



Ilmanlaatu Helsingin tietunneleissa

Liisa Pirjola, Kati Loukkola, Tarja Koskentalo ja Outi Väkevä

Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 3/2010

Liisa Pirjola¹, Kati Loukkola², Tarja Koskentalo² ja Outi Väkevää³

¹ Metropolia ammattikorkeakoulu, Bulevardi 31, 00180 Helsinki, www.metropolia.fi

² Helsingin seudun ympäristöpalvelut, Opastinsilta 6A, 00520 Helsinki, www.hsy.fi

³ Helsingin kaupungin ympäristökeskus, PL 500, 00099 Helsingin kaupunki, www.hel.fi/ymk

Ilmanlaatu Helsingin tietunneleissa

Kannen kuva: © Aleksi Malinen

ISSN 1235-9718
ISBN 978-952-223-662-3
ISBN (PDF) 978-952-223-663-0

Painopaikka: Kopio Niini Oy
Helsinki 2010

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	2
Sammanfattning.....	3
Summary	4
Tutkimuksen toimeksianto	5
OSA I: ILMANLAATU ELIEL SAARISEN TIEN TUNNELISSA HAAGASSA.....	6
1 Tutkimuksen taustaa	6
2 Tutkimuksen toteutus	7
3 Tutkimustulokset	9
3.1 Typenoksidien pitoisuudet.....	9
3.1.1 YTV:n jatkuvatoiminen mittaus	9
3.1.2 YTV:n passiivikeräinmenetelmä syys-joulukuussa 2009	11
3.1.3 Nuuskijan typenoksidimittaukset	13
3.2 Hiukkaspitoisuudet	16
3.2.1 YTV:n jatkuvatoiminen mittaus	16
3.2.2 Nuuskijan hiukkasmittaukset	17
4 Puhaltimien käytön vaikutus	19
4.1 Puhaltimien vaikutus typenoksidien pitoisuuksiin 6.10.....	20
4.2. Puhaltimien käytön vaikutus hiukkaspitoisuuksiin 6.10.....	22
5 Johtopäätökset	25
OSA II: ILMANLAATU MUISSA TUNNELEISSA.....	26
1 Hakamäentien tunneli (29.10.2009 klo 7.42–9.36).....	26
2 Uudenmaankadun tunneli (15.10.2009 klo 7.20–8.45)	28
3 Vuosaaren tunneli (30.10.2009 klo 7.36–9.30).....	30
4 Johtopäätökset	34

Liite 1. Kuvia Eliel Saarisen tien tunnelin mittausaseman ja passiivikeräinten sijainnista

Liite 2. NO_x- ja hiukkaspitoisuuksien minuuttiarvot sekä puhaltimien käyttöajankohdat

Liite 3. Yhteenvetotaulukko Nuuskijalla mitatuista kaas- ja hiukkaspitoisuuksista keskihajontoineen eri tunneleissa. Eliel Saarisen tien tunnelissa mitatut pitoisuudet on annettu erikseen eri puhallinasetuksilla.

Tiivistelmä

Helsingin tunneleiden ilmanlaadusta tehtiin selvitys syksyllä 2009. Tutkimus koostuu kahdesta osasta (osat I ja II). Osan I tarkoituksena oli selvittää ilmanlaatua Eliel Saarisen tien tunnelissa. Tunneliin on sijoitettu puhaltimia, jotka käynnistyvät automaattisesti typenoksidipitoisuuksien saavuttaessa niille asetetun kynnyksarvon. Puhaltimien melusta on tullut valituksia lähialueen asukkailta. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, onko puhaltimien automaattinen käynnistyminen ilmanlaadun heikkenemisen takia tarpeen ja vaikuttavatko puhaltimet ilmanlaatuun tunnelissa. Eliel Saarisen tien tunnelissa mitattiin typenoksidien ja hiukkasten pitoisuuksia Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymän (HSY, entinen YTV) kiinteällä mittausasemalla sekä Metropolia Ammattikorkeakoulun Nuuskija-autolla.

Tutkimuksen osassa II selvitettiin laajemmin ilmanlaatua Helsingin tietunneleissa. Tutkittavina olivat Eliel Saarisen tien tunnelin lisäksi Hakamäentien, Uudenmaankadun ja Vuosaaren tietunnelit. Näiden tunnelien ilmanlaadun mittaukset toteutettiin Nuuskija-autolla. Hakamäentien, Uudenmaankadun ja Vuosaaren tunnelit poikkesivat Eliel Saarisen tien tunnelista sikäli, että ne olivat vain läpikulkutunneleita eikä niissä ole bussipysäkkejä. Ilmanlaadun raja-arvoja sovelletaan vain alueilla, joilla asuu tai oleskelee ihmisiä. Eliel Saarisen tien tunnelissa on bussipysäkki, joten ilmanlaadun raja-arvoja on siellä noudatettava.

Eliel Saarisen tien tunnelissa mitatut korkeimmat typpidioksidin tuntipitoisuudet olivat selvästi ohjearvotason ja raja-arvotason alapuolella. Ajouradan välittömässä tuntumassa pitoisuudet olivat samaa tasoa kuin Helsingin vilkkaimmin liikennöidyillä katualueilla ja katukuiluissa. Pienhiukkaspitoisuudet ($PM_{2.5}$) tunnelin ilmaan olivat samaa tasoa ja hengitettävien hiukkasten pitoisuudet (PM_{10}) korkeammat kuin vastaavana aikana vilkasliikenteisissä ympäristöissä sijaitsevilla mittausasemilla. Hetkellisesti tunnelissa esiintyi kuitenkin hyvin korkeita pakokaasuhiukkasten lukumääräpitoisuuksia. Renkaiden ilmaan nostattama katupölypitoisuus (PM_{10}) oli tunnelissa suurempi kuin ympäröivillä kaduilla. Tulokset antavat viitteitä siitä, että kadunpinnan tehokas puhdistaminen parantaisi tunnelin ilmanlaatua. Puhaltimien vaikutus pitoisuuksiin ei ollut selvästi todettavissa.

Kaikissa tutkituissa tunneleissa mitatut typenoksidien (NO_2 - ja NO) pitoisuudet olivat vähän alempia tai samaa suuruusluokkaa kuin Nuuskija-auton tunnelin ulkopuolella mitaamat keskipitoisuudet. Vuosaaren tunnelissa pakokaasuhiukkasten lukumääräpitoisuudet olivat kuitenkin jopa viisinkertaisia muihin tunneleihin verrattuna ja lähes kaksinkertaisia tunnelin ulkopuolella mitattuihin keskimääräisiin pitoisuuksiin verrattuna. Syynä korkeisiin pitoisuuksiin oli runsas raskaiden ajoneuvojen määrä. Renkaiden ilmaan nostattama katupölypitoisuus (PM_{10}) oli varsin pieni kaikissa tunneleissa, joskin se oli suurempi kuin tunnelien ulkopuolella. Puhtain tunneli oli Hakamäentien tunneli, jonka tiepäällyste on varsin uusi ja jossa raskaan liikenteen osuus on pieni.

Sammanfattning

Hösten 2009 gjordes en utredning om luftkvaliteten i tunnlar i Helsingfors. Undersökningen består av två delar (del I och II). Syftet med del I var att göra en utredning om luftkvaliteten i tunneln vid Eliel Saarins väg. I tunneln har man placerat fläktar som automatiskt startar då kväveoxidhalterna uppnår det uppsatta tröskelvärdet. Invånarna i närområdet har kommit med klagomål rörande fläktarnas buller. Målsättningen med undersökningen var att utreda om fläktarnas automatstart på grund av försämrad luftkvalitet är nödvändig och om fläktarna inverkar på luftkvaliteten i tunneln. Halten av kväveoxider och partiklar i tunneln vid Eliel Saarins väg mättes vid den fasta mätstationen vid samkommunen Helsingforsregionens miljötjänster (HRM, tidigare SAD) och med yrkeshögskolan Metropolias Nuuskija-bil.

I del II av undersökningen utredde man luftkvaliteten i Helsingfors vägtunnlar mer omfattande. Förutom tunneln vid Eliel Saarins väg undersökte man också vägtunnlarna vid Skogsbackavägen, Nylandsgatan och i Nordsjö. Mätningarna av luftkvaliteten i dessa tunnlar genomfördes med Nuuskija-bilen. Tunnlarna vid Skogsbackavägen, Nylandsgatan och i Nordsjö avvek från tunneln vid Eliel Saarins väg såtillvida att de endast var genomfartstunnlar och det finns inga buss-hållplatser i dem. Gränsvärdena för luftkvaliteten tillämpas endast på områden där människor bor eller vistas. I tunneln vid Eliel Saarins väg finns en buss-hållplats och därför måste gränsvärdena för luftkvaliteten efterföljas där.

De högsta timhalterna av kvävedioxid som mätts i tunneln vid Eliel Saarins väg låg klart under riktvärdesnivån och gränsvärdesnivån. I körbanans omedelbara närhet låg halterna på samma nivå som på de mest trafikerade gatuområdena och i gatuschakten. Småpartikelhalten ($PM_{2,5}$) i tunnelluften låg på samma nivå som vid mätstationerna som är belägna i livligt trafikerade områden och halten inandningspartiklar (PM_{10}) var högre än värdena vid dessa vid motsvarande tidpunkt. I tunneln förekom dock tillfälligt ytterst höga antalshalter avgaspartiklar. Halten av gatudamm (PM_{10}) som stiger upp i luften på grund av bildäck var större i tunneln än på de omgivande gatorna. Resultaten tyder på att en effektiv rengöring av gatuytan skulle förbättra tunnelns luftkvalitet. Fläktarnas inverkan på halterna har inte helt kunnat fastslås.

Kväveoxidhalterna (NO_2 - och NO) som mätts i alla tunnlar som var med i undersökningen var en aning lägre eller av samma storleksklass som medelhalterna som mätts av Nuuskija-bilen utanför tunneln. I Nordsjö-tunneln var antalshalterna avgaspartiklar fem gånger så höga jämfört med andra tunnlar och nästan dubbelt så höga jämfört med medelhalterna som mätts utanför tunneln. Orsaken till de höga halterna var det stora antalet tunga fordon. Halten av gatudamm som stiger upp i luften på grund av bildäck (PM_{10}) var synnerligen låg i alla tunnlar, om än högre än utanför tunnlar. Den renaste tunneln var Skogsbackatunneln vars gatubeläggning är tämligen ny och där andelen tung trafik är liten.

Summary

A study of air quality in Helsinki's road tunnels was conducted in the autumn of 2009. The survey consists of two parts (Part I and II). The purpose of Part I was to examine the air quality in the tunnel of the Eliel Saarisentie street. The tunnel has blowers, which turn on automatically when the nitrogen oxide concentration level reaches the set threshold value. Local residents have complained about the noise made by the blowers. The objective of the survey was to determine if it is necessary to have blowers that turn on automatically when the air quality deteriorates and whether they have any impact on the air quality in the tunnel. In the tunnel of the Eliel Saarisentie street, the nitrogen oxide and fine particle concentration levels were measured by a fixed measurement station, owned by the Helsinki Region Environmental Services Authority HSY (formerly known as YTV), and the Nuuskija ("Sniffer") vehicle of the Metropolia Helsinki University of Applied Sciences.

Part II of the survey examined the air quality of Helsinki's road tunnels more broadly. In addition to the tunnel of the Eliel Saarisentie street, the examination covered the tunnels on Hakamäentie and Uudenmaankatu and the Vuosaari tunnel. Measurements were carried out using the "Sniffer" vehicle. The difference between Hakamäentie, Uudenmaankatu and the Vuosaari tunnels and the tunnel of the Eliel Saarisentie street was that the former are through-traffic tunnels and have no bus stops located in them. Air quality limit values are only applied to places where people live or move about. There is a bus stop in the tunnel of the Eliel Saarisentie street, which means that there the air quality limit values must be complied with.

The highest hourly concentrations of nitrogen dioxide measured in the tunnel of the Eliel Saarisentie street remained clearly below the guideline values and the limit values. In the immediate proximity of the driveway, the concentration levels equalled those of the busiest streets and street shafts in Helsinki. The concentration of fine particles ($PM_{2.5}$) in the air in the tunnel was at the same level and the concentration of respirable particles (PM_{10}) at a higher level than the concentrations at measuring stations located at busy traffic areas at the same time. However, temporarily there were very high peaks of total number concentrations of exhaust gas particles in the tunnel. The concentration level of street dust, kicked up by the wheels of vehicles (PM_{10}), was higher in the tunnel than in the surrounding streets. The results indicate that effective cleaning of the road surface would improve the air quality in the tunnel. The blowers' impact on the concentration levels could be clearly detected.

In all the tunnels examined, the nitrogen oxide (NO_2 and NO) concentrations measured were slightly below or at the same level as the average concentrations measured by the "Sniffer" vehicle outside each tunnel. In the Vuosaari tunnel, the total number concentrations of exhaust gas particles were, however, five times higher than those of the other tunnels and nearly twice the level of the average concentrations measured outside the tunnel. These high levels of concentration resulted from the large number of heavy-duty vehicles. The concentration of street dust, kicked up by wheels (PM_{10}), was relatively low in all the tunnels but nevertheless higher than outside the tunnels. The cleanest tunnel was the one on Hakamäentie, due to the relatively new road surface and the small percentage of heavy-duty vehicle traffic.

Tutkimuksen toimeksianto

Tutkimus käynnistettiin Helsingin kaupungin rakennusviraston aloitteesta, koska Eliel Saarisen tien tunneliin sijoitettujen puhaltimien melusta tuli jatkuvasti valituksia lähialueen asukkailta. Puhaltimet oli asennettu käynnistymään automaattisesti, kun tunneliin sijoitettujen anturien mittaama typenoksidien pitoisuus ylitti niille asetetun kynnsarvon. Tähän kynnsarvoon oli päädytty asiantuntija-arvion perusteella 1990-luvun lopulla.

Ilmanlaatudirektiivi asettaa terveysperusteiset raja-arvot typpidioksidin pitoisuuksille ulkoilmassa. Raja-arvoja ei saa ylittää alueilla, joilla ihmisiä asuu tai oleskelee. Eliel Saarisen tien tunnelissa on bussipysäkki, joten ilmanlaadun raja-arvoja on siellä noudatettava. Tutkimuksessa selvitettiin millaisia typpidioksidipitoisuuksia tunnelissa esiintyy ja pienentääkö puhaltimien käyttö pitoisuuksia. Tarkoituksena oli selvittää, onko puhaltimien automaattinen käynnistyminen ilmanlaadun takia tarpeen vai voidaanko siitä luopua puhaltimien aiheuttaman meluhaitan vähentämiseksi. Puhaltimien on kuitenkin pidettävä käyttökunnossa mahdollisten tulipalojen varalta, joten niitä on käynnistettävä säännöllisesti niiden toimintakunnon varmistamiseksi.

Koska tunnelien ilmanlaadusta yleisesti on Suomessa vielä hyvin vähän tietoa, lisättiin tutkimukseen Eliel Saarisen tien tunnelin lisäksi kolmen muun tunnelin (Hakamäentien, Uudenmaankadun ja Vuosaaren tunnelit) ilmanlaadun mittaukset. Näiden tunnelien mittaukset toteutettiin Nuuskija-autolla.

Neljän Helsingin tietunnelin – Eliel Saarisen tien, Hakamäentien, Uudenmaankadun ja Vuosaaren tunnelien – ilmanlaadun tutkimuksesta Nuuskija-autolla solmittiin sopimus 4.9.2009. Tutkimuksen tilaajina olivat Helsingin kaupungin ympäristökeskus ja Helsingin kaupungin rakennusvirasto. Tutkimuksen tekijänä olivat Metropolia Ammattikorkeakoulu, jossa työstä vastasi dosentti Liisa Pirjola apunaan projekti-insinööri Aleks Malinen sekä opiskelijat Henri Happonen ja Taneli Fabritius.

Eliel Saarisen tien tunnelissa tehtiin lisäksi ilmanlaadun mittauksia kiinteällä mitausasemalla. Tästä tutkimuksen osasta vastasi Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä (entinen YTV), jossa vastuuhenkilönä oli ilmansuojeluyksikön päällikkö Tarja Koskentalo. Ilmanlaadun mittausten ja liikennelaskentojen toteuttamisesta huolehtivat mittausinsinöörit Santeri Rinta-Kanto, Anssi Julkunen ja mittauslaborantti Tero Humaloja. Tulosten raportointiin osallistui Kati Loukkola.

Tutkimusta ohjasivat ylläpitoteknikko Ismo Rantanen Helsingin kaupungin rakennusvirastosta ja ympäristötarkastaja Outi Väkevä Helsingin kaupungin ympäristökeskuksesta.

OSA I: ILMANLAATU ELIEL SAARISEN TIEN TUNNELISSA HAAGASSA

1 Tutkimuksen taustaa

Eliel Saarisen tien tunneli on joukkoliikennekatu, jota pitkin saavat ajaa vain linja-autot ja taksit. HSL:n pysäkkikohtaisten aikataulujen (pysäkkitunnukset 1630 ja 1631) mukaan Eliel Saarisen tien tunnelin bussiliikennemäärä on enimmillään 39 bussia tunnissa. Tunnelissa on kuusi puhallinta, jotka voidaan käynnistää joko automaattisesti ajastamalla tai pakokaasumittausten perusteella. Myös palokunnalla on mahdollisuus käynnistää puhaltimet. Tunnelissa olevilla antureilla mitataan jatkuvatoimisesti typenoksidien kokonaispitoisuutta (NO_x), jolla tarkoitetaan typpidioksidin (NO_2) ja -monoksidin (NO) summaa. Puhaltimet on tunnelin käyttöönottovaiheessa säädetty käynnistymään, kun typenoksidien hetkellinen kokonaispitoisuus ylittää 0,076 ppm. Typpidioksidiksi laskettuna 0,076 ppm vastaa pitoisuutta $145 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Käynnistysarvon ollessa 0,076 ppm puhaltimet ovat käynnistyneet usein ja jopa yöaikaan. Puhaltimista on tullut meluvalituksia lähiseudun asukkailta. Puhaltimien aiheuttamaksi meluksi on mitattu 82–94 dB. Meluhaitan vähentämiseksi uudeksi käynnistysarvoksi on nostettu tasolle 0,1 ppm ja käynnistyminen on estetty kello 21–7.

Typpidioksidin tuntiohjearvotaso on $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (sama kuin 0,078 ppm). Ohjearvo ylittyy, kun pitoisuus ylittää tämän arvon yli 1 % kuukauden tunneista. Ohjearvot on tarkoitettu ohjaamaan suunnittelua, ja ne eivät ole sitovia.

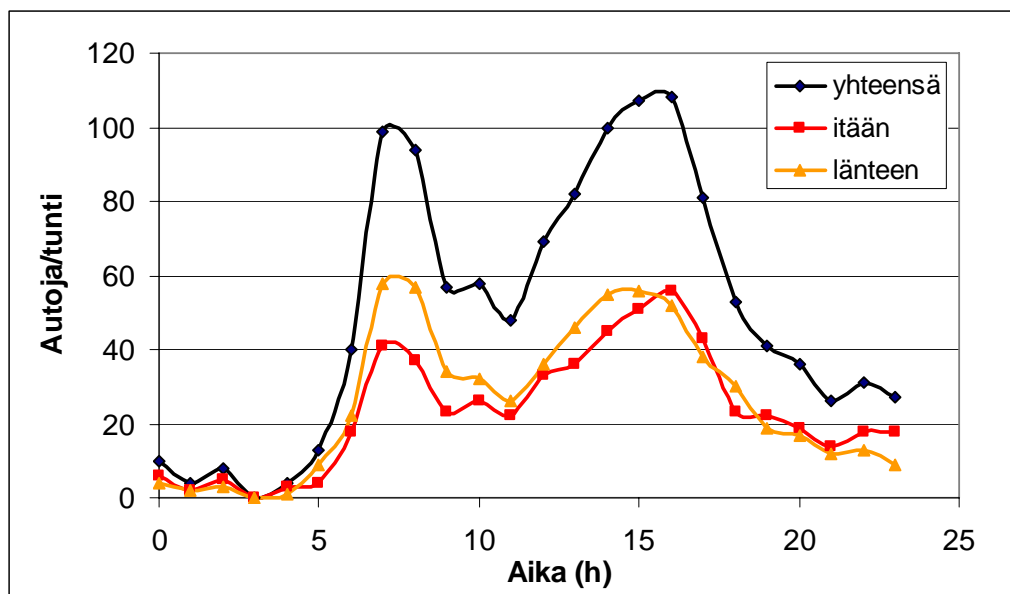
Ulkoilman epäpuhtauksille on asetettu myös terveysperusteiset raja-arvot, joita ei saa ylittää. Typpidioksidin vuosipitoisuuksille asetettu raja-arvo on $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja raja-arvo on saavutettava 1.1.2010 lukien. Typpidioksidin tuntipitoisuuksien raja-arvo on $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja sen ylittäviä pitoisuuksia saa esiintyä korkeintaan 18 tuntia vuodessa 1.1.2010 lukien (aiemmin ylityksiä sallittiin 175 tuntia vuodessa). Raja-arvoja sovelletaan alueilla, joilla ihmisiä asuu tai oleskelee.

Puhaltimien käynnistymisraja on säädetty niin, että typpidioksidin ohjearvon ylittyminen estetään. Käytännössä puhaltimet ovat käynnistyneet ohjearvotason huomattavasti alhaisemmilla pitoisuuksilla, sillä käynnistämiskriteerinä on käytetty typenoksidien kokonaispitoisuuden hetkellisarvoja. Hetkelliset pitoisuusarvot voivat olla huomattavasti korkeampia kuin tuntiarvot ja toisaalta liikenteen päästöissä typenoksidien kokonaismäärästä pieni osa (keskimäärin noin 10 %) on typpidioksidia.

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää ilmanlaatua Eliel Saarisen tien tunnelissa ja arvioida puhaltimien käyttötarvetta ja vaikutusta ilmanlaatuun tunnelissa.

2 Tutkimuksen toteutus

YTV seurasi elokuussa 2009 ilmanlaatua Eliel Saarisen tien tunnelissa jatkuvien mittausten siirrettävällä mittausasemalla. Typpidioksidin ja typpimonoksidin (NO_2 ja NO) pitoisuuksia mitattiin 1.10. ja 19.10. välisenä aikana. Pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten ($\text{PM}_{2.5}$ ja PM_{10}) pitoisuuksia mitattiin kahden mittausjakson ajan: 2.10.–7.10. sekä 13.10.–15.10. Lisäksi mitattiin passiivikeräinmenetelmällä typpidioksidin kuukausipitoisuuksia syys-joulukuun välisenä aikana.



Kuva 1. Liikennevirta 21.4.2004 Eliel Saarisen tien tunnelissa.

YTV:n mittausasema sijaitsi Eliel Saarisen tien tunnelissa Huopalahden aseman kohdalla. Mittausaseman lounaisella puolella oli rautatieaseman raiteilta tunneliin johtavat portaat. Koillisella puolella avautui kevyenliikenteen yhteys pois tunnelista. Mittauspaikan ja linja-autopysäkin 1630 välissä oli seinämä. Liitteen 1 kuvissa on havainnollistettu mittauspisteen sijaintia. Mittaustulokset edustavat pitoisuuksia, joille ihmiset altistuvat odottaessaan linja-autoa tunnelissa.

Typenoksidien pitoisuuksia mitattiin jatkuvatoimisesti kemiluminesenssimenetelmällä (Horiba APNA360). Hiukkaspitoisuuksien mittaamiseen käytettiin jatkuvatoimista valon sirontaan perustuvaa OSIRIS-laitetta. Tulokset talletettiin minuutin aikaresoluutiolla. Typpidioksidipitoisuuden kuukausikeskiarvot määritettiin passiivikeräinmenetelmällä (IVL-keräin). Keräimien NO_2 -pitoisuudet määritettiin spektrofotometrisesti Metropolilab-laboratoriossa.

Helsingin kaupungin liikennelaskennassa 21.4.2004 liikennevirta on ollut suurimmillaan 100–110 autoa tunnissa aamu- ja iltapäiväruuhkien aikaan klo 7–8 ja klo 15–16 (kuva 1). Tätä uudempia tuloksia liikennemääristä ei ollut saatavilla. Tunnelin liikenteen on arvioitu vähentyneen vuodesta 2004 muutaman prosentin. YTV teki Eliel Saarisen tien tunnelissa liikennelaskentaa perjantaina 16.10.2010 kello 7.30–13.00 välisenä aikana.

Nuuskiija-autolla suoritettiin mittaukset Eliel Saarisen tien tunnelissa 6.10.2009 klo 7–9:30. Tarkoitus oli mitata samana päivänä myös Hakamäentien tunneli siten, että tunnelien läpi ajetaan kumpaankin suuntaan useamman kerran aamuruuhkan aikaan klo 7–9:30. Osoittautui, että ruuhka-ajan puitteissa ei saada riittävän montaa toistoa, joten päätettiin mitata Hakamäentien tunneli eri päivinä. Tutkimuksissa mitattiin Nuuskija-auton tuulilasin yläpuolelta 2,4 metrin korkeudelta pakokaasuperäiset pienhiukkaspitoisuudet ja niiden kokojakauma ELPI:llä (Electrical Low Pressure Impactor), typpimonoksidi ja -dioksidipitoisuudet NO_x-analyysaattorilla APNA-360CE sekä häkäpitoisuus CO-analyysaattorilla CO12M ja hiilidioksidipitoisuus CO₂-analyysaattorilla VA3100.

Tuulilasin yläpuolelta hengityskorkeudelta mitattiin myös ilmassa olevien hiukkasten massapitoisuus PM₁₀ (hengitettävien hiukkasten pitoisuus) aerosolimonitorilla DustTrak II (Model 8530). Lisäksi PM₁₀ mitattiin Nuuskijan vasemman takapyörän takaa TEOM:lla (Tapered Element Oscillating Microbalance. Series 1400A) sekä toisella DustTrakilla. Koska tämä massapitoisuus kuvaa renkaan ilmaan nostataman pölyn pitoisuutta aivan lähteen lähellä, pitoisuudet voivat olla hyvinkin suuria. Hengityskorkeudelle levittyään ne ovat laimentuneet jopa sadanteen osaan.

Renkaan takaa mitattua PM₁₀-pitoisuutta kutsutaan jatkossa katupölypitoisuudeksi. TEOM:ssa värähtelevän sauvan päähän kerääntyy pölyä. Pölyn massa määrittyy värähtelyn ominaistajuuden ja jakson ajan muutosten perusteella. DustTrak havaitsee hiukkaset optisen sironnan avulla. Se reagoi pitoisuuden muutokseen huomattavasti nopeammin kuin TEOM. Nuuskijan katolta taltioitiin ilman lämpötila sekä suhteellinen kosteus. Kaikki muut laitteet tallensivat dataa 1 sekunnin aikaresoluutiolla paitsi TEOM, joka laskee liukuvaa 30 sekunnin keskiarvoa tallettaen sen 10 sekunnin välein.

Eliel Saarisen tien tunnelin puhaltimien toimintaa säädeltiin 6.10.2009 taulukon 1 mukaisesti siten, että 15 minuutin välein käynnistettiin aina seuraava puhallin. Säädön tarkoituksena oli tutkia, miten paljon puhaltimien käyttö vaikuttaa ilmanlaatuun. Nuuskija-autolla tehtyjä mittauksia typenoksidien ja hengitettävien hiukkasten osalta verrattiin YTV:n samana päivänä tekemiin jatkuvatoimisiin mittauksiin. Tunnelin läpi ajettiin 16 kertaa kumpaankin suuntaan, siis yhteensä 32 kertaa. Tunnelin läpiajo kesti tyypillisesti 4–50 sekuntia, joten tunnelissa mitattu kokonaisaika oli noin 24,5 minuuttia (1 470 sekuntiarvoa). Tunnelin etelä- ja pohjoispuolella käytiin kääntymässä lähimmässä liikenneympyrässä.

Taulukko 1. Ajat, jolloin puhallimet käynnistettiin 6.10.2009. Kun seuraava puhallin käynnistettiin, edellistä ei sammutettu joten esim. klo 8:50–9:05 kaikki 6 puhallinta olivat toiminnassa.

Puhalin nro	1	2	3	4	5	6	Kaikki pois päältä
Päälle	7:29	7:44	7:59	8:15	8:34	8:50	9:05

3 Tutkimustulokset

3.1 Typenoksidien pitoisuudet

3.1.1 YTV:n jatkuvatoiminen mittaus

YTV:n mittauskampanjan aikana (1.–19.10.2009) määritettiin 428 tuntikeskiarvoa typenoksidipitoisuuksille. Pitoisuuksien keskiarvo oli 26 µg/m³ typpidioksidille (NO₂) ja 38 µg/m³ typpimonoksidille (NO). Korkeimmat mitatut tuntipitoisuudet olivat 95 µg/m³ NO₂:lle ja 329 µg/m³ NO:lle. Taulukossa 2 on verrattu tunnelissa mitattuja pitoisuuksia muualla Helsingissä mitattuihin pitoisuuksiin vastaavalta ajalta. Kuvissa 2 ja 3 on esitetty typenoksidipitoisuuksien tuntivaihtelu Helsingissä mittauskampanjan aikana.

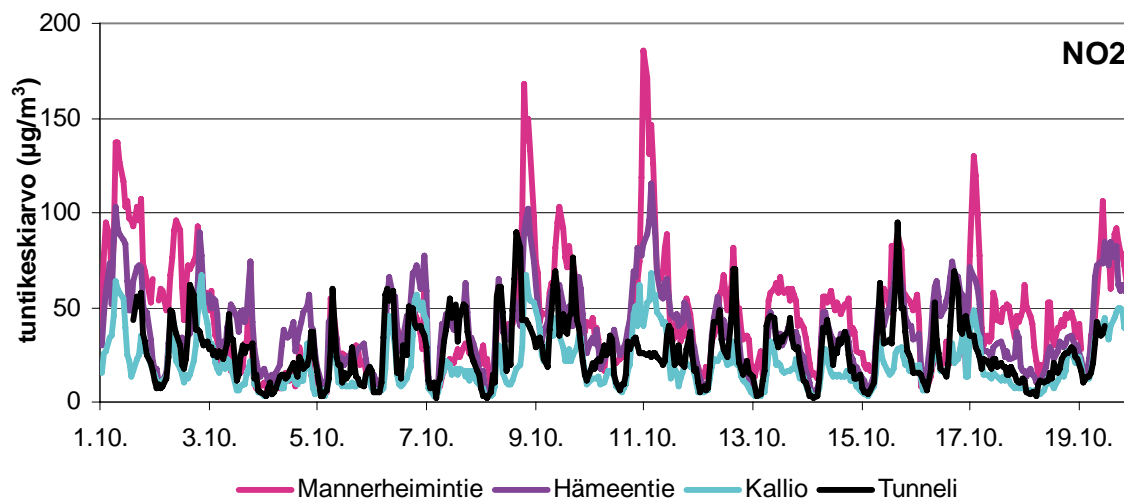
Taulukko 2. NO₂- ja NO-pitoisuudet tunnelissa sekä YTV:n mittausasemilla Mannerheimintiellä, Hämeentiellä, Kalliossa ja Vallilassa mittauskampanjan aikana (1.10. klo 15–19.10. klo 12).

Mittausasema	NO ₂		NO	
	Keskiarvo	tuntimaksimi	Keskiarvo	tuntimaksimi
Tunneli	26	95	38	329
Mannerheimintie	42	186	38	258
Hämeentie	38	116	52	313
Kallio	19	68	5	74
Vallila	22	78	12	180

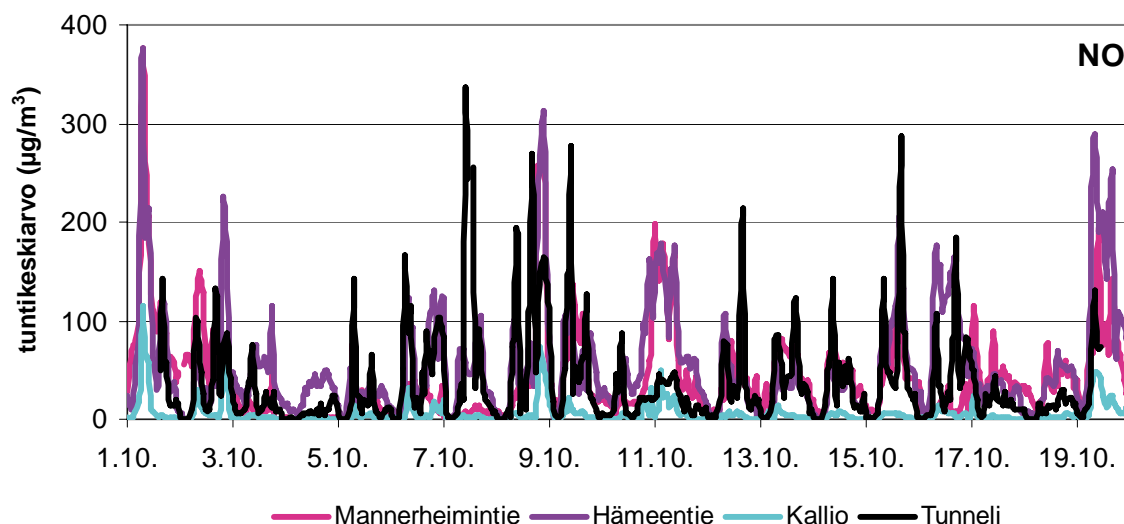
Tunnelissa mitatut typpidioksidipitoisuudet olivat korkeampia kuin kaupunkitausta-asemalla Kalliossa, mutta selvästi matalampia kuin vilkasliikenteisissä ympäristöissä sijaitsevilla mittausasemilla Mannerheimintiellä ja Hämeentiellä. Typpimonoksidipitoisuudet olivat samaa tasoa kuin vilkkaasti liikennöidyillä mittausasemilla. Seurantajakson korkeimmat typpimonoksidin tuntipitoisuudet mitattiin tunnelissa.

Typpidioksidipitoisuudelle on annettu ilmanlaatuasetuksessa tuntiraja-arvo 200 µg/m³. Raja-arvotason ylityksiä sallitaan 18 tuntia vuodessa. Tunnelissa korkein mitattu typpidioksidin tuntiarvo oli 95 µg/m³, eli alle puolet raja-arvotasosta. Tunnelin liikennemäärät ovat hyvin vähäisiä (YTV:n suorittaman 5,5 tuntia kestäneen liikennemäärälaskennan aikana tunnelissa ajoi 437 ajoneuvoa). Nykyisillä liikennemäärillä on hyvin epätodennäköistä, että NO₂-tuntiraja-arvo ylittyisi.

Pääkaupunkiseudulla typpidioksidin vuosiraja-arvo (40 µg/m³) on ylittynyt katukuiluissa ja vilkasliikenteisissä ydinkeskustan alueilla eli Mannerheimintiellä vuosina 2005–2009, Hämeentiellä vuosina 2005 ja 2009 sekä Töölöntullissa vuonna 2006. Eliel Saarisen tien tunnelissa mittausjakson keskiarvopitoisuus jäi huomattavasti alle raja-arvotason ollen 26 µg/m³. Vastaavana aikana raja-arvotaso ylittyi Mannerheimintiellä ollen 42 µg/m³. Tunnelissa mitatuista NO₂-tuntipitoisuuksista 17 % ylitti vuosiraja-arvotason. Vastaavasti Mannerheimintiellä vuosiraja-arvotason ylitti 47 % ja Hämeentiellä 40 % mitatuista tuntipitoisuuksista.



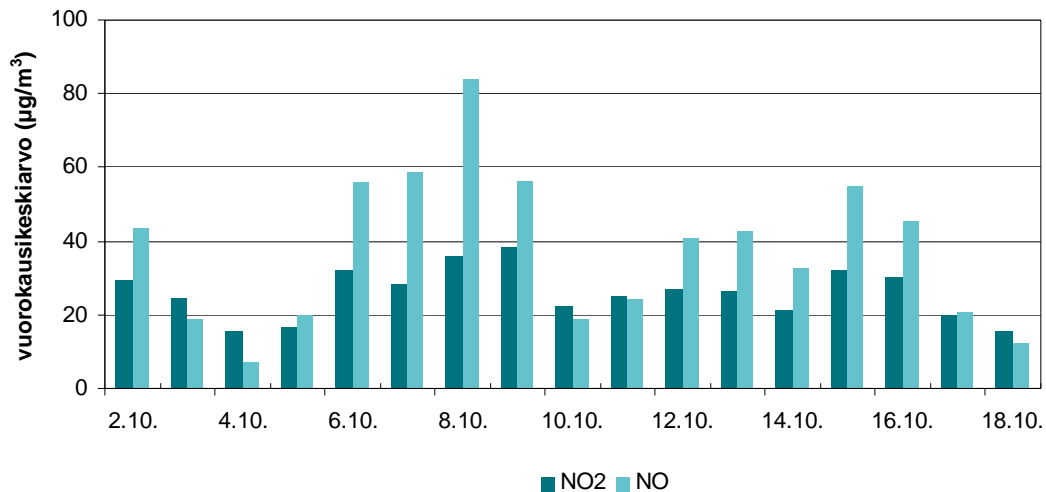
Kuva 2. Typpidioksidin tuntipitoisuudet tunnelissa sekä YTV:n mittausasemilla Mannerheimintiellä. Kalliolla ja Hämeentiellä.



Kuva 3. Typpimonoksidin tuntipitoisuudet tunnelissa sekä YTV:n mittausasemilla Mannerheimintiellä. Kalliolla ja Hämeentiellä.

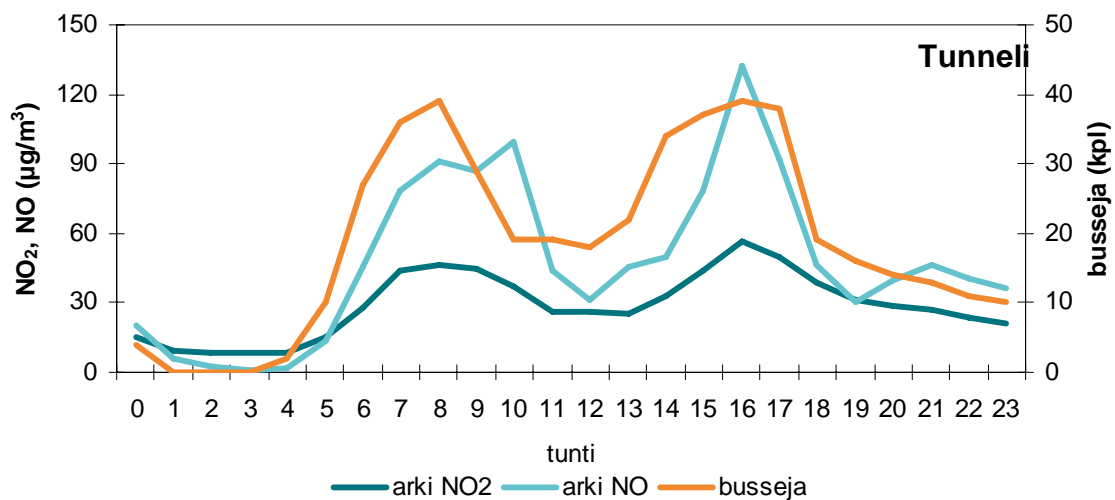
Typpidioksidin vuorokausiohjearvo on $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$. ja siihen verrataan kuukauden toiseksi suurinta vuorokausiarvoa. Tunnelissa korkein mitattu NO_2 -vuorokausikeskiarvo oli $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (perjantai 9.10.), eli vuorokausiohjearvoon verrattuna tunnelin NO_2 -pitoisuudet ovat alhaisia. Mittausjakson aikana ohjearvotaso ylittyi Mannerheimintiellä 11.10. ollen $72 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Kuvassa 4 on esitetty tunnelissa mitatut typenoksidipitoisuuksien vuorokausiarvot. Korkein NO -vuorokausipitoisuus oli $84 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (8.10.).



Kuva 4. Typpidioksidin ja typpimonoksidin vuorokausipitoisuuksien vaihtelu tunnelissa.

Tunnelissa mitattujen pitoisuuksien vuorokausivaihtelu arkena on esitetty kuvassa 5. Keskiarvojen laskentaan käytettyjä tunteja on 10–12 kpl. Kuvassa esitetty bussien määrä on laskettu pysäkkikohtaisten aikataulujen avulla. Typenoksidien pitoisuudet vaihtelevat samankaltaisesti linja-autoliikennemäärän kanssa, joten linja-autoliikenne vaikuttaa huomattavasti tunnelin NO₂-pitoisuuksiin. Tunnelissa on joukkoliikenteen lisäksi paljon myös henkilö-, paketti- ja kuorma-autoliikennettä, joiden päästöt vaikuttavat osaltaan pitoisuuksiin. YTV:n liikennelaskennan aikana tunnelissa ajoi bussien lisäksi enimmillään 30 taksia, 28 henkilö- ja pakettiautoa sekä 14 kuorma-autoa tunnissa (klo 7:30–8:30).



Kuva 5. Typenoksidien pitoisuuksien ja bussiliikenteen vaihtelu arkena tunnelissa.

3.1.2 YTV:n passiivikeräinmenetelmä syys-joulukuussa 2009

Passiivikeräimillä saadaan määritettyä luotettavasti typpidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvo. Menetelmällä on todettu typpidioksidin vuosipitoisuuden ylittäneen raja-arvon (40 µg/m³) Helsingin vilkasliikenteisessä ydinkeskustassa ja kuilumaisilla katualueilla sekä vilkkaimman kehätien välittömässä läheisyydessä. Menetelmällä saadut vuosipitoisuudet ovat vastanneet hyvin jatkuvatoimisten mittaus-

ten tuloksia (poikkeama 0–5 % vuonna 2009). Menetelmän tarkkuus vähenee tarkasteltaessa kuukausipitoisuuksia vuosipitoisuuden sijasta.

Tunnelin NO₂-kuukausipitoisuuksia seurattiin passiivikeräinmenetelmällä syys-joulukuussa 2009. Keräin 103 oli sijoitettu ajokaistojen välissä olevaan pylvääseen linja-autopysäkkien kohdalle. Keräin 104 oli ajotunnelissa olevassa liikennemerkissä. Keräinten sijaintia on havainnollistettu liitteen 1 kuvissa. Mittauspisteet edustavat ilmanlaadultaan huonointa aluetta, jolla ihmiset hetkellisesti ovat esim. ylittäessään ajoväylää suojatietä pitkin. Linja-autopysäkeillä ja muilla alueilla, joilla ihmiset oleskelevat, ilmanlaatu on parempi kuin keräinten sijoituskohdissa. Taulukossa 3 on esitetty keräinmenetelmällä saadut NO₂-kuukausipitoisuudet tunnelissa sekä Mannerheimintien, Kallion ja Hämeentien mittausasemilla.

Taulukko 3. NO₂-kuukausipitoisuus (µg/m³) keräinmenetelmällä tunnelissa sekä YTV:n mittausasemilla Mannerheimintiellä Kalliossa ja Hämeentiellä.

	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu	keskiarvo
Tunneli 103	21	41	48	50	40
Tunneli 104	22	42	50	46	40
Mannerheimintie	43	48	39	54	46
Hämeentie	44	39	39	48	43
Kallio	18	21	22	28	22

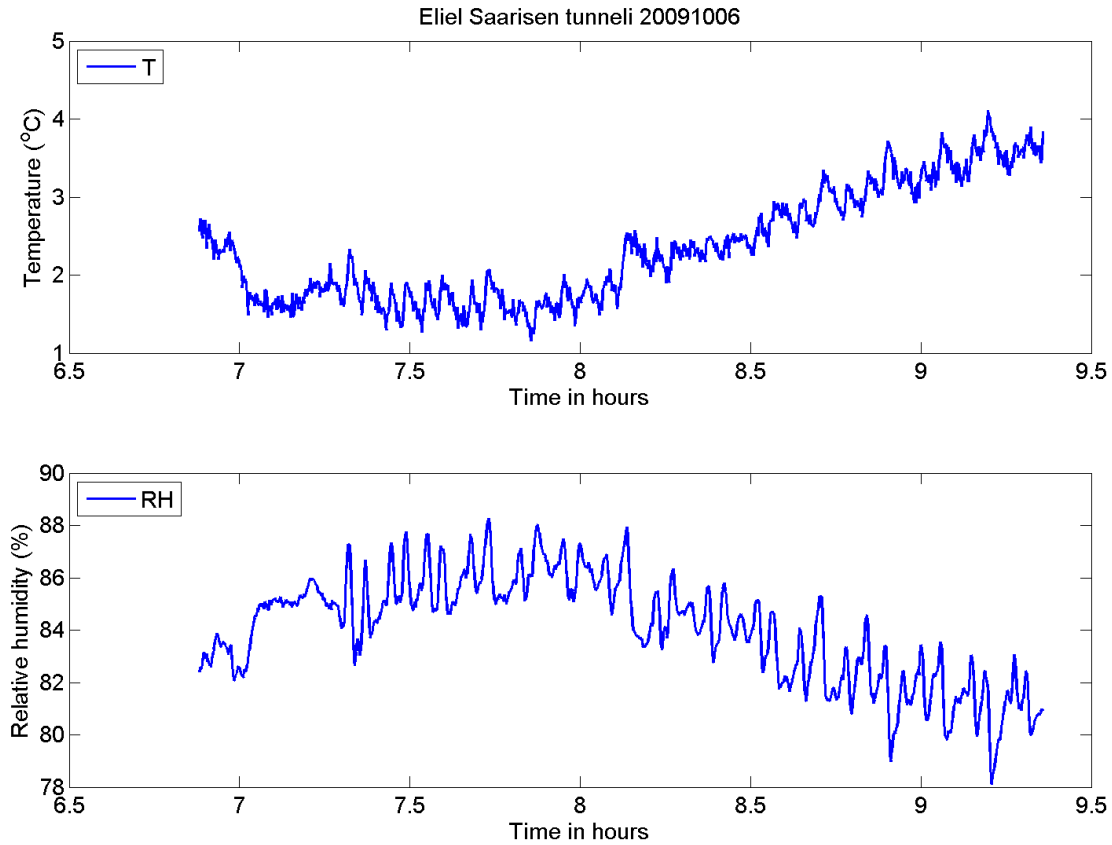
Syyskuussa tunnelin NO₂-pitoisuudet olivat selvästi vähäisempiä kuin vilkasliikenteisillä alueilla Mannerheimintiellä ja Hämeentiellä. Loka- ja joulukuussa tunnelin NO₂-pitoisuudet olivat samaa tasoa kuin vilkasliikenteisillä alueilla. Marraskuussa mitattiin pääkaupunkiseudun korkeimmat NO₂-pitoisuudet Eliel Saarisen tien tunnelista.

Tunnelin NO₂-pitoisuudet olivat syyskuussa pieniä verrattuna loka-joulukuun pitoisuuksiin. Syyskuussa vallitsevana tuulensuuntana oli länsi. Tuuli puhalsi junaraiteiden suuntaisesti tuoden ulkoilmaa avonaisia kevyenliikenteen yhteyksiä pitkin, minkä vuoksi saasteet laimenivat tehokkaasti. Loka- ja joulukuussa vallitsevana tuulen suuntana oli koillinen sekä marraskuussa lounas ja etelä, jolloin tuuli puhalsi suurimmaksi osaksi tunnelin suuntaisesti. Tuulen suunnalla on siten huomattava vaikutus tunnelissa mitattuihin pitoisuuksiin.

Tunnelissa pienikin liikennemäärä voi vaikuttaa ilmanlaatuun heikentävästi, koska päästöjen leviäminen ja laimeneminen on heikkoa. Tunnelin NO₂-kuukausipitoisuudet nousivat yllättävän korkeiksi vallitsevien tuulten ollessa tunnelin suuntaisia. Neljän kuukauden keräysajan perusteella ei voida laskea vuosipitoisuutta, mutta loka-joulukuun pitoisuudet ylittävät vuosiraja-arvotason (40 µg/m³). Syys-joulukuun kuukausipitoisuuksien keskiarvo oli 40 µg/m³. Kesä kautena liikennemäärät ovat vähäisiä ja päästöjen laimeneminen tehokasta, mikä alentaa NO₂-pitoisuuksia. Täten on epätodennäköistä, että NO₂-vuosiraja-arvo ylittyisi tunnelissa.

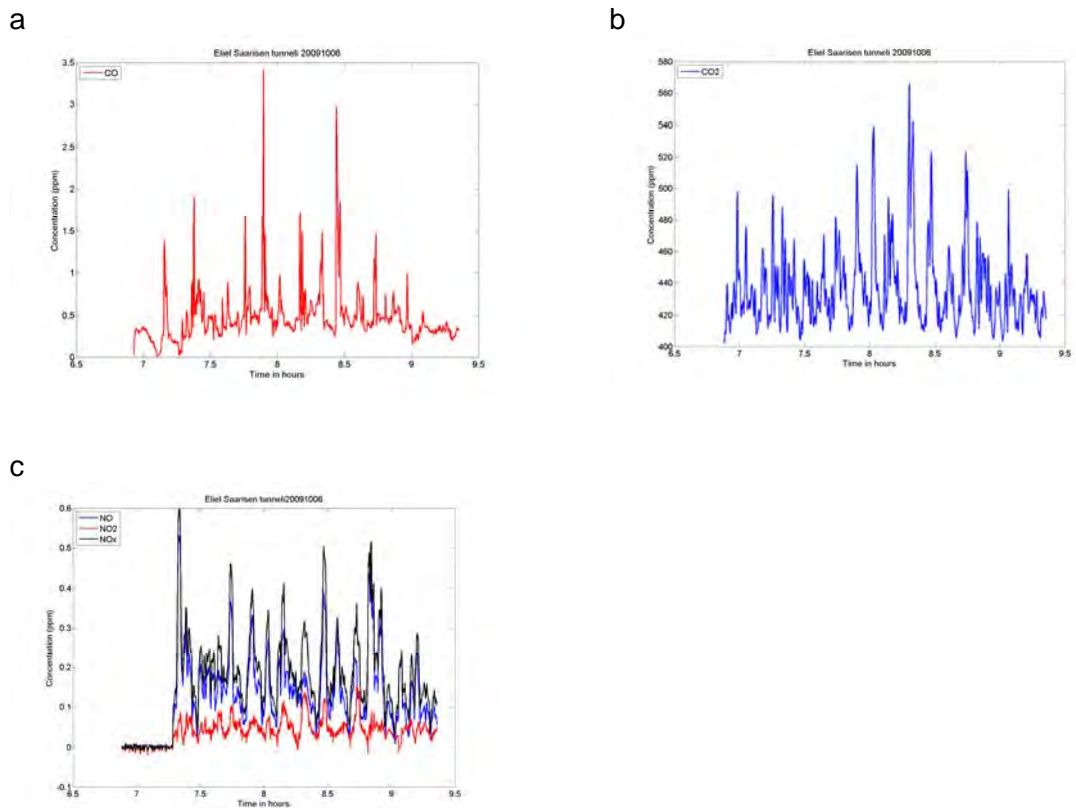
3.1.3 Nuuskijan typenoksidimittaukset

Tunnelissa keskimääräinen lämpötila mittausajankohtana 6.10.2009 klo 7–8 oli $1,6 \pm 1,3$ °C ja suhteellinen kosteus 86 ± 1 %, minkä jälkeen klo 9:30 mennessä sää lämpeni noin 2 astetta ja suhteellinen kosteus väheni n. 4 % (kuva 6). Tunnelin ulkopuolella liikennevirrassa lämpötila oli 0,1 astetta lämpimämpää ja vastaavasti suhteellinen kosteus 1 % pienempi.



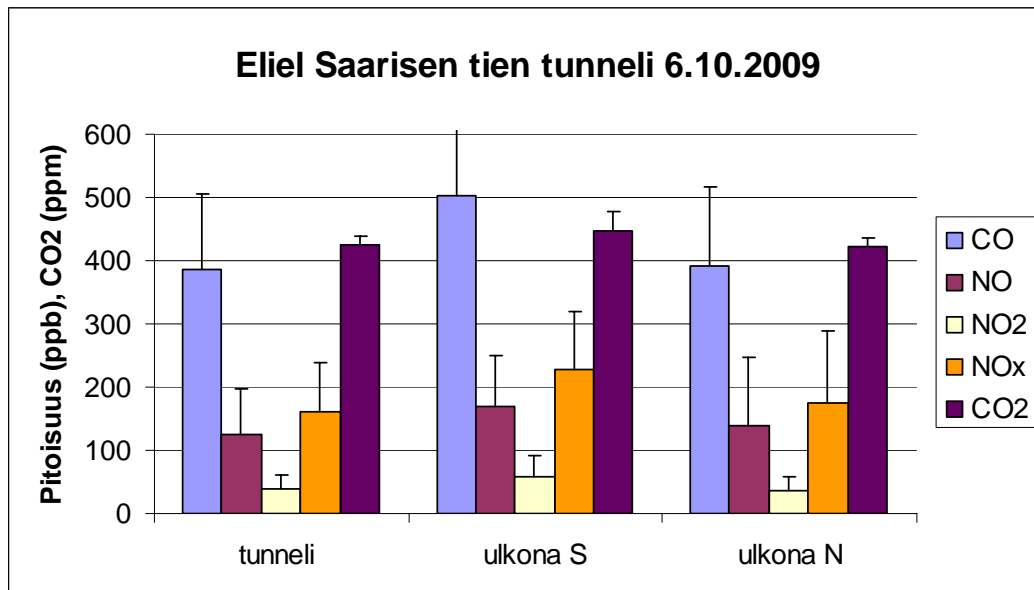
Kuva 6. Lämpötila ja kosteus ajan funktiona.

Pakokaasujen pitoisuuksissa havaitaan selvinä piikkeinä edessä olevan auton päästöt (kuva 7).



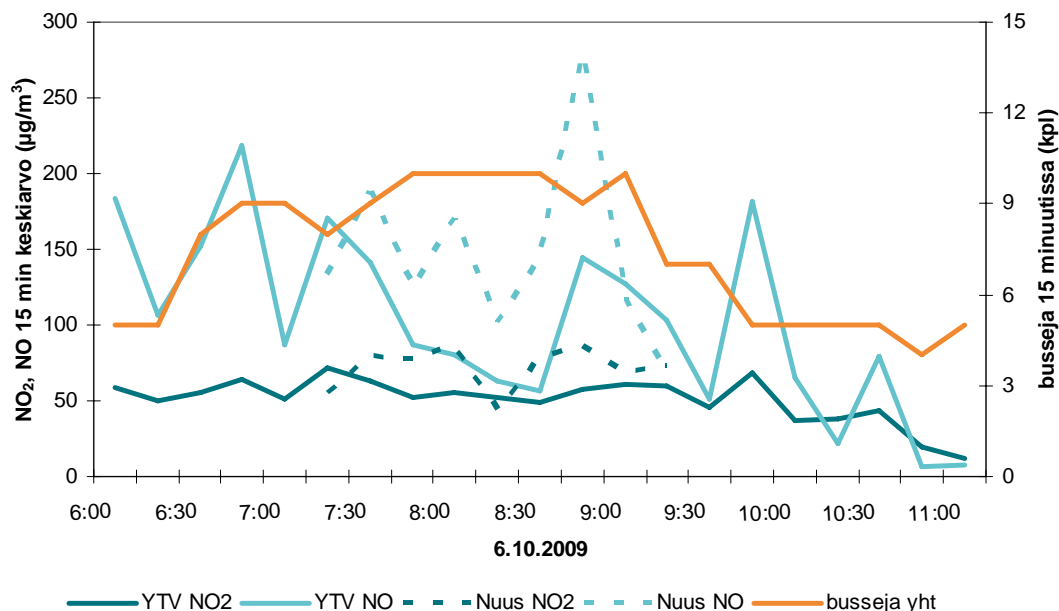
Kuva 7. Nuuskijalla mitattu a) häkäpitoisuus. b) hiilidioksidipitoisuus ja c) typenoksidien pitoisuudet aamuruuhkan aikaan 6.10.2009 Eliel Saarisen tien tunnelissa ja liikennevirrassa tunnelin ulkopuolisissa liikenneympyröissä. Huom! NO_2 :lle 1 ppm = 1 912,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja NO:lle 1 248,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. 1 ppm = 1 000 ppb.

Tunnelissa mitattuja keskimääräisiä pitoisuuksia on verrattu tunnelin ulkopuolella mitattuihin keskimääräisiin pitoisuuksiin (kuva 8). EU:n direktiivin mukaan ulkoilman NO_2 -pitoisuuden raja-arvo tuntikeskiarvona on 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (~105 ppb). Tunnelissa mitattujen NO_2 -pitoisuuksien 25 minuutin keskiarvo on ~38 ppb, joka jää selvästi tuntiraja-arvon alle. Tunnelin ulkopuolella etelään ajettaessa pitoisuudet ovat vähän suurempia johtuen siitä, että aamuruuhka on suurempi sinne päin.



Kuva 8. Keskimääräiset kaasupitoisuudet keskihajontoineen tunnelissa sekä tunnelin ulkopuolella ajettaessa etelään (S) sekä pohjoiseen (N).

Lisäksi Nuuskijan tunnelissa mittaamista NO- ja NO₂-pitoisuuksista laskettiin 15 minuutin keskiarvot, joita verrattiin YTV:n vastaaviin arvoihin ja liikennemäärään tunnelissa, kun vain bussiliikenne huomioitiin ja se laskettiin pysäkkikohtaisten aikataulujen avulla (kuva 9). Havaitaan, että ajoradalla pitoisuudet ovat vain hieman korkeammat kuin YTV:n mittausasemalla.



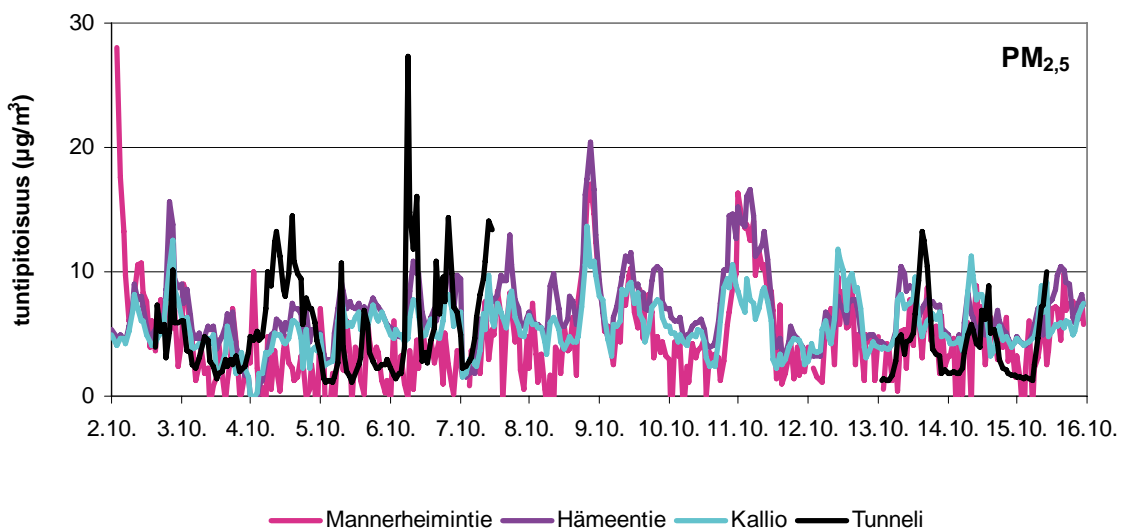
Kuva 9. Tunnelin NO_x-pitoisuuksien 15 min keskiarvot YTV:n ja Nuuskijan mittauksissa 6.10.2009 sekä linja-autoliikennemäärät 15 minuutissa.

3.2 Hiukkaspitoisuudet

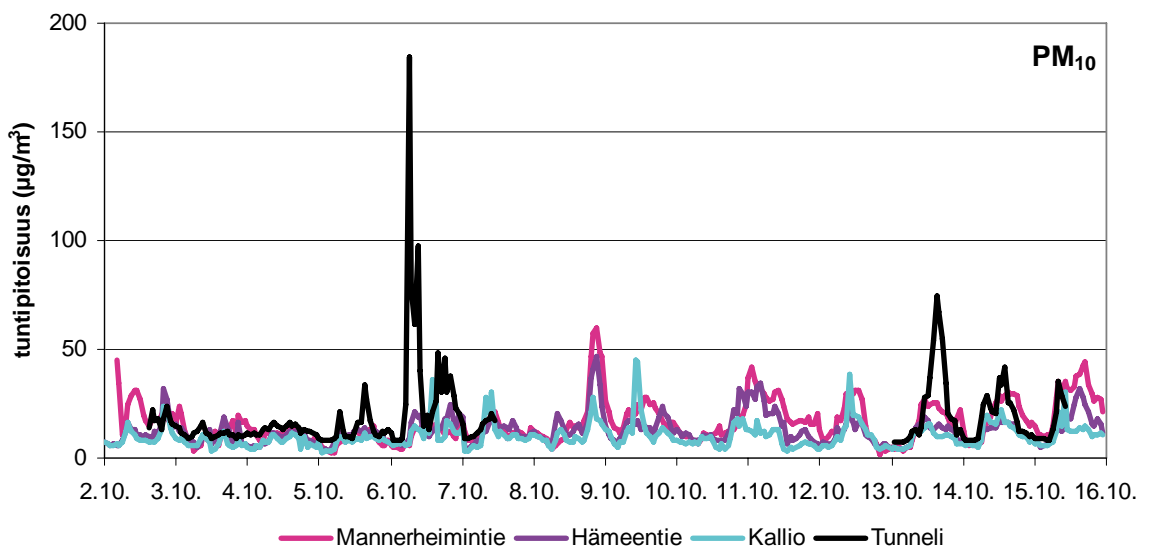
3.2.1 YTV:n jatkuvatoiminen mittaus

YTV mittasi tunnelin hiukkaspitoisuuksia kahdessa jaksossa: 2.10.–7.10. ja 13.10.–15.10. välisinä aikoina. Hiukkaspitoisuudet mitattiin jatkuvatoimisella optisella OSIRIS-mittalaitteella. Käyttökokemusta laitteesta on vähän, joten saadut tulokset ovat suuntaa antavia.

Tunnelin pienhiukkaspitoisuudet ($PM_{2.5}$) olivat lähes samaa tasoa kuin Mannerheimintiellä ja Hämeentiellä (kuva 10). Hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) pitoisuudet olivat tunnelissa korkeammat kuin vilkkaasti liikennöidyillä mittausasemilla (kuva 11). PM_{10} -tuntipitoisuudet nousivat ajoittain erittäin korkeiksi, mutta vuorokausiraja-arvotaso ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ei ylittynyt mitauspäivinä.



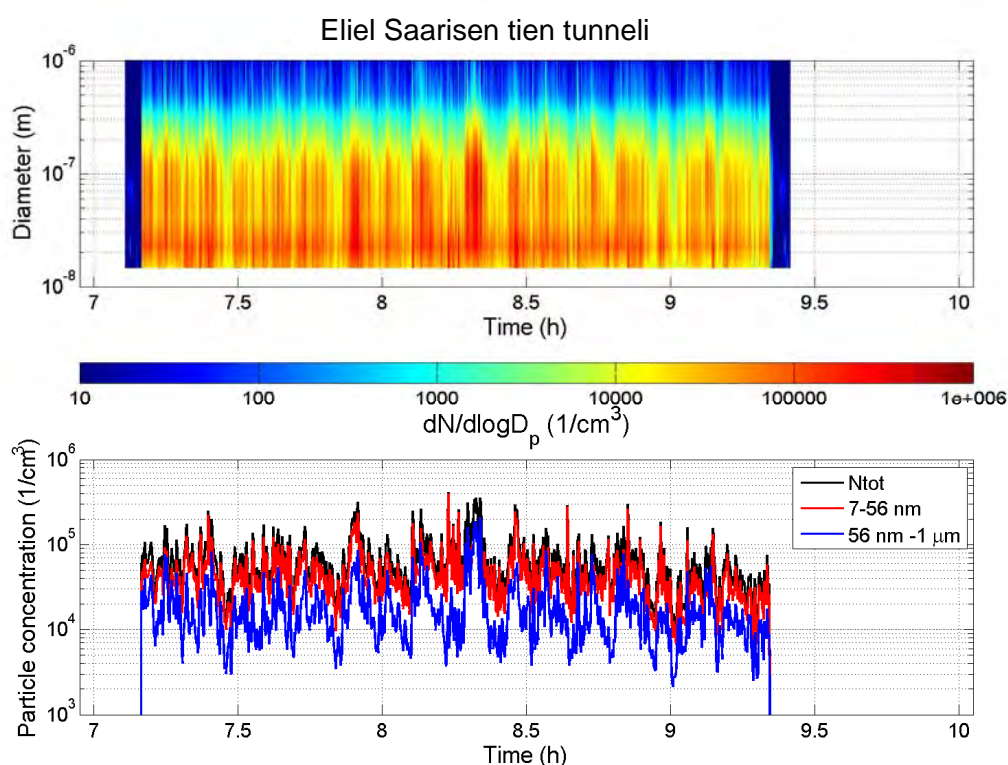
Kuva 10. Pienhiukkasten tuntipitoisuuksien vaihtelu tunnelissa sekä YTV:n mittausasemilla Mannerheimintiellä, Kalliolla ja Hämeentiellä.



Kuva 11. Hengitettävien hiukkasten tuntipitoisuuksien vaihtelu tunnelissa sekä YTV:n mittausasemilla Mannerheimintiellä, Kalliolla ja Hämeentiellä.

3.2.2 Nuuskijan hiukasmittaukset

Pakokaasuhiukkasten lukumääräpitoisuus (N_{tot}) ja kokojakauma sekä hengitettävien hiukkasten massapitoisuus (PM_{10}) ja katupölypitoisuus (PM_{10}) mitattiin Nuuskijalla aamuruuhkan aikaan 6.10.2009. Kuvan 12 yläpaneelissa on esitetty pakokaasuhiukkasten kokojakauman aikasarja ja alapaneelissa pakokaasuhiukkasten pitoisuudet ajan funktiona, kun Nuuskija ajoi tunnelin läpi ja kävi kääntymässä etelä- ja pohjoispuolella olevissa liikenneympyröissä. Edessä ajavien autojen pakokaasupiikit näkyvät selvästi ja pitoisuudet olivat suurimmillaan 400 000 hiukkasta/cm³. Keskimääräiset hiukkaspitoisuudet ovat n. 56 000 hiukkasta/cm³ tunnelissa, 48 000 tunnelin etelä- ja 77 000 hiukkasta/cm³ pohjoispuolella (kuva 13). Tyypilliset kaupunkitaustapitoisuudet ovat n. 10 000–35 000 hiukkasta/cm³.



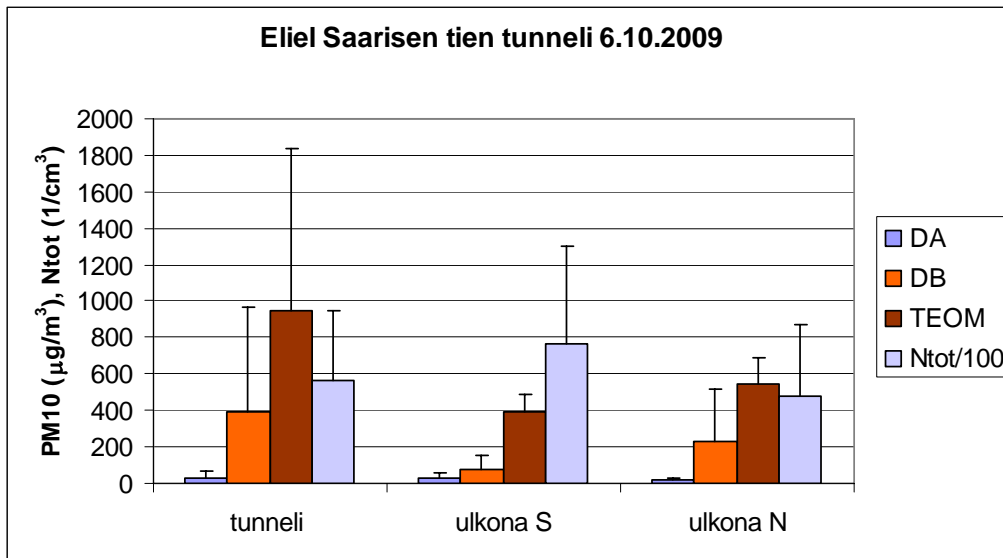
Kuva 12. Yläkuva: pakokaasuhiukkasten kokojakauma. Alakuva: pakokaasuhiukkasten kokonaispitoisuus (N_{tot}), nukleaatiomoodin hiukkasten (halkaisija 7–50 nm) ja nokimoodihiukkasten (halkaisija 50 nm–1 μ m) pitoisuudet ajan funktiona.

Pakokaasuhiukkasten kokojakaumassa nähdään tyypillinen kaksihuippisuus: nukleaatiomoodin keskihalkaisija on n. 22 nm ja nokimoodin n. 60–80 nm (kuva 14). Nukleaatiomoodin hiukkaset syntyvät, kun pakokaasu jäähtyy ja laimenee pakoputken jälkeen. Suurin kokonaispitoisuus ja kokojakauma saatiin tunnelin ulkopuolella etelään ajettaessa. Huomattavaa tällöin on nokihiukkasten suurempi osuus, mikä kertoo diesel-autojen ja erityisesti raskaiden diesel-ajoneuvojen suuremmasta määrästä.

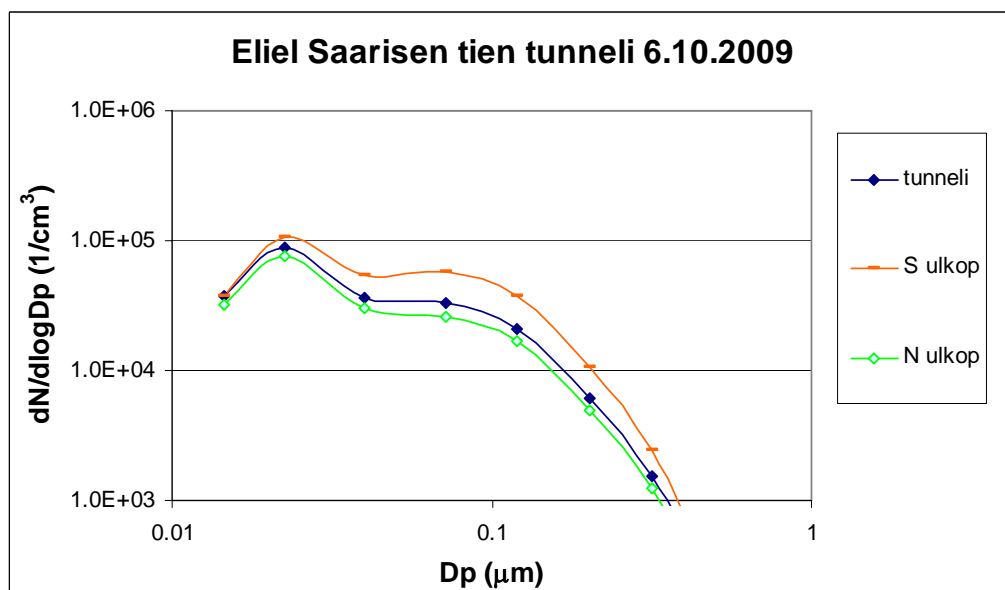
Verrattaessa keskiarvopitoisuuksia tunnelissa ja tunnelin ulkopuolella (kuva 13) havaitaan, että hengitettävien hiukkasten pitoisuus (PM_{10}) oli tunnelissa 33 μ g/m³, tunnelin eteläpuolella 32 μ g/m³ ja pohjoispuolella 16 μ g/m³. Tunnelissa mitattu arvo on sopusoinnissa YTV:n mittausten kanssa (kuva 11), joskin sama-

na aamuna vähän aikaisemmin YTV:n mittausasemalla oli havaittu erittäin korkeita pitoisuuksia.

Keskimääräinen katupölypitoisuus TEOM:lla mitattuna oli tunnelissa melkein $1\,000\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ kun se tunnelin eteläpuolella oli $390\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja pohjoispuolella $550\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. DustTrakilla (DB) mitatut katupölypitoisuudet ovat selvästi alhaisemmat. Laitteessa on tehdasasetuksena kalibrointi Arizonin hiekkapölylle, mutta katupölylle sen näyttämä pitoisuus Nuuskija-mittauksissa on noin 40 % TEOM:n pitoisuudesta. Lisätutkimuksia katupölylle sopivan kalibrointikertoimen määrittämisestä Nuuskija-autolla on meneillään. Tässä työssä tarkastellaan lähemmin vain TEOM:n pitoisuuksia. Koska TEOM on ollut koko ajan käytössä myös KA-PU-projektissa, vertailujen tekeminen on mahdollista.



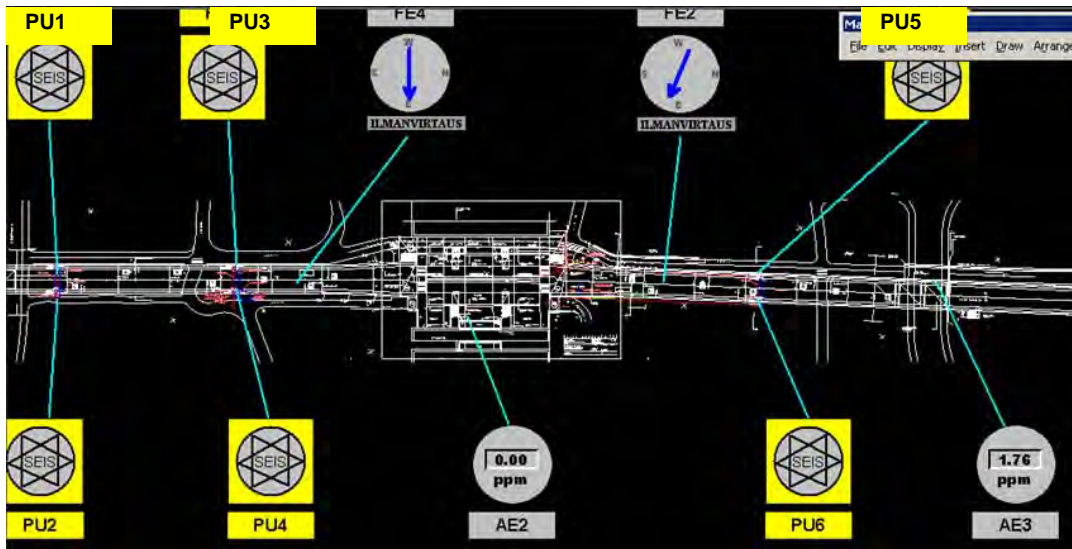
Kuva 13. Hengitettävien hiukkasten keskimääräinen pitoisuus DustTrakilla mitattuna (DA), katupölypitoisuus sekä DustTrakille (DB) että TEOM:lla mitattuna. Lisäksi keskimääräinen pakokaasuhiukkasten lukumääräpitoisuus sadalla jaettuna.



Kuva 14. Pakokaasuhiukkasten keskimääräiset kokojakaumat.

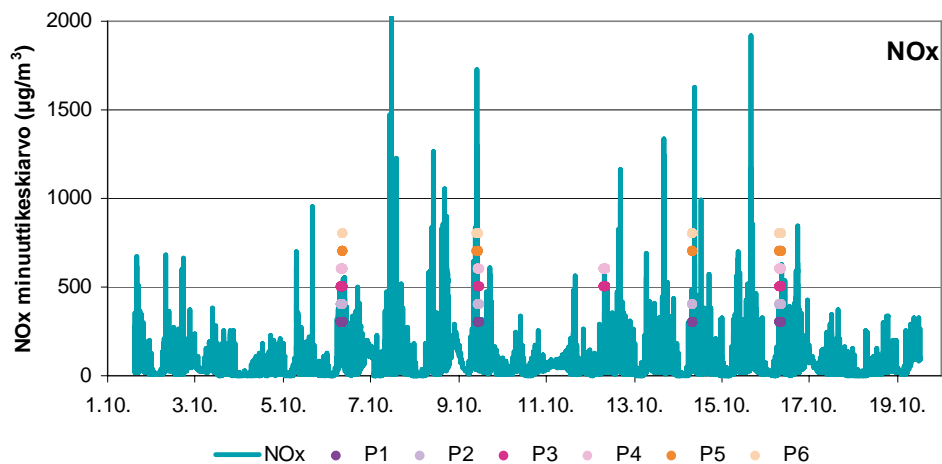
4 Puhaltimien käytön vaikutus

Elie Saarisen tien tunnelissa on kuusi puhallinta. Puhaltimet käynnistyvät NO_x -pitoisuuden kohotessa, lisäksi ne voidaan kytkeä päälle kello-ohjauksella. Mittausjakson aikana oli tarkoitus selvittää puhaltimien vaikutusta tunnelin ilmanlaatuun. Metropolia Ammattikorkeakoulu tutki tunnelin ilmanlaatua Nuuskija-autolla 6.10.2009, jolloin tunnelin kuusi puhallinta säädettiin käynnistymään 15 minuutin välein. Kuvassa 15 on esitetty puhaltimien sijainti tunnelissa.



Kuva 15. Puhaltimien sijainti tunnelissa.

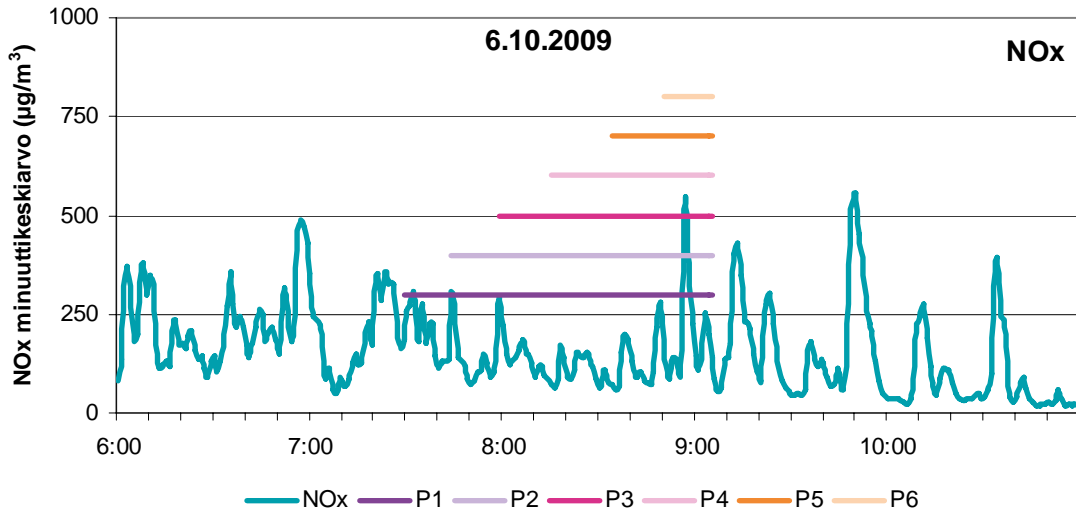
Mittausjakson aikana tunnelin puhaltimet olivat päällä 6.10. taulukon 1 mukaisesti kello 7.29–9.05 ja muina päivinä 9.10. kello 10.24–11.20, 12.10 kello 8.00–8.30, 14.10. kello 8.00–8.30 ja 16.10 kello 8.00–8.30. Kuvassa 16 on esitetty typenoksidien minuuttipitoisuudet 1.–19.10 sekä puhaltimien käyttöajat. Liitteen 2 kuvissa on esitetty NO_x - ja hiukkaspitoisuuksien minuuttivaihteluita puhaltimien käytön aikana.



Kuva 16. Typenoksidien minuuttipitoisuudet 1.10. – 19.10 sekä puhaltimien (P1 – P6) käyttöajat.

4.1 Puhaltimien vaikutus typenoksidien pitoisuuksiin 6.10.

Puhaltimien käytön vaikutus YTV:n mittaamiin NO_x-pitoisuuksiin 6.10 suoritetun testauksen aikana on esitetty kuvassa 17. Puhaltimien käytöllä ei havaita olevan selvää vaikutusta tunnelin NO_x-pitoisuuksiin.



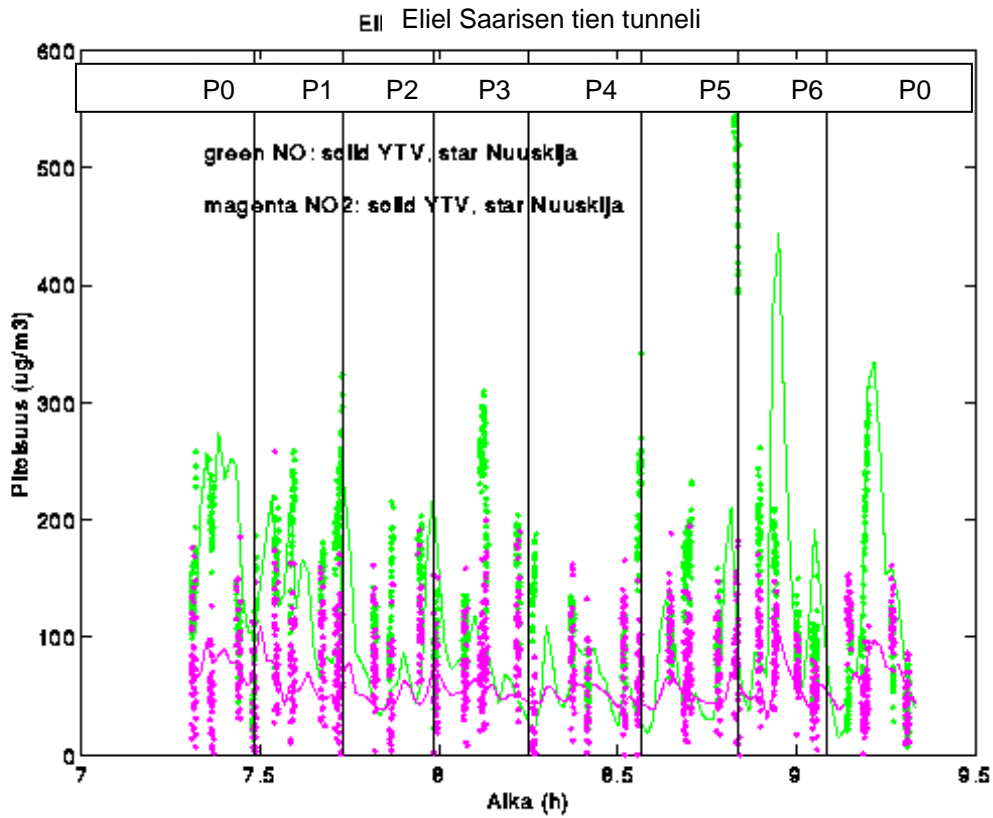
Kuva 17. NO_x-minuuttipitoisuudet 6.10 (YTV:n mittaus) sekä puhaltimien (P1 – P6) käyttöajat.

Nuuskijan mittaamia typenoksidipitoisuuksia tunnelissa eri puhallinasetuksilla on verrattu YTV:n mittauksiin (kuva 18). Yleisesti ottaen voidaan todeta yllättävän hyvä vastaavuus, kun huomioidaan, että YTV:n mittaukset ovat minuuttidataa mitattuna kauempaa ja korkeammalta kuin Nuuskijadata, joka on sekuntidataa.

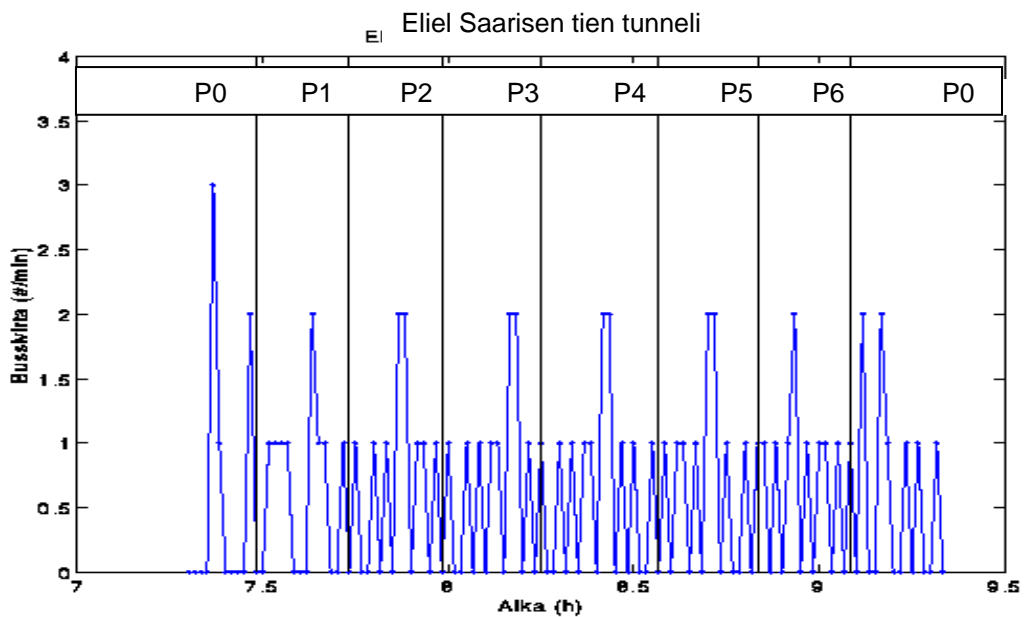
Kun puhaltimet eivät olleet päällä, 6 bussia pysähtyi pysäkillä klo 7.18–7.29 ja 8 bussia klo 9.05–9.19 jälkeen, kun taas muilla puhallinasetuksilla bussiliikenteen määrä pysyi lähes vakiona 10–11 bussia 15 minuutissa. Vaikka tunnelissa ajo on sallittu vain busseille, Nuuskijan lokikirjan mukaan siellä oli jonkin verran muuta liikennettä. Esimerkiksi klo 8.54 huomattavat typenoksidipiikit selittyvät bussien ohella tunnelin läpi ajaneilla kolmella kuorma-autolla ja kahdella pakettiautolla.

Tunnelin keskimääräisiä pitoisuuksia on myös verrattu tunnelin ulkopuolella mitattuihin keskimääräisiin pitoisuuksiin (kuva 19). Päällä olevien puhaltimien lukumäärällä ei näytä olevan systemaattista vaikutusta kaasupitoisuuksiin. Esimerkiksi NO₂-pitoisuudet ovat kuvan pylväiden järjestyksessä 29, 41, 42, 42, 28, 43, 38, 37, 58 ja 35 ppb. Kuten aikaisemmin todettiin, EU:n direktiivin mukaan ulkoilman NO₂-pitoisuuden raja-arvo tuntikeskiarvona on 200 µg/m³ (~105 ppb), joten mitatut pitoisuudet ovat varsin pieniä. Tunnelin ulkopuolella etelään ajettaessa pitoisuudet ovat suurimmillaan johtuen siitä, että aamuruuhkassa etelään menevät liikennemäärät ovat suurempia.

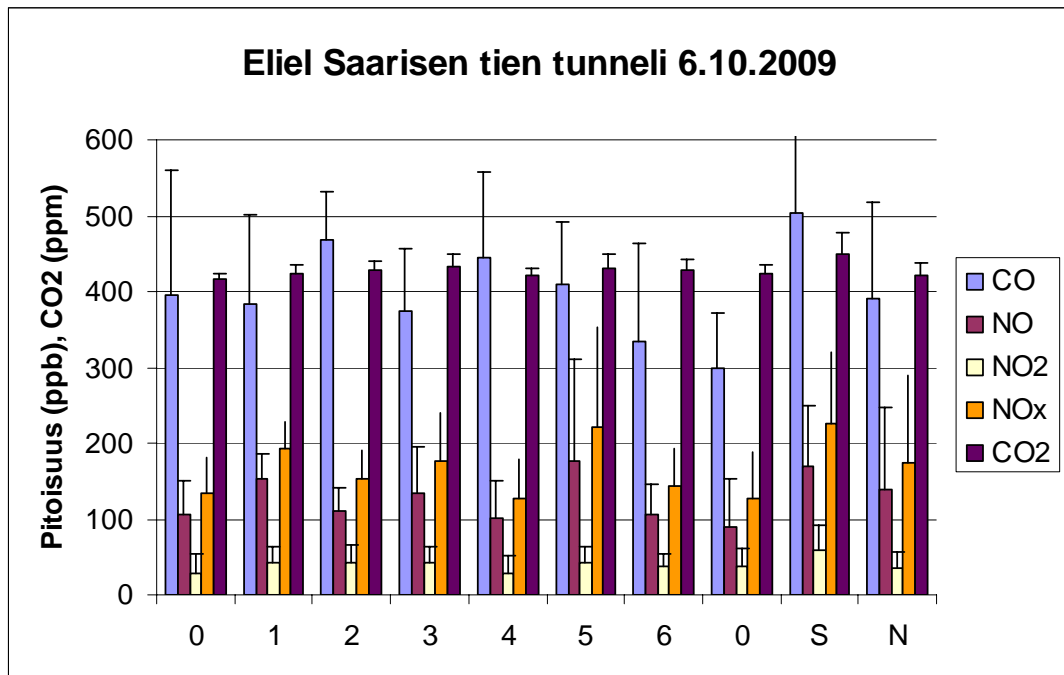
a)



b)



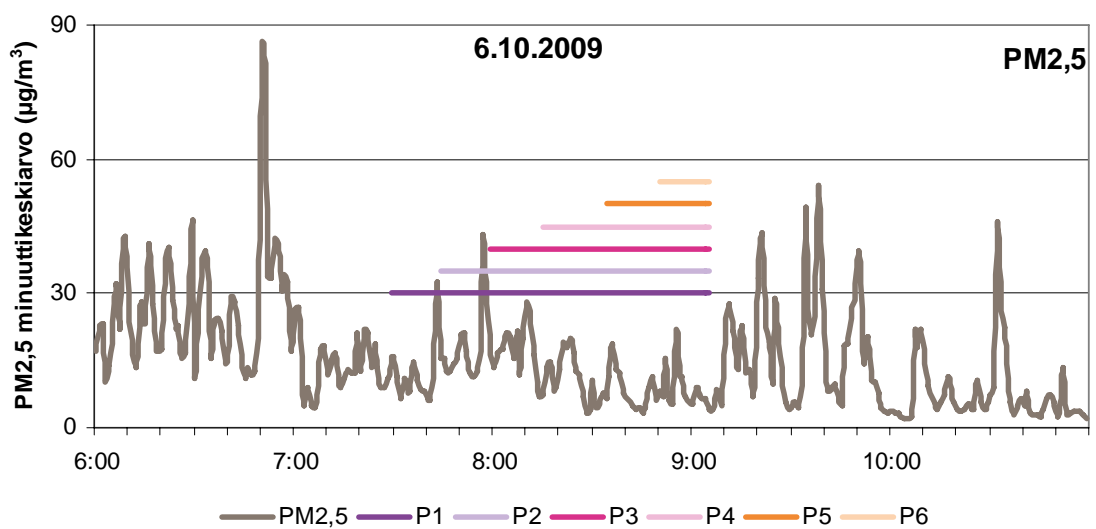
Kuva 18. Kaasupitoisuuksien vertailu YTV:n mittauksiin eri puhallinasetuksilla. (a) ty-
penoksidipitoisuudet ja (b) tunnelissa molempiin suuntiin kulkevien bussien lukumäärä
minuutin välein aikataulutietojen perusteella
(<http://aikataulut.ytv.fi/pysakit/fi/1291127.html>,
<http://aikataulut.ytv.fi/pysakit/fi/1291128.html>).



Kuva 19. Keskimääräiset kaasupitoisuudet tunnelissa eri puhallinasetuksilla. Lisäksi kuvassa näkyvät pitoisuudet ajettaessa tunnelin ulkopuolella etelään (S) tai pohjoiseen (N).

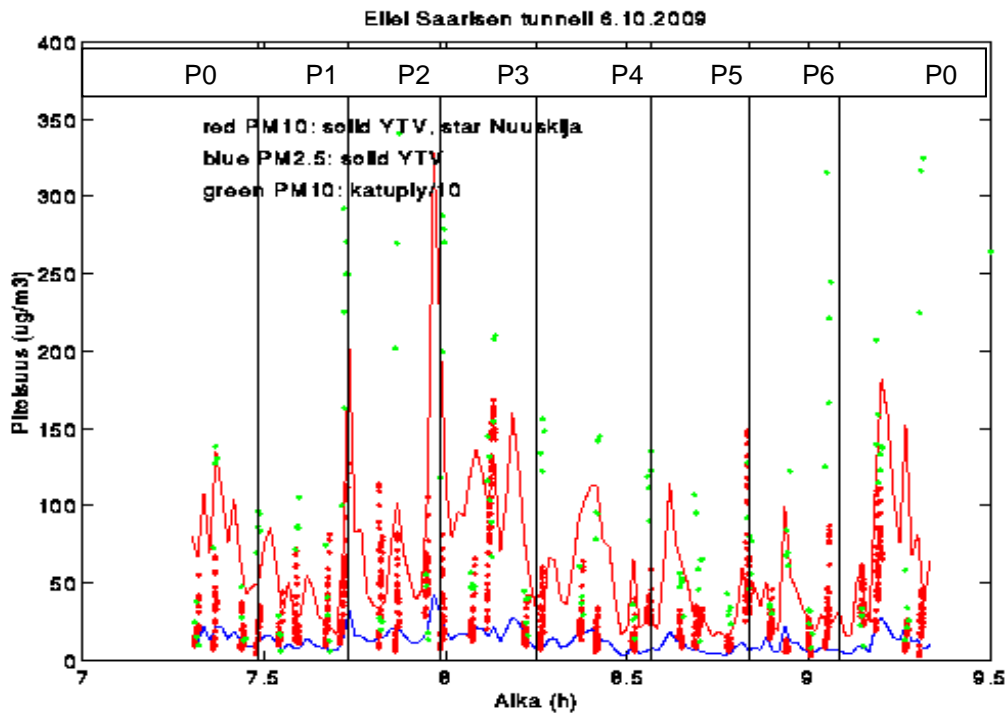
4.2. Puhaltimien käytön vaikutus hiukkaspitoisuuksiin 6.10.

Puhaltimien vaikutus tunnelin pienhiukkaspitoisuuksiin 6.10 YTV:n mittauksissa on esitetty kuvassa 20. Puhaltimien käytöllä ei havaita olevan selvää vaikutusta tunnelin pienhiukkaspitoisuuksiin.



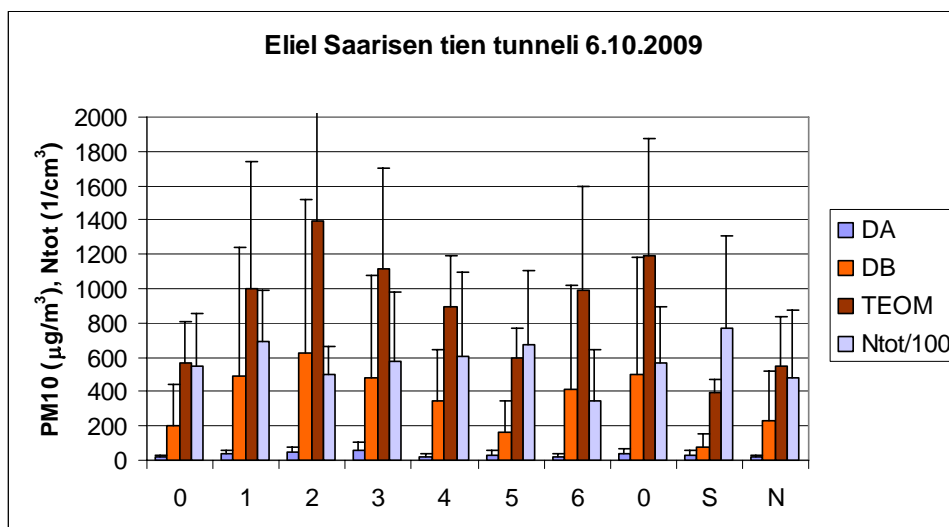
Kuva 20. Typenoksidien minuuttipitoisuudet 6.10 (YTV:n mittaus) sekä puhaltimien (P1–P6) käyttöajat.

Nuuskkijan mittaamia hengitettävien hiukkasten PM₁₀-pitoisuuksia tunnelissa eri puhallinasetuksilla on verrattu YTV:n mittauksiin (kuva 21). Samassa kuvassa on myös esitetty YTV:n mittaama PM_{2.5}-pitoisuus sekä Nuuskijan mittaama katupölypitoisuus PM₁₀.



Kuva 21. Hiukkaspitoisuuksien vertailu YTV:n mittauksiin eri puhallinasetuksilla.

Vaikka hengitettävien hiukkasten massapitoisuuden 10 sekunnin ja 1 minuutin arvot olivat tunnelissa aika ajoin hyvinkin korkeita 330–350 µg/m³ (kuva 21), kuvassa 22 esitetyt pitoisuuksien keskiarvot (DA, pylväiden järjestyksessä 20, 34, 47, 56, 23, 29, 19, 39, 32, 16 µg/m³) ovat alle 40 µg/m³ paitsi aikaväleillä, jolloin kaksi tai kolme puhallinta oli päällä (kuva 22).



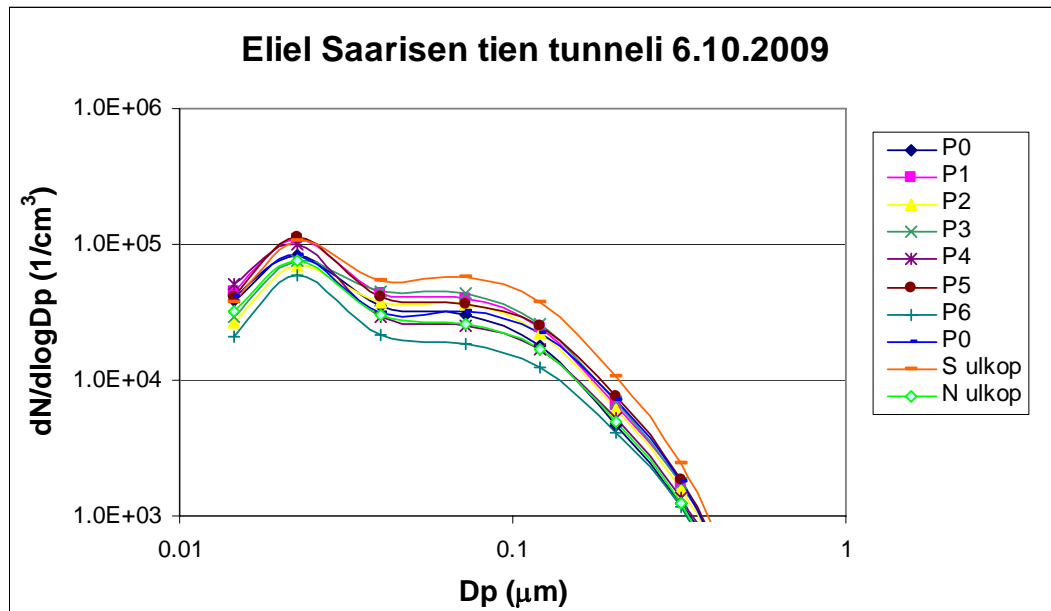
Kuva 22. Eri puhallinasetuksilla mitatut keskimääräiset pitoisuudet: hengitettävät hiukkaset (DA), katupölypitoisuus sekä DustTrakille (DB) että TEOM:illa mitattuna, ja keskimääräinen pakokaasuhiukkasten lukumääräpitoisuus sadalla jaettuna (vertaa myös kuva 13).

Puhaltimien vaikutus ei ollut systemaattinen, mutta kun 4–6 puhallinta olivat päällä, pitoisuudet olivat pienempiä kuin sen jälkeen tapahtuvan puhaltimien poissaolon aikana. Tunnelin ulkopuolella mitatut pitoisuudet ovat samaa suuruusluokkaa kuin YTV:n kiinteillä mitta-asemilla mitatut pitoisuudet.

Tunnelissa katupölyn keskimääräinen pitoisuus oli suurimmillaan $1\,400\ \mu\text{g}/\text{m}^3$, kun vain kaksi puhallinta oli päällä. Sen jälkeen pitoisuus väheni aina $600\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ asti, kun puhaltimia lisättiin yksi kerrallaan niin, että viisi puhallinta oli yhtä aikaa päällä. Kuuden puhaltimen ollessa toiminnassa pitoisuus kasvoi yllättäen epäloogisesti tasolle $1\,000\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. On huomattava, että keskihajonta on kohtuullisen suuri kaikissa tapauksissa.

Toinen havainto kuvan 22 perusteella on, että tunnelissa on selvästi likaisempaa kuin kaduilla, missä keskimääräinen pitoisuus oli $400\text{--}550\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. KAPU-mittausten mukaan viimeksi mainittu pitoisuus vastaa kesäpuhdasta katua, kun taas tunnelissa mitattu $1\,400\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ vastaa kaduilla mitattua pitoisuutta toukokuun alussa, jolloin kevätpölyn puhdistus on jo tehty, mutta katujen itsepuhdistuvuus sateen ja ajovirran vaikutuksesta ei ole vielä vaikuttanut. Korkeimmillaan esimerkiksi Helsinki-reitin katukohtaiset keskipitoisuudet ovat yleensä maaliskuuhun vaihteessa n. $4\,000\text{--}6\,000\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Kupiainen, K., Pirjola, L., Viinanen, J., Stojiljkovic, A., Malinen, A. KAPU 2 loppuraportti, 2010). Tulokset antavat viitteitä siitä, että tunnelissa kadunpinnan tehokas puhdistaminen useammin parantaisi tunnelin ilmanlaatua.

Kuvaan 23 on piirretty keskimääräiset pakokaasuhiukkasten kokojakaumat eri puhallinasetuksilla. Kun kaikki puhaltimet olivat käytössä, kokojakauma ja siis myös kokonaispitoisuus olivat pienimmillään (vrt. kuva 22). Suurin kokonaispitoisuus ja kokojakauma saatiin tunnelin ulkopuolella etelään ajettaessa.



Kuva 23. Keskimääräiset pakokaasuhiukkasten kokojakaumat tunnelissa eri puhallinasetuksilla (0–6) ja tunnelin ulkopuolella etelä- ja pohjoissuuntaan ajettaessa (S ja N).

5 Johtopäätökset

- Eliel Saarisen tien tunnelissa HSY:n mittauskampanjan aikana (1.–19.10.2009) typpidioksidipitoisuuden keskiarvoksi saatiin $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja typpimonoksidipitoisuudelle vastaavasti $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Korkeimmat mitatut tuntipitoisuudet olivat $95 \mu\text{g}/\text{m}^3$ NO_2 :lle ja $329 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Korkeimmat mitatut typpidioksidin tuntipitoisuudet olivat selvästi ohjearvotason ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ja raja-arvotason ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$) alapuolella. Typpidioksidin tuntiraja-arvon ylittyminen on hyvin epätodennäköistä nykyisillä liikennemäärillä.
- Nuuskijan mittauskampanjan aikana 6.10.2009 klo 7.20–9.20 typpidioksidipitoisuuden keskiarvoksi tunnelissa saatiin 38 ppb ($\sim 73 \mu\text{g}/\text{m}^3$), kun samaan aikaan tunnelin ulkopuolella mitatut keskiarvopitoisuudet olivat 58 ppb ($\sim 110 \mu\text{g}/\text{m}^3$) etelään ja 35 ppb ($\sim 67 \mu\text{g}/\text{m}^3$) pohjoiseen ajettaessa. Typpimonoksidille vastaavat arvot olivat 124 ppb ($\sim 155 \mu\text{g}/\text{m}^3$) tunnelissa, ja tunnelin ulkopuolella etelään ajettaessa $210 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja pohjoiseen ajettaessa $175 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Puhaltimien käytöllä ei havaittu olevan selvää vaikutusta typenoksidien pitoisuuksiin HSY:n eikä Metropolian mittauksissa.
- Typpidioksidin kuukausikeskiarvoja määritettiin ajoratojen välittömässä tuntumassa paikoissa, joissa pitoisuudet todennäköisesti ovat tunnelin korkeimmat. Näissä pisteissä pitoisuudet olivat pienistä liikennemääristä huolimatta korkeita eli samaa tasoa kuin Helsingin vilkkaimmin liikennöidyillä katualueilla ja katukuiluissa.
- Eliel Saarisen tien tunnelissa pienhiukkaspitoisuudet ($\text{PM}_{2.5}$) olivat samaa tasoa ja hengitettävien hiukkasten pitoisuudet (PM_{10}) korkeammat kuin vastaavana aikana vilkasliikenteisissä ympäristöissä sijaitsevilla mittausasemilla.
- Liikennevirrassa tunnelissa pakokaasuhiukkasten lukumääräpitoisuudet olivat hetkellisesti korkeita, jopa $400\,000$ hiukkasta/ cm^3 . Keskimääräinen kokojakauma tunnelissa oli pienempi kuin tunnelin ulkopuolella etelään ajettaessa mutta suurempi kuin pohjoiseen ajettaessa. Kokojakauma oli pienimmillään, kun kaikki puhaltimet olivat päällä.
- Katupölypitoisuus oli tunnelissa suurempi kuin ympäröivillä kaduilla. Pitoisuus vastasi KAPU-mittausten toukokuun alun tilannetta, siis ei vielä kesäpuhdasta katua. Tulokset antavat viitteitä siitä, että tunnelissa kadunpinnan tehokas puhdistaminen parantaisi tunnelin ilmanlaatua. Puhaltimien vaikutus ei ollut selvästi todettavissa.

OSA II: ILMANLAATU MUISSA TUNNELEISSA

1 Hakamäentien tunneli (29.10.2009 klo 7.42–9.36)

Hakamäentien tunneli avattiin liikenteelle 2.6.2009. Tunneli on 320 m pitkä ja se yhdistää Hakamäentien ja Vihdintien. Siellä on kaksi kaistaa molempiin suuntiin. Mittausjakson aikana 29.10.2009 Nuuskijalla ajettiin Hakamäentien tunneli läpi 17 kertaa kumpaankin suuntaan, siis yhteensä 34 kertaa. Yksi ajo kesti keskimäärin 25–30 sekuntia, yhteensä tunnelidataa on 14–15 minuuttia (864 sekuntiarvoa).

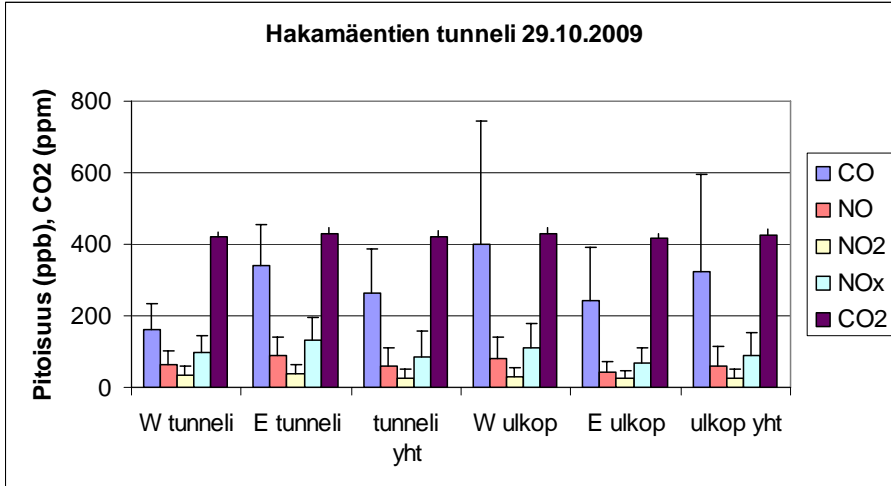
Tunnelin lämpötila pysyi lähes vakiona $1,1 \pm 0,3$ °C ja suhteellinen kosteus oli $71,3 \pm 0,5$ %. Ulkolämpötila oli samaan aikaan hivenen korkeampi $1,4 \pm 0,3$ °C ja suhteellinen kosteus ulkona vastaavasti vähän alhaisempi $69,7 \pm 0,8$ %.

Liikenne tunnelissa oli varsin vähäistä, lähinnä henkilöautoliikennettä, mikä näkyi alhaisempana typpimonoksidipitoisuutena (kuva 24a) sekä pienempänä noki-moodina (kuva 24c) kuin Eliel Saarisen tien tunnelissa mitatut olivat. Nokimoodin hiukkasten koko on selvästi pienempi kuin Eliel Saarisen tien tunnelissa, mikä myös osoittaa, että raskaiden diesel-ajoneuvojen osuus oli pienempi. Kaasupitoisuudet olivat tunnelissa hiukan suuremmat itään päin ajettaessa, kun taas tunnelin ulkopuolella suuremmat pitoisuudet olivat länteen päin. Siihen saattaa vaikuttaa esimerkiksi Hämeenlinnantieltä länteen päin kääntyvät ajoneuvot. Suuria eroja ei tunnelissa ja ulkopuolella mitatuissa kaasupitoisuuksissa havaita. Pitoisuudet olivat joka tapauksessa varsin pieniä.

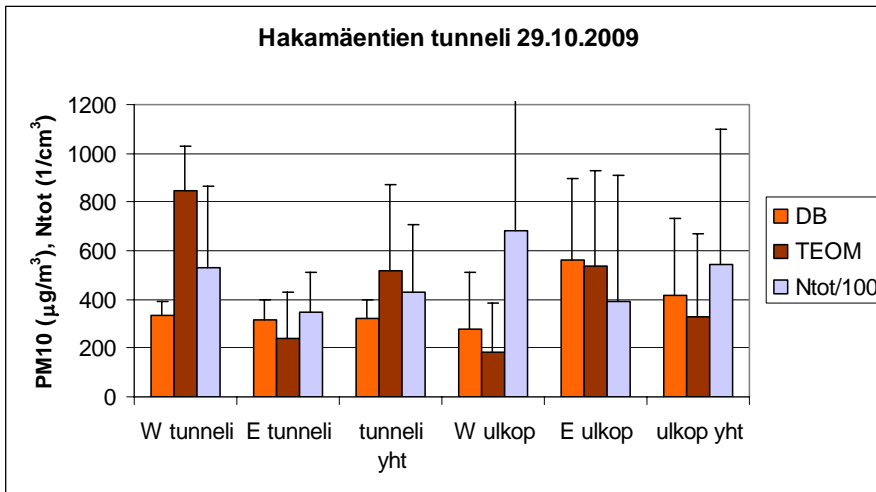
Pakokaasuhiukkasten kokonaispitoisuus oli suurempi länteen päin ajettaessa sekä tunnelissa että ulkopuolella (kuva 24b), mutta tunnelissa vähän pienempi kuin ulkona johtuen vähäisemmästä liikennemäärästä. Liikennetiheyttä ei ole mitattu, mutta mittajaajan havaintojen mukaan tunnelissa itään päin oli liikkeellä varsin vähän autoja. Hiukkaspitoisuudet $35\ 000$ – $40\ 000$ cm^{-3} ovat lähellä normaalia liikenneväylien taustapitoisuutta, mutta suurempia kuin kaupunkitausta. Tunnelissa on 12 puhallinta savunpoistoa varten.

Hengitettävien hiukkasten pitoisuus voitiin mitata vasta varsinaisten mittausten lopuksi, koska toinen DustTrak oli huollossa. Aikavälillä 9.17–9.36 tunnelissa mitattu PM_{10} -pitoisuus oli 18 ± 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja tunnelin ulkopuolella 13 ± 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ilmanlaadun voidaan siis todeta olleen varsin hyvä tunnelissa aamuruuhkan aikaan. Katupölypitoisuus oli itään päin ajettaessa tunnelissa (240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ja tunnelin ulkopuolella (535 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), ja länteen menevällä kaistalla 850 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ tunnelissa ja 516 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ulkopuolella. Voidaan todeta, että Hakamäentien tunneli oli varsin puhdas.

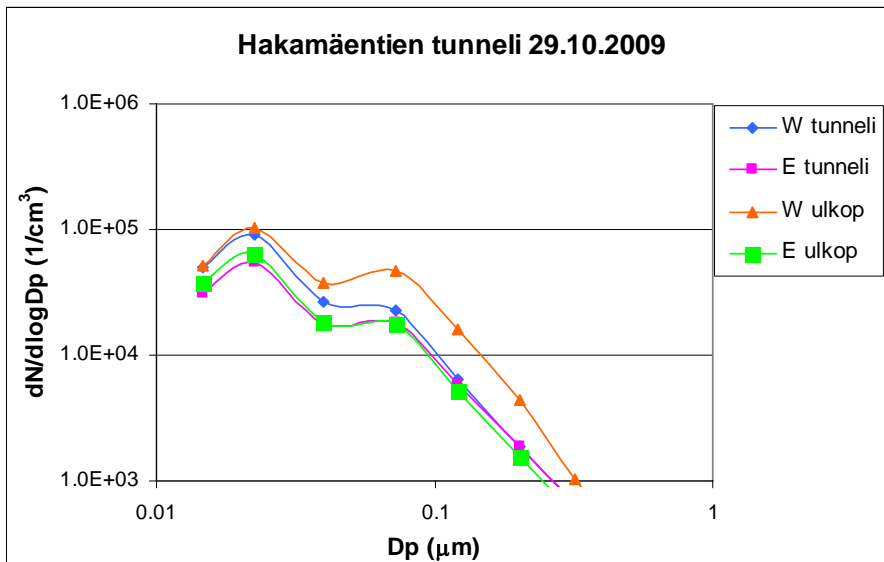
a)



b)



c)



Kuva 24. Keskimääräiset (a) kaasupitoisuudet, (b) katupölyn PM₁₀-pitoisuus TEOM:illa ja DustTrak B:llä (DB) sekä pakokaasujen lukumääräpitoisuus sadalla jaettuna, ja (c) pakokaasuhiukkasten kokojakaumat sekä tunnelissa että tunnelin ulkopuolella itä- ja länsisuuntaan ajettaessa.

2 Uudenmaankadun tunneli (15.10.2009 klo 7.20–8.45)

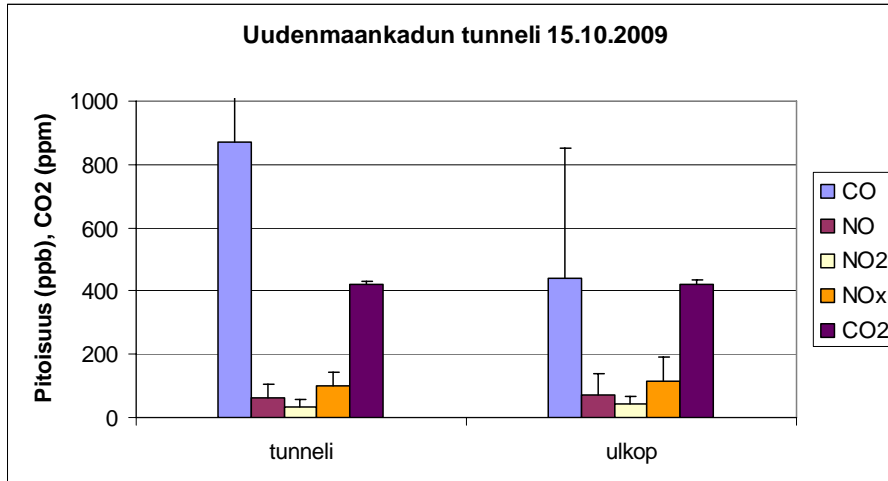
Uudenmaankadun tunneli ajettiin etelästä pohjoisuuntaan 14 kertaa, tunnelista ulos tultua käännyttiin Fredrikinkadulle, Bulevardille ja Rantatien kautta takaisin tunneliin. Koska tunnelin läpiajo kesti noin 26 sekuntia, dataa on 368 sekuntiarvoa.

Mittausjakson aikana 15.10.2009 sekä tunnelissa että ulkopuolella lämpötila pysyi lähes vakiona 0 asteessa ja suhteellinen kosteus 72 prosentissa. Liikenne oli mittausaikana yllättävän vähäistä, mikä näkyy alhaisena typenoksidien pitoisuuksina (alle 100 ppb).

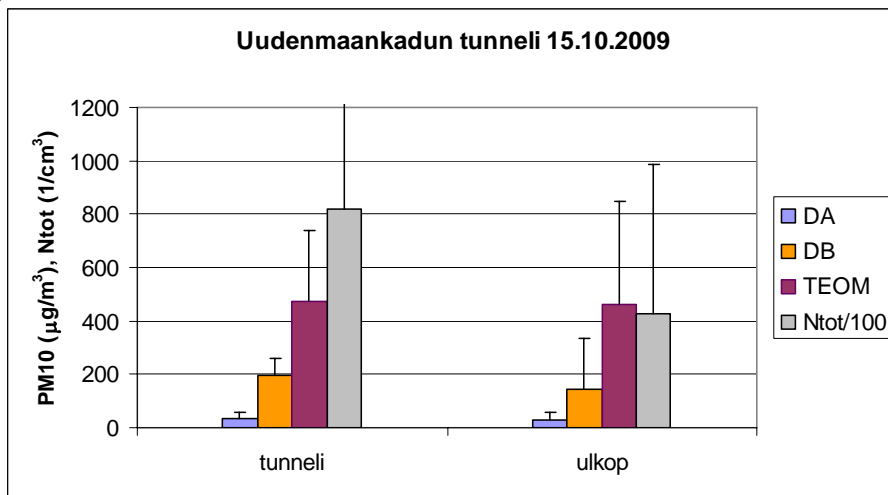
Toisaalta häkäpitoisuus on korkeampi tunnelissa kuin ulkopuolella (kuva 25). Yksittäisten hetkellisten häkäpiikkien aiheuttajia ovat vanhemmat bensiinijoneuvot. Tunnelissa ei myöskään ollut puhaltimia, joten laimeneminen saattoi olla heikompaa. Liikennelaskentaa ei ajon aikana suoritettu. Helsingin kaupungin kolme vuotta vanhan liikennelaskennan (23.8.2006) mukaan 707 ajoneuvoa ajoi tunnelin läpi aamuruuhkan aikaan klo 7.45–8.45. Näistä henkilöautoja oli noin 90 %, pakettiautoja 7,5 %, kuorma-autoja 2,2 % ja rekkoja 0 %. Liikennemäärien on arvioitu pienentyneen vuodesta 2006 ainakin 5 prosenttia.

Pakokaasuhiukkasten kokonaispitoisuus tunnelissa oli kaksinkertainen verrattuna Hakamäentien tunneliin. Lisäksi kokojakauman perusteella nokihiukkasten ja nukleatiohiukkasten määrät olivat suurempia kuin Hakamäentien tunnelissa. Verrattaessa pakokaasuhiukkasten pitoisuuksia ja kokojakaumia Uudenmaankadun tunnelissa ja tunnelin ulkopuolella, ero on kaksinkertainen. Mikäli tämä johtuu vähäisestä tuulettumisesta, voi arvailla, että kovassa liikenneruuhkassa pitoisuudet saattavat kasvaa korkeiksi. Katupölypitoisuus on tunnelissa $475 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja ulkopuolella lähes sama $464 \mu\text{g}/\text{m}^3$, joten kadut sekä tunnelissa että ulkopuolella ovat erittäin puhtaat. Ilmanlaatu tunnelissa oli mittausajankohtana erittäin hyvä.

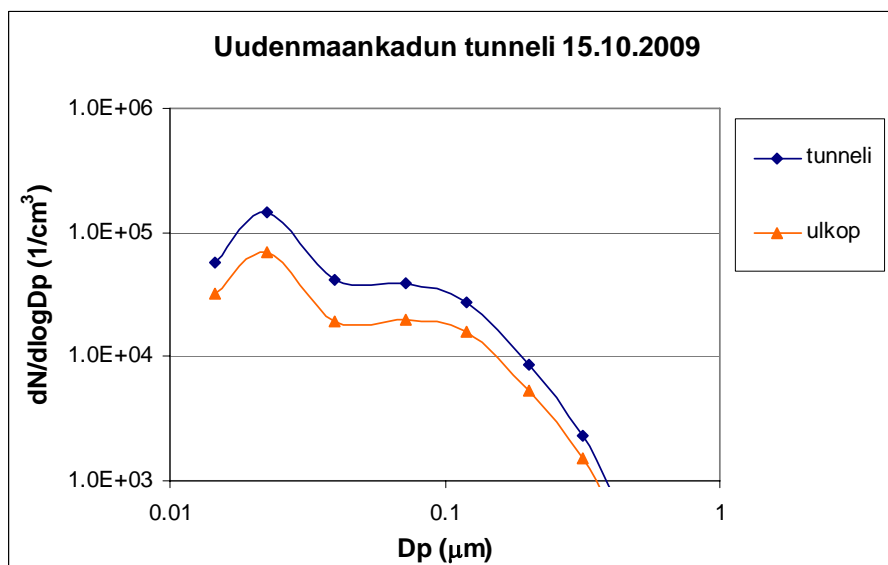
a)



b)



c)



Kuva 25. Keskimääräiset (a) kaasupitoisuudet, (b) hengitettävien hiukkasten pitoisuus mitattuna DustTrak A:lla (DA), katupölyn PM₁₀-pitoisuus TEOMilla ja DustTrak B:llä (DB) sekä pakokaasujen lukumääräpitoisuus sadalla jaettuna, ja (c) pakokaasuhiukkasten kokojakaumat sekä tunnelissa että tunnelin ulkopuolella.

3 Vuosaaren tunneli (30.10.2009 klo 7.36–9.30)

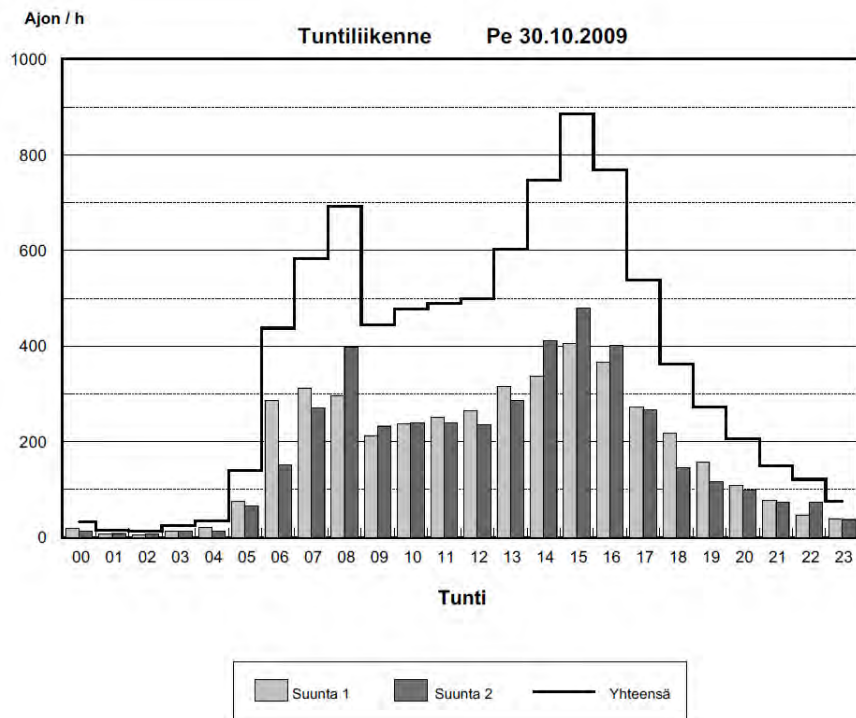
Vuosaaren tietunneli otettiin käyttöön 9.10.2007. Tunnelin pituus on 1 520 metriä ja ajokaistoja on neljä. Tunneli johtaa Vuosaaren sataman liikennevirrat Kehä III:n alkuun. Sataman liikennemääräksi on arvioitu 10 000 ajoneuvoa vuorokaudessa.

Mittausajanjaksona Vuosaaren tunneli ajettiin 16 kertaa kumpaankin suuntaan. Koska tunnelin läpiajo kesti n. 80 sekuntia, tunnelidataa kertyi melkein 43 minuuttia, tarkemmin yhteensä 2 564 sekuntiarvoa.

Ulkolämpötila ja suhteellinen kosteus pysyivät mittauksen aikana suhteellisen vakioina. Lämpötilan keskiarvo ulkona oli $-1,8 \pm 0,8$ °C, suhteellinen kosteus $70,0 \pm 2,9$ % ja vastaavasti tunnelissa $-2,0 \pm 0,9$ °C ja $74,3 \pm 3,0$ %.

Liikenne oli vilkkaampaa kuin muissa mitatuissa tunneleissa. Nuuskijan mittausajanjakson mukaisen liikennelaskennan mukaan tunnelissa ajoi mittausajanjaksona (43 minuuttia) 93 ajoneuvoa, joista 59 % oli henkilöautoja ja 41 % rekkvoja. Suurempi liikenne sekä tunnelissa että tunnelin ulkopuolella oli satama-alueelta pois päin pohjoiseen (luoteeseen) autojen purkautuessa autolautan saavuttua satamaan.

Tunnelissa oli 40 puhallinta/putki (Matti A. Hämäläinen, Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus ELY). Kuvassa 26 on esitetty ELY:n liikennelaskennan mukaiset automäärät mittauspäivänä satamaan (suunta 1) ja satamasta pois päin (suunta 2). Klo 7–8 ajaneesta 583 autosta raskasta liikennettä edusti 136 autoa (23 %) ja klo 8–9 vastaavasti 693 autosta 250 (36 %) oli raskaita ajoneuvoja. Lukemat ovat huomattavasti suuremmat kuin silmämääräisesti Nuuskijalla ajaneiden mittaamat.



Kuva 26. ELY:n liikennelaskennan mukaiset ajoneuvomäärät Vuosaaren tunnelissa 30.10.2009. Suunta 1 on satamaan ja Suunta 2 satamasta pois päin.

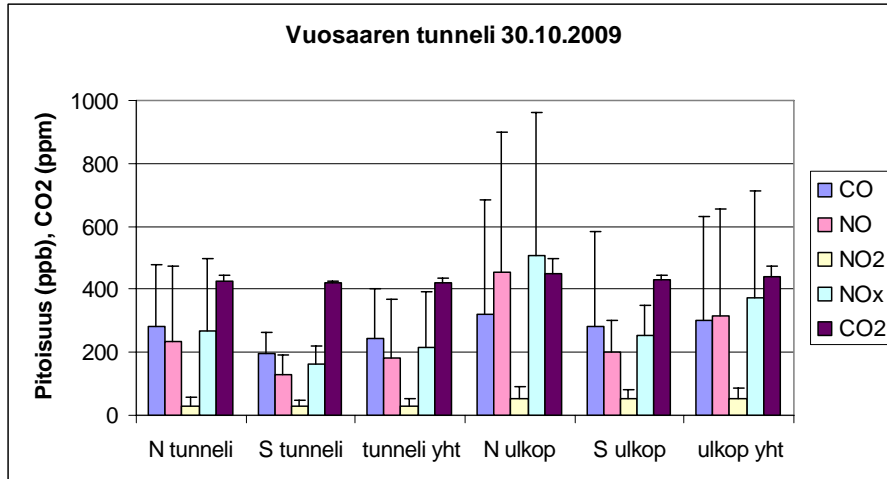
Kaasupitoisuudet olivat korkeimmillaan tunnelin ulkopuolella pohjoisen suuntaan (Kuva 27a). Kun verrataan NO:n sekuntiarvoja tunnelissa edellä ajaneiden ja ohittavien autojen lukumääriin, todetaan selkeä korrelaatio erityisesti raskaan liikenteen kanssa (kuva 28). Toisaalta NO₂:lle ei vastaavaa korrelaatiota voida päätellä (kuva 29).

Pakokaasuhiukkasten keskimääräinen lukumääräpitoisuus oli 5-kertainen verrattuna muihin mitattuihin tunneleihin. Keskimääräinen pitoisuus tunnelissa pohjoissuuntaan oli 400 000 cm⁻³, mikä on tyypillistä raskaille dieselajoneuvoille. Hetkelliset arvot olivat jopa 3x10⁶ hiukkasta/cm³.

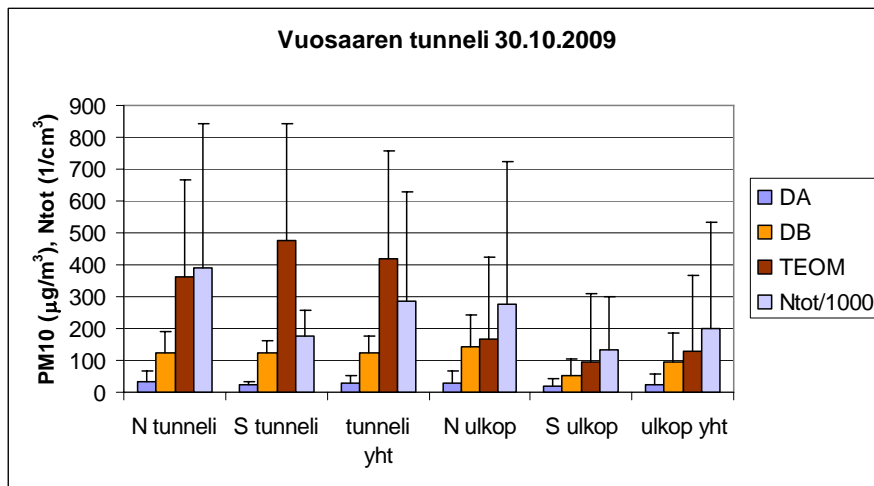
Pitoisuudet tunnelissa olivat melkein 1,5-kertaisia verrattuna tunnelin ulkopuolisiin pitoisuuksiin. Sama trendi näkyy myös kokojakaumassa, sekä nukleaatiomoodissa että nokimoodissa (kuva 27c). Moodien keskihalkaisijat ovat 22 nm ja 72 nm.

Myös tässä tunnelissa katupölypitoisuus oli puhdasta kesätasoa: sekä tunnelissa että ulkopuolella alle 400 µg/m³ (kuva 27b). Hengitettävien hiukkasten pitoisuus oli 32 µg/m³, joten voidaan todeta, että tunnelin ilmanlaatu oli hyvä.

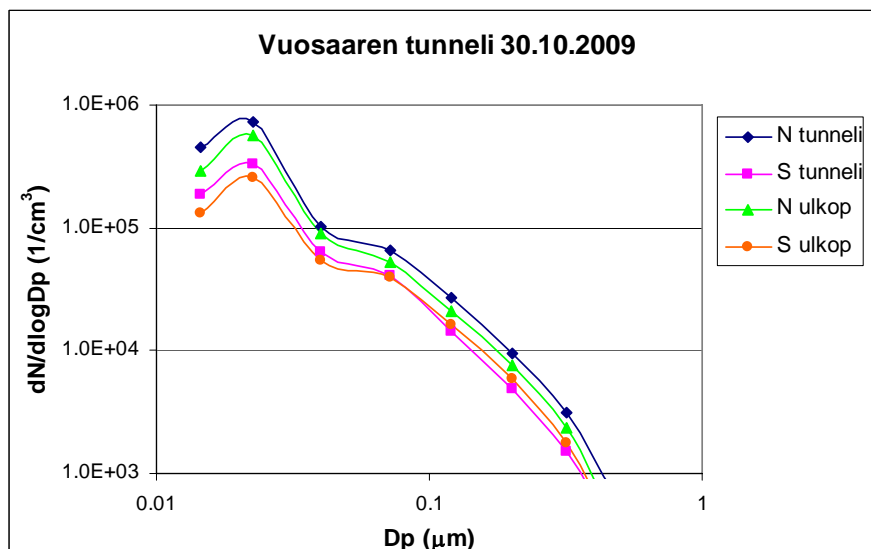
a)



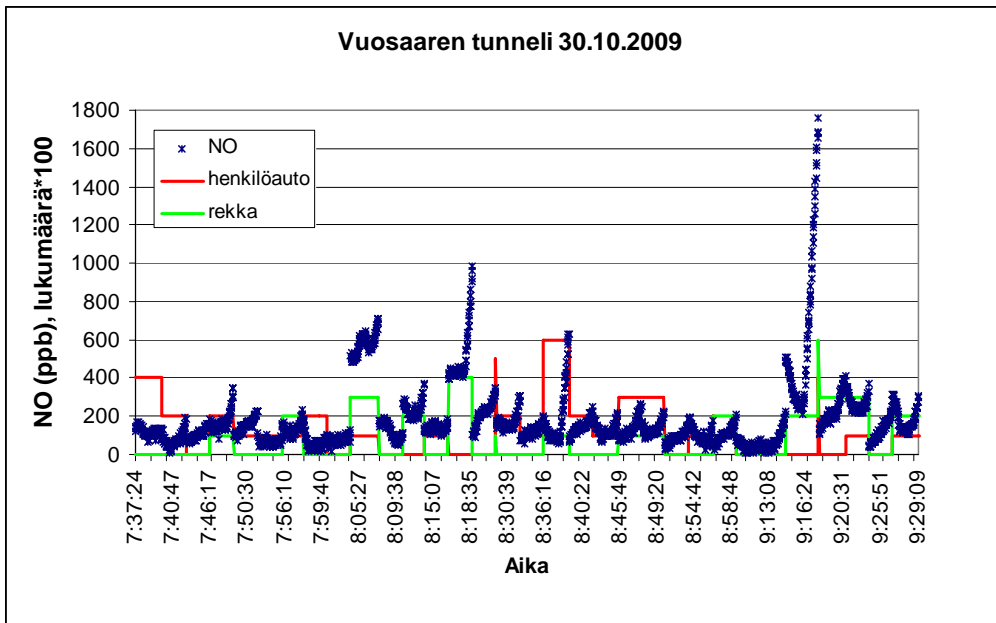
b)



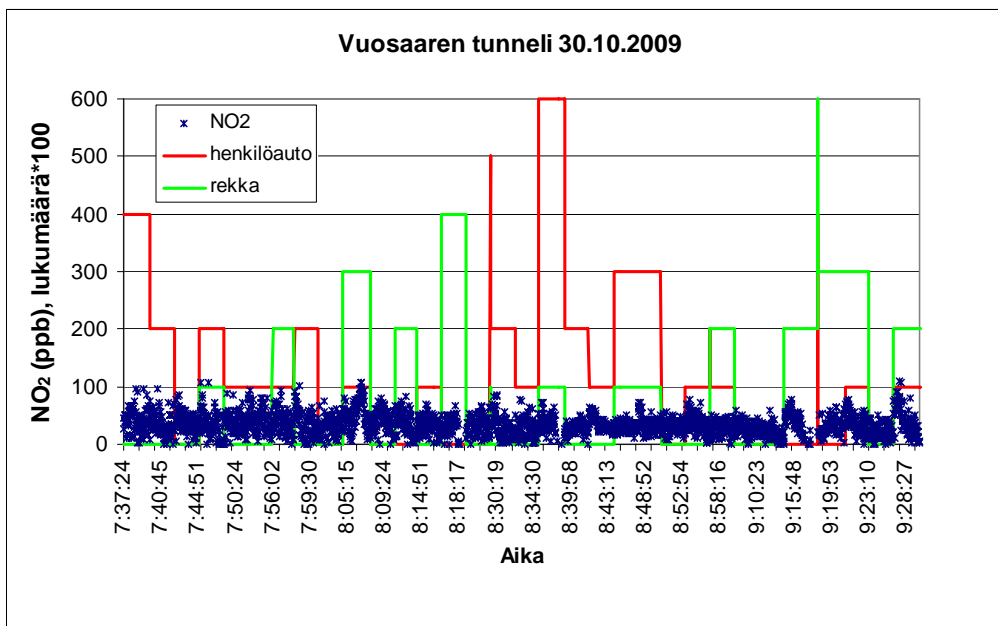
c)



Kuva 27. Keskimääräiset (a) kaasupitoisuudet, (b) hengitettävien hiukkasten pitoisuus mitattuna DustTrak A:lla (DA), katupölyn PM₁₀-pitoisuus TEOM:illa ja DustTrak B:llä (DB) sekä pakokaasujen lukumääräpitoisuus sadalla jaettuna, ja (c) pakokaasuhiukkasten kokojakaumat sekä tunnelissa että tunnelin ulkopuolella satamaan päin (S) ja satamasta poispäin (N) ajettaessa.



Kuva 28. NO-pitoisuus (sekuntidata) tunnelissa. Kuvaan on myös merkitty tunnelissa samaan aikaan ajaneiden henkilöautojen ja rekkojen lukumäärät Nuuskijalla mitattuna ja 100:lla kerrottuna. Tunnelin ulkopuolisten ajojen NO-pitoisuudet on poistettu kuvasta.



Kuva 29. NO₂-pitoisuus (sekuntidata) tunnelissa. Kuvaan on myös merkitty tunnelissa samaan aikaan ajaneiden henkilöautojen ja rekkojen lukumäärät Nuuskijalla mitattuna ja 100:lla kerrottuna. Tunnelin ulkopuolisten ajojen NO₂-pitoisuudet on poistettu kuvasta.

Liitteeseen 3 on koottu Nuuskija-autolla mitatut keskipitoisuudet keskihajontoi-
neen eri tunneleissa.

4 Johtopäätökset

- Nuuskijan mittauskampanjapäivinä lokakuussa 2009 aamuruuhkan aikaan Hakamäentien tunnelissa mitattujen typpidioksidipitoisuuksien keskiarvo oli pienin (25 ppb \sim 48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Myös Uudenmaankadun ja Vuosaaren tunnelien keskiarvopitoisuudet (35 ppb ja 31 ppb) olivat hiukan pienempiä kuin Eliel Saarisen tien tunnelissa (38 ppb).
- Typpimonoksidipitoisuuden keskiarvo oli suurimmillaan Vuosaaren tunnelissa (184 ppb) johtuen suuresta liikennemäärästä. Hakamäentien ja Uudenmaankadun tunneleissa keskimääräinen NO-pitoisuus oli noin puolet Eliel Saarisen tien tunnelissa mitatusta. Kaikissa tunneleissa mitatut NO₂- ja NO-pitoisuudet olivat vähän alempia tai samaa suuruusluokkaa kuin tunnelin ulkopuolella liikennevirrassa mitatut keskipitoisuudet.
- Vuosaaren tunnelissa pakokaasuhiukkasten pitoisuudet olivat hetkellisesti korkeita, jopa 3×10^6 hiukkasta/cm³. Keskimääräisetkin pitoisuudet olivat jopa viisinkertaisia muihin tunneleihin verrattuna ja lähes kaksinkertaisia Nuuskijan tunnelin ulkopuolella mitaamiin keskimääräisiin pitoisuuksiin verrattuna. Syynä korkeisiin pitoisuuksiin oli runsas raskaiden ajoneuvojen määrä.
- Keskimääräinen kokojakauma Eliel Saarisen tien ja Hakamäentien tunneleissa oli pienempi kuin tunnelin ulkopuolella ruuhkan suuntaan ajettaessa. Sen sijaan Uudenmaankadun ja Vuosaaren tunneleissa sekä nukleatiomoodin että nokimoodin hiukkasia oli enemmän tunnelissa kuin ulkopuolella.
- Hengitettävien hiukkasten keskimääräinen pitoisuus (PM₁₀) oli varsin pieni kaikissa tunneleissa ($\leq 33 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Puhtain tunneli oli Hakamäentien tunneli. On huomattava, että pakokaasuhiukkaset ovat kooltaan pieniä, joten niiden suuretkaan pitoisuudet eivät juuri näy PM₁₀-massapitoisuuksissa.
- Nuuskijan mitaama katupölypitoisuus (PM₁₀) oli kaikissa tunnelissa suurempi kuin ympäröivillä kaduilla. Hakamäentien, Uudenmaankadun ja Vuosaaren tunneleissa oli puhtaampaa kuin Eliel Saarisen tien tunnelissa ja pitoisuudet vastasivat KAPU-mittausten kesäpuhdasta katua. Hakamäentien ja Vuosaaren tunnelien tiepäällysteet ovat varsin uusia, joten vähäiset pölypäästöt olivat odotettavissa. Olisi suositeltavaa tehdä uudet mittaukset kevätpölyn aikaan.
- Hakamäentien, Uudenmaankadun ja Vuosaaren tunnelit poikkesivat Eliel Saarisen tien tunnelista sikäli, että ne olivat vain läpikulkutunneleita, missä bussipysäkkejä ihmisvirtoineen ei ollut. Liikenteen päästöille altistuminen koskee siis vain autossa sisällä olijoita ja on varsin lyhytaikaista. Toisaalta korkeiden pitoisuuksien lyhytkestoisilla altistumisilla on myös todettu olevan haitallisia terveysvaikutuksia.



Mittausaseman sijainti Eliel Saarisen tien tunnelissa.



Mittausaseman sijainti Eliel Saarisen tien tunnelissa.

Liite 1. Kuvia Eliel Saarisen tien tunnelin mittausaseman ja passiivikeräinten sijainnista

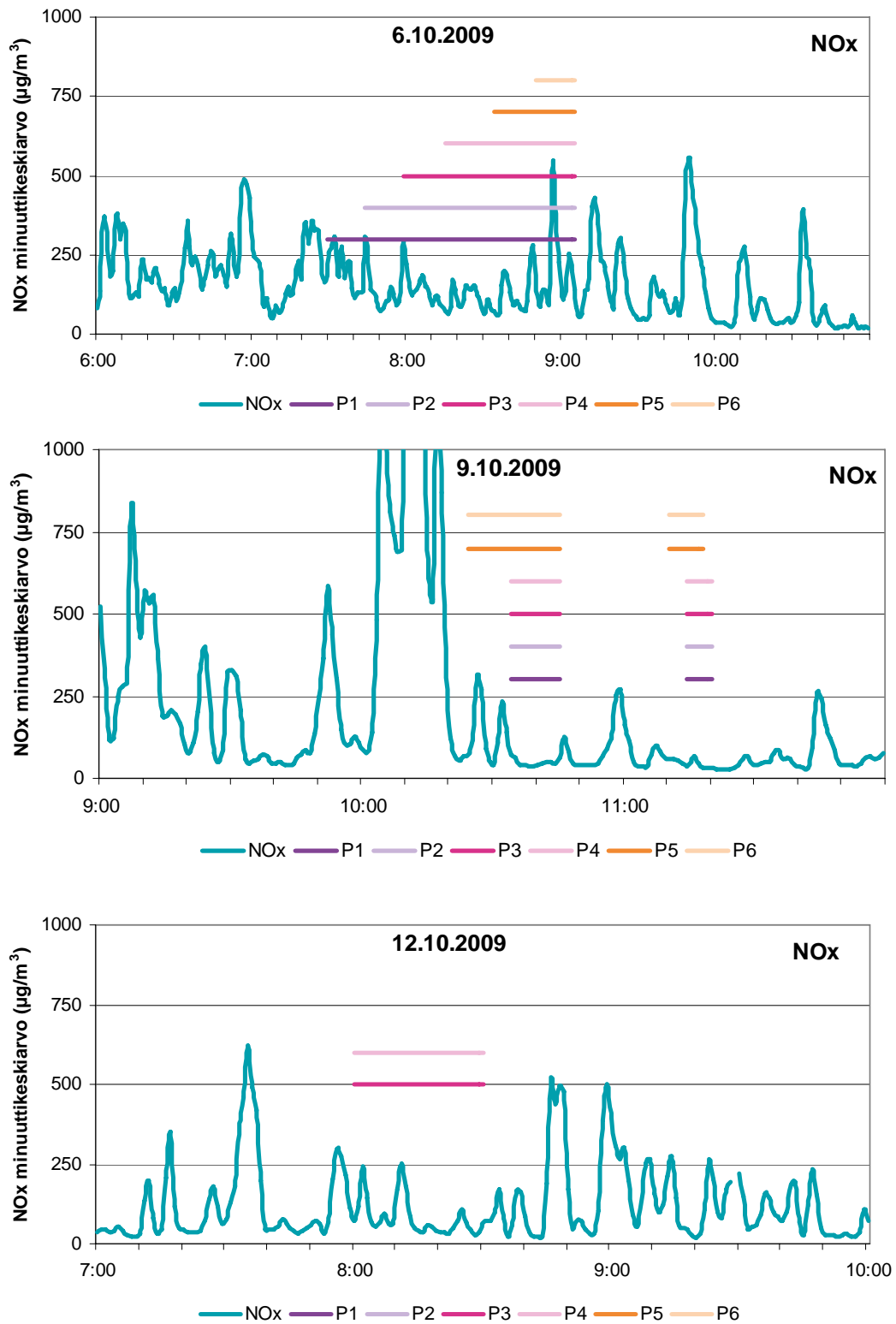


Passiivikeräimen no 104 sijainti.

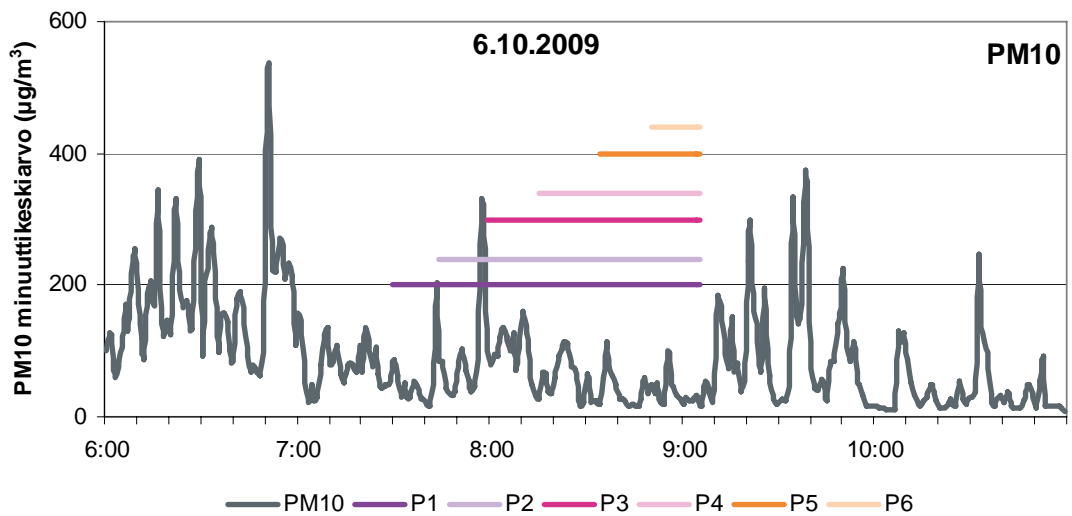
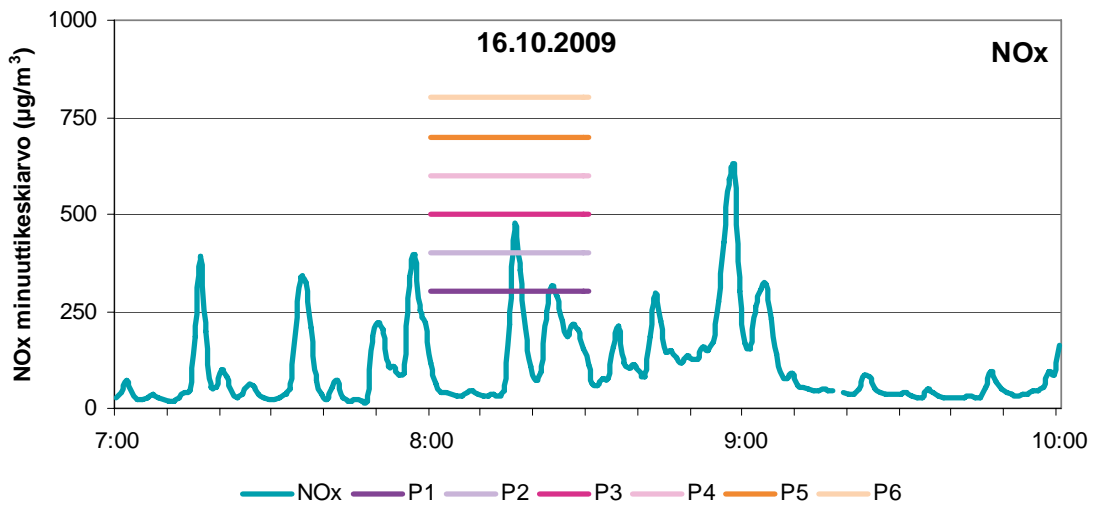
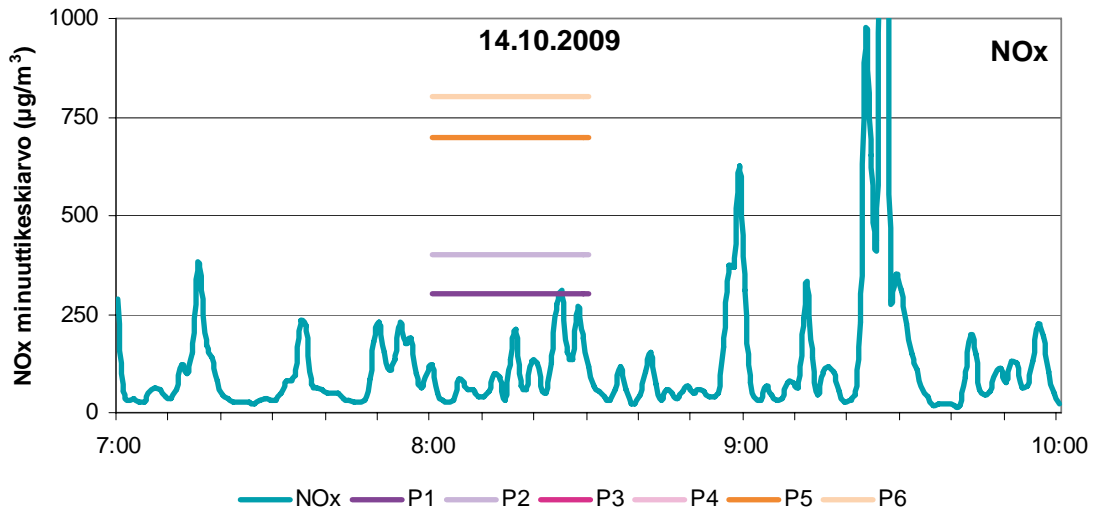


Passiivikeräimen 103 sijainti.

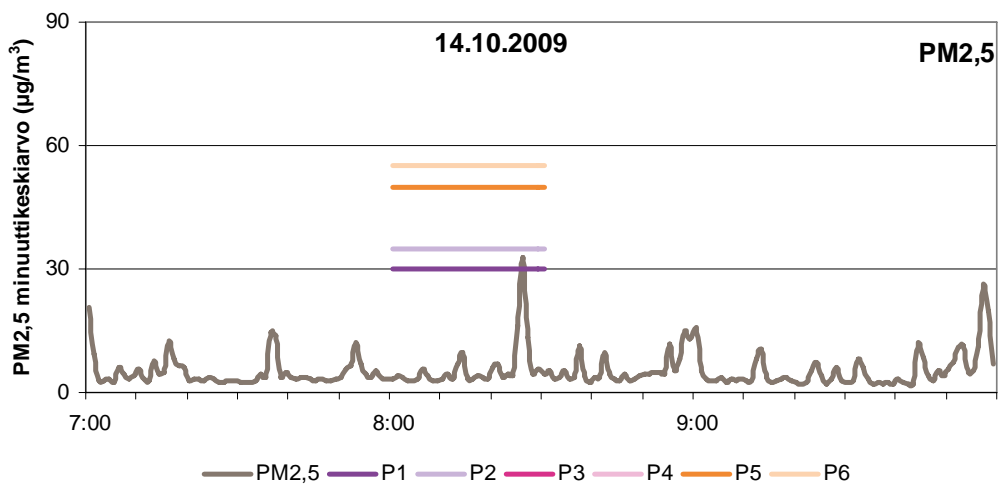
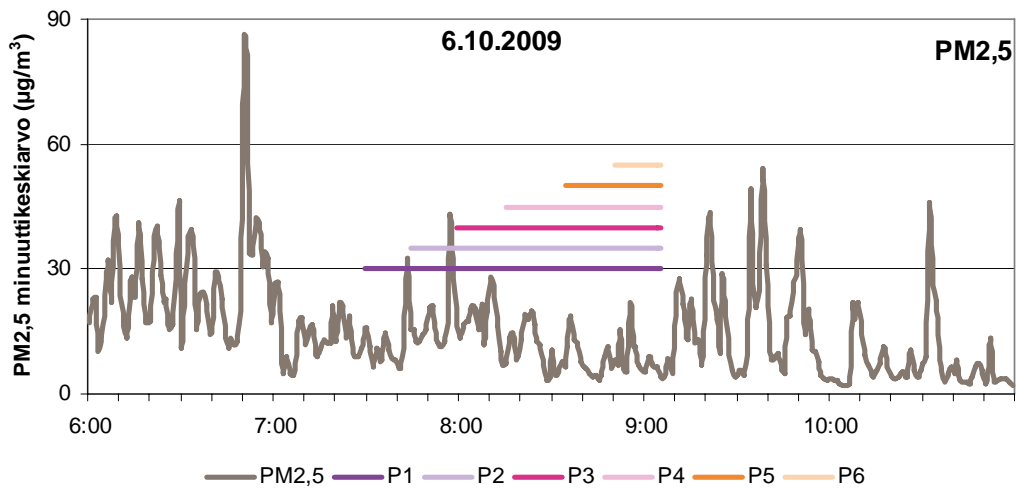
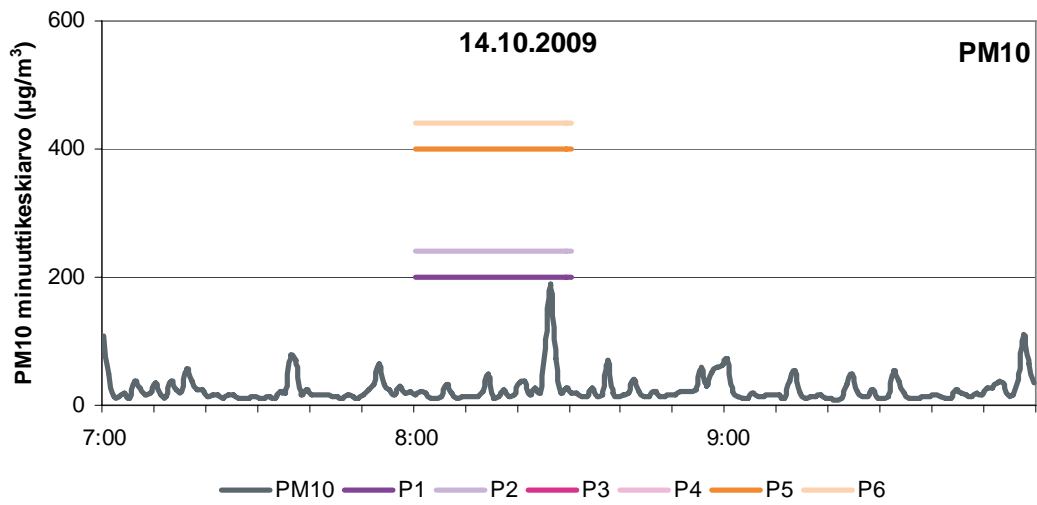
Liite 2. NO_x- ja hiukkaspitoisuuksien minuuttiarvot sekä puhaltimien käyttöajan kohdat



Liite 2. NO_x- ja hiukkaspitoisuuksien minuuttiarvot sekä puhaltimien käyttöajankohdat



Liite 2. NO_x- ja hiukkaspitoisuuksien minuuttiarvot sekä puhaltimien käyttöajankohdat



Liite 3. Yhteenvetotaulukko Nuuskijalla mitatuista kaasui- ja hiukkaspitoisuuksista keskihajontoineen eri tunneleissa. Eliel Saarisen tien tunnelissa mitatut pitoisuudet on annettu erikseen eri puhallinasetuksilla.

	NO (ppb)	NO ₂ (ppb)	CO (ppb)	CO ₂ (ppm)	DTA (ug/m ³)	TEOM (ug/m ³)	Nexh (cm-3)
Eliel Saarisen tie P0	106±45	29±25	396±164	416±7	20±12	570±466	(5,50±3,03) x10 ⁴
P1	152±35	41±23	384±117	425±9	34±27	1003±970	(6,96±2,97) x10 ⁴
P2	111±24	42±23	467±65	428±12	47±26	1399±1538	(5,04±1,62) x10 ⁴
P3	134±60	42±22	373±83	433±16	56±49	1114±870	(5,80±4,04) x10 ⁴
P4	100±50	28±25	444±114	421±10	23±13	892±475	(6,04±4,90) x10 ⁴
P5	178±133	42±20	410±81	432±17	29±27	591±289	(6,72±4,35) x10 ⁴
P6	106±40	38±17	334±129	429±13	19±16	993±937	(3,48±2,93) x10 ⁴
P0	90±64	37±23	300±72	423±13	39±25	1195±1107	(5,69±3,26) x10 ⁴
keskiarvo	124±14	38±23	386±118	426±14	33±30	952±885	(5,64±3,83)x10 ⁴
Hakamäen- tie	59±53	25±27	262±127	420±17	18±6	516±357	(4,32±2,75) x10 ⁴
Uudenmaan- katu	64±39	35±24	870±813	423±10	32±23	475±263	(8,21±6,42) x10 ⁴
Vuosaari	184±183	31±23	242±159	422±15	29±24	417±341	(2,84±3,46) x10 ⁵

KUVAILULEHTI / PRESENTATIONSBLAD / DOCUMENTATION PAGE

Julkaisija Utgivare Publisher	Helsingin kaupungin ympäristökeskus Helsingfors stads miljöcentral City of Helsinki Environment Centre	Julkaisuaika/Utgivningstid/ Publication time Maaliskuu 2009 / Mars 2009 / March 2009	
Tekijä(t)/Författare/Author(s)	Liisa Pirjola, Kati Loukkola, Tarja Koskentalo ja Outi Väkevä		
Julkaisun nimi Publikationens titel Title of publication	Ilmanlaatu Helsingin tietunneleissa Luftkvaliteten i Helsingfors vägtunnlar Air quality in road tunnels in Helsinki		
Sarja Serie Series	Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja Helsingfors stads miljöcentralens publikationer Publications by City of Helsinki Environment Centre	Numero/Nummer/No. 3/2010	
ISSN 1235-9718	ISBN 978-952-223-662-3	ISBN (PDF) 978-952-223-663-0	
Kieli Språk Language	Koko teos / Hela verket / The work in full Yhteenveto/Sammandrag/Summary Taulukot/Tabeller/Tables Kuvatekstit/Bildtexter/Captions	fin fin, sve, eng fin fin	
Asiasanat Nyckelord Keywords	ilmanlaatu, tunnelit, tietunneli luftkvalitet, tunnlar, vägtunnel air quality, tunnels, road tunnel		
Lisätietoja Närmare upplysningar Further information	Outi Väkevä Puh./tel. (09) 310 31516 Sähköposti/e-post/e-mail: outi.vakeva@hel.fi		
Tilaukset Beställningar Distribution	Helsingin kaupungin ympäristökeskus, Asiakaspalvelu PL 500, 00099 Helsingin kaupunki Helsingfors stads miljöcentral, Kundtjänst PB 500, 00099 Helsingfors stad City of Helsinki Environment Centre, Customer Service P.O. Box 500, FIN-00099 CITY OF HELSINKI Puh./tel. +358-9-310 13000 Sähköposti/e-post/e-mail: ymk@hel.fi		

Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 2009

1. Kiema, S., Saarenoksa, R. Kivinokan pohjoisen metsäalueen kääpä- ja orvakkainventointi 2006–2007
2. Muotka, K. Helsingin ulkoilureittien ja puistojen roskaantumisen
3. Salla, A. Maaperän haitta-aineiden taustapitoisuudet sekä pitoisuudet puistoissa ja kerrostalojen piholla Helsingissä
4. Niskanen, I., Päivänen, J., Virrankoski, L., Alanko, M., Jokinen, S., Pesu, M., Leppänen, P., Gröhn, L. Helsingfors stads handlingsplan för bullerbekämpning 2008
5. Dictus, J., Creed, A. (eds). Towards Environmental Sustainability. Report of the Peer review of the city of Helsinki.
6. Yrjölä, R. Vuosaaren satamahankkeen linnustoseuranta 2008
7. Kajaste, I., Muurinen, J., Räsänen, M., Vahtera, E., Pääkkönen, J.-P. Helsingin ja Espoon merialueen tila vuonna 2008. Jätevesien vaikutusten velvoitetarkkailu.
8. Peltomaa, J., Klemettilä-Kirjavainen, E. Kebabin mikrobiologinen laatu Helsingissä vuonna 2008
9. Metiäinen, P. Oirekyselyt asuntojen PVC-muovimatoilla päällystettyjen betonilattioiden sisäilmahaittojen ratkaisijana
10. Puhakka, A. Kestävä kehitys – ohjelmista eläväksi käytännöksi? Kokemuksia Helsingistä ja tulevaisuuden pohdintaa.
11. Pitkänen, E., Haahla, A. Herkkien kohteiden ilmanlaatu ja melutilanne. Päiväkodit, leikki puistot ja -kentät, koulut, vanhainkodit ja sairaalat.
12. Aspelund, P., Paaer, P. Särkkäniemen luonnonsuojelualueen hoito- ja käyttösuunnitelma 2009 - 2018
13. Kupiainen, K., Pirjola, L., Viinanen, J., Stojiljkovic, A., Malinen, A. Katupölyn päästöt ja torjunta. KAPU-hankkeen loppuraportti
14. Heinonen, M., Lammi, E. Vanhankaupunginlahden lintuveden kasvillisuuden seuranta 2008–2009
15. Hakkarainen, T., Kivikoski, L., Pönkä, A. Yleisten uimarantojen hygieeninen taso Helsingissä vuonna 2009

Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 2010

1. Saarijärvi, P., Laine, K., Klemettilä-Kirjavainen, E. Voileipien mikrobiologinen laatu Helsingissä 2009
2. Pahkala, E., Saltiola, H., Åberg, R. Ulkotapahtumissa ja toreilla tarjoiltavan ruoan hygieeninen laatu Helsingissä
3. Pirjola, L., Loukkola, K., Koskentalo, T., Väkevä, O. Ilmanlaatu Helsingin tietunneleissa