

ILMANLAADUN ALUSTAVA ARVIOINTI SUOMESSA
HIILIMONOKSIDI JA BENTSEENI

THE PRELIMINARY ASSESSMENT UNDER
THE EC AIR QUALITY DIRECTIVES IN FINLAND
CARBON MONOXIDE AND BENZENE

Harri Pietarila
Birgitta Alaviippola
Heidi Hellén
Timo Salmi
Tuomas Laurila
Hannele Hakola



ILMATIETEEN LAITOS
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

**ILMANLAADUN ALUSTAVA ARVIOINTI SUOMESSA
HIILIMONOKSIDI JA BENTSEENI**

**THE PRELIMINARY ASSESSMENT UNDER THE EC AIR QUALITY
DIRECTIVES IN FINLAND
CARBON MONOXIDE AND BENZENE**

**Harri Pietarila
Birgitta Alaviippola
Heidi Hellén
Timo Salmi
Tuomas Laurila
Hannele Hakola**

**ILMATIETEEN LAITOS – ILMANLAADUN TUTKIMUS
Helsinki 12.12.2002**

SUMMARY

In this report, the methods and the data used for the Preliminary Assessment in Finland for carbon monoxide and benzene under the EC Air Quality Directives are presented. An overview of the results of the Preliminary Assessment is also presented. The results of air quality measurements in Finland are presented for the years 1997–2001. The results of dispersion calculations are presented as maps for Helsinki Metropolitan Area for the year 2000. The spatial distribution of the concentration with respect to the exceedance of the Limit Value and the Upper and Lower Assessment Thresholds is presented.

The assessment is based on a combination of three assessment methods: emission inventories, air quality measurements and dispersion modelling. Also additional activity information was used in the assessment, e.g. population and traffic density data. The assessment is based on five years of air quality measurement data covering the years 1997–2001.

The emission data from the Finnish national emission database of the Finnish Environmental Institute (SYKE) and the traffic emission calculation system of the Technical Research Centre of Finland (VTT) were used in the assessment. SYKE is responsible in Finland for reporting the emissions to international bodies and programmes like EMEP and CORINAIR. VTT is responsible for calculating the emissions of all traffic modes in Finland. SYKE and VTT do not include separately benzene in their emission inventories. The benzene emissions in Finland were estimated during the preliminary assessment based on the SYKE's NMVOC inventory and the source profiles estimated by the Finnish Meteorological Institute (FMI). Also the more detailed data from individual emission inventories prepared by the FMI and the Helsinki Metropolitan Area Council (YTV) were used in the assessment.

The Air Quality measurement data from the local air quality networks and the background stations of the FMI were used in the Preliminary Assessment. The measurement data covering the years 1997–2001 were analysed, and the statistical values corresponding to the limit values and assessment thresholds were calculated. The data is annually collected into the Air Quality Database of the FMI (ILSE) including also additional information, e.g. network information, location of the stations and the measurement techniques. In 2000 there were 32 air quality measurement networks maintained by local authorities or industry, with about 120 different measurement stations. FMI is responsible for the background air quality measurements in Finland.

The concentration distribution was evaluated with the help of dispersion modelling. The FMI have carried out dispersion studies for the CO and benzene in the Helsinki Metropolitan area. The emissions from the traffic as well as the background concentrations were taken into account in the calculations. FMI has also conducted some dispersion calculations for different kinds of individual emission sources, e.g. industrial sources, harbours and oil terminals. Local scale models for point, area, and line sources were used in the calculations. In the Preliminary Assessment the results from the above mentioned dispersion studies were used together with the emission and measurement data to evaluate spatial concentration levels. The emission data, the traffic

data and the population density data were used to evaluate the concentration levels in areas where no measured or modelled concentration data was available.

A major part of the CO emissions in Finland are caused by traffic. Both the traffic emissions and CO concentrations in the city areas have been decreased in the 90's. CO measurement data from 29 different stations in 15 different municipalities were used in the Preliminary Assessment. Also results from dispersion modelling study carried out in the Helsinki Metropolitan area as well as the results from some dispersion modelling studies carried out for individual emission sources of energy production, industry, harbours etc. were available. According to the measured and modelled data, the CO 8 hour average concentrations in Finland are well below the Limit Value. The Upper Assessment Threshold may be exceeded in some years during the winter time in the city areas. But if the whole five years assessment period is taken into account the CO concentrations are also below the Upper Assessment Threshold. In the biggest cities near the major roads and crossroads the Lower Assessment Threshold is exceeded during the winter time because of the traffic emissions.

The small scale wood combustion contributes about 60 % of the benzene emissions in Finland. About 20 % of the emissions is caused by road traffic and about 10 % by other mobile sources and machinery. Only few benzene measurements are carried out in Finland. The five years data from 2 background stations of the FMI and shorter period from 7 different locations in the Helsinki Metropolitan Area were available in the Preliminary Assessment. Also results from dispersion modelling study carried out in the Helsinki Metropolitan area as well as the results from couple of dispersion modelling studies carried out for individual emission sources of petrol refinery and oil harbours and stores were available. According to the measured and modelled data, the benzene concentrations in Finland are well below the Limit Value and Upper Assessment Threshold. The Lower Assessment Threshold may be exceeded in the biggest cities near the major roads and crossroads.

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO.....	5
2	ALUSTAVA ARVIOINTI.....	6
2.1	Ilmanlaadun raja-arvot ja arviointikynnykset – hiilimonoksidi ja bentseeni ...	7
3	ALUSTAVASSA ARVIOINNISSA KÄYTETTÄVÄT MENETELMÄT JA AINEISTOT	8
3.1	Päästötiedot.....	8
3.2	Leviämismallit.....	10
3.2.1	Kaupunkimalli (UDM-FMI).....	10
3.2.2	Liikenteen viivalähdemalli (CAR-FMI).....	11
3.2.3	Meteorologisten tietojen käsittely leviämismalleissa.....	11
3.2.4	Autoliikenteen hiilimonoksidi- ja bentseenipäästöjen leviämislaskelmat pääkaupunkiseudulla	12
3.3	Ilmanlaadun mittaukset	17
4	HIILIMONOKSIDI.....	20
4.1	Päästöt.....	20
4.2	Mittatut pitoisuudet	21
4.3	Leviämislaskelmien tulokset	23
4.4	Pitoisuudet suhteessa raja-arvoon ja arviointikynnyksiin	24
5	BENTSEENI	27
5.1	Päästöt.....	27
5.2	Mitatut pitoisuudet.....	30
5.3	Leviämislaskelmien tulokset	34
5.4	Pitoisuudet suhteessa raja-arvoon ja arviointikynnyksiin	36
6	JOHTOPÄÄTÖKSET, TUTKIMUSTARPEET JA SUOSITUKSET.....	38
	VIITELUETTELO	39
	LIITTEET	
	LIITEKUVAT	

1 JOHDANTO

Euroopan unionin neuvoston puitedirektiivin 96/62/EY ilmanlaadun arvioinnista ja hallinnasta mukaan ilmanlaatua tulisi seurata ja tarkkailla jäsenvaltioiden alueella yhteisin menetelmin ja arviointiperustein. Ilmanlaadun seurannan menetelmät ja tarkkuus riippuvat tarkastelualueesta ja pitoisuuksien tasosta verrattuna ilmanlaadun tytärdirektiiveissä määriteltyihin raja-arvoihin ja arviointikynnyksiin. Ilmanlaadun ensimmäisessä tytärdirektiivissä (1999/30/EY) annettiin raja-arvot ja arviointikynnykset ulkoilman rikkidioksidin, typen oksidien (NO₂ ja NO_x), hengitettävien hiukkasien (PM₁₀) ja lyijyn pitoisuuksille. Ilmanlaadun toisessa tytärdirektiivissä (2000/69/EY) annettiin raja-arvot ja arviointikynnykset bentseenin ja hiilimonoksidin pitoisuuksille. Valtioneuvosto antoi 9.8.2001 asetuksen ilmanlaadusta (*Vna 711/2001*), jolla pantiin täytäntöön ensimmäisen ja toisen tytärdirektiivin säännökset, mm. raja-arvot ja ilmanlaadun seurannan aluejako Suomessa.

Puitedirektiivin 5 artiklan mukaan jäsenvaltioiden, joilla ei ole kaikilta alueilta¹ (engl. zone) ja kaikista suurista taajamista² (engl. agglomeration) edustavia mittaustuloksia ilman epäpuhtauksien tasoista, on toteutettava joukko edustavia mittauksia, tutkimuksia tai arviointeja, jotta niillä olisi käytettävissään nämä tiedot riittävän ajoissa ilmanlaadun tytärdirektiivien täytäntöön panemiseksi. Ilmanlaadun ensimmäistä tytärdirektiiviä koskeva alustava arviointi on tehty Ilmatieteen laitoksella (*PIETARILA ym., 2001a ja b*) ja toimitettu komissiolle. Ensimmäisen tytärdirektiivin mukaisessa alustavassa arvioinnissa kehitettiin menetelmiä alustavan arvioinnin tekemiselle Suomessa, joita on myös hyödynnetty tässä raportissa esiteltävässä toista tytärdirektiiviä koskevassa hiilimonoksidin ja bentseenin alustavassa arvioinnissa. Ilmanlaadun hiilimonoksidia ja bentseeniä koskevassa alustavassa arvioinnissa käytetyt menetelmät on ilmoitettava komissiolle viimeistään 13.12.2002 mennessä.

Tässä tutkimuksessa on kerätty ja analysoitu toisen ilmanlaadun tytärdirektiivin mukaisten ilman epäpuhtauksien, hiilimonoksidin ja bentseenin, osalta alustavassa arvioinnissa tarvittava saatavissa oleva aineisto. Yhdistämällä käytettävissä olevat mittaus- ja päästötiedot sekä leviämismallien tulokset ja erilaiset aktiviteettitiedot on tehty ilmanlaadun alustava arviointi Suomessa eli ensimmäinen arvio eri alueiden pitoisuuksista suhteessa raja-arvoihin ja arviointikynnyksiin. Raportissa esitetään ilmanlaadun toisen tytärdirektiivin mukaisille epäpuhtauksille alustavassa arvioinnissa käytetyt menetelmät ja aineistot sekä yhteenvedo arvioinnin tuloksista. Tutkimuksessa on lisäksi arvioitu mahdollisten täydentävien selvitysten tarvetta, jotta tehdyn alustavan arvioinnin luotettavuutta voidaan parantaa. Raportissa esitetään myös suosituksia Suomessa tarvittavasta ilmanlaadun seurannan menetelmistä ja tasosta hiilimonoksidille ja bentseenille.

¹ alue = jäsenvaltioiden rajaama osa niiden alueesta

² taajama = alue, jolla on 250 000 asukasta suurempi väestökeskittymä tai, jos väestökeskittymä on enintään 250 000 asukasta, sellainen alue, jonka asukastiheys neliökilometriä kohden edellyttää jäsenvaltioiden mielestä ilmanlaadun arviointia ja hallintaa

2 ALUSTAVA ARVIOINTI

Alustavassa arvioinnissa tehdään ensimmäinen epäpuhtaustasojen määrittäminen, jotta voidaan esittää ilmanlaadun seurannalle ja tarkkailulle asetettavat vaatimukset eri alueilla. Alustavassa arvioinnissa tarkastellaan, ovatko käytettävissä olevat tiedot ilmanlaadusta riittäviä direktiivissä tarkoitettujen suurten taajamien² ja muiden alueiden¹ määrittämiseksi. Alustavassa arvioinnissa saatujen tietojen perusteella voidaan määrittää, millä tavalla ilmanlaadun seuranta näillä alueilla vähintään tulee tehdä. Mikäli olemassa olevat tiedot eivät ole riittäviä, alustavassa arvioinnissa hankitaan tarvittavat lisätiedot.

Jäsenvaltiot jaetaan alueisiin, joiden pitoisuustaso suhteessa raja-arvoihin määrittää vaatimustason ilmanlaadun seurannalle. Puitedirektiivin 6 artiklan mukainen säännöllinen ilmanlaadun seuranta toteutetaan eri alueilla seuraavasti:

- Ilmanlaadun seuranta tulee tehdä mittaamalla seuraavilla alueilla:
 - suurissa taajamissa²
 - alueilla, joilla pitoisuudet ylittävät ylemmän arviointikynnyksen
 - mittauksia voidaan lisäksi täydentää mallintamisella riittävän tiedon saamiseksi ilmanlaadusta.
- Ilmanlaadun seurantaan voidaan käyttää mittausten ja mallintamisen yhdistelmää alueilla, joilla pitoisuudet ovat pienempiä kuin ylempi arviointikynnys
- Ilmanlaadun seuranta voidaan pelkästään mallintamalla tai objektiivisella arvioinnilla alueilla, joilla pitoisuudet ovat alle alemman arviointikynnyksen

Ilmanlaatuasetuksessa (*Vna 711/2001*) annettiin ilmanlaadun seurannan aluejako Suomessa myös bentseenille ja hiilimonoksidille. Aluejaon mukaan bentseenipitoisuuksien arvioimiseen käytetään Suomessa kolmea seuranta-aluetta: Etelä-Suomi, Pohjois-Suomi ja pääkaupunkiseutu (YTV-alue). Hiilimonoksidin pitoisuuksien seurantaan käytetään 14 seuranta-aluetta eli alueellisten ympäristökeskusten alueet ja pääkaupunkiseutu (YTV-alue). Ilmanlaadun seuranta-alueet bentseenille ja hiilimonoksidille on esitetty liitekuviissa 1 ja 2 sekä seuranta-alueiden asukasluvut ja pinta-alat liitteessä 1.

Ilmanlaadun direktiivien mukaisella seurannalla tarkoitetaan menetelmää, jolla mitataan, lasketaan, ennustetaan tai arvioidaan epäpuhtauden taso ilmassa. Tämän mukaan ilmanlaadun seurantaan voidaan mittausten lisäksi käyttää myös muita arviointimenetelmiä. Ilmanlaadun alustavassa arvioinnissa tulevat kyseeseen lähinnä seuraavat kolme menetelmää:

- mittaukset
- päästökartoitukset
- mallintaminen

Menetelmiin sisältyvät epävarmuudet tulisi arvioida ja arvioinnin lopullisille tuloksille tulisi tehdä kokonaisepävarmuuden arviointi. Arvioinnin luotettavuutta voidaan parantaa käyttämällä hyväksi kaikkia em. kolmea arviointimenetelmää yhdessä.

Ilmanlaadun alustavan arvioinnin tulokset tulisi esittää karttoina, joista ilmenevät kunkin komponentin osalta raja-arvojen ja arviointikynnysten todennäköiset ylittymisalueet tai alueet, joilla tulee käyttää tiettyä menetelmää ilmanlaadun seurantaan. Raja-arvon ylittyessä on suositeltavaa esittää ylityksen suuruus ja maksimipitoisuuden sijainti.

Koska ilmanlaatu muuttuu ajan kuluessa mm. aktiviteettien (liikenne, teollisuus, väkiluku) muuttumisen, tekniikan kehittymisen ja ilmanlaadun hallinnassa tehtävien muutosten myötä, täytyy myös ilmanlaadun arviointi uusia säännöllisesti. Ilmanlaadun arviointi ilmanlaadun seurannassa käytettävien alueiden luokittelun tarkistamiseksi tulee uusia vähintään viiden vuoden välein tai aikaisemmin, jos on oletettavissa että pitoisuudet ovat muuttuneet olennaisesti. Arviointiohjeen (*Guidance Report on Preliminary Assessment under EC Air Quality Directives, 1998*) mukaan ilmanlaadun voidaan katsoa muuttuneen olennaisesti, jos jokin päästöihin vaikuttava alueen aktiviteetti (liikennemäärä, teollisuuden tuotanto, väestömäärä, energian kulutus jne.) on muuttunut yli 30 %. Myös pienemmät aktiviteetin muutokset voidaan katsoa olennaisiksi, jos voidaan olettaa, että niiden seurauksena raja-arvo tai arviointikynnykset ylittyvät. Myös suuret muutokset päästöjen alueellisessa jakautumisessa (tiedossa tapahtunut muutos, uusi teollisuuslaitos jne.) voivat aiheuttaa pitoisuuksien olennaisen muuttumisen.

Ilmanlaadun toisessa tytärdirektiivissä on annettu raja-arvot bentseenille ja hiilimonoksidille ihmisten terveyden suojelemiseksi. Alustavan arvioinnin alueellisen tarkkuuden määrittämisessä voidaan hyödyntää esim. direktiivissä annettuja suosituksia kiinteissä pitoisuusmittauksissa käytettävien näytteenottopaikkojen sijainnille. Direktiivin suositusten mukaan ihmisten terveyden suojelemiseksi annettujen raja-arvojen valvomiseen käytettävien mittauspaiikkojen on sijaittava sellaisilla alueilla, joissa esiintyy korkeimmat pitoisuudet, joille väestö todennäköisesti altistuu ja alueilla, jotka edustavat väestön yleistä altistumista. Lisäksi on vältettävä pienten mikroympäristöjen mittaamista. Liikennevaikutuksia mitattaessa paikan tulisi edustaa vähintään 200 neliömetrin alueen ilmanlaatua ja kaupunkitaustaa mitattaessa paikan tulisi edustaa usean neliökilometrin alueen ilmanlaatua.

2.1 Ilmanlaadun raja-arvot ja arviointikynnykset – hiilimonoksidi ja bentseeni

Ilmanlaadun alustava arviointi tehdään suhteessa direktiiveissä esitettyihin raja-arvoihin ja arviointikynnyksiin. Taulukoissa 1 ja 2 esitetään 16.11.2000 annetun neuvoston direktiivin 2000/69/EY mukaiset raja-arvot ja arviointikynnykset hiilimonoksidille ja bentseenille.

Arviointikynnysten ylittyminen määritetään viiden edellisen vuoden pitoisuuksien perusteella. Arviointikynnys katsotaan ylitetyksi, mikäli kynnyksen lukuarvo ylittyy vähintään kolmena eri vuonna kyseisten viiden vuoden aikana. Jos arvioinnissa tarvittavaa mittaustietoa ei ole saatavissa viiden vuoden ajalta, voidaan hyödyntää lyhyemmän ajanjakson mittaustietoja ja käyttää arvioinnin tukena päästökartoituksia ja leviämismallilaskelmia. Tällöin mittaustietojen tulee edustaa alueita ja vuodenaikoja, jolloin pitoisuudet ovat tyypillisesti korkeimmillaan.

Taulukko 1. Hiilimonoksidin ja bentseenin raja-arvot ihmisten terveyden suojelemiseksi (2000/69/EY).

	Keskiarvon laskenta-aika	Raja-arvo (293 K, 101,3 kPa)	Ajankohta, johon mennessä raja-arvo on saavutettava
Hiilimonoksidi	8 tuntia ¹	10 mg/m ³	1.1.2005
Bentseeni	kalenterivuosi	5 µg/m ³	1.1.2010

¹ vuorokauden korkein 8 tunnin liukuva keskiarvo

Taulukko 2. Hiilimonoksidin ja bentseenin arviointikynnykset (2000/69/EY).

	Ylempi arviointikynnys	Alempi arviointikynnys
Hiilimonoksidi	70 % 8 tunnin raja-arvosta (7 mg/m ³)	50 % 8 tunnin raja-arvosta (5 mg/m ³)
Bentseeni	70 % vuosiraja-arvosta (3,5 µg/m ³)	40 % vuosiraja-arvosta (2 µg/m ³)

3 ALUSTAVASSA ARVIOINNISSA KÄYTETTÄVÄT MENETELMÄT JA AINEISTOT

3.1 Päästötiedot

Suomen ympäristökeskus (SYKE) vastaa Suomessa valtakunnan tasolla päästötietojen keräämisestä, arvioimisesta ja useista kansainvälisistä raportoinnista. SYKEssä tuotetaan energia- ja teollisuussektoreiden, liuottimien ja tuotteiden käytön sekä maatalouden ja jätteiden käsittelyn päästötietoja. Tilastokeskus arvioi lisäksi polttoaineperäisiä energia- ja teollisuussektoreiden päästöjä, Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus maatalouden päästöjä sekä Metsäntutkimuslaitos metsien ja maankäytön sektorin päästötietoja. Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) arvioi vuosittain Suomen liikenteen päästöt. (SAARINEN, 2002) Tämän lisäksi tehdään suppeampia esim. kuntakohtaisia päästökartoituksia erilaisten tutkimusprojektien yhteydessä mm. Ilmatieteen laitoksella.

SYKE arvioi Suomen ilman epäpuhtauksien päästötiedot liikennettä lukuunottamatta kaikilta päästölähdesektoreilta. Energia- ja teollisuussektorin osalta päästötiedot perustuvat alueellisten ympäristökeskusten VAHTI-tietojärjestelmään tallettamiin tarkkailuvelvoitteisten laitosten ilmoittamiin tietoihin. Suomen kokonaispäästöarvioissa hyödynnetään lisäksi mm. energiankulutuksen osalta Tilastokeskuksen energiatilaston tietoja ja liikenteen osalta VTT:n LIPASTO-järjestelmän (MÄKELÄ ym., 2002a) tuloksia ja energiatilastoa.

Autoliikenteen päästöt on Suomessa laskettu jo useiden vuosien ajan VTT:n kehittämällä LIISA-laskentajärjestelmällä (MÄKELÄ *ym.*, 1999). LIISA-malli on uudistettu vuoden 2002 aikana mm. päästökertoimien ja eri ajoneuvotyyppien suoriteosuuksien osalta (MÄKELÄ, 2002). Uuden LIISA 2001.1 -järjestelmän hiilimonoksidipäästöt ovat nykytilanteessa (vuosi 2001) yli 30 % suurempia kuin vanhassa LIISAssa. Hiilivetyjen päästöt ovat sen sijaan molemmissa järjestelmissä nykytilanteessa suurin piirtein samat. Sekä hiilimonoksidi- että hiilivetypäästöjen väheneminen on tulevaisuudessa kuitenkin suurempaa kuin vanhassa LIISAssa, koska uudessa LIISAssa on huomioitu paremmin katalysaattoritekniikan kehittymisen vaikutus päästöihin. Esimerkiksi uuden LIISAn mukainen ennuste vuoden 2020 hiilimonoksidi- ja hiilivetypäästöiksi on huomattavasti pienempi kuin vanhan LIISAn.

LIISA kuuluu yhtenä osana LIPASTO-järjestelmään (MÄKELÄ *ym.*, 2002a), joka sisältää myös muun liikenteen päästöjen laskentajärjestelmät. LIPASTOon kuuluvat osana jo mainittu autoliikenteen päästöjen laskentajärjestelmä LIISA, rautatieliikenteen päästöjen laskentajärjestelmä RAILI (MÄKELÄ *ym.*, 2002b), vesiliikenteen päästöjen laskentajärjestelmä MEERI (MÄKELÄ *ym.*, 2002c) ja ilmaliikenteen päästöjen laskentajärjestelmä ILMI (SAVOLA *ym.*, 1995). Liikenteen päästölaskelmat päivitetään vuosittain.

Alustavassa arvioinnissa hyödynnettiin SYKEN Suomen kokonaispäästöarvioita ja VAHTI-järjestelmän ilmoitusvelvollisten laitosten tietoja sekä VTT:n LIISA-järjestelmän kuntakohtaisia tieliikenteen päästötietoja. Kyseiset yleiset päästötietojärjestelmät sisältävät päästöt vuositason ja tarkimmillaan kunnittaisina tietoina. SYKE on arvioinut ja raportoinut Suomen kokonaispäästöt hiilimonoksidille ja haihtuville orgaanisille yhdisteille poislukien metaani (NMVOC). LIPASTO:n päästöarviot on tehty hiilimonoksidille ja hiilivedyille (HC). Bentseenipäästöjä ei sen sijaan ole arvioitu eikä raportoitu kattavasti koko Suomen osalta. Myös VAHTI-järjestelmä sisältää vain satunnaisia tietoja eri laitosten bentseenipäästöistä. Myöskään hiilimonoksidipäästöjä ei ole VAHTI-järjestelmään raportoitu kaikkien laitosten osalta.

Ilmatieteen laitos ylläpitää lähinnä leviämislaskelmien lähtötietotarpeita varten lisäksi omaa päästökisteriä, joka sisältää em. päästöjärjestelmien tietojen lisäksi ajallisesti ja alueellisesti tarkempia tietoja päästöistä ja muita päästöjen ilmanlaatuvaikutusten arvioinnissa tarpeellisia tietoja (kuten sijaintitiedot, päästöjen vapautumiskorkeus, savukaasutiedot, tiedot leviämisympäristöstä).

Alustavan arvioinnin yhteydessä tehtiin Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunnan (YTV) liikenneosastolla tarkempi liikenteen päästökartoitus hiilimonoksidille ja hiilivedyille. Päästöt arvioitiin YTV:llä tieosakohtaisesti EMME-liikennesuunnitteluohjelmistoon liitettyä päästöjenlaskentajärjestelmällä, jonka päästökertoimet on arvioitu VTT:llä. Ilmatieteen laitos arvioi pääkaupunkiseudun tieosakohtaiset bentseenipäästöt päästömittauksista saaduilla kertoimilla kokonaishiilivetypäästöistä. (kts. kpl 3.2.4 ja 5.1)

Alustavan arvioinnin yhteydessä arvioitiin Suomen bentseenipäästöt karkeasti SYKE:n päästölähderyhmäkohtaisista kokonaishiilivetypäästötiedoista. Bentseenipäästöt arvioitiin lähderyhmäkohtaisesti hyödyntämällä Ilmatieteen laitoksella tehtyjen

päästölähdekarakterisointimittausten tuloksia, joista voitiin arvioida eri päästölähteiden bentseenin ja kokonaishiilivetyjen suhteellisia osuuksia päästöistä.

3.2 Leviämismallit

Alustavassa arvioinnissa hyödynnetyt leviämislaskelmat on tehty Ilmatieteen laitoksessa kehitetyillä leviämismalleilla. Kiinteiden lähteiden (mm. energiantuotannon ja teollisuuden päästölähteet) päästöjen leviämistä arvioidaan kaupunkialueen päästöjen leviämistä kuvaavalla kaupunkimallilla (UDM-FMI) ja liikenteen päästöjen leviämistä viivalähdemallilla (CAR-FMI).

Leviämismallitutkimuksissa käytettyjä menetelmiä ja leviämislaskelmiin liittyviä epävarmuuksia on esitelty myös ensimmäiseen ilmanlaadun tytärdirektiiviin liittyvässä alustavassa arvioinnissa (*PIETARILA ym., 2001*). Ilmatieteen laitoksen leviämismalleja on esitelty myös COST-projektin www-sivuilla: (http://www.mi.uni-hamburg.de/technische_meteorologie/cost/index.html).

3.2.1 Kaupunkimalli (UDM-FMI)

Kiinteiden lähteiden päästöjen aiheuttamien ulkoilman epäpuhtauspitoisuuksien arviointiin käytettiin Ilmatieteen laitoksen kaupunkimallia, joka on kehitetty Gaussin jakaumaa noudattavasta pistemäisen lähteen viuhkamallista. Pistelähteiden lisäksi malliin sisältyvät laskentamenetelmät myös pinta- ja tilavuuslähteille. Kaupunkimallia ja sen ominaisuuksia on kuvattu yksityiskohtaisesti Ilmatieteen laitoksen ilmansuojelun julkaisusarjan raportissa *KARPPINEN ym., 1998*.

Kaupunkimallin leviämisparametrien määrittämisessä on käytetty eräiden ulkomaisten meteorologisten tutkimusten tuloksia (*BUSINGER ym., 1971; CAUGHEY ym., 1979; HANNA, 1985; HOLTSAG, 1984; WRATT, 1987*). Pistelähteitä käsiteltäessä tarvitaan laskentamenetelmä ns. nousulisälle, joka muodostuu kun poistokaasut vapautuessaan päästökohdeesta nousevat liikemäärästään ja lämpösisällöstään johtuen päästölähteen huippua korkeammalle. Päästöjen nousulisällä (plumerise) on huomattava vaikutus keskimääräiseen leviämiskorkeuteen ja muodostuviin epäpuhtauspitoisuuksiin. Kaupunkimallissa nousulisän laskenta perustuu Briggsin tutkimuksiin (*BRIGGS, 1975 ja 1984*).

Päästöjen leviämiseen saattavat vaikuttaa ilmapirtauksia häiritsevät esteet. Tällöin leviämisessä voi esiintyä systemaattisesti alaspäin suuntautuvaa liikettä, josta käytetään nimitystä savupainuma (downwash). Ilmiö voi johtua itse päästölähteen ominaisuuksista, päästölähdettä ympäröivistä rakennuksista tai korkeasta puustosta sekä lähimaaston topografiasta. Tämän leviämiseen vaikuttavan ilmiön käsittelymenetelmät pitoisuuksia laskettaessa sisältyvät myös kaupunkimalliin.

Kaupunkimallilla lasketaan epäpuhtauspitoisuuden tuntikeskiarvoja sillä oletuksella, että meteorologinen tilanne ja päästö pysyvät vakioina aina tunnin ajan. Päästötietojen aikasarjassa huomioidaan mm. tarkasteltavien päästölähteiden sijainti, päästökorkeus sekä päästömäärät ja niiden ajallinen vaihtelu. Laskenta etenee tunnin aika-askeleella

kunnes koko meteorologisten tietojen aikasarja (yleensä 1–3 vuotta) ja kunkin lähteen päästötietojen aikasarja on käyty läpi. Pitoisuudet lasketaan tutkimusaluetta peittävään tulostuspisteikköön hyvin suureen määrään tulostuspisteitä joko maanpintatasoon tai tietylle korkeudelle maanpinnasta. Kunkin tulostuspisteen pitoisuuksien tunneittaiset aikasarjat muodostavat perusaineiston, josta voidaan laskea tarvittavia tilastoja. Tilastotarkasteluilla tulostuspisteittäisistä tuntikeskiarvoista ja niistä edelleen lasketuista vuosi- ja vuorokausikeskiarvoista voidaan valita esimerkiksi kotimaisten ohje- ja raja-arvojen määrittelyjen mukaisia pitoisuuksia tai pitoisuuksien maksimiarvoja. Mallin antamat yksittäiset pitoisuusarvot ovat odotusarvoja, mutta niistä laskettujen tilastollisten tunnuslukujen osuvuus on todettu vähintäänkin tyydyttäväksi tarkoitusta varten tehdyissä tutkimuksissa (*KARPPINEN, ym. 1998*).

3.2.2 Liikenteen viivalähdemalli (CAR-FMI)

Autoliikenteen päästöjen aiheuttamien ulkoilman hiilimonoksidi- ja bentseenipitoisuuksien arviointiin käytettiin Ilmatieteen laitoksella kehitettyä viivalähdemallia, jota on kuvattu tarkemmin julkaisuissa *KARPPINEN, ym. 2000 a ja 2000 b*. Viivalähdemallilla lasketaan epäpuhtauspitoisuudet haluttuihin pisteisiin eri etäisyyksille liikenneväylästä. Viivalähdemalli perustuu leviämisen osalta analyttiseen ratkaisuun (*LUHAR & PATIL, 1989*) ja päästöjen kemiallisen muutunnan osalta ns. 'discrete parcel' -menetelmään (*BENSON, 1984*), joka on samanlainen kuin amerikkalaisessa CALINE-mallissa. Hiilimonoksidin ja bentseenin osalta kemiallista muutuntaa ei oteta huomioon kaupunkialueen laskelmissa, koska niiden reaktiot ilmakehässä ovat varsin hitaita eikä muutuntaa käytännössä tapahdu käytetyn yhden tunnin aika-askeleen aikana. Viivalähdemallilla ei voida kuvata katukuiluolosuhteista aiheutuvia päästöjen leviämiseen ja pitoisuuksien muodostumiseen vaikuttavia erityispiirteitä.

Viivalähdemallissa käytetään meteorologisena perusaineistona yleensä 1–3 vuoden pituista parametrien tunneittaisten arvojen aikasarjaa. Päästötietojen aikasarjassa huomioidaan mm. tarkasteltavien viivalähteiden sijainti, liikennemäärä ja liikennevirran nopeus, päästökorkeus sekä päästömäärät ja niiden ajallinen vaihtelu. Laskenta etenee tunnin aika-askeleella kunnes koko meteorologisten tietojen aikasarja ja päästötietojen aikasarja on käyty läpi. Viivalähdemallin laskentatuloksina saatavia pitoisuuden tuntikeskiarvoja analysoidaan tilastollisesti niin, että laskentapisteesiin voidaan tuottaa mm. kotimaisten ilmanlaadun ohjearvojen ja raja-arvojen määrittelyjen mukaiset tilastoarvot eri epäpuhtauskomponenteille. Laskennallisista tunnusluvuista voidaan arvioida yksittäisen viivalähteen vaikutus lähialueen pitoisuuksiin tai kaikkien tutkimusalueen viivalähteiden päästöjen kokonaisvaikutus komponenteittain. Viivalähdemallilla tehtävät sovellutukset voidaan yhdistää Ilmatieteen laitoksen kaupunkimalliin.

3.2.3 Meteorologisten tietojen käsittely leviämismalleissa

Ilman epäpuhtauksien leviäminen tapahtuu pääosin ilmakehän alimmassa osassa, jota kutsutaan rajakerrokseksi. Rajakerroksen korkeus on Suomessa tyypillisesti alle kilometri, mutta varsinkin kesällä rajakerros voi ulottua yli kahteen kilometriin.

Rajakerroksen tuuliolosuhteet määräävät karkeasti ilman epäpuhtauksien kulkeutumis suunnan, mutta rajakerroksen ilmapvirtausten pyörteisyys ja kerroksen korkeus vaikuttavat merkittävästi epäpuhtauksien sekoittumiseen ja pitoisuuksien laimenemiseen kulkeutumisen aikana. Leviämisen kannalta keskeisiä meteorologisia muuttujia ovat siis tuulen suunta ja nopeus, ilmakehän stabiilisuus ja sekoituskorkeus.

Alustavan arvioinnin leviämislaskelmissa on käytetty Ilmatieteen laitoksen ilmanlaatuosastolla kehitettyä meteorologisten tietojen käsittelymallia eli ilmakehän rajakerroksen parametrisointimenetelmää (*RANTAKRANS, 1990, KARPPINEN, 2001*). Mallin avulla voidaan normaali meteorologisten rutiinihavaintojen ja fysiikan perusyhtälöiden avulla arvioida ne rajakerroksen tilaan vaikuttavat muuttujat, joita tarvitaan epäpuhtauksien leviämismallilaskelmissa. Tarvittavat mittatiedot saadaan Ilmatieteen laitoksen havaintotietokantaan talletetuista sää-, auringonpaiste- ja radioluotaushavainnoista.

Perinteisissä leviämismallisovellutuksissa on käytetty karkeaa ilmakehän stabiilisuusluokitusta (Pasquill-Turner), jossa mallien muuttujille on annettu luokittaiset vakioarvot. Rajakerroksen parametrisoinnin avulla on sen sijaan mahdollista ilmaista leviämismalleissa käytetyt muuttujat jatkuvina rajakerroksen tilan funktioina, joissa voidaan ottaa paremmin huomioon myös päästölähteisiin liittyvä fysiikka. Menetelmässä huomioidaan tutkimusalueen paikalliset tekijät, kuten leviämisalustan rosoisuus ja vuodenaikaiset albedoarvot (maanpinnan kyky heijastaa auringon säteilyä) eri maanpinnan laaduilla. Sääasemilta saatavat perushavainnot valitaan tutkimusalueelta lähimpänä olevalta asemalta. Tämän lisäksi tuulen suunta- ja nopeustiedot muodostetaan kahden tai useamman aseman havaintojen etäisyyspainotettuna tilastollisena yhdistelmänä. Luotaushavainnot valitaan lähimmältä luotausasemalta. Rajakerroksen parametrisointimenetelmän lopputuloksena saadaan leviämismalleissa tarvittavien meteorologisten tietojen tunneittaiset aikasarjat.

3.2.4 Autoliikenteen hiilimonoksidi- ja bentseenipäästöjen leviämislaskelmat pääkaupunkiseudulla

Alustavassa arvioinnissa tehtiin pääkaupunkiseudun autoliikenteen hiilimonoksidi- ja bentseenipäästöille leviämismallilaskelmat. Leviämislaskelmissa otettiin huomioon tieliikenteen pakokaasupäästöt. Muiden tutkimusalueen ja tutkimusalueen ulkopuolisten päästölähteiden vaikutukset pitoisuuksiin huomioitiin koko tarkastelualueella samansuuruisena taustapitoisuutena. Leviämislaskelmat tehtiin vuodelle 2000 arvioituilla päästötiedoilla ja vuoden 2000 meteorologisilla tiedoilla. Leviämismallilla laskettiin hiilimonoksidin ja bentseenin pitoisuuksien tuntikeskiarvojen aikasarjat vuodelle 2000 noin 23 km × 32 km alueelle yhteensä noin 8 000 laskentapisteeseen. Tuloksina esitetään tuntikeskiarvoista laskettujen hiilimonoksidipitoisuuden korkeimpien 8 tunnin keskiarvojen ja bentseenipitoisuuden vuosikeskiarvon aluejakaumat.

Viivalähdemallin sovellutuksiin valmisteltiin päästötiedostot, joissa on huomioitu mm. tarkasteltavien viivalähteiden sijainti, päästömäärät, päästöjen keskimääräinen vapautumiskorkeus ja päästöjen ajallinen vaihtelu. YTV toimitti liikenteen päästöjen lähtötiedot, jotka muokattiin Ilmatieteen laitoksella leviämismallin tarvitsemaan

muotoon. Leviämislaskelmissa otettiin lisäksi huomioon taustapitoisuudet, jotka arvioitiin mittaustuloksista. Bentseenin taustapitoisuutena käytettiin Luukissa vuonna 2002 tammi-elokuussa mitattuja tuloksia täydennettynä arviolla loppuvuoden osalta (ks. luku 5.2).

Päästötiedot

Pääkaupunkiseudun tieliikennepäästöille tehtyjen leviämismallilaskelmien lähtötietoina käytetyt, vuodelle 2000 arvioidut liikenteen päästötiedot on laskettu YTV:n liikenneosastolla EMME/2-liikennesuunnitteluohjelmistolla ja siihen liitettyllä päästöjen laskentaohjelmistolla. Liikenteen päästöarvioissa käytettyjä menetelmiä on kuvattu mm. julkaisuissa *PIETARILA, ym., 2000* ja *KARPPINEN, ym. 2000a*.

Liikenneverkon kuvauksessa tärkeimmät liittymät ovat solmuja, joiden välisten linkkien ominaisuuksia ovat mm. pituus, kaistamäärä ja viivytysfunktio, josta saadaan linkin matka-aika eri liikennemäärillä. Kuormittamalla verkkoa matkamatriisilla saadaan kunkin linkin liikennemäärä ja keskinopeus. Pääkaupunkiseudun verkon kuvauksissa on 480 aluetta, noin 1900 solmua ja noin 6200 linkkiä.

Joukkoliikennejärjestelmä kuvataan linjaston ja sen tarvitseman verkon avulla. Linjan ominaisuuksina ovat keskimääräinen vuoroväli ja reitti ja linkin ominaisuutena keskinopeus. Alueiden väliset matka-ajat ja vaihtomäärät saadaan, kun järjestelmää kuormitetaan joukkoliikenteen matkamatriisilla. YTV:n käyttämässä kuvauksessa on 596 aluetta, noin 5100 bussi-, 380 raitiovaunu- ja 160 raskaan raideliikenteen linkkiä. Bussilinjoihin on 214, raitiovaunulinjoihin 10 ja raskaan raideliikenteen (lähijuna ja metro) linjoihin 7.

Päästöjen aikavaihtelu on tehty regressiomalleilla, jotka on muodostettu liikennelaskentojen perusteella. Regressiomalleilla saadaan ennustetuista aamuhuippu-, iltahuippu- ja päivätunnin ajoneuvomatkamatriiseista 10 arki-, 7 lauantai- ja 7 sunnuntaitunnin matkamatriisit. Muut tunnit saadaan regressiomalleilla. Autoverkon kuormituksesta saadaan em. 24 tunnille kunkin linkin keskinopeus ja liikennemäärä. Niiden perusteella lasketaan linkkien päästöt käyttäen koko seudulla samoja keskimääräisiä ajoneuvotyyppien osuuksia. Viikon muiden tuntien (14 arki-, 17 lauantai- ja 17 sunnuntaituntia) päästöt lasketaan em. 24 tunnin tiedoista kopioimalla ja interpoloimalla.

YTV:n päästömalleilla lasketaan liikenteen aiheuttamat rikkidioksidi-, hiilidioksidi-, hiilimonoksidi-, typenoksidi-, hiilivety- ja hiukkaspäästöt. Rikkidioksidin päästökertoimet ovat vakioita ja muiden epäpuhtauksien kertoimet ovat keskinopeudesta riippuvia. Kiihdytyksiä tai jarrutuksia ei oteta erikseen huomioon. Päästökertoimet on määritetty 13 eri ajoneuvotyyppille (mm. henkilöautossa katalysaattori/ei katalysaattoria, kuorma-autossa perävaunu/ei perävaunua, diesel-, henkilö- ja pakettiautoille omat kertoimensa).

Kylmäkäynnistysten päästöt on laskettu alueilta lähtevien matkojen määrien perusteella, samoin alemman katuverkon linkkien päästöt. Pitoisuuslaskelmissa kylmäkäynnistysten ja kylmänä ajon päästöt otettiin huomioon linkkien päästöissä, koska niiden erilaisesta

alueellisesta ja ajallisesta vaihtelusta ei ollut riittäviä tietoja saatavilla leviämismallin lähtötiedoiksi.

Leviämislaskelmien lähtötiedoiksi saatiin siis pääkaupunkiseudun autoliikenteen hiilimonoksidi ja hiilivety päästöt linkeittäin sekä päästöjen ajallisen vaihtelun kuvaamisessa tarvittavat tiedot. YTV:n laskemista kokonaishiilivety päästöistä arvioitiin bentseenipäästöt Ilmatieteen laitoksella. Bentseenin osuus autoliikenteen pakokaasujen hiilivedyistä arvioitiin päästölähdekarakterisointien tulosten perusteella (kts. luku 5.1).

Taulukossa 3 esitetään pääkaupunkiseudun liikenteen hiilimonoksidin, hiilivetyjen ja bentseenin vuosipäästöt päästölähderyhmittäin (kadut ja tiet, linja-autot sekä kylmänä ajo ja kylmäkäynnistykset) vuodelle 2000.

Taulukko 3. Pääkaupunkiseudun liikenteen pakokaasupäästöt (t/a) vuonna 2000.

Päästölähde	Hiilimonoksidi	Hiilivedyt	Bentseeni
Kadut ja tiet	19 253	2 992	90
Kylmänä ajo ja kylmäkäynnistykset	8 033	1 402	42
Linja-autot	319	157	5
Yhteensä	27 605	4 550	137

Pääkaupunkiseudun liikenteen hiilimonoksidipäästöt olivat käytettyjen lähtötietojen mukaan vuonna 2000 n. 27 600 tonnia, josta kylmänä ajon ja kylmäkäynnistysten osuus oli noin 29 %. Linja-autoliikenteen osuus kokonaishäkäpäästöistä oli hieman yli 1 %.

Vuoden 2000 pääkaupunkiseudun liikenteen hiilivety päästöt olivat n. 4 500 tonnia, josta bentseenin osuus oli tehdyn arvion mukaan hieman alle 140 tonnia. Kylmänä ajo ja kylmäkäynnistykset vastaavat noin 30 % nykyisistä pääkaupunkiseudun liikenteen bentseenipäästöistä. Linja-autoliikenteen osuus pääkaupunkiseudun liikenteen aiheuttamista bentseenipäästöistä on noin 3 %.

Pääkaupunkiseudun kaikkien päästölähteiden aiheuttamiksi vuoden 2000 hiilimonoksidipäästöiksi on arvioitu noin 32 700 tonnia, josta miltei 95 % aiheutui autoliikenteestä. Vastaavasti haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) kokonaispäästöt olivat noin 5 900 tonnia, josta autoliikenteen osuus oli yli 80 % (YTV, 2001). Em. VOC-päästöissä ei ole huomioitu kaikkia ns. pintalähteiden VOC-päästöjä. Pintalähteiden VOC-päästöistä ovat merkittävimpiä viimeisen koko YTV-alueen kattavan vuodelle 1994 tehdyn inventaarion tulosten perusteella puun pienpoltto (vuonna 1994: 1200 t/a), maalien käyttö (2100–2600 t/a), polttoaineiden jakelu (370 t/a) ja autonhoitotuotteet (1000–1400 t/a) (MYLLYNEN, 1995). Em. päästölähteistä vapautuu bentseeniä lähinnä puun pienpoltossa ja polttoaineen jakelussa. Puun pienpoltton bentseenipäästöt olisivat olleet pääkaupunkiseudulla vuonna 1994 karkean arvion mukaan hieman yli 200 tonnia.

YTV:llä on tekeillä tutkimus, jossa pyritään arvioimaan tarkemmin puun pienpolton päästöjä pääkaupunkiseudulla.

Meteorologiset tiedot

Ilman epäpuhtauksien leviämisen kannalta keskeisiä meteorologisia muuttujia ovat tuulen suunta ja nopeus, ilmakehän stabiiliutta kuvaava suure ja sekoituskorkeus. Tuulen suunta ja nopeus määräävät epäpuhtauden keskimääräisen kulkeutumisen. Ilmakehän stabiiliutta kuvaavalla suurella arvioidaan ilmavirtauksen pyörteisyyttä, joka tuulen nopeuden ohella vaikuttaa merkittävästi epäpuhtauksien sekoittumiseen ja pitoisuuksien laimenemiseen kulkeutumisen aikana. Sekoituskorkeus ilmaisee sen alimman ilmakehän paksuuden, jossa sekoittuminen tapahtuu.

Leviämislaskelmia varten on määritettävä mallin koko sovellutusaluetta mahdollisimman hyvin edustavat ilmakehän rajakerrosta kuvaavat parametrit. Pääkaupunkiseudun autoliikenteen päästöjen leviämismallissa meteorologisten parametrien muodostamiseen käytetty lähtöaineisto käsittää Helsinki-Vantaan lentosääaseman ja Isosaaren sääaseman säähavainnot sekä Jokioisten observatorion radioluotaushavainnot vuodelta 2000. Leviämismalliin tarvittavat ilmakehän rajakerroksen tilaa kuvaavat muuttujat on muodostettu vuoden 2000 tunneittaiseksi aikasarjaksi.

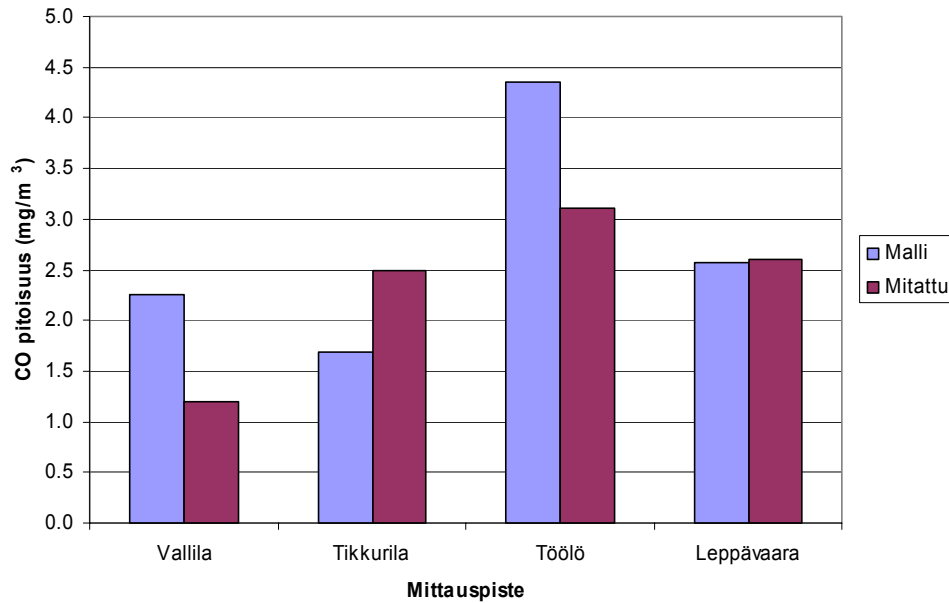
Mitattujen ja leviämislaskelmilla saatujen pitoisuuksien vertailua

Ilmatieteen laitoksen leviämismallilaskelmien tuloksia on verrattu useilla paikkakunnilla paikallisiin ilmanlaadun mittaustuloksiin. Tarkasteluja on tehty lähinnä rikkidioksidipitoisuuksille, typpidioksidi- ja typenoksidipitoisuuksille sekä hiilimonoksidi- ja hiukkaspitoisuuksille (mm. PIETARILA ym., 1997; VARJORANTA, ym. 1999; PIETARILA ym., 2000; RASILA ym., 2000; PIETARILA & VARJORANTA 2001, SALMI ym., 2002). Näissä vertailuissa on mallilaskelmilla saatu mittaustulosten kanssa hyvin yhteensopivia tuloksia.

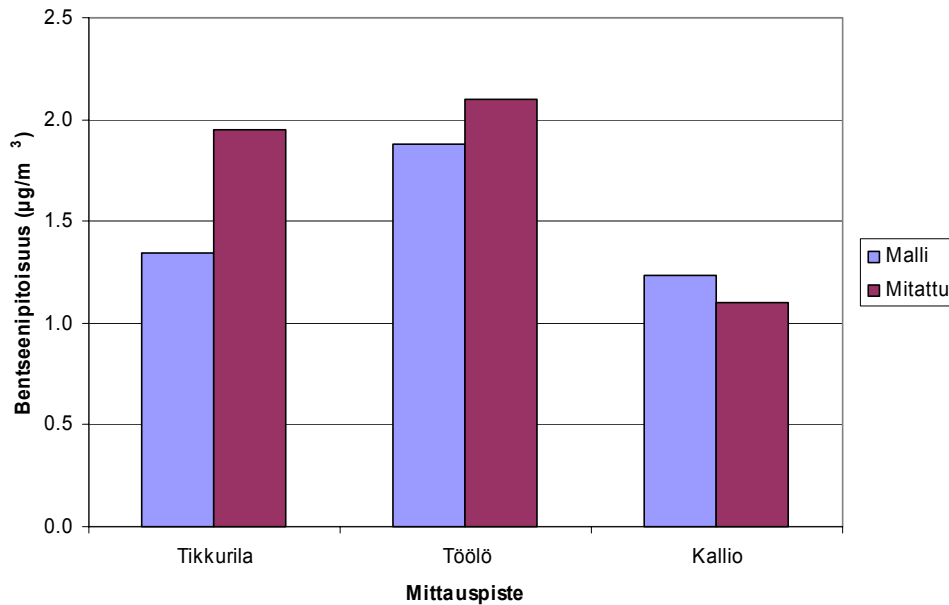
Leviämisselvitysten tulosten tarkkuus riippuu mm. päästötietojen oikeellisuudesta, päästöjen ja niiden vaihtelujen kuvaamisen tasosta mallilaskelmissa sekä meteorologisen aineiston alueellisesta ja ilmastollisesta edustavuudesta. Mittauksin saatuihin pitoisuusarvoihin aiheuttavat virhettä esim. mittalaitteesta, kalibroinnista, näytteenotosta ja mittauspaikan edustavuudesta riippuvat tekijät. Vertailtavien pitoisuustietojen tulisi lisäksi olla samalta tarkastelujaksolta. On todettava, että mallilaskelmilla saadaan tilastollisia pitoisuusarvoja, joiden muodostumiseen vaikuttaa voimakkaasti mm. se, kuinka päästöjen lyhytaikaisvaihtelu on kuvattu mallissa. Lisäksi leviämismallilaskelmien tuloksiin liittyy epävarmuutta yleensä sitä enemmän mitä lyhyemmän jakson pitoisuusarvoista on kyse. Myös mallilaskelmien tuloksiin lisätyn taustapitoisuuden oikeellisuus ja mahdolliset mittausvirheet vaikuttavat vertailun tuloksiin.

Hiilimonoksidia mitattiin pääkaupunkiseudulla vuonna 2000 neljässä YTV:n ylläpitämässä mittauspisteessä: Vallilassa, Tikkurilassa, Töölössä ja Leppävaarassa. Bentseeniä mitattiin vuonna 2000 kolmessa mittauspisteessä: Tikkurilassa, Töölössä ja Kalliossa. Liitteessä 2 on esitetty tietoja em. ilmanlaadun mittauspisteistä. Kuvissa 1 ja

2 on esitetty leviämismallilla laskettujen hiilimonoksidipitoisuuden korkeimpien 8 tunnin keskiarvojen ja bentseenipitoisuuden vuosikeskiarvojen vertailu YTV:n ilmanlaadun mittauspisteissä vuonna 2000 havaittuihin vastaaviin pitoisuuksiin.



Kuva 1. Leviämlaskelmien tuloksina saatujen hiilimonoksidipitoisuuden korkeimpien 8 tunnin keskiarvojen vertailu vastaaviin vuonna 2000 mitattuihin pitoisuuksiin YTV:n mittauspisteissä.



Kuva 2. Leviämlaskelmien tuloksina saatujen bentseenipitoisuuden vuosikeskiarvojen vertailu vastaaviin vuonna 2000 mitattuihin pitoisuuksiin YTV:n mittauspisteissä.

Mallilaskelmissa saatujen hiilimonoksidipitoisuuden korkeimpien 8 tunnin keskiarvojen yhteensopivuus Tikkurilassa, Töölössä ja Leppävaarassa on mitattujen pitoisuuksien kanssa melko hyvä. Sen sijaan Vallilan mittauspisteessä mallin tuloksena saatiin huomattavasti suurempi korkein hiilimonoksidipitoisuuden 8 tunnin keskiarvo kuin mittaamalla. Leppävaarassa mitatut ja mallinnetut pitoisuudet olivat miltei saman suuruisia, Tikkurilassa ja Töölössä mallinnettujen ja mitattujen pitoisuuksien ero oli hieman yli 30 % ja Vallilassa saatiin mallilla mitattuun verrattuna miltei kaksinkertainen pitoisuus.

Leviämismallilla arvioitujen bentseenipitoisuuksien vuosikeskiarvojen yhteensopivuus mittaustulosten kanssa on hyvä kaikissa mittauspisteissä. Eroa mitattujen ja mallinnettujen tulosten välillä on Töölössä ja Kalliossa n. 10 % ja Tikkurilassa n. 30 %.

Ilmanlaadun 2. tytärdirektiivin (2000/69/EY) mukainen laatutavoite mallintamisen epävarmuudelle on sekä hiilimonoksidipitoisuuden 8 tunnin keskiarvolle että bentseenipitoisuuden vuosikeskiarvolle 50 %. Epävarmuus määritetään enimmäispoikkeamana mitatuista ja lasketuista pitoisuustasoista raja-arvon kannalta arvioituna jaksona ottamatta huomioon tapahtumien ajoitusta. Edellä esitetyn vertailun mukaan tässä tutkimuksessa tehdyt pääkaupunkiseudun bentseenipäästöjen leviämislaskelmat täyttäisivät hyvin direktiivin mukaiset laatutavoitteet. Hiilimonoksidin osalta täytyisi direktiivin laatutavoite Vallilan mittauspistettä lukuun ottamatta. Etenkin hiilimonoksidipitoisuuksien korkeimpien tuntikeskiarvojen arviointiin aiheuttaa epävarmuutta epätarkkuudet kylmäkäynnistysten ja kylmänäajon päästöjen ajallisen ja alueellisen vaihtelun kuvauksessa. Myös lähtötietoina käytettyjen liikenteen viivalähteiden sijainnissa on varsin huomattavia epätarkkuuksia.

3.3 Ilmanlaadun mittaukset

Ilmanlaadun seuranta on järjestetty Suomessa hajautetusti. Suomessa onkin kuntien ja yhteisöjen ylläpitämänä varsin kattava asemaverkosto ilman epäpuhtauksien mittaamiseen kaupunki- ja teollisuusalueilla. Ympäristönsuojelulain mukaan kunnat ovat velvollisia järjestämään alueellaan tarpeellisen ilmanlaadun seurannan ja toiminnanharjoittajan on oltava selvillä toiminnastaan aiheutuvien päästöjen vaikutuksista ilmanlaatuun. Ilmatieteen laitos ylläpitää lisäksi valtakunnallista taustailmanlaadun seurantaverkkoa.

Vuonna 2000 Suomessa oli 32 taajamien tai teollisuusalueiden ilmanlaadun mittausverkkoa, joissa oli noin 120 pysyvää ilmanlaadun mittausasemaa 58 paikkakunnalla. Mittausverkoista vastaava organisaatio oli valtaosassa tapauksista kunnallinen ympäristönsuojeluyksikkö. Mittauksia suorittavat myös teollisuuden ympäristönsuojeluyksiköt ja pääkaupunkiseudulla mittauksista vastaa pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta YTV. Lisäksi valtakunnallisesta ilmanlaadun seurannasta tausta-alueilla huolehtii Ilmatieteen laitos.

Kuntien ilmanlaadun seurannassa on käytetty YM:n julkaisemaa ohjetta ilmanlaadun mittaamisesta ja mittaustulosten vertaamisesta ohjearvoihin (YM Sarja B 7/1986). Mittausverkot vastaavat mittauksien laadunvarmistuksesta. Suurimmalle osalle mittausverkoista laitteiden kalibrointi- ja huoltopalvelut toimittaa sama yksityinen

yritys, mikä periaatteessa edesauttaa näiden mittausverkkojen tulosten keskinäistä vertailtavuutta. Dokumentoidut ilmanlaatumittausten laatu järjestelmät ovat yleistyneet viime vuosina. Vietäessä mittaustietoja Ilmanlaadun seurantarjestelmään (ILSE) suoritetaan lisäksi yhdenmukaisia laaduntarkistuksia. Ympäristöministeriö nimitti Ilmatieteen laitoksen kansalliseksi ilmanlaadun vertailulaboratorioksi vuonna 2001. Vertailulaboratorion tehtävänä on mm. vertailumittausten järjestäminen mittausverkoille, joten tulevaisuudessa verkkojen laadunvarmennusjärjestelmien riittävyys sekä tulosten epävarmuudet ja vertailtavuus voidaan paremmin arvioida ja varmentaa.

Tutkimuksessa on käytetty ilmanlaadun mittausaineistoa vuosilta 1997–2001. Tiedot ilmanlaatumittauksista on kerätty Ilmatieteen laitoksen ylläpitämään ilmanlaadun seurannan tietojärjestelmään (ILSE), johon on kerätty vuodesta 1994 lähtien vuosittain käytännöllisesti katsoen kaikki Suomen ilmanlaadun rutiiniseurannan tiedot. ILSE-tietojärjestelmässä on mittaus tulosten lisäksi tietoja mm. mittausverkoista, mittausasemista ja niiden sijaintialueista sekä mittausmenetelmistä.

Mittausasemia kuvailevista tiedoista on tuloksia esitettäessä käytetty Euroopan neuvoston keskinäistä tietojenvaihtoa koskevan päätöksen (1997/101/EY, 2001/752/EY) mukaista aseman tyyppiluokitusta suhteessa hallitseviin päästölähteisiin (liikenne, teollisuus tai tausta) sekä mittauspaikan sijainnin mukaan määräytyvää alueen tyyppiä (kaupunki, esikaupunki ja maaseutu). Luokittelu on yhdenmukainen kaikissa EIONET/Euro Airnet jäsenmaissa, jotka osallistuvat tietojenvaihtopäätöksen mukaiseen tietojenvaihtoon.

Aseman tyyppi suhteessa hallitseviin päästölähteisiin

Liikenne	Asemat, joiden sijoituspaikalla epäpuhtauksien pitoisuustasot johtuvat pääasiassa läheisen tien/kadun päästöistä
Teollisuus	Asemat, joiden sijoituspaikalla epäpuhtauksien pitoisuustasot johtuvat pääasiassa läheisen yksittäisen teollisuuslaitoksen tai teollisuusalueiden päästöistä
Tausta	Asemat, joiden sijoituspaikan epäpuhtaudet eivät johdu pääasiassa mistään yksittäisestä lähteestä tai kadusta, vaan joiden epäpuhtaudet ovat aseman kaikkien tuulenpuoleisten päästölähteiden kokonaiskertymä (esim. kaikki aseman tuulenpuoleinen liikenne, polttolaitoslähteet jne. kaupungissa tai kaikki tuulenpuoleiset lähdealueet (kaupungit, teollisuusalueet) maaseutualueella).

Alueen tyyppi

Kaupunkialue	Yhtenäisesti rakennettu alue
Esikaupunki	Suureksi osaksi rakennettu alue: sekä yhtenäisesti rakennettua aluetta että rakentamattomia alueita (pieniä järviä, metsiä, maataloutta)
Maaseutu	Kaikki alueet, jotka eivät täytä kaupunki- ja/tai esikaupunkialueiden kriteereitä

Tarkasteltaessa komponenttikohtaisia mittaustuloksia mittausasemien tyyppin suhteen on huomioitava, että mittausaseman tyyppi on asemakohtainen, vaikka asemalla mitatut eri epäpuhtauskomponentit saattaisivat edellyttää erilaista luokitusta. Esimerkiksi monella liikenneasemaksi luokitellulla mittauspaikalla mitataan rikkidioksidia, jonka pitoisuuksiin vaikuttaa eniten teollisuuden ja energiantuotannon päästöt. Vastaavasti teollisuusasemaksi luokiteltu mittauspaikka saattaa sijaita lähellä vilkasta liikenneväylää. Mittausasemien luokittelussa saattaa olla epäyhtenäisyyttä myös siitä syystä, että luokittelun ovat suorittaneet eri mittausverkoille eri henkilöt.

ILSE-tietojärjestelmään talletetuille tuloksille suoritetaan joitakin varmistuksia tietokantaan talletuksen yhteydessä. Ennen tietokantaan tallettamista mittaustuloksista lasketaan tilastollisia tunnuslukuja, joiden perusteella tietojen käsittelijä valitsee epäilyttävät aikasarjat tarkempaan tarkastukseen ja ottaa tarvittaessa yhteyttä mittaustulosten toimittajaan. Osa saaduista mittaustuloksista joudutaan tarkastuksen perusteella hylkäämään niiden selvästi huonon laadun vuoksi. Kaikille tietokantaan viedyille tuloksille on asetettu komponenttikohtaiset ala- ja ylärajat. Tietokannassa olevista mittaustuloksista lähetetään mittausverkkokohtaiset raportit mittausverkkojen vastuuhenkilöille tarkistusta varten. Raporteissa on kaikista talletetuista mittaustuloksista kalenterivuosiakohtaisia tunnuslukuja, mm. mittaustulosten lukumäärä, keskiarvo, pienin arvo, suurin arvo, 98. prosenttipiste sekä luettelo hylätyistä mittaustuloksista. Arvioinnissa käytetyn aineiston määrää on kuvattu kappaleessa 4.

Kaikki alustavaa arviointia varten tarvittavat tilastolliset tarkastelut laskettiin ILSE-järjestelmän sisäisillä rutiineilla ja tulokset on talletettu ILSE-järjestelmään. Taulukossa 4 on esitetty alustavassa arvioinnissa käytetty mittausaineisto.

Taulukko 4. Alustavassa arvioinnissa käytetty mittausaineisto vuosilta 1997–2001 sekä bentseenin osalta myös vuodelta 2002. DOAS mittaukset eivät sisälly lukuihin, koska niiden tuloksia ei voitu käyttää arvioinnissa (kts. luku 5.2).

Lukumäärä	Bentseeni	Hiilimonoksidi
Mittausverkostot	2	11
Kunnat	5	15
Asemat	9	29
Asematyypit:		
Liikenne	3	26
Teollisuus	-	-
Tausta	6	3

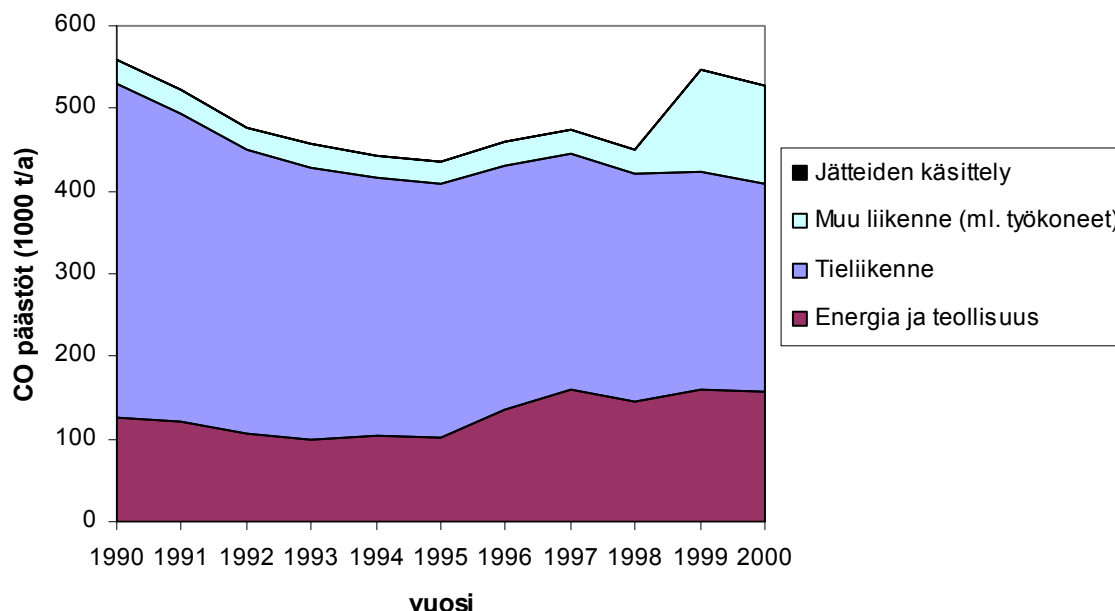
Ylemmän ja alemman arviointikynnyksen katsottiin ylittyvän, mikäli arviointiajanjakson viitenä vuotena kynnyksen lukuarvo ylittyy vähintään kolmena eri vuonna. Mikäli arviointiin ei ollut käytettävissä viiden vuoden mittausaineistoa, arvioitiin arviointikynnyksen ylitys lyhyemmän ajanjakson mittausten perusteella.

4 HIILIMONOKSIDI

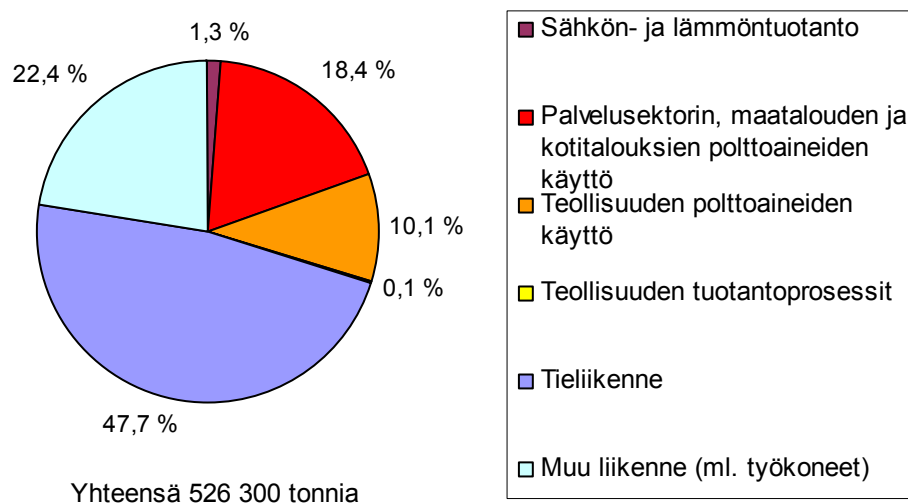
4.1 Päästöt

Hiilimonoksidipäästöt ovat Suomessa vähentyneet 1990-luvun puoliväliin asti lähinnä tieliikenteen päästöjen vähenemisen seurauksena. Vuosikymmenen puolivälissä kokonaispäästöt kääntyvät nousuun johtuen lähinnä palvelusektorin, maatalouden ja kotitalouksien sekä teollisuuden polttoaineen käytön kasvusta (kuva 3: energia ja teollisuussektori). Tieliikenteen hiilimonoksidipäästöt ovat sen sijaan vähentyneet koko 1990-luvun ajan (kuva 3). Kuvassa näkyvä vuonna 1999 tapahtunut muun liikenteen päästöjen voimakas kasvu johtuu uusitun työkoneiden päästöjen laskentajärjestelmän TYKO 1999 (<http://lipasto.vtt.fi/tyko/malli.htm>) eroista verrattuna aiemmin käytössä olleeseen laskentajärjestelmään. Näin ollen kuvassa 3 esitetyt vuosien 1999 ja 2000 muun liikenteen päästöt eivät ole suoraan verrannollisia aiempien vuosien päästöjen kanssa.

Vuonna 2000 Suomen hiilimonoksidipäästöt olivat yhteensä 526 300 tonnia, josta n. 48 % aiheutti tieliikenne ja n. 22 % muu liikenne (mukana työkoneet) eli yhteensä liikenteen osuus Suomen hiilimonoksidipäästöistä oli 70 %. Palvelusektorin ym. ei-teollisperäisten toimintojen polttoaineiden käyttö aiheutti n. 18 % päästöistä ja teollisuuden osuus oli n. 10 % (kuva 4) (EMEP, 2002; SYKE, 2002a).



Kuva 3. Suomen hiilimonoksidipäästöjen kehitys 1990–2000 (EMEP, 2002; SYKE, 2002a).



Kuva 4. Suomen hiilimonoksidipäästöjen jakautuminen vuonna 2000 (EMEP, 2002; SYKE, 2002a).

Alueellisesti hiilimonoksidipäästöt painottuvat Etelä-Suomeen ja suuriin kaupunkeihin, joissa tieliikenne vastaa valtaosasta päästöjä. Liitekuva 3 on esitetty VTT:n LIISA-mallilla arvioidut tieliikenteen kunnittaiset hiilimonoksidipäästöt vuonna 2001 (*LIISA 2001.1*) ja liitekuva 4 on esitetty kokonaispäästöt vuonna 2000 50 km × 50 km ruuduittain (*SYKE, 2002b*). Liikenne vastaa myös valtaosassa Suomen kuntia suurimmasta osasta hiilimonoksidipäästöistä. Muutamissa kunnissa teollisuuden osuus voi kuitenkin olla jopa yli puolet kunnan kokonaispäästöistä. Tällaisia paikkakuntia olivat vuonna 2000 esim. Pori, jossa valimotoiminnan aiheuttamat hiilimonoksidipäästöt olivat noin 4 500 t/a ja Lappeenranta, jossa vuorivilla- ja puunjalostusteollisuuden aiheuttamat hiilimonoksidipäästöt olivat noin 5 000 t/a (*SYKE, 2002c*).

4.2 Mittatut pitoisuudet

Mittausasemat ja -aineistot

Vuosilta 1997–2001 hiilimonoksidipitoisuuden mittaustuloksia oli käytettävissä 11 mittausverkon 29 asemalta yhteensä 15 paikkakunnalta (liitekuva 5, liite 2). Mittausasemista valtaosa (26) sijaitsi liikenneympäristöissä. Tausta-asemia oli 3, joista yksi oli tyypiltään kaupunkitausta-asema. Kaikilta viideltä arviointivuodelta (1997–2001) mittausdataa oli saatavana 10 asemalta. Neljän vuoden aineisto oli käytettävissä 2 asemalta, kolmen vuoden aineisto 1 asemalta, kahden vuoden aineisto 4 asemalta ja ainoastaan yhden vuoden pituinen mittausjakso 11 asemalta.

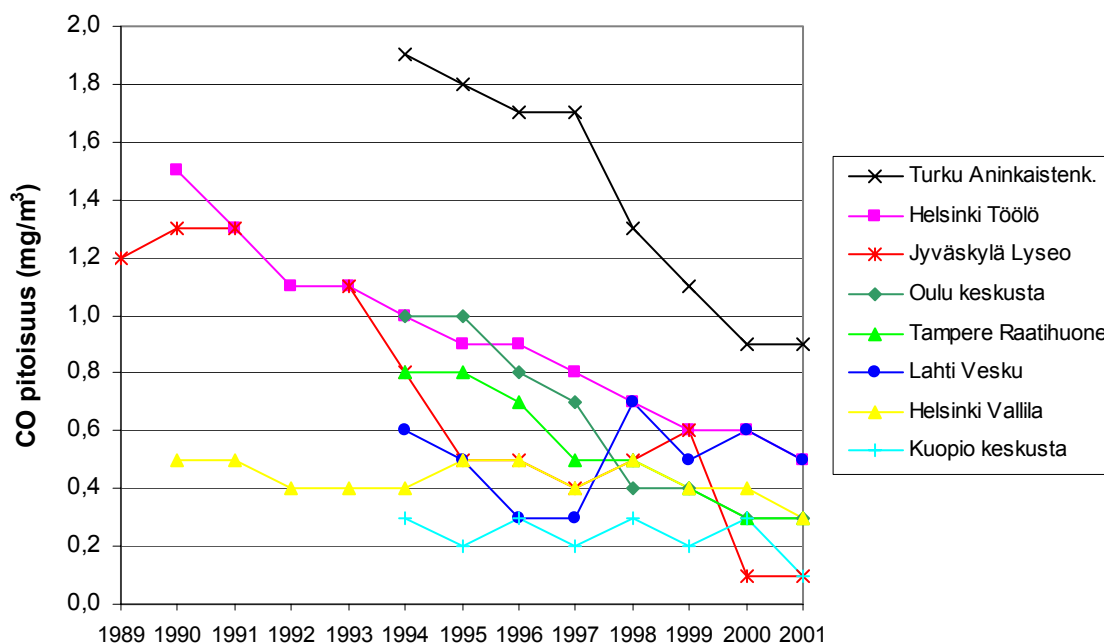
Oulussa, Jyväskylässä ja Vaasassa asemien paikkaa on siirretty arviointiajanjaksolla. Oulun keskustassa siirto tapahtui vuosien 1997–1998 vaihteessa ja Jyväskylän Lyseon asemalla vuosien 1999–2000 vaihteessa. Vaasan Maasillan asema siirrettiin vuonna 2001 elo-syyskuun vaihteessa Vaasanpuistikseen. Hiilimonoksidipitoisuuden

kehittymistä esittämissä kuvissa asemat on yhdistetty Oulun ja Jyväskylän osalta. Alustavassa arvioinnissa asemien siirto on kuitenkin huomioitu.

Mittausmenetelmänä on kaikilla asemilla käytetty ei-dispersiivistä infrapunaspektrometriä, joka on direktiivin mukainen vertailumenetelmä. Hiilimonoksidipitoisuuden mittaustulosten ajallinen kattavuus oli erittäin hyvä: noin 84 %:ssa aineistoa hyväksytyn aineiston määrä oli yli 90 % vuoden tunneista, mikä on direktiivissä asetettu laatutavoite aineiston vähimmäismäärälle kiinteissä mittauksissa.

Mitatut pitoisuudet

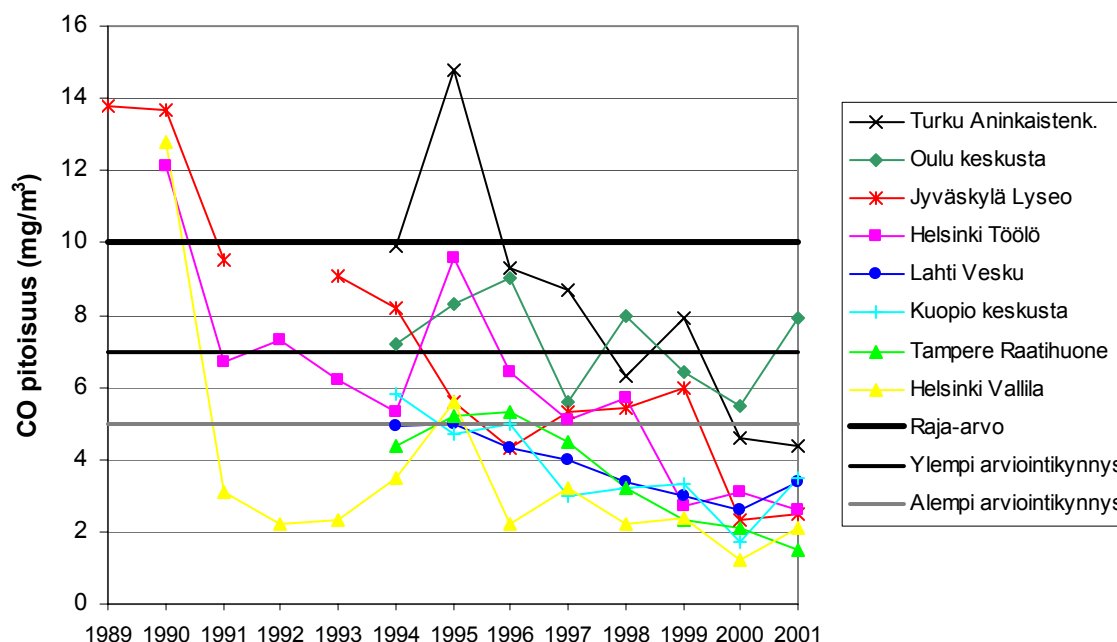
Vilkaasti liikennöityjen alueiden hiilimonoksidipitoisuudet ovat pienentyneet selvästi 1990-luvun aikana liikenteen hiilimonoksidipäästöjen vähenemisen myötä (kuva 5). Esimerkiksi Helsingin Töölön aseman vuosikeskiarvopitoisuus oli $1,5 \text{ mg/m}^3$ vuonna 1990. Vuoteen 2001 mennessä hiilimonoksidipitoisuuden vuosikeskiarvo on laskenut Töölössä arvoon $0,5 \text{ mg/m}^3$. Arviointiajanjaksolla 1997–2001 hiilimonoksidipitoisuuksien vuosikeskiarvot ovat vähentyneet tai pysyneet likimain samalla tasolla. Suurimmat hiilimonoksidipitoisuudet mitattiin Turun Aninkaistenkadulla ($1,7\text{--}0,9 \text{ mg/m}^3$), jossa arviointiajanjaksolla vuosikeskiarvopitoisuus väheni 47 %. Muilla asemilla vuosikeskiarvopitoisuudet alittivat $0,8 \text{ mg/m}^3$.



Kuva 5. Hiilimonoksidipitoisuuden vuosikeskiarvot 1989–2001 muutamilla paikkakunnilla.

Hiilimonoksidipitoisuuden 8 tunnin keskiarvolle määritetty raja-arvo 10 mg/m^3 ylittyi muutamilla asemilla 1990-luvun alkupuolella. Korkeimmat mitatut 8 tunnin keskiarvot olivat luokkaa $12\text{--}15 \text{ mg/m}^3$ (kuva 6). Vuosikymmenen jälkipuoliskolla pitoisuustaso

on alentunut eikä arviointiajanjaksolla (1997–2001) raja-arvo (10 mg/m^3) ylittynyt yhdelläkään asemalla. Suurin mitattu hiilimonoksidipitoisuuden 8-tunnin keskiarvo oli alle 9 mg/m^3 .



Kuva 6. Hiilimonoksidipitoisuuden korkeimmat 8 tunnin keskiarvot muutamilla paikkakunnilla.

4.3 Leviämislaskelmien tulokset

Pääkaupunkiseutu

Pääkaupunkiseudun tieliikenteen päästöille tehtyjen leviämismallilaskelmien tulosten mukaan hiilimonoksidipitoisuuden korkeimmalle 8 tunnin keskiarvolle määritetyt raja-arvo 10 mg/m^3 ja ylempi arviointikynnys 7 mg/m^3 alittuivat kaikkialla pääkaupunkiseudulla vuonna 2000 (liitekuva 6). Alempi arviointikynnys 5 mg/m^3 ylittyi ainoastaan muutamalla vilkkaasti liikennöidyllä risteysalueella. Nämä risteykset sijaitsevat ulosmenoväylien (Turunväylä, Hämeenlinnanväylä ja Länsiväylä; liikennemäärät arkisin yli 50 000 ajon./vrk) alkupäissä. Vilkailla pääväylillä esimerkiksi Kehä I:n (liikennemäärät suurimmillaan arkisin miltei 100 000 ajon./vrk) varrella sekä risteysalueilla hiilimonoksidipitoisuudet ovat leviämislaskelmien mukaan tasoa $3\text{--}5 \text{ mg/m}^3$. Suurimmassa osassa kantakaupunkia pitoisuudet ovat alle 3 mg/m^3 ja keskustan ulkopuolella sekä naapurikuntien alueella alle 2 mg/m^3 .

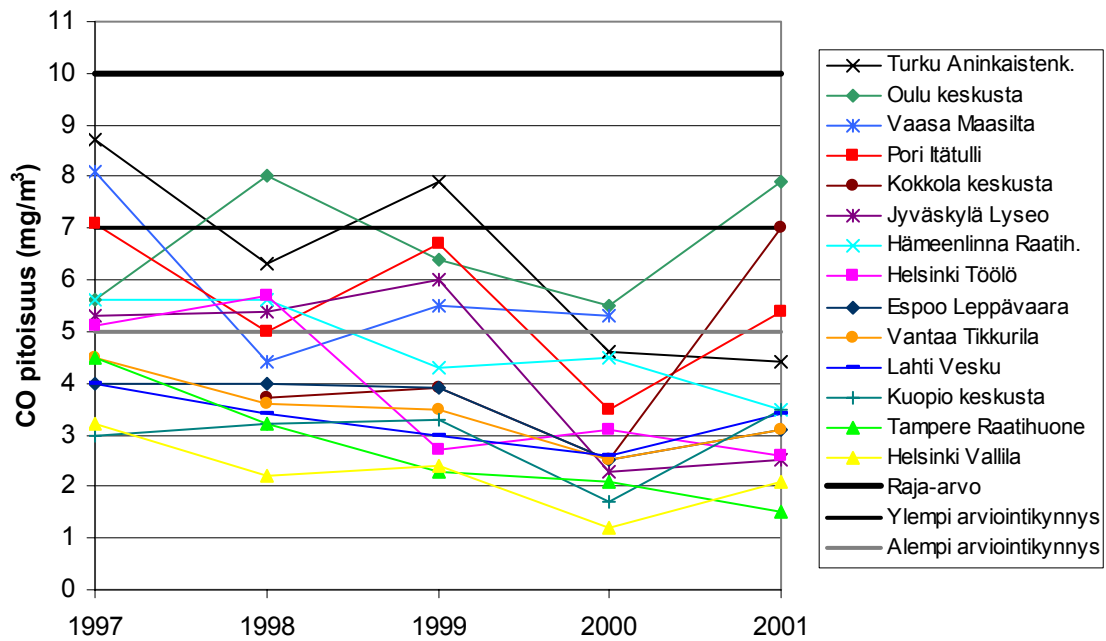
Yksittäiset pistelähteet

Ilmatieteen laitos on tehnyt viime vuosina hiilimonoksidille myös muutamia yksittäisten päästölähteiden leviämislaskelmia. Leviämislaskelmia on tehty mm. voimalaitosten, elintarviketeollisuuden (mm. kahvinpaahtimo) ja satamatoiminnan aiheuttamille päästöille. Eniten hiilimonoksidipäästöjen leviämislaskelmia on tehty viime vuosina paikoitustilojen poistoilman pakokaasupäästöille. Leviämislaskelmien tulosten mukaan voimalaitosten päästöt aiheuttavat yleensä maanpintatasolla korkeimmillaan hiilimonoksidipitoisuuksia, jotka ovat selvästi alle 1 mg/m^3 8 tunnin keskiarvoina. Paikoitustilojen poistoilman pakokaasupäästöjen aiheuttamat hiilimonoksidipitoisuudet ovat olleet korkeimmillaan noin 2 mg/m^3 8 tunnin keskiarvona, mutta yleensä pitoisuudet ovat jääneet selvästi alle 1 mg/m^3 . Satamatoiminnan päästöjen aiheuttamat korkeimmat hiilimonoksidipitoisuuden 8 tunnin keskiarvot ovat olleet yleensä alle $0,1 \text{ mg/m}^3$. Yksittäisten teollisuuden ja energiantuotannon päästölähteiden tai satamatoiminnan ja paikoitushallien päästöjen aiheuttamat hiilimonoksidipitoisuudet ovat siis jääneet selvästi alle alemman arviointikynnyksen 5 mg/m^3 .

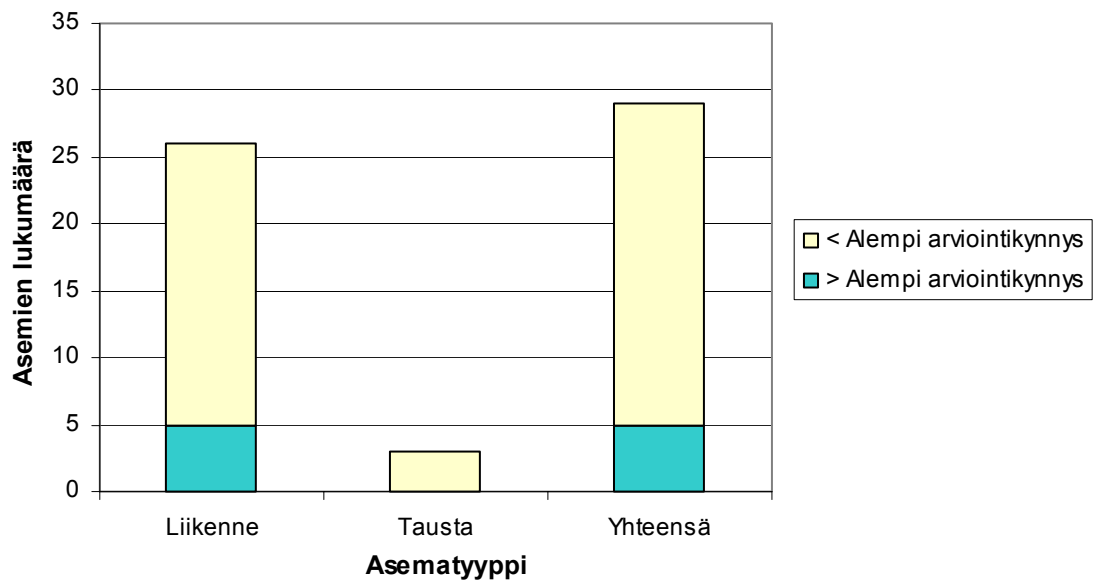
4.4 Pitoisuudet suhteessa raja-arvoon ja arviointikynnyksiin

Hiilimonoksidipitoisuuksien korkeimmalle 8 tunnin keskiarvolle määritetty raja-arvo 10 mg/m^3 alittui arviointiajanjakson aikana kaikilla ilmanlaadun mittausasemilla. Ylempi arviointikynnys 7 mg/m^3 ylittyi 4 asemalla ja alempi arviointikynnys 5 mg/m^3 em. lisäksi 4 asemalla (kuva 7). Ylempi arviointikynnys ylittyi Turun Aninkaistenkadulla vuosina 1997 ja 1999 ja Oulun keskustan asemalla vuosina 1998 ja 2001. Vaasan Maasillan ja Porin Itätullin asemilla ylempi arviointikynnys ylittyi ainoastaan arviointiajanjakson alussa vuonna 1997. Alempi arviointikynnys ylittyi em. lisäksi Jyväskylän Lyseon asemalla 1997–1999, Helsingin Töölössä 1997–1998, Hämeenlinnan Raatihuoneenkadulla 1997–1998 ja Kokkolan keskustan asemalla 2001. Muilla asemilla mitatut pitoisuudet ovat olleet kaikkina arviointiajanjakson vuosina alle alemman arviointikynnyksen.

Alustavassa arvioinnissa arviointikynnys katsotaan ylitetyksi, kun mitattu pitoisuus ylittää kolmena vuotena viidestä arviointikynnykselle määritetyn lukuarvon. Em. määritelmän mukainen ylempi arviointikynnys ei ylittynyt yhdelläkään asemalla arviointiajanjaksolla 1997–2001. Alemmalle arviointikynnykselle annettu lukuarvo ylittyi kolmesti 5 asemalla: Jyväskylän Lyseon, Oulun keskustan, Porin Itätullin, Turun Aninkaistenkadun ja Vaasan Maasillan asemilla (kuva 8).

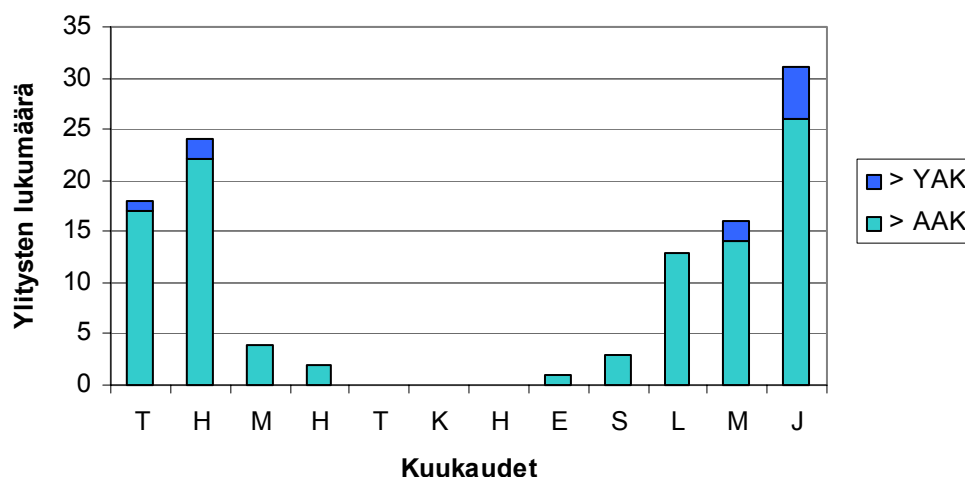


Kuva 7. Hiilimonoksidipitoisuuden korkein 8 tunnin keskiarvo arviointiajanjaksolla 1997–2001. Kuvassa on esitetty mittaustulokset, joiden vuosikattavuus on vähintään 50 %.



Kuva 8. Hiilimonoksidipitoisuuden korkein 8 tunnin keskiarvo suhteessa alempaan arviointikynnykseen vuosien 1997–2001 mittausten perusteella arvioituna.

Hiilimonoksidipitoisuudet ovat korkeimmillaan talvella mm. autojen kylmäkäynnistyksistä ja kylmänä ajosta aiheutuvista päästöistä sekä ilmanlaadun kannalta epäedullisista meteorologisista olosuhteista johtuen. Arviointiajanjaksolla 1997–2001 havaitut ylemmän ja alemman arviointikynnyksen ylitykset tapahtuivat pääasiassa talvisaikaan kylmällä pakkaskelillä (kuva 9, taulukko 5).



Kuva 9. Hiilimonoksidin 8 tunnin keskiarvolle määritettyjen ylemmän arviointikynnyksen (YAK) ja alemman arviointikynnyksen (AAK) ylitykset kuukausittain vuosina 1997–2001.

Taulukko 5. Hiilimonoksidin 8 tunnin keskiarvolle määritetyn ylemmän arviointikynnyksen ylitykset vuosina 1997–2001 ja lämpötilaolosuhteet, joissa ylitykset tapahtuivat.

Kunta	Asema	Päivämäärä	Pitoisuus mg/m ³	Keskilämpötila	Maksimi	Minimi
Turku	Aninkaistenkatu	10.1.1997	8,5	-8	-3,5	-12,5
Turku	Aninkaistenkatu	17.2.1997	7,5	-11,6	-5,1	-13,9
Turku	Aninkaistenkatu	7.11.1997	8,7	2,2	3,2	1
Turku	Aninkaistenkatu	23.12.1997	7,1	-1,6	0	-3
Turku	Aninkaistenkatu	31.12.1999	7,9	-8,8	-6,8	-11,6
Pori	Itätulli	17.2.1997	7,1	-14,3	-7,9	-19,5
Vaasa	Maasilta	18.12.1997	8,1	-1	3,6	-4,5
Oulu	Keskusta 2	22.12.1998	8	-15,5	-10,3	-19,3
Oulu	Keskusta 2	14.11.2001	7,4	-12,4	-7,8	-17,2
Oulu	Keskusta 2	23.12.2001	7,9	-22,8	-19,2	-29,8
Keskiarvo:				-9,38	-5,38	-13,03

Pääkaupunkiseudulle vuodelle 2000 tehtyjen leviämislaskelmien tulosten mukaan hiilimonoksidipitoisuuden 8 tunnin keskiarvo ei ylittäisi raja-arvoa eikä ylempää

arviointikynnystä pääkaupunkiseudulla. Alempi arviointikynnys ylittyisi ulosmenoväylille johtavilla, vilkkaimmilla risteysalueilla. Sen sijaan laajalla alueella keskustassa ja sen ulkopuolella sekä vilkkaasti liikennöityjen väylienkin varsilla pitoisuudet olisivat varsin selvästi alle alemman arviointikynnyksen. Teollisuuden ja energiantuotannon sekä mm. satamatoiminnan ja paikoitustilojen päästöt vaikuttavat tehtyjen leviämislaskelmien tulosten mukaan varsin vähän esim. kaupunkialueen hiilimonoksidipitoisuuksiin. Näiden yksittäisten päästölähteiden aiheuttamat suurimmatkin hiilimonoksidipitoisuudet ovat leviämislaskelmien tulosten mukaan selvästi alle alemman arviointikynnyksen.

Korkeimmat hiilimonoksidipitoisuudet esiintyvät mittaustulosten mukaan yleensä talvella, kun on pakkasta. Talvella liikenteen aiheuttamat hiilimonoksidipäästöt ovat suurempia kylmäkäynnistysten ja kylmänä ajon vuoksi ja talvella esiintyy myös epäedullisia meteorologisia tilanteita, joiden aikana pitoisuudet voivat lyhytaikaisesti nousta. Ilmanlaatumittausten tulosten mukaan vaikuttaakin siltä, että Pohjois-Suomen kaupunkien hiilimonoksidipitoisuudet ovat hieman korkeampia kuin vastaavan kokoisten kaupunkien etelämpänä.

Esitettyjen arviointiajanjakson päästötietojen, mittaustulosten ja leviämislaskelmien tulosten perusteella voidaan arvioida, että hiilimonoksidipitoisuuden raja-arvo alittuu kaikkialla Suomessa. Myös ylempi arviointikynnys alittuisi todennäköisesti kaikkialla, kun ylittymisen kriteerinä käytetään arviointikynnyksen ylittymistä kolmena vuotena viidestä. Ylemmän arviointikynnyksen numeroarvon ylittyminen olisi mahdollista yksittäisinä vuosina pienillä alueilla suurimpien kaupunkien vilkkaasti liikennöidyillä keskusta-alueilla, lähinnä risteysalueilla ja vilkkaimpien teiden varsilla. Alempi arviointikynnys sen sijaan ylittyisi suurimmissa kaupungeissa vilkkaasti liikennöidyillä alueilla myös kun ylittymisen kriteerinä käytetään arviointikynnyksen ylittymistä kolmena vuotena viidestä. Pohjoisessa alempi arviointikynnys ylittyisi suhteellisesti pienemmissä kaupungeissa kuin etelämpänä. Arvion mukaan alempi arviointikynnys voisi ylittyä ainakin seuraavissa kaupungeissa: pääkaupunkiseutu, Tampere, Turku, Oulu, Lahti, Kuopio, Pori, Jyväskylä, Vaasa, Joensuu ja Rovaniemi. Teollisuuden tai energiantuotannon päästöjen aiheuttamat pitoisuudet ovat suurimmillaankin alle alemman arviointikynnyksen.

5 BENTSEENI

5.1 Päästöt

Bentseenipäästöjä aiheuttavat lähinnä autoliikenne (pakokaasu- ja haihtumapäästöt), energiantuotannon polttoprosessit ja kiinteistöjen lämmitys (lähinnä puun poltto) sekä polttoaineiden jakelu (haihtumapäästöt). Bentseeniä vapautuu ulkoilmaan lisäksi biomassan palamisessa esim. metsäpaloissa.

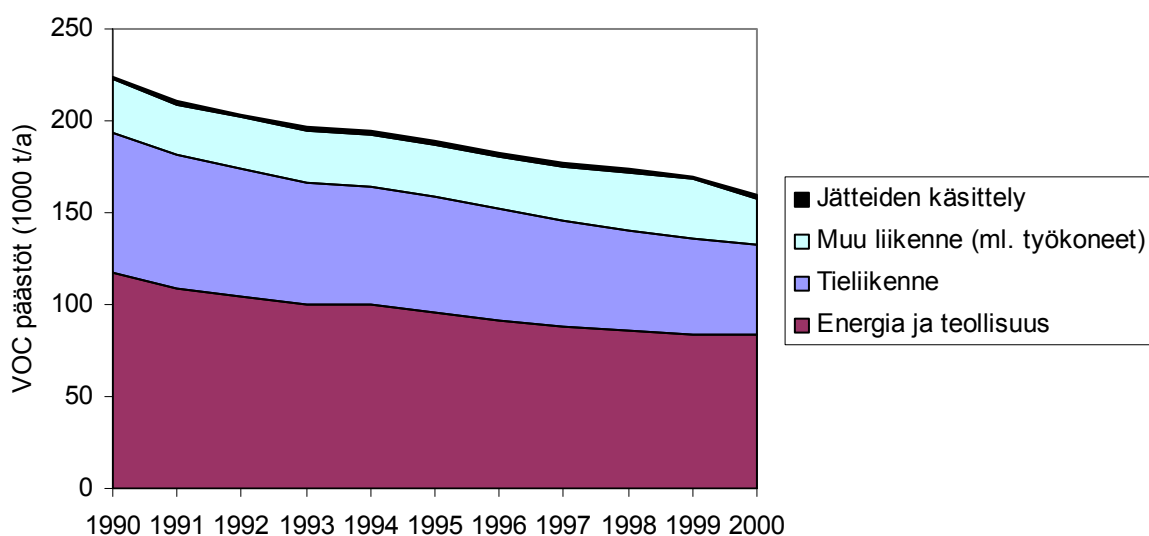
Suomessa ei ole tehty varsinaista koko maan kattavaa arviota bentseenipäästöistä. SYKE on tehnyt haihtuville orgaanisille yhdisteille päästöarvion ja myös VTT:n liikenteen päästöarviot on tehty ainoastaan kokonaishiilivedyille. Ilmatieteen laitoksella

on tehty erilaisten päästölähteiden hiilivety päästöjen karakterisointia (HELLÉN, *ym.*, 2002), jonka perusteella on arvioitu eri hiilivetyjen osuuksia kokonaishiilivedyistä. VTT on tehnyt vastaavan tyyppisiä mittauksia autoliikenteen päästöille (LAPPI, 1999; AAKKO AND PENTIKÄINEN, 1998; KOKKO 1997). Taulukossa 6 esitetään em. mittausten perusteella arvio bentseenin osuudesta kokonaishiilivedyistä keskeisimmille bentseenin päästölähderyhmille.

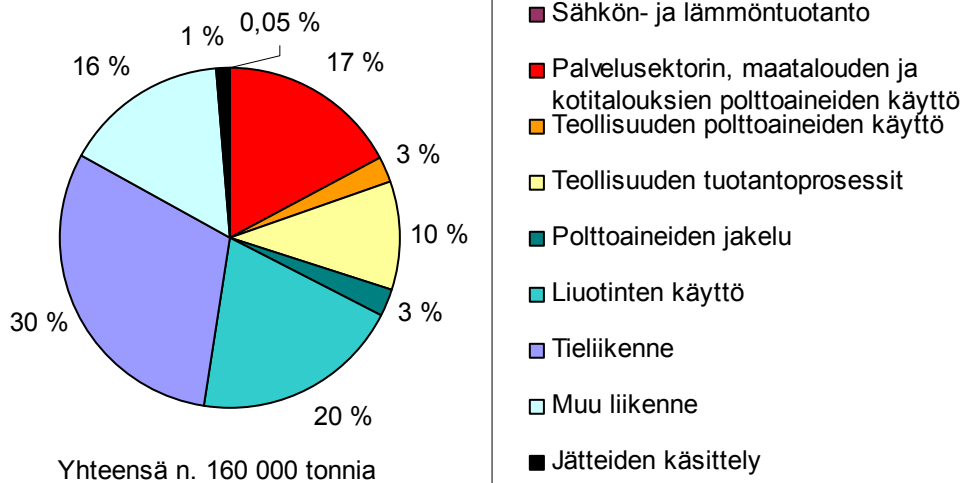
Taulukko 6. Arvio bentseenin osuudesta kokonaishiilivedyistä muutamille päästölähderyhmille.

Päästölähde	Bentseenin osuus kokonaishiilivedyistä (%)
Nestemäinen bensiini	2 %
Haihtumapäästö bensiinistä, mm. tankkauksessa	1 %
Pakokaasut, bensiini	4 %
Pakokaasut, diesel	3 %
Puun poltto	19 %
Jätevedenpuhdistus	5 %

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) päästöt ovat Suomessa vähentyneet koko 1990-luvun ajan (kuva 10). Vuoteen 2000 mennessä päästöt ovat vähentyneet noin 24 % vuodesta 1990. Vuonna 2000 Suomen VOC-päästöt olivat yhteensä noin 160 000 tonnia, josta 46 % aiheutti liikenne ja n. 20 % liuotinten käyttö (kuva 11) (EMEP, 2002; SYKE, 2002a). Liikenteen hiilivety päästöt vuonna 2001 ja pistelähteiden VOC-päästöt vuonna 2000 kunnittain on esitetty liitekuvassa 7. Liitekuvassa 8 on esitetty Suomen VOC-päästöt vuonna 2000 50 km × 50 km ruuduittain (SYKE, 2002b).

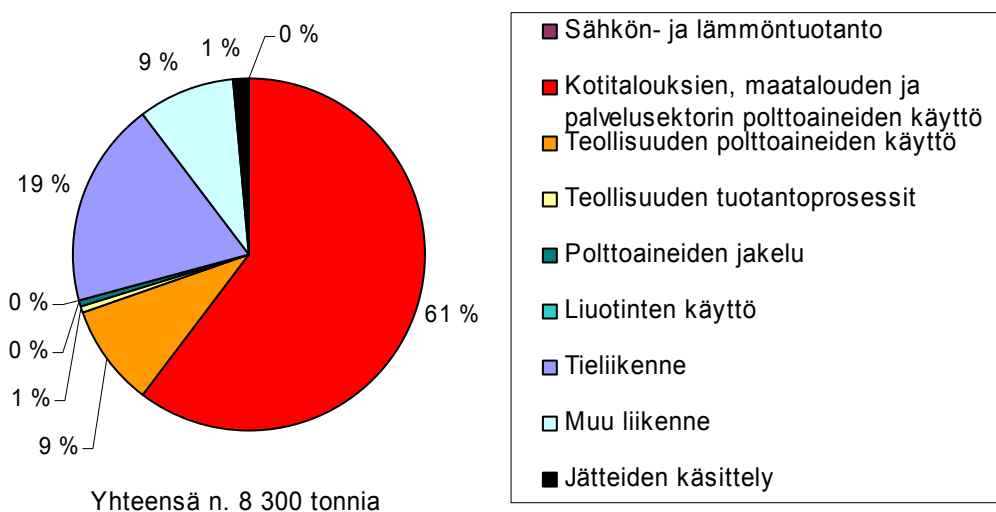


Kuva 10. Suomen VOC-päästöjen kehitys vuosina 1990–2000 (EMEP, 2002; SYKE, 2002a).



Kuva 11. Suomen VOC-päästöjen jakautuminen vuonna 2000 (EMEP, 2002; SYKE, 2002a).

Edellä esitettyjen lähderyhmittäisten bentseeni-hiilivetysuhteiden (taulukko 6) perusteella arvioitiin karkeasti Suomen bentseenipäästöt SYKEN arvioimista NMVOC-päästöistä (kuva 11). Vuonna 2000 Suomen bentseenipäästöt olivat tehdyn arvion mukaan yhteensä noin 8 300 tonnia. Suurimman osan bentseenipäästöistä aiheuttaisi Suomessa palvelusektorin, maatalouden ja kotitalouksien polttoaineen käyttö, jonka aiheuttamat bentseenipäästöt olisivat noin 5 000 t/a eli noin 60 % kokonaispäästöistä (kuva 12). Tämän päästölähderyhmän bentseenipäästöt aiheutuvat käytännössä puun pienpoltosta. Tieliikenteen osuus Suomen bentseenipäästöistä olisi noin 20 % ja muun liikenteen ja työkoneiden noin 10 % eli liikenteen osuus olisi yhteensä noin 30 %.



Kuva 12. Arvio Suomen bentseenipäästöistä lähderyhmittäin vuonna 2000.

Yksittäisten päästölähteiden osalta on saatavilla vain hyvin vähän bentseenipäästöjä koskevia arvioita. VAHTI-järjestelmään on ilmoitettu bentseenipäästöt vain muutaman laitoksen osalta. Näistä laitoksista suurimmat bentseenipäästöt aiheutti vuonna 2000 Porvoossa sijaitseva kemian alan tuotantolaitos, jonka bentseenipäästöt olivat yhteensä hieman yli 100 t/a. Muiden lähteiden bentseenipäästöt olivat alle 1 t/a. Suurimmassa osassa VAHTI-järjestelmän laitoksista bentseenipäästöt sisältyvät oletettavasti muihin ilmoitettuihin VOC-päästölukuihin. Suurimmat VOC-päästöt muodostuivat VAHTI-järjestelmän tietojen mukaan vuonna 2000 Porvoon öljynjalostamolla (n. 3000 t/a) ja Naantalın öljynjalostamolla (n. 1800 t/a). (SYKE, 2002c)

5.2 Mitatut pitoisuudet

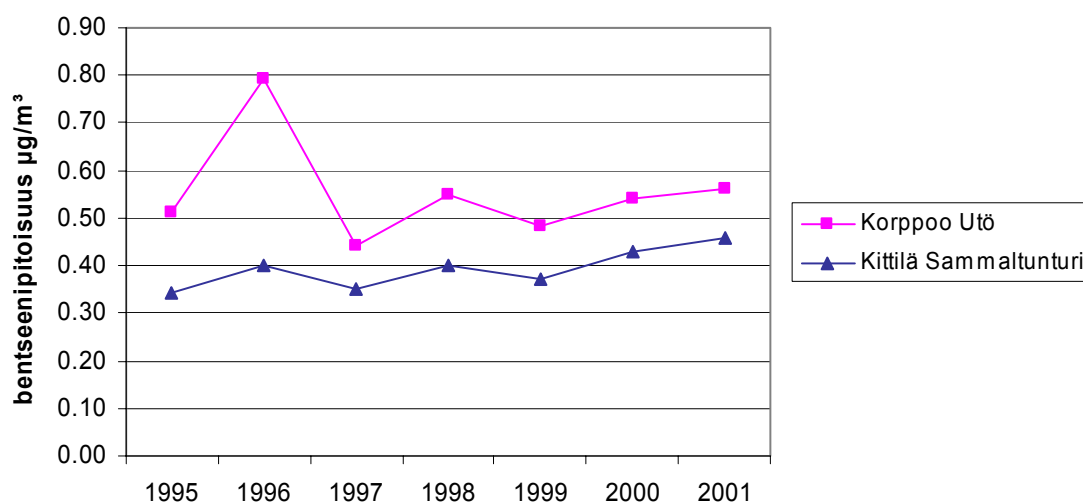
Suomessa on tehty bentseenin pitoisuusmittauksia varsin vähän (liitekuva 9). Ilmatieteen laitos seuraa kahdella tausta-asemallaan bentseenin taustapitoisuuksia. Pääkaupunkiseudun Yhteistyövaltuuskunta (YTV) on mitannut bentseenipitoisuutta pääkaupunkiseudulla vuodesta 2000 lähtien. Lahden kaupunki on mitannut kaupunkilman bentseenipitoisuutta vuosina 2001–2002. Jatkuvatoimisesti bentseenipitoisuuksien mittauksia on tehty DOAS-menetelmällä Haminassa ja Valkeakoskella. Alustavassa arvioinnissa voitiin kuitenkin ottaa huomioon ainoastaan Ilmatieteen laitoksen ja YTV:n mittaustulokset (kts. sivut 33 ja 34).

Bentseenimittaukset tausta-asemilla

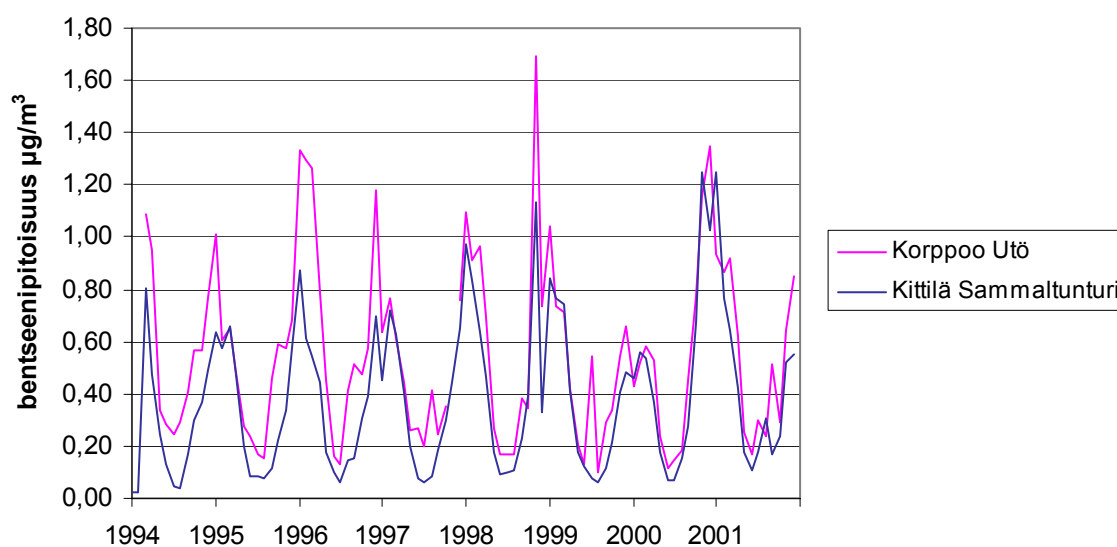
Bentseenipitoisuuksia on seurattu säännöllisesti Ilmatieteen laitoksen tausta-asemilla Korppoon Utössä ja Kittilän Sammaltunturilla vuosina 1995–2001. Haihtuvia hiilivetyjä kerätään Utöstä ja Pallakselta teräspulloihiin laboratoriossa suoritettavaa analyysia varten. Teräspullojen sisällä on vakuumi ja näytteenottopaikalla ne täytetään ulkoilmalla. Täyttö kestää pari minuuttia. Näytteitä otetaan kahdesti viikossa kaksi näytettä kerralla. Analyysimenetelmänä käytetään kaasukromatografia, jossa on liekki-ionisaatiodetektor (FID). Näyteilma kuivataan K_2CO_3 :lla ja NaOH:lla ja konsentroidaan nestemäisellä typellä ennen injektointia kaasukromatografiin. Käytettävä kolonni on Al_2O_3/KCl PLOT (50m, i.d. 0.32 mm). Näytteistä analysoidaan 2–6 hiiliatomia sisältävät haihtuvat hiilivedyt mukaan lukien bentseeni. Kalibrointikaasuna käytetään 30 hiilivetyä sisältävää kaasuseosta (National Physical Laboratory, Englanti). Toteamisraja bentseenille on 4 ppt.

Ilmatieteen laitoksen tausta-asemilla bentseenipitoisuuden vuosikeskiarvot eivät ole laskeneet arviointiajanjaksolla 1997–2001. Utössä bentseenipitoisuuden vuosikeskiarvo oli vuonna 2001 27 % ja Sammaltunturilla 35 % suurempi kuin vuonna 1997. Suurin vuosikeskiarvo oli arviointiajanjaksolla 1997–2001 Utössä $0,56 \mu g/m^3$ ja Sammaltunturilla $0,46 \mu g/m^3$ (kuva 13). Bentseenipitoisuudet ovat tausta-asemilla alhaisia alittaen selvästi sekä raja-arvon että ylemmän ja alemman arviointikynnyksen.

Bentseenipitoisuudet vaihtelevat hieman vuosittain meteorologisista tekijöistä johtuen. Myös bentseenin vuodensisäinen vaihtelu on erittäin suurta: korkeimmat pitoisuudet esiintyvät talvella ja alhaisimmat kesällä (LAURILA&HAKOLA, 1996). Korppoossa suurimman ja pienimmän pitoisuuden ero on yleensä noin $1 \mu g/m^3$ (kuva 14).



Kuva 13. Bentseenipitoisuuden vuosikeskiarvot Ilmatieteen laitoksen tausta-aseilla vuosina 1994–2001.



Kuva 14. Bentseenipitoisuuden kuukausikeskiarvot Ilmatieteen laitoksen tausta-aseilla vuosina 1994–2001.

Bentseenimittaukset pääkaupunkiseudulla

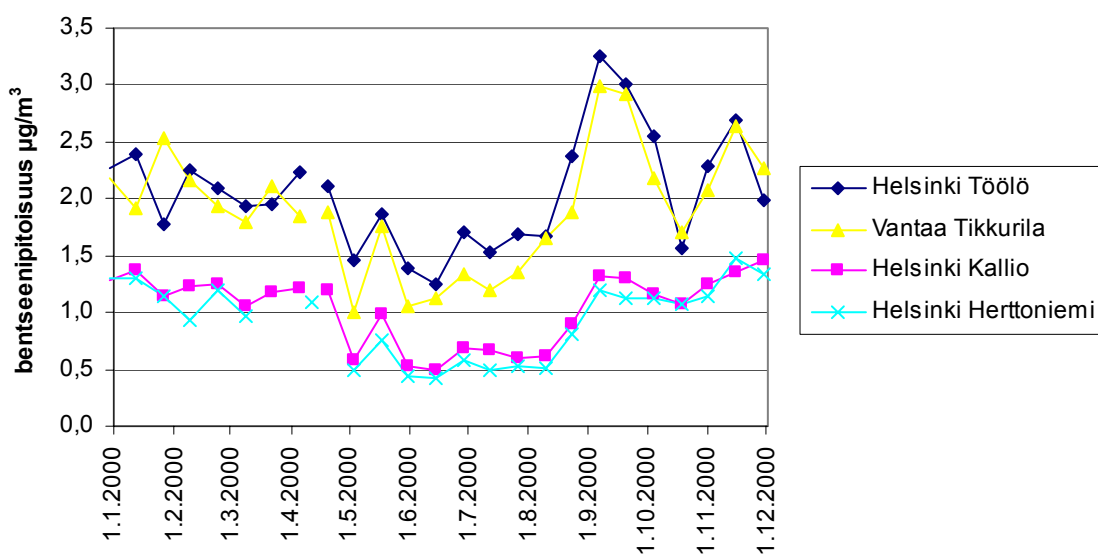
Pääkaupunkiseudulla tehtiin Ilmatieteen laitoksen ja YTV:n yhteistyönä selvitys bentseenipitoisuuksista vuonna 2000 (*HELLÉN ym., 2001*). Bentseenipitoisuutta mitattiin Töölön, Kallion (=Brahen kenttä) ja Tikkurilan asemilla sekä Ilmatieteen laitoksen toimitalossa Herttoniemessä 29.12.1999–13.12.2000. Mittausmenetelmänä käytettiin passiivista näytteenottoa kahden viikon näytteenottoajalla. Passiivisessa

näytteenotossa mitattava yhdiste kulkeutuu diffuusion avulla keräimen absorbenttiin. Tutkimuksessa käytettiin Perkin-Elmerin diffuusioputkia ja absorbenttina Carbopack B:tä. Näytteet analysoitiin kaasukromatografilla. Mittaukset täyttivät aineiston vähimmäismäärälle ja ajalliselle kattavuudelle direktiivissä annetut laatutavoitteet. Kaikki mittausarjat kattoivat ajallisesti yli 90 % vuodesta 2000. Mittausten kokonaisepävarmuudeksi arvioitiin 15 %, kun direktiivin mukainen laatutavoite epävarmuudelle on kiinteille mittauksille 25 % ja suuntaa antaville mittauksille 30 %.

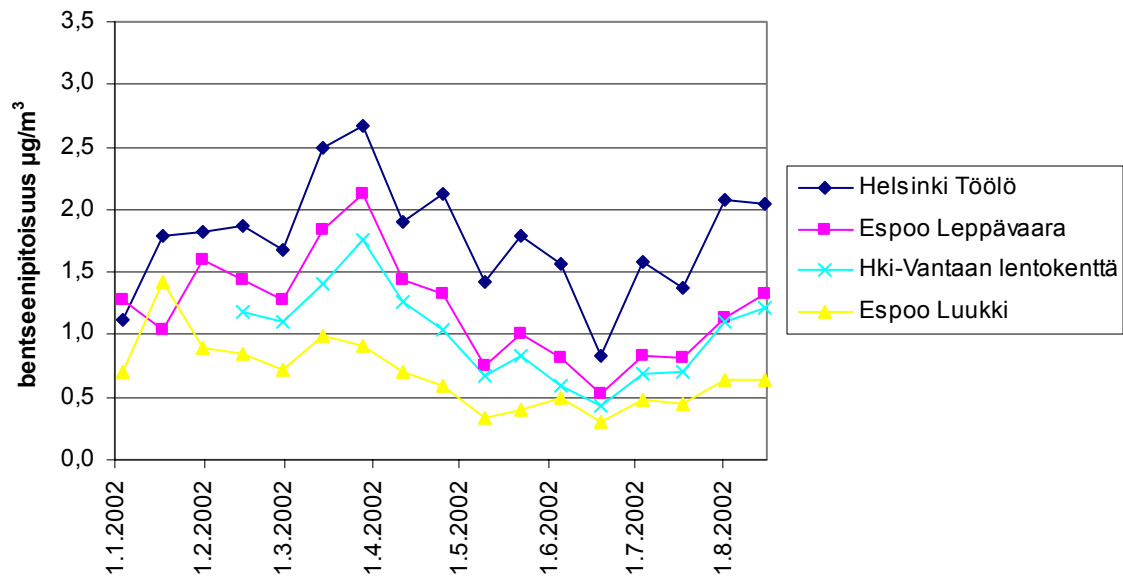
Vuoden 2002 alusta YTV on käynnistänyt jatkuvat bentseenipitoisuuden mittaukset Töölön, Leppävaaran ja Luukin asemilla. Lisäksi mittauksia on suoritettu Helsinki-Vantaan lentoaseman lähellä sijaitsevalla Ruskeasannan siirrettävällä asemalla. Alustavaan arviointiin tuloksia oli saatavilla ajalta 3.1.–15.8.2002. Mittaustuloksia ei voi suoraan verrata vuosikeskiarvoon perustuvaan raja-arvoon ja arviointikynnyksiin, koska mittaukset eivät kata koko vuotta. Korkeimmat bentseenipitoisuudet mitataan yleensä syksyn ja talven aikana. Suuntaa-antava vertailu on kuitenkin mahdollista, kun otetaan huomioon vuoden 2000 mittauksissa havaittu vuodenaikaisvaihtelu.

YTV:n mittausasemista Töölö, Tikkurila ja Leppävaara sijaitsevat liikenneympäristöissä. Tausta-asemia ovat Luukki ja Kallio, joista jälkimmäinen on kaupunkitausta-asema.

Vuosina 2000 ja 2002 pääkaupunkiseudulla mitatut bentseenipitoisuuden kahden viikon keskiarvot on esitetty kuvissa 15 ja 16. Vuonna 2000 suurin mitattu bentseenipitoisuuden kahden viikon keskiarvo oli $3,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Töölössä ja Tikkurilassa bentseenin pitoisuustaso oli $1\text{--}3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Kallion kaupunkitausta-asemalla ja IL:n Herttoniemen toimipisteessä mitatut pitoisuudet olivat alle $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (kuva 15). Vuodelta 2002 on käytettävissä vain ensimmäisen vuosipuoliskon mittaustulokset. Tällä ajalla korkein mitattu pitoisuus oli Töölössä $2,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (kuva 16).



Kuva 15. Bentseenipitoisuudet 2 viikon keskiarvoina pääkaupunkiseudulla vuonna 2000.



Kuva 16. Bentseenipitoisuudet 2 viikon keskiarvoina pääkaupunkiseudulla vuonna 2002.

Muut bentseenimittaukset

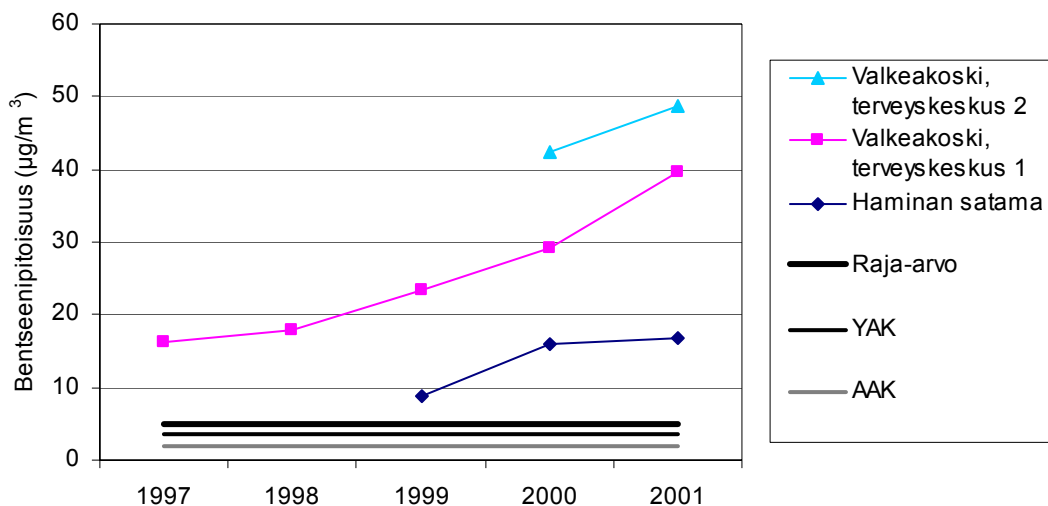
Lahden kaupunki-ilmasta on mitattu haihtuvia orgaanisia hiilivetyjä (VOC) vuosina 2001–2002. VOC-mittaukset ovat osa Lahden kaupungin valvonta- ja ympäristökeskuksen hanketta ”Ilman epäpuhtauksien vaikutusten selvittäminen ja ilmanlaadun parantamismahdollisuudet Päijät-Hämeessä vuosina 2000–2002”. Vuonna 2001 mittauksia suoritettiin satunnaisesti aktiivisella näytteenotolla. Vuoden 2002 maaliskuusta lähtien VOC-yhdisteitä on mitattu passiivisella näytteenotolla käyttäen näytteenottoaikana kahta viikkoa. Näytteet on kerätty PerkinElmerin teräsnäytteenottoputkiin ja ne on analysoitu kaasukromatografilla eli käytössä oleva mittausmenetelmä on samanlainen kuin Ilmatieteen laitoksella. Passiivimittausasemia on tällä hetkellä Lahden ympäristössä seitsemän. Mittaustulokset eivät kuitenkaan olleet käytettävissä alustavaan arviointiin, koska varsinaiset mittaukset ovat alkaneet vasta kesällä 2002. VOC-yhdisteiden pitoisuuksia on mitattu satunnaisesti Suomessa myös muutamissa muissa paikoissa.

Bentseenipitoisuutta on mitattu jatkuvatoimisesti DOAS-menetelmällä Haminan sataman ja Valkeakosken terveystieteiden keskuksen mittausasemilla. Ilmatieteen laitokselle on toimitettu alustavaa arviointia varten mittaustulokset Valkeakoskelta koko arviointiajanjaksolta (1997–2001) ja Haminasta vuosilta 1999–2001.

Tulosten mukaan bentseenipitoisuudet olisivat ylittäneet raja-arvon kaikilla mittauspaikoilla (kuva 17). Suurimmat pitoisuudet on mitattu Valkeakoskella, jossa toisella linjalla mitattu vuoden 2001 keskiarvo on ollut jopa yli $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (raja-arvo $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Valkeakosken asema on luokiteltu teollisuusasemaksi, mutta mittauspaikan lähistöllä ei tiettävästi sijaitse merkittäviä bentseenipäästöjen lähteitä. Haminan mittausasema sijaitsee Haminan kuivalastisatamassa. Lähistöllä sijaitsee mahdollisia

bentseenipäästölähteitä, mm. kemiallista teollisuutta (lateksi-, liima- ja voiteluainetehtaat) ja kemikaalivarastoja, mutta näidenkin lähteiden bentseenipäästöt ovat todennäköisesti varsin pieniä.

DOAS-mittaus ei ole direktiivin mukainen vertailumenetelmä. Menetelmälle ei ole myöskään tehty Suomessa vertailumittauksia. Bentseenin ja myös yleisemmin hiilivetyjen mittaaminen DOASilla on vaikeaa, koska esim. bentseenin kanssa samalla aallonpituusalueella absorboi myös muita ilmakehässä esiintyviä kaasuja. Suomessa tehtyjen mittausten laadunvarmennuksesta tai kalibroinneista ei ole saatu yksityiskohtaisia tietoja. Suomessa tehtyjen DOAS-mittausten tuloksiin liittyykin runsaasti epävarmuuksia ja ne todennäköisesti merkittävästi yliarvioivat bentseenipitoisuuksia. DOAS-mittausten tuloksia ei näin ollen voitu hyödyntää alustavassa arvioinnissa.



Kuva 17. Bentseenipitoisuuden vuosikeskiarvot ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) DOAS-mittausten perusteella Haminassa ja Valkeakoskella (YAK=ylempi arviointikynnys, AAK=alempi arviointikynnys).

5.3 Leviämislaskelmien tulokset

Pääkaupunkiseutu

Pääkaupunkiseudulle tehtyjen autoliikenteen pakokaasupäästöjen leviämislaskelmien tulosten mukaan bentseenipitoisuuden vuosikeskiarvo alittaa sekä raja-arvon $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ että ylemmän arviointikynnyksen $3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ kaikkialla vuonna 2000. Alempi arviointikynnys voi ylittyä vilkkaimmin liikennöidyillä risteysalueilla sekä melko yleisesti ulosmenoteiden ja pääväylien varsilla. Korkeimmillaan saatiin bentseenipitoisuuden vuosikeskiarvoksi yksittäiseen laskentapisteeseen $3,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Yleensä vilkkailla teillä ja risteysalueilla bentseenipitoisuuden vuosikeskiarvo on tasoa

1,5–2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Laajoilla alueilla keskustassa ja sen ulkopuolella bentseenipitoisuuden vuosikeskiarvo jää alle 1,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Yksittäiset pistelähteet

Ilmatieteen laitoksella on tehty muutamille teollisuuslaitoksille sekä öljytuotevarastoille ja öljysatamalle leviämismallitutkimuksia, joissa on mallinnettu hiilivetypäästöjen aiheuttamia pitoisuuksia. Taulukkoon 7 on koottu yhteenveto muutaman eri vuosina tehtyjen hiilivetypäästöjen leviämismallitutkimuksen tuloksista. Taulukossa esitetään leviämislaskelmissa käytetyt kokonaishiilivetypäästöt ja tuloksena saadut suurimmat kokonaishiilivetypitoisuudet tehdasalueella ja tehtaan ympäristössä sijaitsevilla lähimmillä asuinalueilla. Kokonaishiilivetypitoisuuksista on karkeasti arvioitu luvussa 5.1 esitetyillä bentseeni-hiilivetysuhteilla vastaavat suurimmat pitoisuudet bentseenille.

Taulukko 7. Leviämislaskelmin saatuja erityyppisten teollisten toimintojen päästöjen aiheuttamia kokonaishiilivetypitoisuuden ja niistä arvioituja bentseenipitoisuuden vuosikeskiarvoja ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). A = päästölähteiden lähistölle muodostunut tutkimusalueen maksimipitoisuusarvo, B = läheisille asuinalueille muodostuneiden korkeimpien pitoisuuksien taso.

Päästölähde	VOC-päästöt (t/a)	Pitoisuuksien vuosikeskiarvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
		Hiilivedyt		Bentseeni	
		A	B	A	B
Öljynjalostamo, Naantali ¹	1650	250	20–50	2,5	0,2–0,5
Öljysatama, Helsinki ²	64	20	0,05–2	0,2	0,005–0,02
Öljytuotevarasto, Kuopio ³	72	30	2–5	0,3	0,02–0,05

1 = 143 päästölähdettä, päästökorkeudet 4–106 m

2 = 62 päästölähdettä, päästökorkeudet 5–15 m

3 = 5 päästölähdettä, päästökorkeudet 5–15 m

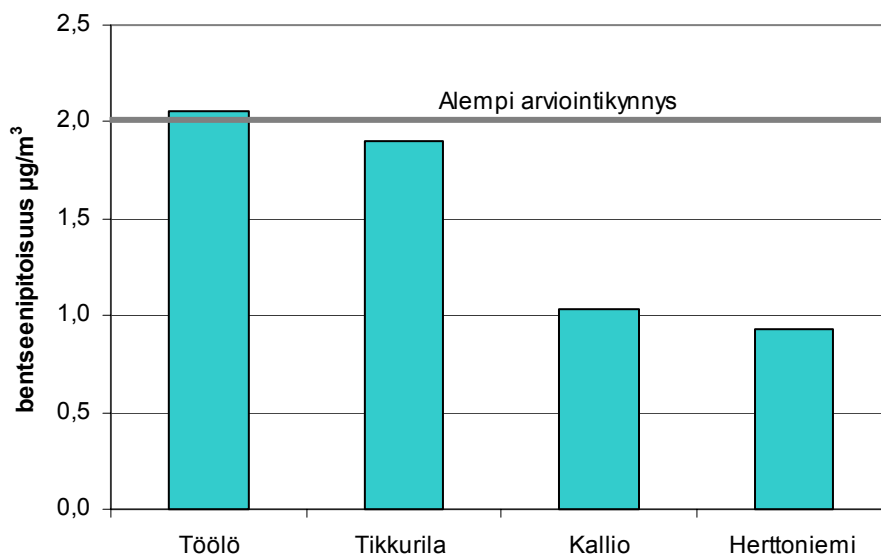
Taulukon 7 tiedoista on todettava, että pitoisuuksiin vaikuttavat merkittävästi päästö määrän lisäksi päästökorkeudet. Kaikissa taulukon 7 tutkimuksissa maksimipitoisuus muodostui tehdas- tai varastoalueelle. Öljynjalostamon päästöjen aiheuttamat suurimmat tehdasalueen bentseenipitoisuuden vuosikeskiarvot olisivat n. 2,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja öljysataman ja öljytuotevaraston selvästi alle 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Pitoisuuksien arvioinnin kannalta mielenkiintoisempia ovat kuitenkin tehdas- tai varastoalueen ulkopuolella esiintyvät pitoisuusarvot, joiden taso on maksimiarvoja selkeästi alhaisempi kaikissa taulukossa tarkastelluissa tapauksissa. Lähimmillä asuinalueilla öljynjalostamon päästöjen aiheuttamat bentseenipitoisuuden vuosikeskiarvot olisivat alle 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Öljysataman ja öljytuotevaraston päästöjen aiheuttamat bentseenipitoisuuden vuosikeskiarvot olisivat lähimmillä asuinalueilla alle 0,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tarkastellun öljynjalostamon päästöjen aiheuttamat bentseenipitoisuudet ylittäisivät siis arvion mukaan alemman arviointikynnyksen tehdasalueella, mutta ylempi arviointikynnys alittuisi tehdasalueellakin. Lähimmillä asuinalueilla alittuisi myös bentseenipitoisuuden alempi arviointikynnys. Öljysataman ja öljytuotevaraston päästöjen aiheuttamat bentseenipitoisuudet alittaisivat sekä varastoalueella että sen ulkopuolella selvästi alemman arviointikynnyksen.

5.4 Pitoisuudet suhteessa raja-arvoon ja arviointikynnyksiin

Arviointiajanjaksolla 1997–2001 Ilmatieteen laitoksen tausta-asemilla mitatut bentseenipitoisuuden vuosikeskiarvot olivat niin alhaisia, että raja-arvo ja arviointikynnykset alittuvat selvästi. Bentseenipitoisuus oli korkeimmillaankin alle puolet alemmalle arviointikynnykselle määritetystä pitoisuusarvosta.

Pääkaupunkiseudulla YTV on mitannut ilman bentseenipitoisuutta neljällä asemalla vuonna 2000 ja neljällä asemalla vuonna 2002. Alempi arviointikynnys $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ylittyi vuonna 2000 ainoastaan Töölön asemalla (kuva 18). Vuoden 2002 alkuvuoden mittaustulosten perusteella voidaan arvioida, että pitoisuudet alittavat myös vuonna 2002 Töölöä lukuun ottamatta alemman arviointikynnyksen. Töölössä pitoisuudet ovat olleet alkuvuonna 2002 hieman pienemmät kuin alkuvuonna 2000, mutta alempi arviointikynnys voi silti ylittyä myös vuonna 2002. Direktiivin mukaan arviointikynnysten ylittyminen tulisi kuitenkin määrittää viiden vuoden mittausaineistojen perusteella.



Kuva 18. Bentseenipitoisuuden vuosikeskiarvot pääkaupunkiseudulla vuonna 2000.

Pääkaupunkiseudun autoliikenteen päästöille tehtyjen leviämislaskelmien tulosten mukaan bentseenipitoisuuden vuosikeskiarvo ei ylittäisi raja-arvoa eikä ylempää

arviointikynnystä pääkaupunkiseudulla. Alempi arviointikynnys voi ylittyä vilkasliikenteisimmillä risteysalueilla sekä ulosmenoteiden varrella. Sen sijaan kantakaupungin alueella, laajalla alueella keskustaa ja sen ulkopuolella jäädään alemman arviointikynnyksen alapuolelle.

Pääkaupunkiseudun bentseenipäästöjen leviämislaskelmissa huomioitiin ainoastaan autoliikenteen pakokaasupäästöt. Muiden tutkimusalueella vapautuvien ja sinne kulkeutuvien päästöjen vaikutukset otettiin karkeasti huomioon koko tutkimusalueella samansuuruisena taustapitoisuutena. Noin 60 % Suomen bentseenipäästöistä aiheutuu tehdyn arvion mukaan puun pienpoltosta, kun autoliikenteen osuus on alle 20 %. Pääkaupunkiseudulla autoliikenteen osuus bentseenipäästöistä on todennäköisesti huomattavasti suurempi kuin keskimäärin Suomessa. Puun pienpolton päästöt voivat kuitenkin pääkaupunkiseudullakin vaikuttaa bentseenipitoisuuksiin etenkin Espoossa ja Vantaalla pientaloalueilla, joissa käytetään merkittävästi puuta kiinteistöjen ja saunojen lämmittämiseen. Puun pienpolton päästöt vapautuvat ulkoilmaan korkeammalta kuin autoliikenteen päästöt. Puun pienpolton päästöt vapautuvat ulkoilmaan pääsääntöisesti myös eri alueilla kuin pääosa autoliikenteen päästöistä. Autoliikenteen päästöjen vaikutukset ovat suurimmat Helsingin kantakaupungin alueella ja vilkkaiden liikenneväylien varsilla ja risteyksissä. Näillä alueilla ei puun pienpolton päästöt todennäköisesti merkittävästi vaikuta bentseenipitoisuuksiin. Voidaankin karkeasti arvioida, että vaikka puun pienpolton päästöt kohottavat bentseenipitoisuuksia esim. pääkaupunkiseudun laita-alueiden pientalovaltaisilla alueilla, bentseenipitoisuudet ovat näillä alueilla todennäköisesti pienempiä tai korkeintaan samaa suuruusluokkaa kuin voimakkaasti liikenteen kuormittamilla alueilla. Bentseenipitoisuudet alittavat siten todennäköisesti kaikkialla pääkaupunkiseudulla ylemmän arviointikynnyksen. Arvion tarkentamiseksi olisi kuitenkin suositeltavaa tehdä pääkaupunkiseudulle tarkempi päästöinventaario bentseenille, jossa on huomioitu myös puun pienpolton päästöt ja muut pistemäiset päästölähteet (mm. satamat ja bensiinin varastointi). Lisäksi olisi suositeltavaa päivittää tässä tutkimuksessa tehtyt leviämislaskelmat uusilla tarkennetuilla päästötiedoilla. Bentseenipitoisuusmittauksia olisi suositeltavaa tehdä myös alueilla, joissa puun pienpoltto on merkittävä päästölähde.

Pääkaupunkiseudulle tehtyjen mallilaskelmien tuloksista voidaan karkeasti arvioida bentseenipitoisuuden vuosikeskiarvojen taso myös muissa maamme kaupungeissa, etenkin keskusta-alueilla, joissa liikenteen päästöt vaikuttavat eniten pitoisuuksiin. Pienemmällä paikkakunnilla ja kaupungeissa alueilla, joissa ei ole kaukolämpöä, pitoisuuksiin vaikuttaa todennäköisesti merkittävästi myös puun pienpolton päästöt. Todennäköisesti näilläkin alueilla pitoisuuksien vuosikeskiarvot ovat kuitenkin pienempiä tai korkeintaan samaa suuruusluokkaa kuin liikenteen voimakkaasti kuormittamilla alueilla. Bentseenipitoisuusarviota olisi kuitenkin suositeltavaa tarkentaa muutamissa suurimmissa kaupungeissa ja valikoiduissa pienemmissä taajamissa leviämislaskelmin ja/tai pitoisuusmittauksin. Suositeltavia kohdekaupunkeja voisivat olla esim. Oulu, Tampere ja Kuopio, joista on saatavilla valmiina osa leviämislaskelmien lähtötiedoista.

Yksittäisten päästölähteiden (öljynjalostamo, öljysatama ja öljytuotevarasto) hiilivetypäästöille tehtyjen leviämislaskelmien tulosten perusteella voidaan arvioida, että tarkasteltujen kiinteiden lähteiden päästöjen aiheuttamat bentseenipitoisuudet alittavat selvästi tehdas- ja varastoalueiden ulkopuolella bentseenin raja-arvon ja

arviointikynnykset. Tehdasalueella pitoisuudet voivat kohota yli alemman arviointikynnyksen, mutta bentseenipitoisuuden raja-arvo todennäköisesti alittuu tehdasalueillakin. Bentseenipitoisuuden arvio perustuu kuitenkin varsin karkeaan arvioon päästöjen bentseeni-hiilivetyosuudesta eikä yksittäisten päästölähteidenkään hiilivetypäästöille saatikka bentseenipäästöille ole tehty vielä nykyisinkään maassamme kovin runsaasti leviämislaskelmia. Bentseenipitoisuusarvion tarkentamiseksi olisi suositeltavaa tehdä tarkemmat bentseenipäästöjen kartoitukset ja mallilaskelmat muutamalle suurimmalle bentseenipäästöjä tuottavalle laitokselle (mm. Porvoossa sijaitseva kemianalan teollisuuslaitos, Porvoon ja Naantalin öljynjalostamot sekä suurimmat satamat ja varastoalueet, joissa käsitellään ja varastoidaan öljytuotteita).

Esitettyjen arviointiajanjakson päästötietojen, mittaustulosten ja leviämislaskelmien tulosten perusteella sekä karkean asiantuntija-arvion perusteella voidaan arvioida, että bentseenipitoisuuden raja-arvo ja ylempi arviointikynnys alittuvat todennäköisesti kaikkialla Suomessa. Alempi arviointikynnys sen sijaan ylittyisi lähinnä liikenteen päästöjen vaikutuksesta suurimmissa kaupungeissa vilkkaasti liikennöidyillä alueilla, lähinnä vilkkaimmilla risteysalueilla. Arvion mukaan alempi arviointikynnys voisi ylittyä pääkaupunkiseudun lisäksi mm. Tampereella, Turussa, Oulussa, Lahdessa ja Kuopiossa. Puun pienpolton päästöt todennäköisesti kohottavat bentseenipitoisuuksia etenkin kaupunkien laita-alueilla ja pienemmillä paikkakunnilla, jotka eivät ole kaukolämmityksen piirissä. Karkean arvion mukaan bentseenipitoisuuksien vuosikeskiarvot olisivat näillä alueilla pienempiä tai korkeintaan samaa suuruusluokkaa kuin autoliikenteen kuormittamilla alueilla eli pitoisuudet alittaisivat selvästi raja-arvon, ylemmän arviointikynnyksen ja todennäköisesti myös alemman arviointikynnyksen. Teollisuuden, satamien tai varastoalueiden päästöjen aiheuttamat pitoisuudet ovat todennäköisesti suurimmillaankin tehdasalueiden ulkopuolella alle alemman arviointikynnyksen. Muutamilla tehdasalueilla ja niiden välittömässä läheisyydessä alempi arviointikynnys voi ylittyä, mutta todennäköisesti raja-arvo ja ylempi arviointikynnys alittuvat.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET, TUTKIMUSTARPEET JA SUOSITUKSET

Tässä tutkimuksessa on kerätty ja analysoitu ilmanlaadun alustavan arvioinnin tekemiseksi suurin osa Suomessa käytettävissä olevasta päästö-, mittaus- ja mallinnusaineistosta ilmanlaadun 2. tytärdirektiivin mukaisten epäpuhtauksien osalta. Aineiston perusteella tehtiin ilmanlaadun alustava arviointi hiilimonoksidille ja bentseenille. Hiilimonoksidin osalta arviointiin oli käytettävissä varsin hyvä aineisto alustavan arvioinnin luotettavalle tekemiselle. Teollisuuden laitospohjaisia päästötietoja oli kuitenkin varsin suppeasti saatavilla ja liikenteen päästöjen osalta kylmäkäynnistysten ja kylmänäajon alueellisesta ja ajallisesta jakautumisesta on vain vähän luotettavia arvioita eri kaupungeista.

Bentseenin osalta aineisto oli puutteellisempaa: mittausaineistoa on vähän ja mittauspaikat eivät välttämättä edusta korkeimpia pitoisuuksia. Lisäksi bentseenin päästöistä on saatavissa hyvin vähän tietoja. Suomessa ei arvioida vuosittain bentseenipäästöjä. Alustavan arvioinnin yhteydessä arvioitiin ensimmäistä kertaa Suomen bentseenipäästöt. Alustavan arvioinnin luotettavuuden parantamiseksi

arvioinnin yhteydessä tehtiin lisäksi hiilimonoksidille ja bentseenille leviämismallinnukset pääkaupunkiseudun alueelle.

Hiilimonoksidi

Arviointia varten oli käytettävissä VTT:n arvioimat liikenteen kunnittaiset päästötiedot ja SYKEN kokonaispäästötiedot, pitoisuusmittaustuloksia pääkaupunkiseudun lisäksi 11 kaupungista sekä leviämismallinnuksen tulokset pääkaupunkiseudulle ja muutamille yksittäisille päästölähteille. Pitoisuusmittaustuloksia oli saatavilla useista kaupungeista koko viiden vuoden arviointiajanjaksolta. Pääkaupunkiseudun mallinnustuloksia voidaan lisäksi hyödyntää arvioitaessa kaupunkialueiden hiilimonoksidipitoisuuksia myös laajemmalti Suomessa.

Tieliikenne aiheuttaa miltei puolet ja muu liikenne hiukan yli 20 % Suomen hiilimonoksidipäästöistä. Alueellisesti hiilimonoksidipäästöt painottuvat Etelä-Suomeen ja suuriin kaupunkeihin, joissa tieliikenne vastaa valtaosasta päästöjä. Näillä alueilla hiilimonoksidipitoisuudet aiheutuvatkin pääasiassa tieliikenteen päästöistä. Muutamissa kunnissa teollisuuden osuus voi olla varsin merkittävä kokonaispäästöistä, mutta näissäkkin kunnissa pitoisuudet aiheutuvat pääasiassa autoliikenteen päästöistä.

Kaupunkien hiilimonoksidipitoisuudet ovat pienentyneet selvästi 1990-luvun aikana liikenteen hiilimonoksidipäästöjen vähenemisen myötä. Hiilimonoksidipitoisuuden 8 tunnin keskiarvolle määritetty raja-arvo 10 mg/m^3 ylittyi muutamilla asemilla vielä 1990-luvun alkupuolella. Arviointiajanjaksolla 1997–2001 raja-arvo 10 mg/m^3 ei ylittynyt enää yhdelläkään asemalla. Ylempi arviointikynnys 7 mg/m^3 ylittyi arviointiajanjakson aikana yksittäisinä vuosina muutamilla suurimpien kaupunkien liikenneasemilla ja alempi arviointikynnys lisäksi muutaman pienemmänkin kaupungin liikenneasemalla.

Alustavassa arvioinnissa arviointikynnys katsotaan ylitetyksi, kun mitattu pitoisuus ylittää kolmena vuotena viidestä arviointikynnykselle määritetyn lukuarvon. Em. määritelmän mukainen ylempi arviointikynnys ei ylittynyt yhdelläkään asemalla arviointiajanjaksolla 1997–2001. Alempi arviointikynnys ylittyi sen sijaan mittaustulosten mukaan Jyväskylässä, Oulussa, Porissa, Turussa ja Vaasassa.

Tehtyjen leviämismallien tulosten mukaan hiilimonoksidipitoisuus ei ylittäisi raja-arvoa eikä ylempää arviointikynnystä pääkaupunkiseudulla. Alempi arviointikynnys voi ylittyä ulosmenoväylille johtavilla, vilkkaimmilla risteysalueilla. Pääkaupunkiseudun autoliikenteen päästöjen leviämismallinnukset on tehty vuoden 2000 päästötiedoilla ja meteorologisilla tiedoilla. Vuonna 2000 oli ilmanlaadun kannalta suhteellisen edulliset meteorologiset olosuhteet, minkä ansiosta myös hiilimonoksidipitoisuudet olivat alhaisempia kuin arviointiajanjakson aikana keskimäärin.

Yksittäisten kiinteiden lähteiden päästöille tehtyjen mallilaskelmien tulosten mukaan mm. energiantuotannon, teollisuuden, laivaliikenteen ja paikoitushallien päästöjen aiheuttamat hiilimonoksidipitoisuudet alittavat selvästi alemman arviointikynnyksen.

Arviointiajanjakson päästötietojen, mittaustulosten ja leviämislaskelmien tulosten perusteella voidaan arvioida, että hiilimonoksidipitoisuuden raja-arvo alittuu selvästi

kaikkialla Suomessa. Myös ylempi arviointikynnys alittuu kaikkialla, kun ylittymisen kriteerinä käytetään arviointikynnyksen ylittymistä kolmena vuotena viidestä. Ylemmän arviointikynnyksen numeroarvon ylittyminen olisi mahdollista yksittäisinä vuosina pienillä alueilla suurimpien kaupunkien vilkkaasti liikennöidyillä keskusta-alueilla, lähinnä risteysalueilla ja vilkkaimpien teiden varsilla. Alemmpi arviointikynnys sen sijaan ylittyisi suurimmissa kaupungeissa vilkkaasti liikennöidyillä alueilla. Pohjoisessa alempi arviointikynnys ylittyy suhteellisesti pienemmissä kaupungeissa kuin etelämpänä. Arvion mukaan alempi arviointikynnys voisi ylittyä ainakin seuraavissa kaupungeissa: pääkaupunkiseutu, Tampere, Turku, Oulu, Lahti, Kuopio, Pori, Jyväskylä, Vaasa, Joensuu ja Rovaniemi.

Hiilimonoksidipitoisuuksien arvioinnin luotettavuutta voitaisiin parantaa tekemällä leviämisselvitys pääkaupunkiseudun lisäksi muutamalle muulle kaupungille. Suositeltavia kaupunkeja olisivat ensivaiheessa Turku, Tampere ja Lahti sekä pohjoisen sijaintinsa vuoksi Oulu, Vaasa ja Rovaniemi. Leviämislaskelmien luotettavuutta olisi syytä edelleen parantaa tarkentamalla kylmänäajon ja kylmäkäynnistysten päästöjen alueellisen ja ajallisen vaihtelun käsittelyä.

Alustavan arvioinnin tulosten mukaan hiilimonoksidipitoisuuksien seurantaan voitaisiin käyttää kaikilla seuranta-alueilla suuntaa-antavia mittauksia täydennettynä mallintamistekniikoilla tai muutamilla seuranta-alueilla pelkästään mallintamistekniikoita ja objektiivista arviointia. Koska hiilimonoksidipitoisuudet saattavat Suomessa kuitenkin yksittäisinä vuosina etenkin talvisaikaan kohota yli ylemmän arviointikynnyksen, olisi suositeltavaa jatkaa hiilimonoksidipitoisuuksien mittaamista ainakin yhdellä kiinteällä liikenneasemalla suurimmissa kaupungeissa (pääkaupunkiseutu, Turku, Tampere, Lahti, Kuopio, Oulu ja Vaasa). Muilla alueilla hiilimonoksidipitoisuuden seurantaan voitaisiin käyttää suuntaa-antavia mittauksia ja leviämismallilaskelmia. Mm. Lapin ja Pohjois-Karjalan ympäristökeskuksen alueella ei nykyisin mitata hiilimonoksidipitoisuuksia. Koska alemman arviointikynnyksen arvioitiin mahdollisesti ylittyvän Rovaniemellä ja Joensuussa, olisi hiilimonoksidille suositeltavaa tehdä leviämismallinnus ja/tai suuntaa-antavia pitoisuusmittauksia näissä kaupungeissa.

Bentseeni

Bentseenipitoisuuksien arvioimiseksi oli käytettävissä VTT:n arvioimat liikenteen kunnittaiset ja SYKEN arvioimat koko Suomen päästötiedot hiilivedyille. Varsinaisia bentseenipäästöarvioita ei ollut käytettävissä. VAHTI-järjestelmästä oli saatavilla muutaman yksittäisen teollisuuslaitoksen päästötiedot, mutta valtaosasta laitoksista bentseenipäästöjä ei ole arvioitu erikseen vaan ne sisältyvät kokonaishiilivetyypäästöihin. Suomen bentseenipäästöt arvioitiin alustavan arvioinnin yhteydessä karkeasti lähderyhmittäin hiilivetyypäästöistä päästölähdekarakterisointimittausten tuloksista saaduilla bentseeni-hiilivetyosuuksilla.

Myös bentseenipitoisuuksien mittauksia on tehty Suomessa varsin vähän. Alustavassa arvioinnissa voitiin hyödyntää ainoastaan Ilmatieteen laitoksen kahden tausta-aseman tuloksia, joita oli saatavilla koko arviointiajanjaksolta. Lisäksi voitiin hyödyntää pääkaupunkiseudulla seitsemällä eri paikalla kahden vuoden aikana tehtyjen mittausten tuloksia. Alustavaa arviointia varten arvioitiin leviämismallilla lisäksi

pääkaupunkiseudun autoliikenteen päästöjen ja muutaman yksittäisen päästölähteen aiheuttamia bentseenipitoisuuksia.

Suomen bentseenipäästöt olivat vuonna 2000 alustavan arvion mukaan noin 8 300 tonnia. Suurimman osan Suomen bentseenipäästöistä aiheuttaa puun pienpoltto, jonka osuus bentseenipäästöistä on noin 5 000 t/a eli noin 60 % kokonaispäästöistä. Tieliikenteen osuus Suomen bentseenipäästöistä on noin 20 % ja muun liikenteen ja työkonien noin 10 %.

Ilmatieteen laitosten taustailmanlaadun mittausten mukaan bentseenipitoisuudet alittavat Suomen tausta-alueilla selvästi alemman arviointikynnyksen. Pääkaupunkiseudulla tehtyjen mittausten ja autoliikenteen päästöjen leviämislaskelmien tulosten mukaan bentseenipitoisuudet alittavat pääkaupunkiseudulla selvästi raja-arvon ja ylemmän arviointikynnyksen. Alempi arviointikynnys ylittyi mittauksissa ainoastaan Helsingin Töölössä. Leviämislaskelmien tulosten mukaan alempi arviointikynnys ylittyisi vilkkaimmin liikennöidyillä risteysalueilla sekä vilkkaiden ulosmenoteiden varilla. Mm. laajoilla alueilla Helsingin keskustassa alempi arviointikynnys alittuisi.

Päästötietojen, mittaustulosten ja leviämislaskelmien tulosten perusteella voidaan arvioida, että bentseenipitoisuuden raja-arvo ja ylempi arviointikynnys alittuvat todennäköisesti kaikkialla Suomessa. Alempi arviointikynnys sen sijaan ylittyisi lähinnä liikenteen päästöjen vaikutuksesta suurimmissa kaupungeissa vilkkaasti liikennöidyillä alueilla, lähinnä vilkkaimmilla risteysalueilla. Arvion mukaan alempi arviointikynnys voisi ylittyä pääkaupunkiseudun lisäksi ainakin Tampereella, Turussa, Oulussa, Lahdessa ja Kuopiossa. Puun pienpolton päästöt todennäköisesti kohottavat bentseenipitoisuuksia etenkin kaupunkien laita-alueilla ja pienemmillä paikkakunnilla, jotka eivät ole kaukolämmityksen piirissä. Bentseenipitoisuudet alittavat kuitenkin todennäköisesti alemman arviointikynnyksen näillä alueilla. Teollisuuden, satamien tai varastoalueiden päästöjen aiheuttamat pitoisuudet ovat todennäköisesti suurimmillaankin tehdasalueiden ulkopuolella alle alemman arviointikynnyksen. Tehdasalueilla alempi arviointikynnys voi ylittyä, mutta todennäköisesti raja-arvo ja ylempi arviointikynnys alittuvat.

Bentseenipitoisuuksien arviointia olisi suositeltavaa tarkentaa tekemällä Suomelle yksityiskohtaisempi bentseenin päästöinventaario. Bentseenipäästöjen arviointi tulisi tulevaisuudessa sisällyttää erikseen myös vuosittain päivitettäviin VTT:n liikenteen päästöarvioihin ja SYKEN koko maan päästötietoihin. Myös kokonais-VOC päästöarvioita olisi suositeltavaa tarkentaa etenkin puun pienpolton osalta. Lisäksi olisi suositeltavaa tehdä tarkempia päästöinventaarioita ainakin pääkaupunkiseudulle ja tärkeimpiin teollisuuslaitoksiin.

Bentseenipitoisuusarviota olisi suositeltavaa tarkentaa muutamissa suurimmissa kaupungeissa ja valikoiduissa pienemmissä taajamissa leviämislaskelmin ja/tai pitoisuusmittauksin. Pääkaupunkiseudun mallilaskelmat olisi suositeltavaa uusia tarkennetuilla päästötiedoilla, joissa olisivat mukana myös puun pienpolton ja tärkeimpien pistelähteiden päästöt. Lisäksi suositeltavia kohdekaupunkeja bentseenipäästöjen leviämismallilaskelmille ja pitoisuusmittauksille olisivat esim. Oulu, Tampere ja Kuopio, joista on saatavilla valmiina osa leviämislaskelmien lähtötiedoista. Myös suurimpien yksittäisten kiinteiden lähteiden bentseenipäästöille olisi suositeltavaa

tehdä leviämismallilaskelmat. Kyseeseen tulisivat ensisijaisesti Porvoossa sijaitseva kemianalan tehdas sekä Porvoon ja Naantalin öljynjalostamot sekä suurimmat satamat ja varastoalueet, joissa käsitellään ja varastoidaan öljytuotteita.

Alustavan arvioinnin tulosten mukaan bentseenipitoisuudet siis alittavat ylemmän arviointikynnyksen, mutta todennäköisesti ylittävät alemman arviointikynnyksen kaikkien kolmen seuranta-alueen alueella. Bentseenipitoisuuksien seurantaan voidaan siis käyttää jokaisella seuranta-alueella suuntaa-antavia mittauksia täydennettynä mallintamistekniikoilla. Pääkaupunkiseudulla on jo tehty sekä pitoisuusmittauksia että leviämismallilaskelmia, mutta muilla kahdella seuranta-alueella ei ole tehty riittäviä pitoisuusmittauksia eikä mallilaskelmia.

VIITELUETTELO

AAKKO, P., PENTIKÄINEN, J., 1998. Exhaust emissions measurements of gasoline fuelled engines and vehicles with on-line FTIR technique. VTT Energy, Engine Technology. Mobile 124Y-8. Finland, 31 p.

BENSON, P., 1984. CALINE 4 – a dispersion model for predicting air pollutant concentrations near roadways. FHWA/CA/TL-84/15, California Department of Transportation, Sacramento.

BRIGGS, G.A., 1975. Plume rise predictions. Teoksessa: HAUGEN, D.A. (toim.), Lectures on air pollution and environmental impact analysis. American Meteorological Society, s. 59–111.

BRIGGS, G.A., 1984. Plume rise and buoyancy effects. Teoksessa: SANDERSON, D. (toim.), Atmospheric Science and Power Production. US Dept. of Energy DOE/TIC-27601, s. 327–366.

BUSINGER, J.A., WYNGAARD, J.C. IZUMI, Y. & BRADLEY, E.F., 1971. Flux-profile relations in the atmospheric surface layer. *J. Atmos. Sci.* 28, s. 181–189.

CAUGHEY, S.J., WYNGAARD, J.C. & KAIMAL, J.C., 1979. Turbulence in the evolving stable boundary layer. *J. Atmos. Sci.*, 36, s. 1041–1052.

EMEP 2002. <http://webdab.emep.int>

HAKOLA, H., HELLÉN, H. & LAURILA, T., 2000. Bentseenipitoisuuksien mittaus pääkaupunkiseudulla vuonna 2000 – Loppuraportti, Ilmatieteen laitos, ilmanlaatu.

HANNA, S.R., 1985. Air quality modeling over short distances. Teoksessa: HOUGHTON, D.D. (toim.), Handbook of Applied Meteorology, University of Wisconsin.

HELLÉN, H. (2000). Ilman bentseenipitoisuuksien määrittäminen pääkaupunkiseudulla. Erikoistyöselostus, Analyttisen kemian laboratorio. 39 s.

HELLÉN, H., HAKOLA, H., LAURILA, T., 2002a. Determination of source contributions of NMHCs in Helsinki (60°N, 25°E) using chemical mass balance and multivariate receptor models. Submitted to Atmospheric Environment.

HELLÉN, H., HAKOLA, H., LAURILA, T., HILTUNEN, V., KOSKENTALO, T., 2002b. Aromatic hydrocarbon and methyl *tert*-butyl ether measurements in ambient air of Helsinki (Finland) using diffusive samplers. *The Science of the Total Environment* 298, s. 55–64.

HOLTSLAG, A.A.M., 1984. Estimates of diabatic wind speed profiles from near surface weather observations. *Bound.-Layer Meteorol.* 29, s. 225–250.

KARPPINEN, A., KUKKONEN, J., NORDLUND, G., RANTAKRANS, E., VALKAMA, I., 1998. A dispersion modelling system for urban air pollution. *Ilmansuojelun julkaisu* 28, Ilmatieteen laitos, Helsinki.

KARPPINEN, A., KUKKONEN, J., ELOLÄHDE, T., KONTTINEN, M., KOSKENTALO, T. & RANTAKRANS, E., 2000 a. A modelling system for prediction urban air pollution. Model description and applications in the Helsinki metropolitan area. *Atmos. Environ.* 34:22, s. 3723–3733.

KARPPINEN, A., KUKKONEN, J., ELOLÄHDE, T., KONTTINEN, M. & KOSKENTALO, T., 2000 b. A modelling system for predicting urban air pollution. Comparison of model predictions with the data of an urban measurement network. *Atmos. Environ.* 34:22, s. 3735–3743.

KARPPINEN, A., 2001. Meteorological pre-processing and atmospheric dispersion modeling of urban air quality and applications in the Helsinki metropolitan area. Contributions 33, Finnish Meteorological Institute, Helsinki.

KOKKO, J., 1997. Comparison of FTP and ECE emission tests with gasoline cars. Neste Oy, Oil Research, Engine Laboratory. Mobile 124Y-1. Finland, 59 p.

LAPPI, M., 1999. Harmonization of measuring methods of unregulated exhaust emissions from passenger cars. Results of the Round Robin tests. Final Report. VTT Energy, Engine Technology. Mobile 232T. Finland, 50 p.

LAURILA, T., & HAKOLA, H., 1996. Seasonal cycle of C₂–C₅ hydrocarbons over the Baltic Sea and Northern Finland. *Atmos. Environ.* 30. 1597–1607.

LUHAR, K. L. & PATIL, R. S., 1989. A general finite line source model for vehicular pollution prediction. *Atmos. Environ.* 23, 555–562.

MÄKELÄ, K., KANNER, H., & LAURIKKO, J., 1999. Suomen tieliikenteen pakokaasupäästöt LIISA 1998 – laskentajärjestelmä. VTT Yhdyskuntatekniikka, tutkimusraportti 504. Espoo.

MÄKELÄ, K. 2002. Tieliikenteen päästöjen laskentajärjestelmän uudistus. Esitelmä, 27. Ilmansuojelupäivät, 20.–21.8.2002, Lappeenranta.

MÄKELÄ, K., TUOMINEN, A., PÄÄKKÖNEN, E., 2002a. Suomen liikenteen päästöjen laskentajärjestelmä LIPASTO 2001. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Tutkimusraportti RTE 3164/02. Espoo.

MÄKELÄ, K., TUOMINEN, A., PÄÄKKÖNEN, E., 2002b. Suomen rautatieliikenteen päästöjen laskentajärjestelmä RAILI 2001. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Tutkimusraportti RTE 3165/02. Espoo.

MÄKELÄ, K., TUOMINEN, A., PÄÄKKÖNEN, E., 2002c. Suomen vesiliikenteen päästöjen laskentajärjestelmä MEERI 2001. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Tutkimusraportti RTE 3166/02. Espoo.

MYLLYNEN, M., 1995. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) päästöt pääkaupunkiseudulla. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1995:19. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta (YTV), Helsinki.

LIISA 2001.1. Suomen tieliikenteen pakokaasupäästöjen laskentajärjestelmä. LIISA 2001.1 tulokset. Kari Mäkelä, VTT Rakennus ja yhdyskuntatekniikka, Espoo. <http://lipasto.vtt.fi/lipasto/liisa/>.

PIETARILA, H., PESONEN, R., RASILA, T. & RANTAKRANS, E., 1997. Turun seudun ilmanlaatu tutkimus. Ilmatieteen laitos, ilmanlaatu, Helsinki.

PIETARILA, H., RASILA, T., RANTAKRANS, E. & PESONEN, R., 2000. Keskustatunnelin ilmanlaatuvaikutukset. Hiilimonoksidi- ja typenoksidipäästöjen leviämiselvitys. Ilmatieteen laitos, ilmanlaatu, Helsinki.

PIETARILA, H. & VARJORANTA, R. 2001. Kuopion typenoksidipäästöjen leviämislaskelmat. Ilmatieteen laitos, ilmanlaadun tutkimus, Helsinki.

PIETARILA, H., SALMI, T., SAARI, H. & PESONEN, R., 2001a. Ilmanlaadun alustava arviointi Suomessa – Rikkidioksidi, typen oksidit, PM₁₀ ja lyijy. Ilmatieteen laitos, ilmanlaadun tutkimus, Helsinki.

PIETARILA, H., SALMI, T., SAARI, H. & PESONEN, R., 2001b. Ilmanlaadun alustava arviointi Suomessa – Aluejako. Ilmatieteen laitos, ilmanlaadun tutkimus, Helsinki.

RANTAKRANS, E., 1990. Uusi menetelmä meteorologisten tietojen soveltamiseksi ilman epäpuhtauksien leviämismalleissa. *Ilmansuojelu-uutiset* 1/90, s. 18–20.

RASILA, T., PIETARILA, H., VARJORANTA, R. & SAVUNEN, T., 2000. Typenoksidipäästöjen leviämislaskelmat Oulussa. Ilmatieteen laitos, ilmanlaadun tutkimus, Helsinki.

SAARINEN, 2002. Päästötietojen tuottamisesta ja raportoinnista. Esitelmä Lappeenrannan ilmansuojelupäivillä 21.8.2002. Kristiina Saarinen, Suomen ympäristökeskus.

SAVOLA, M. & VIINIKAINEN, M., 1995. Lentoliikenteen päästöt Suomessa. MOBILE Liikenteen ja energiankäytön ja ympäristövaikutusten tutkimusohjelma, raportti MOBILE 212Y-1. Ilmailulaitos, lennonvarmistusosasto, järjestelmätoimisto, raportti A21/95. Vantaa.

SALMI, J., PIETARILA, H., RASILA, T., 2002. Tampereen seudun typenoksidipäästöjen leviämislaskelmat vuosille 2000 ja 2002. Ilmatieteen laitos, ilmanlaadun tutkimus, Helsinki.

SYKE, 2001. UNECE convention on long range transboundary air pollution. Revised Finnish Non Methane Volatile Organic Compound Emissions Time Series for the Years

1988 – 1999 with Information on the Emission Sources and Calculation Methods. Documentation of the calculation. Helsinki 15th August 2001.

SYKE, 2002a. National emissions: Main Pollutants, Particulate Matter and Heavy Metals. Reporting of year 2000 emissions. 21 February 2002.

SYKE, 2002b. Hiilimonoksidi- ja NMVOC-päästöjen alueellinen jakautuminen UNECE:n kaukokulkeutumisopimuksen EMEP-ohjelman karttamallin mukaisella aluejaolla Suomessa vuonna 2000. SYKE/IPTJ.

SYKE, 2002c. VAHTI-järjestelmän tiedot vuodelta 2000. 13.5.2002.

VARJORANTA, R., PIETARILA, H. & HAARALA, S., 1999. Energiantuotannon, teollisuuden ja autoliikenteen rikkidioksidi- ja typenoksidipäästöjen vaikutukset Porin ilmanlaatuun. Ilmatieteen laitos, ilmanlaatu. Helsinki.

Vna 711/2001. Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta. Annettu Helsingissä 9.8.2001.

WRATT, D.S., 1987. An experimental investigation of some methods of estimating turbulence parameters for use in dispersion models. *Atmos. Environ.* 21:12, s. 2599–2608.

YTV, 2001. Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2000. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 2001: 3.

96/62/EY. Neuvoston direktiivi ilmanlaadun arvioinnista ja hallinnasta. Annettu 27.9.1996.

97/101/EY. Neuvoston päätös ilman epäpuhtauksia mittaavien jäsenvaltioiden mittausasemaverkostojen ja yksittäisten mittausasemien tietojenvaihtojärjestelmän käyttöönottamisesta. Tehty 27.1.1997.

1999/30/EY. Neuvoston direktiivi ilmassa olevien rikkidioksidin, typpidioksidin ja typen oksidien, hiukkasten ja lyijyn pitoisuuksien raja-arvoista. Annettu 22.4.1999.

2000/69/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi ilmassa olevan bentseenin ja hiilimonoksidin pitoisuuksien raja-arvoista. Annettu 16.11.2000.

2001/752/EY. Komission päätös ilman epäpuhtauksia mittaavien jäsenvaltioiden mittausasemaverkostojen ja yksittäisten mittausasemien tietojenvaihtojärjestelmän käyttöönottamisesta tehdyn neuvoston päätöksen 97/101/EY liitteiden muuttamisesta. Tehty 17.10.2001.

LIIETTEET

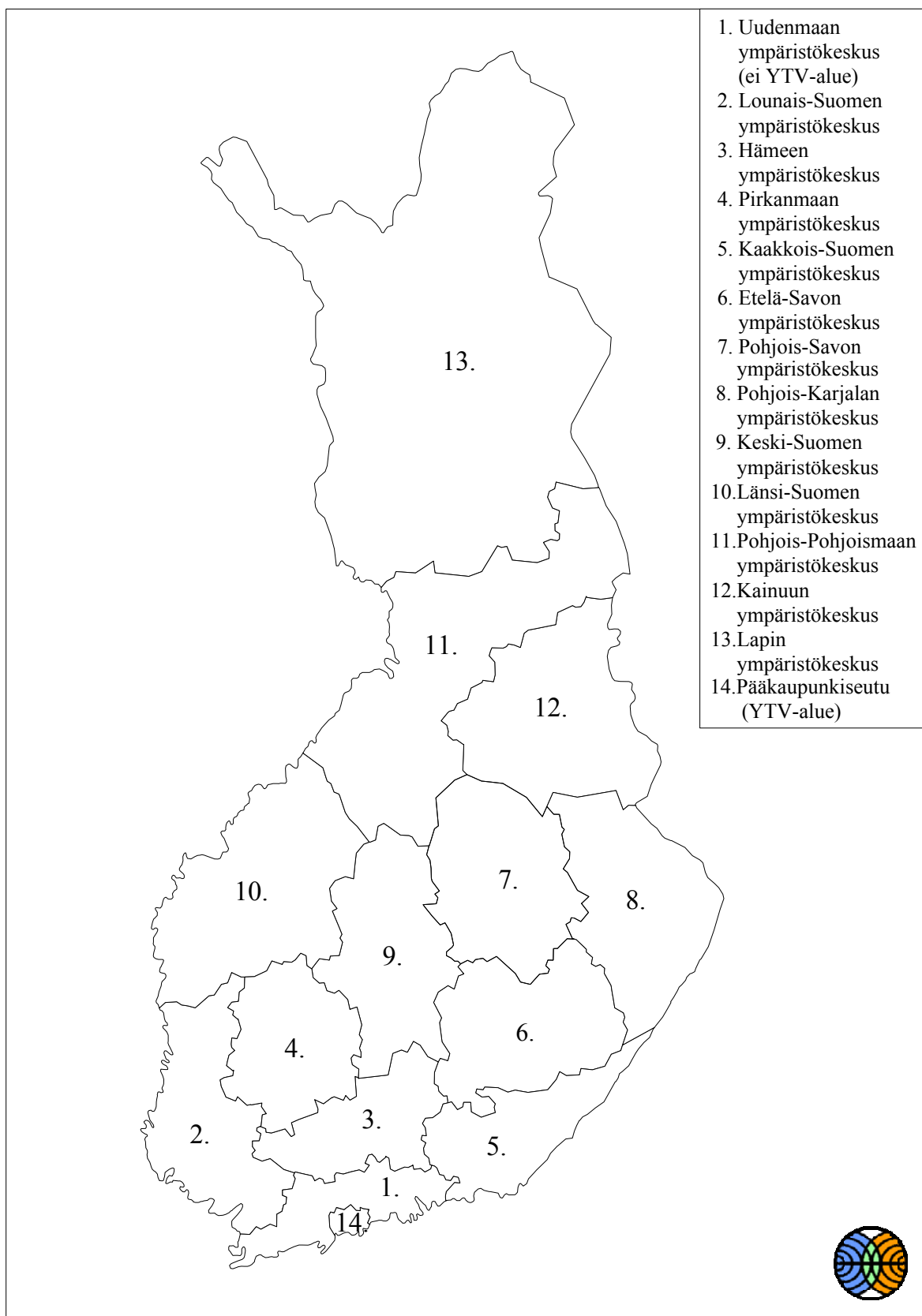
LIITE 1. Hiilimonoksidin ja bentseenin seuranta-alueiden pinta-ala (m²) ja asukasluku 1.1.2001.

Seuranta-alueet	Pinta-ala (km ²)	Asukasluku
Hiilimonoksidin seuranta-alueet		
1. Uudenmaan ympäristökeskus (ei YTV-alue)	8 369,5	443572
2. Lounais-Suomen ympäristökeskus	18 915,0	685601
3. Hämeen ympäristökeskus	10 336,5	363165
4. Pirkanmaan ympäristökeskus	12 605,7	450745
5. Kaakkois-Suomen ympäristökeskus	10 780,0	323726
6. Etelä-Savon ympäristökeskus	14 435,7	166082
7. Pohjois-Savon ympäristökeskus	16 509,7	251231
8. Pohjois-Karjalan ympäristökeskus	17 782,2	170793
9. Keski-Suomen ympäristökeskus	16 249,0	264762
10. Länsi-Suomen ympäristökeskus	26 418,1	438473
11. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus	35 291,6	368029
12. Kainuun ympäristökeskus	21 567,0	88473
13. Lapin ympäristökeskus	93 066,5	189288
14. Pääkaupunkiseutu (YTV-alue)	743,1	964953
Bentseenin seuranta-alueet		
1. Pääkaupunkiseutu (YTV-alue)	743,1	964953
2. Etelä-Suomen seuranta-alue	118 109,5	3136126
3. Pohjois-Suomen seuranta-alue	184 217,0	1067814

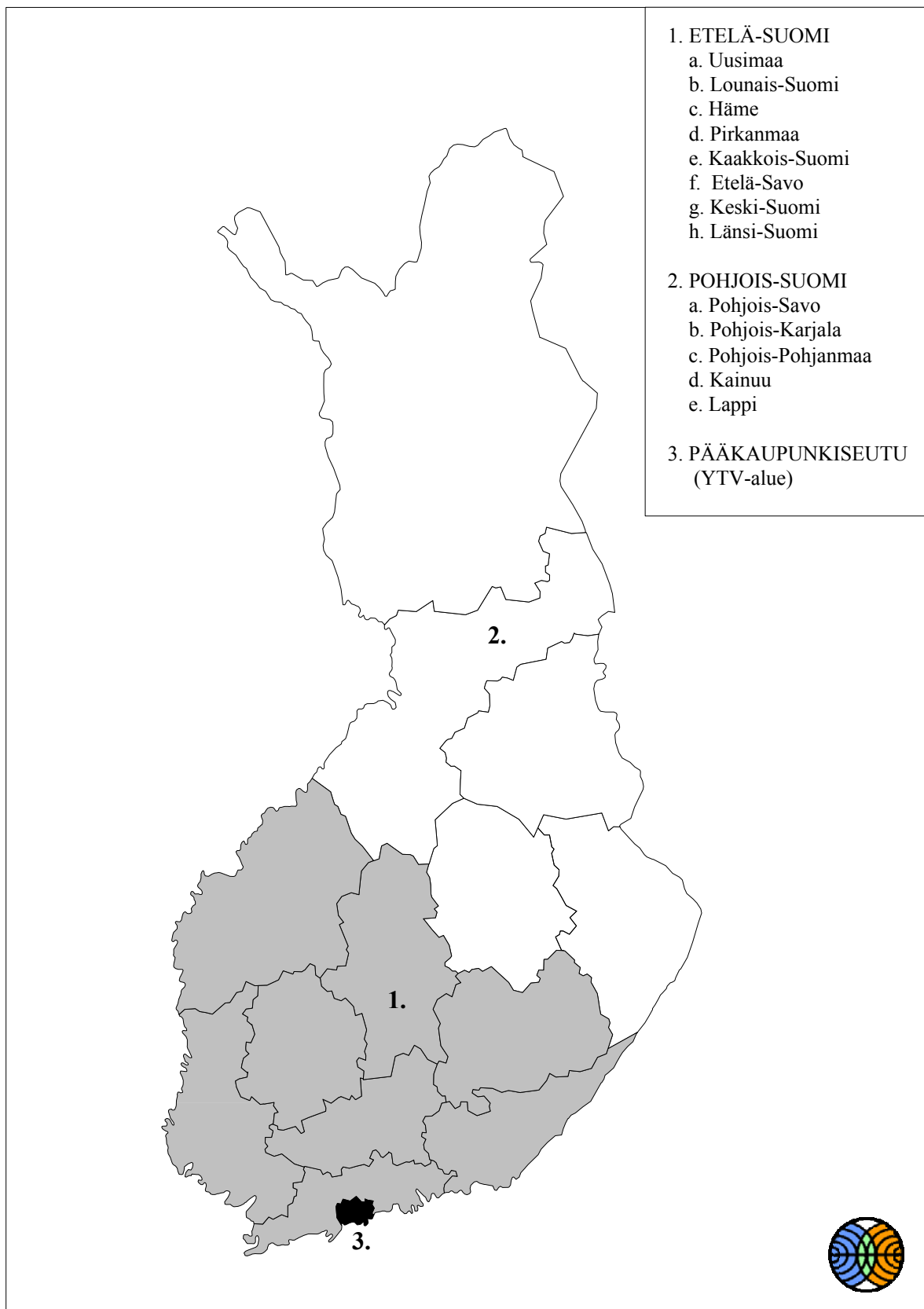
LIITE 2. Tietoja hiilimonoksidipitoisuuden mittauspaiakoista.

Mittauspaikan sijaintikunta	Mittauspaikan nimi	Aseman tyyppi	Etäisyys tien tai kadun reunasta (m)	Liikennemäärä (KVL) 50 m säteellä	Mittaus alkanut	Mittaus päättynyt
ESPOO	Leppävaara 2	kaupunki-liikenne	30	44500	1.1.1996	
ESPOO	Mankkaa	esikaupunki-liikenne	5	21600	2.1.1998	31.12.1998
ESPOO	Tapiola 3	esikaupunki-liikenne	50	58000	5.1.1999	31.12.1999
HELSINKI	Herttoniemi	esikaupunki-liikenne	50	47000	1.2.1999	30.12.1999
HELSINKI	Kamppi	kaupunki-liikenne	5	26000	1.1.1998	28.12.1998
HELSINKI	Runeberginkatu	kaupunki-liikenne	1	26000	1.1.1997	31.12.1997
HELSINKI	Töölö	kaupunki-liikenne	2	48000	1.1.1985	
HELSINKI	Vallila 1	kaupunki-liikenne	12	13000	1.1.1988	
HÄMEENLINNA	Raatihuoneenkatu	kaupunki-liikenne	2	9500	10.1.1997	31.12.2001
JYVÄSKYLÄ	Lyseo	kaupunki-liikenne	10	12300	1.3.1988	23.2.2000
JYVÄSKYLÄ	Lyseo 2	kaupunki-liikenne	25	12300	24.2.2000	
JYVÄSKYLÄ	Palokka 2	esikaupunki-tausta			1.4.2000	
KAARINA	Kaarinan keskusta	kaupunki-liikenne	5	9000	1.1.2001	
KAUNIAINEN	Kauniainen 2	kaupunki-liikenne	5	14100	1.1.2000	31.12.2000
KOKKOLA	Keskusta, Pitkäsillankatu	kaupunki-liikenne	15	8000	1.1.1998	
KUOPIO	Kuopion keskusta 2	kaupunki-tausta			1.1.1994	
LAHTI	Vesku 11	kaupunki-liikenne	10	29000	31.5.1990	
OULU	Oulun keskusta	kaupunki-liikenne	7	14000	19.1.1988	8.12.1997
OULU	Oulun keskusta 2	kaupunki-liikenne	5	14000	10.12.1997	
PORI	Itätulli	kaupunki-liikenne	3	20000	1.7.1994	
TAMPERE	Linnainmaa	esikaupunki-liikenne	20	9500	1.2.2001	
TAMPERE	Raatihuone	kaupunki-liikenne	5	15000	1.4.1992	
TAMPERE	Rantaperkiö	esikaupunki-liikenne	22	17500	20.5.1999	30.9.2000
TURKU	Aninkaistenkatu	kaupunki-liikenne	6	37500	18.12.1991	
VAASA	Maasilta	kaupunki-liikenne	5	25000	1.12.1992	31.8.2001
VAASA	Vaasanpuistikko	kaupunki-liikenne	4	16000	1.9.2001	
VANTAA	Hakunila	esikaupunki-tausta			17.4.1997	28.12.1998
VANTAA	Tikkurila 3	esikaupunki-liikenne	25	14500	1.1.1996	
VANTAA	Vantaankoski	kaupunki-liikenne	20	43400	6.1.2001	27.12.2001

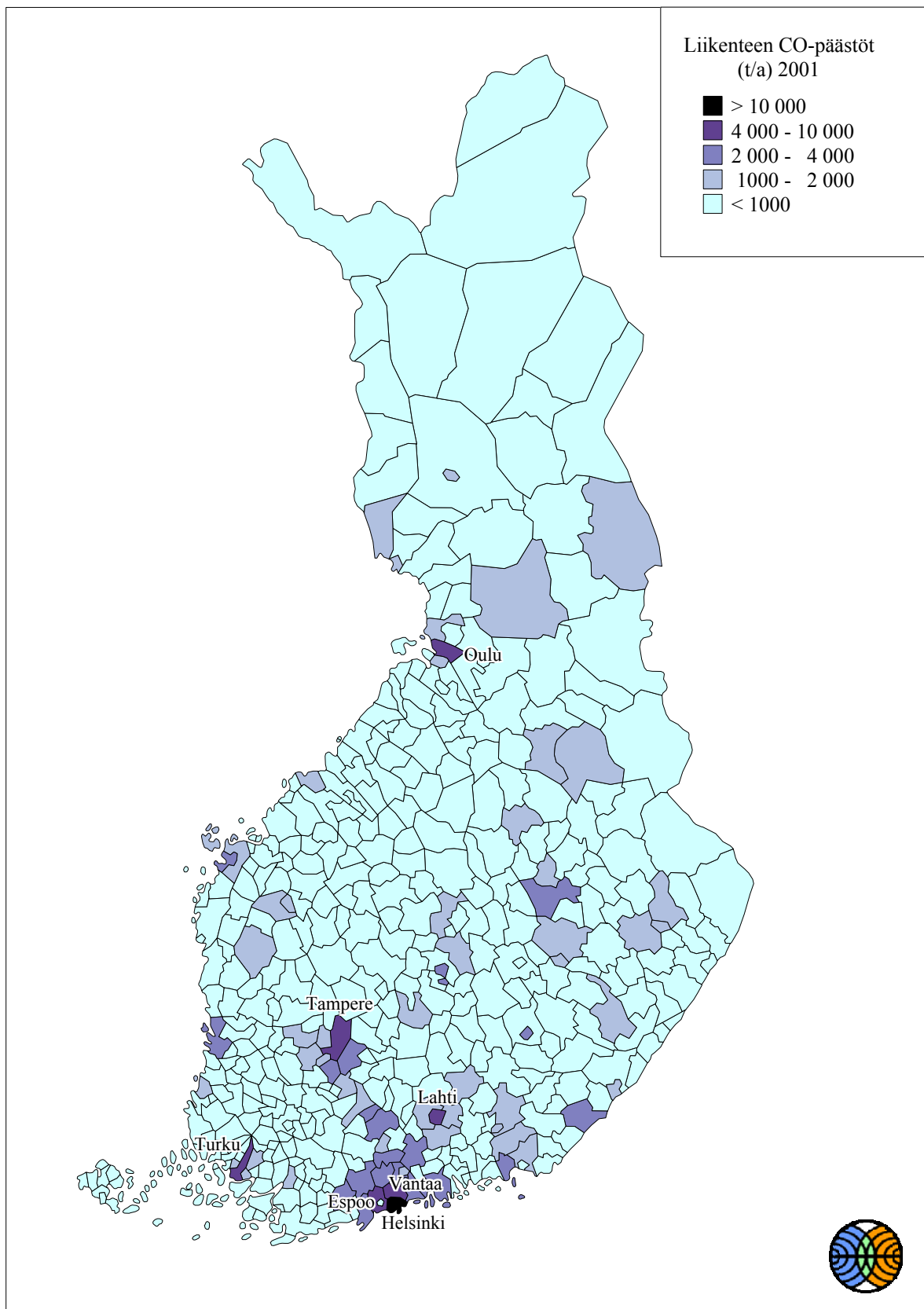
LIITEKUVAT



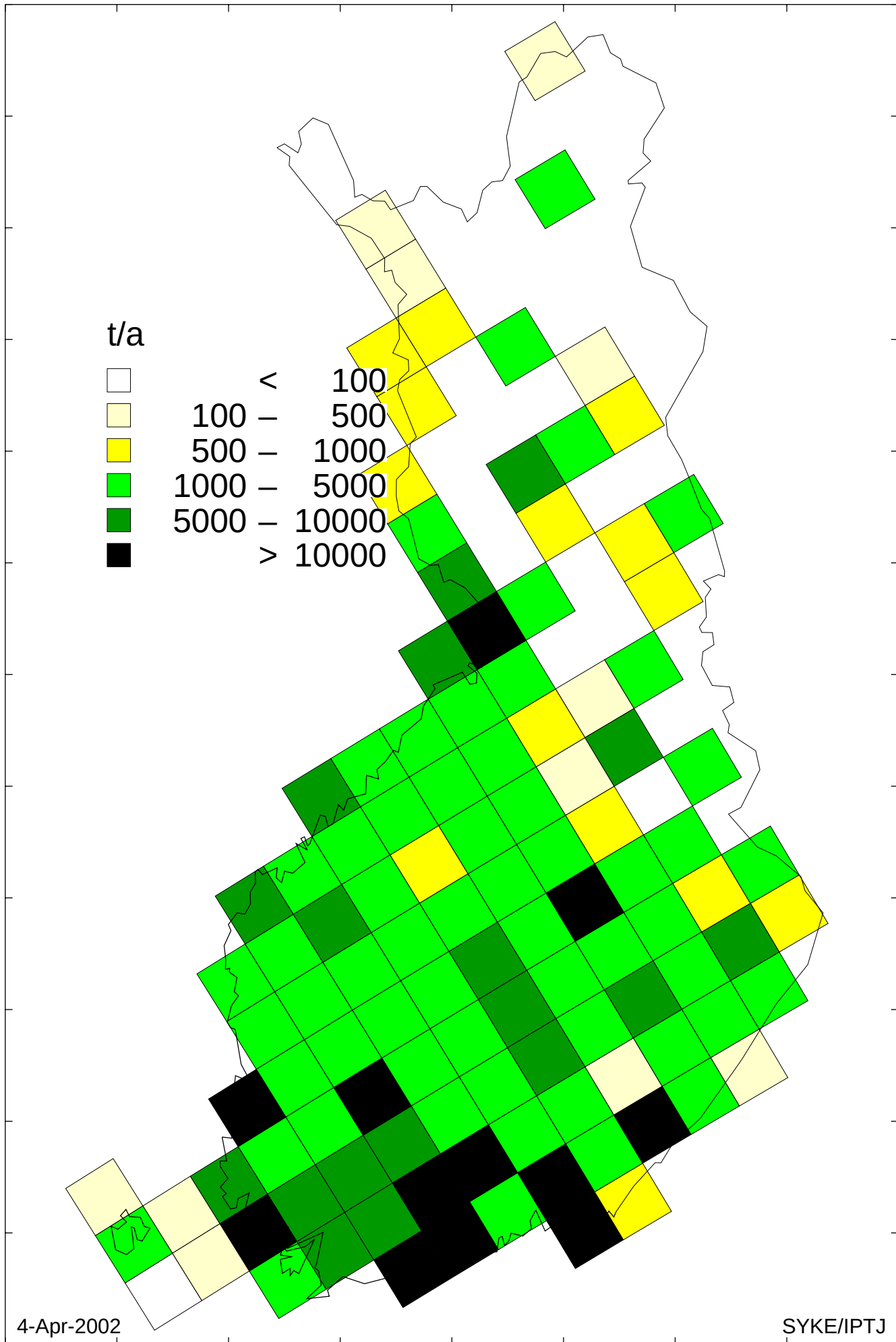
LIITEKUVA 1. Ilmanlaadun seuranta-alueet hiilimonoksidipitoisuuksien arvioimiseksi.



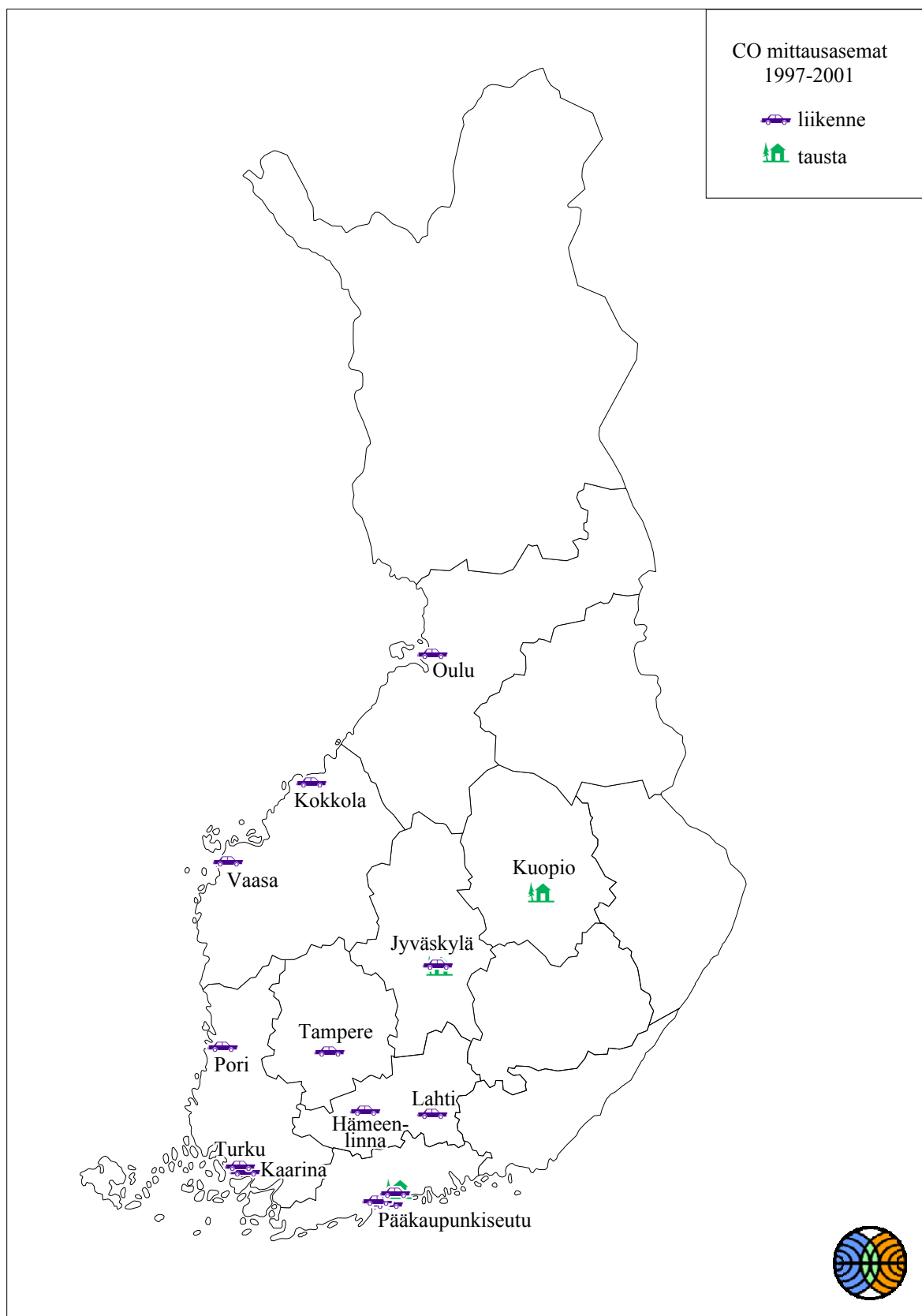
LIITEKUVA 2. Ilmanlaadun seuranta-alueet bentseenipitoisuuksien arvioimiseksi.



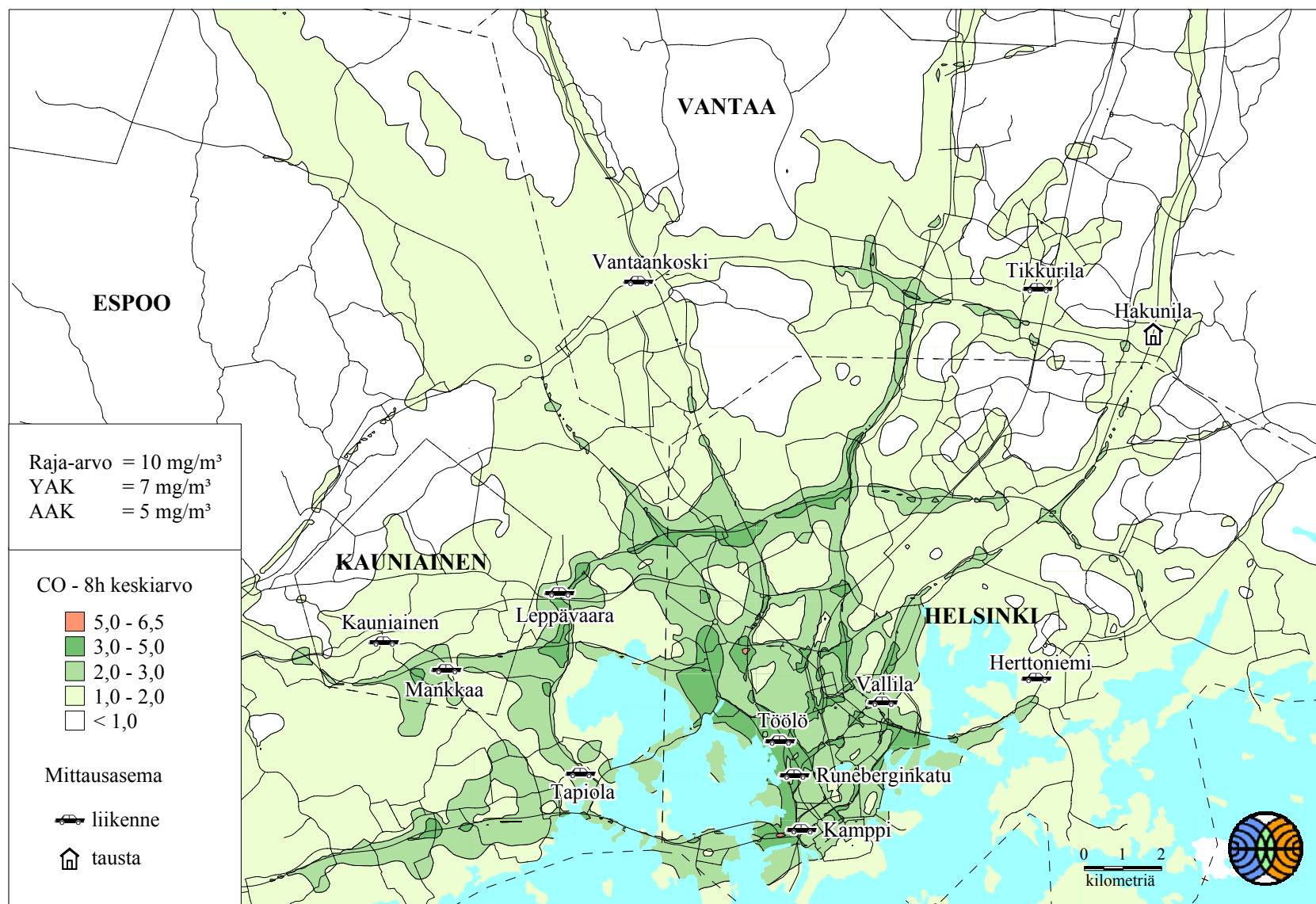
LIITEKUVA 3. Liikenteen hiilimonoksidipäästöt (t/a) 2001.



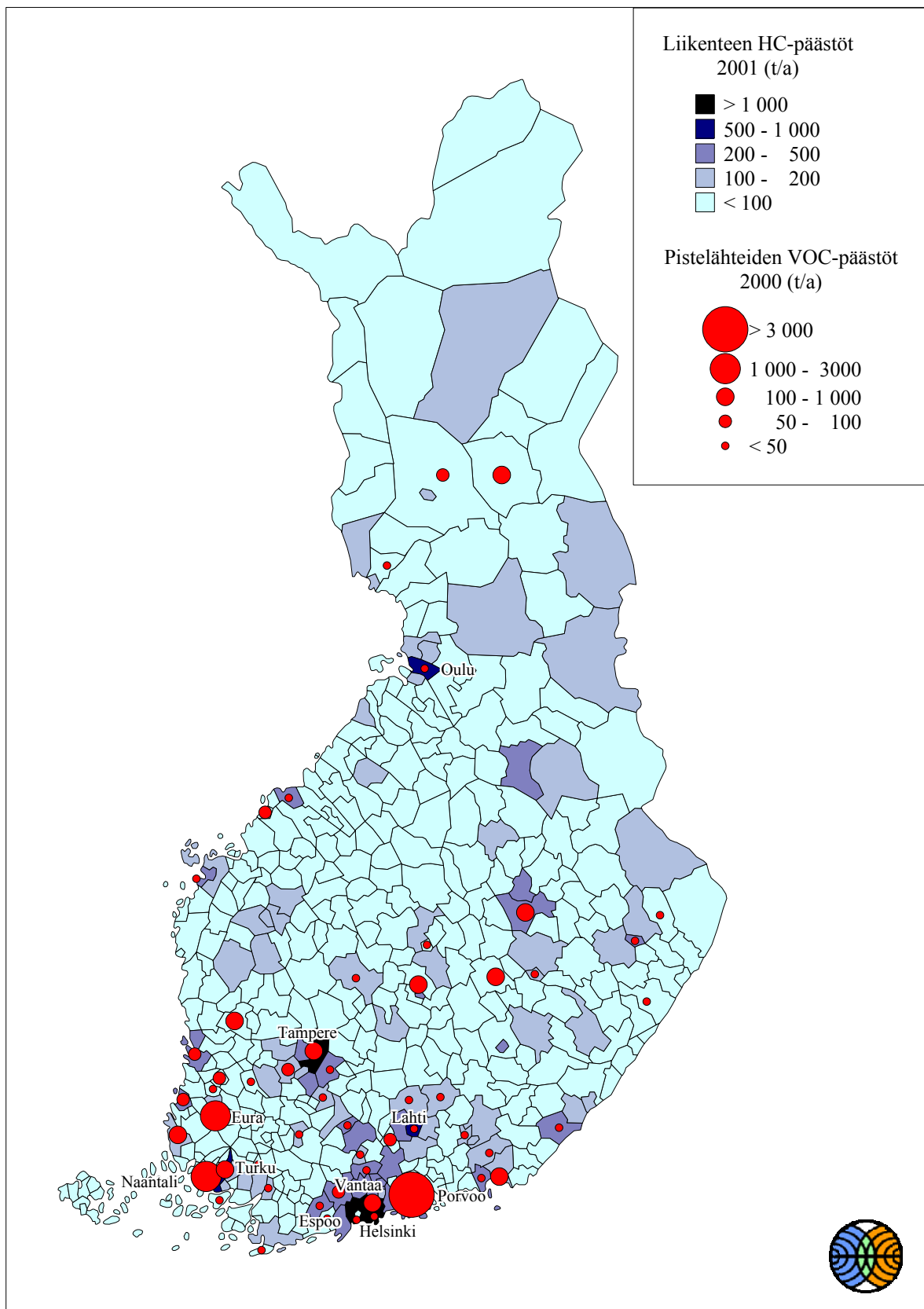
LIITEKUVA 4. Hiilimonoksidipäästöjen alueellinen jakautuminen vuonna 2000.



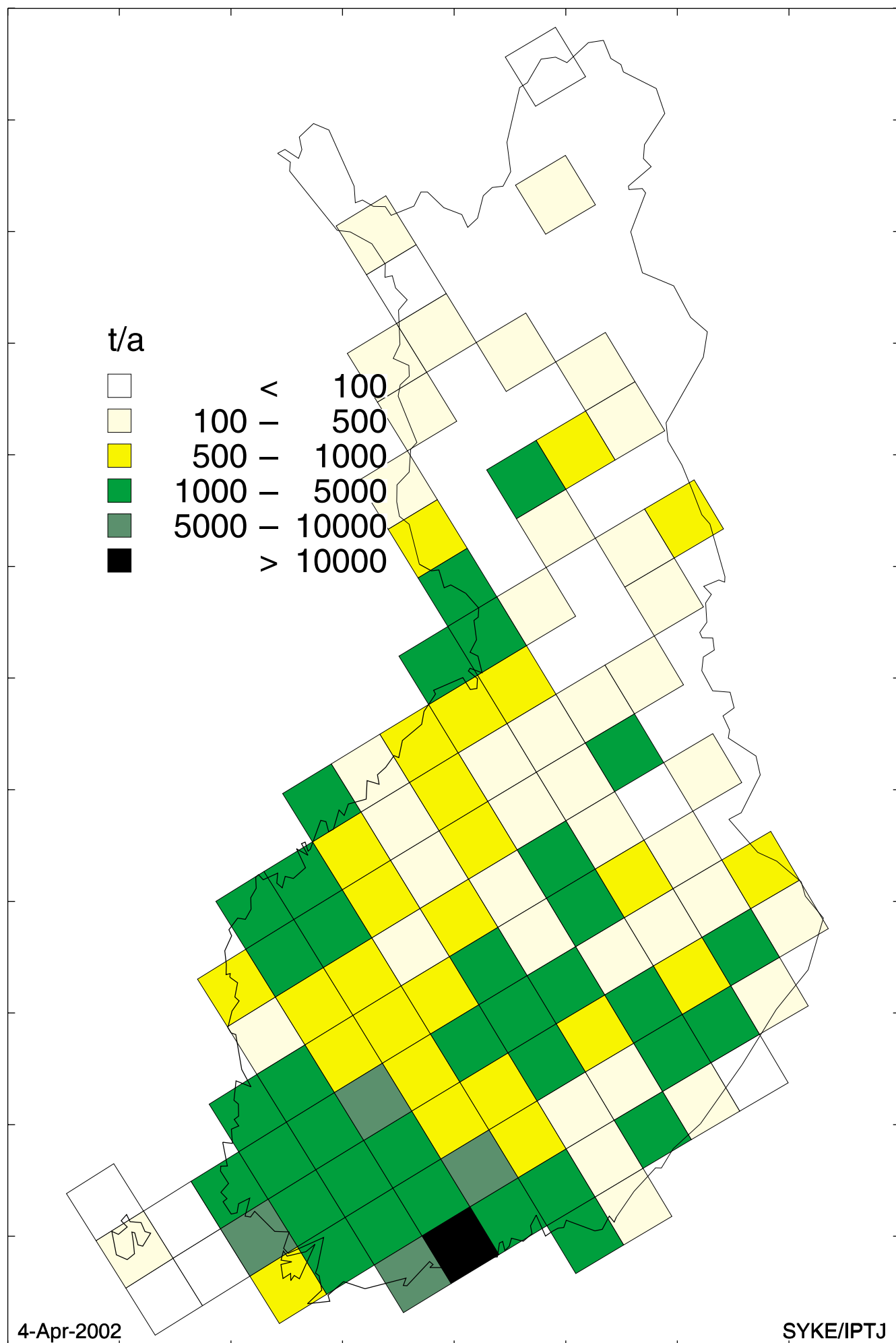
LIITEKUVA 5. Hiilimonoksidipitoisuuden mittauspaikat Suomessa 1997-2001.



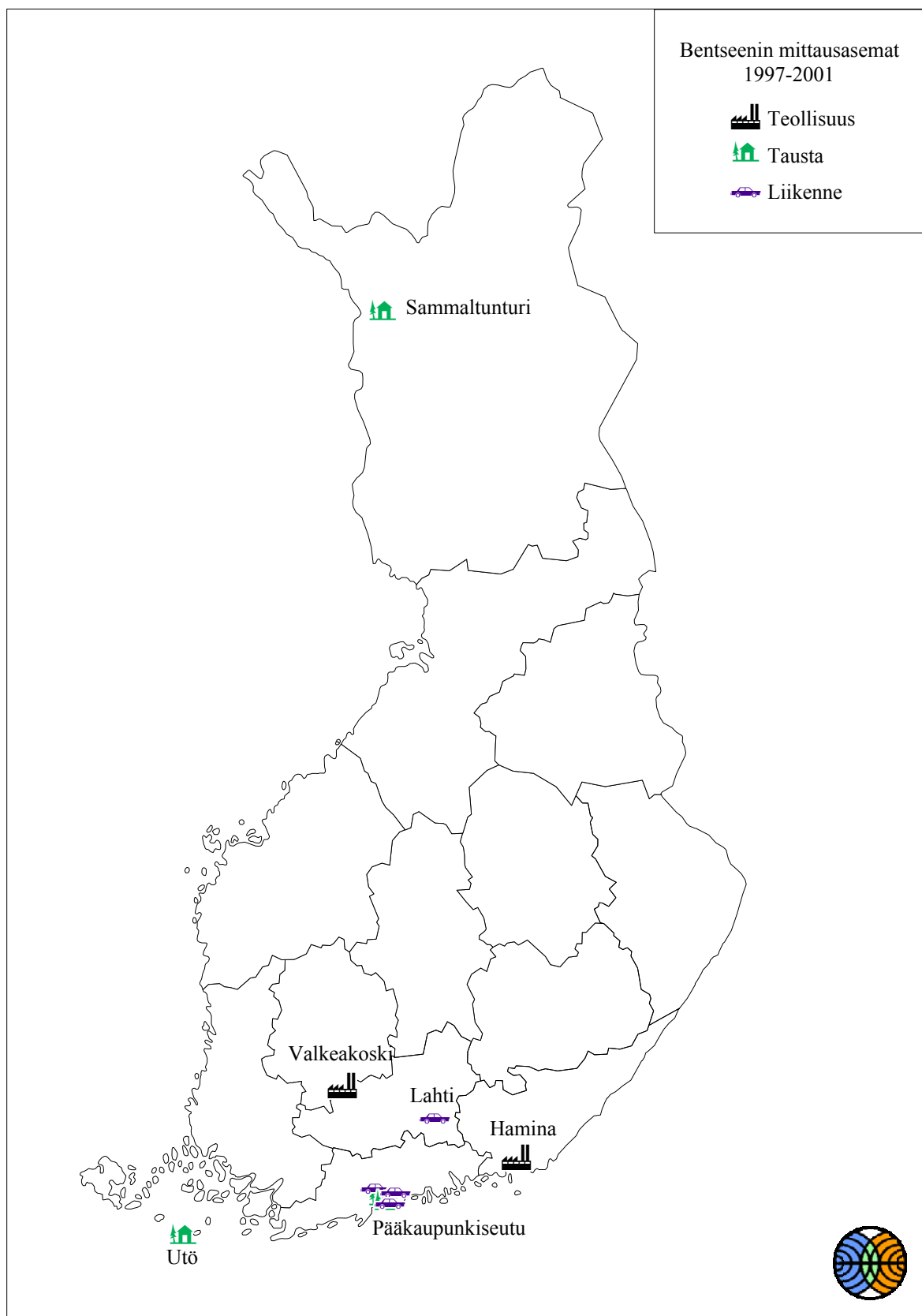
LIITEKUVA 6. Hiilimonoksidipitoisuuden korkein 8 tunnin keskiarvo (mg/m³) pääkaupunkiseudulla vuonna 2000.
 YAK=ylempi arviointikynnys, AAK=alempi arviointikynnys.



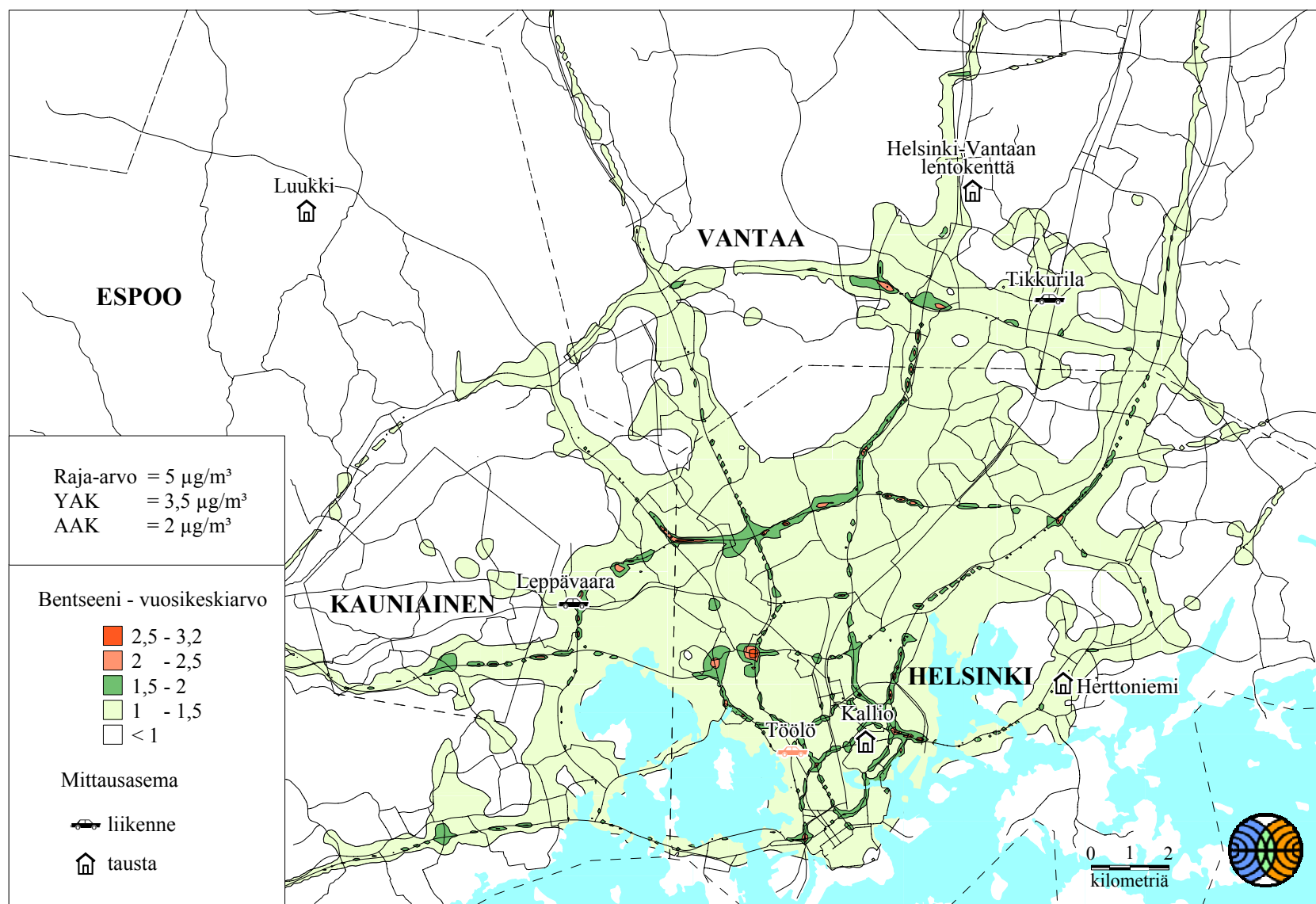
LIITEKUVA 7. Liikenteen hiilivetypäästöt 2001 ja pistelähteiden VOC-päästöt 2000.



LIITEKUVA 8. Hiilivetypäästöjen alueellinen jakautuminen vuonna 2000.



LIITEKUVA 9. Bentseenipitoisuuden mittauspaikat Suomessa 1997-2001.



LIITEKUVA 10. Bentseenipitoisuuden vuosikeskiarvo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) pääkaupunkiseudulla vuonna 2000.

YAK=ylempi arviointikynnys, AAK=alempi arviointikynnys.

Ilmanlaadun tutkimus
Sahaajankatu 20 E
00810 HELSINKI
puh. (09) 19291
fax (09) 1929 5403

Air quality research
Sahaajankatu 20 E
FIN-00810 HELSINKI
tel. +358 9 19291
fax +358 9 1929 5403

www.fmi.fi



ILMATIETEEN LAITOS
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE