

LAHDEN
TUTKIMUSLABORATORIO

ULKOILMAN HAIHTUVIEN ORGAANISTEN YHDISTEIDEN (VOC) PITOISUUDET LAHDESSA JA HEINOLASSA

Polyaromaattisten hiilivetyjen (PAH) pitoisuudet ja
hengitettävien hiukkasten kokojakauma (ELPI) mittaukset Lahdessa



HÄMEEN
YMPÄRISTÖKESKUS



Elinvoimaa
EU-ohjelmista

ISBN 951-849-570-X
ISSN 1237-6426
SARJA A6/ 2004

LAHDEN TUTKIMUSLABORATORIO

**ULKOILMAN HAIHTUVIEN
ORGAANISTEN YHDISTEIDEN (VOC)
PITOISUUDET
LAHDESSA JA HEINOLASSA**

**Polyaromaattisten hiilivetyjen (PAH) pitoisuudet ja
hengitettävien hiukkasten kokojakauma (ELPI) mittaukset Lahdessa**

”Ilman epäpuhtauksien vaikutusten selvittäminen ja ilmanlaadun
parantamismahdollisuudet Päijät- Hämeessä
vuosina 2000-2002” -hankkeen RAPORTTI

Tiivistelmä

Päijät- Hämeen kunnissa oli helmikuusta 2000 syyskuuhun 2004 käynnissä ”**Ilman epäpuhtauksien vaikutusten selvittäminen ja ilmanlaadun parantamismahdollisuudet Päijät-Hämeessä vuosina 2000- 2002**”- hanke. Hankkeeseen osallistuivat Lahden kaupunki, Heinolan kaupunki ja Nastolan kunta sekä Lahden ja Heinolan ilmapäästöjänsä vuoksi ympäristölupavelvolliset yritykset. Lahden Tutkimuslaboratorion osuus hankkeessa koski ilman VOC-yhdisteiden mittausten menetelmäkehitystä, VOC- yhdisteiden mittaamista aktiivisilla ja passiivisilla näytteenotolla sekä PAH- yhdisteiden mittaustavallisuuden kehittämistä. Hankkeen puitteissa mitattiin VTT:n toimesta myös hiukkasten kokojakaamaa ELPI- laitteistolla.

Haihtuviksi orgaanisiksi yhdisteiksi (volatile organic compounds, VOC) nimitetään niitä yhdisteitä, joiden kiehumispiste on 50 °C – 260 °C. VOC- yhdisteet ovat merkittäviä ulko- ja sisäilmansaasteita. VOC- yhdisteiden mittausten menetelmäkehityksessä tavoitteena oli kehittää menetelmä ulkoilmanäytteiden tuntemattomien yhdisteiden tunnistamiseen ja pitoisuuksien määrittämiseen (aktiivisella näytteenotolla) sekä menetelmä tunnettujen VOC- yhdisteiden pidempiaikaiseen seurantaan (passiivisella näytteenotolla). Mittausten tavoitteena oli muodostaa kuvaa Lahden ja Heinolan kaupunkialueen tyypillisistä VOC- yhdisteiden pitoisuuksista. Erityistä huomiota kiinnitettiin bentseenin ja MTBE:n pitoisuuksiin. Lisäksi selvitettiin joidenkin laitosten päästämien VOC- yhdisteiden laatua ja pitoisuuksia. VOC- mittauksia tehtiin eri paikoissa sekä Lahdessa että Heinolassa.

Lahdessa tehtiin VOC- yhdisteiden mittauksia passiivisella näytteenotolla seitsemässä eri paikassa, Vesijärvekadulla, Kauppatorilla, Möysässä, Launeella, Neopolissa, Metsäkankaalla ja Mytjäisissä (aik. Kisapuistossa). Näytteitä otettiin reilun puolentoista vuoden ajan. Menetelmässä otetaan samaan aikaan kaksi rinnakkaisnäytettä. Menetelmän on todettu toimivan hyvin bentseeni-, MTBE-, tolueni-, ksyleeni- ja etylibentseeni- yhdisteiden mittaamiseen. Valtioneuvoston asetus nro 711/2001 asettaa bentseenille kalenterivuoden raja-arvoksi 5 µg/m³. Asetuksen mukaisia bentseenin raja-arvon (5 µg/m³) ylityksiä ei ole mitattu. Sen sijaan alemman arviointikynnyksen (2,0 µg/m³) ylityksiä on mitattu useasti eri pisteissä. Launeella 7.2.–21.2.2003 ja Vesijärvenkadulla 21.2–7.3.2003 mitattu bentseenin pitoisuus (3,4 µg/m³) oli hyvin lähellä ilmanlaatuasetuksen 711/2001 ylintä arviointikynnystä (3,5 µg/m³). Ylitykset ovat kahden viikon mittausjakson tuloksista, joita on verrattu vuosikeskiarvoon.

PAH- yhdisteet eli polyaromaattiset hiilivety-yhdisteet ovat peräisin palamisprosesseista ja ne ovat levinneet laajalle ympäristöömme. PAH- yhdisteiden mittausten tavoitteena oli kehittää menetelmä, jolla ilman pölyhiukkasiin kiinnittyneet PAH- yhdisteet voidaan määrittää. Tällä hetkellä EU:ssa ei ole ilmanlaadun raja-arvoja PAH- yhdisteille. Määritettäviä PAH- yhdisteitä oli 18 kpl. Näytteitä otettiin vuoden ajan Lahden kauppatorilta kerran kuussa. Näin mukaan saatiin talvi-kevä-kesä-syys- aikojen näytteet ja tuloksista onkin nähtävissä selvästi pitoisuuksien kausivaihtelu. Menetelmän todettiin toimivan hyvin.

EU:ssa suunnitellaan bentso(a)pyreenille tavoitearvoa 1 ng/m³, jota sovellettaisiin PM 10 – fraktion bentso(a)pyreenipitoisuuden vuosikeskiarvona. Bentso(a)pyreeni oli Lahdessa korkeimmillaan 0,55 ng/m³ maaliskuussa 2003 otetussa näytteessä. Tämän jälkeen sen pitoisuus laski tasaisesti, kuten muidenkin PAH- yhdisteiden, kunnes pitoisuudet lähtivät selvään nousuun (lämmityskausi alkoi) syyskuussa.

1. JOHDANTO	5
2. ILMASSA OLEVAT VOC-YHDISTEET	6
2.1 VOC- yhdisteet ja niiden terveystvaikutukset	6
2.2 Ilman VOC- yhdisteiden mittaaminen	7
3. VOC-YHDISTEIDEN MITTAAMINEN AKTIIVISELLA NÄYTTEENOTOLLA ULKOILMASTA	8
3.1 Aktiivinen näytteenotto	8
3.2 Adsorbenttien adsorbentio- ominaisuuksien selvittäminen	9
3.3 Adsorbentin valinta	12
3.4 VOC-yhdisteiden mittaustuloksia Lahdessa	13
3.4.1 Lahti/ Neopoli.....	13
3.4.2 Lahti/ Vesijärvenkatu 11	15
3.4.3 Lahti/ Kauppatori	15
3.4.4 Lahti/ Trion pysäköintitalo	16
3.4.5 Lahti/ Ruoriniemi	17
4. VOC-YHDISTEIDEN MITTAAMINEN PASSIIVISELLA NÄYTTEENOTOLLA ULKOILMASTA	18
4.1 Passiivinen näytteenotto	18
4.2 VOC- yhdisteiden mittaukset Lahdessa.....	19
4.3 VOC- yhdisteiden mittaustuloksia Lahdessa ja Heinolassa	20
4.3.1 Bentseenin, MTBE:n, toluenin, ksyleenin ja etyylibentseenin pitoisuus mittauspisteittäin	20
4.3.2 Bentseenin, MTBE:n, toluenin, ksyleenin ja etyylibentseenin pitoisuus yhdisteittäin	21
5. VOC-MITTAUKSET HEINOLAN SAHANNIEMESSÄ	30
5.1 Mittaukset aktiivisella ja passiivisella näytteenotolla.....	30
5.2 VOC- yhdisteiden mittaustuloksia Heinolassa.....	32
6. PAH-YHDISTEET	33
6.1 Ilman PAH-yhdisteet	33
6.2 PAH- yhdisteiden pitoisuudet maailmalla.....	37
6.3 Lahdessa suoritettut ilman PAH-mittaukset	38
6.3.1 Näytteenotto ja analysointi menetelmä PAH- yhdisteille	38
6.3.2 PAH- pitoisuuksien määrittäminen	39
6.3.3 Bentso(a)pyreeni-pitoisuudet	40
6.3.4 Kaikkien PAH- mittausten tulokset.....	41
7. HIUKKASTEN KOKOJAKAUMAMITTAUKSET (ELPI)	43
7.1 ELPI- mittausten periaate.....	43
7.2 Mittaukset toukokuussa 2002.....	44
7.3 Mittaukset huhtikuussa 2003	47
8. JOHTOPÄÄTÖKSET	51
LÄHTEET:	53
LIITTEET:	
Liite 1: Mittauspisteiden sijainnit	



I. JOHDANTO

Päijät- Hämeen kunnissa oli helmikuusta 2000 syyskuuhun 2004 käynnissä ”**Ilman epäpuhtauksien vaikutusten selvittäminen ja ilmanlaadun parantamismahdollisuudet Päijät-Hämeessä vuosina 2000–2002**”- hanke. Hankkeeseen osallistuivat Heinola, Nastola ja Lahti. Hankkeen rahoituksesta vastasivat EU:n aluekehitysrahasto (36 %), mukana olleet kunnat (35 %), Lahden ja Heinolan ilmapäästöjänsä vuoksi ympäristölupavelvolliset yritykset (15 %) ja ympäristöministeriö (14 %). Hankkeen työn- ja koordinoinnin päävastuu oli Lahden kaupungin valvonta- ja ympäristökeskuksen ympäristönsuojelun vastualueella.

Hankkeen tavoitteena oli saada alueellisesti kattava kuva ilman epäpuhtauksien pitoisuuksista ja jatkomittausten tarpeesta sekä parantaa tietoisuutta ilmanlaadusta ja siihen vaikuttavista aineista. Projektin aikana jatkettiin Lahden ilmanlaadun seurantaan nykyisellä mittausverkolla, täydennettiin mittausverkostoa ja uudistettiin nykyistä mittauskalustoa. Vuonna 2002 aloitettiin jatkuvatoimiset mittaukset Heinolassa sekä tehtiin erilaisia periodimaisia mittauksia Lahdessa, Heinolassa ja Nastolassa. Lisäksi hankkeen aikana testattiin uusia mittausmenetelmiä erityisesti ilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) ja polyaromaattisten hiilivetyjen (PAH) sekä hiukkasten kokojakaumamittauksiin (ELPI).

Lahden Tutkimuslaboratorion osuus hankkeessa koski ilman VOC- yhdisteiden mittausten menetelmäkehitystä, VOC- yhdisteiden mittaamista aktiivisilla ja passiivisilla menetelmillä sekä PAH- yhdisteiden mittaussuorituksen kehittämistä. PAH- yhdisteitä mitattiin Lahden keskustasta vuoden ajan. Hankkeen puitteissa mitattiin VTT:n toimesta myös hiukkasten kokojakaumaa Lahdessa ELPI- laitteistolla.

VOC- yhdisteiden mittausten menetelmäkehittelyn tavoitteena oli kehittää menetelmä ulkoilmanäytteissä esiintyvien yhdisteiden tunnistamiseen ja pitoisuuksien määrittämiseen sekä menetelmä merkittävimpien VOC- yhdisteiden pidempiaikaiseen seurantaan. Mittausten tavoitteena oli muodostaa kuvaa Lahden ja Heinolan kaupunkialueen tyypillisistä VOC- pitoisuuksista. Erityistä huomiota kiinnitettiin bentseenin ja MTBE:n pitoisuuksiin. Lisäksi selvitettiin joidenkin laitosten päästämien VOC- yhdisteiden laatua ja pitoisuuksia. Mittauksia tehtiin eri paikoissa sekä Lahdessa että Heinolassa. Ilman VOC -yhdisteiden määrittämistä varten Lahden laboratorioon hankittiin ATD/GC/MS-laitteisto.

Tämä raportti sisältää Lahden tutkimuslaboratorion suorittamien VOC- yhdisteiden mittausten menetelmäkehittelyn vaiheet, mittaukset ja mittaustulokset. Lisäksi raportissa kuvailaan Lahdessa suoritettujen PAH- yhdisteiden mittauksia. Myös Lahden kauppatorilla tehtyjen hiukkasten kokojakaumamittausten tulokset on koottu tähän raporttiin.

2. ILMASSA OLEVAT VOC-YHDISTEET

2.1 VOC- yhdisteet ja niiden terveysvaikutukset

Haihtuviksi orgaanisiksi yhdisteiksi eli VOC- yhdisteiksi nimitetään niitä yhdisteitä, joiden kiehumispiste on 50 °C – 260 °C.¹ VOC- yhdisteet ovat merkittäviä ulko- ja sisäilmansaasteita niiden toksisuuden tähden. Reaktiivisimmilla VOC- yhdisteillä on myös rooli fotokeemiallisten hapettajien muodostumisessa.² VOC- yhdisteet ovat mahdollisia ärsyttäviä aineita ja osa niistä on karsinogeenisiä.³ Yksittäisillä haihtuvilla orgaanilla yhdisteillä on monenlaisia terveysvaikutuksia. Ne voivat aiheuttaa päänsärkyä, pahoinvointia, silmien ärsytystä, hengitysteiden limakalvojen ärsytystä, väsymystä, voimattomuutta, yleistä pahoinvointia ja astman kaltaisia oireita. Yksittäisten sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet ovat kuitenkin yleensä hyvin pieniä eivätkä sinällään pysty aiheuttamaan oireita.¹ Toisaalta Bentseenille altistuminen on yhdistetty jopa leukemiaan ja myös alkylibentseenit omaavat karsinogeenisiä ominaisuuksia.^{4, 5} VOC yhdisteet aiheuttavat usein viihtyvyyden kannalta ikäviä hajuhaittoja.

TVOC (total volatile organic compounds) on ilmassa havaittujen VOC- yhdisteiden summa. TVOC:n ja ihmisen aistin ja käytöksen välistä yhteyttä tutkittaessa on havaittu mm. seuraavaa:

- Hajun voimistumisena havaittu huono ilman laatu on korreloiva TVOC-konsentraation kanssa.
- Nenän, kurkun ja silmien ärsytys on merkittävä, kun TVOC on $\geq 5 \text{ mg/m}^3$.
- Muita oireita kuten päänsärkyä ja yleistä huonovointisuutta ilmenee, kun TVOC on 25 mg/m^3
- Merkkejä vaikutuksesta ihmisen käyttöön (huonontunut lyhyt aikainen muisti) on havaittu TVOC:n arvoilla 25 mg/m^3 .⁶

2.2 Ilman VOC- yhdisteiden mittaaminen

Koska orgaanisia yhdisteitä esiintyy ilmassa erittäin runsaasti ja yksittäisen yhdisteen pitoisuus on hyvin pieni, vaatii kromatografisen analysointi konsentrointia ennen varsinaista analyysiä massaspektrometrillä. VOC- yhdisteet eristetään ilmasta ja konsentroidaan käyttäen näyteputkia, jotka sisältävät adsorbenttia. Adsorbentista riippuu, mitkä VOC- yhdisteet ilmasta siihen adsorboituvat. Näytteenoton jälkeen putki kuljetetaan laboratorioon analysointia varten. Laboratoriossa putki asetetaan automaattiseen termodesorbtiio (ATD) – näytteensyöttäjään. Näytteensyöttäjä kuumentaa putken ja irrottaa näin adsorbentista VOC-yhdisteet siirtolinjan kautta kaasukromatografiin. Kaasukromatografissa (GC) yhdisteet erotetaan toisistaan kapillaarikolonilla. Kolonnista yhdisteet siirtyvät massadetektorille (MS), jolla yhdisteistä ajetaan massaspektri. Yhdisteiden identifiointi perustuu kromatografiseen retentioaikaan (aika, joka yhdisteellä kestää kulkea kapillaarikolonin läpi) ja kullekin yhdisteelle ominaiseen massaspektriin. Massaspektriä analysoimalla on mahdollista saada selville yhdisteen kemiallinen rakenne ja tunnistaa näin tuntemattomia yhdisteitä. Yhdisteiden pitoisuuksien määrittäminen tapahtuu standardivasteisiin verraten.



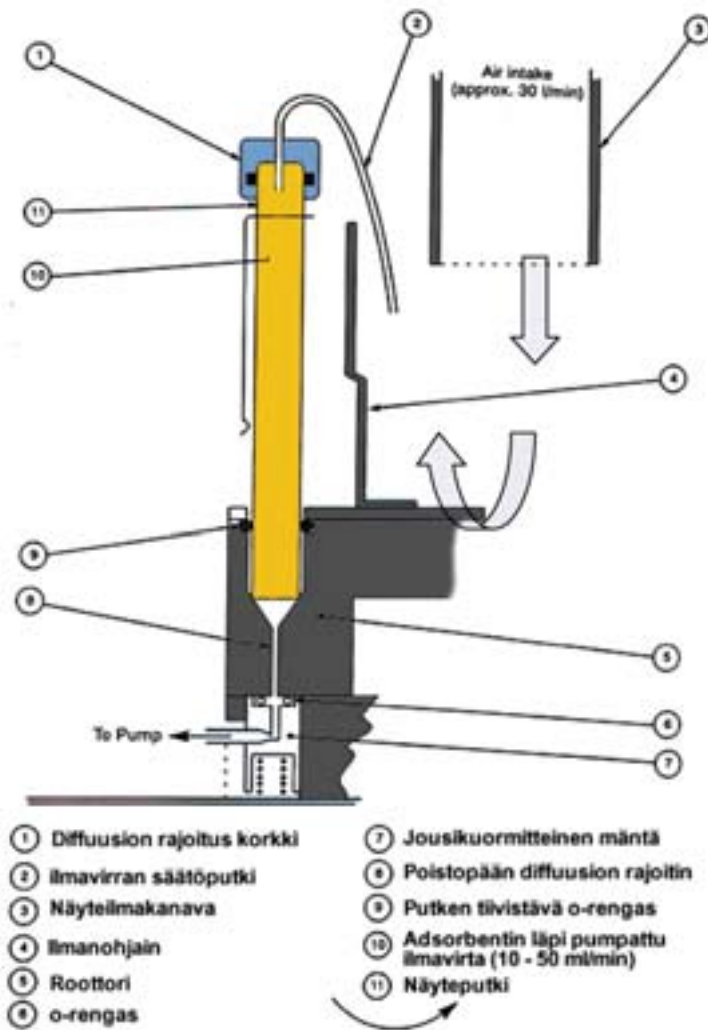
Kuva 1. Lahden tutkimuslaboratorioon hankittiin vuonna 2000 Perkin Elmerin ATD/GC/MS- laitteisto ulkoilman VOC- yhdisteiden määrittämistä varten.

3.VOC-YHDISTEIDEN MITTAAMINEN AKTIIVISELLA NÄYTTEENOTOLLA ULKOILMASTA

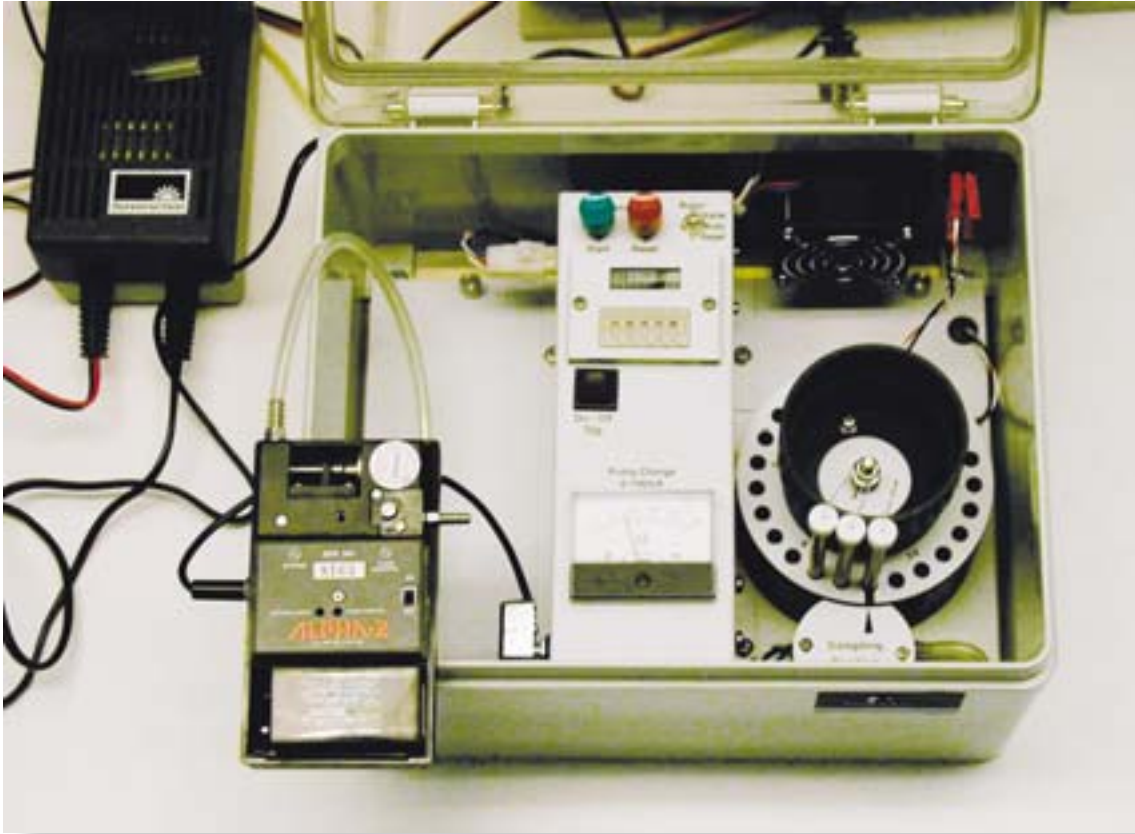
3.1 Aktiivinen näytteenotto

Aktiivisessa näytteenotossa kalibroitu pumppu vetää ilmaa adsorbenttiputken läpi niin, että näytteenottoajan keskimääräinen konsentraatio on kerättyjen yhdisteiden määrä jaettuna näytteenoton ilmatilavuudella. (kts. kuva 2 näytteenottolaitteesta ja pumpusta)

Aktiivista näytteenottoa voidaan käyttää erityisesti tuntemattomien yhdisteiden tunnistamiseen ja pitoisuuksien määrittämiseen. Myös ilman hajuongelmia voidaan yrittää tutkia aktiivisella näytteenotolla (haisevat laitokset, kaatopaikat, tehtaat). Hajujen ja VOC- yhdisteiden välillä on havaittava korrelaatio, mutta tarkkuutta ja huolellisuutta tarvitaan yritettäessä identifioida tietyn hajun aiheuttajaa tietylle kemikaalille. Aktiivisessa näytteenotossa tyypillinen näytteenottoaika on muutamasta minuutista tuntiin (riippuen VOC- yhdisteiden pitoisuudesta ilmassa). Näytteenottolaitteella on mahdollista ottaa automaattisesti 24 näytettä peräkkäin; esim. vuorokauden tuntikeskiarvot.



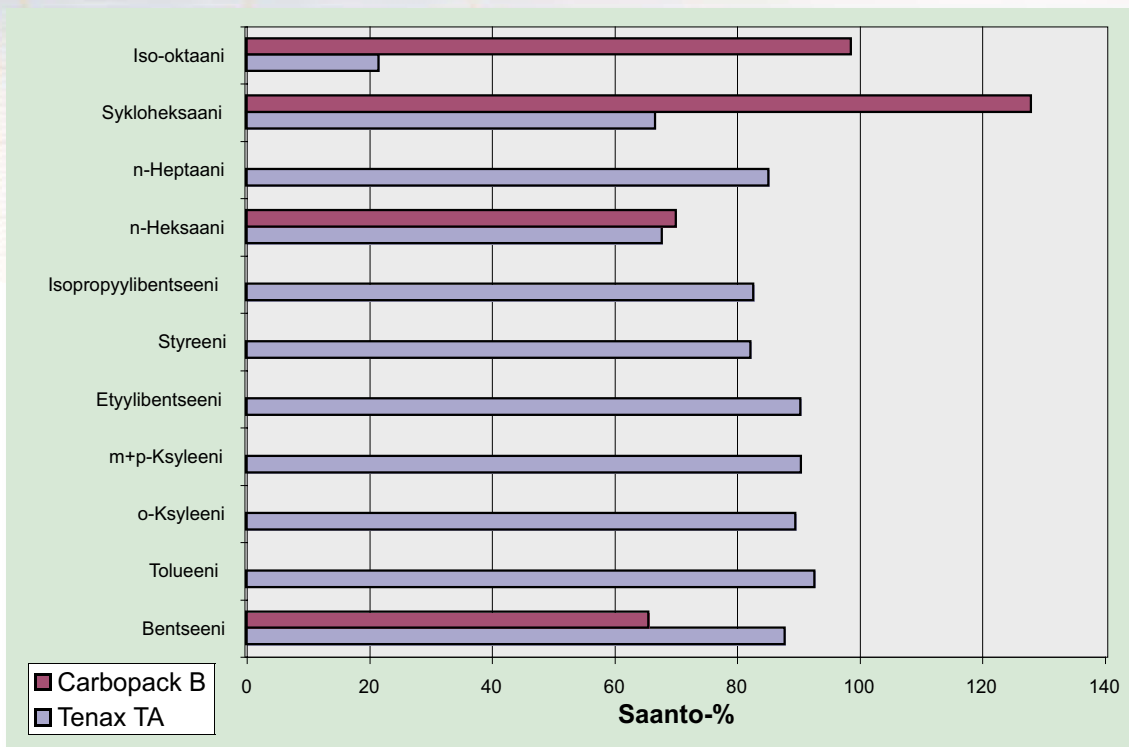
Kuva 2. Aktiivisen näytteenottomenetelmän periaate



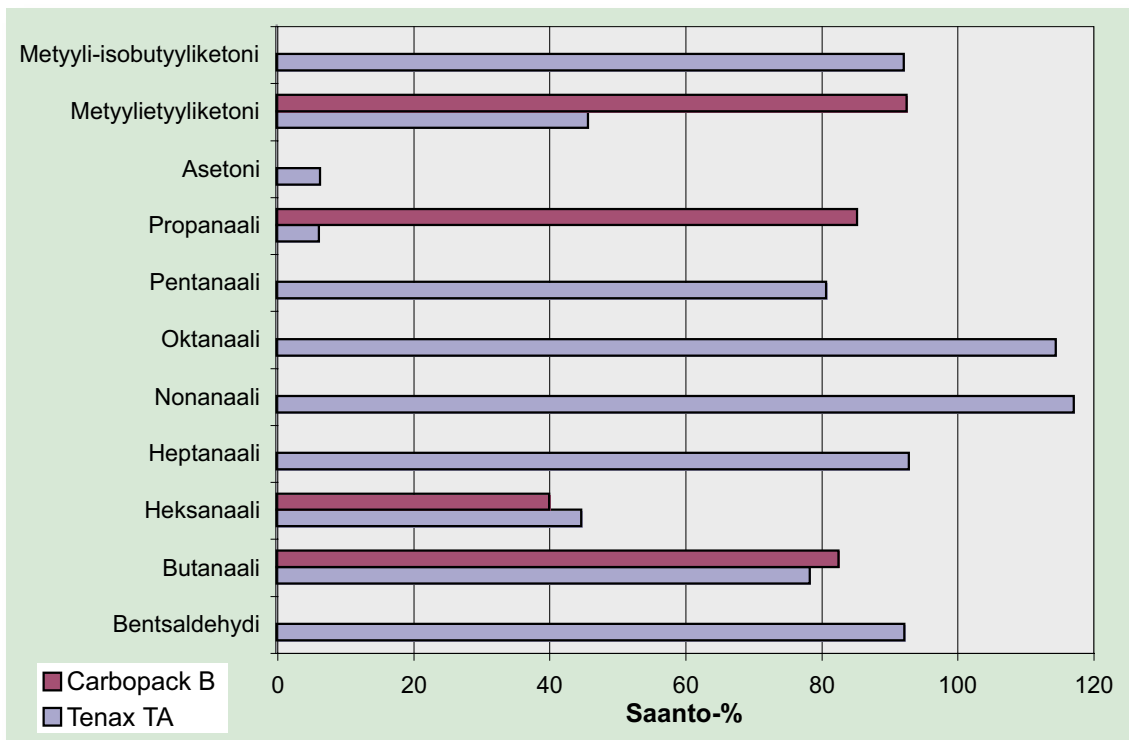
Kuva 3. Perkin Elmerin STS-25 ilmanäytteenottaja ja Alpha-2 pumppu. Kolmessa näyteputkessa on aktiivisessa ilmanäytteenotossa käytettävät diffuusionestokorkit.

3.2 Adsorbentien adsorbtiio- ominaisuuksien selvittäminen

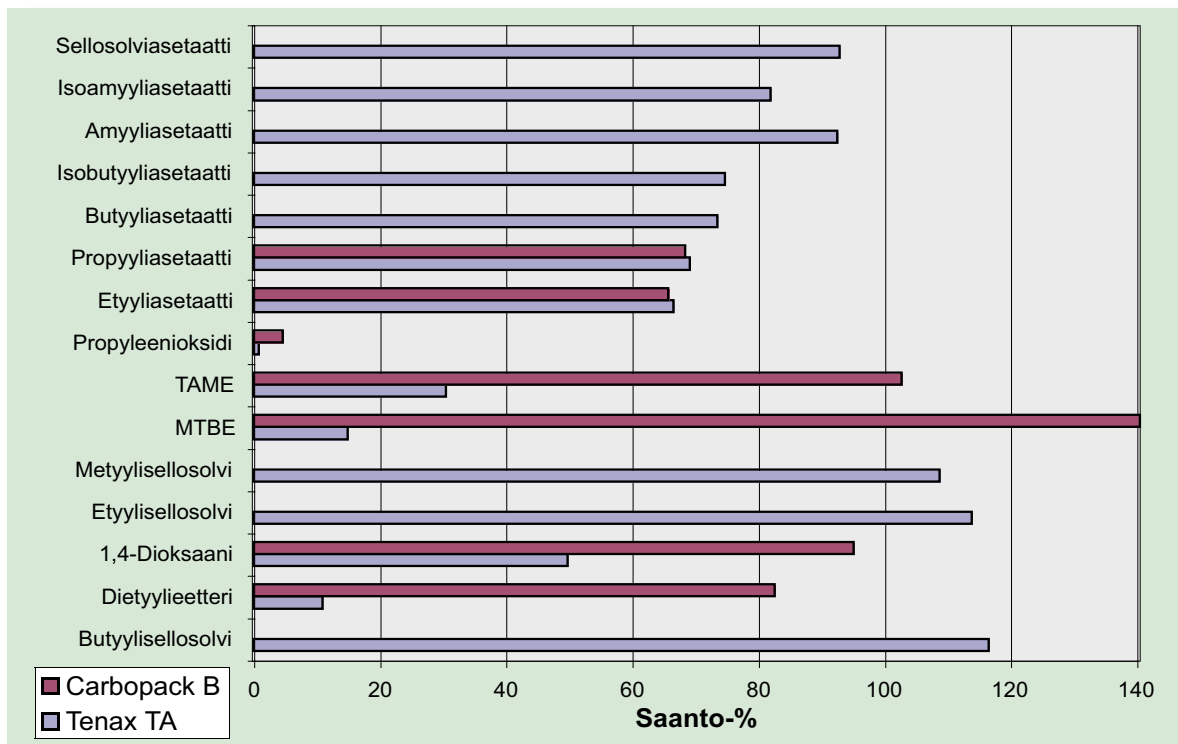
Tulosten kannalta ensiarvoisen tärkeää on tuntea adsorbenttien adsorbtiio- ominaisuudet tarkemmin, koska näytteenotossa käytetystä adsorbentista riippuu, mitkä VOC- yhdisteet siihen adsorboituvat. Vuoden 2001 alussa laitteella testattiin ilmanäytteenottoon liittyvää ATD-tekniikkaa (termodesorptio) käyttäen adsorbentteina Tenax TA:ta ja Carbopack B:tä. Tenax TA on ilmanäytteissä yleisimmin käytetty adsorbentti, joten ensin haluttiin selvittää sen adsorbtiio- ominaisuuksia tarkemmin ja erityisesti, mitkä yhdisteet (yhdisteryhmät) käyttäytyvät ongelmallisesti Tenax TA:lla. Testit tehtiin käyttäen erilaisia standardiseoksia (mm. hiilivedyt, alkoholit, aldehydit, ketonit, esterit, eetterit, klooratut ja bromatut hiilivedyt). Näytteet valmistettiin simuloiden aktiivista ilmanäytteenottoa; standardiläisket injektioitiin adsorbenttiputkeen helium-virran mukana, jonka jälkeen putken läpi puhallettiin 5 l puhdasta paineilmaa. Vastaavien yhdisteiden standardit valmistettiin suoralla nesteinjektiolla putkeen (vastaten näin 100 %:sta pitoisuutta). Näistä laskettiin saantoprosentit kullekin yhdisteelle.



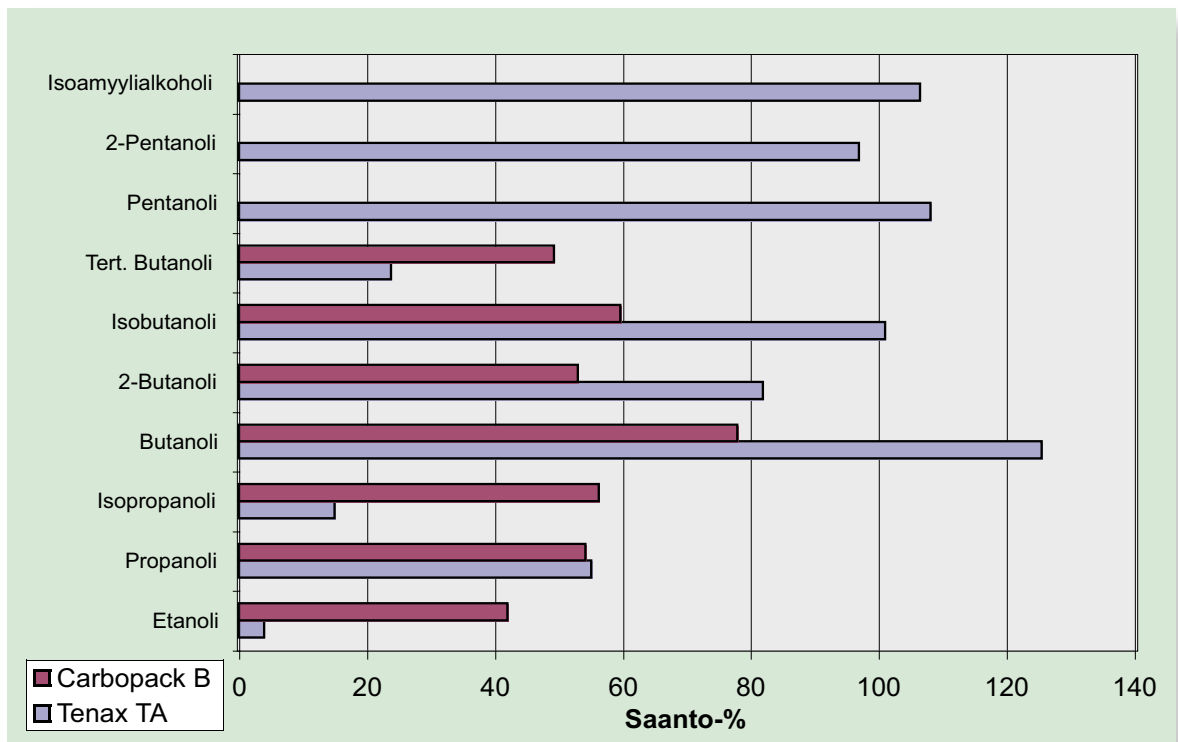
Kuva 4. Hiilivetyjen saantoprosentit Tenax TA:lla ja Carbopack B:llä



Kuva 5. Ketonien ja aldehydien saantoprosentti Tenax TA:lla ja Carbopack B:llä



Kuva 6. Esterien ja eetterien saantoprosentit Tenax TA:lla ja Carbopack B:llä.



Kuva 7. Alkoholien saantoprosentit Tenax TA:lla ja Carbopack B:llä.

Tenax TA:n (heikko adsorbentti) ajotuloksista nähtiin, että ongelmallisia yhdisteryhmiä ovat aldehydit ja alkoholit ym. polaariset yhdisteet, joten toiseksi adsorbentiksi valittiin Carbopack B (keskivahva adsorbentti). Parhaimmat saantoprosentit Carbopack B:llä saatiin niille yhdisteille, joilla oli todella huono saantoprosentti Tenax TA:lla. Näitä olivat esim. propanaali, metyylietyyliketoni ja MTBE. Alkoolien saannot Carbopackilla olivat myös huomattavasti parempia kuin Tenaxilla, mutta eivät kuitenkaan täysin hyväksyttävissä rajoissa (saannot alle 60 %). Tulosten perusteella voidaan todeta, että Tenax TA ja Carbopack B ovat toisiaan täydentäviä adsorbentteja. Nähdään, että Tenax TA soveltuu varsinkin poolittomille VOC-yhdisteille ja korkeammalla kiehuville polaarille yhdisteille. Carbopack B soveltuu laajalle alueelle ketoneja, alkoholeja ja aldehydejä sekä poolittomille yhdisteille.

3.3 Adsorbentin valinta

Ulkoilman aktiivisessa näytteenotossa käytettiin vuonna 2001 Tenax TA:ta. Tällöin kokeiltiin menestyksellä aktiivinäytteenottoa mitaten vuorokauden ajan tuntikeskiarvoja. Käytetyt Tenax TA-putket toimivat ulkoilmanäytteissä hyvin. Poolisten yhdisteiden huono saanto oli kuitenkin ongelma, sillä mielenkiinnonkohteena olevia poolisia yhdisteitä oli etenkin MTBE (bensiniin lisäaine) ja muutamat alkoholit (haju). Näiden määrittäminen vaatii adsorbentin vaihtamista tai siirtymistä multiadsorbenttiputkien käyttöön. Erittäin vahvan adsorbentin ottaminen rutiinikäyttöön ei kuitenkaan ole mahdollista. Syynä tähän on mm. että erittäin vahva adsorbentti adsorboi myös analyttisiä ongelmia aiheuttavaa kosteutta itseensä. VOC-yhdisteiden adsorbentio voi myös olla niin voimakas adsorbentille, että niiden irrottaminen lämmön avulla ei ole mahdollista ja näin jatkoanalyysi estyy. Vuoden 2002 alusta aktiivisessa 1-4 tuntia kestävässä ulkoilma-näytteenotossa on siirrytty käyttämään multiadsorbenttiputkia, joka sisältää puolet Tenax TA:ta (heikompi adsorbentti) ja puolet Carbopack B:tä (keskivahva adsorbentti). Multiadsorbenttiputkia voidaan käyttää aktiivisessa ilmanäytteenotossa. Tällöin heikompi adsorbentti (Tenax TA) on putken alkupäässä ja se adsorboi ensin yhdisteet. Heikommasta adsorbentista läpi menevät yhdisteet adsorboidaan vahvemmalle adsorbentille. Laboratoriossa tehtävässä termodesorbentiossa suunta on päinvastainen. Multiadsorbenttiputkia käyttämällä saadaan mahdollisimman laaja yhdisteryhmäalue tutkittua yhdellä näytteenotokerralla.

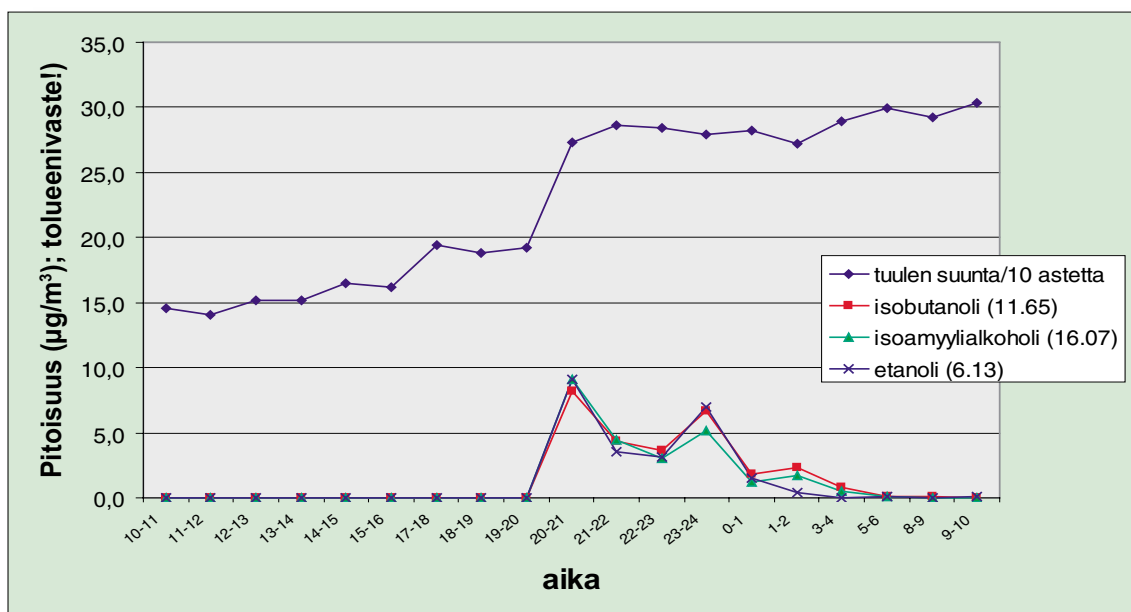
Ulkoilmanäytteistä tutkittujen yhdisteiden määrittäysraja oli kullekin yhdisteelle 4 ng/näyteputki, josta 4 litran näytemäärällä saadaan 4 µg/m³.

3.4 VOC-yhdisteiden mittaustuloksia Lahdessa

3.4.1 Lahti/ Neopoli

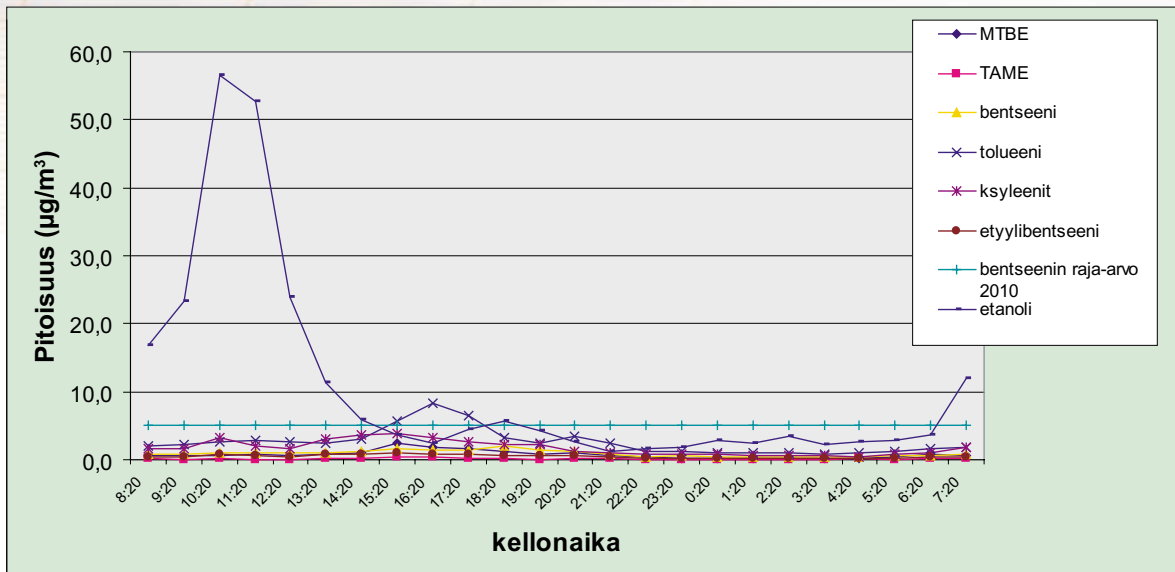
Ensimmäinen vuorokauden ylittävä näytteenotto tehtiin Neopolin mittausasemalta 21.8.2001. Alue on laitakaupungilla, jossa on monenlaista teollisuutta ja kerrostaloja. Ajoittainen hajuhaitta muodostuu paikallisesta päästölähteestä. Tuloksista nähtiin läheisen hiivatehtaan vaikutus VOC- pitoisuuteen. Tuulen puhaltaessa hiivatehtaan suunnasta, TVOC -pitoisuus kohoaa liki kolminkertaiseksi. TVOC (total volatile organic compounds) on havaittujen VOC- yhdisteiden summa.

Yksittäisiä yhdisteitä tarkasteltaessa havaitaan Lahden Polttimo Yhtiöt Oy:ltä tulevien VOC- yhdisteiden olevan pääosin alkoholeja. Vaikka etanoli pidättyy erittäin huonosti Tenax TA-putkiin (saatu tulos liian pieni), ja siksi sitä ei kvantitatiivisesti voidakaan määrittää, muodostaa se yhdessä kahden muun alkoholin (isobutanoli ja isoamyylialkoholi) kanssa noin puolet TVOC -pitoisuudesta. On ilmeistä, että havaitut alkoholit muodostavat alueelle tyypillisen hajun; isoamyylialkoholia luonnehditaan viskin hajukseksi, muilla on alkoholimainen tuoksu.



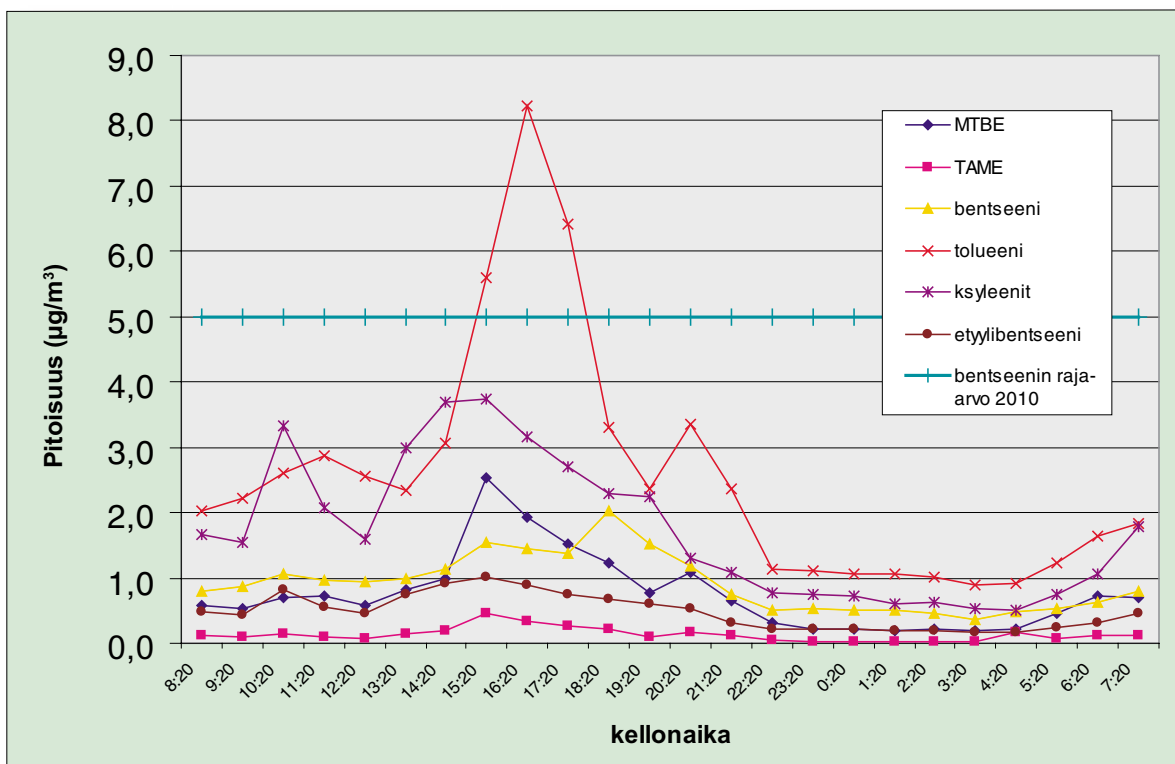
Kuva 8. Lahden Polttimo Yhtiöt Oy:n vaikutus alueen VOC- pitoisuuksiin 21.8.2001.

Neopolin mittauspisteellä tehtiin 15.–16. tammikuuta 2002 aktiivinen 24x1h – näytteenotto. Tuloksista oli nähtävissä Lahden Polttimo Yhtiöt Oy:n vaikutus etanolin pitoisuuteen. Nyt käytetty multiadsorbenttiputki sitoo paremmin etanolia kuin pelkkä Tenax TA, mutta saanto on edelleen liian pieni. (Pelkällä Carbopackilla saanto noin 40 %). Pitoisuutta kuitenkin arvioitiin etanolistandardiin ja suuruusluokaksi saatiin noin 60 µg/m³.



Kuva 9. Lahden Polttimo Yhtiöt Oy:n vaikutus VOC- pitoisuuksiin 15–16.1.2002

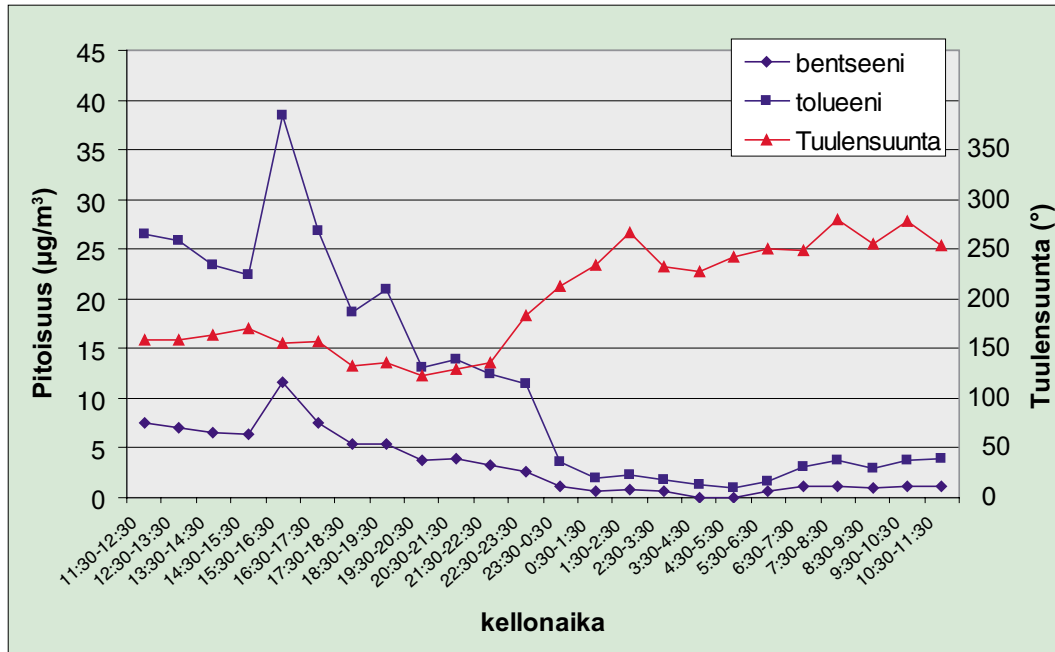
Kuvaajasta, josta etanolin pitoisuus on poistettu, nähdään selvemmin myös vuorokausirytmisissä tapahtuva tolueenin pitoisuuden nousu, joka ajoittuu työpäivän jälkeen tapahtuvaan työmatkaliikenteen kasvuun.



Kuva 10. VOC- pitoisuuksia 15.–16.1.2002 Lahden Neopolissa. Tolueneeni pitoisuuden nousu alkuillasta (klo 16–18) johtuu työmatkaliikenteestä.

3.4.2 Lahti/ Vesijärvenkatu 11

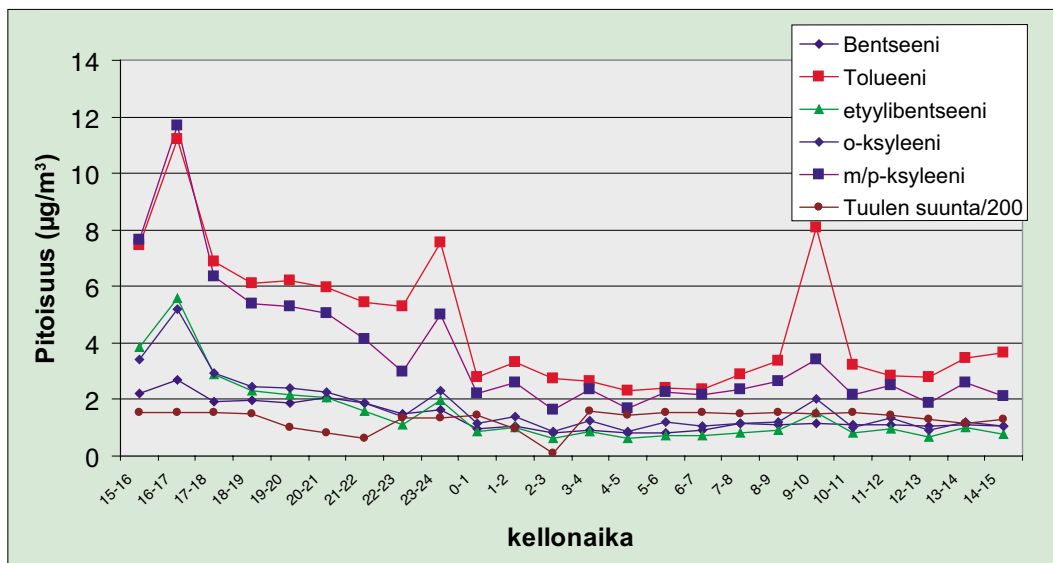
Vesijärvenkatu 11 – mittausaseman vierestä suoritettiin vuorokauden mittaus (24 x 1h) 5-6.9.2001. Kaupungin keskustassa katukuilussa sijaitsevan mittauspisteen luonne osoitautui odotetusti liikenteen ja tuulensuunnan vaihteluiden hallitsemaksi. Liikennemäärä Vesijärvenkadulla on n. 19 000 ajoneuvoa/vrk ja risteävällä Vapaudenkadulla n. 10 000 ajoneuvoa/vrk. Bentseenin vuorokausikeskiarvo oli 3,4 µg/m³, maksimi TVOC oli 94 µg/m³.



Kuva 11. Bentseenin ja tolueneenin pitoisuudet sekä tuulensuunta 5.-6.9.2001 Vesijärvenkadun mittauspisteessä. (tuntikeskiarvot µg/m³)

3.4.3 Lahti/ Kauppatori

Edellisen kaltainen tulos saatiin mitattaessa vuorokauden yli Kauppatorilta (17.-18.10.2001). Havaitut aromaattiset yhdisteet ovat tyypillisiä liikenteen päästöjä. Pitoisuudet vaihtelevatkin liikenteen tiheyden mukaan.



Kuva 12. Lahden torilla 17.-18.10.2001 mitattujen VOC- yhdisteiden pääkomponenttien vuorokausivaihtelut.

3.4.4 Lahti/ Trion pysäköintitalo

Joulukuussa 2001 testattiin aktiivista näytteenottoa multiadsorbenttiputkeen (näytteenottoaika 1h) kaupungin keskustassa sijaitsevassa pysäköintitalossa. Tuloksista nähdään yhdistelmäputken toimivan MTBE:lle, jonka pitoisuus on varsin korkea. Myös TVOC-arvo on huomattavan korkea. Kaikkiaan pysäköintitalon ilmasta tunnistettiin yli 60 hiilivety-yhdistettä. TVOC- pitoisuudesta tunnistettiin 95 %.

Lahden keskustan pysäköintitalossa mitattuja TVOC- pitoisuuksia:

Yhdiste	Pitoisuus (µg/m ³)
MTBE**	260
trimetyylibentseeni	233
ksyleenit*	196
tolueeni*	94
TAME*	83
heksaani*	79
2-metyyli-pentaani	77
etylibentseeni*	73
2-metyyli-1-buteeni	57
Bentseeni*	55
3-metyylipentaani	46
2,4-dimetyylipentaani	45
metyylisyklopentaani	45
isopropanoli*	40
heptaani*	40
2-metyyliheksaani	36
tetrametyylipentaani	25
propylibentseeni	25
o-etyylitolueeni	25
tetrametyylibentseeni	25
2,5-dimetyyliheptaani	24
1,2-dimetyylisyklopropani	19
3-metyyli-2-penteeni	19
Metyylisykloheksaani	18
oktaani*	14
2-hekseeni	13
2,5-dimetyyliheksaani	13
styreeni*	13
3-metyyliheptaani	12
4-metyylioktaani	11
2-propyylitolueeni	11
1,3-trimetyylisyklopentaani	10
syklopentaani	9

Yhdiste	Pitoisuus (µg/m ³)
2-metyyli-2-penteeni	9
2,3-dimetoksi-2-metyylibutaani	9
2-etyyli-1,3-dimetyylibentseeni	9
2,3,4-trimetyylipentaani	8
naftaleeni	8
3-etyyli-2-metyylipentaani	7
nonaani*	7
isopropylibentseeni*	7
dekaani*	7
2,4-dimetyyliheksaani	6
etyylisyklopentaani	6
metyylistyreeni	6
3-hekseeni	5
3-metyylioktaani	5
4-etyyli-o-ksyleeni	5
trimetyylihekseeni	4
2-metyyli-2-hekseeni	4
3-metyylinonaani	3
Limoneeni*	3
2-etyyli-3-metyyli-buteeni	2
2,5-dimetyyliheptaani	2
butyliasetaatti	2
propyylisykloheksaani	2
2-metyylinonaani	2
heksyylisykloheksaani	2
metyylipropylibentseeni	2
p-symeeni	2
1,3-pentadieeni	1
tunnistamatta	106

* = standardivaste

** = pidättyy huonosti Tenax TA:han

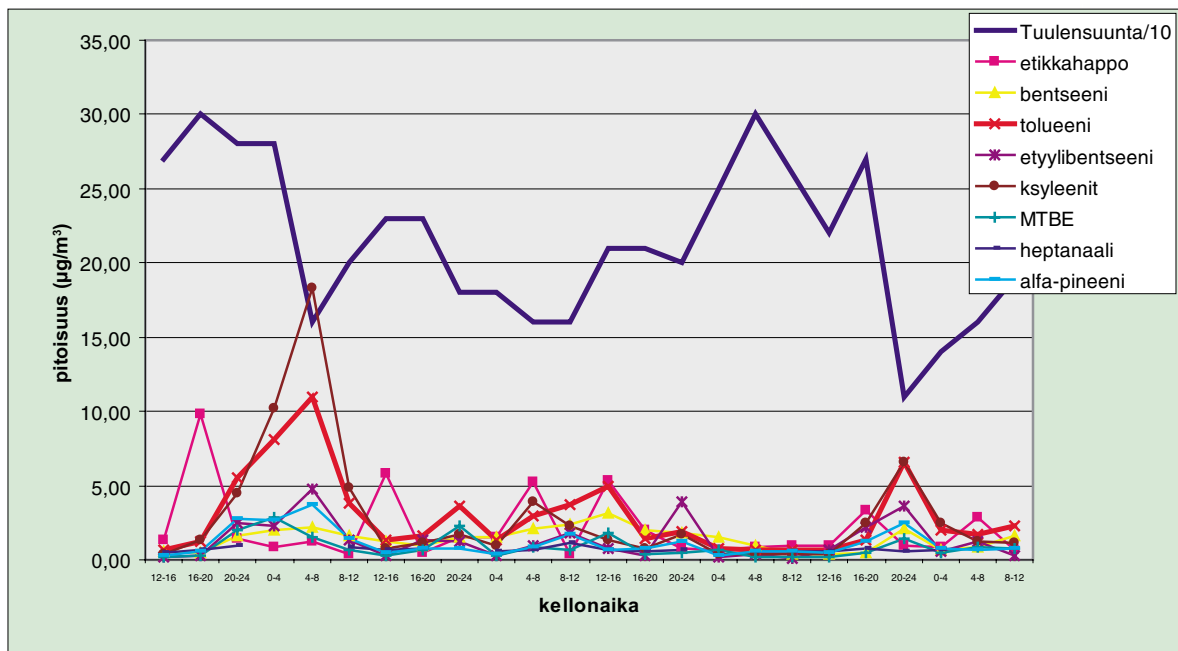
TVOC= 1983 µg/m³

Tunnistettu: 95%

Standardiin kvantitoitu: 964 µg/m³ (49%)

3.4.5 Lahti/ Ruoriniemi

Kesällä 2002 Ruoriniemen asukkaat valittivat hellesäällä asuntoihin ajoittain tunkeutuvasta ”mädän kalan” hajusta. Alueelle uuden hajun epäiltiin kulkeutuvan läheiseltä teollisuusalueelta. Hajun selvittämiseksi Pursimiehenkadulta mitattiin 26.8.–30.8.2002 neljän tunnin jaksoissa neljä vuorokautta. Epäonneksi tuuli ei puhaltanut kertaakaan teollisuusalueen yli, ohi mittauspisteen, joten mittaustulos on lähinnä kaupunki- ja taajama-ilman normaaleja yhdisteitä normaaleilla pitoisuustasoilla. Tehdasalue sijaitsee mittauspisteeseen nähden siten, että tuulen olisi puhallettava suunnasta 0-90 astetta (pohjoinen-itä), jotta ilma kulkisi ensin tehdasalueen ja sitten mittauspisteen yli. Mittausaikana tuuli puhalsi suunnasta 110–300 astetta (kaakko-luode), joten tehdasalueen hajut eivät kulkeutuneet mittauspisteen yli kertaakaan. Tuloksista näkyy selvästi kaupunkiliikenteen vaikutus tuulen puhaltaessa kaupungista (90–180 astetta) päin. (tuulensuunta Vesijärvenkadun sääasemalta)



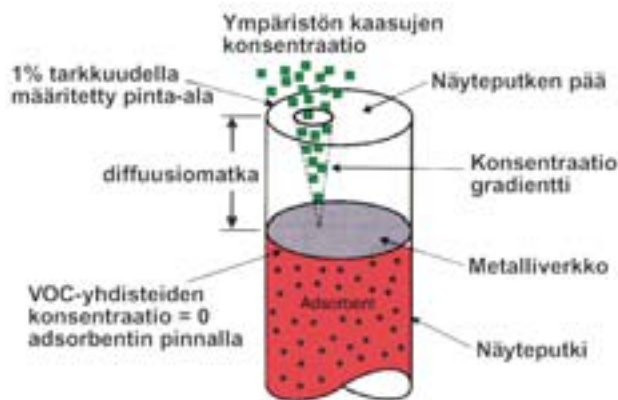
Kuva 13. Pursimiehenkatu 2:ssa mitattujen VOC- yhdisteiden pitoisuudet ja tuulensuunta. (26.8.–30.8.2002)

4.VOC-YHDISTEIDEN MITTAAMINEN PASSIIVISELLÄ NÄYTTEENOTOLLA ULKOILMASTA

4.1 Passiivinen näytteenotto

Passiivinen näytteenotto perustuu ilmassa olevien yhdisteiden diffuusioon näyteputkessa olevaan adsorbenttiin (ks kuva). Adsorbenttiputkeen otettaessa avoin putki altistetaan ilmalle mitatun ajanjakson. Määrittämällä ajan suhteen näyteputkessa olevaan adsorbenttiin kertynyt näytepitoisuus, voidaan tunnettuja diffuusiokertoimia käyttäen laskea yhdisteen pitoisuus ilmassa. Saatua tulos ilmoittaa siten mittausajanjakson yhdistekohtaisen keskipitoisuuden. Diffuusionäytteenotinta käytettäessä altistusaika, joka vaaditaan riittävän herkkyden saavuttamiseksi, jotta voidaan mitata VOC- yhdisteitä matalalla $\mu\text{g}/\text{m}^3$ konsentraatitasolla, on tyypillisesti useita päiviä tai viikkoja.

Multiadsorbentti- putkista on hyötyä vain aktiivisessa näytteenotossa, sillä passiivisessa näytteenotossa diffuusio tapahtuu vain adsorbentin kanssa, joka on suorassa kosketuksessa tutkittavaan ilmaan (ks. Kuva 14). Aktiiviseen menetelmään verrattuna passiivisella menetelmällä voidaan määrittää vain niiden yhdisteiden pitoisuudet, joiden diffuusiokertoimen tiedossa käytetylle adsorbentille ja jotka pidättyvät käytettyyn adsorbenttiin. Käytännössä ehdot rajaavat passiivimenetelmälle hyvin soveltuvien yhdisteiden määrän varsin pieneksi verrattuna aktiiviseen menetelmään, kuitenkin erityisesti laaja-alaisessa kenttätyöskentelyssä ne ovat parempia kuin aktiiviset näytteenottomenetelmät, koska ne eivät vaadi näytteenottopumppuja.



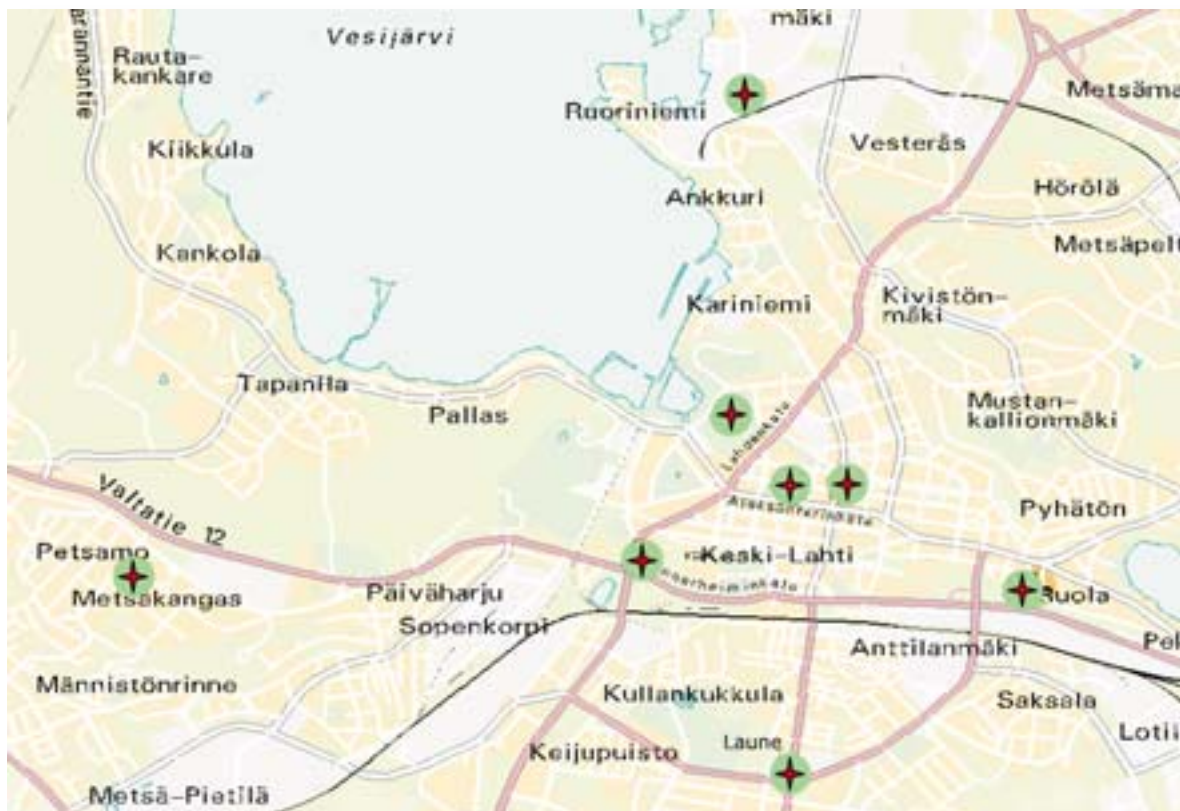
Kuva 14. VOC- yhdisteiden passiivisen näytteenoton periaate.⁷

Tavoitteena oli kehittää menetelmä pidempiaikaiseen VOC- yhdisteiden, erityisesti bentseenin, pitoisuuksien seurantaan. Valtioneuvoston asetus nro 711/2001, asettaa bentseenille kalenterivuoden raja-arvoksi $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Raja-arvo on saavutettava 1.1.2010 mennessä. Raja-arvosta määritellään myös alempi (40 % raja-arvosta, $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ja ylempi arviointikynnys (70 % raja-arvosta, $3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). ”Ylemmän ja alemman arviointikynnyksen ylittyminen määritetään viiden edellisen vuoden pitoisuuksien perusteella. Arviointikynnys katsotaan ylityksi, jos kynnyksen lukuarvon ylitysten kokonaislukumäärä kyseisten viiden vuoden aikana on enemmän kuin kolme kertaa vuotta kohden sallittujen ylitysten lukumäärä. Vuosiraja-arvosta määritetyn arviointikynnyksen katsotaan ylittyvän, kun kynnyksen lukuarvo on ylittynyt vähintään kolmena vuonna kyseisten viiden vuoden aikana.”

Carbopack B valittiin adsorbentiksi, koska kirjallisuudesta (BTEX:ien diffuusiovakiot ovat ISO/DIS 16017-2 standardista ja MTBE:n julkaisusta The Science of the Total Environment 2002: "Aromatic hydrocarbon and *tert*-butyl ether measurements on ambient air of Helsinki (Finland) using diffusive samplers") löytyy valmiiksi määritetyt diffuusiokertoimet mielenkiinnonkohteena oleville eBTEX-yhdisteille (bentseeni, tolueni etyylibentseeni, ksyleeni ja MTBE) määritettynä Carbopack B-adsorbentille. Nämä yhdisteet ovat yleisiä mm. auton pakokaasupäästöissä.

4.2 VOC- yhdisteiden mittaukset Lahdessa

Passiivista näytteenottomenetelmää kokeiltiin (25.3. – 22.4.2002) aluksi Vesijärvenkatu 11:sta, Launeen ja Lahden kauppatorin mittausasemilla. Näytteenottoaikana oli yksi kuukausi, mutta sittemmin aika on lyhennetty kahteen viikkoon. Kahden viikon passiivisella keräyksellä kunkin yhdisteen määrittämissä on 4 ng/näyteputki, josta diffuusiokertoimilla saadaan $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. VOC- passiivimittauspisteiden lukumäärä on laajennettu käsittämään kaikki Lahden nykyiset mittausasemat (7 kpl). Passiivimenetelmää käyttävät bentseenin mittaukset ovat olleet käynnissä kaikilla Lahden mittausasemilla 28.6.2002 lähtien. Passiivimittauspiste lopetettiin 24.1.2003 Kisapuistossa ja siirrettiin Mytjäjäisten risteykseen. Samaan aikaan aloitettiin passiivinen mittaus Heinolan keskustan mittauspisteellä.



Kuva 15. Lahdessa tehtyjen VOC- pitoisuusmittausten mittauspaikat passiivisella menetelmällä.

4.3 VOC- yhdisteiden mittaustuloksia Lahdessa ja Heinolassa

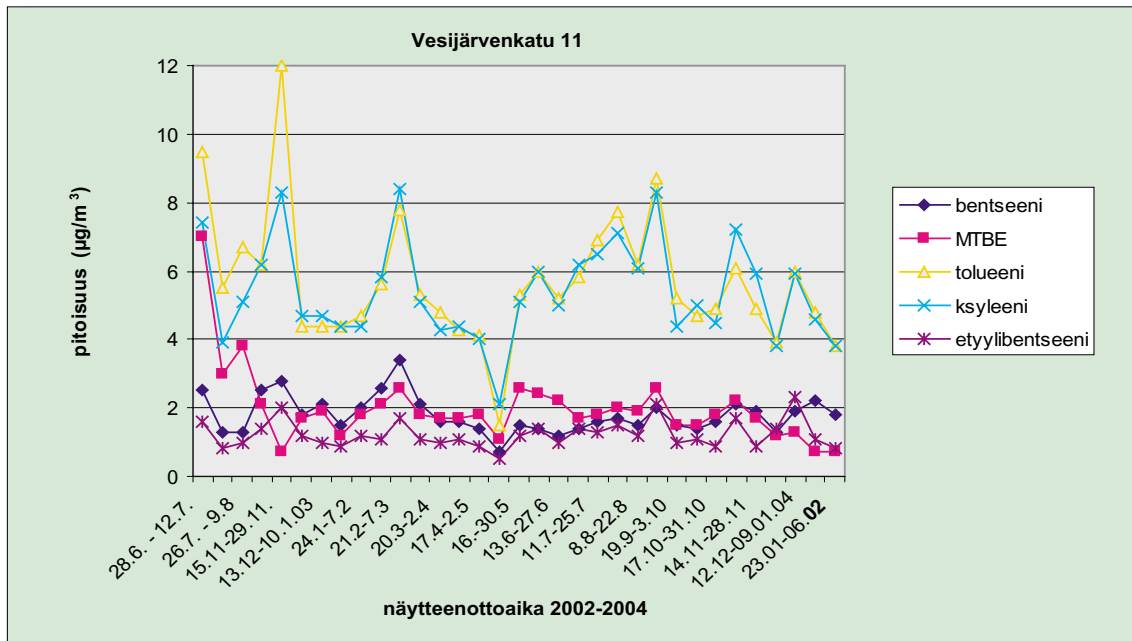
4.3.1 Bentseenin, MTBE:n, toluenin, ksyleenin ja etyylibentseenin pitoisuus mittauspisteittäin

Mittauspisteistä Metsäkankaan pisteen voidaan katsoa edustavan puhdasta asuma-aluetta ja muita mittauspisteitä voidaan hyvin verrata tämän mittauspaikan pitoisuuksiin.

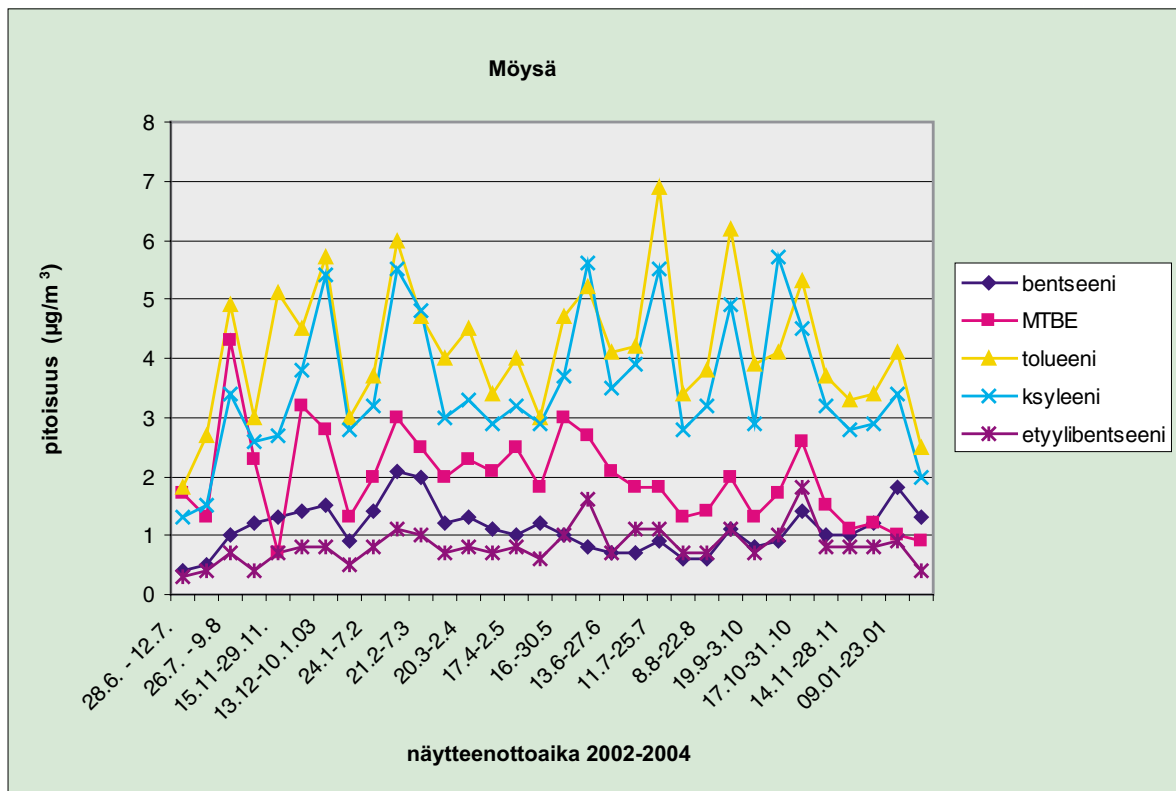
Mittauspisteittäin passiivinäytteistä tutkittujen yhdisteiden tuloksia tarkasteltaessa nähdään selvästi, että tolueni ja ksyleeni muodostavat mitatuista yhdisteistä suurimmat pitoisuudet. Toluenin ja ksyleenin pitoisuudet ovat olleet liki yhtä suuret ja suuremmat kuin muiden mitattujen yhdisteiden pitoisuudet yhteensä Vesijärvenkadulla, Launeella, Mytjäisissä, Heinolan keskustassa ja Kauppatorilla. Tämä on selvästi liikenteen aiheuttamaa, sillä nämä mittauspisteet ovat myös kaikkein liikennöidyimmät. Metsäkankaalla tolueni yksin on antanut selvästi suurempia pitoisuuksia kuin muut yhdisteet. Neopoli on mittauspisteistä ainoa, jossa ksyleenin pitoisuus on yleensä selvästi toluenin pitoisuutta suurempi. Neopolin mittauspisteessä ksyleenille on selvästi muita lähteitä kuin liikenne esim. lähellä sijaitseva paikallinen huonekaluteollisuus.

Möysän pisteessä havaitaan selvästi MTBE:n pitoisuuden olevan toluenin ja ksyleenin jälkeen jatkuvasti kolmanneksi suurin yhdisteistä, muissa pisteissä kolmanneksi suurimpia pitoisuuksia on useimmin antanut bentseeni ja vain välillä MTBE. Metsäkankaan pisteessä on MTBE:tä havaittu tuskin lainkaan tai pitoisuus on ollut juuri määrittelyrajalla ($0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

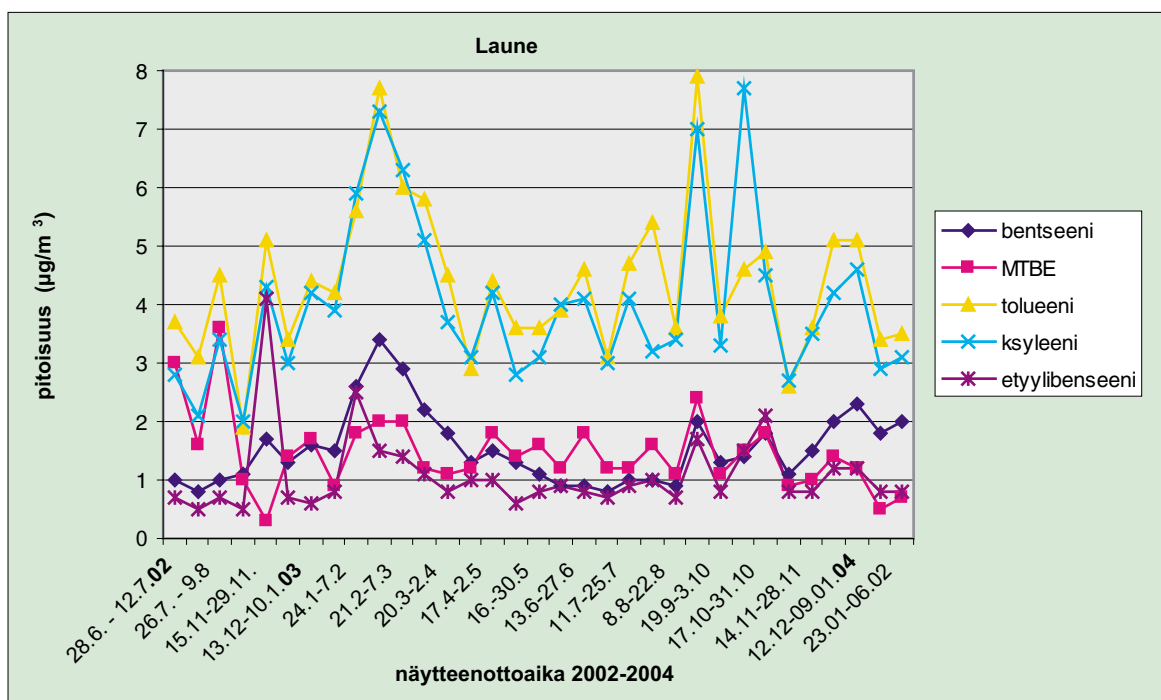
Heinolan keskustassa mitatut MTBE:n, bentseenin, tolueni, ksyleenin ja etyylibentseenin pitoisuudet ja pitoisuuksien suuruusjärjestykset yhdisteittäin ovat olleet hyvin samalla tasolla kuin Lahden keskustassa kauppatorilla mitatut pitoisuudet.



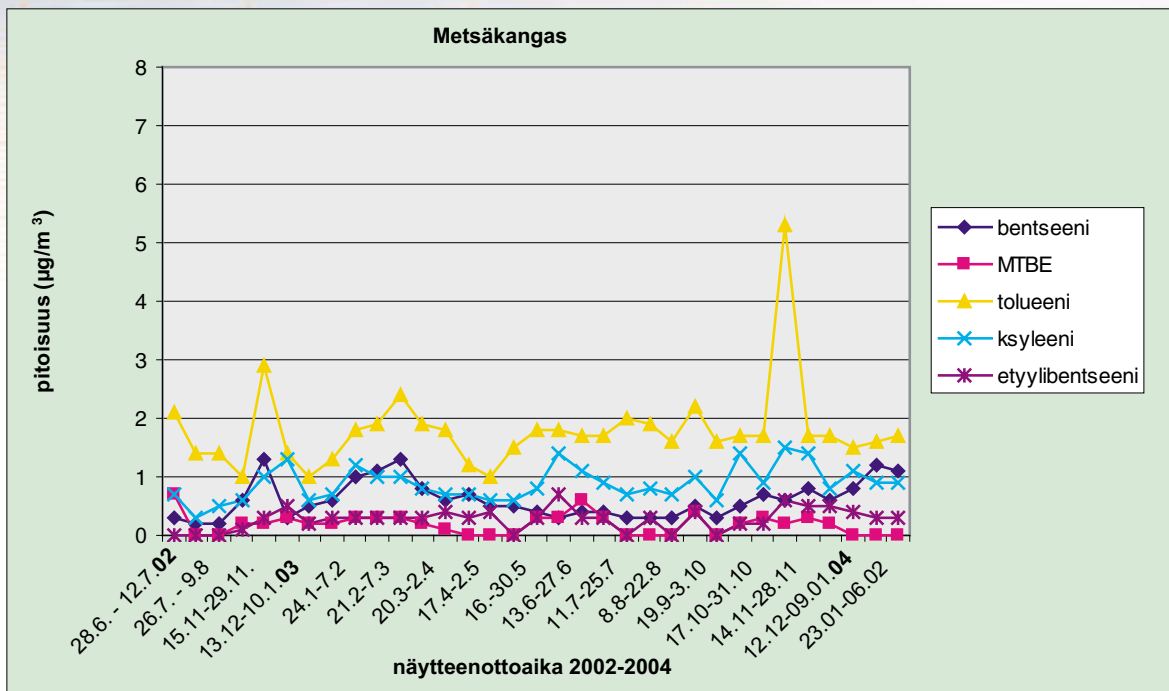
Kuva 16. Vesijärvenkadun mittauspisteessä voidaan havaita liikenteen aiheuttamien toluenin ja ksyleenin suuret pitoisuudet kuten muillakin liikennöidyillä mittauspaikoilla. Vesijärvenkadulla on lisäksi mitattu Lahden suurimpia bentseenipitoisuuksia; helmi- maaliskuussa 2003 pitoisuudet olivat hyvin lähellä bentseenille asetettua ylintä arviointikynnystä ($3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$).



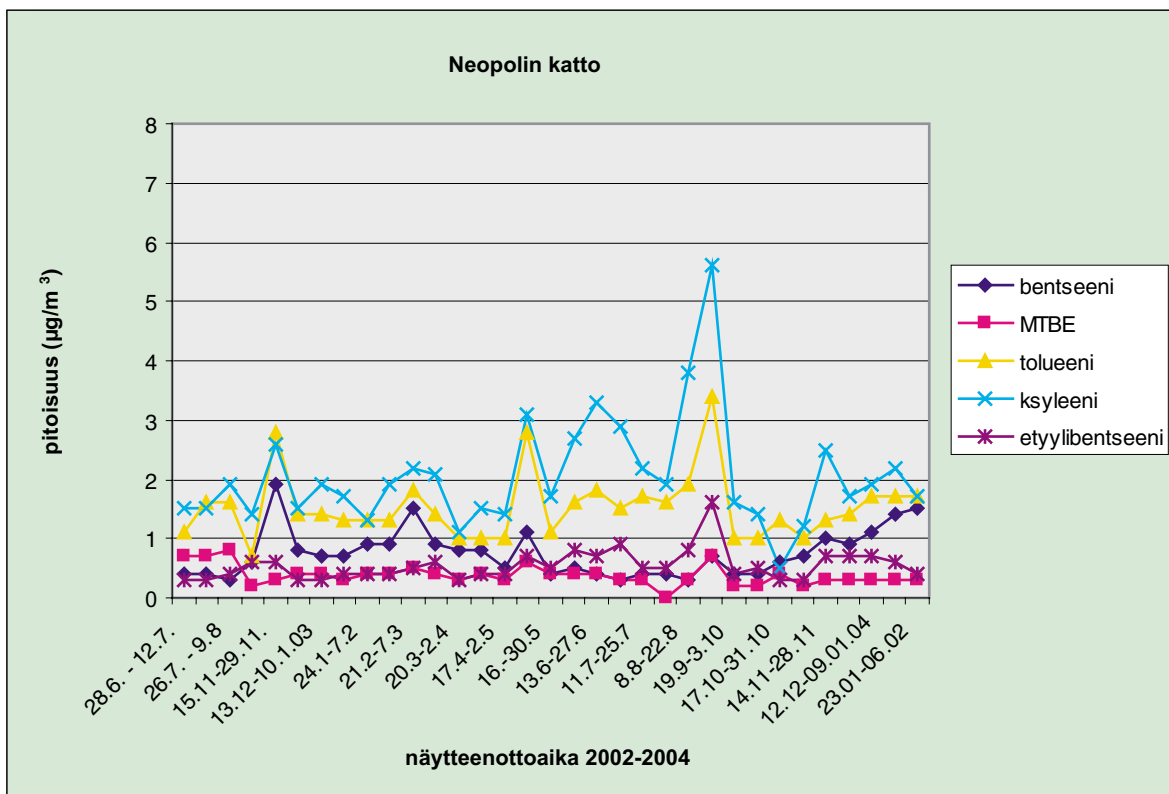
Kuva 17. Möysän mittauspisteen tuloksista havaitaan liikenteen aiheuttamien toluenin ja ksyleenin suuret pitoisuudet. Möysässä huomattavasti muita mittauspisteitä korkeammat MTBE:n pitoisuudet johtunevat lähellä sijaitsevasta huoltoasemasta.



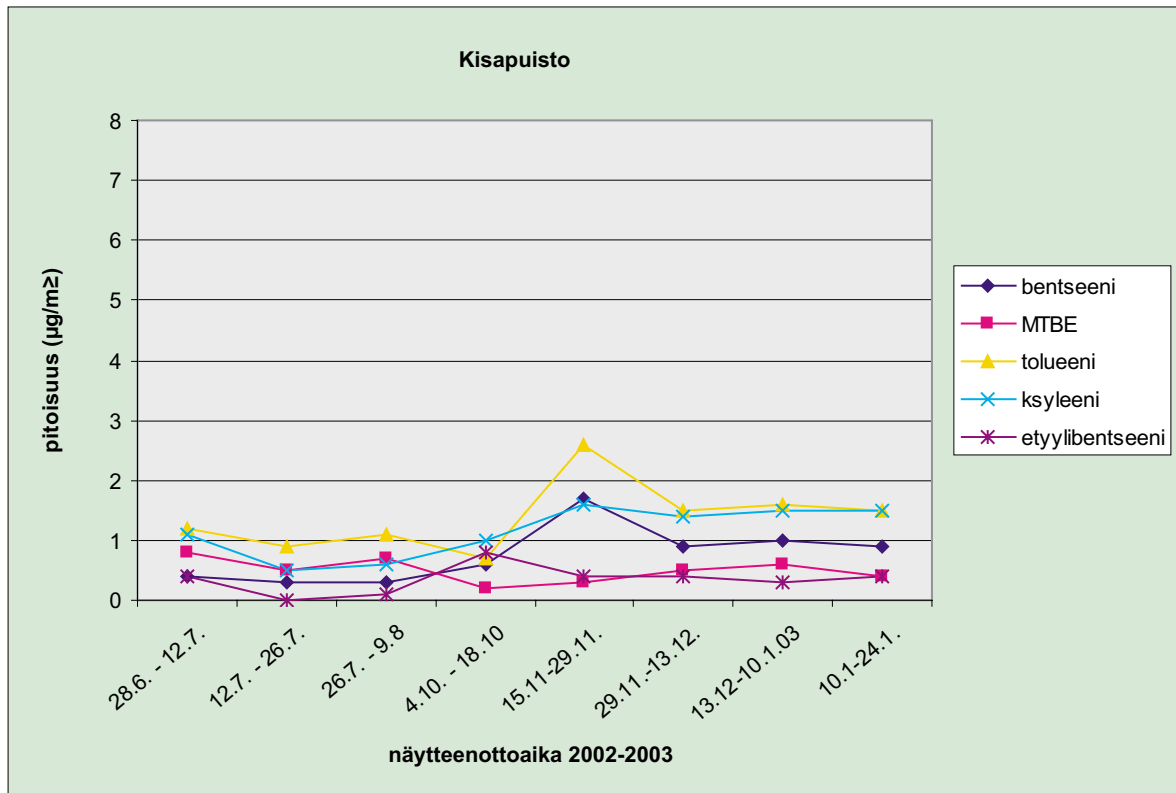
Kuva 18. Launeen mittauspisteessä on liikenteen aiheuttamien toluenin ja ksyleenin suuret pitoisuudet kuten muillakin liikennöidyillä mittauspaikoilla. Launeella on lisäksi mitattu Lahden suurimpia bentseenipitoisuuksia; helmikuussa 2003 pitoisuudet olivat hyvin lähellä bentseenille asetettua ylintä arviointikynnystä ($3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$).



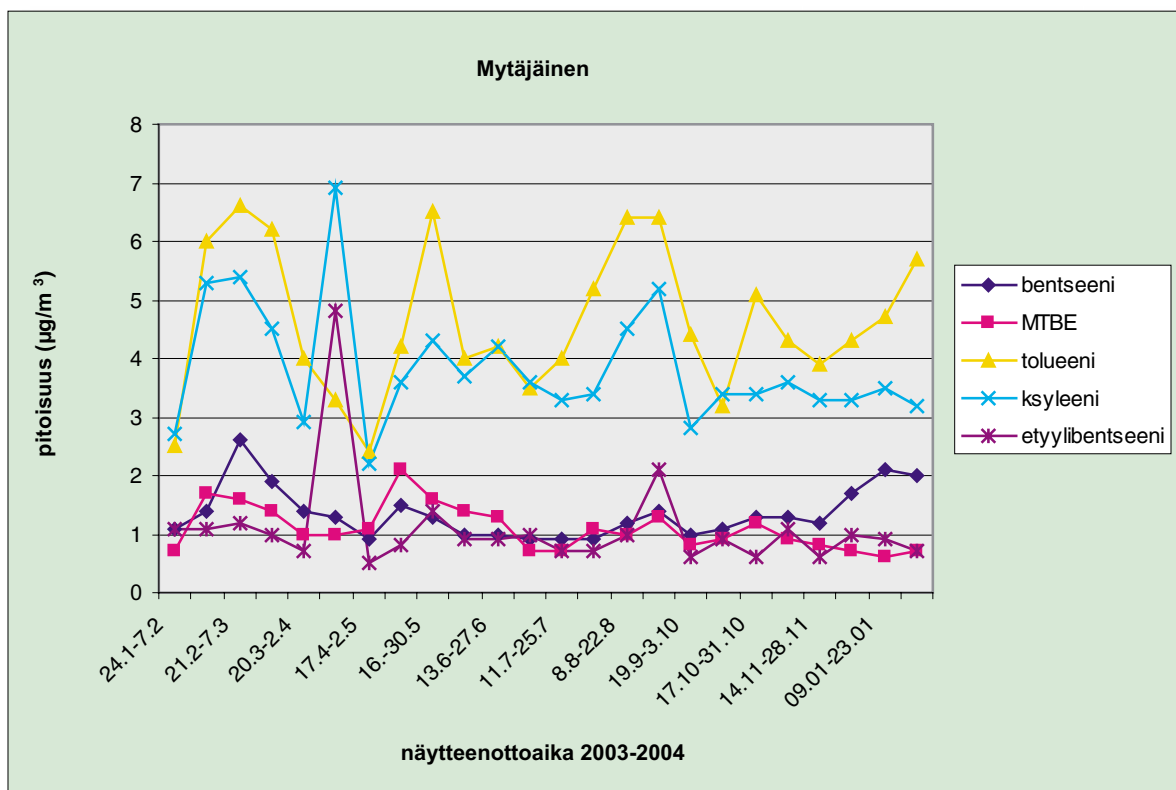
Kuva 19. Metsäkankaan mittauspisteen voidaan katsoa edustavan puhdasta asuma-alueita ja muita mittauspisteitä voidaan hyvin verrata tämän mittaustaikojen pitoisuuksiin. Metsäkankaalla tolueneeni yksin on antanut selvästi suurempia pitoisuuksia kuin muut yhdisteet ja toisaalta MTBE:tä on havaittu tuskin lainkaan tai pitoisuus on ollut juuri määrittelyrajalla.



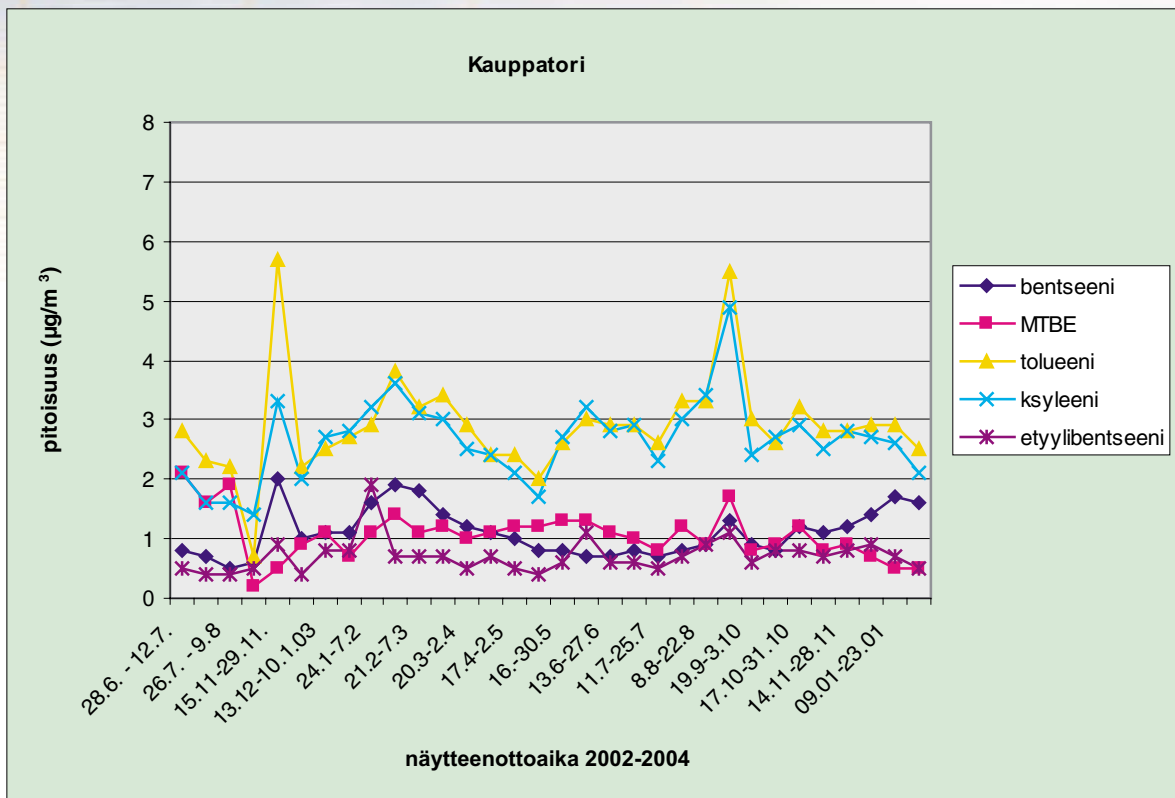
Kuva 20. Neopoli on mittauspisteistä ainoa, jossa ksyleenin pitoisuus on yleensä selvästi tolueneenin pitoisuutta suurempi. Neopolin mittauspisteessä ksyleenille on muita lähteitä kuin liikenne esim. lähellä sijaitseva paikallinen huonekaluteollisuus.



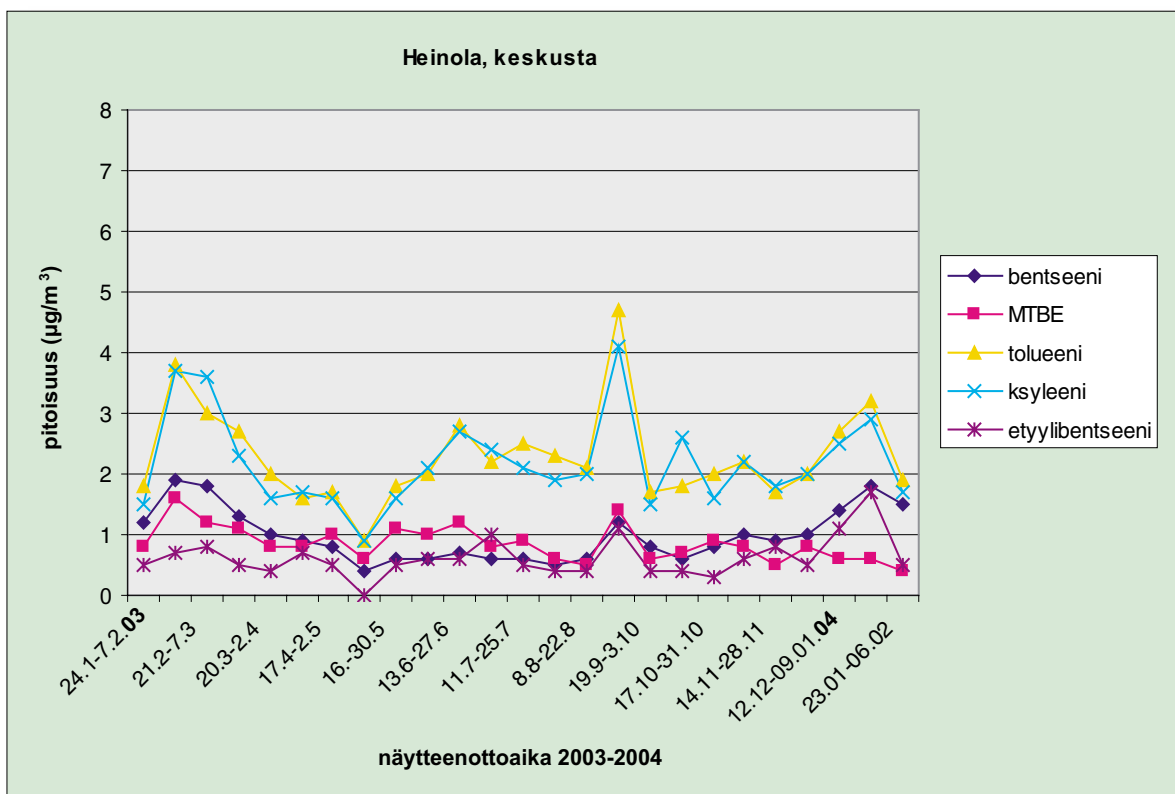
Kuva 21. Lahden Kisapuiston mittaustulokset ovat olleet tasoiltaan pienimpiä. Puolen vuoden mittausajan jälkeen kisapuiston mittauspiste lopetettiin ja siirrettiin Mytjäisten liikenneneristykseen.



Kuva 22. Mytjäisten mittauspisteessä voidaan havaita liikenteen aiheuttaminen toluenin ja ksyleenin suuret pitoisuudet kuten muillakin liikennöidyillä mittauspajoilla.



Kuva 23. Lahden kauppatorin mittauspisteessä liikenne on aiheuttanut tolueenin ja ksyleenin suuret pitoisuudet.



Kuva 24. Heinolan keskustassa mitatut MTBE:n, bentseenin, tolueenin, ksyleenin ja etyylibentseenin pitoisuudet ja pitoisuuksien suuruusjärjestykset yhdistettään ovat olleet hyvin samalla tasolla kuin Lahden keskustassa kauppatorilla mitatut pitoisuudet. (VRT. kuva 23)

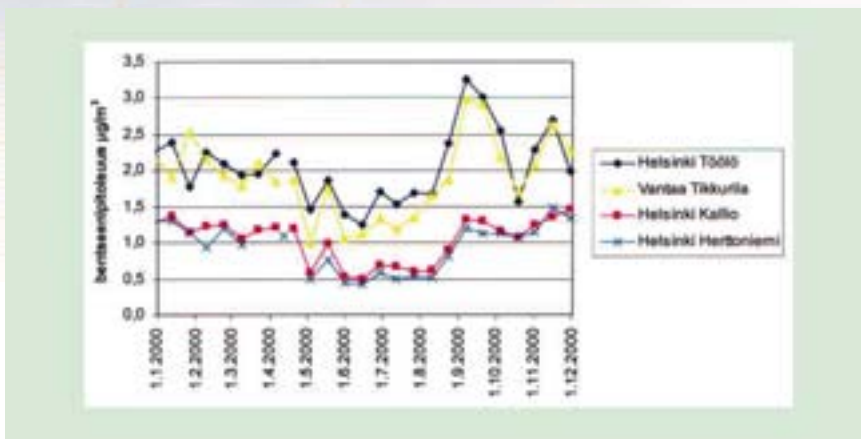
4.3.2 Bentseenin, MTBE:n, toluenin, ksyleenin ja etyylibentseenin pitoisuus yhdisteittäin

Ilmanlaatuasetuksen 711/2001 mukaisia bentseenin raja-arvon ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ylityksiä ei ole mitattu. Sen sijaan 28.6.2002 jälkeen alkaneissa mittauksissa alemman arviointikynnyksen ($2,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ylityksiä on mitattu Vesijärvenkatu 11 (10 kpl), Launeen (7 kpl), Möysän (2 kpl), Mytjäisten (2 kpl, mittaukset aloitettu vasta 24.1.2003) mittausasemilla. Launeella 7.2.–21.2.2003 ja Vesijärvenkadulla 21.2.–7.3.2003 mitattu bentseenin pitoisuus ($3,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) oli hyvin lähellä ilmanlaatuasetuksen 711/2001 ylintä arviointikynnystä ($3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Ylitykset ovat kahden viikon mittausjakson tuloksista, joita on varrattu vuosikeskiarvoon.

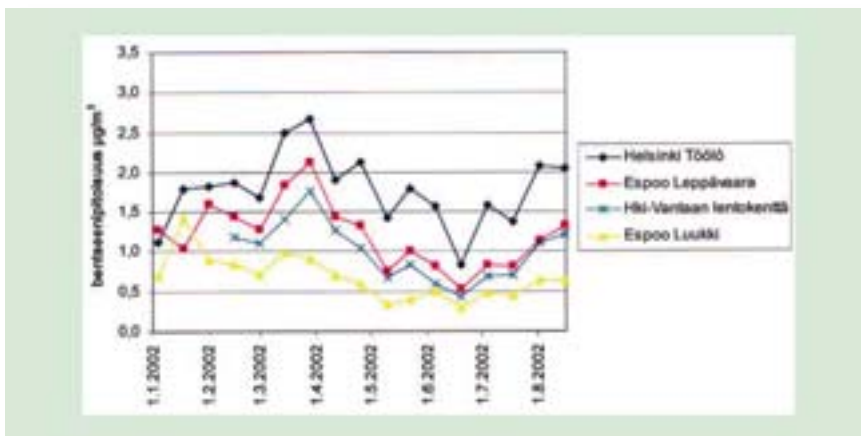
Ilmatieteenlaitoksen tekemiin bentseenimittauksiin verrattuna Lahdessa mitatut bentseenin tasot ovat Launeella ja Vesijärvenkadulla varsin samalla tasolla kuin Helsingissä Töölössä ja Vantaalla Tikkurilassa. Vuonna 2003 Lahdessa mitattiin Vesijärvenkadulla ja Launeella kevätpölyn aikaan korkeampia pitoisuuksia kuin millään Ilmatieteenlaitoksen mittausasemalla Helsingin seudulla.

Suurimmat bentseenin pitoisuudet havaitaan Lahdessa yleensä Vesijärvenkadulla tai Launeella. MTBE:n pitoisuuksia tarkasteltaessa havaitaan Möysän pisteen antavan suurimpia pitoisuuksia laskien vain välillä Vesijärvenkadun (toiseksi suurin) pitoisuuksien tasalle. Tämän aiheuttanee mittauspisteestä n. 30 metrin päässä sijaitseva huoltoasema, sillä liikennemäärältään Vesijärvenkatu on ruuhkaisempi verrattuna Möysän mittausasemaan.

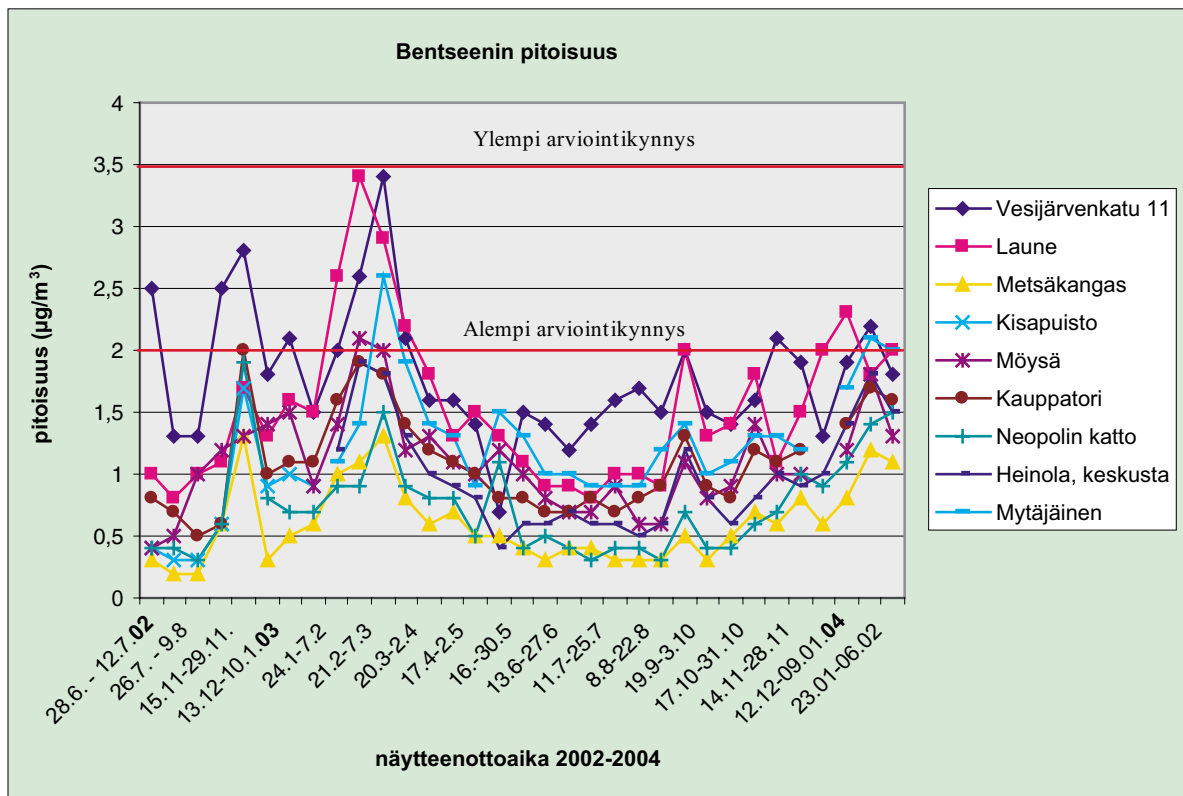
Toluenin ja ksyleenin pitoisuudet ovat olleet suurimmillaan sellaisilla mittauspäikoillä, joiden läheisyydessä on eniten liikennettä eli Vesijärvenkadulla, Launeella, Mytjäisissä, Heinolan keskustassa ja Kauppatorilla.



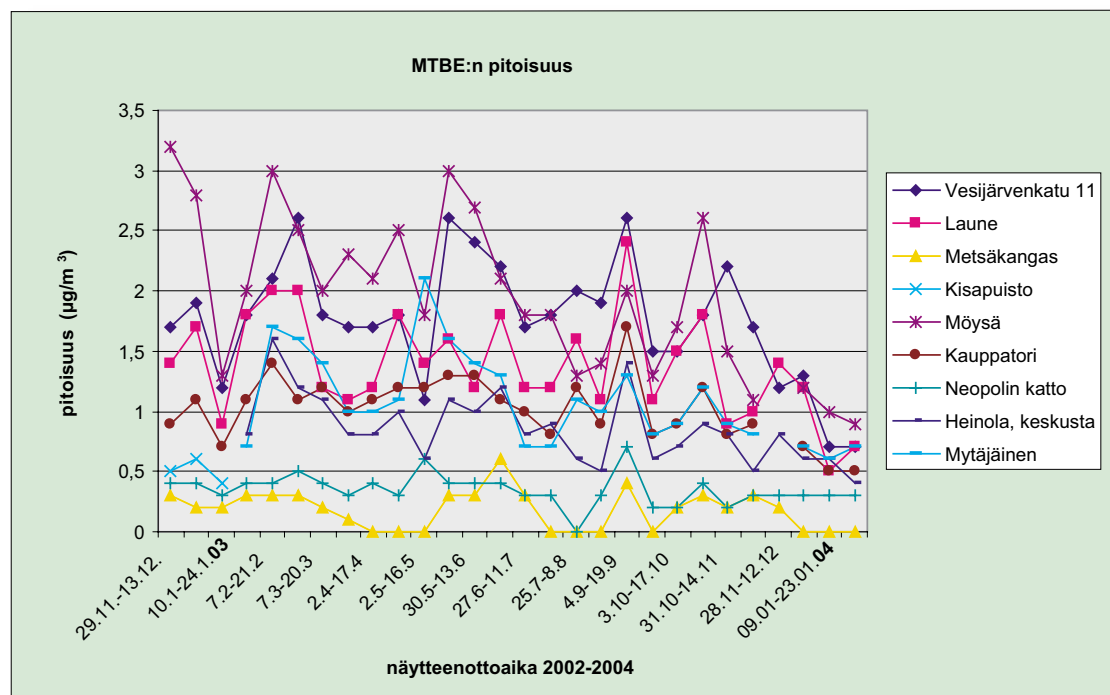
Kuva 25. Bentseenipitoisuudet 2 viikon keskiarvoina pääkaupunkiseudulla vuonna 2000.⁸



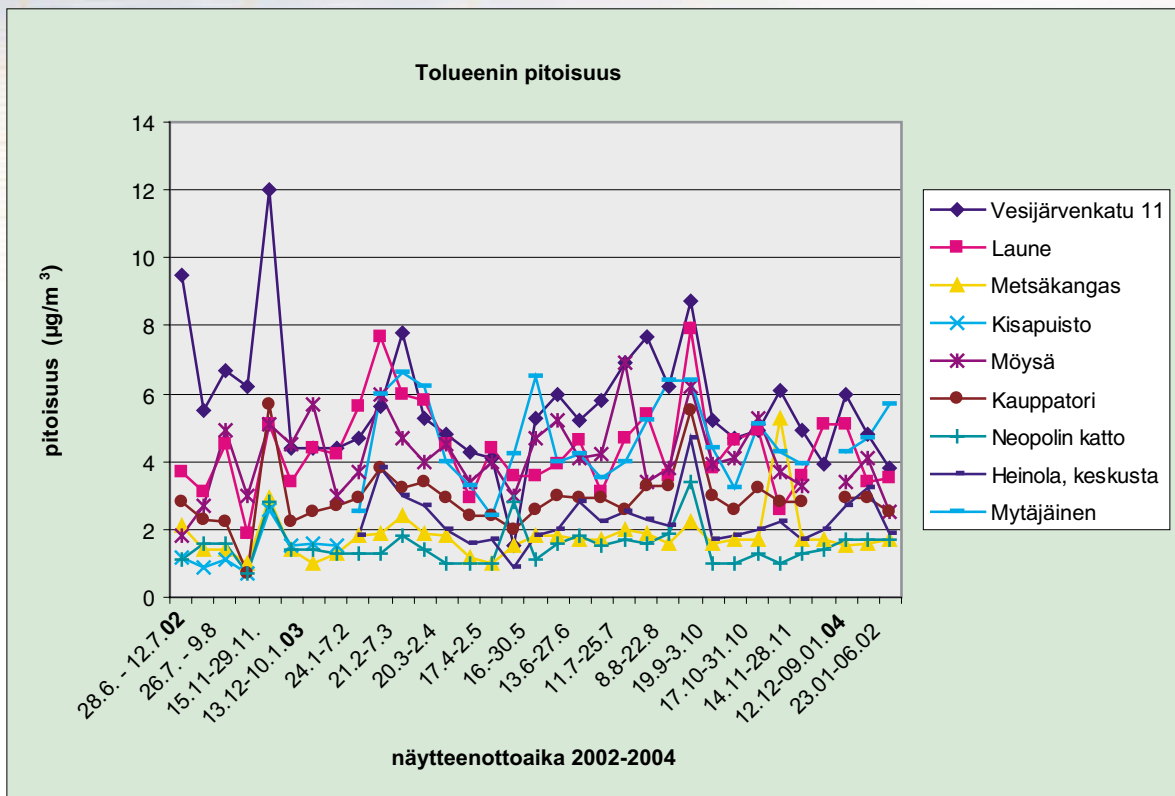
Kuva 26. Bentseenipitoisuudet 2 viikon keskiarvoina pääkaupunkiseudulla vuonna 2002.⁸



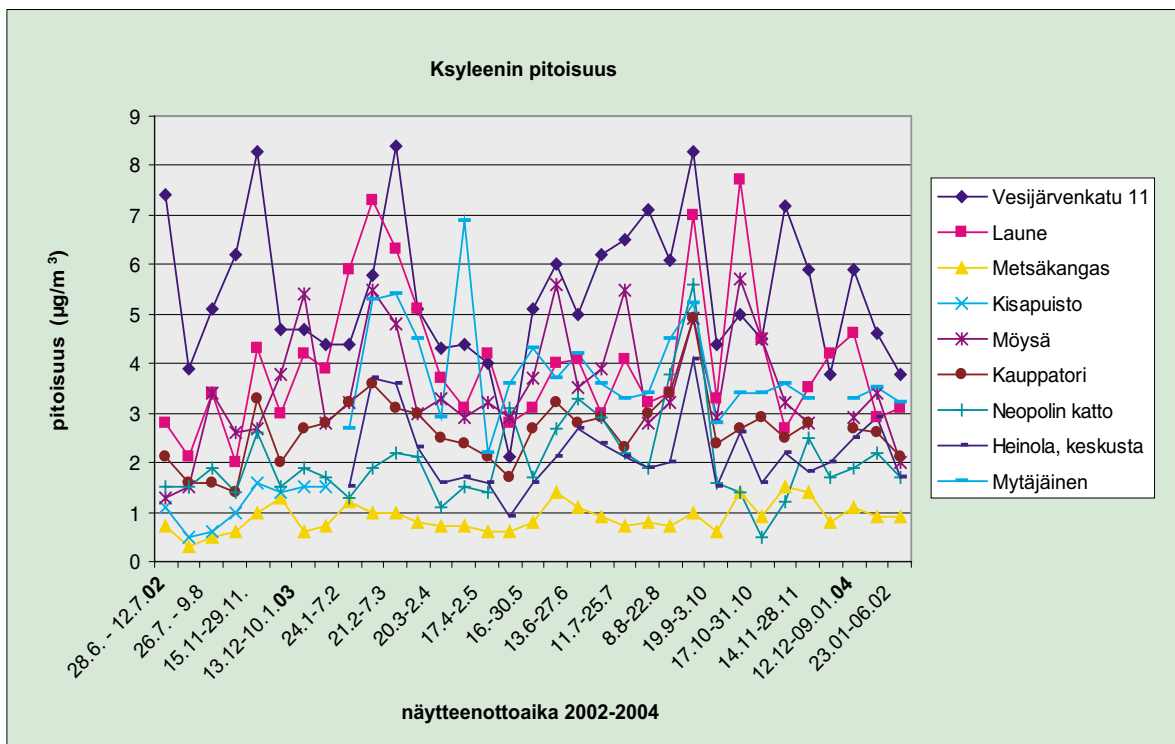
Kuva 27. Labdessa mitatut suurimmat bentseenin tasot ovat Launeella ja Vesijärvenkadulla varsin samalla tasolla kuin Helsingissä Töölössä ja Vantaalla Tikkurilassa. Heinolan bentseenipitoisuudet ovat hyvin samalla tasolla kuin Lahden kauppatorilla. (Bentseenille asetettu alempi arviointikynnys on $2,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja ylempi arviointikynnys $3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$)



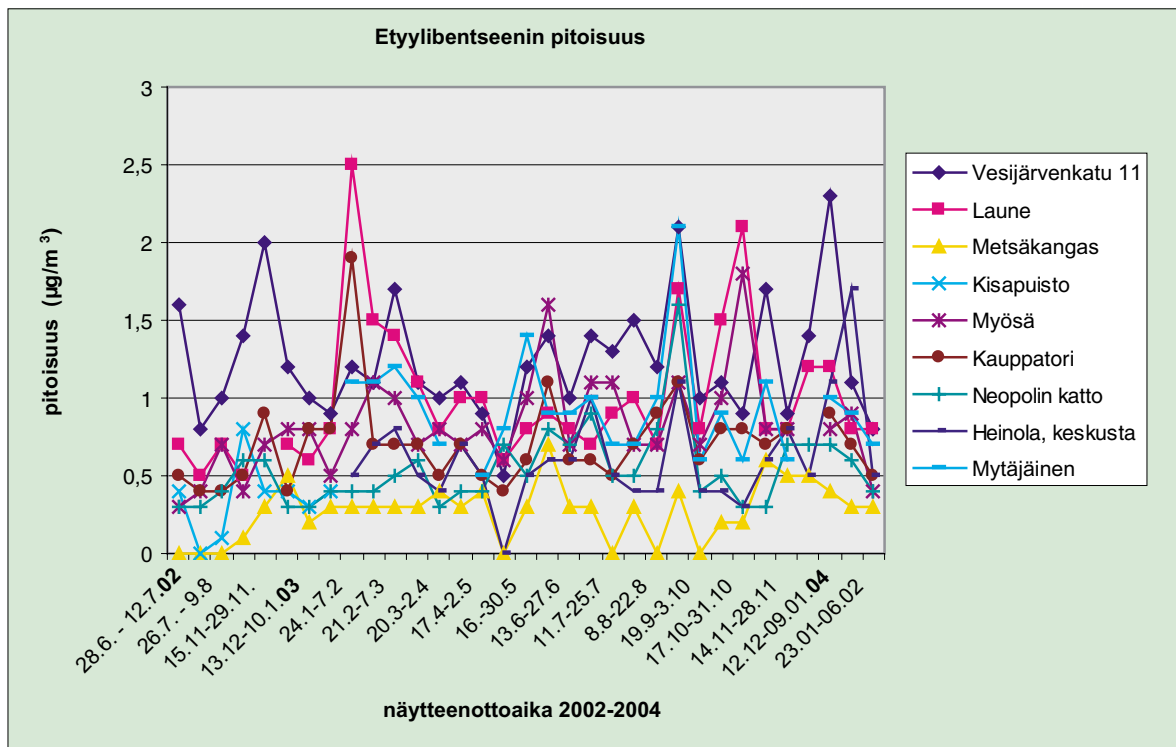
Kuva 28. MTBE:n pitoisuudet ovat olleet pääsääntöisesti kaikkein suurimmat Möysässä. Tämän aiheuttanee mittauspisteestä n. 30 metrin päässä sijaitseva huoltoasema, sillä liikennemäärältään Vesijärvenkatu on ruuhkaisempi verrattuna Möysän mittauspaikkaan.



Kuva 29. Labdessa suurimmat tolueenipitoisuudet on mitattu eniten liikennöidyillä paikoilla; Vesijärvenkadulla, Launeella, Mytjäisissä ja Möysässä.



Kuva 30. Labdessa suurimmat ksyleenipitoisuudetkin on mitattu eniten liikennöidyillä paikoilla; Vesijärvenkadulla, Launeella, Mytjäisissä ja Möysässä.



Kuva 31. Launeella ja Vesijärvenkadulla suurien liikennemäärien vuoksi mitattu myös Lahden suurimmat etylibentseenipitoisuudet.

5.VOC-MITTAUKSET HEINOLAN SAHANNIEMESSÄ

5.1 Mittaukset aktiivisella ja passiivisella näytteenotolla

Lahden Tutkimuslaboratorio suoritti 24.–29.10.2002 mittauksia Suomen Kuitulevy Oy:n läheisyydessä. Tarkoituksena oli selvittää sekä vesi- että liuotinpohjaisista pinnoitusprosesseista vapautuvien VOC- yhdisteiden vaikutus lähialueen pitoisuustasoon.

Aktiivinäytteenotto-mittaukset suoritettiin kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa (24.10.2002) määritettiin pinnoituslinjaa lähinnä olevan kerrostalon pihalta alueen taustapitoisuus. Lisäksi mitattiin vesiohenteista pinnoitetta käyttäneen prosessin vaikutus pitoisuuksiin tuulen alla. Toisessa vaiheessa (29.10.2002) suoritettiin näytteenotto liuotinpohjaisen prosessin ollessa käynnissä. Mittaus suoritettiin kuten vesiohenteisen prosessin aikaan, tuulen alta. Lisäksi käynnissä oli passiivinäytteenkeräys (24.–29.10.2002). Mittauspisteet on esitetty kuvassa.

Mittauspisteet ja niiden TVOC- pitoisuudet, *mitattu tuulen alta, etäisyydeltä joka on noin puolet maalaamoja lähinnä olevan asunnon etäisyydestä.

Mittauspiste	TVOC _{tolueeni} (µg/m ³)
taustapitoisuus kerrostalon pihalta	17
vesipohjaista pinnoitetta käyttävä prosessi*	45
liuotinpohjaista pinnoitetta käyttävä prosessi*	110

Taustamittauksen pääkomponentit ja pitoisuustasot kerrostaloalueella (kuva, P4)

Yhdiste	Pitoisuus (µg/m ³)
bentseeni	< 1
ksyleeni	1
bentsaldehydi	1
nonanaali	1
dekanaali	1

Vesipohjaisen pinnoitusprosessin vaikutus ulkoilman taustapitoisuuteen (kuva, P1)

Yhdiste	Pitoisuus (µg/m ³)
alfa-pineeni	11
butyyliasetaatti	2
beta-pineeni	2
tolueeni	1

Liuotinpohjaisen pinnoitusprosessin vaikutus ulkoilman taustapitoisuuteen (kuva, P2)

Yhdiste	Pitoisuus (µg/m ³)
ksyleeni	73
etylibentseeni	14
tolueeni	6
bentseeni	5
dekanaali	4
butyyliasetaatti	3

Ksyleenin pitoisuus oli tulosten perusteella liuotinpohjaisen prosessin aikana selvästi koholla. Näiden tulosten perusteella päätettiin jatkaa VOC- yhdisteiden passiivinäytteenotto-mittauksia lähinnä ksyleenin pitoisuuden tarkkailemiseksi Suomen Kuitulevy Oy:n läheisellä asuinalueella (Syvälahdentie 10, ks. kuva P5).

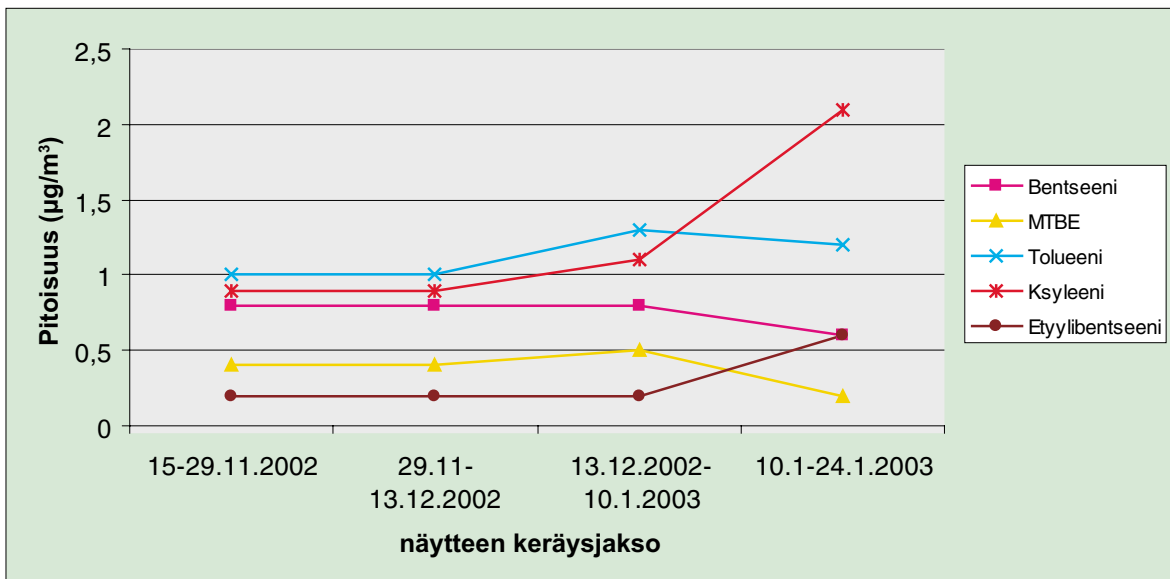
Passiivimittauksissa määritettiin bentseeni, tolueni etyylibentseeni, MTBE ja ksyleeni. Nämä yhdisteet ovat yleisiä mm. auton pakokaasupäästöissä. Suomen Kuitulevyn liuotinprosessissa käyttämien kemikaalien eräänä pääkomponenttina on ksyleeni. Tämän määrittäminen onnistuu käytetyllä passiivimenetelmällä hyvin.



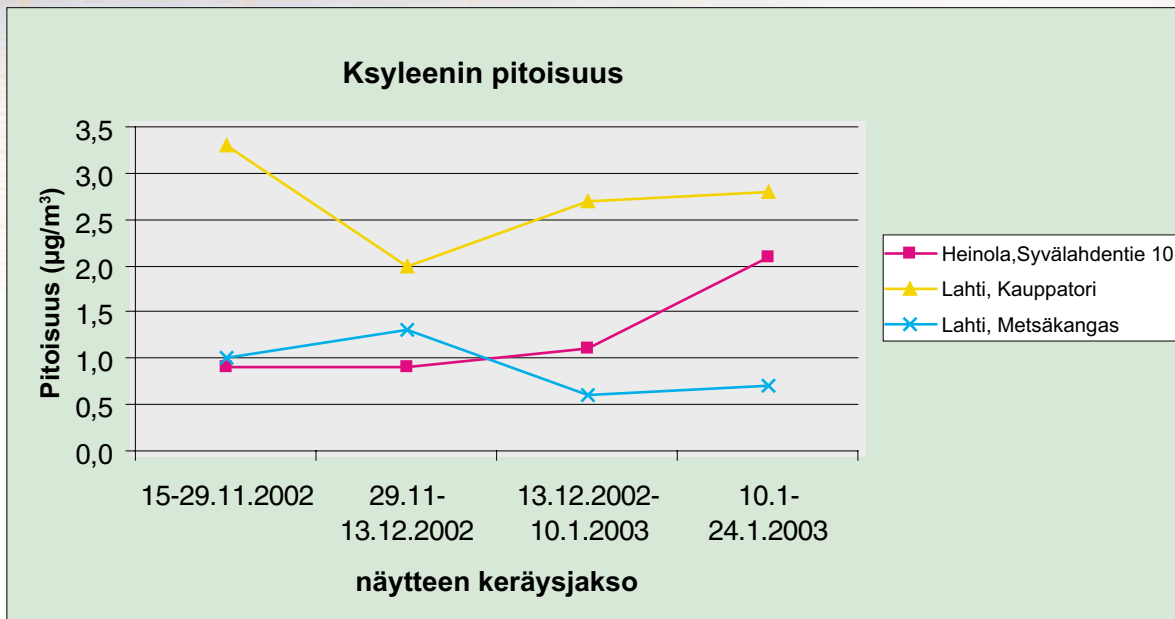
Mittauspisteet

- P1 = Vesipohjaisen pinnoitusprosessin aktiivimittaus (24.10.2002)
- P2 = Liuotinpohjaisen pinnoitusprosessin aktiivimittaus (29.10.2002)
- P3 = Passiivimittauspiste (24.10.–29.10.2002)
- P4 = Vuorikadun kerrostalon piha-alueen aktiivimittaus (24.10.2002)
- P5 = Passiivimittauspiste, Syvälahdentie 10 (15.11.2002–24.1.2003)

Kuva 32 VOC- mittauspaikat Heinolan Sahanniemessä



Kuva 33. Heinolan passiivinäytteiden (15.11.2002 – 24.1.2003) tutkittujen yhdisteiden (bentseeni, tolueni, ksyleeni, etyylibentseeni ja MTBE) pitoisuudet seurattuna ajanjaksolla olivat normaalin puhtaan asuma-alueen tasoa. Ksyleenin pitoisuus nousi Heinolassa viimeisellä mittausjaksolla hieman, johtuen todennäköisesti läheisestä liuotinaineita käyttävästä tehtaasta.



Kuva 34. Ksyleenin pitoisuus nousi Heinolassa viimeisellä mittausjaksolla hieman vastaten tällöin liki Lahden kauppatorilla samalla ajanjaksolla mitattua pitoisuutta.

5.2 VOC-yhdisteiden mittaustuloksia Heinolassa

Heinolan passiivinäytteiden tutkittujen yhdisteiden (bentseeni, tolueni, ksyleeni, etyylibentseeni ja MTBE) pitoisuudet seurattuna ajanjaksolla olivat normaalin puhtaan asuma-alueen tasoa. Tätä voidaan verrata varsinkin ksyleenin osalta kuvasta, jossa ksyleenin pitoisuus on merkitty mitatulla ajanjaksolla Heinolassa sekä Lahdessa kauppatorilla ja Metsäkankaalla.

Liikenteen päästöistä aiheutuva ksyleenin pitoisuuden kohoaminen näkyy hyvin kuvasta, jossa on esitetty Lahden Kauppatorin ksyleenin pitoisuudet. Samassa kuvasta nähdään, että Heinolan Syvälahdenkatu 10:n ksyleenin pitoisuudet olivat koko tarkkailuajanjakson hyvin lähellä Lahden Metsäkankaan pitoisuuksia. Lahden Metsäkankaan pitoisuudet edustavat puhdasta kerrostaloasuma-aluetta ja Lahden kauppatorin pitoisuudet voimakkaasti liikenneöityä mittauspistettä. Ksyleenin pitoisuus nousi Heinolassa viimeisellä mittausjaksolla hieman vastaten tällöin liki Lahden kauppatorilla samalla ajanjaksolla mitattua pitoisuutta. Tämän nousun voidaan olettaa johtuvan liuotinprosessista, sillä liikenteen määrän ei voida osoittaa nousseen tällöin huomattavasti.

Passiivimittausten tuloksena saadaan kahden viikon keskiarvo. Jos liuotinprosessin aiheuttama ksyleenipitoisuuden nousu yhtenä päivänä kahdessa viikossa on esim. $73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja muina päivinä pitoisuus on esim. $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Näin saadaan kahden viikon keskiarvoksi noin $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tämä on otettava huomioon vertailtaessa aktiivinäytteenotton tuloksia yhden päivän ajalta ja kahden viikon passiivinäytteenottoa.

Sääolot vaikuttavat huomattavasti pitoisuustasoihin. Mittausjaksolla saadaan selville putkien näytteenottoajan aikaisten sääolojen, erityisesti tuulen, sanelema pitoisuustaso. Tuulitiedot saatiin Heinolan keskustan torin lähellä sijaitsevalta sääasemalta. Tuulensuunta on vaihdellut koko tarkkailuajan jakson ajan voimakkaasti eikä mikään tarkkailuajanjaksoista ole ollut tuulen suunnaltaan ihanteellinen näytteenottopisteeseen nähden. Useimmin on tarkkailupisteeseen kuitenkin tuullut Suomen Kuitulevy Oy:n suunnasta kahdella viimeisellä tarkkailuajanjaksolla.

6. PAH-YHDISTEET




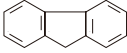
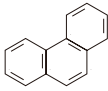
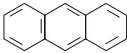
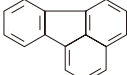
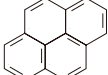
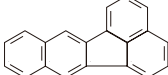
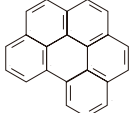
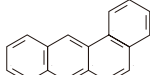
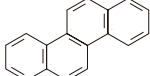
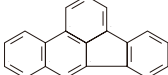
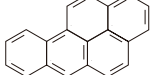
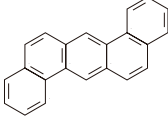
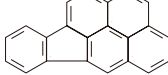
6.1 Ilman PAH-yhdisteet

PAH (polyaromaattiset hiilivety) -yhdisteet ovat peräisin palamisprosesseista ja ne ovat levinneet laajalle ympäristöömme.⁹ PAH- yhdisteiden teollisia lähteitä ovat mm. kaupallinen lämmön ja energiantuotanto (fossiilisten polttoaineiden polttaminen), jätteen polttaminen, raudan-, teräksen-, alumiinin- ja sementintuotanto, petrokemiallinen ja sen sukuinen teollisuus (jalostamot), bitumi ja asfalttiteollisuus, (kumi) autonrengasteollisuus, kreosootti ja puunkyllästysaineen tuottajat ja käyttäjät.¹⁰

Ilmansaasteiden (ja ennen kaikkea, ilmassa syntyneisiin partikkeleihin sitoutuneiden PAH- yhdisteiden) uskotaan olevan merkittävä vaikuttaja keuhkosityövän aiheuttamaan kohonneeseen kuolleisuuteen kaupunkialueilla verrattuna maaseutualueisiin. Monet PAH- yhdisteet ovat osoittaneet mutageenistä ja karsinogeenista aktiivisuutta, joten ihmisen altistuminen niille on huolestuttavaa. Ilmasta on havaittu n. 500 PAH- yhdistettä. Näistä EPA on listannut 16 prioriteettisaasteiden listalle (ks kuva 35).¹¹

PAH- yhdisteiden poistumismekanismiin ja poistumisnopeuteen ilmasta vaikuttaa se, ovatko ne kaasufaasissa vai liittyneinä ilman partikkeleihin. Molekyylipainoltaan raskaamat PAH- yhdisteet ovat todennäköisemmin assosioituneina hiukkasfaasiin (käytännössä suurin osa niistä esiintyy yleensä partikulaattifaasissa). Tämä on tulosta PAH- yhdisteiden adsorptiosta partikkelin pintaan tai adsorbtiosta (dissoluutiosta) aerosolimateriaaliin. Näiden prosessien tärkeys riippuu lämpötilasta, kosteudesta ja atmosfäärisen aerosolin ainesoksesta ja runsaudesta. Sen tähden on ajallisesti ja maantieteellisesti havaittavissa vaihtelevuutta kaasuhaikeuspartitiassa.

Yleisesti ottaen PAH- yhdisteet, jotka sisältävät viisi rengasta tai enemmän, havaitaan pääasiallisesti partikulaattifaasissa; kaksi tai kolme rengasta sisältävät ovat lähes ainoastaan läsnä kaasufaasissa. Havaitut vaihtelevuudet kaasuhaikeuspartitiassa liittyvät siten pääasiassa neljä rengasta sisältäviin PAH- yhdisteisiin kuten fluoranteeni, pyreeni, bentso(a)antraseeni ja kryseeni.¹² Useimmat partikkelifaasi PAH- yhdisteet ovat assosioituneet hiukkasiin, joiden aerodynaaminen mitta on 1-2 µm (ks kuva 37). Näin pienet hiukkaset pääsevät hengitettynä tunkeutumaan keuhkorakkuloihin ja aiheuttavat mahdollisesti merkittävän terveysriskin ihmisille.¹³

Yhdiste	Rakennekaava	Kiehumispiste (°C)
Naphthalene (NAP)		218
Acenaphthylene (ANY)		270
Acenaphthene (ANE)		297
Fluorene (FLU)		294
Phenanthrene (PHEN)		338
Anthracene (ANT)		340
Fluoranthene (FLA)		383
Pyrene (PYR)		393
Benzo[k]fluoranthene (BkFL)		481
Benzo[g,h,i]perylene (BghiP)		542
Benzo[a]anthracene (BaA)		425
Chrysene (CHR)		431
Benzo[b]fluoranthene (BbFL)		481
Benzo[a]pyrene (BaP)		496
Dibenzo[a,h]anthracene (DbahA)		535
Indeno[1,2,3--c,d]pyrene (IND)		534

Kuva 35. Kuvassa on EPA:n prioriteettisaasteiksi määrittelemät 16 PAH-yhdistettä.¹¹

PAH (number of rings)	Molecular weight	Vapour pressure	Saturation vapour concentration	Observed mean concentration	Observed % in particulate phase			
		Pa (a)	ng m ⁻³ (b)	Ng m ⁻³ (c)	(d)	(e)	(f)	(g)
Napthalene (2)	152	1.1 x 10 ¹	6.7 x 10 ⁸		0 %			0.0 %
Acenaphthylene (3)	164	1.3 x 10 ⁻¹	8.6 x 10 ⁶	2,1				
Acenaphthene (3)	166	4.0 x 10 ⁻¹	2.7 x 10 ⁷	1,1				
Fluorene (3)	166	1.1 x 10 ⁻¹	7.4 x 10 ⁶	5,1	0 %			
Anthracene (3)	178	8.7 x 10 ⁻⁴	6.2 x 10 ⁴	1,4	3 %			0.5 %
Phenanthrene (3)	178	2.0 x 10 ⁻²	1.4 x 10 ⁶	2.0 x 10 ¹	3 %	12.4 %	1.9 %	0.4 %
Fluoranthene (4)	202	1.6 x 10 ⁻³	1.3 x 10 ⁵	4,8	54 %	49.7 %	19.1 %	5.9 %
Pyrene (4)	202	4.4 x 10 ⁻⁴	3.6 x 10 ⁴	4,0	57 %	61.4 %	29.6 %	7.5 %
Benzo[a]anthracene (4)	228	2.1 x 10 ⁻⁶	1.9 x 10 ²	4.9 x 10 ⁻¹	97 %	89.4%	62.7 %	
Chrysene (4)	228	1.4 x 10 ⁻⁶	1.3 x 10 ²	1,0	99 %			
Benzo[b]fluoranthene(4)	252	1.0 x 10 ⁻⁶	1.0 x 10 ²	6.3 x 10 ⁻¹	100 %	92.2 %	92.3 %	
Benzo[a]pyrene (5)	252	5.3 x 10 ⁻⁸	5,4	2.9 x 10 ⁻¹	100 %	100 %	100 %	98.3 %
Perylene (5)	252	1.8 x 10 ⁻⁸	1,9		100 %			90.0 %
Dibenz[ac]anthracene (5)	278	5.7 x 10 ⁻⁹	6.4 x 10 ⁻¹	8.0 x 10 ⁻²	100 %			
Dibenz[ah]anthracene (5)	278	4.9 x 10 ⁻⁹	5.5 x 10 ⁻¹	8.0 x 10 ⁻²	100 %	100 %	100 %	
Benzo[ghi]perylene (6)	276	1.0 x 10 ⁻⁸	1,1	9.3 x 10 ⁻¹	100 %	100 %	100 %	
Coronene (7)	300	2.9 x 10 ⁻¹⁰	3.5 x 10 ⁻²		100 %	100 %	100 %	

N.B Vapour pressures vary according to reference hence any differences with Table 1 above

Notes

(a) Vapour pressures taken from Neiderfellner et al. (1997) and Oja and Suuberg (1998).

(b) Saturation vapour concentrations calculated for 298K and 1 atmosphere pressure.

(c) 1997 annual mean concentrations in London (Coleman et al., 1998).

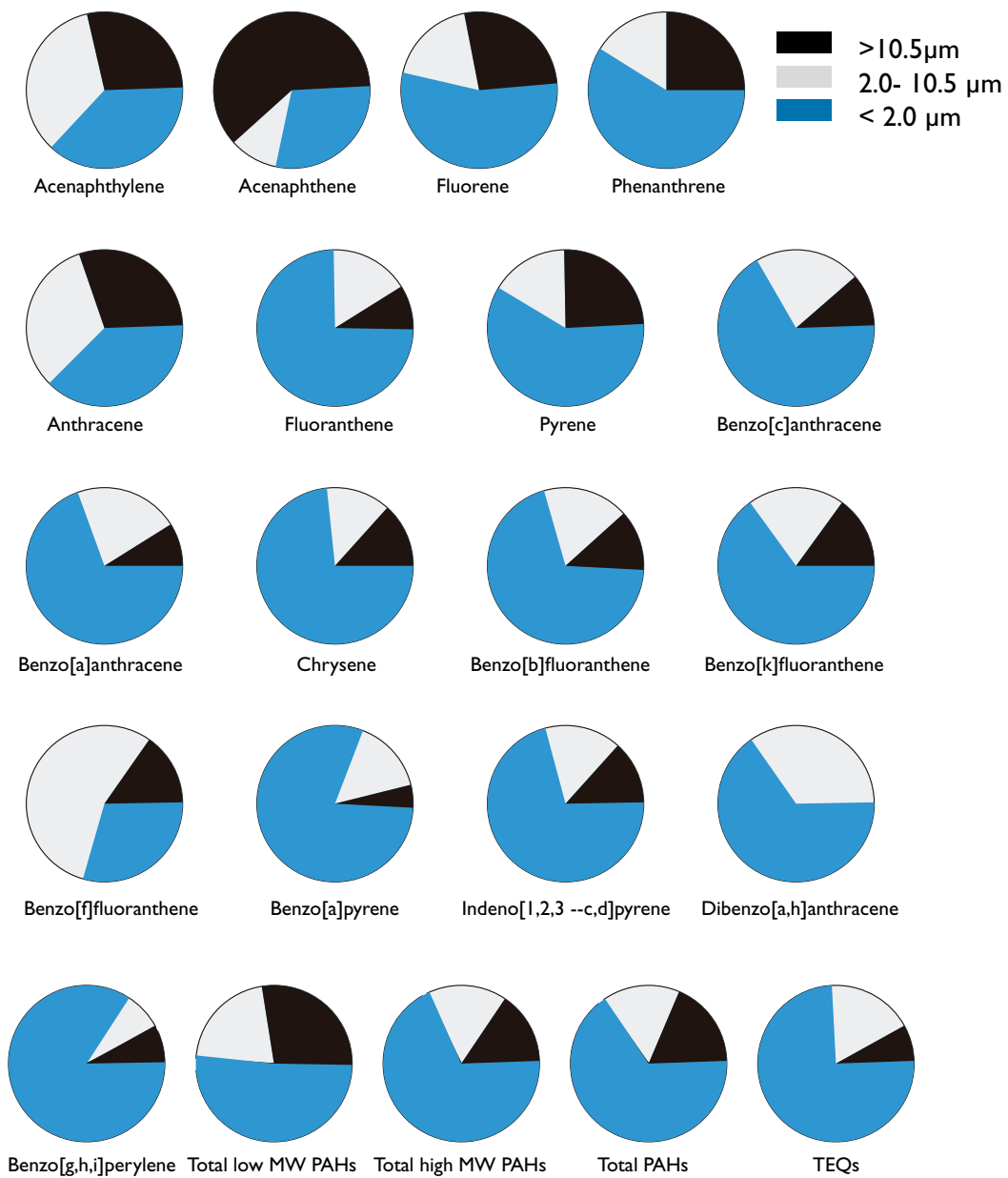
(d) Measurements made in Oslo, January/February 1979 (Thrane and Mikalsen, 1981).

(e) Annual mean measurements made in Bayreuth, Germany, May 1995-April 1996 (Horstmann and McLachlan, 1998).

(f) Summer mean measurements made in Bayreuth, Germany, May-October 1995 (Horstmann and McLachlan, 1998).

(g) Measurements made in Torrance, California, February 1986 (Arey et al., 1987)

Kuva 36. Yhteenveto raportoiduista PAH:iien kylläisestä höyrynpaineesta ja muutamia tyypillisiä konsentraatioita ja kaasuihiikkasfaasipartitio.¹⁴



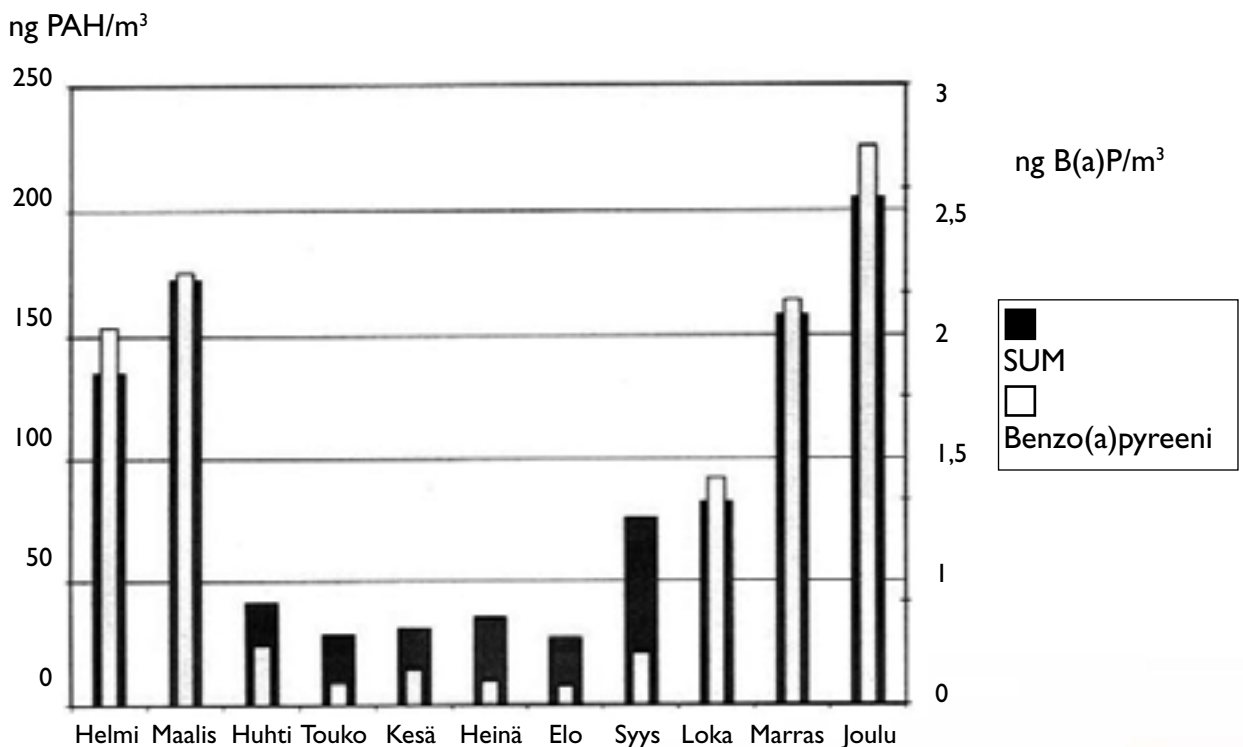
Kuva 37. Keskimääräinen PAH:ien jakauma (% kokonaiskonsentraatiosta) kolmen hiukkasko-
kofraktion kesken. (Mitattu LPI:llä 1995, Burnaby Lake.)¹⁵

6.2 PAH-yhdisteiden pitoisuudet maailmalla

Tällä hetkellä EU:ssa tai Yhdysvalloissa ei ole ilmanlaadun raja-arvoja PAH-yhdisteille. Jotkin jäsenvaltiot ovat asettaneet ohjeellisia tai tavoitearvoja, jotka eivät ole oikeudellisesti sitovia. Arvot ovat välillä 0,1–1,3 ng/m³ bentso(a)pyreenille, joka on merkkiaine polysyklisten aromaattisten hiilivetyjen seosten kokonaispitoisuudelle. Italiassa on voimassa bentso(a)pyreenille ilmanlaatustandardi 1,0 ng/m³. Ruotsissa on voimassa fluoranteenia varten ohjeellinen arvo 2 ng/m³. EU:ssa suunnitellaan bentso(a)pyreenille tavoitearvoa 1 ng/m³, jota sovellettaisiin PM 10 –fraktion bentso(a)pyreenipitoisuuden vuosikeskiarvona.

Ilman PAH-yhdistepitoisuuksista koko EU:n alueella ei ole juurikaan saatavissa vertailukelpoisia ja johdonmukaisia lukuja. Tietojen perusteella ei voida juurikaan tehdä yksityiskohtaista analyysiä kokonaispitoisuuksista tai yhdistekohtaisista pitoisuuksista. Käytettävissä olevat luvut koskevat pääasiassa bentso(a)pyreenin pitoisuuksia.¹⁶

Tyypillinen ilman PAH-yhdisteiden konsentraatioiden summa on 1–100 ng/m³ partikkelifaasissa ja 100–5000 ng/m³ kaasufaasissa. Vertailujen tekemistä eri tutkimusten välillä vaikeuttaa kuitenkin se, että tutkittujen yhdisteiden sisältö vaihtelee ja näin ollen myös yhdisteistä laskettu summa.¹⁷ 1990-luvulla bentso(a)pyreenipitoisuuksien vuosittaiset keskiarvot olivat tyypillisesti 0,1–1 ng/m³ maaseututausta-alueilla, 0,5–3 ng/m³ kaupunkialueilla (pitoisuudet olivat korkeimpia liikennealueilla) sekä jopa 30 ng/m³ tiettyjen teollisuuslaitosten välittömässä läheisyydessä. Käytettävissä on varsin vähän mittaustietoja maalaisyhteisöistä, joiden kotitalouksissa poltetaan hiiltä ja puuta, mutta mittaukset osoittavat kaupunkialueeseen verrattavia arvoja.¹⁶



Kuva 38. PAH-yhdisteiden määrässä havaittu kausivaihtelu Wien, Itävalta 2000. Summa koostuu 16 EPA:n määrittämästä PAH-yhdisteestä ja bentso(e)pyreenistä, koroneenista, syklo(cd)pentapyreenista ja bentso(b)naftiofeenista. Näytteenotto sisälsi sekä kaasua että partikkelifaasin. (B(a)P = bentso(a)pyreeni)¹⁸

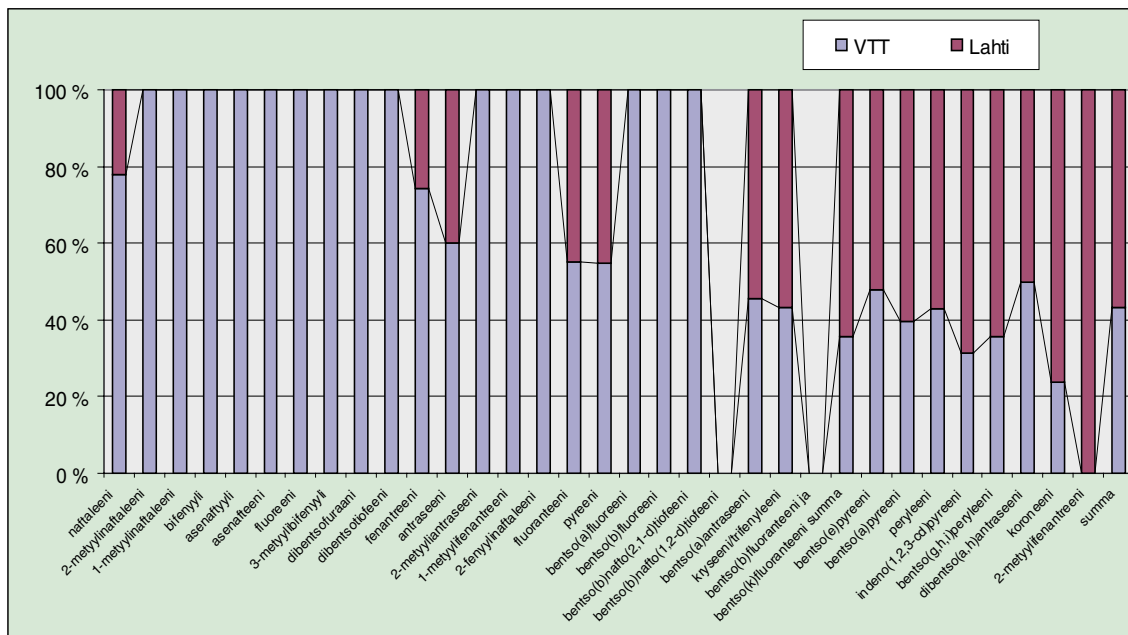
6.3 Lahdessa suoritettut ilman PAH-mittaukset

6.3.1 Näytteenotto ja analysointi menetelmä PAH- yhdisteille

Ilman pölyhiukkasiin kiinnittyneet PAH- yhdisteet olivat erityisenä mielenkiinnon kohteena menetelmän kehitys vaiheessa. Näytteenotossa kerättiin kokonaisleijumasuodattimelle (TSP- näyte) ilman hiukkasia valikoimatta niitä. Näytteenotto kesti 24 h, jonka aikana suodattimen läpi imettiin keskimäärin 2300 m³ ilmaa.

Laboratoriossa näytteestä uutettiin PAH- yhdisteet Soxhletissa toluenilla, toluenille suoritettiin puhdistus neste-nestefaasi uutolla (DMSO), analyysi tehtiin GC/MS:llä SIR-ajolla käyttäen sisäisenä standardina deuteroitua PAH:ia ja kalibrointiin käytettiin sertifioituja standardeja. Määritettävät PAH-yhdisteet olivat asenafteni, fluoreeni, fenantreeni, antraseeni, 2-metyylifenantreeni, fluoranteeni, pyreeni, bentso(a)antraseeni, kryseeni, bentso(b)fluoranteenin ja bentso(k)fluoranteenin summa, bentso(e)pyreeni, bentso(a)pyreeni, peryleeni, dibentso(a,h)antraseeni, indeno(1,2,3-cd)pyreeni, bentso(g,h,i)peryleeni ja koroneeni. Määritysraja kullekin yhdisteelle oli 0,1 ug/näyte eli 0,04 ng/m³, (kun TSP- suodattimen läpi vedettiin ilmaa näytteenotossa n. 2300 m³/vrk).

PAH- yhdisteiden vertailumittaus suoritettiin rinnakkaismäärityksenä VTT:n kanssa. PAH- vertailumittauksen tekemiseksi otettiin Lahden torilta 24.4.2002 vuorokauden leijumanäyte. Käytetty suodatin leikattiin kahtia ja puolikkaista toisen analysoi Lahden Tutkimuslaboratorio ja toisen VTT-kemiantekniikka. Kuvassa 100 % pitoisuus on yhteenlaskettu summa VTT:n ja Lahden tuloksista. Kaikkia yhdisteitä ei analysoitu molemmissa laboratorioissa, näiden yhdisteiden kohdalla 100 % pitoisuus vastaa vain toisen laboratorion tulosta. Tuloksissa on eroja johtuen näytteenoton mittaus-epäselvyyksistä.



Kuva 39. PAH-yhdisteiden vertailumittaukset suoritettiin rinnakkaismäärityksenä. Kuvassa on verrattu 100 % pitoisuus on yhteenlaskettu summa VTT:n ja Lahden tutkimuslaboratorion tuloksista. (Kaikkia yhdisteitä ei analysoitu molemmissa laboratorioissa, näiden yhdisteiden kohdalla 100 % pitoisuus vastaa vain toisen laboratorion tulosta.)

6.3.2 PAH- pitoisuuksien määrittäminen

Helmikuussa 2003 (18–19.2.) otetusta ensimmäisestä näytteestä analysoitiin PAH- yhdisteet. Tällöin suodattimelle kerätyn pölyhiukkasten massa määritettiin kuivapainona (tässä tapauksessa mittausepävarmuus arvioitu suureksi). Tällöin ei havaittuja PAH- yhdisteitä voida ilmoittaa pölyhiukkasten massaa kohden, myöskään TSP- tulosta ei mitattu. (normaalista 40%- kosteudessa). Koska suodattimelle kerätystä näytteestä tutkitaan nimenomaan partikkelimuodossa olevat PAH- yhdisteet, jotka ovat kiinnittyneet pölyhiukkasiin, on pölyhiukkasten massa myös erittäin oleellinen tieto. PAH- yhdisteiden määrä ilmoitetaan yleensä kirjallisuudessa pölyhiukkasten massaa kohden (mg/kg = ng/mg) tai sitä ilmamäärää kohden, joka suodattimen läpi on vedetty kerättäessä pölyhiukkaset (ng/m³).

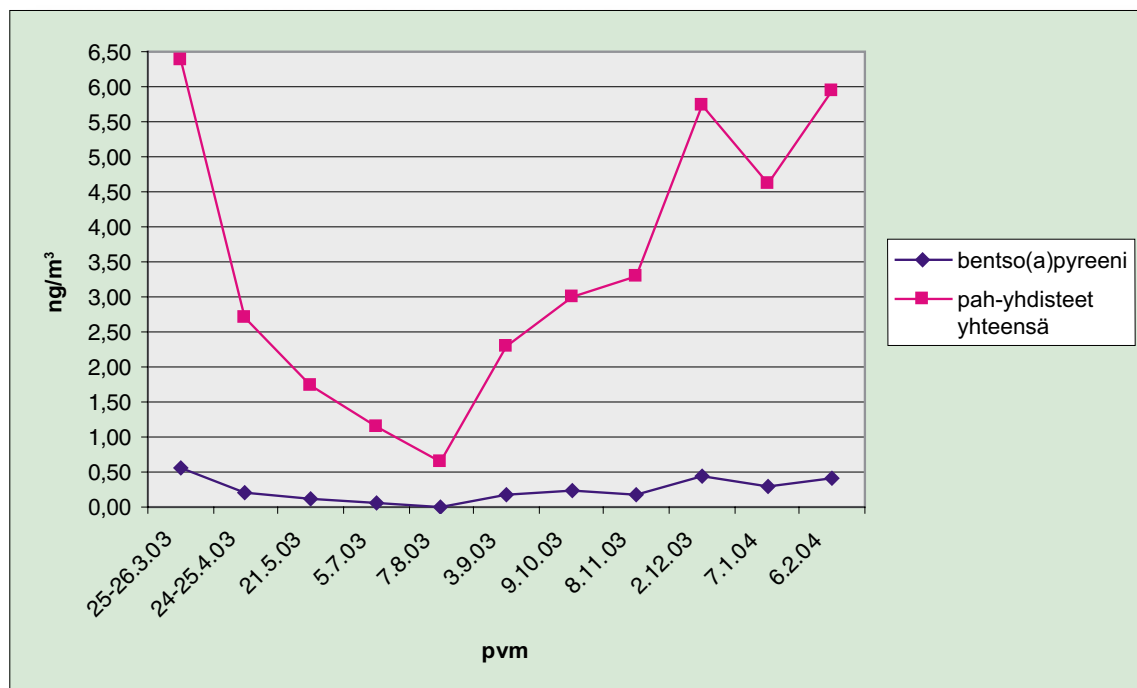
Maaliskuusta alkaen PAH- yhdisteet on määritetty TSP- näytteestä, johon kerätyn pölyhiukkasten massa on laskettu (normaalisti suodattimen alku- ja loppupaino mitataan 40 %- kosteudessa) ja suodattimen läpi virrannut ilmamäärä on mitattu paine-eroista. Kuvassa on esitetty kullakin näytteenotokerralla TSP- suodattimen läpi virrannut ilmamäärä. Leijumapölynäyte otetaan tolueeni-uutolla puhdistetulle suodattimelle, koska suodatinpaperi sisältää häiritsevää määrin PAH-yhdisteitä. Jokaisesta näytesarjasta määritettiin myös nollanäyte tolueeni-puhdistetusta suodattimesta.

Tähän mennessä otetuista PAH- näytteistä yksittäisiä PAH- yhdisteitä tarkasteltaessa voidaan todeta, että asenafteenia, fluoreenia, antraseenia, 2-metyylifenantheeniä ja dibentso(a,h)antraseenia ei ole todettu yhdestäkään näytteestä. Näistä dibentso(a,h)antraseeni on ainoa, joka esiintyy lähes yksinomaan hiukkasfaasissa muut kaasufaasissa.

6.3.3 Bentso(a)pyreeni-pitoisuudet

EU:ssa suunnitellaan bentso(a)pyreenille tavoitearvoa 1 ng/m^3 , jota sovellettaisiin PM_{10} -fraktion bentso(a)pyreenipitoisuuteen vuosikeskiarvona. Bentso(a)pyreeni on ollut korkeimmillaan $0,55 \text{ ng/m}^3$ maaliskuussa Lahdessa otetussa näytteessä. Tämän jälkeen sen pitoisuus laski tasaisesti kuten muidenkin PAH- yhdisteiden, kunnes pitoisuudet lähtivät selvään nousuun syyskuussa (lämmityskausi alkanut). PAH- yhdisteiden pitoisuuksien nousu ja lasku noudattaa Lahdessa otetuissa näytteissä hämmästyttävän hyvin Wienissä, Itävallassa (ks kuva) havaittua kausivaihtelua.

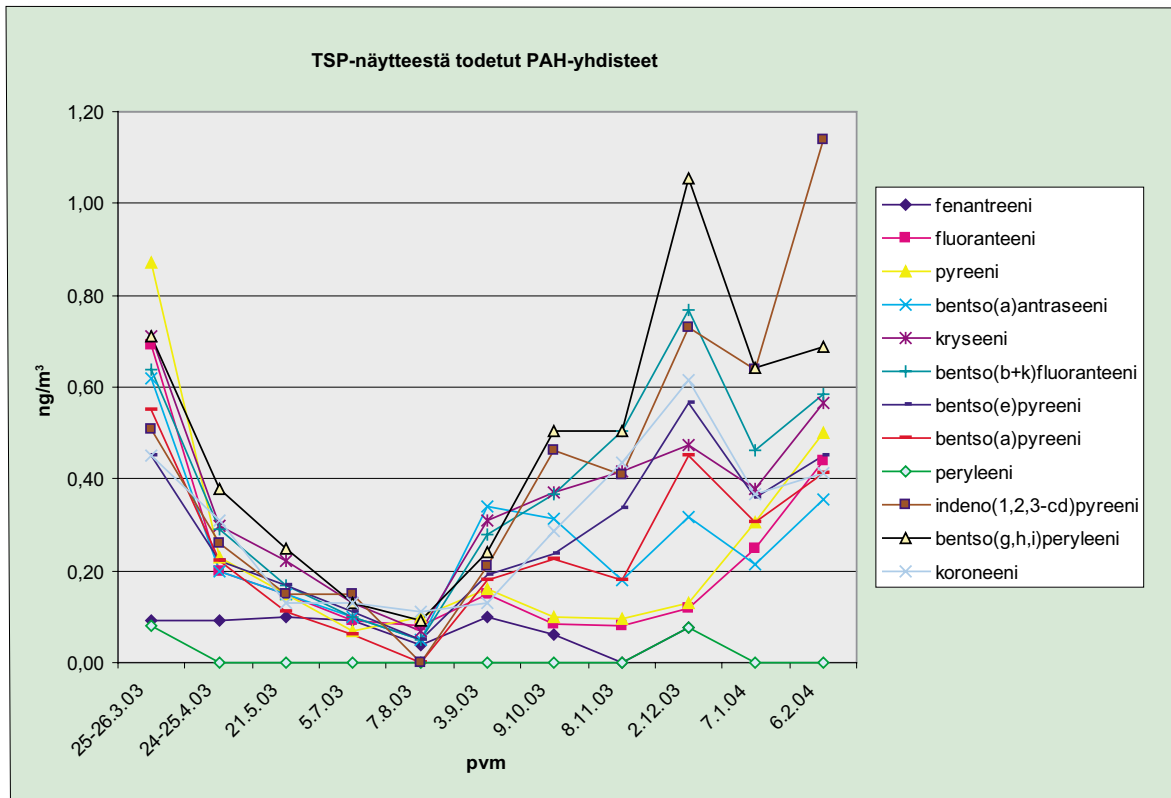
Bentso(a)pyreenin suunniteltu tavoitearvo (1 ng/m^3) EU:ssa on PM_{10} -fraktiolle. Lahden PAH- mittaukset on tehty kokonaisleijumakeräimelle kerätystä pölystä (kaikki hiukkaskoot). Bentso(a)pyreenin pitoisuuksiin tällä tuskin on mitään merkitystä, koska PAH- yhdisteet ovat kiinnittyneinä pienimpiin hiukkasiin, jotka ovat mukana sekä PM_{10} -fraktiossa että kokonaisleijumakeräimellä. Bentso(a)pyreenin tulokseen näytteenottotavalla olisi merkitystä vain, jos tulos laskettaisiin kerättyä pölyn massaa kohden, koska kokonaisleijuman massa on tietenkin selvästi suurempi kuin PM_{10} -fraktion. Laskettaessa PAH- yhdisteiden tulos ilmamäärää (m^3) kohden tulokseen ei vaikuta, se onko näyte otettu PM_{10} -fraktiolle vai TSP- keräimelle.



Kuva 40. Bentso(a)pyreeni on ollut korkeimmillaan $0,55 \text{ ng/m}^3$ maaliskuussa Lahdessa otetussa näytteessä. PAH- yhdisteiden summa on ollut korkeimmillaan maaliskuussa 2003, keväällä ja kesällä pitoisuudet laskivat, kunnes taas lähtivät nousuun syyskuussa kun lämmityskausi alkoi. EU:ssa suunnitellaan bentso(a)pyreenille tavoitearvoa 1 ng/m^3 , jota sovellettaisiin PM_{10} -fraktion bentso(a)pyreenipitoisuuteen vuosikeskiarvona.

6.3.4 Kaikkien PAH- mittausten tulokset

PAH- yhdisteiden määrittäminen leijumapölystä aloitettiin Lahden Kauppatorilta helmikuussa 2003 ja näytteitä otettiin vuoden ajan kerran kuussa, näin mukaan saatiin talvi-keväät-kesäaika. PAH- yhdisteiden esiintymisessä ilmassa on havaittu selvää kausivaihtelua. Kesällä pitoisuudet ovat pienimmillään ja lämmityskauden aikana eli syksystä kevääseen suurimmillaan.



Kuva 41. TSP- näytteestä todetut PAH- yhdisteet kerättyä ilmamäärää kohden Lahden kauppatorin mittauksissa maaliskuusta 2003 helmikuulle 2004. PAH- yhdisteiden pitoisuuksien nousu ja lasku noudattaa Lahdessa otetuissa näytteissä hyvin Wienissä, Itävallassa havaittua kausivaihtelua.¹⁸



Kuva 42. Maaliskuussa 2003 PAH-yhdisteiden määrä pieneni aluksi kunnes kääntyi kasvuun syyskuun 2003 mittauksessa. Kauppatorilla mitattujen PAH-yhdisteiden määrän nousu johtuu lämmityskauden alkamisesta. Kuvaajasta on hyvin nähtävissä, ettei pölyn määrä ole verrannollinen ilmassa olevien PAH-yhdisteiden määrään.

Kuten kuvasta nähdään leijumapölystä todettujen PAH-yhdisteiden summa (ng) kerättyä pölyn massaa (mg) kohden oli tarkkailun alussa laskusuuntainen eli pölyhiukkasiin kiinnittyneiden PAH-yhdisteiden määrä pieneni kunnes summapitoisuus kääntyi kasvuun syyskuun mittauksessa. Kauppatorilla mitattu PAH-yhdisteiden määrä noudattaa siis samaa trendiä kausivaihtelussa kuin havaittiin pitoisuuksissa Wienissä. Tällöin havaittiin, että lämmityskauden aikana PAH-pitoisuudet nousevat selvästi ja laskevat kevään ja kesän ajaksi.

PAH-yhdisteet ovat partikkelimuodossa sitoutuneet ilman pölyyn. On mielenkiintoista seurata myös PAH-määrää tarkastelemalla niiden summaa pölyä kohden ja samalla pölyn määrää (tsp-tulos) kerättyä ilmaa kohden. Tällöin nähdään selvästi, että vaikka esim. 21.5.2003 otetun näytteen pölyn määrä on kasvanut, on pölyn sisältämien PAH-yhdisteiden määrä pienentynyt. Lokakuusta alkaen otettujen näytteiden pölyn kiinnittyneiden PAH-yhdisteiden määrä on puolestaan kasvanut samalla kun ilmassa olevan pölyn määrä on pienentynyt.

Ilmassa olevan pölyn määrä ei ole verrannollinen ilmassa olevien PAH-yhdisteiden määrään. Tämä selittyy sillä, että pölyn massa muodostuu pääasiassa kahdesta suurimmasta hiukkaskoosta (ks. ELPI-mittaukset) ja PAH-yhdisteet ovat kiinnittyneet pienimpiin hiukkasiin. ELPI-mittauksista nähdään että kokonaismassan kasvaessa erikokoisten hiukkasten massa ei kasva samassa suhteessa.

7. HIUKKASTEN KOKOJAKAUMAMITTAUKSET (ELPI)

7.1 ELPI- mittausten periaate

Hiukkaset ovat viime vuosina olleet erittäin vilkkaan tutkimuksen kohteena sekä Suomessa että muualla Euroopassa. Tutkimuksen vilkastumisen syynä ovat olleet viimeaikaiset tiedot hiukkasten vaikutuksista terveyteen. ELPI- mittauksilla voidaan selvittää hiukkasten kokojakaumaa jakamalla kerätyt hiukkaset 12 eri kokoluokkaan.

Lahden torilla tehtyjen ELPI-mittausten tarkoituksena oli saada kokemusta ELPI:n (sähköinen alipaineimpaktori) käytöstä ulkoilmamittauksissa sekä verrata ELPI:llä saatuja tuloksia muilla mittalaitteilla saatuihin tuloksiin. Mittaukset tehtiin Lahden torilla 2.5.2002 ja 24.–25.4.2003 siten, että ELPI ja sen tyhjiöpumppu asennettiin mittauskoppiin. Tefloninen näytteenottoletku vietiin kopin seinässä olevasta tuuletusreiästä alumiiniseen kopin katolla sijaitsevaan hiukkasten kokonaiskeräimen alumiinikoppaan. Näytteenottoletku asennettiin siten, että kopissa oleva kokonaiskeräin (TSP-näyte) ja ELPI analysoisivat samaa näytettä. Tallennusvälinä käytettiin 1 min. VTT:n ELPI:n ominaisuudet on esitetty taulukossa 1.



Kuva 43. VTT:n ELPI-mittauslaite

ELPI 24151:n eri vyöhykkeiden suihkureikien lukumäärä ja D50% leikkauspiste.

Vyöhykenumero	Suihkureikien lukumäärä	D50% (μm)
1	69	0,030
2	58	0,059
3	21	0,104
4	19	0,167
5	27	0,256
6	50	0,395
7	48	0,640
8	20	1.00
9	17	1.61
10	14	2.47
11	3	3.99
12	1	6.71

Eri ELPI:in vyöhykkeet (tulosten kuvissa level 1-12) on suunniteltu keräämään tietyn kokoisia hiukkasia. Silti eri kerroksille jää kaiken kokoisia hiukkasia. D50 % on tapa esittää, minkä kokoisia hiukkasia kullekin tasolle sunnilleen jää. 50 % on keräystehokkuusluku. Esimerkiksi vyöhykkeelle numero 10 keräystehokkuus 50 % saavutetaan hiukkasille, joiden halkaisija on 2,47 μm . Eli 10 taso kerää isompia hiukkasia kuin 2,47 paremmalla todennäköisyydellä kuin 50 % ja puolestaan pienempiä huonommalla todennäköisyydellä. Seuraavalle tasolle nro 9 lennähtäneistä puolestaan 1,61 μm kokoisista hiukkasista saadaan 50 % kiinni ja tätä suuremmista vielä enemmän. Pienemmät jatkavat mitä todennäköisimmin matkaa.

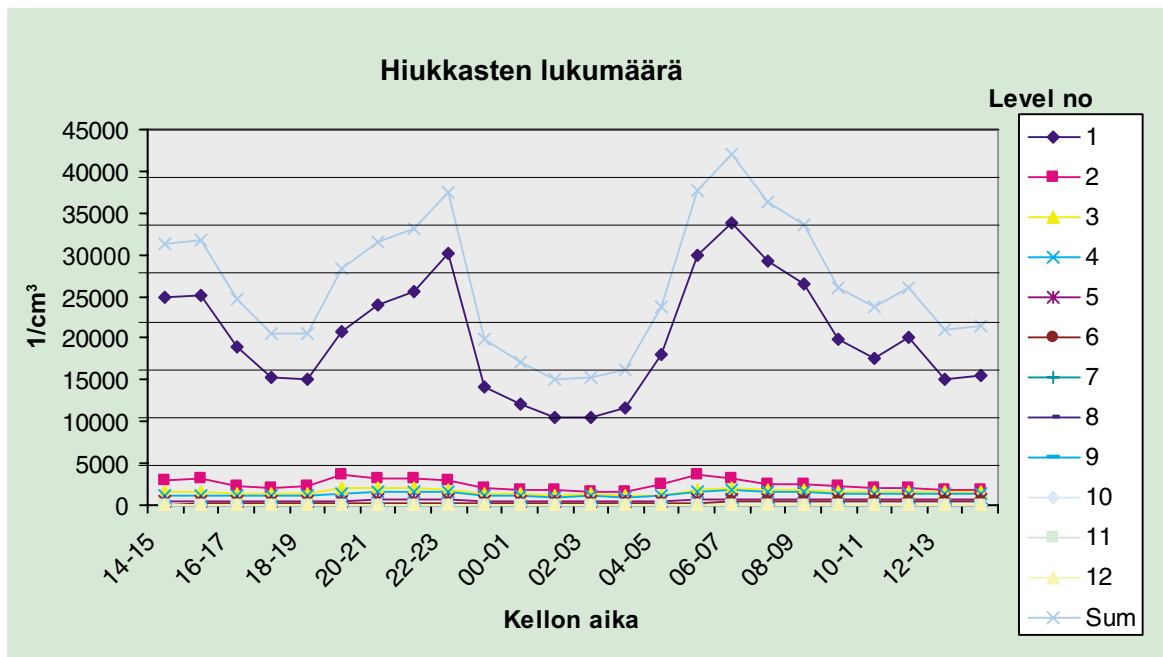
ELPI mittalaitteena antaa primäärituloksena sähkövirtatiedon kultakin vyöhykkeeltä. Tämä tulkitaan hiukkaslukumääräksi ja hiukkasten tilavuustiedoksi. Näistä puolestaan saadaan massa asettamalla hiukkasten tiheys. Näissä laskelmissa tiheytenä on käytetty arviota 1000 kg/m^3 .

7.2 Mittaukset toukokuussa 2002

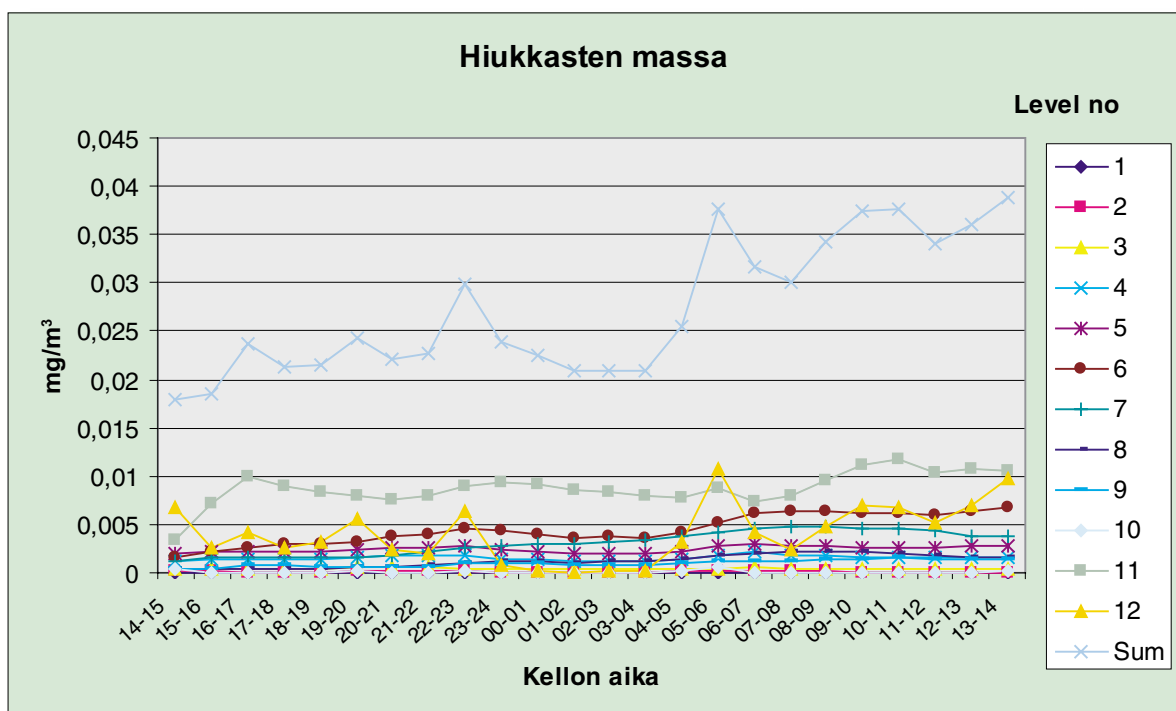
Hiukkasten kokojakaumaa mitattiin Lahden kauppatorilla 2.5.2002 VTT:n toimesta ELPI-laitteistolla. ELPI- mittauksen aikaan lähimmät mitatut TSP- tulokset olivat 29.4.2002 TSP 46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja 5.5.2002 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. PM_{10} mitattiin samaan aikaan jatkuvatoimisella mittarilla.

Yksittäisinä havaintoina voidaan nähdä:

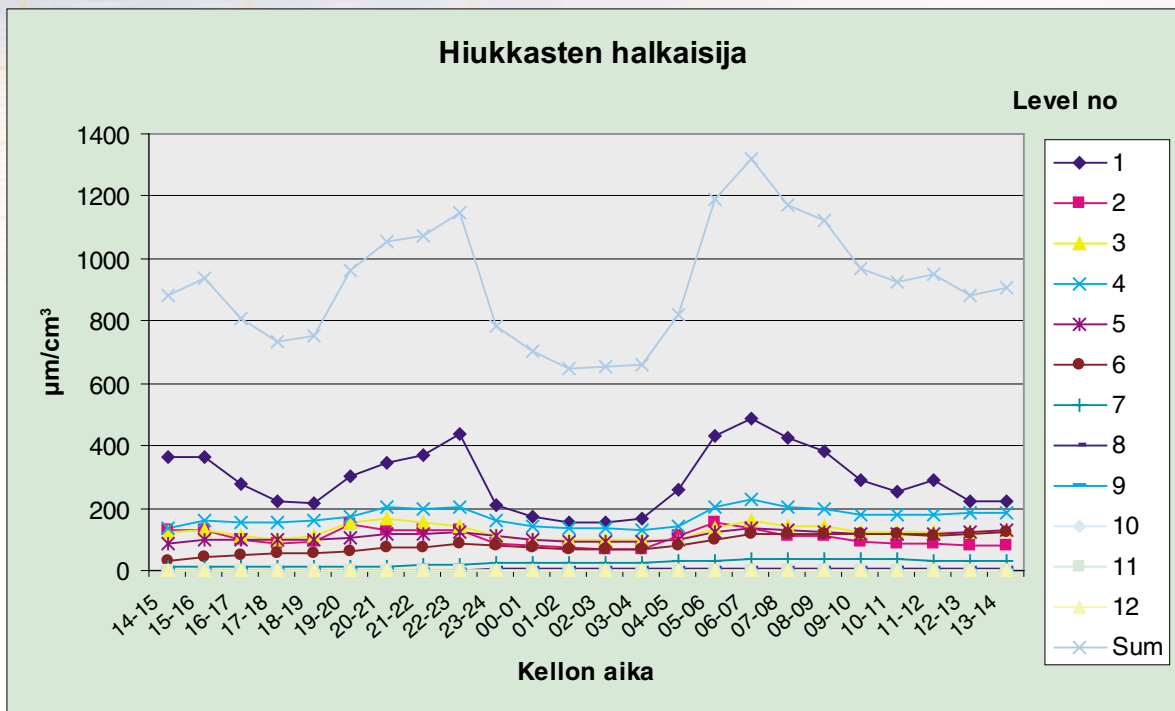
- Lukumäärältään eniten on pieniä hiukkasia.
- Pölypitoisuus on suurimmillaan kello 6-7.
- Kokojakaumat ovat miltei samanlaisia niin yöllä kuin päivälläkin vaikka kokonaismäärä vaihteli.
- Kokonaismassan suurin osuus syntyy toiseksi suurimmasta hiukkaskoosta, vaikka näiden hiukkasten lukumäärä on vähäinen. Kokonaismassassa havaittavat piikit muodostuvat samaan aikaan kuin suurin hiukkaskoko kasvaa.
- Hiukkasten läpimitan tulokset noudattelevat Torin kiinteän mittausaseman PM_{10} pitoisuuden vaihtelua varsinkin kokonaissumman osalta.



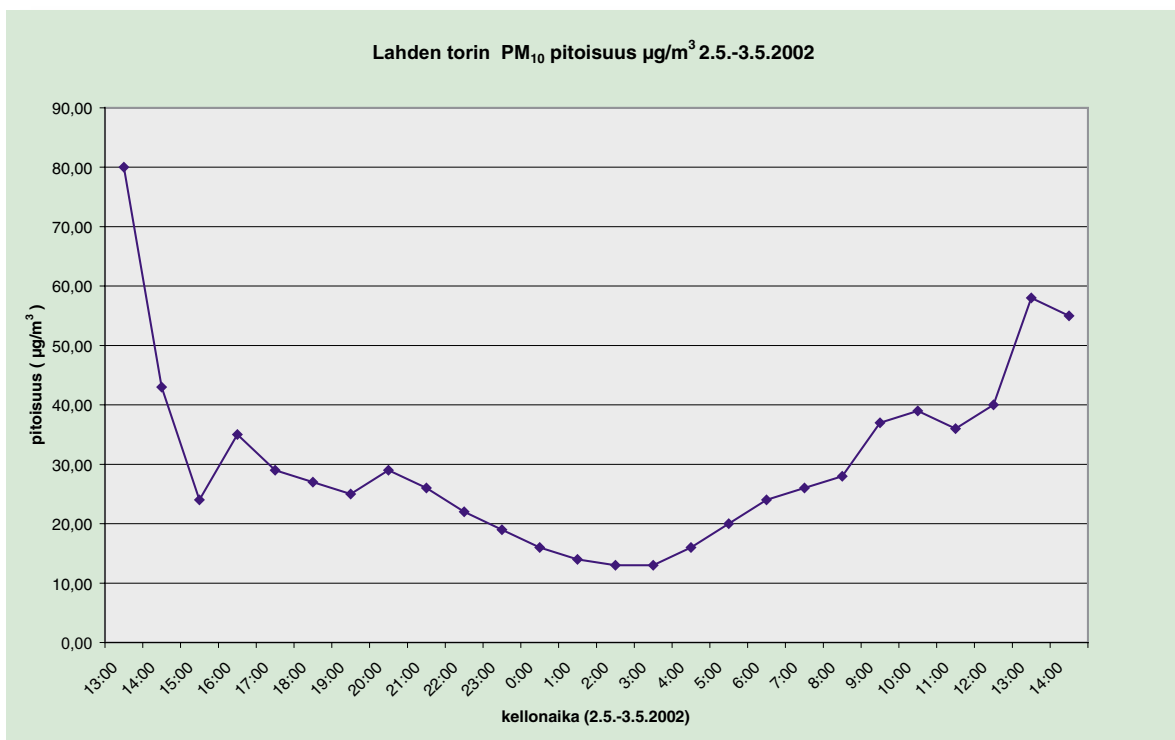
Kuva 44. Mittausten perusteella voidaan sanoa, että lukumäärältään eniten on pieniä hiukkasia (level 1) ja pölypitoisuus on suurimmillaan kello 6-7.



Kuva 45. Kokonaismassan suurin osuus syntyy toiseksi suurimmasta hiukkaskoosta, vaikka näiden hiukkasten lukumäärä on vähäinen. Kokonaismassassa havaittavat piikit muodostuvat samaan aikaan kuin suurin hiukkaskoko kasvaa.



Kuva 46. Hiukkasten läpimitan tulokset noudattelevat Torin kiinteän mittausaseman PM_{10} pitoisuuden vaihtelua varsinkin kokonaissumman osalta.



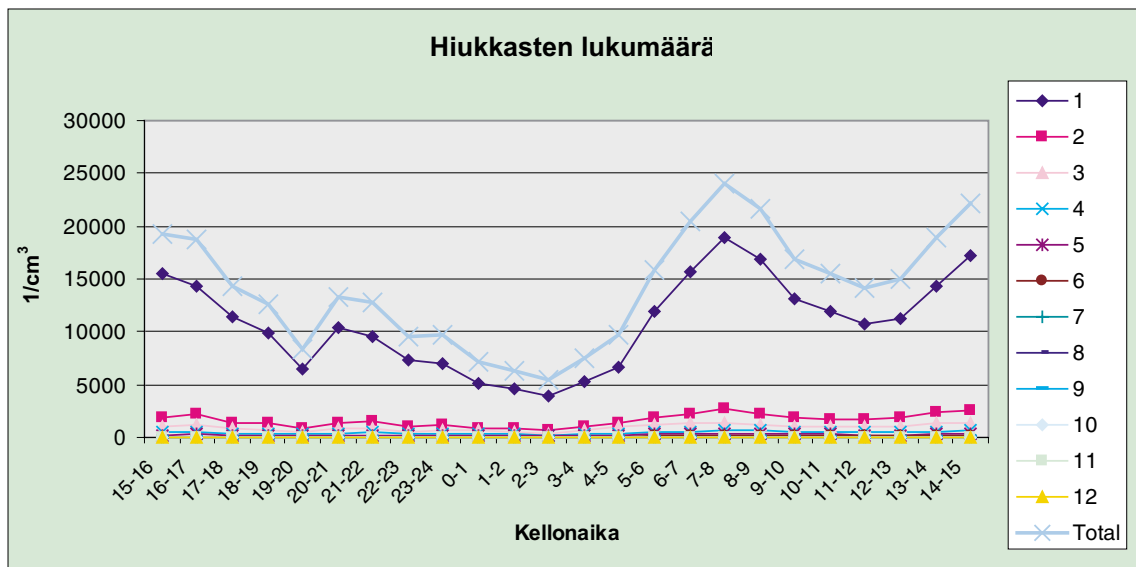
Kuva 47. Lahden torilla mitattujen PM_{10} -pitoisuuksien vaihteluja

7.3 Mittaukset huhtikuussa 2003

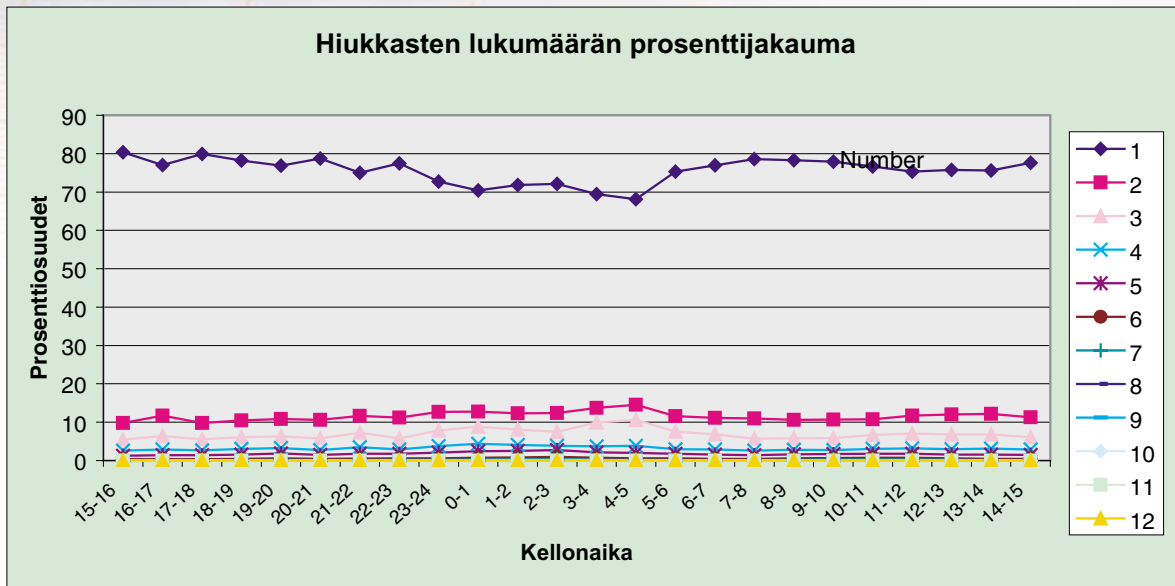
Mittaus uusittiin Lahden kauppatorilla 24.-25.4.2003. Samaan aikaan otettu TSP-näyte, josta tutkittiin myös PAH:it, oli $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$. ELPI mittasi vastaavaksi tiheydeksi $61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (kaikkien mitattujen hiukkasten massan tuntikeskiarvo), kun tiheytenä on käytetty arviota $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$:ssa. PM_{10} mitattiin samaan aikaan jatkuvatoimisella mittarilla.

Yksittäisinä havaintoina voidaan nähdä:

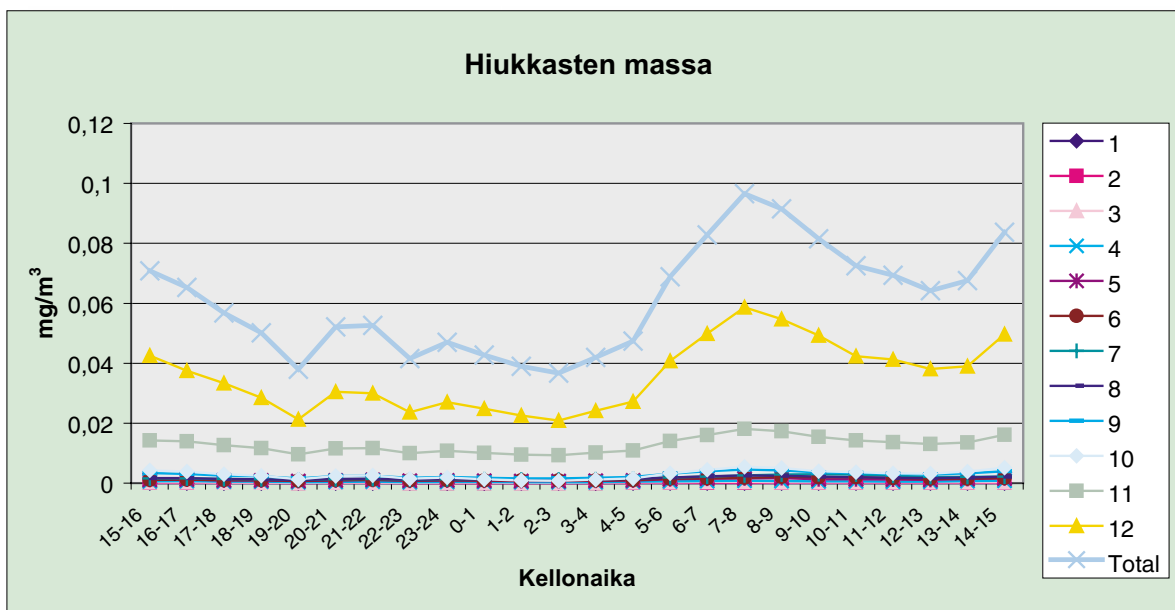
- Pölypitoisuus on suurimmillaan kello 7-8 ja 15-17.
- Lukumäärältään eniten on pieniä hiukkasia.
- Pienten hiukkasten osuus hiukkaslukumäärästä on pienimmillään kello 4-5.
- Kokojakaumat ovat miltei samanlaisia niin yöllä kuin päivälläkin vaikka kokonaismäärä vaihtelisikin.
- Kokonaismassa kuitenkin syntyy kahdesta suurimmasta hiukkaskoosta, vaikka näiden hiukkasten lukumäärä on vähäinen. (HUOM selittää miksi pölymassan kasvaessa pahit pienentyvät sillä pahit ovat kiinnittyneet pieniin hiukkasiin ja massaa kasvaa ensisijaisesti suuren hiukkasten lisääntyessä)
- Vuorokausirytmä näkyy lähinnä massan siirtymisestä vyöhykkeiden 10 ja 11 välillä.



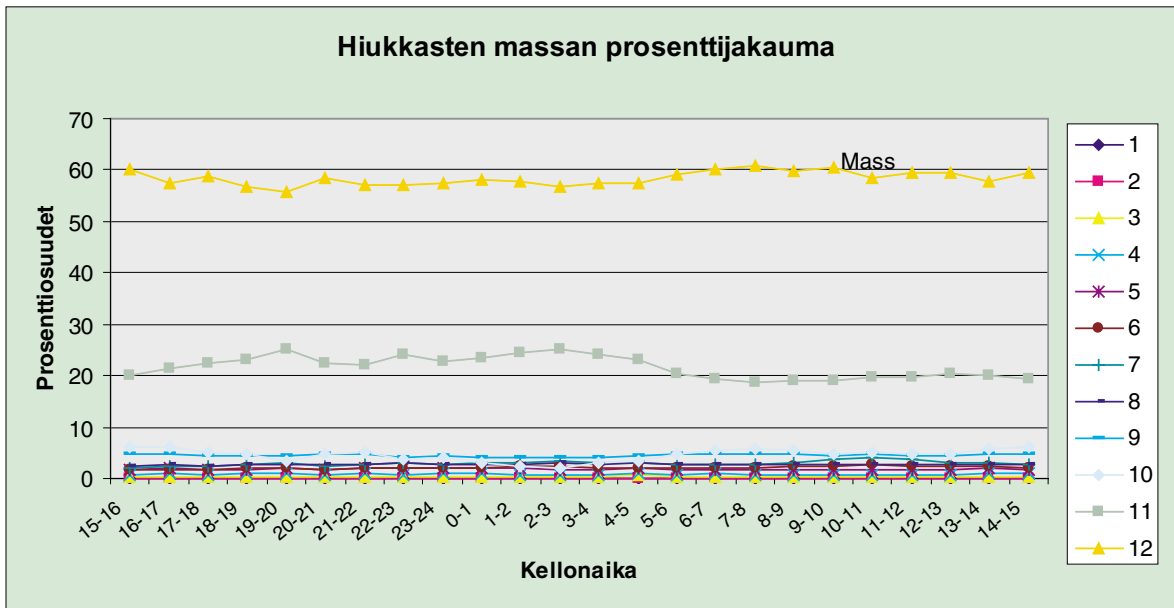
Kuva 48. Pölypitoisuus oli suurimmillaan kello 7-8 ja 15-17 ja lukumäärältään eniten oli pieniä hiukkasia (level 1)



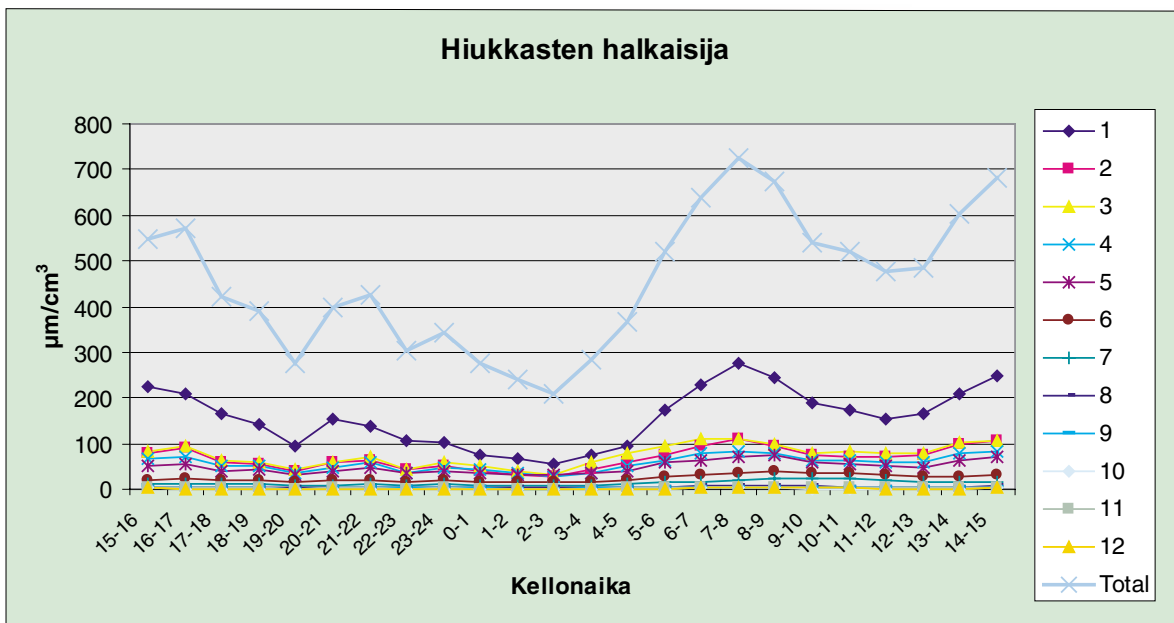
Kuva 49. Pienten hiukkasten osuus hiukkaslukumäärästä on pienimmillään kello 4-5.



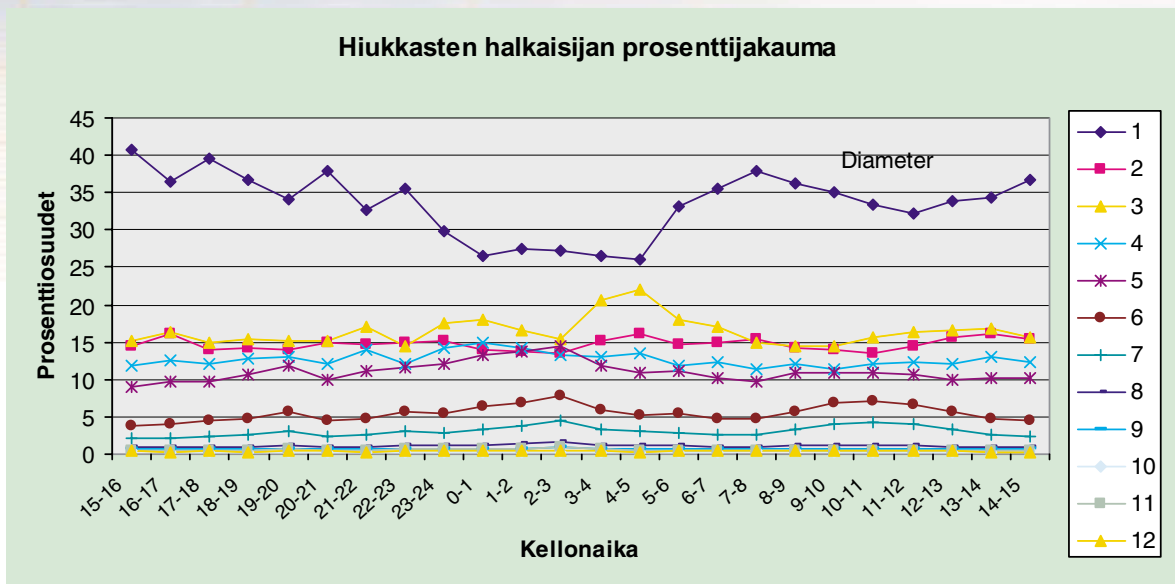
Kuva 50. Kokonaismassa syntyy kahdesta suurimmasta hiukkaskoosta (11 ja 12), vaikka näiden hiukkasten lukumäärä on vähäinen. (HUOM. Tämä selittää, miksi pölymassan kasvaessa PAH:ien määrä pienenee, sillä PAH:it ovat kiinnittyneet pieniin hiukkasiin ja massa kasvaa ensisijaisesti suurten hiukkasten lisääntyessä)



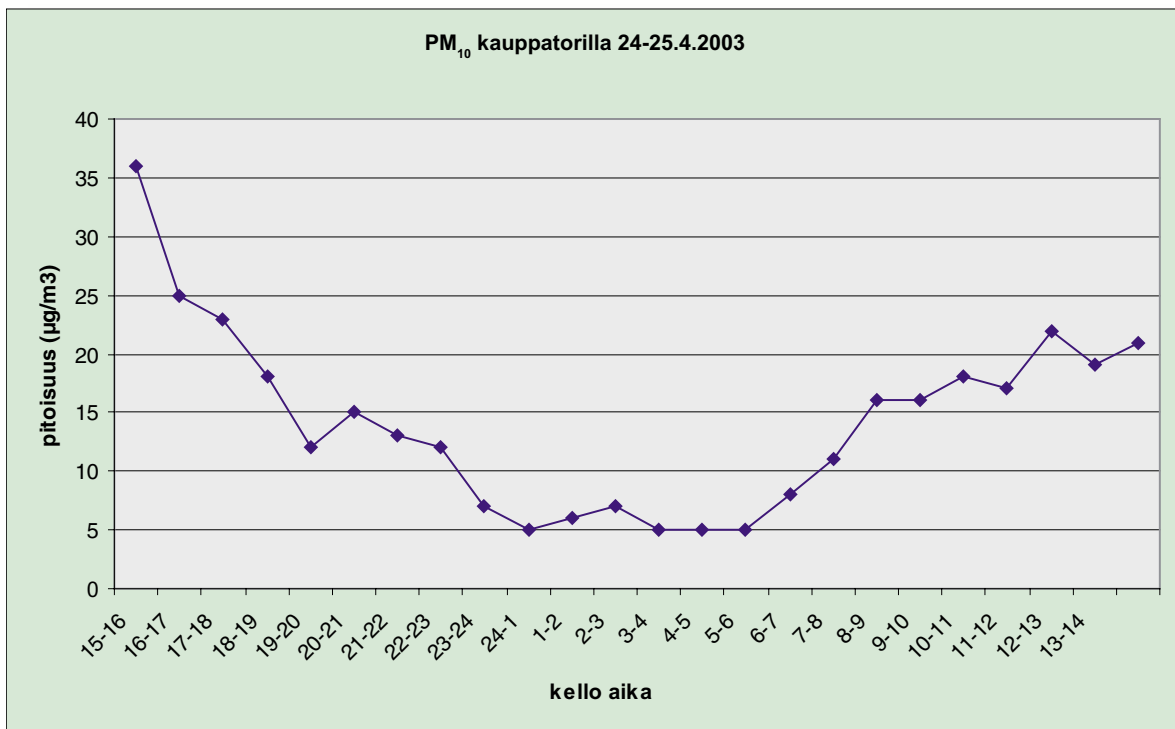
Kuva 51. Kokojakaumat ovat miltei samanlaisia niin yöllä kuin päivälläkin vaikka kokonaisu-
määrä vaihtelisikin.



Kuva 52. Hiukkasten halkaisijan kokojakauma Lahden torilla huhtikuussa 2003.



Kuva 53. Hiukkasten halkaisijan prosenttijakaumat.



Kuva. 54. ELPI- mittausten kanssa samaan aikaan ja samassa paikassa otetun jatkuvatoinisen PM₁₀ mittauksen tulokset.

8. JOHTOPÄÄTÖKSET

Lahden Tutkimuslaboratorion tavoitteena oli kehittää toimiva menetelmä ulkoilmanäytteiden VOC- yhdisteiden tunnistamiseen. VOC- yhdisteiden pitoisuuksia määritettiin käyttäen näytteenotossa adsorbenttia ja analysointia GC/MS- laitteella. Näytteenotossa käytetystä adsorbentista riippuu, mitkä VOC- yhdisteet siihen adsorboituvat. Joidenkin VOC- yhdisteiden, kuten MTBE:n ja hajua aiheuttavien alkoholien, selvittäminen ilmasta on vaikeaa. Tutkimusten jälkeen todettiin, että VOC- pitoisuuksien selvittämiseen soveltuu parhaiten ns. multiadsorbenttiputki, joiden sisällöstä puolet on Tenax TA:ta (heikompi adsorbentti) ja puolet Carbopack B:tä (keskivahva adsorbentti).

VOC- yhdisteiden pitoisuuksia ulkoilmassa mitattiin käyttäen **aktiivista näytteenottoa** onnistuneesti useissa eri mittauspaikeissa Lahdessa ja Heinolassa. Mittausten perusteella voidaan arvioida hajuhaittaa aiheuttavan teollisuuden vaikutuksia ulkoilman VOC- pitoisuuksiin. Lahdessa mittauksia tehtiin mm. Ruoriniemessä ja Neopolissa. Heinolassa mittauksia tehtiin Sahanniemen alueella.

Ulkoilman VOC- yhdisteiden pitoisuuksia selvitettiin myös käyttämällä **passiivista näytteenottoa**. Näytteitä otettiin kahden viikon välein reilun puolentoista vuoden ajan. Menetelmässä otettiin samaan aikaan kaksi rinnakkaisnäytettä. Menetelmän on todettu toimivan hyvin bentseenille, MTBE:lle, toluenille, ksyleenille ja etyylibentseenille.

Ilmanlaatuasetuksen 711/2001 mukaisia bentseenin raja-arvon ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ylityksiä ei mitattu. Sen sijaan 28.6.2002 jälkeen alkaneissa alemman arviointikynnyksen ($2,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ylityksiä on mitattu Vesijärvenkadun, Launeen, Möysän ja Mytjäisten mittausasemilla. Launeella 7.2.–21.2.2003 ja Vesijärvenkadulla 21.2.–7.3.2003 mitattu bentseenin pitoisuus ($3,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) oli hyvin lähellä ilmanlaatuasetuksen 711/2001 ylintä arviointikynnystä ($3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Ylitykset ovat kahden viikon mittausjakson tuloksista, joita on verrattu vuosikeskiarvoon. Ilmatieteenlaitoksen tekemiin bentseenimittauksiin verrattuna Lahdessa mitatut bentseenin pitoisuustasot olivat Launeella ja Vesijärvenkadulla varsin samalla tasolla kuin Helsingissä Töölössä ja Vantaalla Tikkurilassa. Vuonna 2003 Lahdessa mitattiin Vesijärvenkadulla ja Launeella kevätpölyaikaan korkeampia pitoisuuksia kuin millään Ilmatieteenlaitoksen mittausasemalla Helsingin seudulla.

Mittauspisteistä Metsäkankaan voidaan katsoa edustavan tausta-alueita ja muiden mittauspisteiden tuloksia voidaan hyvin verrata tämän mittauspaikeiden pitoisuuksiin. Mittauspisteittäin tutkittujen yhdisteiden tuloksia tarkasteltaessa nähdään selvästi, että tolueni ja ksyleeni pitoisuudet olivat muista yhdisteistä korkeimpia. Toluenin ja ksyleenin pitoisuudet ovat olleet liki yhtä suuret tai suuremmat kuin muiden mitattujen VOC- yhdisteiden pitoisuudet yhteensä Vesijärvenkadulla, Launeella, Mytjäisissä, Heinolan keskustassa ja Kauppatorilla. Pitoisuudet ovat selvästi liikenteen aiheuttamia, sillä nämä mittauspisteet ovat ns. liikenneasemia. Metsäkankaalla toluenipitoisuudet ovat selvästi muita VOC- yhdisteistä suurempia. Neopoli on mittauspisteistä ainoa, jossa ksyleenin pitoisuus on yleensä selvästi toluenin pitoisuutta suurempi. Neopolin mittauspisteessä ksyleenille on selvästi muita lähteitä (huonekaluteollisuus) kuin liikenne.

Muista mittauspaikeista poiketen Möysän pisteessä havaitaan selvästi MTBE:n pitoisuuden olevan korkeampi kuin muissa mittauspisteissä. Metsäkankaan pisteessä on MTBE:tä havaittu tuskin lainkaan tai pitoisuus on ollut juuri määrittärajalla ($0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Heinolan

keskustassa mitatut MTBE:n, bentseenin, tolueni, ksyleenin ja etyylibentseenin pitoisuudet ja pitoisuuksien suuruusjärjestykset yhdisteittäin ovat olleet hyvin samalla tasolla kuin Lahden keskustassa kauppatorilla mitatut pitoisuudet.

PAH-yhdisteiden mittauksissa näytteitä otettiin vuoden ajan Lahden kauppatorilta keran kuussa. Näin mukaan saatiin talvi-kevä-kesä-syky- aikojen näytteet ja tuloksista on nähtävissä selvästi pitoisuuksien kausivaihtelu. Menetelmän todettiin toimivan hyvin.

EU:ssa suunnitellaan bentso(a)pyreenille tavoitearvoa 1 ng/m^3 , jota sovellettaisiin hiukkasten PM 10- fraktion bentso(a)pyreenipitoisuuteen vuosikeskiarvona. Bentso(a)pyreeni oli Lahdessa korkeimmillaan $0,55 \text{ ng/m}^3$ maaliskuussa 2003 otetussa näytteessä. Tämän jälkeen sen pitoisuus laski tasaisesti, kuten muidenkin PAH- yhdisteiden, kunnes pitoisuudet lähtivät selvään nousuun syyskuussa (lämmityskausi alkoi) ja joulukuussa 2003 bentso(a)pyreeni oli jo tasolla $0,50 \text{ ng/m}^3$. Varsinkin PAH- yhdisteiden yhteenlasketun määrän nousu oli jyrkkä syyskuusta 2003 alkaen ja se pysyi ylhäällä joulukuusta 2003 mittausten loppumiseen helmikuulle 2004 asti. PAH- yhdisteiden pitoisuuksien nousu ja lasku noudattaa Lahdessa otetuissa näytteissä hämmästyttävän hyvin Itävallan Wienissä havaittua kausivaihtelua. Wienin tutkimuksissa havaittiin, että lämmityskauden aikana PAH- pitoisuudet nousevat selvästi ja laskevat kevään ja kesän ajaksi.

Ilmassa olevan pölyn määrä ei ole verrannollinen ilmassa olevien PAH- yhdisteiden määrään. Tämä selittyy sillä, että pölyn massa muodostuu pääasiassa kahdesta suurimmasta hiukkaskoosta, kuten selvisi tehdyistä ELPI- mittauksista. Lisäksi PAH- yhdisteet ovat kiinnittyneet pienimpiin hiukkasiin. ELPI- mittauksista nähtiin myös, että kokonaismassan kasvaessa erikokoisten hiukkasten massa ei kasva samassa suhteessa.

ELPI- mittaukset eli hiukkasten kokojakaamaa selvittävät mittaukset ajoitettiin kevään 2002 ja 2003 kevätpölyepisodin ajalle ja ne onnistuivat hyvin. ELPI- mittauksista nähtävien yksittäisten havaintojen lisäksi ELPI- mittaustuloksia käytettiin hyväksi hiukkasiin kiinnittyneiden PAH- yhdisteiden tuloksia tarkasteltaessa. Hiukkasten kokojakauma mittauksissa huomattiin, että ilmassa on eniten pieniä hiukkasia. Pölypitoisuus oli suurimmillaan aamulla ja iltapäivällä kun liikennettäkin on eniten. Kokojakaumat ovat miltei samanlaisia niin yöllä kuin päivällä vaikka kokonaismäärä vaihtelikin. Kokonaismassan suurin osuus syntyy toiseksi suurimmasta hiukkaskoosta, vaikka näiden hiukkasten lukumäärä on vähäinen. Hiukkasten läpimitan tulokset noudattelevat Lahden kauppatorin kiinteän mittausaseman hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vaihtelua varsinkin kokonaissumman osalta.

Hankkeen aikana tehdyillä VOC- yhdisteiden mittauksilla on syvennetty jo olemassa olevaa tietoa ilmanlaatuun vaikuttavista yhdisteistä. Aktiivisten VOC- mittausten kehittäminen loi valmiudet mm. yrittää ratkaista ulkoilman hajuongelmia erilaisissa teollisuusympäristöissä.

VOC- yhdisteiden mittaustulokset passiivisella keräysmenetelmällä osoittavat ulkoilman bentseenipitoisuuksien olevan Lahdessa niin korkeita, että jatkuvaa seuranta joudutaan tulevaisuudessa harkitsemaan. Myös PAH- yhdisteiden ja hiukkasten kokojakauman mittaukset ovat antaneet paljon uutta tietoa ilmassa olevista hiukkasista, ja niihin sitoutuneista yhdisteistä.

Bentseeniä ei Suomessa ole ennen juurikaan mitattu ulkoilmasta pääkaupunkiseudun ulkopuolella. ELPI- mittaukset ja PAH- yhdisteiden määrittäminen ilman hiukkasista ovat myös hyvin uutta tutkimuksen alaa Suomen lisäksi myös muualla Euroopassa.

LÄHTEET:

1. M. Seuri ja E. Palomäki, *Haasteellinen sisäilma*, Rakennustieto Oy, Tampere, 2000, s. 43-45. (WHO:n määritelmä, 1989)
2. L. Alanso, N. Durana, M. Navazo, J. A. Garcia ja J. L. Ilardia, *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, 1999, 49, 916-924.
3. R. Reiss, P. B. Ryan, S. J. Tibbetts ja P. Koutrakis, *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, 1995, 45, 811-822.
4. Chang-Chuan Chan, Shou-Hsiang Lin ja Guor-Rong Her, *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, 1993, 43, 1231-1238.
5. A. P. Bianchi ja M. S. Varney, *J. Chromatogr.*, 1993, 643, 11-23.
6. K. M. Hau, D. W. Connell ja B. J. Richardson, *Regul. Toxicol. Pharmacol.*, 2000, 32, 36-41.
7. J. Begerow, E. Jermann, T. Keles ja L. Dunemann, *Fresenius J. Anal. Chem.*, 1999, 363, 399-403. Perkin Elmer Instruments, *Turbo Matrix Thermal Desorbers – Instrument Manual*, Englanti, 2000, s.263-265.
8. H. Pietarila, B. Alaviippola, H. Hellen, T. Salmi, T. Laurila ja H. Hakola, Ilmanlaadun alustava arviointi Suomessa hiilimonoksidi ja bentseeni, Ilmatieteen laitos, 2002, s.31-33.
9. M.L. Lee, M.V. Novotny ja K.D. Bartle, Analytical chemistry of polycyclic aromatic compounds, 1981, s.51.
10. Ambient Air Pollution by PAH, Position Paper Annexes July 27th 2001, s. 44. Prepared by the Working Group on PAHs.
11. T. Salthammer, Organic Indoor Air Pollutants, 1999, s. 48-49.
12. Ambient Air Pollution by PAH, Position Paper Annexes July 27th 2001, s. 48. Prepared by the Working Group on PAHs.
13. R. Brewer, W. Belzer ja A. Poon, Assessment of PAH levels in atmospheric particulates from Burnaby Lake B.C. (1995), Kanada, joulukuu 2000, s. 5.
14. Ambient Air Pollution by PAH, Position Paper Annexes July 27th 2001, s. 32. Prepared by the Working Group on PAHs.
15. R. Brewer, W. Belzer ja A. Poon, Assessment of PAH levels in atmospheric particulates from Burnaby Lake B.C. (1995), Kanada, joulukuu 2000, s. 76.
16. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi ehdotus ilmassa olevasta arseenista, kadmiumista, elohopeasta, nikkelistä ja polyaromaattisista hiilivedyistä, Euroopan yhteisöjen komission esittämä, 16.7.2003 Bryssel, KOM(2003) 423 lopullinen, 2003/0164 (COD)
17. J. Tuominen, Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons by gas chromatography/mass spectrometry and method development in supercritical fluid chromatography, 1990, s. 34.
18. Ambient Air Pollution by PAH, Position Paper Annexes July 27th 2001, s. 38. Prepared by the Working Group on PAHs.

LIITE I:

Mittauspisteiden sijainnit:

Neopoli: Niemenkatu 73 C, Lahti

Kisapuisto: Kariniemenkatu (kisapuiston urheilukenttä) Lahti

Metsäkangas: Suitsikatu 10, Lahti (Metsäkankaan koulu)

Laune: Pohjoinen Liipolankatu (Launeen McDonalds) Lahti

Möysä: Viipurintie 1 (Ruolan ostoskeskus) Lahti

Kauppatori: Kauppatori

Vesijärvenkatu 11, Lahti

Mytjäinen: Mytjäisten risteys (Hollolankadun ja Hämeenlinnantien risteys) Lahti

Syvälahdentie 10, Heinola

Heinolan keskusta: Virtakatu 7, Heinola

Aikajana

