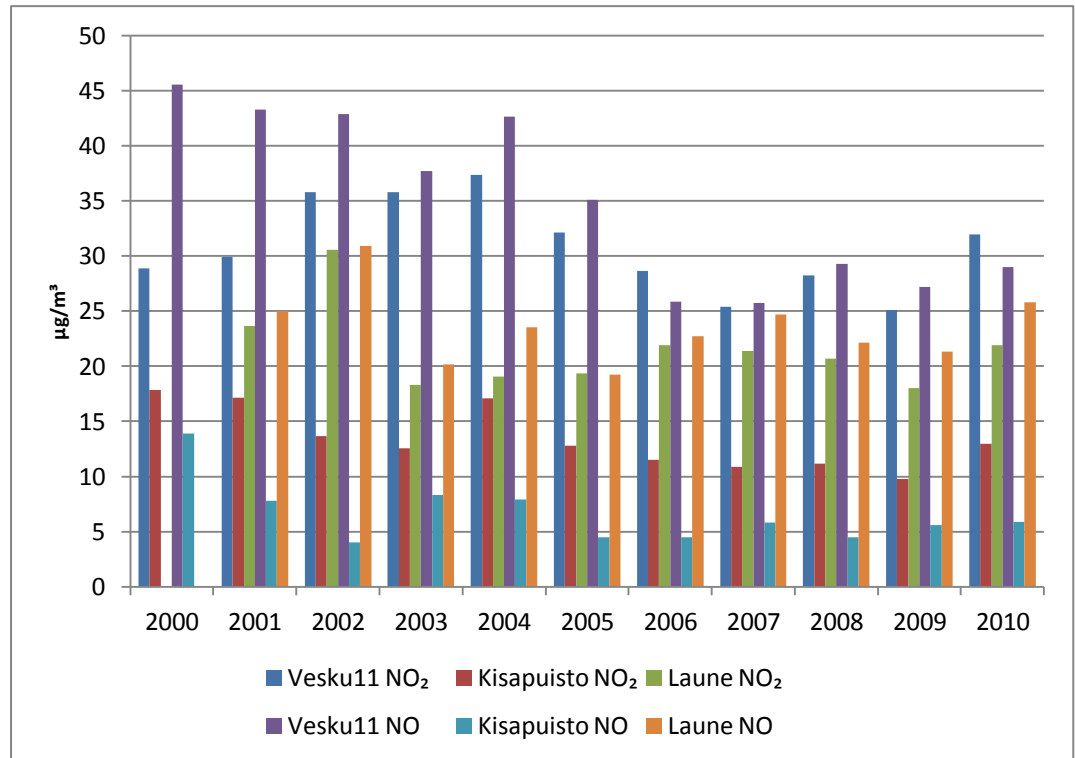
Mittausasema	min	max	mediaani	keskiarvo
Vesku NO <sub>2</sub>	25,1	37,3	29,9	30,8
Vesku NO	25,7	45,5	35,0	34,9
Kisapuisto NO <sub>2</sub>	9,7	17,8	12,8	13,4
Kisapuisto NO	4,0	13,8	5,8	6,6
Laune NO <sub>2</sub>	17,9	30,5	21,0	21,4
Laune NO	19,2	30,8	23,1	23,5

Vuosikeskiarvoja arvioitiin myös Makesens-testillä mahdollisten trendien selvittämiseksi. Makesens-testi antoi 99 %:n todennäköisyydellä laskevan trendin Kisapuiston typpidioksidille sekä Vesku 11:n typpimonoksidille. Kuviossa 12 on esitetty laskeva trendi Kisapuistossa ja Vesku 11:ssä. Makesens-tarkastelun tulokset ovat liitteessä 1.



KUVIO 12. Laskeva trendi Kisapuistossa ja Vesku 11:ssä

Kuviossa 13 on esitettyä typpidioksidin ja typpimonoksidin vuosikeskiarvot 2000-luvulla. Kuten kuviosta näkyy, niin typpimonoksidi- ja typpidioksidipitoisuudet ovat pysyneet lähes samalla tasolla koko 2000-luvun. Kuitenkin isommat yli 30 µg/m<sup>3</sup> ylittävät pitoisuudet ovat vähentyneet merkittävästi vuoden 2005 jälkeen. Suurin muutos vuosikeskiarvoissa on tapahtunut Vesku 11:n typpimonoksidipitoisuuksille, jotka ovat selkeästi laskeneet koko 2000-luvun ajan. Typpimonoksidipitoisuudet ovat liikenneasemilla (Vesku 11 ja Laune) pääosin isompia kuin typpidioksidipitoisuudet. Kauempana liikenteestä olevalla Kisapuiston mittausasemalla tilanne on päinvastainen.

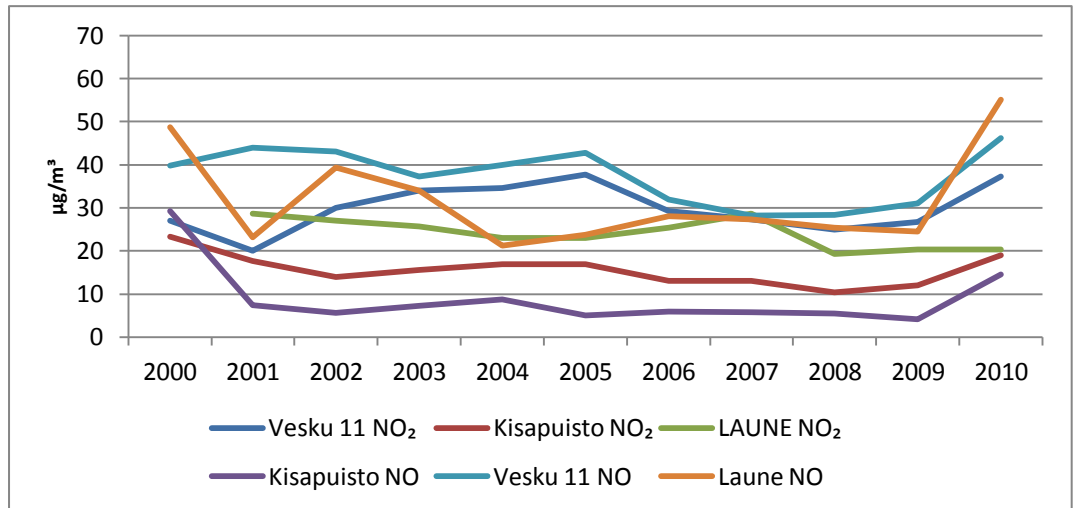


KUVIO 13. Typpimonoksidin ja typpidioksidin vuosikeskiarvot 2000-luvulla

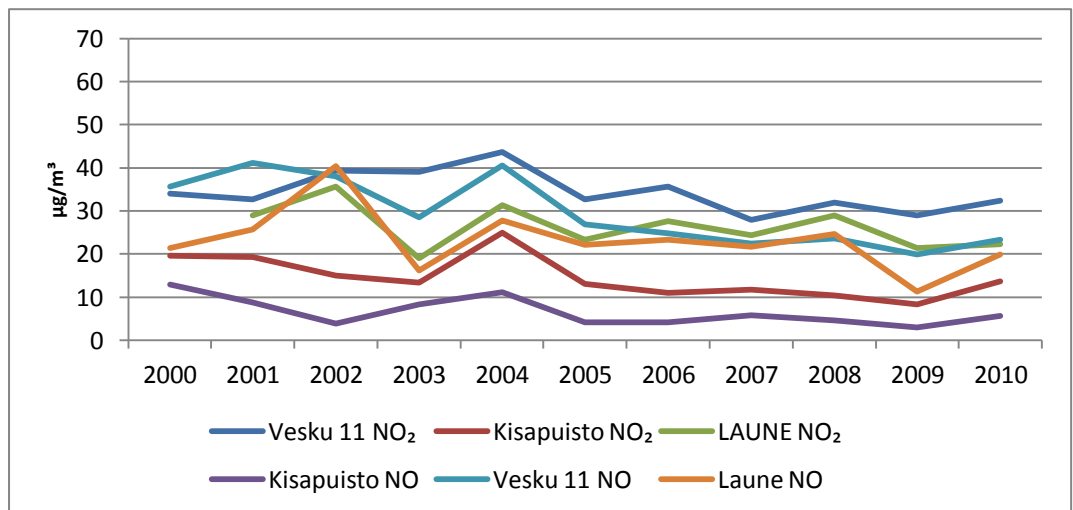
### 9.2.2 Typpimonoksidi- ja typpidioksidipitoisuudet eri vuodenaikoina

Vuodenaikojen pitoisuudet on laskettu kolmen kuukauden keskiarvoina. Talvi-kuukausiksi on katsottu joului-, tammi- ja helmikuu, kevätkuukausiksi maaliskuu-, huhti- ja toukokuu, kesäkuukausiksi kesä-, heinä- ja elokuu, syyskuukausiksi syys-, loka- ja marraskuu.

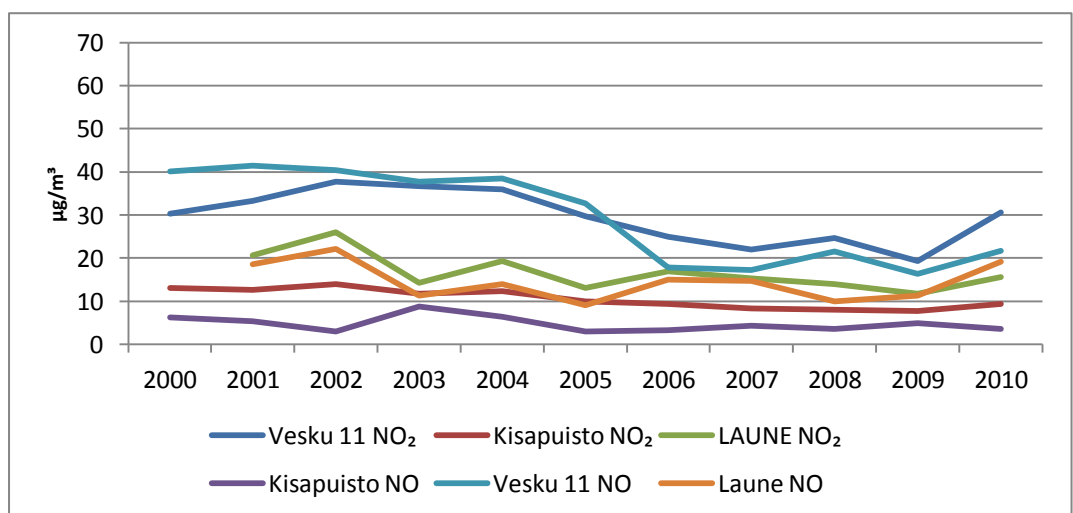
Typpimonoksidi- ja typpidioksidipitoisuuksissa näkyvät vuodenaikavaihtelut. Kesällä mitattiin lähes aina pienempiä pitoisuuksia kuin muina vuodenaikoina, poikkeuksena Vesku 11:n mittausasema, missä pitoisuudet pysyvät ajoittain korkealla myös kesällä. Kuvioissa 14 - 17 on esitetty typpimonoksidi- ja typpidioksidipitoisuuksia eri vuodenaikoina.



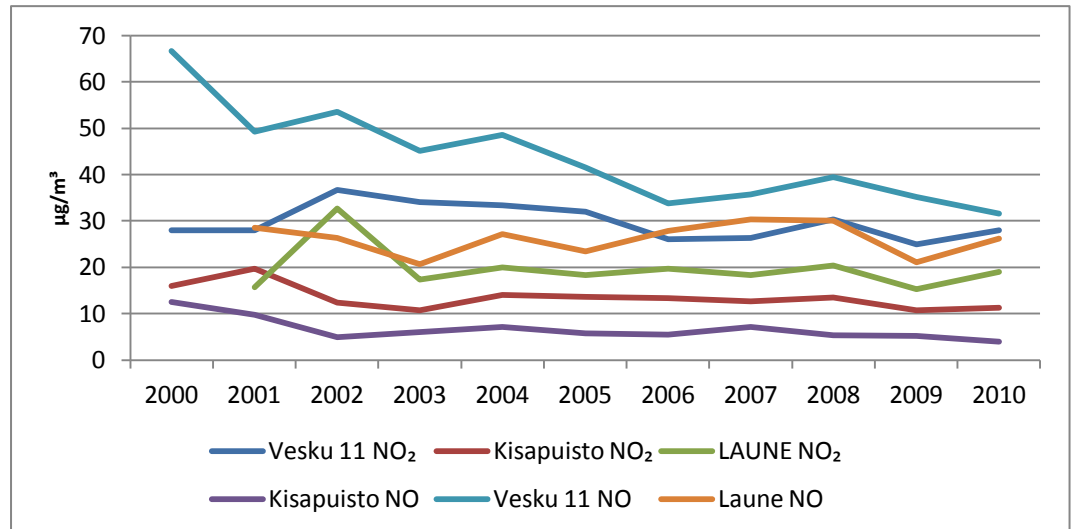
KUVIO 14. Typpimonoksidi- ja typpidioksidipitoisuudet talvella



KUVIO 15. Typpimonoksidi- ja typpidioksidipitoisuudet keväällä



KUVIO 16. Typpimonoksidi- ja typpidioksidipitoisuudet kesällä



KUVIO 17. Typpimonoksidi- ja typpidioksidipitoisuudet syksyllä

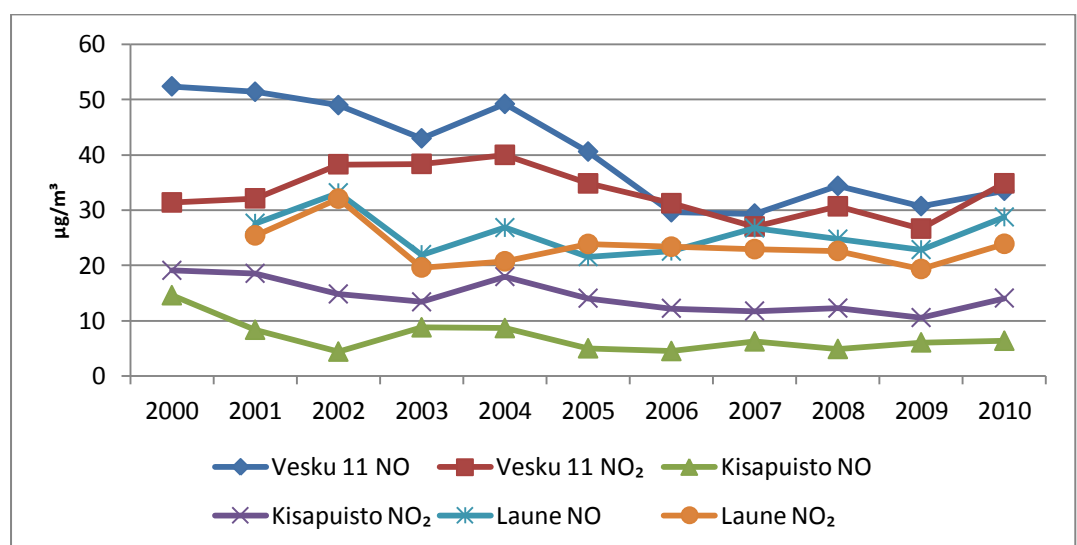
Kun trenditarkastelu tehtiin eri vuodenaikoina, niin laskevia trendejä löytyi kaikilta mittausasemilta. Missään mittauspisteessä ei ollut nousevaa trendiä. Vesku 11:n asemalta löytyi laskeva trendi keväällä 99 %:n todennäköisyydellä typpimonoksidille. Kesällä trendi löytyi 95 %:n todennäköisyydellä typpidioksidille ja 99 %:n todennäköisyydellä typpimonoksidille. Lisäksi syksyllä löytyi 99 %:n todennäköisyydellä laskeva trendi typpimonoksidille. Kisapuiston asemalta laskeva trendi todettiin talvella 90 %:n todennäköisyydellä typpidioksidille, keväällä 95 %:n todennäköisyydellä typpidioksidille, kesällä 99 %:n todennäköisyydellä typpidioksidille sekä syksyllä 90 %:n todennäköisyydellä typpidioksidille ja typpimonoksidille 95 %:n todennäköisyydellä. Launeen mittausasemalla laskeva trendi löytyi typpidioksidille talvella 95 %:n todennäköisyydellä sekä kesällä 90 %:n todennäköisyydellä. Yhteenveto löydettyistä trendeistä löytyy taulukosta 11. Maakesens-tarkastelun tulokset ovat liitteessä 2.

TAULUKKO 11. Yhteenveto laskevien trendien todennäköisyyksistä

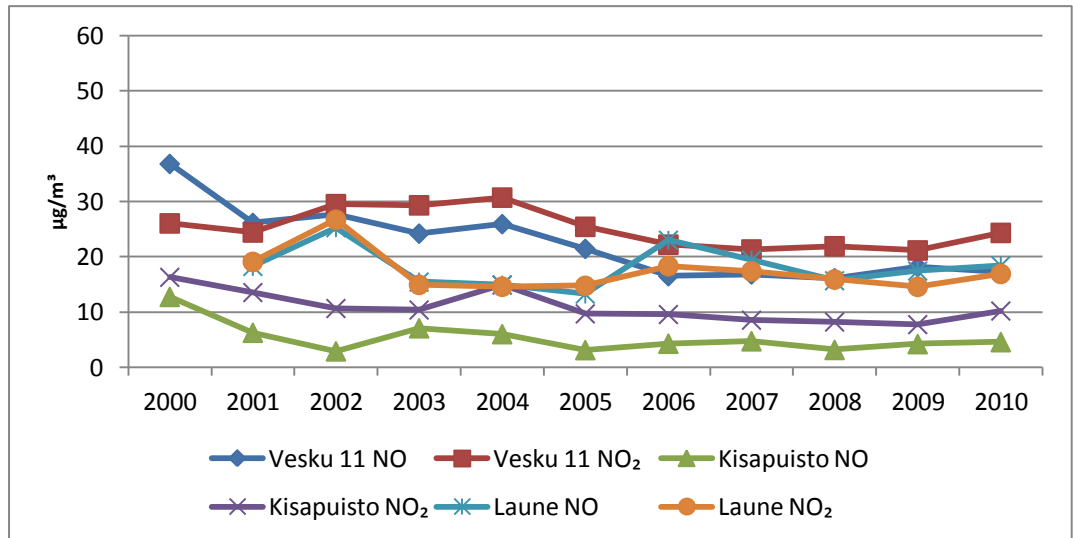
Mittausasema	99,9 %	99 %	95 %	90 %
Vesku 11		Kevät NO Kesä NO Syksy NO	Kesä NO <sub>2</sub>	
Kisapuisto		Kesä NO <sub>2</sub>	Kevät NO <sub>2</sub> Syksy NO	Talvi NO <sub>2</sub> Syksy NO <sub>2</sub>
Laune			Talvi NO <sub>2</sub>	Kesä NO <sub>2</sub>

### 9.2.3 Typpimonoksidi- ja typpidioksidipitoisuudet eri viikonpäivinä

Viikonpäivävertailuun valittiin arkipäivät maanantai-perjantai, jolloin on runsaasti liikennettä, sekä viikonloppu lauantai-sunnuntai, jolloin liikennettä on vähemmän. Arkipäivisin pitoisuudet ovat joka mittausasemalla suuremmat kuin viikonloppuisin. Tausta-asetamalla (Kisapuisto) erot arkipäivien ja viikonlopun välillä ovat pienemmät kuin liikenneasemilla (Vesku 11 ja Laune). Vesku 11:n mittausasemalla näkyy selvimmin ero arkipäivien ja viikonlopun välillä. Kuvioissa 18 ja 19 on esitetty typpimonoksidi- ja typpidioksidipitoisuudet arkipäivinä ja viikonloppuisin.



KUVIO 18. Typpimonoksidi- ja typpidioksidipitoisuudet arkipäivinä



KUVIO 19. Typpimonoksidi- ja typpidioksidipitoisuudet viikonloppuisin

Trenditarkastelussa löytyi ainoastaan laskevia trendejä. Arkipäivistä trendi löytyi Vesku 11:n asemalta typpimonoksidista 99 %:n todennäköisyydellä sekä Kisapuistosta typpidioksidista 95 %:n todennäköisyydellä. Viikonlopun päivistä trendi löytyi Vesku 11:stä typpimonoksidista 99 %:n todennäköisyydellä sekä typpidioksidista 95 %:n todennäköisyydellä. Kisapuiston asemalta laskeva trendi löytyi typpidioksidista 99 %:n todennäköisyydellä. Taulukossa 12 on yhteenveto löydettyistä trendeistä.

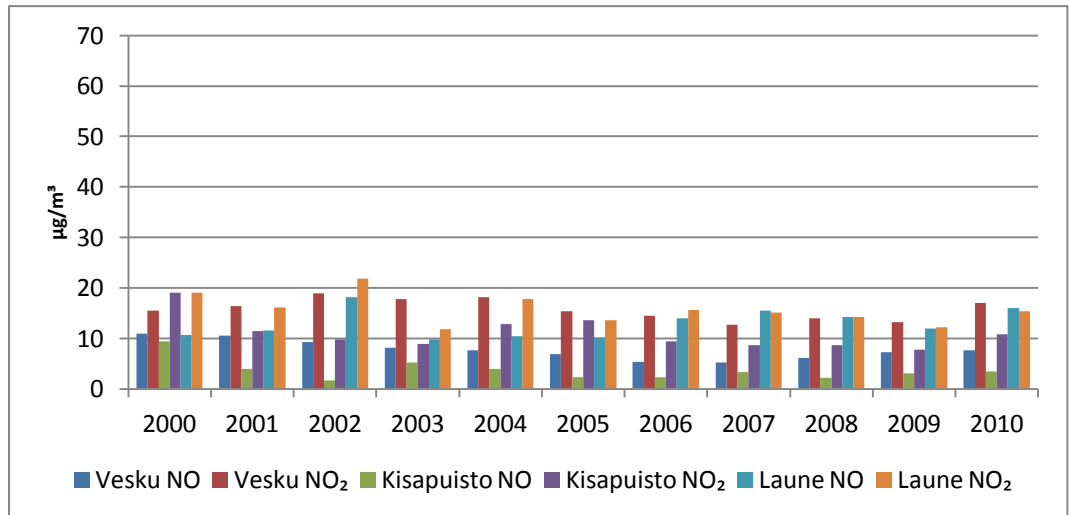
TAULUKKO 12. Yhteenveto laskevien trendien todennäköisyyksistä

Mittausasema	99,9 %	99 %	95 %	90 %
Vesku 11		Ma-pe NO La-su NO	La-su NO <sub>2</sub>	
Kisapuisto		La-su NO <sub>2</sub>	Ma-pe NO <sub>2</sub>	
Laune				

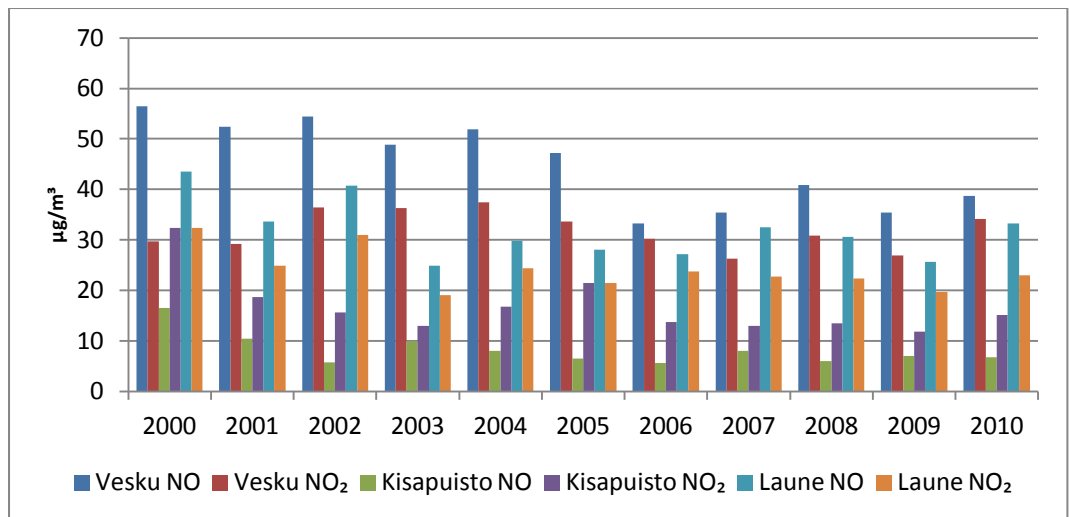
#### 9.2.4 Typpimonoksidi- ja typpidioksidipitoisuudet eri kellonaikoina

Typpimonoksidi- ja typpidioksidipitoisuuksia vertailtiin kolmen tunnin keskiarvoina. Ajakohdiksi valittiin aamun tunnit klo 7 - 9, iltapäivän tunnit klo 16 - 18 ja yötunnit klo 3 - 5. Aamulla ja iltapäivällä on paljon työmatkaliikennettä. Yöllä liikennettä on huomattavasti vähemmän kuin päivällä.

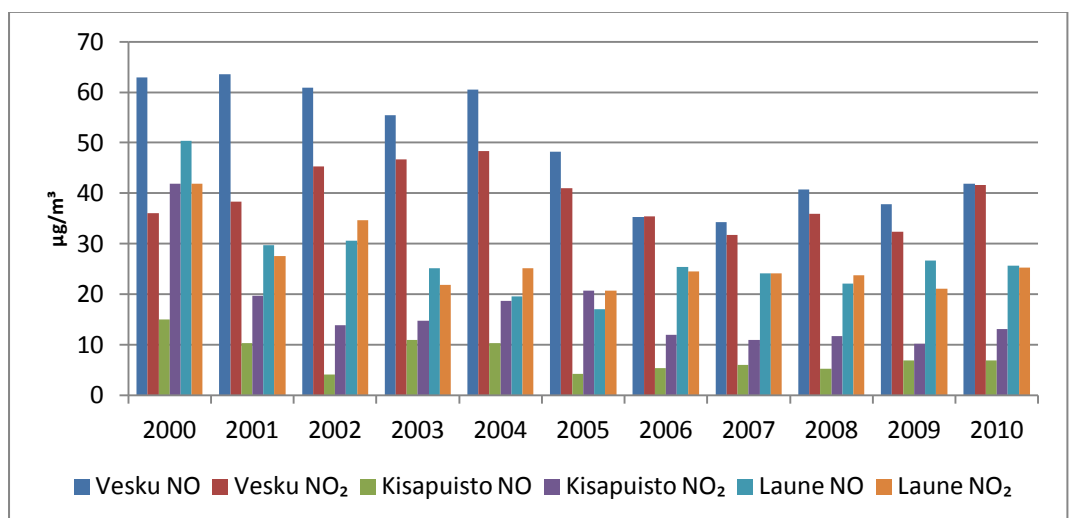
Liikenteen määrällä on selkeä vaikutus typpimonoksidi- ja typpidioksidipitoisuuksiin. Aamun pitoisuudet ovat joka mittausasemalla suuremmat kuin yöllä. Selkeimmin ero näkyy kahdella liikenneasemalla (Vesku 11 ja Laune). Kisapuitossa erot ovat pienempiä, koska sen lähellä ei ole vilkkaasti liikennöityä katua. Iltapäivän pitoisuudet ovat aavistuksen korkeampia kuin aamun pitoisuudet. Kuvioissa 20 - 22 on esitetty typpimonoksidi- ja typpidioksidipitoisuuksia yöllä, aamulla ja iltapäivällä. Kuviossa 23 on esitetty vuoden 2010 typpimonoksidi- ja typpidioksidipitoisuudet tuntikeskiarvoina. Kuvioista näkyy selkeä pitoisuuksien nousu klo 7:stä alkaen. Pitoisuudet pysyvät korkeina koko päivän ja alkavat hitaasti laskea iltaa kohti.



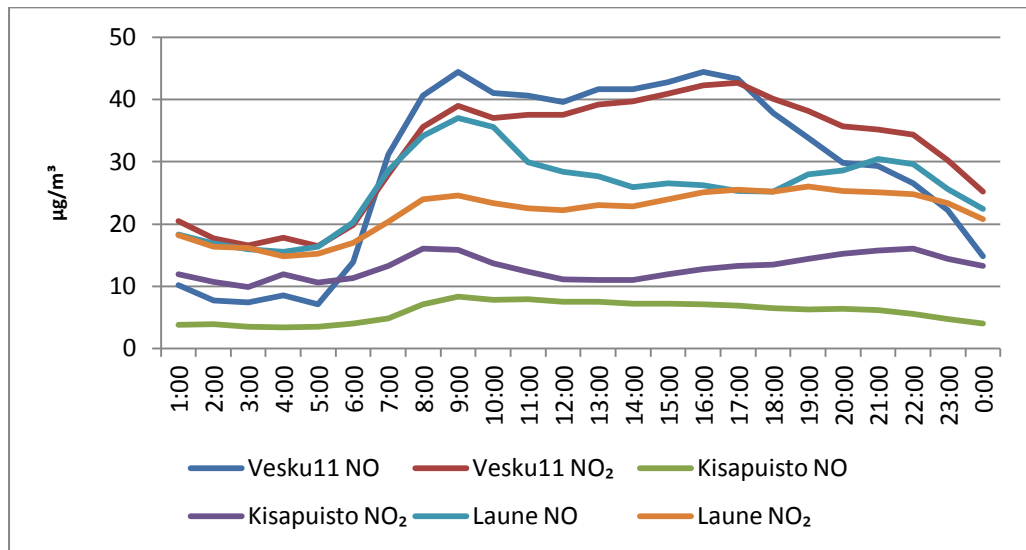
KUVIO 20. Typpimonoksidi- ja typpidioksidipitoisuudet yöllä klo 3 - 5



KUVIO 21. Typpimonoksidi- ja typpidioksidipitoisuudet aamulla klo 7 - 9



KUVIO 22. Typpimonoksidi- ja typpidioksidipitoisuudet iltapäivällä klo 16 - 18



KUVIO 23. Vuoden 2010 typpimonoksidi- ja typpidioksidipitoisuudet tuntikeskiarvoina

Vesku 11:n mittauspisteessä löytyi laskeva trendi typpimonoksidille yöllä 95 %:n todennäköisyydellä, aamulla 99 %:n todennäköisyydellä ja iltapäivällä 99 %:n todennäköisyydellä. Kisapuistossa laskeva trendi löytyi typpidioksidille 95 %:n todennäköisyydellä yöllä, aamulla ja iltapäivällä. Lisäksi typpimonoksidille laskeva trendi löytyi 90 %:n todennäköisyydellä aamun tunneille. Launeelta laskeva trendi löytyi 90 %:n todennäköisyydellä typpidioksidista aamulla sekä iltapäivällä. Makesens-tarkastelun tulokset ovat liitteessä 4. Taulukossa 13 on yhteenveto löydetyistä trendeistä.

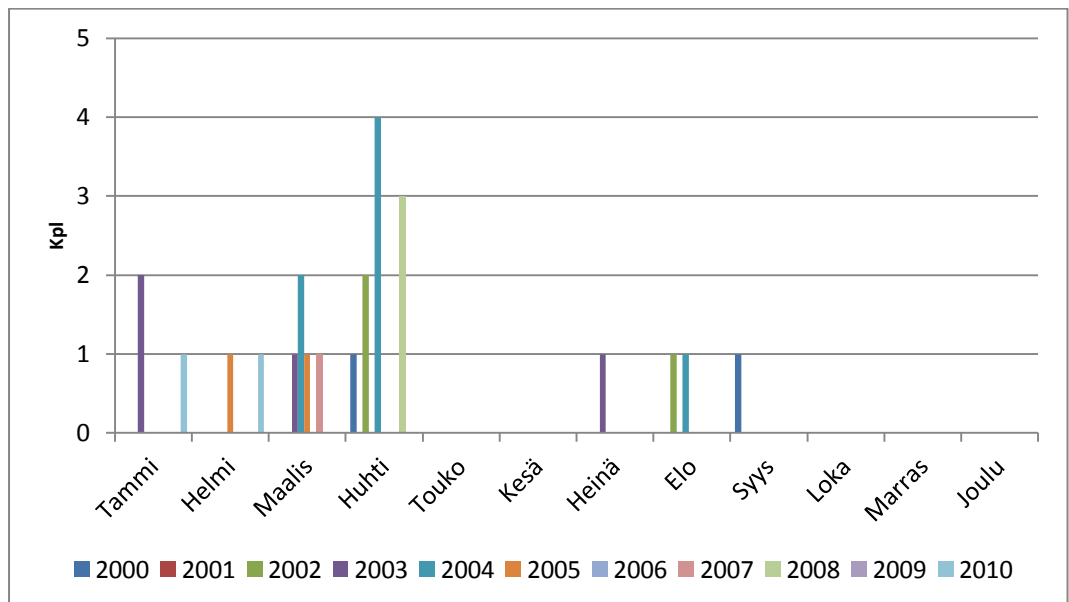
TAULUKKO 13. Yhteenveto laskevien trendien todennäköisyyksistä

Mittausasema	99,9 %	99 %	95 %	90 %
Vesku 11		Aamu NO Iltapäivä NO	Yö NO	
Kisapuisto			Yö NO <sub>2</sub> Aamu NO <sub>2</sub> Iltapäivä NO <sub>2</sub>	
Laune				Aamu NO <sub>2</sub> Iltapäivä NO <sub>2</sub>

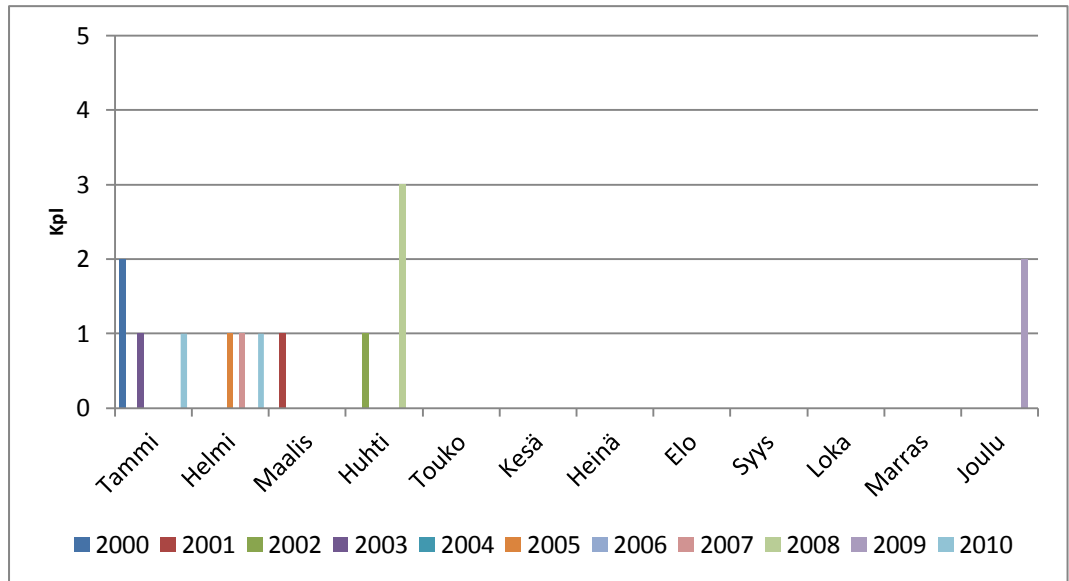
### 9.2.5 Typpidioksidipitoisuuksien raja-arvoylitykset

Typpidioksidipitoisuuksille on annettu terveyshaittojen ehkäisemiseksi raja-arvot, joita ei saa ylittää. Typpidioksidille on annettu tuntiraja-arvoksi  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja kalenterivuoden keskiarvoraja-arvoksi  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Kumpaakaan raja-arvoa ei ylitetty 2000-luvulla. Typpimonoksidille ei ole annettu raja-arvoja terveyshaittojen ehkäisemiseksi.

Koska yli  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ylittäviä tunti-arvoja ei tarkasteltavalta ajanjaksolta löytynyt, niin tuntiarvoylityksen arvoksi valittiin  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , joka on ohjearvon mukainen arvo. Typpidioksidille ei ole annettu vuorokausiraja-arvoa, joten suuria pitoisuuksia valittiin kuvaamaan arvo  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Kyseisillä arvoilla ilmanlaatu on jo selkeästi laskenut ja ilmanlaatuindeksin mukaan ilmanlaatu on välttävä. Kuvioissa 24 ja 25 on esitetty vuorokausiohjearvotason ylitykset Vesku 11:n ja Kisapuiston mittausasemilla. Tuloksista näkyy, että ylitykset painottuvat pääasiassa alkuvuoteen, jolloin on kylmiä pakkaskelejä. Vesku 11:n mittausasemalla ylityksiä oli 2000-luvulla 24 kappaletta ja Kisapuistossa 14 kappaletta.

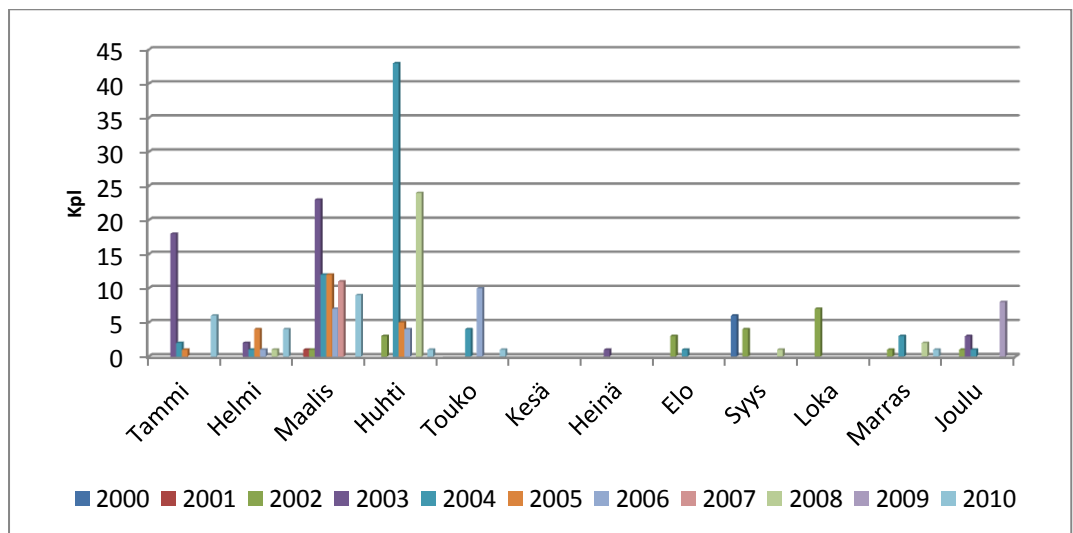


KUVIO 24. Vuorokausien lukumäärä, jolloin vuorokausiarvo ylitti  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Vesku 11:n mittausasemalla

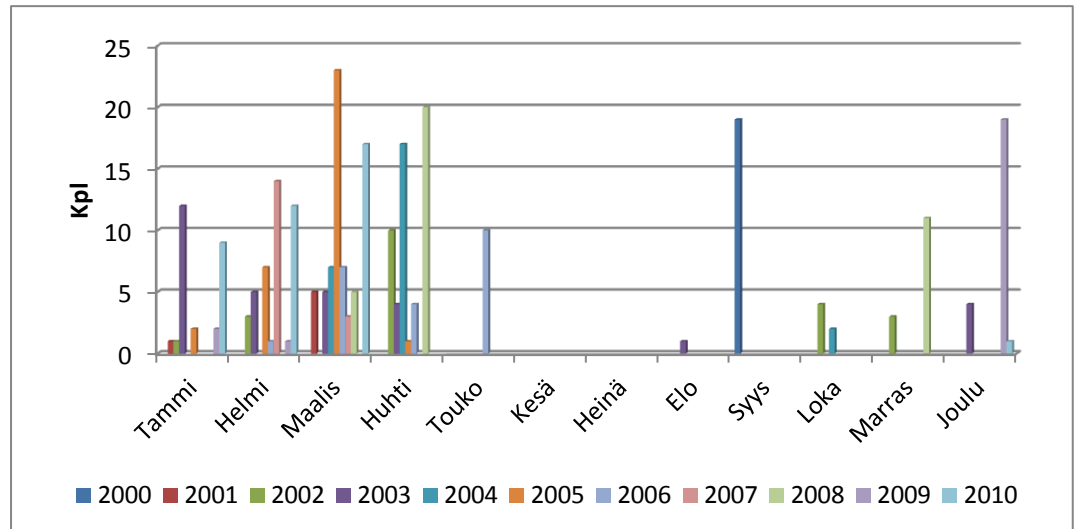


KUVIO 25. Vuorokausien lukumäärä, jolloin vuorokausiarvo ylitti  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Kisapuiston mittausasemalla

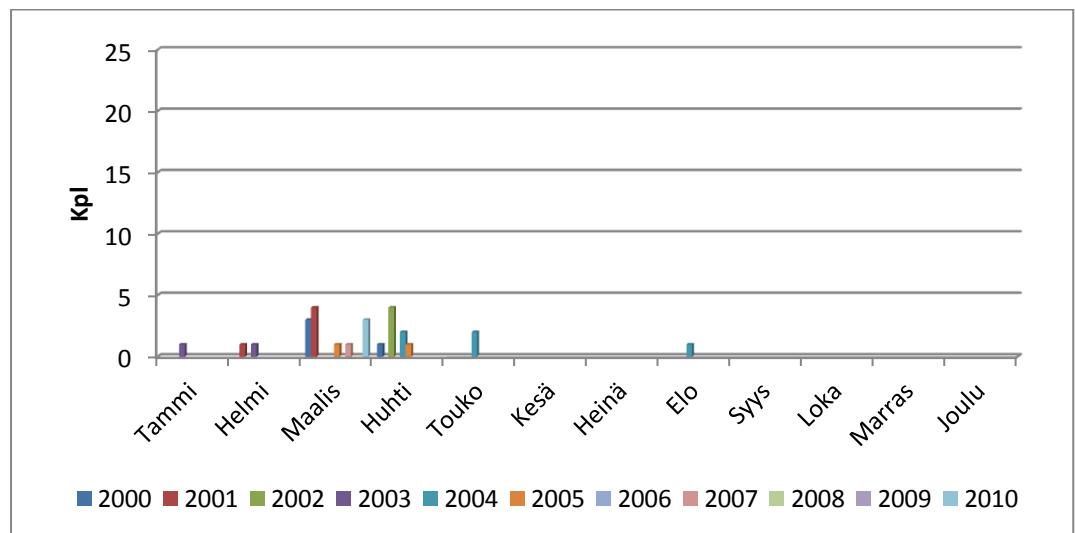
Kuvioissa 26 - 28 on esitetty typpidioksidin tuntiarvot, jotka ylittävät  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Vesku 11:n mittausasemalla, Launeella ja Kisapuistossa. Vesku 11:n mittausasemalla oli 2000-luvulla 254 ylitystä, Launeella 272 ja Kisapuistossa 26.



KUVIO 26. Tuntiarvojen lukumäärä, jolloin tuntikeskiarvo ylitti  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Vesku 11:n mittausasemalla



KUVIO 27. Tuntiarvojen lukumäärä, jolloin tuntikeskiarvo ylitti  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Lau-nen mittausasemalla



KUVIO 28. Tuntiarvojen lukumäärä, jolloin tuntikeskiarvo ylitti  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Kisa-puiston mittausasemalla

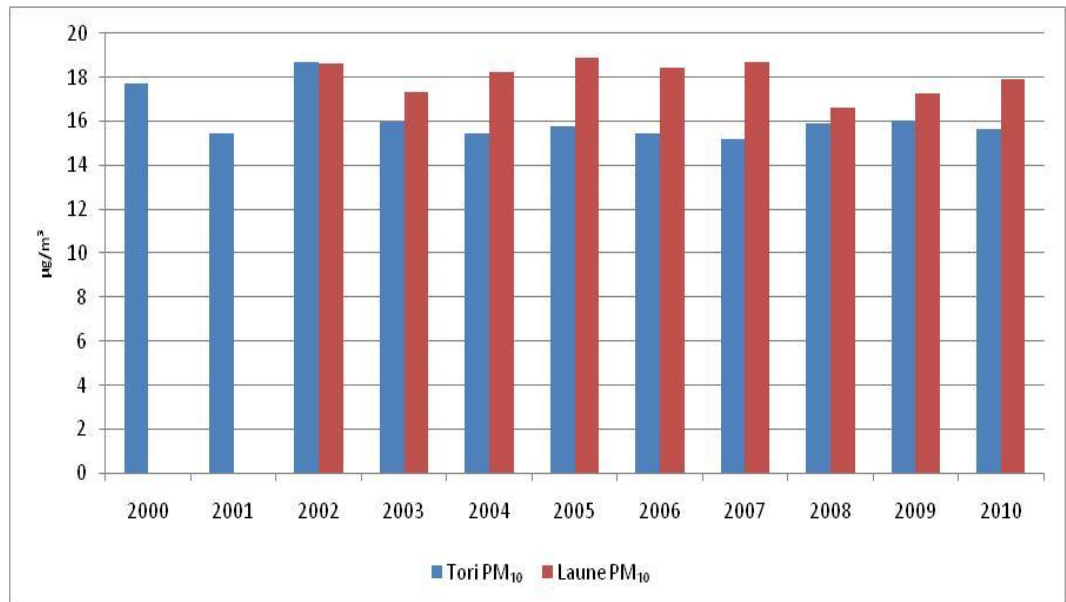
### 9.2.6 Hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvot ( $\text{PM}_{10}$ )

Hengitettävillä hiukkasilla annettua terveysperusteista raja-arvoa ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ei ylitetty 2000-luvulla. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet ovat pysyneet lähes samalla tasolla koko tarkasteltavan ajanjakson ajan. Myös eri vuosien pitoisuus-erot ovat suhteellisen pieniä. Maksimivuosiskeskiarvot olivat  $18,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja  $18,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja minimivuosiskeskiarvot  $15,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja  $16,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Taulukossa 14 esite-

tään hengitettävien hiukkasten havaintoarvoista laskettuja tilastollisia tunnuslukuja. Trenditarkastelussa ei löytynyt laskevia eikä nousevia trendejä. Kuviossa 29 on esitetty hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvot 2000-luvulla. Makesens-tarkastelun tulokset ovat liitteessä 1.

TAULUKKO 14. Hengitettävien hiukkasten tilastollisia tunnuslukuja vuosikeskiarvoista laskettuina

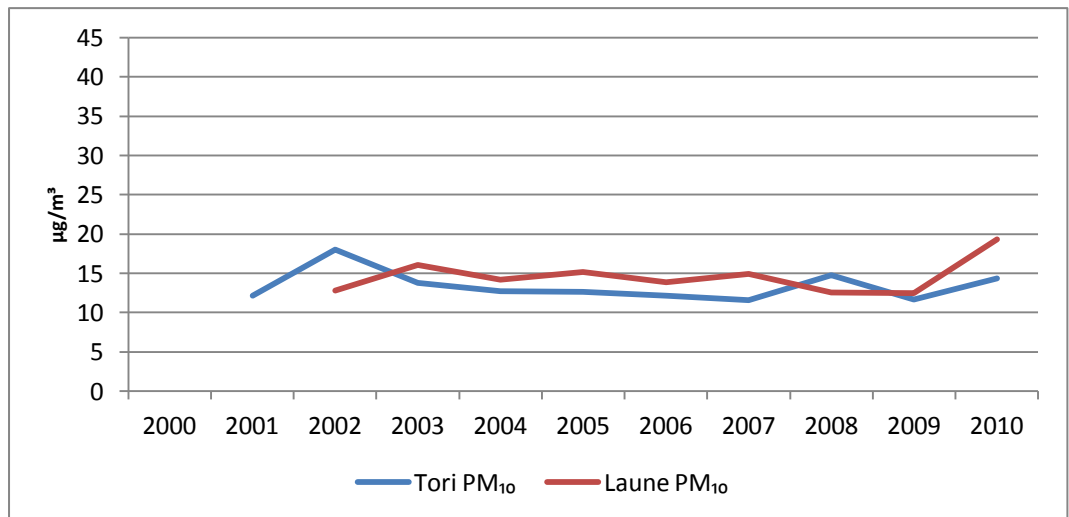
Mittausasema	min	max	mediaani	keskiarvo
Tori PM <sub>10</sub>	15,1	18,7	15,8	16,1
Laune PM <sub>10</sub>	16,6	18,9	18,2	18,0



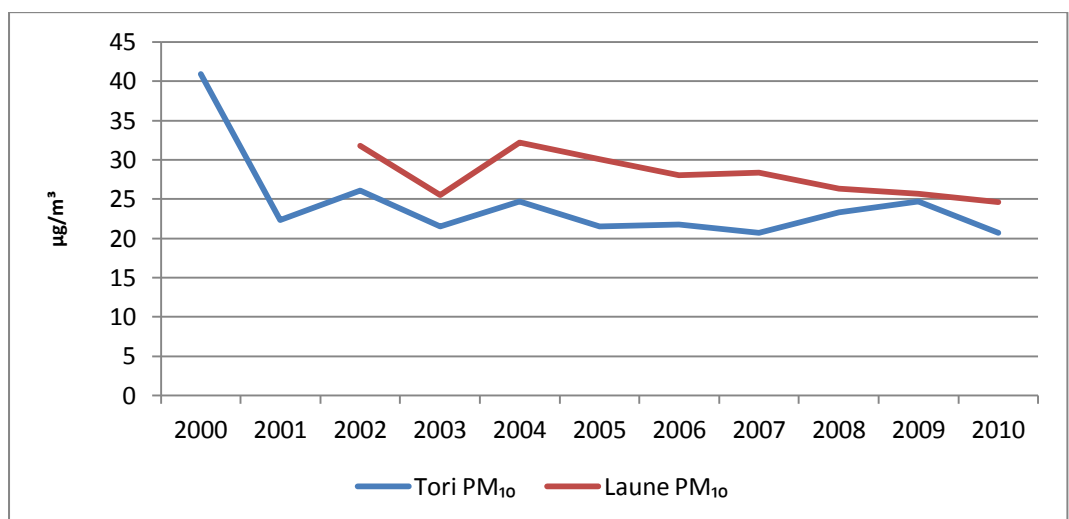
KUVIOSSA 29. Hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvot 2000-luvulla

### 9.2.7 Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet eri vuodenaikoina

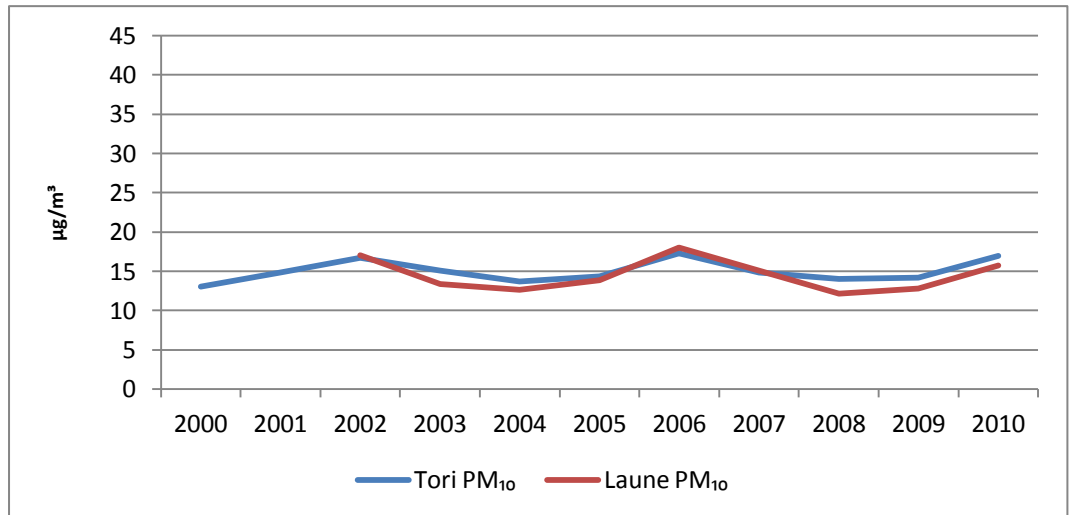
Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet pysyvät lähes samalla tasolla läpi vuoden, paitsi keväällä, jolloin pitoisuudet nousevat selkeästi. Lisäksi eri vuosien väliset pitoisuusvaihtelut ovat suhteellisen pieniä. Torin mittausasemalla on pääosin pienempiä pitoisuuksia kuin Launeella. Kesäaikana tilanne muuttuu, ja Torilla on isompia pitoisuuksia kuin Launeella. Kuvioissa 30 - 33 on esitetty hengitettävien hiukkasten pitoisuudet eri vuodenaikoina. Trenditarkastelussa löytyi laskeva trendi 95 %:n todennäköisyydellä Launeelle kevätaikana. Makesens-tarkastelun tulokset ovat liitteessä 2.



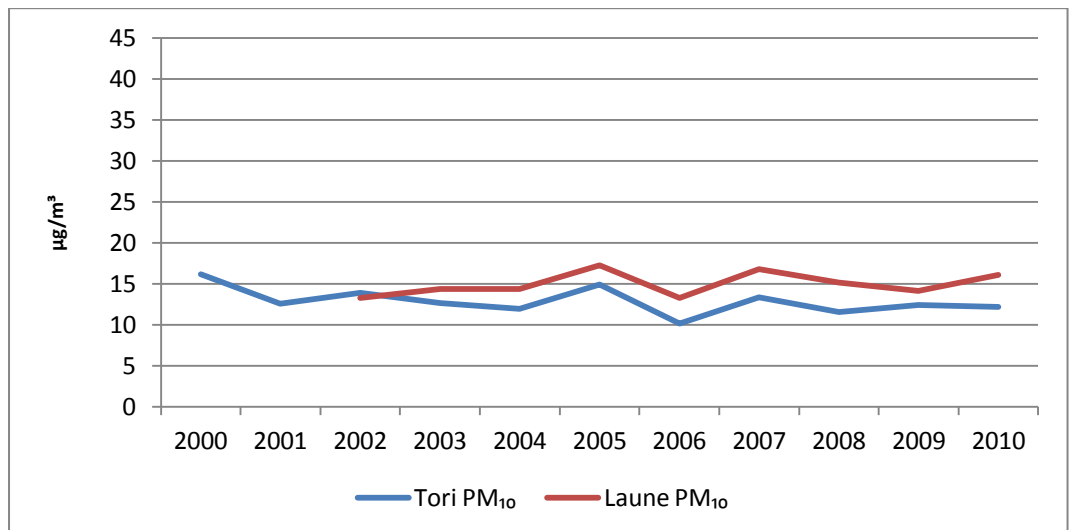
KUVIO 30. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet talvella



KUVIO 31. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet keväällä



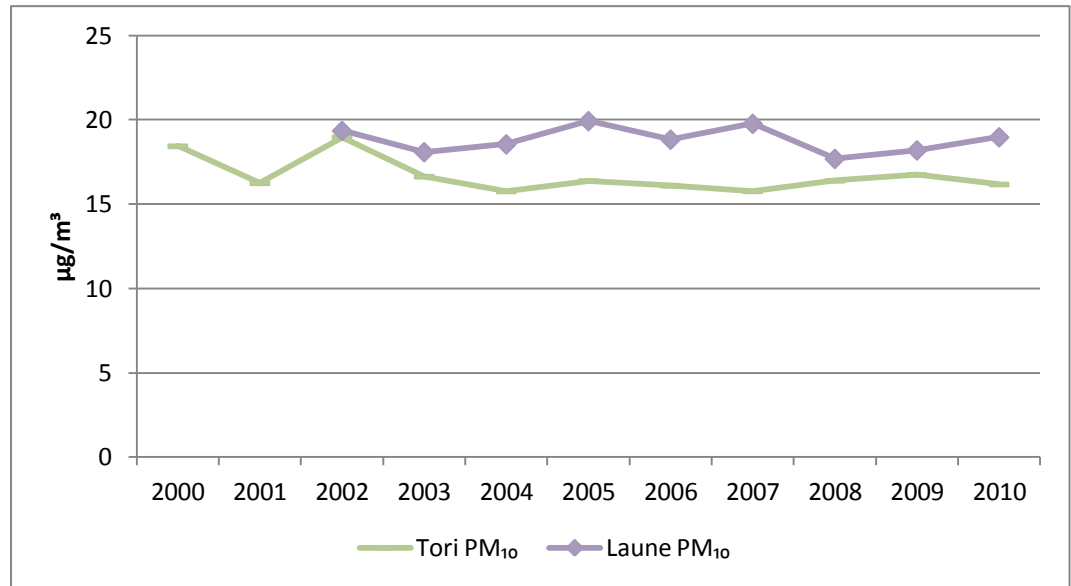
KUVIO 32. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet kesällä



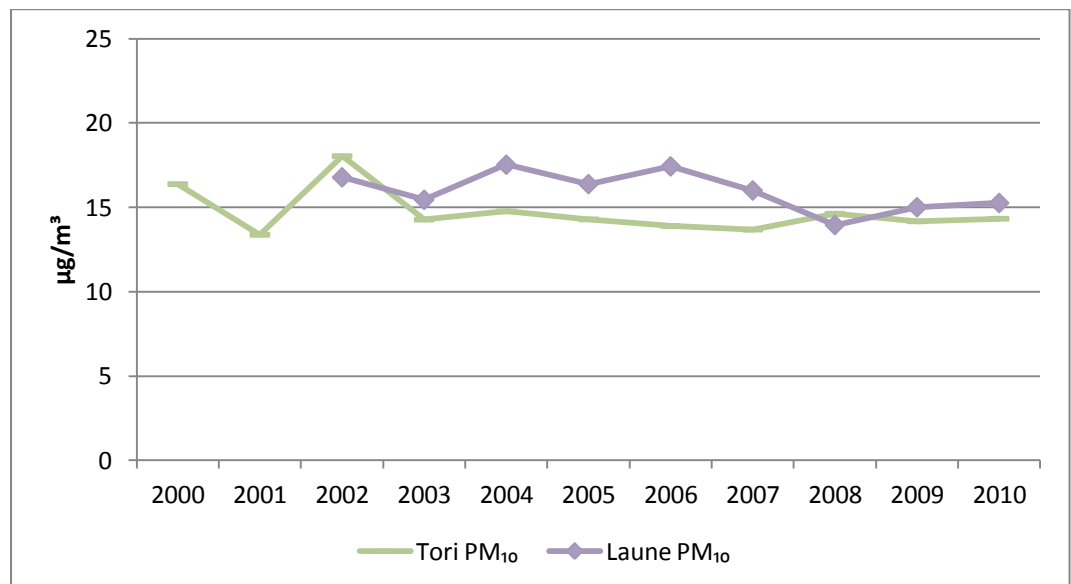
KUVIO 33. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet syksyllä

### 9.2.8 Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet eri viikonpäivinä

Hengitettävien hiukkasten pitoisuuksissa on havaittavissa samanlainen trendi kuin typen oksideissa arkipäivien ja viikonloppun välillä, eli arkipäivinä pitoisuudet ovat korkeampia kuin viikonloppuna. Trenditarkastelussa ei havaittu laskevia eikä nousevia trendejä. Kuvioissa 34 ja 35 on esitetty hengitettävien hiukkasten pitoisuudet arkipäivinä ja viikonloppuna. Makesens-tarkastelun tulokset ovat liitteessä 3.



KUVIO 34. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet arkipäivinä

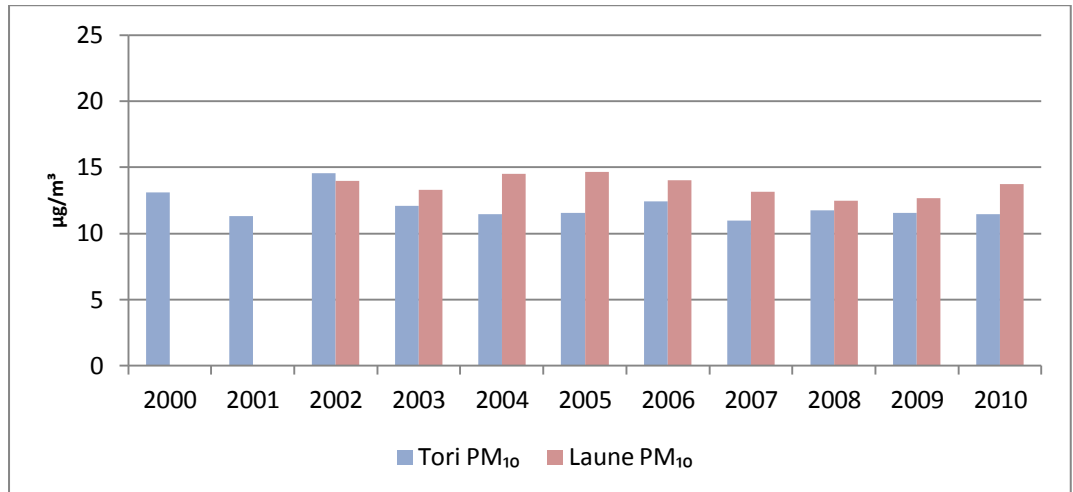


KUVIO 35. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet viikonloppuna

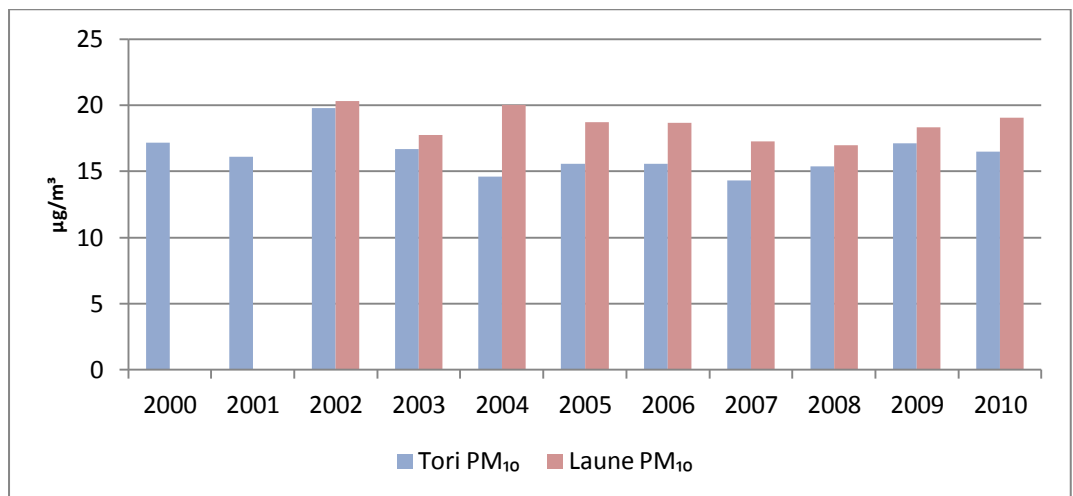
### 9.2.9 Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet eri kellonaikoina

Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet vaihtelevat selkeästi eri kellonaikoina. Yöllä on kaikkein pienimmät pitoisuudet. Aamulla pitoisuudet lähtevät nousuun. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet pysyvät korkeina koko päivän, kunnes kello 23:n jälkeen pitoisuudet alkavat hiljalleen laskea.

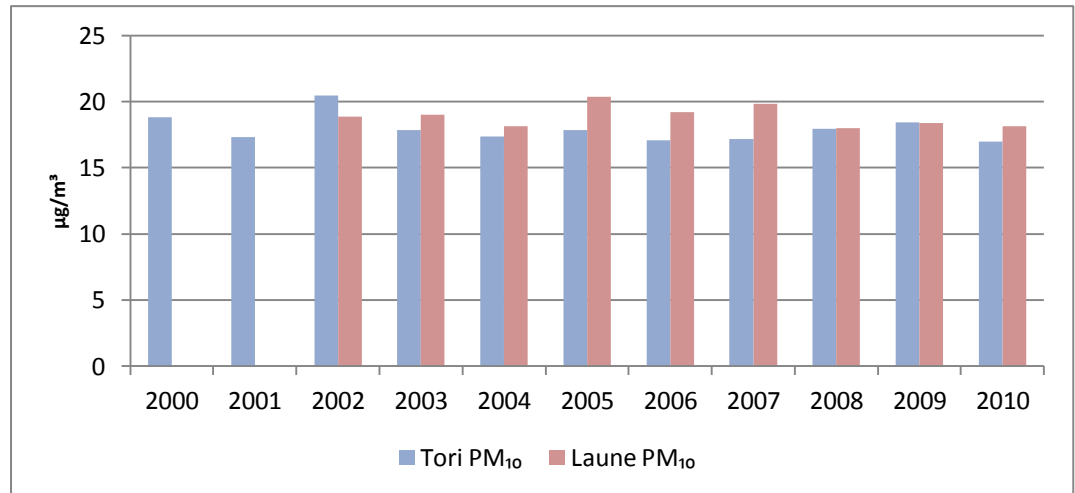
Makesen-tarkastelussa ei löytynyt nousevia eikä laskevia trendejä. Makesen-tarkastelun tulokset ovat liitteessä 4. Kuvioissa 36 - 38 on esitetty hengitettävien hiukkasten pitoisuudet yöllä, aamulla ja iltapäivällä. Kuviossa 39 on esitetty vuoden 2010 tuntikeskiarvot.



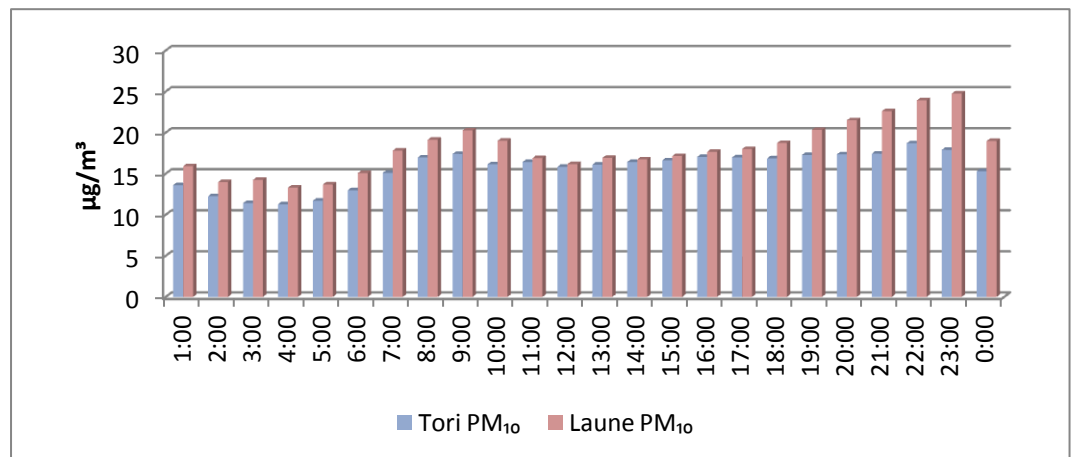
KUVIO 36. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet yöllä



KUVIO 37. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet aamulla



KUVIO 38. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet iltapäivällä

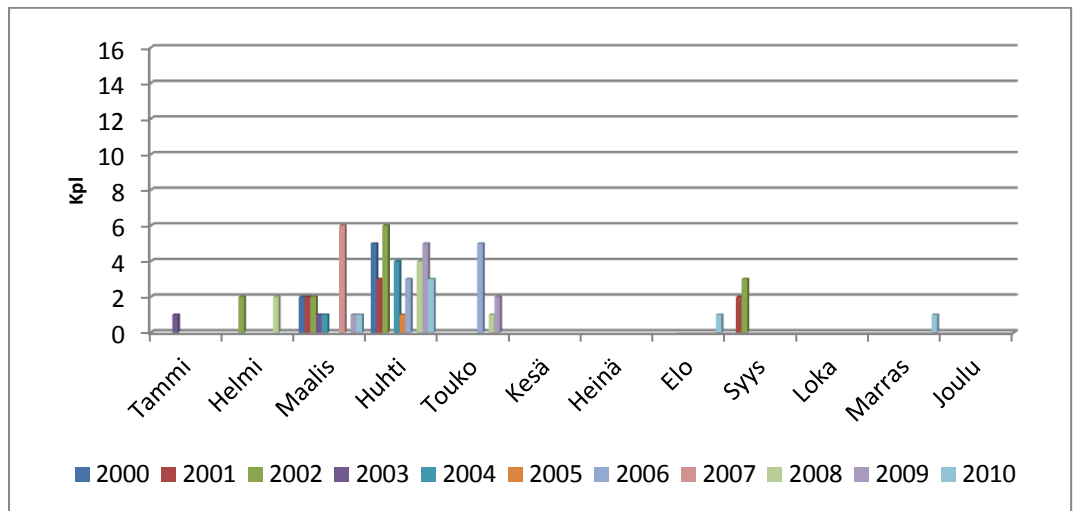


KUVIO 39. Vuoden 2010 hengitettävien hiukkasten tuntikeskiarvot

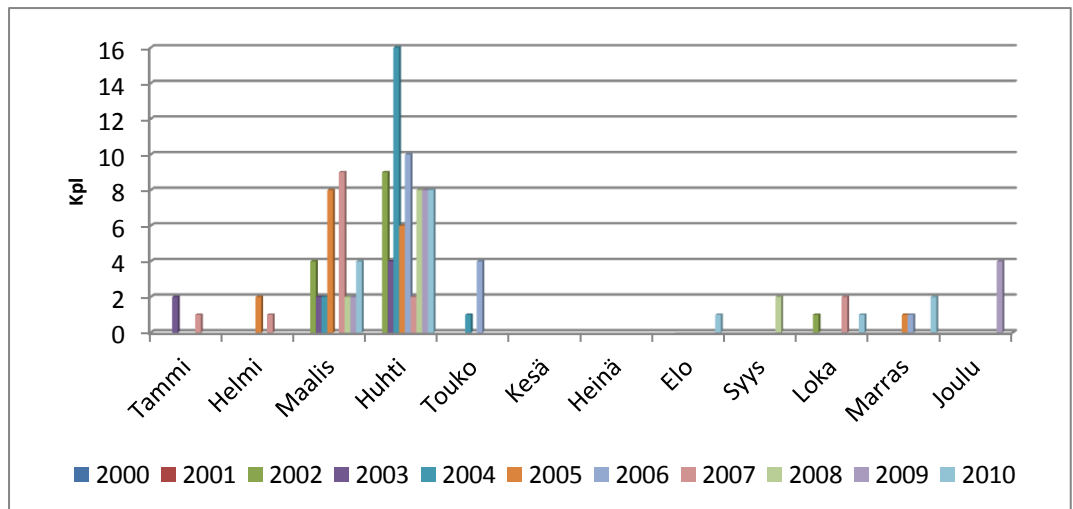
### 9.2.10 Hengitettävien hiukkasten raja-arvoylitykset

Hengitettävälle hiukkasille on annettu terveysperusteiset raja-arvot, joilla pyritään suojelemaan ihmisten terveyttä. Vuorokausiraja-arvoksi on annettu  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja ylityksiä sallitaan 35 kappaletta vuodessa. Vuosikeskiarvon raja-arvo on  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Hengitettävälle hiukkasille ei ole annettu tuntiraja-arvoa, mutta tässä työssä suuria pitoisuuksia valittiin kuvaamaan yli  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  tuntikeskiarvoja, joka on sama pitoisuus kuin typen oksideille valittu. Terveysperusteisia raja-arvoja ei ylitetty millään asemalla 2000-luvulla. Kuvioissa 40 ja 41 on esitetty Torin ja Laupeen mittausasemien vuorokausiraja-arvon ylitykset. Suurin osa ylityksistä sijoit-

tuu maaliskuu- ja toukokuun väliselle ajalle. Yhteensä ylityksiä kertyi Torilla 70 kappaletta ja Launeella 130 kappaletta.

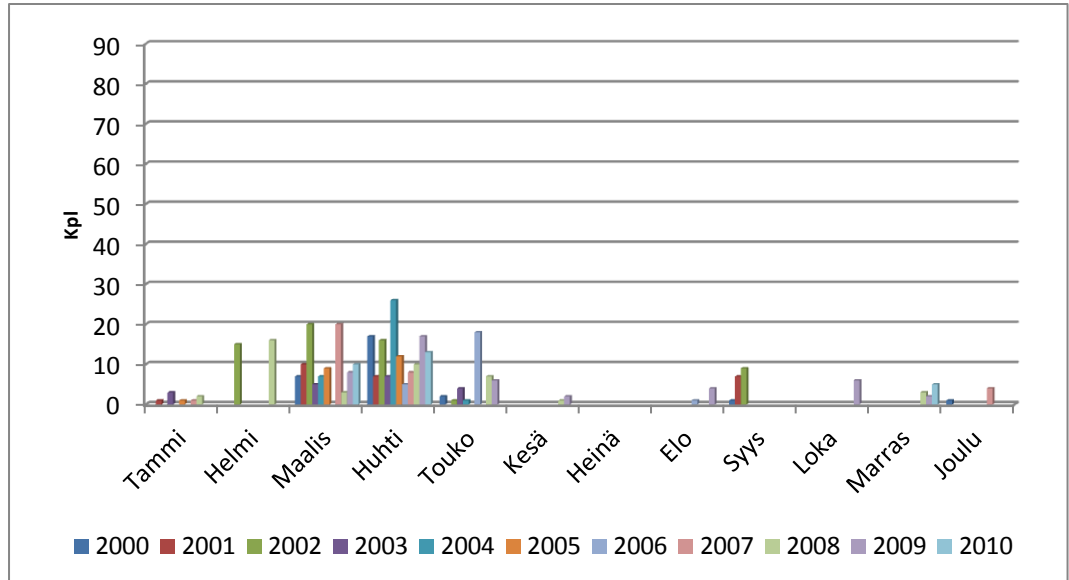


KUVIO 40. Hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvotason  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ylitysten lukumäärä Torin mittausasemalla

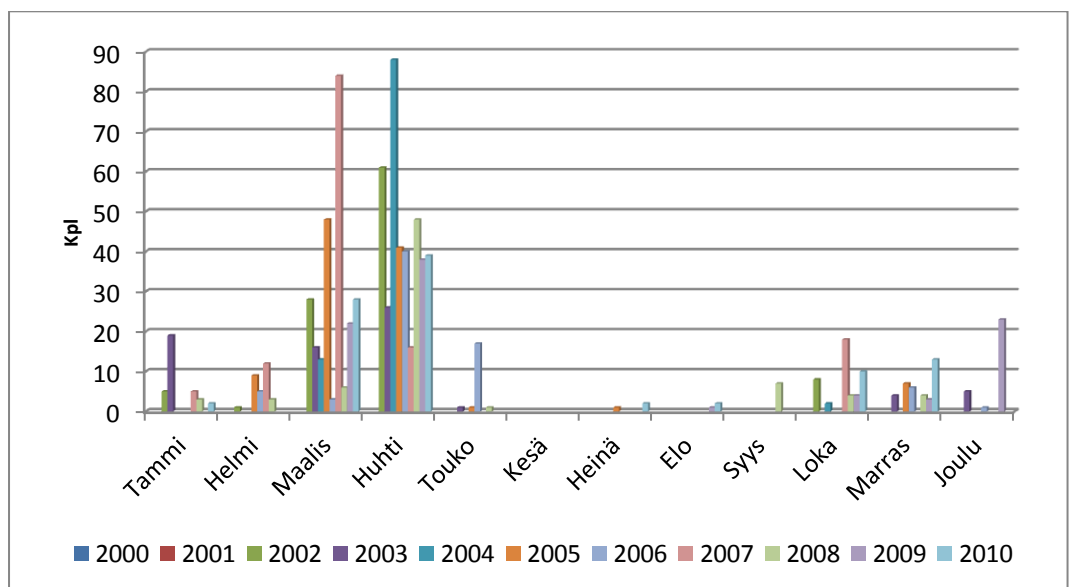


KUVIO 41. Hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvotason  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ylitysten lukumäärä Launen mittausasemalla

Kuvioissa 42 ja 43 on esitetty hengitettävien hiukkasten  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  tuntiarvon ylitykset Torin ja Launeen mittausasemilla. Torin mittausasemalla oli 2000-luvulla 361 ylitystä ja Launeella 854 ylitystä.



KUVIO 42. Hengitettävien hiukkasten tuntiarvon  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ylitysten lukumäärä Torin mittausasemalla



KUVIO 43. Hengitettävien hiukkasten tuntiarvon  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ylitysten lukumäärä Launeen mittausasemalla

## 10 YHTEENVETO

Typpidioksidille ja hengitettäville hiukkasille annettua terveysterveysteista raja-arvoa ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , vuosikeskiarvo) ei ylitetty millään mittausasemalla 2000-luvulla. Typen oksidien vuosikeskiarvot vaihtelevat jonkin verran eri vuosina, kun taas hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvot pysyivät lähes samalla tasolla koko 2000-luvun ajan.

Typen oksidien ja hengitettävien hiukkasen pitoisuuksissa näkyi vuodenaikojen vaikutus. Typen oksidien pitoisuudet ovat kesällä pienempiä kuin muina vuoden aikoina. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuksissa näkyy pitoisuuksien nousu aina kevätaikaan. Pitoisuuksien nousu johtuu siitä, kun keväällä lumi sulaa ja katupöly nousee hengitysilmaan.

Viikonpäivien vaikutus näkyy myös selkeästi typen oksidien ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksissa. Arkipäivisin mitattiin aina isompia pitoisuuksia kuin viikonloppuisin. Typen oksidien kohdalla pitoisuuserot arkipäivien ja viikonloppun välillä olivat suurempia kuin hengitettävien hiukkasten kohdalla.

Typen oksidien ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia tutkittiin myös eri kellonaikoina. Ajankohdiksi valittiin aamun tunnit 7 - 9, iltapäivän tunnit 16 - 18 ja yön tunnit 3 - 5. Aamun ja iltapäivän tunnit osuvat työmatkaliikenteen ruuhka-aikoihin, kun taas yöllä on vain vähän liikennettä. Lisäksi laskettiin vuoden 2010 tuntiarvot. Liikenteellä on selkeä vaikutus typen oksidien ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksiin. Ruuhka-aikoina pitoisuudet nousevat selkeästi verrattuna yön tunteihin. Vuoden 2010 tuntiarvoista näkee selkeästi pitoisuuksien kehittymisen eri kellonaikoina. Pitoisuudet lähtevät selkeään nousuun kello 7:n jälkeen, niin typen oksideilla kuin hengitettävillä hiukkasilla. Pitoisuudet pysyvät korkeina koko päivän ja alkavat iltaa kohti kääntyä laskuun.

Typpidioksidipitoisuuksille on annettu terveyshaittojen ehkäisemiseksi raja-arvot: tuntiraja-arvoksi  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja kalenterivuoden keskiarvoraja-arvoksi  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Kumpaakaan raja-arvoa ei ylitetty 2000-luvulla. Typpimonoksidille ei ole annettu raja-arvoja terveyshaittojen ehkäisemiseksi. Koska yli  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ylittäviä tuntiar-



Vaikka työssä käytetty aineisto on 11 vuodelta, vuotuiset vaihtelut vaikuttavat trenditarkasteluun voimakkaasti. Kuitenkin arvion ilmanlaadusta voi saatujen tulosten perusteella tehdä. Typen oksidien pitoisuuksista löytyi laskeva trendi Kisa- puistosta tyypidioksidille ja Vesku 11:stä typpimonoksidille. Typpimonoksidipitoisuuksien lasku Vesku 11:n mittausasemalla näyttäisi johtuvan liikenteen päästöjen vähenemisestä. Tyypidioksidipitoisuuksien pienempi lasku kertoo NO – NO<sub>2</sub> hapetuksessa (otsonin kulumisesta ennen kuin kaikki NO on hapettunut) määntekijän olevan otsoni eikä typpimonoksidi. Myös muilta mittausasemilta löytyi satunnaisia laskevia trendejä. Tästä voi päätellä sen, että typen oksidien kohdalla pitoisuudet ovat pysyneet samalla tasolla tai laskeneet 2000-luvun aikana.

Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet ovat pysyneet lähes samalla tasolla koko 2000-luvun ja vuosittaiset vaihtelut ovat pieniä. Epäpuhtauksien pitoisuudet ilmassa nousevat ajoittain suuriksi, ja ne näyttävät toistuvan vuosittain. Typen oksidien pitoisuudet nousevat suuriksi aina alkutalvesta, milloin on pitkiä pakkas- kausia. Silloin syntyy helposti inversiotilanteita. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet taas nousevat keväällä, kun lumi sulaa ja katupöly pääsee nousemaan hengitysilmään.

Jatkotutkimuksena tarkastelua olisi hyvä laajentaa kaikkiin Lahdessa mitattaviin epäpuhtauksiin, jotta voitaisiin selvittää, löytyykö muistakin epäpuhtauksista nousevia tai laskevia trendejä. Lisäksi trenditarkastelua olisi mielenkiintoista ulottaa pidemmälle ajalle, esimerkiksi 90-luvulta alkaen.

## LÄHTEET

AC32M Technical Manual. 2008. Environnement S.A.

Anttila, P. 2009. Ilmanlaadun kehittyminen 1994 - 2007 [viitattu 19.5.2011].

Saatavissa: <http://www.ilmanlaatu.fi/ilmansaasteet/tietosivut/trendit.php>

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2004/107/EY [viitattu 13.4.2012].

Saatavissa:

<http://www.eurlex.europa.eu/LexUriServ.do?uri=CELEX:32004L0107:FI:HTML>

Helsingin seudun ympäristöpalvelut. 2011. HSY:n ilmanlaatuindeksi [viitattu

19.5.2011]. Saatavissa:

<http://www.hsy.fi/seututieto/ilmanlaatu/tiedotus/indeksi/Sivut/default.aspx>

Helsingin seudun ympäristöpalvelut. 2012. Ilmanlaadun mittaajatapaaminen Seinäjoki 8.- 9.5.2012 [viitattu 20.5.2012].

Saatavissa: <http://www.isy.fi/pdf/ilmanlaatu.pdf>

Hengityслиitto. 2013. Otsoni [viitattu 21.2.2013].

Saatavissa: <http://www.heli.fi/Hengitysilma/Ulkoilma/Ilmansaasteet/Otsoni>

Ilmanlaadun alustava arviointi Suomessa. 2001. Ilmatieteen laitos [viitattu

15.4.2012]. Saatavissa:

<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=2953&lan=fi>

Ilmanlaadun alustava arviointi Suomessa. 2011. Ilmatieteen laitos [viitattu

17.4.2012]. Saatavissa:

[http://www.ilmanlaatu.fi/ilmansaasteet/julkaisu/pdf/pienhiukkasten\\_alustava\\_arviointi\\_2011\\_2.pdf](http://www.ilmanlaatu.fi/ilmansaasteet/julkaisu/pdf/pienhiukkasten_alustava_arviointi_2011_2.pdf)

Ilmanlaadun mittausohje. 2004. Versio 1.0. Ilmatieteen laitos [viitattu 20.5.2012].

Saatavissa: [http://cdn.fmi.fi/legacy-fmi-fi-](http://cdn.fmi.fi/legacy-fmi-fi-content/documents/ilmanlaadun_mittausohje.pdf)

[content/documents/ilmanlaadun\\_mittausohje.pdf](http://cdn.fmi.fi/legacy-fmi-fi-content/documents/ilmanlaadun_mittausohje.pdf)

Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2009. Helsingin seudun ympäristöpalvelut. Helsinki: Edita Prima Oy [viitattu 12.2.2013]. Saatavissa:

[http://www.hsy.fi/tietoahsy/Documents/Julkaisut/2\\_2010\\_ilmanlaatu\\_paakaupunkiseudulla\\_vuonna2009\\_web.pdf](http://www.hsy.fi/tietoahsy/Documents/Julkaisut/2_2010_ilmanlaatu_paakaupunkiseudulla_vuonna2009_web.pdf)

Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2010. Helsingin seudun ympäristöpalvelut. Helsinki: Edita Prima Oy [viitattu 10.1.2013]. Saatavissa:

[http://www.hsy.fi/tietoahsy/Documents/Julkaisut/3\\_2011\\_ilmanlaatu\\_paakaupunkiseudulla\\_vuonna2010.pdf](http://www.hsy.fi/tietoahsy/Documents/Julkaisut/3_2011_ilmanlaatu_paakaupunkiseudulla_vuonna2010.pdf)

Ilmanlaatu Suomessa 2003. Mitatut pitoisuudet suhteessa ohje- ja raja-arvoihin sekä vertailuja eurooppalaisiin pitoisuustasoihin. Ilmatieteen laitos [viitattu 14.1.2013]. Saatavissa:

[http://www.ilmanlaatu.fi/ilmansaasteet/julkaisu/pdf/Ilmanlaatu\\_Suomessa.pdf](http://www.ilmanlaatu.fi/ilmansaasteet/julkaisu/pdf/Ilmanlaatu_Suomessa.pdf)

Kaasalainen, K. 2000. Ilmanlaatu Lahdessa vuonna 2000.

Kaasalainen, K. 2002. Ilmanlaatu Lahdessa vuonna 2002.

Kaasalainen, K. 2004. Ilmanlaatu Lahdessa vuonna 2004.

Kaasalainen, K. 2006. Ilmanlaatu Lahdessa vuonna 2006 [viitattu 15.5.2012].

Saatavissa:

[http://www.lahti.fi/www/cms.nsf/pages/12FFCAA61150FB78C2256F1F002D98F7/\\$file/Ilmanlaatu+Lahdessa+2006.pdf](http://www.lahti.fi/www/cms.nsf/pages/12FFCAA61150FB78C2256F1F002D98F7/$file/Ilmanlaatu+Lahdessa+2006.pdf)

Kaasalainen, K. 2007. Ilmanlaatu Lahdessa vuonna 2007 [viitattu 20.5.2012].

Saatavissa:

[http://www.lahti.fi/www/cms.nsf/pages/12FFCAA61150FB78C2256F1F002D98F7/\\$file/Ilmanlaatu+Lahdessa+2007.pdf](http://www.lahti.fi/www/cms.nsf/pages/12FFCAA61150FB78C2256F1F002D98F7/$file/Ilmanlaatu+Lahdessa+2007.pdf)

Kaasalainen, K. 2008. Ilmanlaatu Lahdessa vuonna 2008 [viitattu 25.5.2012].

Saatavissa:

[http://www.lahti.fi/www/cms.nsf/pages/12FFCAA61150FB78C2256F1F002D98F7/\\$file/Ilmanlaatu+Lahdessa+2008.pdf](http://www.lahti.fi/www/cms.nsf/pages/12FFCAA61150FB78C2256F1F002D98F7/$file/Ilmanlaatu+Lahdessa+2008.pdf)

Kaasalainen, K. 2009. Ilmanlaatu Lahdessa vuonna 2009 [viitattu 11.6.2012].

Saatavissa:

[http://www.lahti.fi/www/cms.nsf/pages/12FFCAA61150FB78C2256F1F002D98F7/\\$file/Ilmanlaatu+Lahdessa+2009.pdf](http://www.lahti.fi/www/cms.nsf/pages/12FFCAA61150FB78C2256F1F002D98F7/$file/Ilmanlaatu+Lahdessa+2009.pdf)

Kaasalainen, K. 2010. Ilmanlaatu Lahdessa vuonna 2010 [viitattu 15.6.2012].

Saatavissa:

<http://www.lahti.fi/www/cms.nsf/pages/12FFCAA61150FB78C2256F1F002D98F7>

Laukkanen, T. 2005. Ilmansuojelun perusteet. Oppikirja ilman pilaantumisesta ja sen ehkäisemisestä. J. P. Pulkkinen Kalibrointi.

Malminen, T. & Kähäri, K. 2011. Ilmanlaatu Lahdessa vuonna 2011 [viitattu 20.1.2013]. Saatavissa:

[http://www.lahti.fi/www/cms.nsf/pages/12FFCAA61150FB78C2256F1F002D98F7/\\$file/Ilmanlaatu+Lahdessa+2011.pdf](http://www.lahti.fi/www/cms.nsf/pages/12FFCAA61150FB78C2256F1F002D98F7/$file/Ilmanlaatu+Lahdessa+2011.pdf)

Nevanlinna, H. 2008. Muutamme ilmastoa. Ilmatieteen laitoksen tutkijoiden katsaus ilmastonmuutokseen. Karttakeskus.

Päästömittausten käsikirja. 2007. Osa 1. Päästömittaustekniikan perusteet [viitattu 20.3.2012]. Saatavissa: <http://www.isy.fi/osa1.pdf>

Salmi, T. 2012. Toimitettu data ILSE-tietokannasta sähköpostilla 29.5.2012. Ilmatieteenlaitos, ilmanlaatututkimus.

Salmi, T. ym. 2002. Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates. The Excel template application MAKESENS. Ilmatieteen laitos. Helsinki: Edita Oyj [viitattu 20.7.2012].

Saatavissa: [http://www.ilmanlaatu.fi/ilmansaasteet/julkaisu/pdf/MAKESENS-Manual\\_2002.pdf](http://www.ilmanlaatu.fi/ilmansaasteet/julkaisu/pdf/MAKESENS-Manual_2002.pdf)

Salonen, R. O. & Pennanen, A. 2006. Pienhiukkasten vaikutus terveyteen. Kansanterveyslaitos. Helsinki: Libris Oy.

Tarvainen, V. 2008. Otsoni ilmansaasteena. [viitattu 21.2.2013]. Saatavissa: [http://www.ilmanlaatu.fi/ilmansaasteet/tietosivut/otsoni\\_ilmansaasteena.php](http://www.ilmanlaatu.fi/ilmansaasteet/tietosivut/otsoni_ilmansaasteena.php)

TEOM Operating Manual. 2004. TEOM Series 1400a Ambient Particulate (PM-10) Monitor. Rupprecht & Patashnick Co., Inc.

Terveyskirjasto. 2013. Hengitysilman pienhiukkaset [viitattu 13.2.2013]. Saatavissa: [http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p\\_artikkeli=ko100207](http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=ko100207)

Ulkoilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet Lahdessa ja Heinolassa. 2004. ”Ilman epäpuhtauksien vaikutusten selvittäminen ja ilmanlaadun parantamismahdollisuudet Päijät-Hämeessä vuosina 2000 - 2002” -hankkeen raportti [viitattu 29.8.2012]. Saatavissa: [http://www.lahti.fi/www/images.nsf/files/51F7B40184FA65F0C2256F6D0039E9D7/\\$file/ulkoilman\\_voc\\_raportti.pdf](http://www.lahti.fi/www/images.nsf/files/51F7B40184FA65F0C2256F6D0039E9D7/$file/ulkoilman_voc_raportti.pdf)

Vallius, M. 2005. Characteristics and Sources of Fine particulate Matter in Urban Air. National Public Health Institute, Department of Environmental Health. Kuopio, Finland.

VTT LIISA laskentajärjestelmä [viitattu 20.5.2012].  
Saatavissa: <http://lipasto.vtt.fi>.

Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta 38/2011 [viitattu 12.3.2012].  
Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/sdliite/5916.pdf>

Valtioneuvoston päätös ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvoista 480/1996 [viitattu 14.3.2012]. Saatavissa:

<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1996/19960480>

Ympäristöministeriö. 2011. Ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot. [viitattu 18.5.2011].

Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=580&lan=fi>

## LIITTEET

LIITE 1. Makesens- mallin tulokset 2000 - 2010, laskettuna vuosikeskiarvoista

Time series	First year	Last Year	n	Mann-Kendall trend			Sen's slope estimate	
				Test S	Test Z	Signific.	Q	B
Vesku NO <sub>2</sub>	2000	2010	11		-1,25		-0,480	32,06
Kisapuisto NO <sub>2</sub>	2000	2010	11		-2,65	**	-0,565	15,64
Laune NO <sub>2</sub>	2001	2010	10		-0,54		-0,210	22,60
Vesku NO	2000	2010	11		-2,96	**	-2,036	45,50
Kisapuisto NO	2000	2010	11		-1,09		-0,340	8,22
Laune NO	2001	2010	10		-0,36		-0,342	24,91
Tori PM <sub>10</sub>	2000	2010	11		-0,62		-0,047	16,11
Laune PM <sub>10</sub>	2002	2010	9	-8			-0,099	18,82

LIITE 2/1. Makesens-mallin tulokset 2000 - 2010, laskettuna kevään kuukausien tuloksista

Time series	First year	Last Year	n	Mann-Kendall trend			Sen's slope estimate	
				Test S	Test Z	Signific.	Q	B
Vesku NO <sub>2</sub>	2000	2010	11		-1,64		-0,778	38,22
Kisapuisto NO <sub>2</sub>	2000	2010	11		-2,49	*	-0,952	17,95
Laune NO <sub>2</sub>	2001	2010	10		-1,17		-0,778	29,94
Kisapuisto NO	2000	2010	11		-1,40		-0,596	9,36
Vesku NO	2000	2010	11		-2,96	**	-1,819	36,21
Laune NO	2001	2010	10		-1,61		-0,850	28,01
Tori PM <sub>10</sub>	2000	2010	11		-1,40		-0,273	23,45
Laune PM <sub>10</sub>	2002	2010	9	-20		*	-0,886	33,55

LIITE 2/2. Makesens-mallin tulokset 2000 - 2010, laskettuna kesän kuukausien tuloksista

Time series	First year	Last Year	n	Mann-Kendall trend			Sen's slope estimate	
				Test S	Test Z	Signific.	Q	B
Vesku NO <sub>2</sub>	2000	2010	11		-2,02	*	-1,222	34,56
Kisapuisto NO <sub>2</sub>	2000	2010	11		-3,20	**	-0,625	13,29
Laune NO <sub>2</sub>	2001	2010	10		-1,79	+	-0,952	21,81
Kisapuisto NO	2000	2010	11		-0,62		-0,196	5,57
Vesku NO	2000	2010	11		-2,80	**	-2,531	44,04
Laune NO	2001	2010	10		-0,54		-0,360	16,26
Tori PM <sub>10</sub>	2000	2010	11		0,47		0,108	14,04
Laune PM <sub>10</sub>	2002	2010	9	-2			-0,103	14,38

LIITE 2/3. Makesens-mallin tulokset 2000 - 2010, laskettuna syksyn kuukausien tuloksista

Time series	First year	Last Year	n	Mann-Kendall trend			Sen's slope estimate	
				Test S	Test Z	Signific.	Q	B
Vesku NO <sub>2</sub>	2000	2010	11		-1,50		-0,667	34,67
Kisapuisto NO <sub>2</sub>	2000	2010	11		-1,80	+	-0,444	15,78
Laune NO <sub>2</sub>	2001	2010	10		0,00		0,000	18,67
Kisapuisto NO	2000	2010	11		-2,49	*	-0,434	8,82
Vesku NO	2000	2010	11		-3,27	**	-2,619	57,80
Laune NO	2001	2010	10		0,00		0,076	26,47
Tori PM <sub>10</sub>	2000	2010	11		-1,56		-0,217	14,30
Laune PM <sub>10</sub>	2002	2010	9	10			0,208	13,55

LIITE 2/4. Makesens-mallin tulokset 2000 - 2010, laskettuna talven kuukausien tuloksista

Time series	First year	Last Year	n	Mann-Kendall trend			Sen's slope estimate	
				Test S	Test Z	Signific.	Q	B
Vesku NO <sub>2</sub>	2000	2010	11		0,00		0,000	32,67
Kisapuisto NO <sub>2</sub>	2000	2010	11		-1,72	+	-0,667	18,00
Laune NO <sub>2</sub>	2001	2010	10		-2,08	*	-0,917	28,71
Kisapuisto NO	2000	2010	11		-1,40		-0,317	7,99
Vesku NO	2000	2010	11		-1,09		-1,312	42,87
Laune NO	2000	2010	11		-0,16		-0,798	32,91
Tori PM <sub>10</sub>	2001	2010	10		-0,72		-0,160	13,42
Laune PM <sub>10</sub>	2002	2010	9	-4			-0,060	14,45

LIITE 3/1. Makesens-mallin tulokset 2000 - 2010, laskettuna maanantai-perjantai päivän tuloksista

Time series	First year	Last Year	n	Mann-Kendall trend			Sen's slope estimate	
				Test S	Test Z	Signific.	Q	B
Vesku NO	2000	2010	11		-2,80	**	-2,409	52,62
Vesku NO <sub>2</sub>	2000	2010	11		-1,09		-0,502	34,69
Kisapuisto NO	2000	2010	11		-0,93		-0,351	8,72
Kisapuisto NO <sub>2</sub>	2000	2010	11		-2,49	*	-0,610	17,11
Laune NO	2001	2010	10		-0,18		-0,143	26,64
Laune NO <sub>2</sub>	2001	2010	10		-0,89		-0,387	25,70
Tori PM <sub>10</sub>	2000	2010	11		-0,78		-0,079	16,88
Laune PM <sub>10</sub>	2002	2010	9	-2			-0,059	19,19

LIITE 3/2. Makesens-mallin tulokset 2000 - 2010, laskettuna lauantai-sunnuntai päivän tuloksista

Time series	First year	Last Year	n	Mann-Kendall trend			Sen's slope estimate	
				Test S	Test Z	Signific.	Q	B
Vesku NO	2000	2010	11		-2,80	**	-1,544	29,19
Vesku NO <sub>2</sub>	2000	2010	11		-2,02	*	-0,543	26,29
Kisapuisto NO	2000	2010	11		-1,25		-0,359	7,29
Kisapuisto NO <sub>2</sub>	2000	2010	11		-2,96	**	-0,486	12,16
Laune NO	2001	2010	10		0,00		-0,103	18,40
Laune NO <sub>2</sub>	2001	2010	10		-1,07		-0,242	18,49
Tori PM <sub>10</sub>	2000	2010	11		-0,62		-0,118	15,24
Laune PM <sub>10</sub>	2002	2010	9	-16			-0,236	17,56

LIITE 4/1. Makesens-mallien tulokset 2000 - 2010, laskettuna kello 3 – 5 tuloksista

Time series	First year	Last Year	n	Mann-Kendall trend			Sen's slope estimate	
				Test S	Test Z	Signific.	Q	B
Vesku NO	2000	2010	11		-2,34	*	-0,533	10,36
Vesku NO <sub>2</sub>	2000	2010	11		-1,56		-0,355	16,83
Kisapuisto NO	2000	2010	11		-0,93		-0,111	4,04
Kisapuisto NO <sub>2</sub>	2000	2010	11		-2,02	*	-0,443	12,13
Laune NO	2000	2010	11		1,25		0,432	10,74
Laune NO <sub>2</sub>	2000	2010	11		-1,56		-0,493	18,52
Tori PM <sub>10</sub>	2000	2010	11		-1,17		-0,111	12,56
Laune PM <sub>10</sub>	2002	2010	9	-12			-0,164	14,33

LIITE 4/2. Makesens-mallien tulokset 2000 - 2010, laskettuna kello 7 – 9 tuloksista

Time series	First year	Last Year	n	Mann-Kendall trend			Sen's slope estimate	
				Test S	Test Z	Signific.	Q	B
Vesku NO	2000	2010	11		-2,80	**	-2,108	56,43
Vesku NO <sub>2</sub>	2000	2010	11		-0,47		-0,302	33,30
Kisapuisto NO	2000	2010	11		-1,71	+	-0,449	10,88
Kisapuisto NO <sub>2</sub>	2000	2010	11		-2,02	*	-0,738	19,36
Laune NO	2000	2010	11		-1,09		-0,930	34,54
Laune NO <sub>2</sub>	2000	2010	11		-1,87	+	-0,654	27,31
Tori PM <sub>10</sub>	2000	2010	11		-0,93		-0,102	16,21
Laune PM <sub>10</sub>	2002	2010	9	-12			-0,155	19,58

LIITE 4/3. Makesens-mallien tulokset 2000 - 2010, laskettuna kello 16 – 18 tu-  
loksista

Time series	First year	Last Year	n	Mann- Kendall trend			Sen's slope estimate	
				Test S	Test Z	Signific.	Q	B
<i>Vesku NO</i>	2000	2010	11		-2,65	**	-2,943	64,33
<i>Vesku NO<sub>2</sub></i>	2000	2010	11		-0,78		-0,579	40,49
<i>Kisapuisto NO</i>	2000	2010	11		-0,93		-0,577	10,93
<i>Kisapuisto NO<sub>2</sub></i>	2000	2010	11		-2,34	*	-0,965	19,40
<i>Laune NO</i>	2000	2010	11		-1,09		-0,930	30,61
<i>Laune NO<sub>2</sub></i>	2000	2010	11		-1,71	+	-0,609	28,21
<i>Tori PM<sub>10</sub></i>	2000	2010	11		-1,09		-0,067	18,05
<i>Laune PM<sub>10</sub></i>	2002	2010	9	-8			-0,095	19,26