



Ilmanlaatu katukuiluissa ja
avoimien väylien varrella
mallilaskelmilla arvioituna

Ilmanlaatu katukuiluissa ja avoimien väylien varrella mallilaskelmilla arvioituna

YTV Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta
Opastinsilta 6 A
00520 Helsinki
puhelin (09) 156 11
faksi (09) 156 1369
www.ytv.fi

Kansikuva: YTV / Hannu Bask

Helsinki 2008

Tiivistelmäsiivu

Julkaisija: YTV Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta			
Tekijät: Anu Kousa, Mari Kauhaniemi	Päivämäärä 1.12.2008		
Julkaisun nimi: Ilmanlaatu katukuiluissa ja avoimien väylien varrella mallilaskelmilla arvioituna			
Rahoittaja / Toimeksiantaja: YTV Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta, Helsingin kaupungin ympäristökeskus, Ilmatieteen laitos, VTT			
Tiivistelmä: Selvityksessä tutkittiin katugeometrian ja liikenteen eri päästöskenaarioiden vaikutusta Helsingille tyypillisten katukuilujen ilmanlaatuutilanteeseen. Katukuiluissa ilmanlaadun raja-arvot ovat jo nykyisellään vaarassa ylittyä. Mallitarkasteluilla pyrittiin selvittämään, millä keinoilla katukuilujen ilmanlaatuutilannetta voitaisiin jatkossa mahdollisesti parantaa. Lisäksi selvitettiin päästöjen suoran typpidioksidin osuuden, tuulen suunnan ja ruuhkautumisen vaikutusta katuilman typpidioksidipitoisuuksiin. Leviämislaskelmilla arvioitiin typen oksidien pitoisuuksia todellisissa kohteissa pääkaupunkiseudulla sekä miten pitoisuudet muuttuvat, jos kohteen rakennetta, liikenteen määrää tai ajoneuvojakaamaa muutetaan. Näin saatiin tietoa siitä, miten typpidioksidin pitoisuudet käyttäytyvät pitoisuuksien laimenemisen kannalta erilaisissa kaupunkiympäristöissä. Laskelmatulokset ovat yleistettävissä muihin vastaaviin kohteisiin. Pitoisuuksiin voidaan vaikuttaa katujen rakenteella tai suuntauksella. Kun katukuilu on kapea, niin epäpuhtauksien laimeneminen heikentyy ja pitoisuudet ovat korkeampia kuin leveämmässä katukuilussa. Katukuilu on kapea, kun kadunvarren rakennusten korkeudet ovat kadun leveyttä korkeampia. Tällöin vähäisemmälläkin liikennemäärällä ja siten päästömäärällä pitoisuudet voivat olla raja-arvotasona korkeampia. Vastaavasti avoimessa ympäristössä samalla päästömäärällä voidaan jäädä selvästi raja-arvotason alapuolelle. Pääkaupunkiseudulla vallitsevien tuulten suunnat ovat lännen- ja lounaansuuntaisia. Kun katukuilu oli vallitsevien tuulten suuntainen, kadun etelä- ja pohjoispuolten pitoisuuksissa ei ollut kovinkaan suurta eroa. Sen sijaan, kun katua käännettiin 90 astetta eli kaakko-luode -suuntaiseksi, pitoisuudet olivat noin 10 % korkeampia kadun länsi- kuin itäpuolella. Puhtaammat ajoneuvot ja polttoaineet (kuten kaasuautot ja biodiesel) vähentävät typen oksidien päästöjä ja siten myös alentavat typpidioksidin pitoisuuksia. Liikenteen vähentyessä myös liikenteen sujuvuus paranee ja siten päästöt ja pitoisuudet vähenevät. Ruuhkaisuuden lisääntyessä myös päästöt ja pitoisuudet kasvavat isomman ajoneuvomäärän sekä liikenteen seisomisen vuoksi. Mallien tuloksia tarkasteltaessa on oltava selvillä lähtötiedoista ja -oletuksista. Eri tilanteisiin sopi erilainen malli. Kuten mallien yleisnimityksistä ilmenee, avoimen väylän malli toimii parhaiten avoimessa ympäristössä ja katukuilumalli katukuilussa. Avoimen väylän malli aliarvioi pitoisuuksia katukuiluissa, koska se ei pysty ottamaan huomioon rakennusten aiheuttamaa estettä pitoisuuksien laimenemisessä. Lisäksi avoimen väylän mallilla suurimmat pitoisuudet saadaan aina sille puolelle tietä, joka on vallitsevien tuulten alapuolella. Katukuilumalli sen sijaan ottaa huomioon tuulipyörteen muodostumisen katukuilussa. Rakennusseinämään kohtisuoraan osuva tuuli pyörtää seinämää alas ja kerää kadulta päästöt ja pyörtää niitä kadun vastakkaisen puolen seinämää ylöspäin. Tässä työssä käytetty OSPM (The Operational Street Pollution Model) -katukuilumalli toimii kuitenkin parhaiten kaduilla, joiden leveys on yhtä suuri kuin katua reunustavien rakennusten korkeudet. Vaikka typen oksidien päästöt tulevat vähentymään tulevaisuudessa autotekniikan parantuessa, niin suoran typpidioksidin osuus päästöissä tulee kasvamaan dieselöitymisen ja hapettavien katalysaattorien yleistymisen vuoksi. Siten on mahdollista, että typpidioksidin pitoisuudet jopa kohoavat nykyisestä. Tämä ilmiö on havaittu mm. Irossa-Britanniassa. Myös YTV:n ilmanlaadun mittauksissa on huomattu, että typpidioksidin pitoisuudet ovat viimeisen kymmenen vuoden aikana pysyneet likimain samana, vaikka samaan aikaan typen oksidien päästömäärä ja typpimonoksidin pitoisuudet ovat laskeneet selvästi. Mallilaskelmien mukaan 10 prosenttiyksikön muutos suorassa typpidioksidipäästössä lisää katutasolla pitoisuuksia 9 %. Suoran NO ₂ :n osuuden kasvu 10 prosenttiyksiköllä on erittäin todennäköistä lähitulevaisuudessa.			
Avainsanat: päästöskenaario, typpidioksidi, pääkaupunkiseutu, katukuilu, avoin väylä, ilmanlaatu			
Sarjan nimi ja numero: YTV:n julkaisuja 23/2008			
ISSN 1796-6965	ISBN (nid.) - ISBN (pdf) 978-951-798-711-0	Kieli: suomi	Sivuja: 37
YTV Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta, PL 521, 00521 Helsinki, puhelin (09) 156 11, faksi (09) 156 1369			

Sammandragssida

Utgivare: Huvudstadsregionens samarbetsdelegation			
Författare: Anu Kousa, Mari Kauhaniemi		Datum 1.12.2008	
Publikationens titel: Luftkvaliteten i gatukanjoner och längs öppna trafikleder enligt modellberäkningar			
Finansiär / Uppdragsgivare: Huvudstadsregionens samarbetsdelegation, Helsingfors stad miljöcentralen, Meteorologiska institutet, VTT			
Sammandrag: <p>I undersökningen granskades gatugeometrins och trafikens olika utsläppsscenariers inverkan på luftkvalitetssituationen i de för Helsingfors typiska gatukanjonerna. I gatukanjonerna är det redan i nuläget risk för att gränsvärdena för luftkvaliteten överskrids. Med modellobservationer strävade man till att utreda, på vilka sätt luftkvalitetssituationen i gatukanjonerna i fortsättningen möjligen kunde förbättras. Därtill utreddes inverkan av den direkta andelen kvävedioxid i utsläppen, vindriktningen och rusningstrafiken, på kvävedioxidhalterna i gatulufte.</p> <p>Med spridningsmodeller beräknades koncentrationerna av kväveoxider på olika verkliga gator i huvudstadsregionen, samt hur koncentrationerna förändrades om gatans eller vägens struktur, mängden trafik eller fordonsfördelningen ändras. På detta sätt fick man information om, hur kvävedioxidkoncentrationerna uppträder ur utspädningssynpunkt i olika stadsmiljöer. Resultaten från de här utvalda platserna kan även generaliseras med andra motsvarande platser.</p> <p>Koncentrationerna kan påverkas genom gatornas konstruktion eller orientering. Då gatukanjonen är smal, så försvagas utspädningen av föroreningarna och koncentrationerna är högre än i en bredare gatukanjon. Gatukanjonen är smal, då byggnadernas höjd längs gatan är högre än gatans bredd. Härvid kan koncentrationerna, även med en mindre mängd trafik och därmed mindre mängd utsläpp, vara högre än gränsvärdesnivån. Motsvarande kan man i en öppnare omgivning, med samma mängd utsläpp, hamna klart under gränsvärdesnivån.</p> <p>I huvudstadsregionen är de förhärskande vindriktningarna västliga eller sydvästliga. Då gatukanjonens riktning sammanföll med de förhärskande vindarnas, var det inte stor skillnad i koncentrationer på gatans södra eller norra sida. Då gatans riktning, däremot, vändes 90 grader det vill säga i sydost-nordvästlig riktning, var koncentrationerna cirka 10 % högre på gatans västra sida än på den östra. Renare fordon och bränslen (såsom gasbilar eller biodiesel) minskar utsläppen av kväveoxider och sänker därmed även koncentrationerna av kvävedioxid. Då trafiken minskar, så förbättras även flexibiliteten i trafiken och därmed minskar utsläppen och koncentrationerna. Vid ökande rusningstrafik tilltar även utsläppen och koncentrationerna, på grund av en större mängd fordon och stillastående trafik.</p> <p>Vid granskning av modellernas resultat måste man vara på det klara med utgångsdata och -hypoteser. Olika modeller fungerar för olika situationer. Såsom framgår av modellernas allmänna benämningar, så fungerar modellen för öppen trafikled bäst i öppen omgivning och gatukanjonmodellen i en gatukanjon. Den öppna trafikledsmodellen underskattar koncentrationerna i gatukanjoner, då den inte förmår beakta det hinder som byggnaderna utgör vid utspädning av koncentrationerna. Därtill får man med den öppna omgivningens modell alltid de största koncentrationerna på den sida av gatan, som ligger i lä för de rådande vindarna.</p> <p>Gatukanjonmodellen däremot, beaktar att vindvirvlar bildas i en gatukanjon. Vinden, som träffar byggnadsväggen vinkelrätt vänder ner för väggen och samlar utsläppen från gatan och vänder dem uppför väggen på motsatt sida av gatan. OSPM-gatukanjonmodellen (the Operational Street Pollution Model), som använts vid detta arbete fungerar dock bäst på gator vilkas bredd är lika stor som höjden av byggnaderna som kantar gatan.</p> <p>Fastän utsläppen av kväveoxider kommer att minska i framtiden i och med att biltekniken förbättras, så kommer andelen direkt kvävedioxid av utsläppen att öka på grund av den ökande andelen av dieslbilar och oxiderande katalysatorer. Sålunda är det möjligt, att koncentrationerna av kvävedioxid till och med stiger från de nuvarande. Detta fenomen har observerats bl.a. i Storbritannien. Även vid SAD:s mätningar av luftkvaliteten har man märkt, att koncentrationerna av kvävedioxid under de senaste tio åren har hållits på ungefär på samma nivå, fastän utsläppsmängden av kväveoxider och koncentrationen av kvävemonoxid samtidigt tydligt har sjunkit. Enligt modellberäkningarna ökar en förändring på 10 procentenheter i direkt kvävedioxidutsläpp koncentrationerna i gatunivå med 9 %. Ökningen av andelen direkt kvävedioxid med 10 procentenheter är högst sannolik i en nära framtid.</p>			
Nyckelord: utsläppsscenario, kvävedioxid, huvudstadsregionen, gatukanjon, öppen trafikled, luftkvalitet			
Publikationsseriens titel och nummer: SAD publikationer 23/2008			
ISSN 1796-6965	ISBN (nid.) - ISBN (pdf) 978-951-798-711-0	Språk: finska	Sidantal: 37
Huvudstadsregionens samarbetsdelegation, PB 521, 0051 Helsingfors, telefon (09) 156 11, telefax (09) 156 1369			

Abstract page

Published by: YTV Helsinki Metropolitan Area Council			
Author: Anu Kousa, Mari Kauhaniemi		Date of publication 1.12.2008	
Title of publication: Air quality in street canyons and in open road environments estimated with air quality models			
Financed by / Commissioned by: YTV Helsinki Metropolitan Area Council, City of Helsinki Environment Centre, Finnish Meteorological Institute, VTT Technical Research Centre of Finland			
<p>Abstract:</p> <p>The aim of this study was to evaluate the effects of street geometry and different emission scenarios on air quality in street canyons typical to the city of Helsinki. Air quality limit values are already in danger of being exceeded in these street canyons at present. Modelling was applied to find out potential means of improving air quality in street canyons in the future. Additionally, the impact of the proportion of direct nitrogen dioxide in the emissions was studied, as well as the effects of wind direction and congestion on nitrogen dioxide concentrations at street level.</p> <p>Dispersion modelling was used to estimate the nitrogen oxide concentrations occurring in real locations in the Helsinki metropolitan area. Modelling calculations were also made of how the concentrations vary if structure of the street or road, traffic volume or vehicle distribution is changed. Information was gained on how nitrogen dioxide concentrations vary in street environments where different conditions for dilution prevail. The conclusions drawn from the chosen streets or roads can be generalized to apply to other similar locations.</p> <p>The structure and orientation of the street has an impact on the concentrations. In narrow street canyons the dilution of air pollutants is slowed down resulting in higher concentrations than in broader street canyons. A street canyon can be called narrow when the height of the buildings lining the street exceeds the width of the street. In narrow street canyons concentrations can exceed limit values even with smaller traffic volumes, and thus lower emissions, than in broader street canyons. Vice versa, in open environments, the same amount of emissions can lead to significantly lower concentrations that remain below the limit values.</p> <p>The prevailing wind direction in the Helsinki metropolitan area is from west to south-west. When a street canyon is oriented in the same direction as the prevailing winds, no significant difference was discovered between concentrations in the south or north sides of the street. When, instead, the street was rotated by 90 degrees to a south east–north west direction, the concentrations on the west side of the street were about 10 percent higher than those on the east side.</p> <p>Cleaner vehicles and fuels (e.g gas vehicles and biodiesel) decrease nitrogen oxide emissions and, consequently, also lead to lower nitrogen dioxide concentrations. As traffic decreases, the remaining traffic flows more smoothly, which also results in smaller emissions and lower concentrations. Increased congestion, on the other hand, leads to higher emissions and higher concentrations due to increased traffic volumes and stagnated flow of vehicles.</p> <p>When interpreting the results of modelling one needs to be aware of the input data and initial assumptions used in the modelling process. Different models are suited to different circumstances. As the naming of the models shows, the open area line source model works best in open road environments and the street canyon model in street canyons. The open area line source model underestimates concentrations in street canyons, as it cannot take into account the effects that buildings have on inhibiting the dilution of pollutants. Additionally, with the open area line source model the highest concentrations are always found on the side of the road which is located under the prevailing winds. The street canyon model, instead, take into account the fact that a vortex of wind is formed in street canyons. When the wind hits a wall of buildings perpendicularly, it twirls down the wall, collects the emissions from the street and blows them upwards along the wall on the opposite side of the street. The OSPM (The Operational Street Pollution Model) street canyon model used in this study, however, works best on streets where the width of the street equals the height of the buildings lining the street.</p> <p>Although nitrogen oxide emissions are on the decrease in the future due to improved vehicle technology, the proportion of direct nitrogen dioxide in the emissions is going to increase, mainly due to an increase of diesel vehicles and oxidizing catalysts. Thus it is likely that concentrations of nitrogen dioxide are in the future going to be even higher than at present. This phenomenon has been detected e.g in the UK. Air quality measurements by YTV also show that nitrogen dioxide concentrations have over the past decade remained on approximately the same level, although the emissions of nitrogen oxides and the concentrations of nitrogen monoxide have gone down significantly. According to model calculations, a 10-percent-unit increase in direct emissions of nitrogen dioxide increases the concentrations at street level by nine percent. Such an increase in the proportion of nitrogen dioxide is deemed very likely in the foreseeable future.</p>			
Keywords: emission scenario, nitrogen dioxide, Helsinki Metropolitan Area, street canyon, open road, air quality			
Publication Series title and number: YTV's publications 23/2008			
ISSN 1796-6965	ISBN (nid.) -	Language: Finnish	Pages: 37
	ISBN (pdf) 978-951-798-711-0		
YTV Helsinki Metropolitan Area Council, Box 521, 0051 Helsinki, phone +358 9 15 611, fax +358 9 156 1369			

Sisällysluettelo

1. Johdanto.....	9
2. Päästö- ja pitoisuuslaskelmien lähtötiedot.....	10
3. Tuloksista yleistä – Päästöt ja pitoisuudet.....	13
4. Katukuilujen ja avoimen väylän ilmanlaatumallituksen tulokset	16
4.1 Leveä katukuilu – Hämeentie	16
4.2 Erittäin leveä katukuilu – Teollisuuskatu	18
4.3 Kapea katukuilu – Unioninkatu	18
4.4 Levän katukuilun tyyppinen väylä – Mannerheimintie (Töölöntulli)	20
4.5 OSPM ja CAR-FMI -mallitulosten vertailu Töölöntullissa	21
4.6 Avoimen väylän ympäristö – Sörnäisten rantatie	23
4.7 Erittäin vilkas avoin väylä – Kehä I Pakila	24
4.9 NO ₂ /NO _x -suhteen muuttumisen vaikutus ilmanlaatuun katukuilussa	28
4.10 Hiukkas- ja hiilidioksidipäästöt.....	28
5. Johtopäätökset	30
Lähteet.....	31
Liitteet.....	32

1. Johdanto

Selvityksessä tutkittiin katugeometrian ja liikenteen eri päästöskenaarioiden vaikutusta Helsingille tyyppillisten katukuilujen ilmanlaatuilanteeseen. Katukuiluissa ilmanlaadun raja-arvot ovat jo nykyisellään vaarassa ylittyä. Mallitarkasteluilla pyrittiin selvittämään, millä keinoilla katukuilujen ilmanlaatuilannetta voitaisiin jatkossa mahdollisesti parantaa. Lisäksi selvitettiin päästöjen suoran typpidioksidin osuuden, tuulen suunnan ja ruuhkautumisen vaikutusta katuilman typpidioksidipitoisuuksiin.

Leviämislaskelmilla arvioitiin typen oksidien pitoisuuksia todellisissa kohteissa pääkaupunkiseudulla sekä miten pitoisuudet muuttuvat, jos kohteen rakennetta, liikenteen määrää tai ajoneuvojakaamaa muutetaan. Näin saatiin tietoa siitä, miten typen oksidien pitoisuudet käyttäytyvät pitoisuuksien laimeenemisen kannalta erilaisissa kaupunkiympäristöissä. Laskelmatulokset ovat yleistettävissä muihin vastaaviin kohteisiin. Työssä laskettiin typpidioksidin (NO_2) ja typen oksidien (NO_x) pitoisuudet. Työssä arvioitiin myös suorassa päästössä olevan typpidioksidin osuuden (NO_2/NO_x -suhde) merkitystä katukuilussa. Herkkyysanalyysin avulla tarkasteltiin kolmen NO_2/NO_x -suhteen vaikutusta NO_2 -pitoisuuksiin. Tarkastelu tehtiin koska, dieselautojen lisääntyessä suoran NO_2 osuus kasvaa päästössä (hapetuskatallysaattorit).

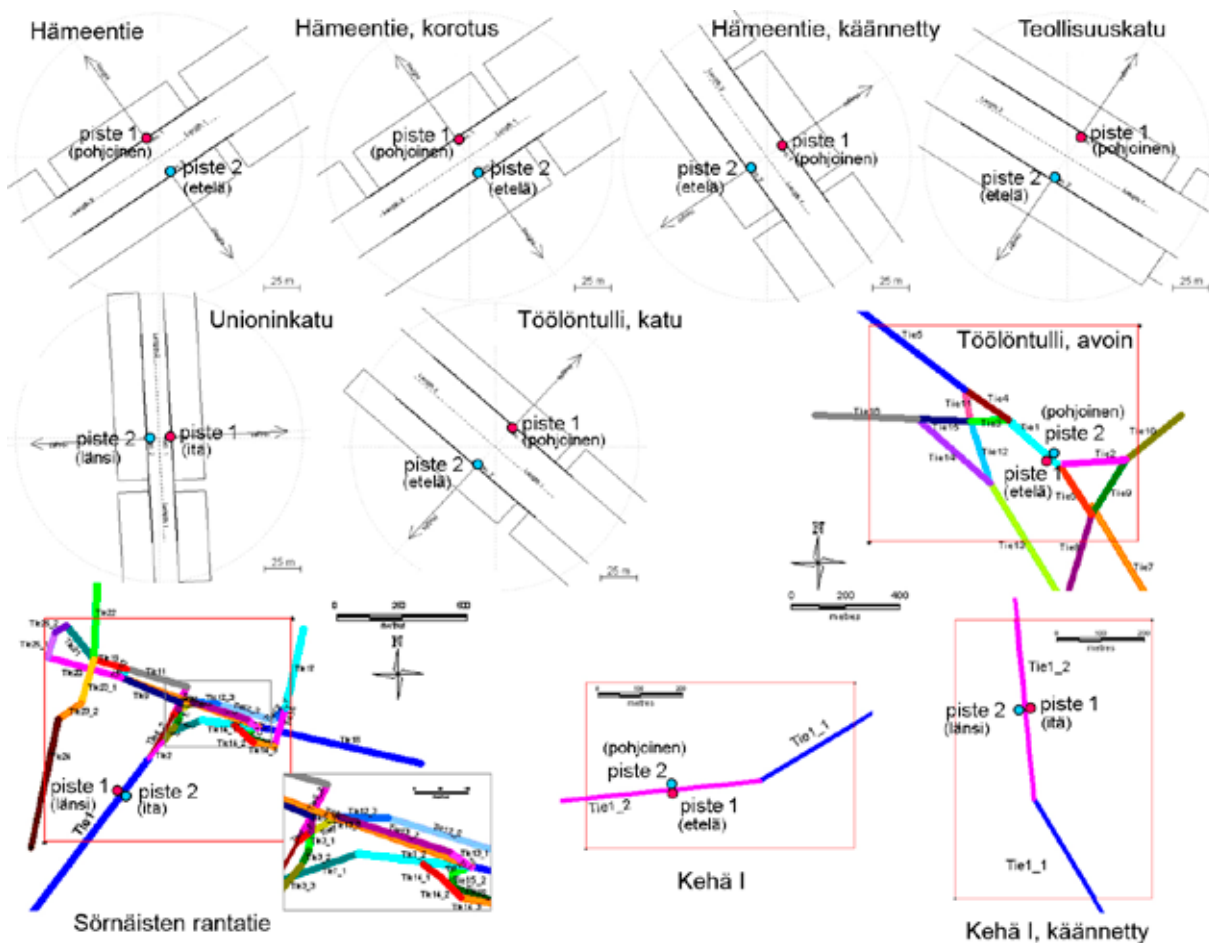
Työssä keskityttiin pienen mittakaavan mallitukseen. Malleina käytettiin avoimen väylän mallitukseen tarkoitettua CAR-FMI (Contaminants in the Air from a Road - Finnish Meteorological Institute) mallia ja katukuilujen mallitukseen OSPM (The Operational Street Pollution Model) mallia. Työstä Ilmatieteen laitoksella vastasivat Mari Kauhaniemi ja Mervi Haakana. Työ on osa UUSIPÄÄSTÖ-hanketta, jossa tutkitaan uudistuvan ajoneuvokannan vaikutusta kaupunkialueen NO_2 - ja hiukkaspäästöihin. Tutkimushanketta koordinoi VTT. Hankkeeseen osallistuvat ja sitä rahoittavat YTV, Helsingin kaupungin ympäristökeskus, Ympäristöministeriö, Ilmatieteen laitos, Autotuoajat ry, Öljy- ja kaasualan keskusliitto ja Gasmät Technologies Oy.

2. Päästö- ja pitoisuuslaskelmien lähtötiedot

Laskelmien pohjaksi laadittiin päästöskenaarioita, joissa muuttujina olivat ajoneuvojakauma ja -määrä, bussien osuus ja tyyppi sekä henkilöautojen määrä ja ruuhkautuminen

Liikennemäärinä käytettiin vuoden 2006 tietoja (Helsinki 2007). Henkilöautoista oletettiin olevan 22 % dieselautoja. Pakettiautojen oletettiin kaikkien olevan dieselaita. Päästökertoimina käytettiin Juhani Laurikon (VTT) kehittämiä kertoimia YTV:lle, joita on käytetty pääkaupunkiseudun liikennejärjestelmän laskelmissa (liite 5). Kaasubussien osuudet eri paikoissa ovat Timo Elolähteen (YTV) ja Markku Granholmin (HKL) selvitysten mukaisia. Päästöjen ajallinen vaihtelu (vrk, vuosi, viikonpäivä) saatiin raportista Liikenteen kehitys Helsingissä vuonna 2005 (tuntivaihtelu ja viikonpäivävaihtelu) sekä vuonna 2006 (vuosivaihtelu viikoittain) (Lilleberg & Hellman 2005, Lilleberg, 2007). Nopeusvaihtelu kullekin tarkastelukohteelle on saatu raportista Liikenteen sujuvuus Helsingissä vuonna 2005 (Hellman 2006).

Pitoisuuslaskelmat tehtiin vuosille 2004 ja 2005 käyttäen näiden vuosien sääaineistoa ja epäpuhtauksien taustapitoisuuksia (YTV:n Kallion kaupunkitausta-asema). Kuvassa 1 on kuvattu mallinnetut kohteet. Laskentapisteiden nimet ovat piste 1 ja piste 2. Laskentapisteitä kuvataan myös karkean sijainnin mukaan eli piste sijaitsee joko pohjois-, etelä-, itä- tai länsipuolella katua tai tietä. Laskelmat tehtiin katukuiluissa aivan rakennuksen seinämän viereen 4 m ja 10 m korkeudelle sekä kattokorkeudelle. Eri



Kuva 1. Katukuilumallilla ja avoimen väylän mallilla mallinnetut kohteet.

katukuilukohteiden leveydet ja korkeudet on esitetty kuvassa 3. Avoimen ympäristön kohteissa laskentakorkeus oli 4 m ja laskettujen tarkastelupisteiden etäisyys ajoradan reunasta oli 5 m.

Taulukossa 1 on esitetty eri kohteiden nykytilan ja skenaarioiden oletukset. Eri ajoneuvojen osuudet kokonaisliikennemäärästä on tarkemmin esitetty liitteessä 1. Taulukossa 2 on esitetty katukuilumallilla mallitettujen kohteiden rakennetta.

Taulukko 1. Nykytilan ja skenaarioiden lyhyt kuvaus, liikennemäärä, raskaan liikenteen osuus sekä suoran typidioksidipäästön osuus kokonaispäästöstä.

Kohde, Käytetty malli	Nimi	Kuvaus	Liikennemäärä	Raskaan liikenteen osuus (%)	NO ₂ -osuus
Hämeentie, Katukuilu	Nykytila	Vuoden 2006 tiedot	17 000	23	16,1
	Vähennys Ha	Henkilöautot -30 %, liikenne sujuvaa	13 500	30	16,1
	NO _x -muutos	Nykytilaan verrattuna: Kokonais-NO _x -12 %, suoran NO ₂ osuus 20 %	15 000	23	20
	Kalusto	Bussit: Kaasu 50 %, Biodiesel 50 %	17 000	23	15,8
	Ruuhka	Henkilöautot * 2, pakettiautot + 10 %, liikenne ruuhkautuu	29 000	14	15,9
Teollisuuskatu, Katukuilu	Nykytila	Vuoden 2006 tiedot, tulevaisuuden katurakenne	30 000	8	14,7
Unioninkatu, Katukuilu	Nykytila	Vuoden 2006 tiedot	12 000	7	14,2
	Bussiton	Ei busseja	11 700	4	13,9
	Päästölisäys	Liikennemäärä ja ajoneuvojakauma Kaisaniemenkadun mukainen	12 000	20	15,6
	Kalusto	Sama kuin päästölisäys, mutta bussit: 50 % diesel, 50 % kaasu	12 000	20	15,2
Töölöntulli, Katukuilu	Nykytila	Vuoden 2006 tiedot	48 000	10	15,1
	Bussiton	Ei busseja	44 500	3	13,8
	Vähennys	Henkilöautot – 30 %, liikenne sujuvaa	36 500	14	14,9
	Kalusto	Bussit: 30 % diesel, 30 % biodiesel, 40 % kaasu	48 000	10	14,7
	Ruuhka	Henkilöautot + 25 %, pakettiautot + 10 %, kaikki bussit dieseleitä, liikenne ruuhkautuu	58 000	9	15,2
Sörnäisten rantatie, Avoin väylä	Nykytila	Vuoden 2006 tiedot	55 000	4	14,8
Kehä I, Avoin väylä	Nykytila	Vuoden 2006 tiedot	100 000	7	13,6
	Kasvu 1	Liikennemäärä kasvaa, liikenne ruuhkautuu	130 000	10	13,6
	Kasvu 2	Liikennemäärä kasvaa, liikenne ruuhkautuu	130 000	10	10,8

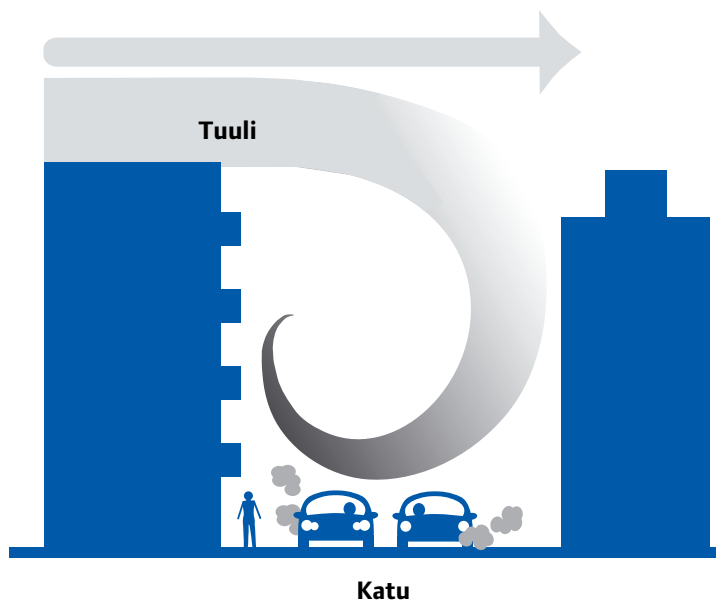
Taulukko 2. Katukuilukohteiden rakenne.

Kohde	Kuvaus	Katukuilun korkeus (m)	Kadun leveys (m)	Korkeus / leveys-suhde
Hämeentie	Leveä katukuilu	26 / 33	32	0,81 / 1,03
Teollisuuskatu	Leveä katukuilu	22 / 30	40	0,55 / 0,75
Unioninkatu	Kapea katukuilu	22	17	1,29
Töölöntulli	Väylä katukuiluna	21	39	0,54

3. Tuloksista yleistä – Päästöt ja pitoisuudet

Työssä käytetyt päästömäärät mallitukseen valituille kohteille nykytilassa sekä erilaisissa skenaarioissa on esitetty kuvassa 4 ja tarkemmin liitteessä 2. Suurimmat päästömäärät olivat Kehä I:llä, Töölöntullissa sekä Sörnäisten rantatiellä.

Vaikka päästöt Kehä I:llä (avoin väylä) olivat huomattavasti suuremmat kuin katukuiluissa, niin pitoisuudet siellä jäivät alhaisemmiksi kuin katukuiluissa. Tämä johtui katukuilujen heikommista sekoitusolosuhteista (kuva 2).



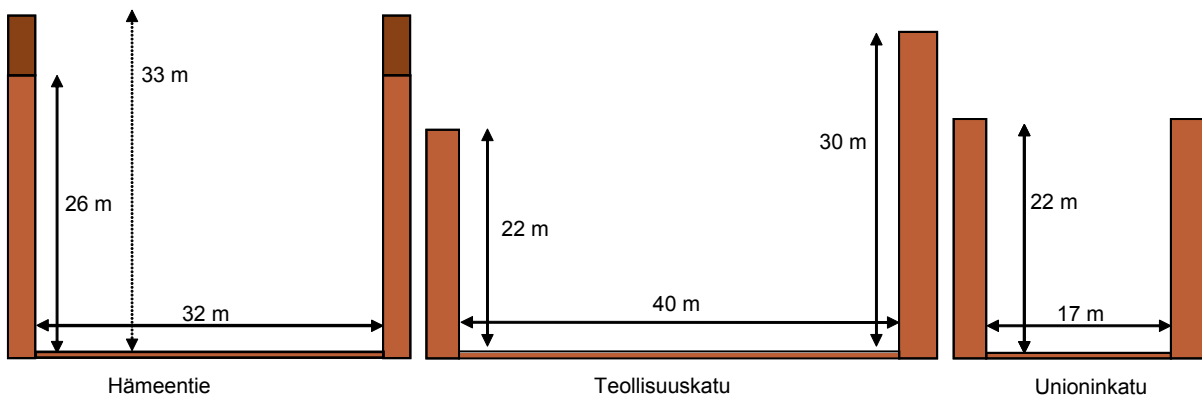
Kuva 2. Katukuilussa päästöjen laimennus on heikentynyt. Lisäksi rakennuseinämään kohtisuoraan osuva tuuli pyörittää seinämää alas ja kerää kadulta päästöt ja pyörittää niitä kadun vastakkaisen puolen seinämää ylöspäin.

Kuvassa 5 on esitetty NO₂-vuosikeskiarvopitoisuudet vuonna 2005. Korkeimmat pitoisuudet saatiin nykytilassa Töölöntullissa katukuilumallia käyttäen. Avoimen väylän malli CAR-FMI laskee suuremmat pitoisuudet kadun pohjoispuolelle kuin kadun eteläpuolelle, kun taas katukuilumallin (OSPM) laskemana pitoisuudet ovat kadun ns. eteläpuolella korkeammat kuin kadun pohjoispuolella. Ero johtuu siitä miten mallit käsittelevät tuulen suunnan ja esteiden vaikutusta pitoisuuksiin. Avoimen väylän mallissa vallitsevien tuulten alapuolella on korkeammat pitoisuudet, koska päästöjen leviämisen ja laimennemisen oletetaan olevan esteetöntä. Katukuilumallissa rakennusten muodostama kuilu aiheuttaa tuulipyörteen, jonka vuoksi katukuilussa pitoisuudet ovat korkeimmillaan vallitsevien tuulten vastakkaisen puolen rakennusten luona (ks. kuva 2 ja luku 4.5). Mallituksen tulosten perusteella vuosiraja-arvo ylittyi molemmiin puolin katua nykytilassa Hämeentiellä ja Töölöntullissa sekä Kehä I:n pohjoispuolella vuonna 2005. Vuonna 2004 edellisten kohteiden lisäksi raja-arvo ylittyi Teollisuuskadun eteläpuolella. Katukuilukohteissa pitoisuuksia mallitettiin eri korkeuksille: 4 m, 10 m ja kattokorkeus. Pitoisuudet olivat korkeimmillaan lähempänä maanpintaa (4 m) ja alhaisimmillaan kattokorkeudella.

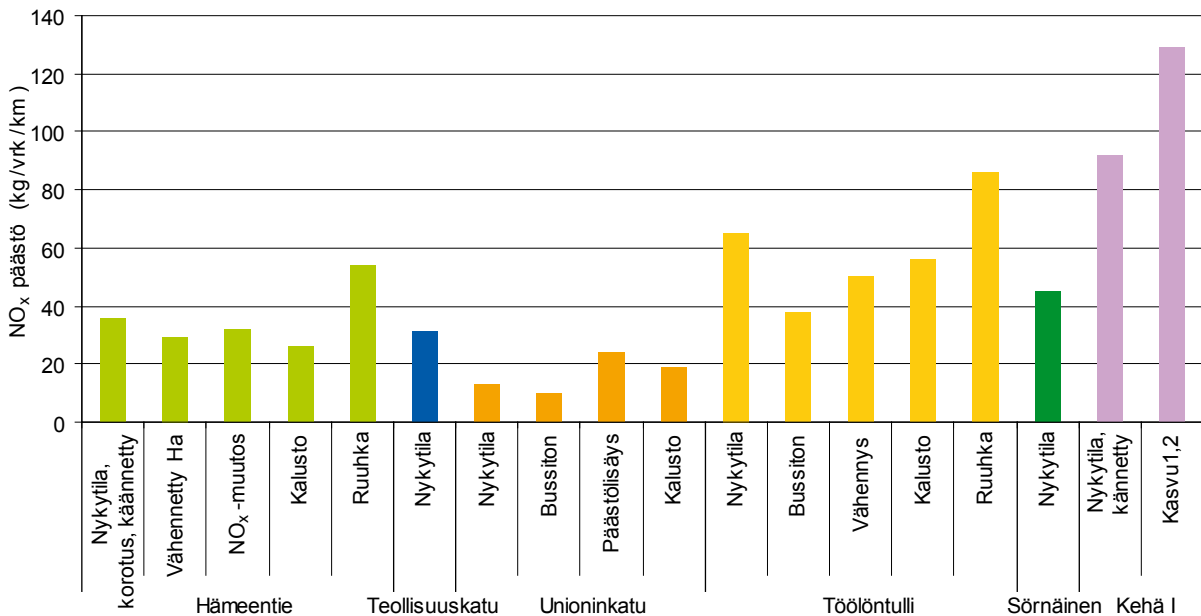
Typidioksidin tuntipitoisuuden raja-arvo on 1.1.2010 jälkeen 200 µg/m³, ja se ylittyi, jos tätä suurempia tuntipitoisuuksia havaitaan yli 18 tuntia vuodessa. Katukuiluissa mallitettu tuntiraja-arvo ei ylittynyt yhdessäkään kohteessa. Sen sijaan avoimen väylän mallilla mallitettuna tuntiraja-arvo ylittyi 5 m etäisyydellä joka kohteessa vuonna 2004 ja myös vuonna 2005 lukuun ottamatta Sörnäisten rantatien länsipuolta (kuva 6).

Kumpikaan mallinnetuista vuosista ei ole sekoittumisolosuhteiltaan erityisen hyvä tai huono. Siten pitoisuudet voivat olla mallitettuja vuosia korkeampia tai alhaisempia myös säätilasta johtuen. Vuonna 2005 pitoisuudet ovat alhaisempia kuin vuonna 2004 (vuositasolla katukuilut: 11–16 %, avoin väylä 2–8 %). Tämä johtui siitä, että vuonna 2004 oli enemmän epäedullisia sääolosuhteita kuin vuonna 2005. Lisäksi katukuilumallituksessa pitoisuudet olivat korkeampia vuonna 2004, koska tällöin puuttuvien lähtötietojen (sää- ja taustapitoisuudet) vuoksi tuloksia saatiin mallitettua vain 80 % vuoden tunteista (vuonna 2005 saatiin mallitettua 92 % vuoden tunteista). Suurin osa puuttuvasta tiedosta osui yöajalle, jolloin pitoisuudet ovat alhaisemmillaan.

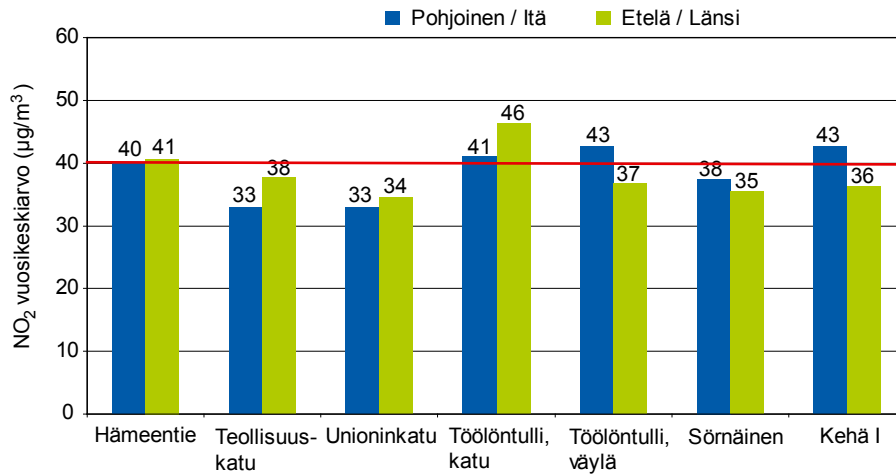
Typidioksiidiin ja typpimonoksidin vuosikeskiarvot ja vuoden 18. suurimmat tuntiarvot eri kohteissa nykytilassa ja eri skenaarioissa on esitetty liitteissä 3 ja 4.



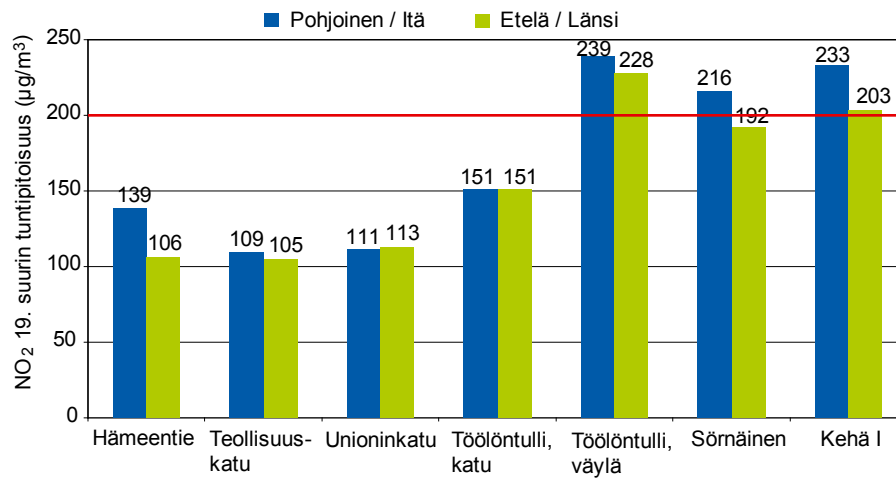
Kuva 3. Mallituksessa käytetyt katukuilujen leveydet ja korkeudet. Töölöntulli on yhtä leveä kuin Teollisuuskatu, mutta Töölöntullissa rakennusten seinämän korkeus (21 m) kummallakin puolella katua on matalampi kuin Teollisuuskadulla.



Kuva 4. Pitoisuuslaskelmissa käytetyt NO_x-päästömäärät nykytilassa ja kohteiden eri päästöskenaarioissa.



Kuva 5. NO₂-vuosikeskiarvot eri kohteissa vuonna 2005 rakennuksen seinämän vieressä (katukuilut) tai 5 m etäisyydellä ajoradan reunasta (avoin väylä).



Kuva 6. NO₂ tuntirajarvoon verrannolliset pitoisuudet.

4. Katukuilujen ja avoimen väylän ilmanlaatumallituksen tulokset

Seuraavaksi tarkastellaan eri mallituskohteiden tuloksia tarkemmin.

4.1 Leveä katukuilu – Hämeentie

Esimerkkinä käytettiin Hämeentien alkupäätä, jossa on myös mitattu YTV:n siirrettävällä mittausasemalla ilmanlaatua vuoden 2005 ajan. NO_2 -pitoisuuden vuosikeskiarvo oli tällöin $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Nykytila. Kohde mallitettiin kadun nykyisellä geometrialla eli kadun leveys oli 32 m ja rakennusten korkeus 26 m (korkeus/leveys suhde 0,81, ks. kuva 3). Liikennemääränä käytettiin vuoden 2006 liikennemäärää ja ajoneuvojakaumaa: yhteensä 17 000 ajoneuvoa vuorokaudessa, bussien osuus kokonaisliikenteestä 20 % (joista 12 % kaasubusseja). Henkilöautoista dieselajoneuvoja oletettiin olevan 22 %. Typpidioksidin suoran päästön osuus kokonaistypenoksideista oletettiin olevan 16 % (NO_2/NO_x -suhde). Liikenteen keskimääräisen matkanopeuden oletettiin olevan n. 33 km/h. Matkanopeus vaihteli ruuhka-ajan 20 km/h ja sujuvan liikenteen 40 km/h välillä vuorokauden ajasta riippuen.

Kadun rakennusten korotus (Korotus). Liikenteen määrä, ajoneuvojakauma ja nopeus olivat sama kuin nykytilassa. Rakennuksia korotettiin 5 metrillä 33 metriin, jolloin korkeus/leveys suhteeksi tuli 1,03 (ks. kuva 3). Päästö määrä oli sama kuin nykytilassa.

Kadun kääntäminen 90 ° (Käännetty). Muuten kadun geometria sekä liikenteen määrä, ajoneuvojakauma ja nopeus olivat samat kuin nykytilassa. Päästö määrä oli sama kuin nykytilassa.

Henkilöautojen vähennys (Vähennys ha). Skenaariossa henkilöautoliikennettä vähennettiin 30 %. Liikenteestä tuli tällöin sujuvaa eli nopeuden oletettiin olevan koko ajan 40 km/h. Kadun geometria, muun liikenteen määrä ja ajoneuvojakauma pidettiin samana kuin nykytilassa. Nykytilaan verrattuna päästöt olivat n. 20 % pienemmät.

Typen oksidien päästön vähennys ja NO_2 -osuuden muutos (NO_x -muutos). Skenaariossa typen oksidien (NO_x) päästö määrää vähennettiin 12 %, mutta suoran typpidioksidin päästöosuus oletettiin olevan suurempi kuin nykytilassa eli NO_2/NO_x suhde oli 20 %. Kadun geometria oli sama kuin nykytilassa.

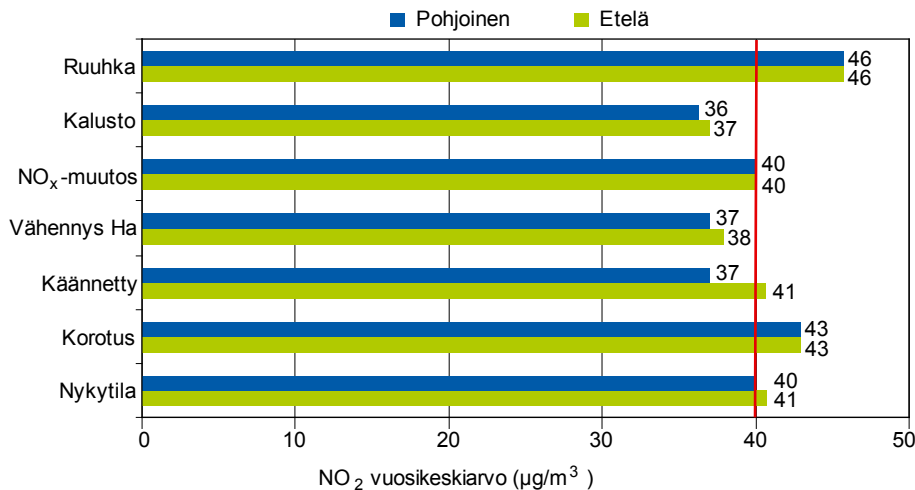
Vähäpäästöisemmät bussit (Kalusto). Skenaariossa bussikalustosta 50 % oletettiin olevan kaasubusseja sekä 50 % biodieselbusseja. Muuten käytettiin samoja oletuksia kuin nykytilassa. Nykytilaan verrattuna päästöt olivat n. 28 % pienemmät.

Liikennemäärän lisäys (Ruuhka). Skenaariossa oletettiin henkilöautojen lukumäärän kaksinkertaistuvan (eli n. 23 000 ajoneuvoa vuorokaudessa), pakettiautojen määrän oletettiin lisääntyvän 10 %. Tämän seurauksena liikenne ruuhkautuu ja matkanopeudet laskevat ruuhka-aikana 10 km/h. Muuten käytettiin samoja oletuksia kuin nykytilassa. Nykytilaan verrattuna päästöt olivat n. 50 % suuremmat.

Tulokset

Typpidioksidin raja-arvo ylittyy kaikissa tarkastelluissa tilanteissa 4 metrin korkeudella maan pinnasta, kun käytetään vuoden 2004 sääolosuhteita. Sen sijaan vuoden 2005 sääolosuhteissa henkilöautojen vähennyttyä 30 %, (Vähennys ha) ja parannettaessa bussikalustoa (Kalusto) päästiin raja-arvotason alapuolelle kummallakin puolella katua, sekä pohjoispuolella Hämeentietä, kun katukuilua on käännet-

ty 90° nykytilaan verrattuna (Käännetty) (kuva 7). Kattokorkeudella pitoisuudet olivat samalla tasolla kummallakin puolella katua eri skenaarioissa. Pitoisuudet olivat kuitenkin kattotasolla 12–30 % Kallion kaupunkitausta-aseman vuosikeskiarvoa korkeampia. Korkein pitoisuus kattotasolla saatiin, kun katua oli korotettu.



Kuva 7. NO₂-vuosikeskiarvot Hämeentiellä (leveä katukuilu) vuonna 2005 (nykytilanne) sekä eri skenaarioissa 4 metrin korkeudelle laskettuna Korkeimmat pitoisuudet saatiin ruuhkaskenaariolla (ruuhka) sekä korottamalla kadun rakennusten korkeutta (korotettu).

Korotus. Kadun korottaminen eli sen tekeminen kapeammaksi katukuiluksi nostaa pitoisuuksia n. 6 % (vertaa Nykytila ja Korotettu).

Käännetty. Katukuilussa on tyypillistä, että rakennusseinämään kohtisuoraan osuva tuuli pyörtää rakennusseinämää pitkin alas ja kerää kadulta päästöt ja pyörtää ne kadun vastakkaisen puolen seinämää pitkin ylöspäin. (kuva 2). Pääkaupunkisedulla vallitsevien tuulien suunnat ovat lännen-lounaansuuntaisia Tarkasteltava katuosuus on tällä kohdalla suunnilleen lounas-koillisuuntainen eli se on lähes vallitsevien tuulten suuntainen. Siten katukuilussa ei ole havaittavissa kovinkaan suurta eroa kadun pohjois- tai eteläpuolen pitoisuuksissa (pitoisuudet hieman korkeampia eteläpuolella). Sen sijaan kun katua käännetään 90 astetta, huomataan pitoisuuksien olevan noin 10 % korkeampia kadun eteläkuin pohjoispuolella.

Vähennys_ha. Henkilöautoliikenteen vähentäminen 30 %:lla, alentaa pitoisuuksia 6–7 % nykytilanteeseen verrattuna ja kohteessa päästiin alle raja-arvotason kumpanakin mallitusvuotena. Koska kyseisellä kadulla on paljon raskasta liikennettä, niin kokonaisliikennemäärä väheni hieman vähemmän (kokonaisuutena ajoneuvojen määrä väheni 20 %).

NO_x_muutos. Vaikka typen oksidien päästöjä vähennettiin 12 %:lla, niin suoran NO₂:n osuuden kasvu 16 %:sta 20 %:iin aiheutti sen, etteivät pitoisuudet alentuneet käytännössä lainkaan (0–1 %).

Kalusto. Käyttämällä vähäpäästöisempää polttoainetta ja parempaa kalustoa voidaan pitoisuuksiin vaikuttaa merkittävästi etenkin kaduilla, joissa on paljon raskasta liikennettä. Raskaan liikenteen kalustoa parantamalla ja käyttämällä vähäpäästöisiä polttoaineita pitoisuudet alenevat selvästi kohteessa verrattuna nykytilanteeseen (9 %).

Ruuhka. Henkilöautoliikenteen määrän kaksinkertaistaminen ja pakettiautojen määrän lisääminen, kasvattaa päästöjä 50 %. Tämän seurauksena typpidioksidin pitoisuudet kasvoivat 13–14 %. Kokonaisliikennemäärä kasvoi kaiken kaikkiaan 68 % ja sen seurauksena liikenteen sujuvuus heikentyi merkittävästi.

Vertailu mittaustuloksiin. YTV:n jatkuvatoiminen mittausasema sijaitsi samalla paikalla vuonna 2005 kuin mallitusten etelänpuoleinen piste. Mitattu vuosikeskiarvo (46 µg/m³) oli 12 % suurempi kuin sa-

malle vuodelle mallitettu vuosipitoisuus ($41 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Vuonna 2006 samalla paikalla kummallakin puolella katua mitattiin typpidioksidin pitoisuuksia passiivikeräimillä. Tällöin kadun eteläpuolella vuosikeskiarvo oli $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja pohjoispuolella $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Mitattujen pitoisuuksien välinen ero kadun eri puolilla (2,7 %) oli samaa tasoa kuin mallittamallakin saatu ero (1,4 %).

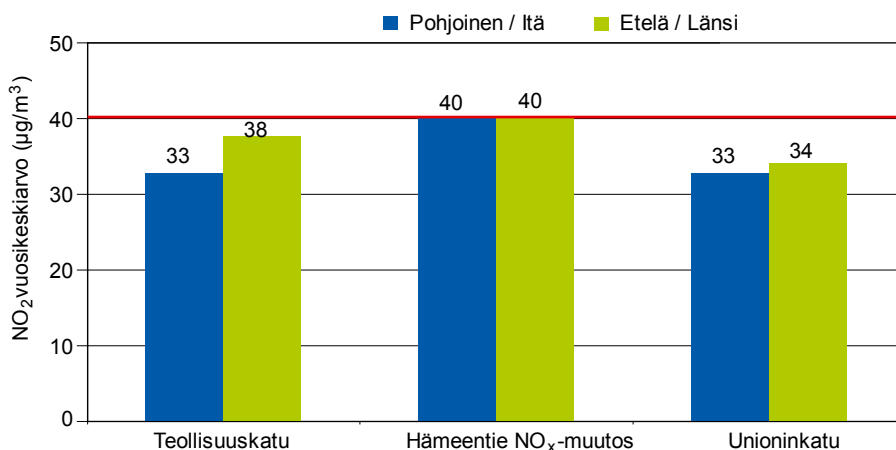
4.2 Erittäin leveä katukuilu – Teollisuuskatu

Esimerkkinä käytettiin Teollisuuskadun tulevaa rakennetta. Kadun leveys tulee olemaan 40 m ja rakennusten yleiskorkeus 22 m, kuitenkin kadun eteläpuolella suurin osa rakennuksista tulee olemaan 30 metriä korkeita (ks. kuva 3). Korkeuden ja leveyden välinen suhde siis vaihteli 0,55 ja 0,75 välillä.

Nykytila. Liikennemääränä käytettiin Teollisuuskadun tulevaa liikennemäärää (30 000 ajoneuvoa vuorokaudessa). Raskaan liikenteen osuus koko liikennemäärästä oletettiin olevan sama kuin vuonna 2006 eli 8 %. Bussien osuus kokonaisliikennemäärästä oli 1,5 % ja ne olivat kaikki kaibusseja. Keskimääräinen matkanopeus oletettiin olevan 31 km/h.

Tulokset

Kadun eteläpuolella raja-arvotaso ylittyi vuonna 2004. Vuonna 2005 pitoisuudet jäivät kummallakin puolella katua raja-arvoa alhaisemmaksi.



Kuva 8. NO₂ vuosikeskiarvot vuonna 2005 Teollisuuskadulla (erittäin leveä katukuilu), Hämeentie (leveä katukuilu) ja Unioninkatu (kapea katukuilu). Teollisuuskadulla ja Hämeentien skenaariossa päästöt olivat samaa luokkaa, kun taas Unioninkadun päästöt olivat n. 40 % Teollisuuskadun päästöistä.

Typenoksidien päästömäärä Teollisuuskadulla oli sama kuin Hämeentien NO_x-muutos -skenaariossa (32 kg/vrk/km) ja toisaalta selkeästi suurempi kuin Unioninkadulla nykytilassa (13 kg/vrk/km). Pitoisuudet jäivät kuitenkin selvästi alhaisemmaksi kuin Hämeentien NO_x-muutos -skenaariossa ja olivat vain hieman korkeampia kuin Unioninkadulla (kuva 8). Teollisuuskadun rakenne on avoimempi ja sen takia sekoittumisolosuhteet ovat paremmat kuin Hämeentiellä tai Unioninkadun katukuiluissa (ks. kuva 3).

4.3 Kapea katukuilu – Unioninkatu

Esimerkkinä kapeasta katukuilusta käytettiin Unioninkatua. Kadun leveys oli 17 m ja rakennusten korkeus 22 m (korkeus/leveys suhde 1,29, ks. kuva 3). Keskimääräinen matkanopeus oli 27 km/h. Unioninkadulla mitattiin ilmanlaatua YTV:n jatkuvatoimisella mittausasemalla vuoden 2007 ajan. Tällöin typpidioksidin vuosikeskiarvo oli $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Nykytila. Liikennemäärä oli vuoden 2006 keskimääräinen arkivuorokauden liikennemäärä eli 12 000 ajoneuvoa vuorokaudessa. Raskaan liikenteen osuus kokonaisliikennemäärästä oli 6,6 % ja bussien

osuus 2,3 % ja kaikki bussit olivat dieselbusseja.

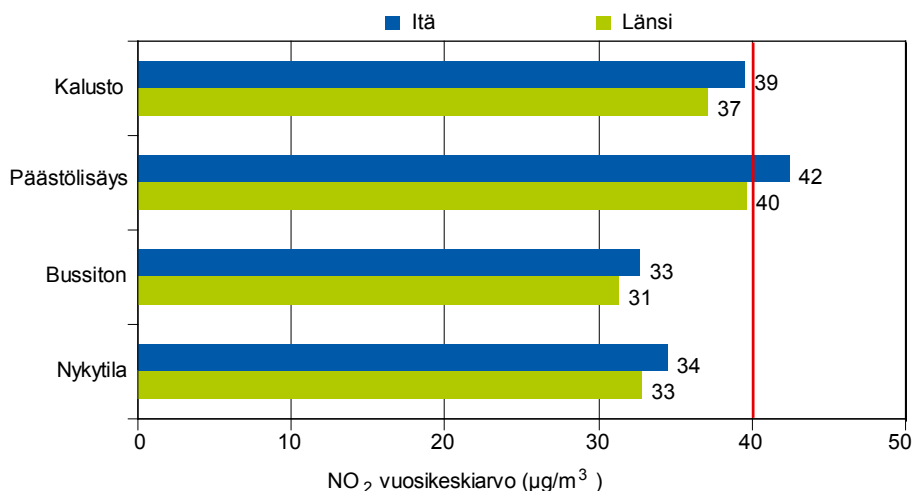
Nykytila ei busseja (Bussiton). Liikennemäärä oli 11 700 ajoneuvoa. Raskaan liikenteen osuus kokonaisliikennemäärästä oli 4 %. Tällöin päästöt olivat 18 % pienemmät kuin nykytilassa.

Päästölisäys. a) Liikennemäärä ja ajoneuvojakauma oletettiin Kaisaniemenkadun vuoden 2006 mukaiseksi. Arkivuorokauden liikennemäärä oli 12 000 ajoneuvoa vuorokaudessa ja keskimääräinen matkanopeus 27 km/h. Raskaan liikenteen osuus kokonaisliikennemäärästä oli 20 % ja bussien osuus kokonaisliikennemäärästä 17,4 %. Busseista 3,4 % on kaasubusseja. Näillä oletuksilla NO_x-päästömäärä lisääntyi nykytilaan verrattuna 88 %. **b)** Samaan päästömäärälisäykseen päästään myös Unionikadun ajoneuvojakaumalla liikenteen määrän kasvaessa 22 500 ajoneuvoon vuorokaudessa. Tällöin tosin ei oteta huomioon ruuhkautumisesta aiheutuvaa päästölisää.

Päästölisäys, mutta vähäpäästöisempiä busseja (Kalusto). **a)** Liikennemäärä ja ajoneuvojakauma olivat samoja kuin päästölisäys -skenaariossa, mutta bussikalustosta 50 % oli dieselbusseja ja 50 % kaasubusseja. NO_x-päästömäärä on 54 % suurempi kuin Unioninkadun nykytilassa. **b)** Samaan päästömäärän päästään myös Unioninkadun ajoneuvojakaumalla ajoneuvojen lukumäärän ollessa 18 500 ajoneuvoa vuorokaudessa, jos ruuhkautumisesta aiheutuvaa päästölisää ei oteta huomioon.

Tulokset

Nykyisellä liikennemäärällä ja päästötasolla kapean katukuilun pitoisuustaso ei ylittänyt raja-arvoa. Liikennemäärän kasvaessa tai päästömäärän kasvaessa ajoneuvokannan rakenteen muuttumisen myötä raja-arvo ylittyi.



Kuva 9. Typpidioksidin vuosikeskiarvot Unioninkadulla (kapea katukuilu) vuonna 2005 (nykytila) ja eri päästöskenaarioissa.

Bussiton. Bussien poistaminen katukuilusta alensi pitoisuuksia noin 5 %, vaikka niiden osuus kokonaisliikennemäärästä oli vähäinen (2 %).

Päästölisäys. Jos päästömäärää lisätään Unioninkadulla 88 %, niin pitoisuudet kasvavat 20 %. Tähän päädytään joko lisäämällä bussien osuutta 17 %:iin kokonaisliikennemäärästä, tai liikennemäärän kasvaessa 22 500 ajoneuvoon vuorokaudessa. Päästömäärän lisäyksen seurauksena raja-arvo ylittyi kumpanakin vuonna kohteessa.

Kalusto. Jos lisättävät bussit olisivat kalustoiltaan ja polttoaineeltaan puhtaampia, niin raja-arvoa ei ai- van ylitettäisi vuonna 2005. Vuonna 2004 raja-arvo ylittyisi kuitenkin edelleen.

Vertailu mittauksiksiin. Vuonna 2007 mitattu vuosikeskiarvo oli 7 % alhaisempi kuin vuodelle 2004 mallitettu ja 8 % korkeampi kuin vuodelle 2005 mallitettu pitoisuus.

4.4 Levän katukuilun tyyppinen väylä – Mannerheimintie (Töölöntulli)

Esimerkkinä käytettiin Mannerheimintien Töölöntullin kohtaa, jossa tehtiin jatkuvatoimisia mittauksia vuonna 2006. Tällöin vuosiraja-arvo ylittyi vuosikeskiarvon ollessa $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Kadun leveys on 39 m ja rakennusten korkeus 21 m (korkeus/leveys suhde 0,54). Kadun rakenne on samankaltainen kuin Teolisuuskadun tuleva rakenne, mutta hieman sitä avoimempi (ks. kuva 3).

Nykytila. Liikennemääränä käytettiin vuoden 2006 liikennemäärää ja ajoneuvojakaumaa: yhteensä 48 000 ajoneuvoa vuorokaudessa. Raskaan liikenteen osuus kokonaisliikenteestä oli 10 % ja bussien osuus kokonaisliikenteestä 7 %. Keskimääräinen matkanopeus oli 33 km/h.

Nykytila, ei busseja (Bussiton). Liikennemäärä ja ajoneuvojakauma olivat muuten samat, mutta busseja ei ollut lainkaan. Tällöin päästöt olivat 42 % pienemmät kuin nykytilassa.

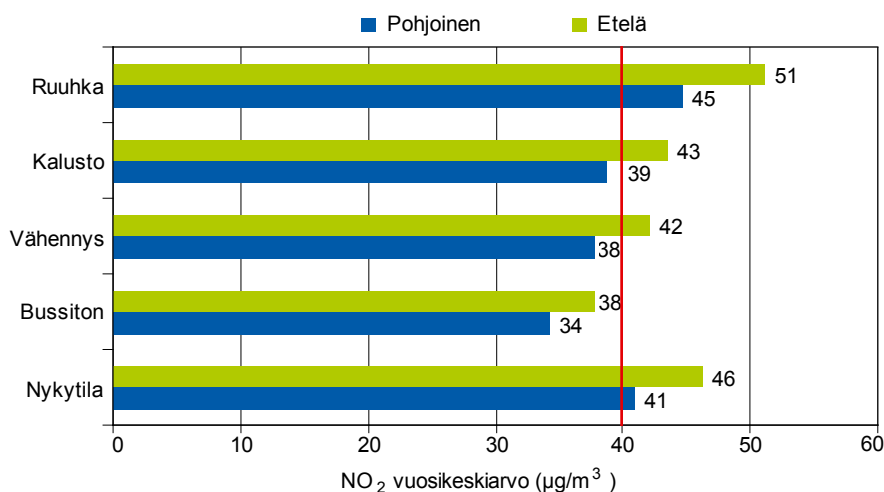
Henkilöautojen vähennys (Vähennys). Henkilöautoliikenteen oletettiin vähentyvän 30 % ja samalla liikenteestä tuli sujuvaa (40 km/h). Muiden ajoneuvojen määrä oli sama kuin nykytilassa. Päästöt olivat 23 % pienemmät kuin nykytilassa.

Vähäpäästöisemmät bussit (Kalusto). a) Busseista 30 % oletettiin olevan dieselbusseja, 30 % biodieselbusseja ja 40 % kaasubusseja. Päästöt olivat 15 % pienemmät kuin nykytilassa. b) Sama päästömäärä saadaan nykytilan ajoneuvojakaumalla olettamalla kokonaisliikennemäärän vähenevän 40 900 ajoneuvoon vuorokaudessa.

Liikennemäärän lisäys (Ruuhka). a) Henkilöautoliikenteen oletettiin kasvavan 25 %, pakettiautojen määrän oletettiin kasvavan 10 % ja kaikkien bussien oletettiin olevan dieselbusseja. Tämän seurauksena liikenne ruuhkautui. Päästöt olivat 31 % suuremmat kuin nykytilassa. b) Sama päästömäärä saadaan nykytilan ajoneuvojakaumalla olettamalla kokonaisliikennemäärän kasvavan 63 000 ajoneuvoon vuorokaudessa.

Tulokset

Sääolosuhteiltaan hankalampana vuotena 2004 raja-arvotaso ylittyi kummallakin puolella katua kaikissa tarkastelluissa tilanteissa. Sen sijaan vuonna 2005 raja-arvotaso ylittyi eteläpuolella katua lähes kaikissa tarkastelluissa tilanteissa (bussitonta skenaariota lukuun ottamatta), mutta pohjoispuolella vain nykytilanteessa sekä ruuhkaskenaariossa (kuva 10).



Kuva 10. Typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuudet vuonna 2005 eri päästövaihtoehdoilla Töölöntullissa leveän katukuilun tyyppisellä väylällä (nykytila alimpana).

Bussiton. Raskaan liikenteen ohjaaminen muille reiteille alentaisi pitoisuuksia noin 16 % nykytilaan verrattuna, eikä raja-arvo ylittyisi.

Vähennys. Vaikka henkilöautojen lukumäärä vähennettäisiin 30 %, niin raja-arvotason alapuolelle ei päästäisi (pitoisuudet alenevat 5–6 %).

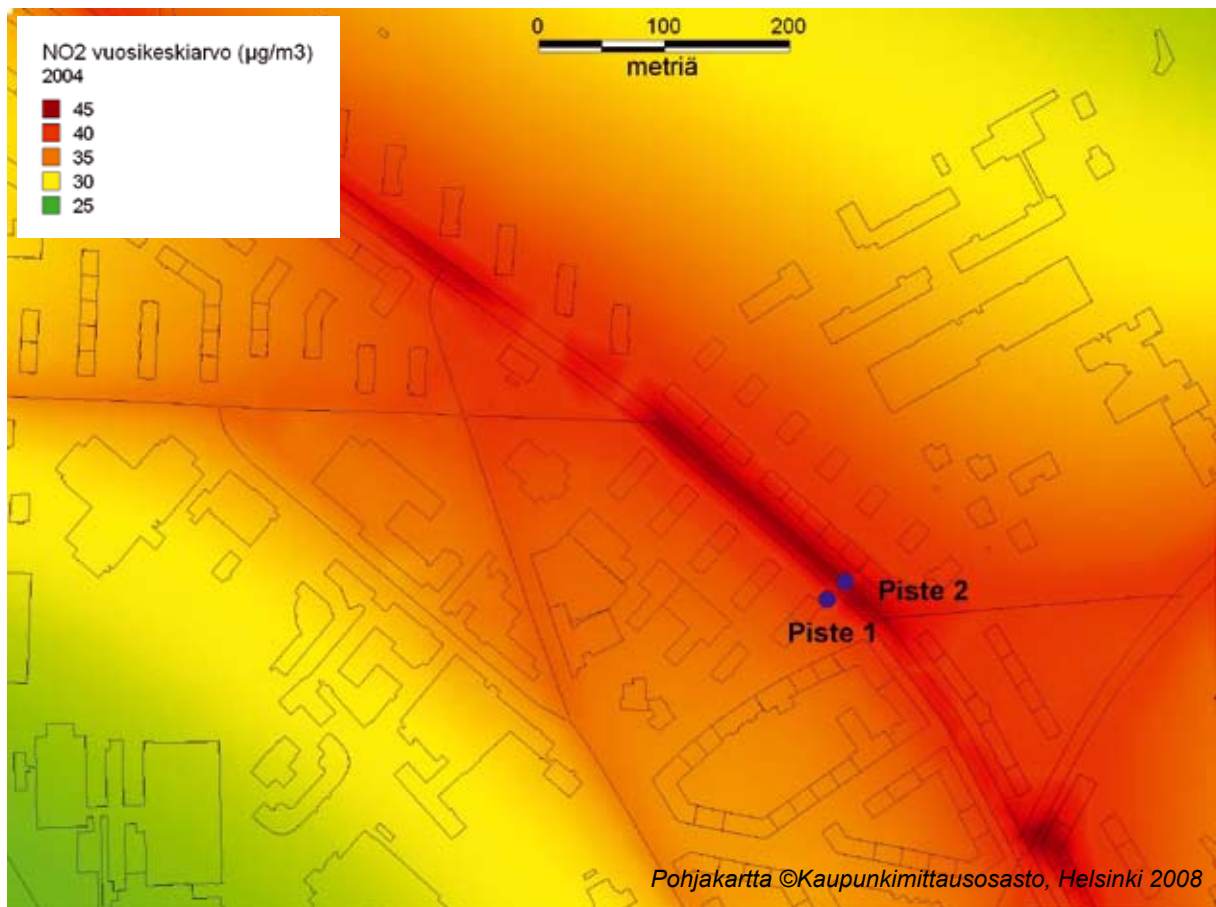
Kalusto. Pelkästään bussikaluston parantamisella ei myöskään päästäisi raja-arvotason alapuolelle. Pitoisuudet alenisivat 5–6 %.

Ruuhka. Jos liikennemäärän annetaan kasvaa nykytilaan verrattuna 31 %, niin pitoisuudet kasvavat 9–10 % ja raja-arvot ylittyisivät erittäin selvästi.

Vertailu mittaustuloksiin. Vuonna 2006 mitattu vuosikeskiarvo oli 12 % alhaisempi kuin vuodelle 2004 mallitettu ja 24 % alhaisempi kuin vuodelle 2005 mallitettu pitoisuus.

4.5 OSPM ja CAR-FMI -mallitulosten vertailu Töölöntullissa

Töölöntulli mallitettiin myös avoimen väylän mallia käyttäen nykytilan päästöillä. Avoimen väylän kohteisiin on otettu noin 1 km x 1 km alueen teiden liikennemäärät ja ajoneuvojakaumat huomioon (kuvasa 11 näkyvät tiet).

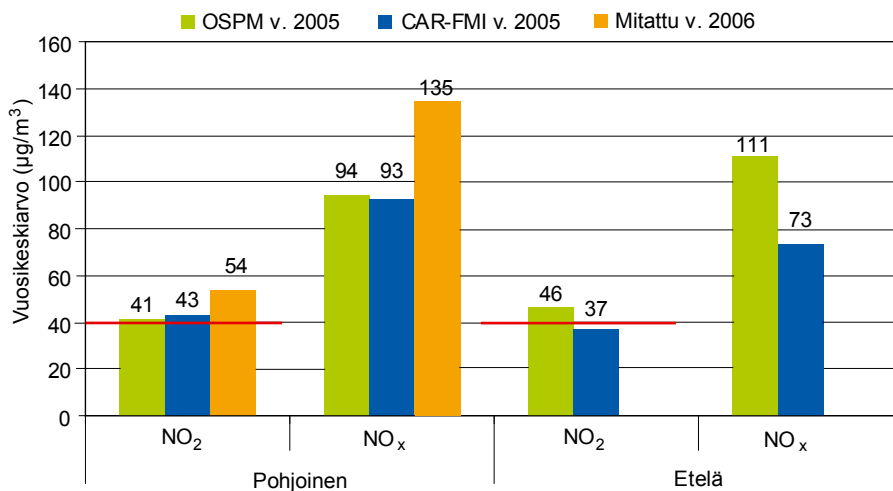


Kuva 11. Typpidioksidin vuosikeskiarvo vuonna 2004 avoimen väylän mallilla laskettuna. Pisteet 1 ja 2 osoittavat pakat, joissa verrattiin katukuilumallin ja avoimen väylän mallin tuloksia. HUOM! Rakennukset on otettu leviämismallissa huomioon ainoastaan rosoisuutena ei varsinaisena esteenä.

Tulokset

Avoimen väylän mallilla korkeimmat pitoisuudet olivat Mannerheimintien välittömässä läheisyydessä sekä vilkkaimmissa risteyksissä (kuva 11).

Kuvassa 12 on esitetty katukuilumallilla (OSPM) ja avoimen väylän mallilla (CAR-FMI) saadut pitoisuudet vuodelle 2005 sekä vertailun vuoksi vuoden 2006 mitattu pitoisuus. Vuonna 2006 mitattu vuosikeskiarvo oli 12 % korkeampi kuin vuodelle 2004 mallitettu ja 24 % korkeampi kuin vuodelle 2005 mallitettu pitoisuus. Töölöntullissa mitatut vuosikeskiarvot ovat erittäin korkeat muihin Helsingin keskustan mittauksiin verrattuna. Töölöntullissa vuonna 2006 mitatut NO ja NO_x -vuosikeskiarvot ovat selvästi sekä OSPM että CAR-FMI -mallin laskemia vuosikeskiarvoja vuosille 2004 ja 2005 korkeammat. Sen sijaan lasketut NO_2 -vuosikeskiarvot eivät aliarvioidu kummallakaan mallilla yhtä suuresti.



Kuva 12. Mitatut ja mallitettut NO_2 ja NO_x vuosikeskiarvot Töölöntullissa.

CAR-FMI laskee suuremmat pitoisuudet kadun pohjoispuolelle kuin kadun eteläpuolelle. Käytetyssä meteorologisessa aineistossa vuosien 2004 ja 2005 vallitsevin tuulen suunta oli lounas, joka selittää CAR-FMI -mallin tuloksen. Kadun ns. pohjoispuoli on vallitsevien tuulten alapuolella väylään nähden, joten pitoisuudet ovat sillä puolella suuremmat. OSPM -mallin tuloksiin vaikuttaa ns. tuulipyörre, joka aiheuttaa katutasolle kattotasoon nähden vastakkaisen tuulen suunnan (ks. kuva 2). Siten OSPM -mallin laskuissa katutason vallitsevin tuulen suunta oli koillinen. Tämä selittää miksi OSPM -mallin laskemana pitoisuudet ovat kadun ns. eteläpuolella korkeammat kuin kadun pohjoispuolella. Lisäksi katukuilumallissa eri vuosien välinen pitoisuuksien vaihtelu on suurempaa kuin avoimen väylän mallilla saadut pitoisuudet.

Mahdollisia tekijöitä laskettujen ja mitattujen pitoisuuksien eroihin ovat mm. kohteen ympäristö, taustapitoisuudet, meteorologinen aineisto sekä päästötiedot. Kohteen ympäristö on kummankin mallin kannalta haasteellinen. Todellisessa katukuilussa esiintyvien tuulipyörteiden lukumäärä riippuu rakennusten ja muiden katukuilussa sijaitsevien esteiden esim. puiden korkeudesta. OSPM -mallissa oletetaan olevan maksimissaan vain yksi tuulipyörre rakennusten korkeudesta ja katukuilun leveydestä riippumatta. OSPM -malli soveltuu tuulipyörreksinkertaistuksen vuoksi parhaiten katukuiluille, joiden korkeuden ja leveyden suhde on lähellä yhtä. Töölöntullissa katukuilun korkeuden ja leveyden suhde on 0,54.

Sitä vastoin CAR-FMI soveltuu käytettäväksi suhteellisen avoimessa ympäristössä, joten korkeat tien vieressä olevat rakennukset eivät välttämättä huomioidu riittävästi mallin tuloksissa.

Taustapitoisuutena käytettiin Kallion mittausaseman pitoisuuksia. Vaikka ne ovat parhaat mahdolliset tiedot taustapitoisuuksista keskusta-alueella, ne voivat olla liian alhaisia käytettäväksi kyseisessä kohdessa, tai meteorologinen aineisto (mm. tuulen suunnan osalta), joka edustaa yleisesti koko pääkaupunkiseutua eikä yksittäistä kohdetta. Lisäksi on huomioitava, että mitattua aineistoa ei ollut mahdollista saada samoille vuosille joille laskennat tehtiin.

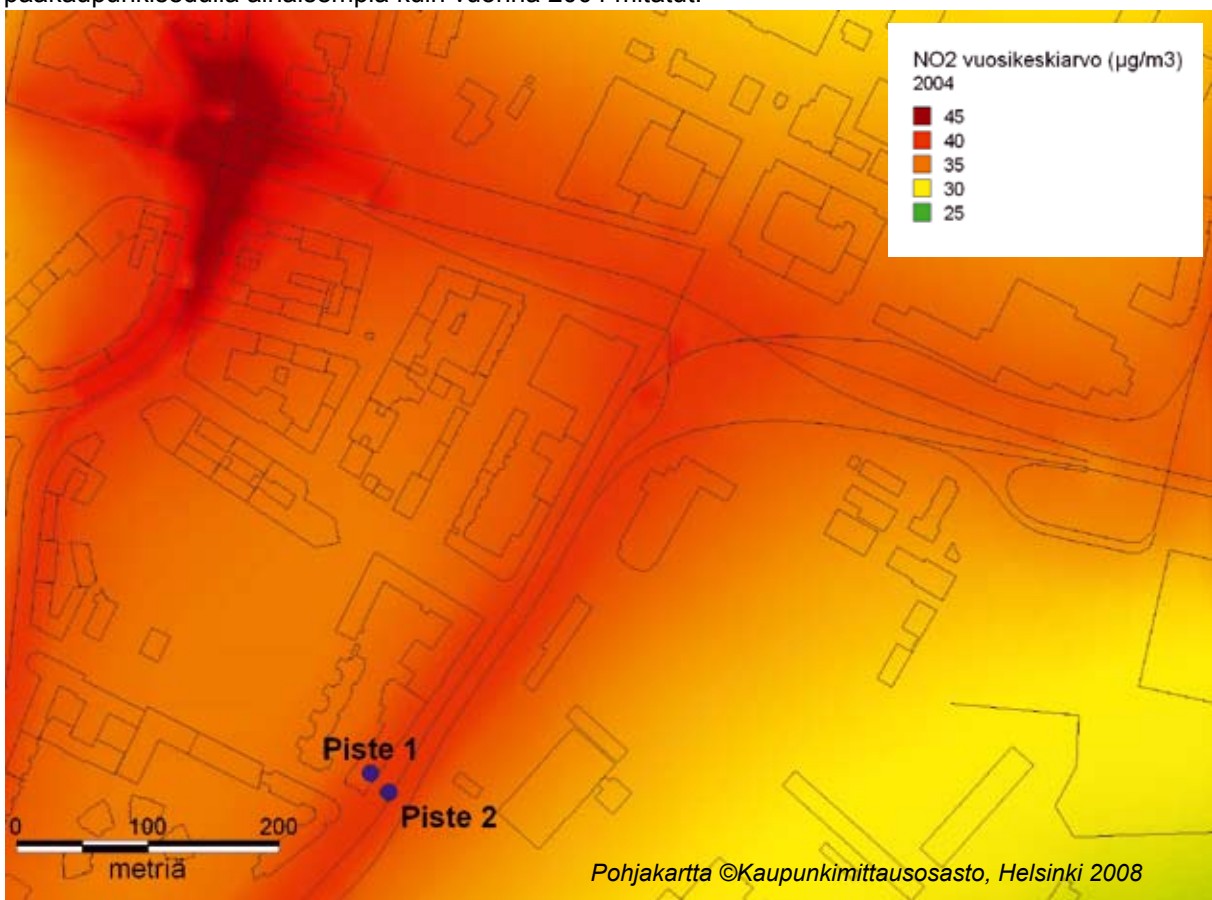
4.6 Avoimen väylän ympäristö – Sörnäisten rantatie

Nykytila. Liikennemäärä nykyinen (55 000 ajoneuvoa vuorokaudessa) pisteiden 1 ja 2 läheisyydessä. Raskaan liikenteen osuus oli 2 % kokonaisliikenteen määrästä. Bussien osuus kokonaisliikennemäärästä 1,2 % ja näistä 32 % oli kaasubusseja. Lisäksi mukaan on otettu 1 km x 1 km alueen teiden liikennemäärät ja ajoneuvojakaumat huomioon (kuvassa 13 näkyvät tiet).

Tulokset

Sörnäisten rantatien länsipuolella mallitettu vuosikeskiarvo vuonna 2004 oli $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja itäpuolella hieman tätä korkeampi $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (kuvan 13 pisteet 1 ja 2).

Sörnäisten rantatietä korkeampia pitoisuuksia havaitaan Hämeentien ja Junatien risteyksen lähiympäristössä. Tämä johtuu suuremmasta liikennemäärästä ja suuremmasta raskaan liikenteen osuudesta. Vuonna 2007 mitatut passiivikeräin tulokset olivat selvästi alhaisempia (28 ja $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$) kuin vastaavassa kohdassa vuoden 2004 mallitustuloksissa ($> 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Tosin vuonna 2007 pitoisuudet olivat pääkaupunkisedulla alhaisempia kuin vuonna 2004 mitatut.



Kuva 13. Typpidioksidin vuosikeskiarvo vuonna 2004. HUOM! Rakennukset on otettu leviämismallissa huomioon ainoastaan rosoisuutena ei varsinaisena esteenä.

4.7 Erittäin vilkas avoin väylä – Kehä I Pakila

Esimerkkinä käytettiin Kehä I Pakilan kohtaa, jossa väylän liikennemäärä on suurimmillaan. Samassa paikassa on mitattu suuntaa-antavin mittauksin passiivikeräimillä vuonna 2004.

Nykytila. Liikennemäärä vuoden 2006 mukainen (100 000 ajoneuvoa vuorokaudessa). Raskaan liikenteen osuus on 7 % kokonaisliikennemäärästä ja dieselbussien osuus on 0,9 %.

Liikennemäärä kasvaa (Kasvu 1). Liikennemäärä kasvaa 130 000 ajoneuvoon vuorokaudessa. NO_2/NO_x -suhde 14 %. Tällöin NO_x -päästöt ovat 40 % suuremmat kuin nykytilassa.

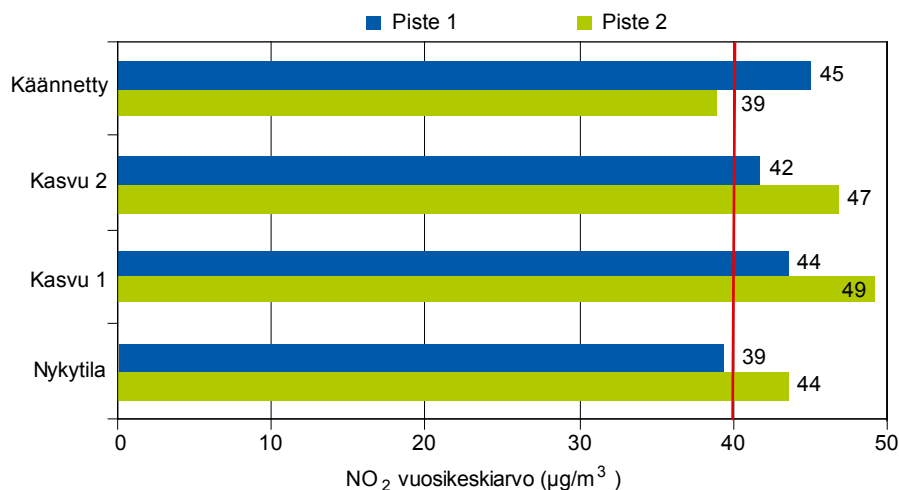
Liikennemäärä kasvaa (Kasvu 2). Liikennemäärä sama kuin edellä, mutta NO_2/NO_x suhde on hieman alhaisempi kuin edellä (kasvu 1) eli NO_2/NO_x -suhde vähennettiin 11 % :iin. NO_x -päästömäärä oli sama kuin skenaariossa Kasvu 1. NO_2 -osuuden väheneminen ei tosin ole todennäköistä, vaan NO_2 -osuus typen oksidien päästöissä tulee lisääntymään tulevaisuudessa.

Tien kääntäminen 90° (Käännetty). Liikennemäärä oli sama kuin nykytilassa, mutta tietä oli käännetty 90 astetta. Tällöin tie vastaa esimerkiksi Tuusulanväylän tai Lahdenväylän rakennetta.

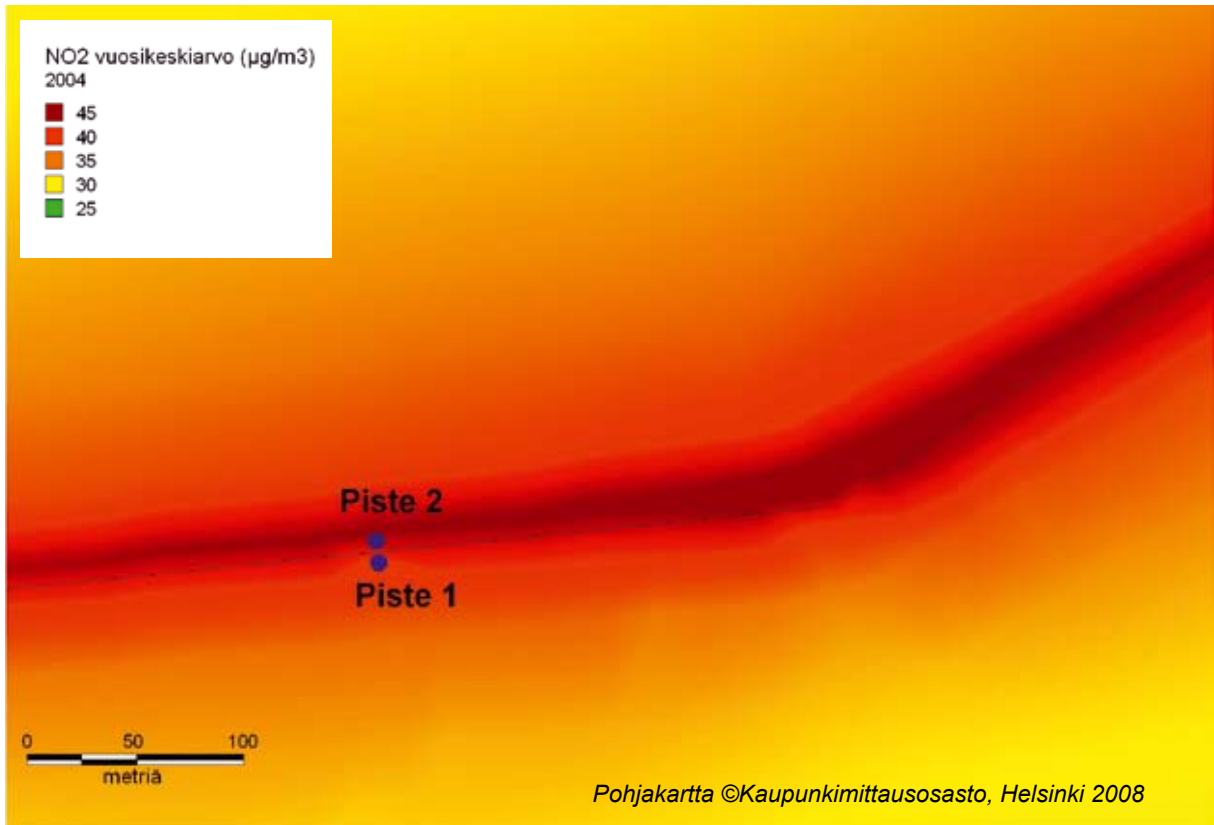
Tulokset

Vuonna 2004 NO_2 -vuosiraja-arvo ylittyi nykytilanteen päästöllä tien pohjoispuolella (Piste 2) sekä liikenteen kasvaessa 130 000 ajoneuvoon ja liikenne ruuhkautuessa (Kasvu 1 ja Kasvu 2) kummallakin puolella tietä (kuva 14). Vuoden 2005 parempien sekoitusolosuhteiden vuoksi vuosiraja-arvo ei ylittynyt tien eteläpuolella nykytilanteessa eikä liikennemäärän kasvaessa suoran NO_2 -osuuden ollessa 11 % (skenaario kasvu 2), mutta muissa kohteissa raja-arvo ylittyi. Jos tie käännetään 90 astetta eli tiestä tulee pohjois-eteläsuuntainen, niin pitoisuudet olivat korkeimmillaan tien itäpuolella (Piste 2) valitsevien tuulten alapuolella ja raja-arvo ylittyi kumpanakin mallitettuna vuonna tien itäpuolella (kuvat 14 ja 17).

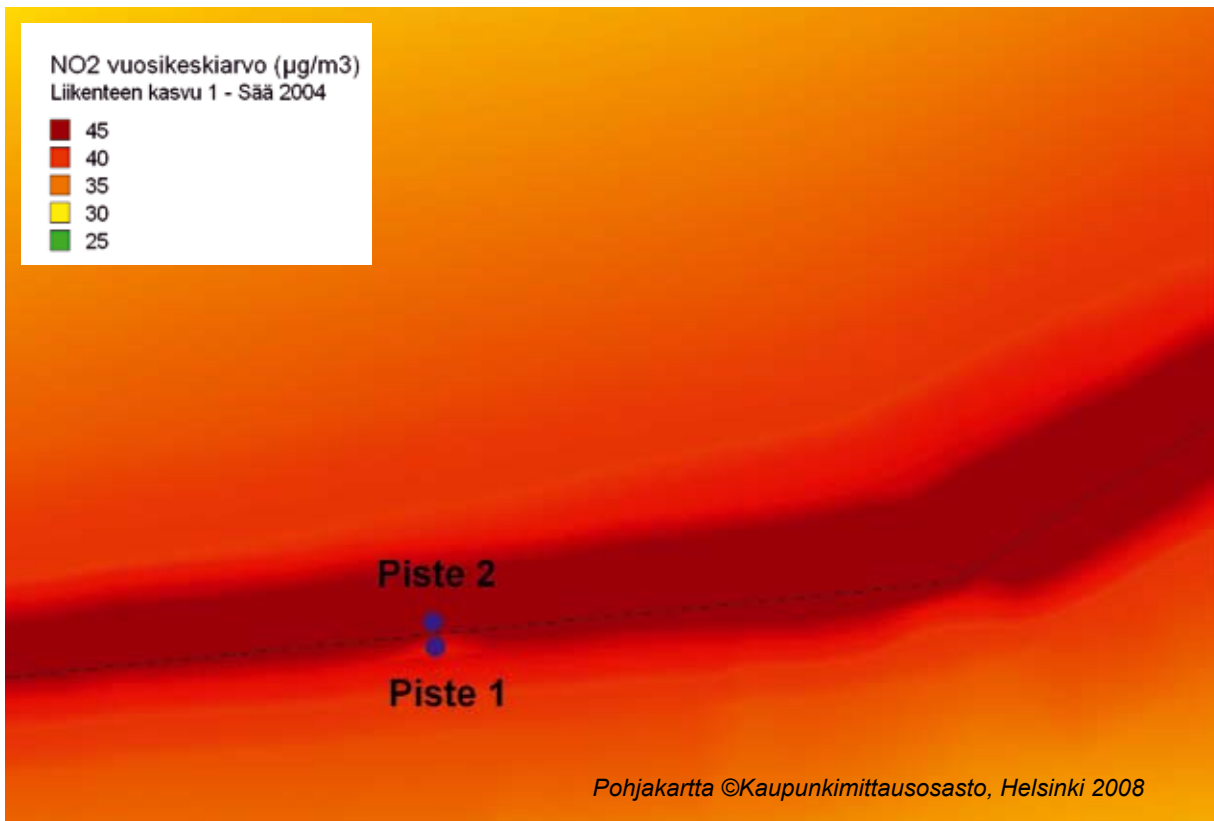
Kun liikennemäärä kasvaa 30 % ja liikenne ruuhkautuu, niin pitoisuudet kasvavat avoimen väylän läheisyydessä 5 m:n ja 10 m:n etäisyydellä tiestä n. 13 % sekä 40 m:n etäisyydellä tiestä noin 9 % (kuvat 15 ja 16). Ruuhkautuneessa tilanteessa alue, jossa typpidioksidin vuosipitoisuus on yli $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kaksinkertaistuu nykytilaan verrattuna.



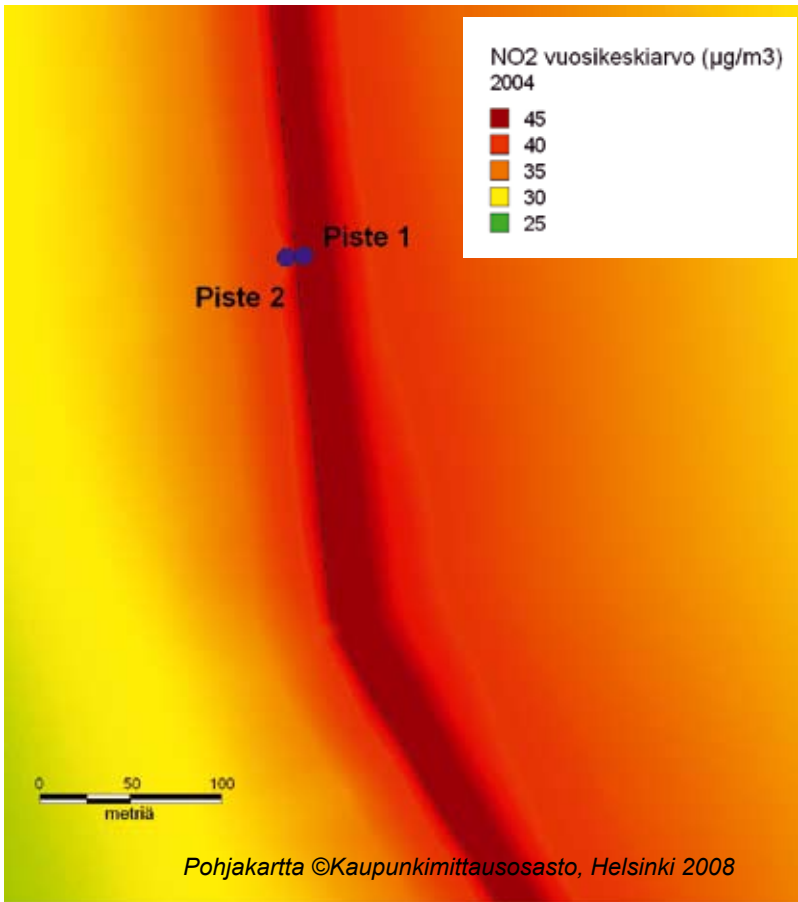
Kuva 14. Typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuudet vuonna 2004 eri päästövaihtoehdoilla sekä tie käännettynä 90° alkuperäiseen tilanteeseen verrattuna. Piste 1 on eteläpuolella tietä ja Piste 2 pohjoispuolella tietä lukuun ottamatta skenaariota käännetty, jossa Piste 1 on itäpuolella tietä ja Piste 2 länsipuolella tietä.



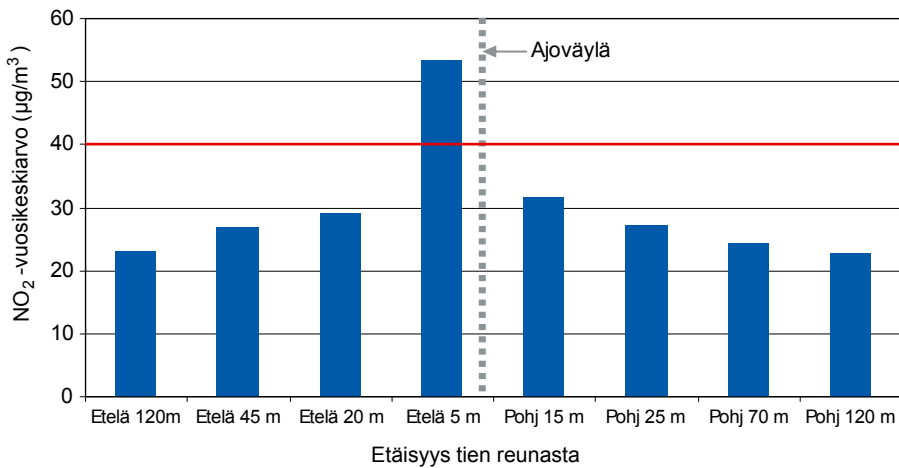
Kuva 15. Typpidioksidin vuosikeskiarvo avoimen väylän ympäristössä vuonna 2004.



Kuva 16. Typpidioksidin vuosikeskiarvo avoimen väylän ympäristössä, kun liikennemäärä on 130 000 ajoneuvoa vuorokaudessa ja liikenne on ruuhkautunut vuoden 2004 säätiedoilla (skenaario kasvu 1).



Kuva 17. Typpidioksidin vuosikeskiarvo vuonna 2004 (skenaario käännetty).



Kuva 18. Typpidioksidin mitatut vuosikeskiarvot Kehä I:llä Pakilassa vuonna 2004.

Vuonna 2004 suunta-antavalla menetelmällä tehdyissä mittauksissa 5 m päässä Kehä I:stä tien eteläpuolella raja-arvotaso ylittyi (Malkki & Kousa, 2005). Vuosikeskiarvo oli tällöin 53 µg/m³ (kuva 18). Pohjoispuolella tietä lähin piste sijaitsi 15 m:n etäisyydellä ja sen pitoisuus oli selvästi raja-arvotason alapuolella: 32 µg/m³. Mallituksessa pitoisuudet olivat alhaisempia lähellä tietä kuin mitatut ja lisäksi korkeampia tien pohjoispuolella eikä eteläpuolella (avoimen väylän mallilla pitoisuudet ovat korkeampia siellä puolella väylää, joka on vallitsevien tuulten alapuolella, ks. luku 4.5). Eteläpuolella n. 5 m tiestä mallitettu vuosikeskiarvo vuonna 2004 oli 39 µg/m³ ja pohjoispuolella 43 µg/m³, 40 m etäisyydellä tiestä tien eteläpuolella pitoisuus oli 36 µg/m³ ja pohjoispuolella 38 µg/m³. Mallituksessa ei ole voitu huomioida melusteiden ja maaston muotojen vaikutusta pitoisuuksiin.

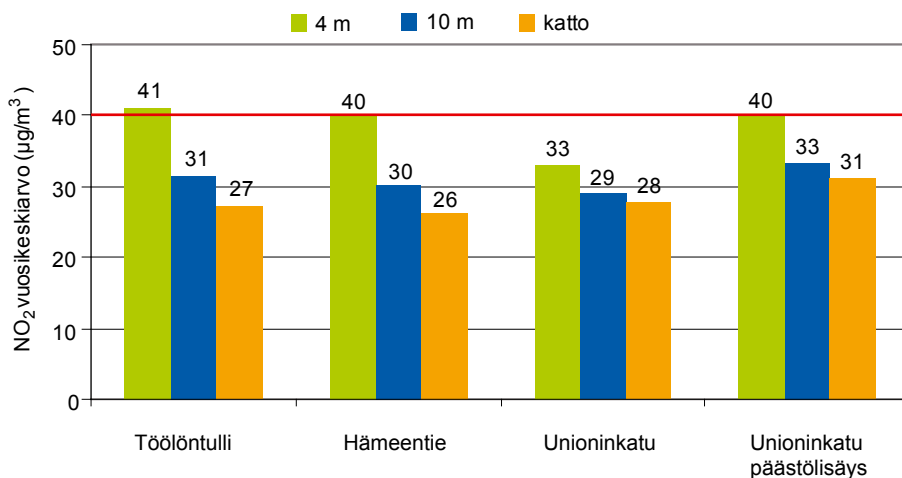
4.8 Korkeuden vaikutus typpidioksidin pitoisuuksiin katukuiluissa

Katukuiluissa pitoisuudet mallitettiin kolmelle eri korkeudelle (4 m, 10 m ja kattokorkeus) kummallekin puolelle katua.

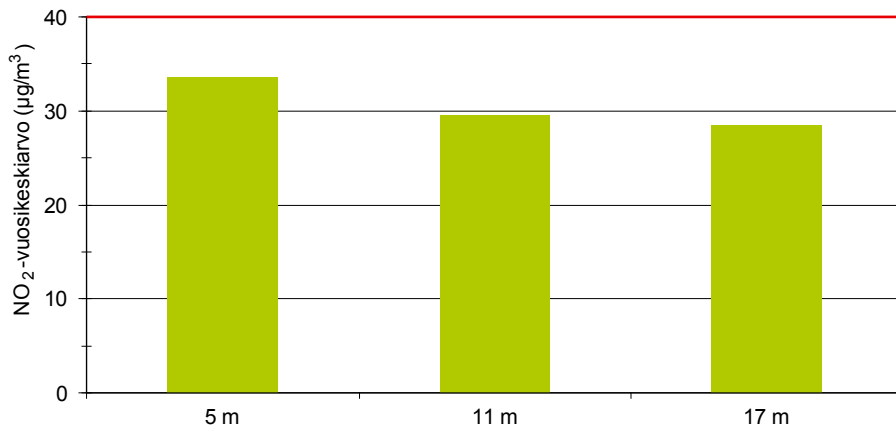
Leveässä katukuilussa, kuten Hämeentiellä, typpidioksidipitoisuudet olivat 10 metrin korkeudella 20 %–25 % alhaisempia kuin 4 metrin korkeudella (liite 3). Kattotasolla pitoisuudet olivat 28 %–41 % alhaisempia kuin 4 metrin korkeudella. Pitoisuudet olivat ylempänä kummallakin puolella katua samansuuruisia.

Kapeassa katukuilussa päästöjen laimeneminen on heikentynyt myös ylöspäin mentäessä. Typpidioksidin pitoisuudet olivat 10 metrin korkeudella 16 % ja kattotasolla 21 % alhaisempia kuin 4 metrin korkeudella. Esimerkiksi Unioninkadun päästölisäys -skenaariossa pitoisuus ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) oli sama 4 metrin korkeudella kuin Hämeentiellä (kuva 19). Kuitenkin 10 metrin korkeudella Unioninkadun päästölisäys-skenaariion pitoisuus ($33 \mu\text{g}/\text{m}^3$) oli korkeampi kuin Hämeentiellä ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Myös kattotasolla pitoisuus oli korkeampi Unioninkadun skenaariossa kuin Hämeentiellä. Tosin kattotaso on Hämeentiellä korkeammalla (26 m) kuin Unioninkadulla (21 m).

Mittauksissa pitoisuuden alentuminen korkeuden kasvaessa on havaittu vähäisemmäksi kuin mallituksissa saaduissa tuloksissa. Runeberginkadun katukuilussa mitattiin 5 metrin, 11 metrin ja 17 metrin korkeuksilla kadun pinnasta typpidioksidin pitoisuuksia passiivikeräimillä vuonna 2004 (Malkki ja Kousa, 2005). Liikennemäärä oli tuolloin noin 23 100 ajoneuvoa vuorokaudessa. 5 metrin korkeudella typpidioksidin vuosikeskiarvo oli $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (kuva 20). Pitoisuudet alenivat ylöspäin mentäessä: 11 metrin korkeudella typpidioksidipitoisuus oli $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (pitoisuus vähentynyt 12 % 5 metrin tasosta) ja 17 metrin korkeudella $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (pitoisuus vähentynyt 15 % 5 metrin tasosta). Runeberginkatu on noin 24 metriä leveä ja katua ympäröivät rakennukset ovat 23 metriä korkeita eli katukuilu on hyvin samanlainen kuin skenaario, jossa Hämeentien rakennuksia oli korotettu. Katujen suuntautuminen tosin on erilainen. Hämeentie on länsi-itäsuuntainen ja Runeberginkatu pohjois-eteläsuuntainen. Hämeentien korotettuna -skenaariossa 10 metrin korkeudella pitoisuudet olivat 22 % alhaisemmat kuin 4 metrin korkeudella ja 33 metrin korkeudella 32 % alhaisemmat (liite 3).



Kuva 19. Typpidioksidin pitoisuudet eri korkeuksilla eri katukuilukohdeissa.



Kuva 20. Runebergin-kadulla tehdyt passiivikeräinmittausten typpidioksidin vuosikeskiarvot vuonna 2004 eri korkeuksilla kadun pinnasta.

4.9 NO₂/NO_x -suhteen muuttumisen vaikutus ilmanlaatuun katukuilussa

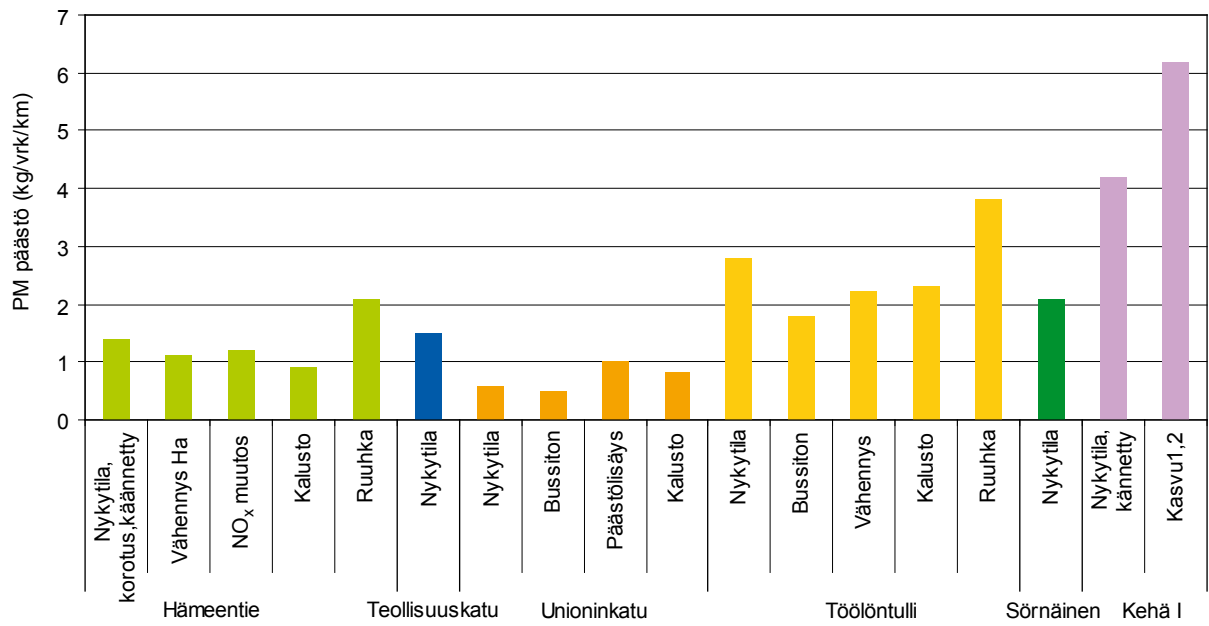
Autokannan muuttuessa dieselvaltaisemmaksi suoran typpidioksidipäästön osuus tulee kasvamaan kokonaispäästöistä. Tämän takia leveässä katukuilussa (Hämeentie) tarkasteltiin NO₂/NO_x -suhteen muutosta nykytilan liikennemäärällä.

NO₂ pitoisuudet laskettiin kolmella eri NO₂/NO_x -suhteella, jotka olivat 16 %, 25 % ja 35 %.

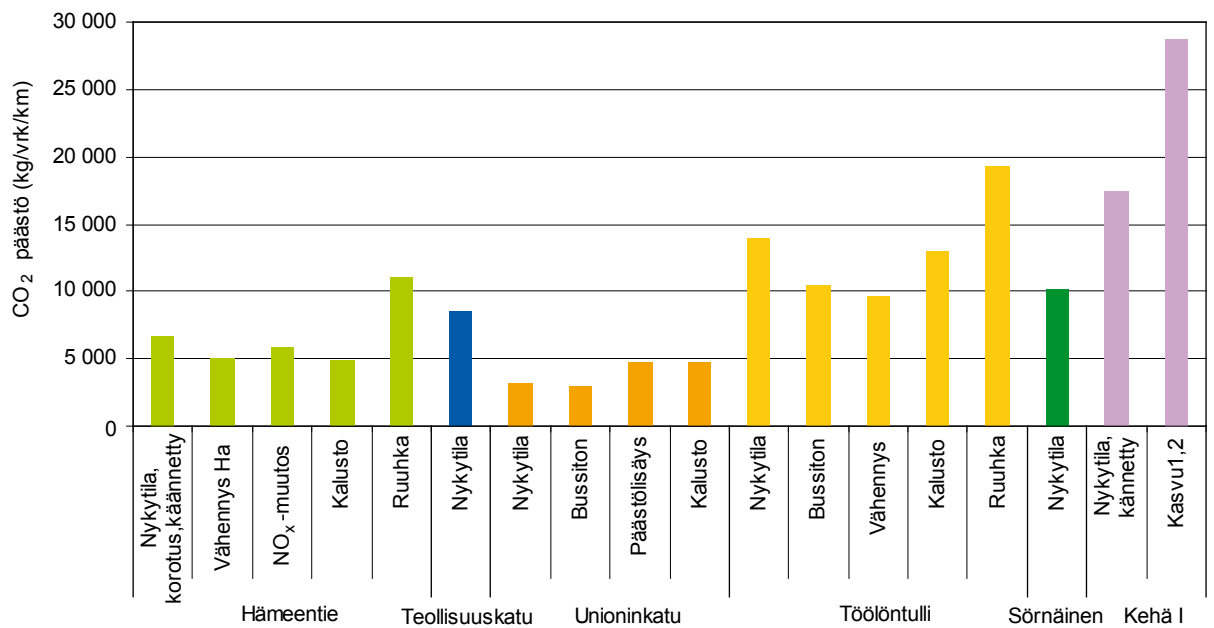
Tuloksena voidaan todeta, että NO₂ vuosikeskiarvot ovat 4 metrin korkeudella noin 9 % suuremmat, 10 metrin korkeudella noin 4 % suuremmat, ja kattokorkeudella (26 metriä) noin 2 % suuremmat, kun NO₂/NO_x -suhde muutetaan noin 10 prosenttiyksikköä suuremmaksi (16 % → 25 % ja 25 % → 35 %). NO₂ vuosiraja-arvo ylittyi kaikilla NO₂/NO_x -suhteilla 4 metrin korkeudessa kummallakin puolen katua kumpanakin laskentavuonna. Muilla laskentakorkeuksilla vuosiraja-arvo ei ylittynyt.

4.10 Hiukkas- ja hiilidioksidipäästöt

Leviämislaskelmia varten laskettiin typenoksidipäästöt eri kohteiden nykytiloille ja skenaarioille. Samalla laskettiin myös hiukkaspäästöt ja hiilidioksidipäästöt (kuvat 21 ja 22, liite 2, päästökertoimet liite 5). Hiukkaspäästöissä on mukana ainoastaan suorat pakokaasuperäiset hiukkaspäästöt. Ajoneuvojen tiestä ilmaan nostattamia hiukkasia (resuspensio) tai jarruista ja renkaista peräisin olevia hiukkasia ei ole tässä työssä arvioitu. Hiilidioksidipäästöt ovat suoraan verrannollisia polttoaineen kulutukseen. Tämän vuoksi suurimmat hiilidioksidipäästöt saatiin Kehä I:n nykytilassa sekä sen skenaarioissa.



Kuva 21. Suorat pakokaasuperäiset hiukkaspäästöt eri kohteissa.



Kuva 22. Hiilidioksidipäästöt eri kohteissa.

5. Johtopäätökset

Samaan päästömäärään ja sitä kautta samoihin pitoisuuksiin päästään hyvinkin erilaisella ajoneuvokannalla, liikenteen määrällä ja matkanopeudella. Siten tässä raportoituja tuloksia voidaan hyödyntää muissakin kohteissa kuin nyt esitetyissä.

Pitoisuuksiin voidaan vaikuttaa katujen rakenteella tai suuntauksella. Kun katukuilu on kapea, niin epäpuhtauksien laimeneminen heikentyy ja pitoisuudet ovat korkeampia kuin leveämmässä katukuilussa. Katukuilu on kapea, kun kadunvarren rakennusten korkeudet ovat kadun leveyttä korkeampia. Tällöin vähäisemmälläkin liikennemäärällä ja siten päästömäärällä pitoisuudet voivat olla raja-arvotaso korkeampia. Vastaavasti avoimessa ympäristössä samalla päästömäärällä voidaan jäädä selvästi raja-arvotason alapuolelle.

Pääkaupunkiseudulla vallitsevien tuulten suunnat ovat lännen- ja lounaansuuntaisia. Kun katukuilu oli vallitsevien tuulten suuntainen, kadun etelä- ja pohjoispuolten pitoisuuksissa ei ollut kovinkaan suurta eroa. Sen sijaan, kun katua käännettiin 90 astetta eli kaakko-luode -suuntaiseksi, pitoisuudet olivat noin 10 % korkeampia kadun länsi- kuin itäpuolella.

Puhtaammat ajoneuvot ja polttoaineet (kuten kaasautot ja biodiesel) vähentävät typen oksidien päästöjä ja siten myös alentavat typpidioksidin pitoisuuksia. Liikenteen vähentyessä myös liikenteen sujuvuus paranee ja siten päästöt ja pitoisuudet vähenevät. Ruuhkaisuuden lisääntyessä myös päästöt ja pitoisuudet kasvavat isomman ajoneuvomäärän sekä liikenteen seisomisen vuoksi.

Mallien tuloksia tarkasteltaessa on oltava selvillä lähtötiedoista ja -oletuksista. Eri tilanteisiin sopi erilainen malli. Kuten mallien yleisnimityksistä ilmenee, avoimen väylän malli toimii parhaiten avoimessa ympäristössä ja katukuilumalli katukuilussa. Avoimen väylän malli aliarvioi pitoisuuksia katukuiluissa, koska se ei pysty ottamaan huomioon rakennusten aiheuttamaa estettä pitoisuuksien laimenemisessä. Lisäksi avoimen väylän mallilla suurimmat pitoisuudet saadaan aina sille puolelle tietä, joka on vallitsevien tuulten alapuolella. Katukuilumalli sen sijaan ottaa huomioon tuulipyörteen muodostumisen katukuilussa. Rakennusseinämään kohtisuoraan osuva tuuli pyörtää seinämää alas ja kerää kadulta päästöt ja pyörtää niitä kadun vastakkaisen puolen seinämää ylöspäin. Tässä työssä käytetty OSPM-katukuilumalli toimii kuitenkin parhaiten kaduilla, joiden leveys on yhtä suuri kuin katua reunustavien rakennusten korkeudet.

Vaikka typen oksidien päästöt tulevat vähentymään tulevaisuudessa autotekniikan parantuessa, niin suoran typpidioksidin osuus päästöissä tulee kasvamaan dieselöitymisen ja hapettavien katalysaattorien yleistymisen vuoksi. Siten on mahdollista, että typpidioksidin pitoisuudet jopa kohoavat nykyisestä. Tämä ilmiö on havaittu mm. Isossa-Britanniassa. Myös YTV:n ilmanlaadun mittauksissa on huomattu, että typpidioksidin pitoisuudet ovat viimeisen kymmenen vuoden aikana pysyneet likimain samana, vaikka samaan aikaan typen oksidien päästömäärä on laskenut selvästi ja typpimonoksidin pitoisuudet ovat laskeneet selvästi. Mallilaskelmien mukaan 10 prosenttiyksikön muutos suorassa typpidioksidipäästöissä lisää katutasolla pitoisuuksia 9 %. Suoran NO₂:n osuuden kasvu 10 prosenttiyksiköllä on erittäin todennäköistä lähitulevaisuudessa. Uuspäästö-projektissa saatujen tulosten mukaan suoran NO₂-osuus on 19 % typen oksidien päästöistä henkilö- ja pakettiautoliikenteessä ja raskaassa liikenteessä NO₂-osuus on 10 % pääkaupunkiseudun liikenteessä vuonna 2008.

Lähteet

- Hellman T., Liikenteen sujuvuus Helsingissä vuonna 2005, Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston julkaisuja 2005:13.
- Helsinki 2007. Kaupunkisuunnitteluvirasto. Liikennemääräkartta 2006. [Mapinfo-dokumentti].
- Kauhaniemi M., 2008. UUSIPÄÄSTÖ-leviämislaskelmien tulokset. Ilmatieteen laitos. 17.1.2008 (julkaisematon).
- Lilleberg, I., ja Hellman T., 2006. Liikenteen kehitys Helsingissä vuonna 2005, Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston julkaisuja 2006:3.
- Lilleberg, I., 2007. Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto. Kirjallinen tiedonanto 23.3.2007.
- Malkki, M & Kousa, A., 2005. Ilmanlaadun typpidioksidimääritykset 2004. Eri etäisyyksillä, eri korkeuksilla. Muistio 1/2005. YTV ympäristötoimisto.

Liitteet

Liite 1. Ajoneuvojakaumat

Laskennassa käytetyt eri ajoneuvojen osuudet kokonaisliikennemäärästä eri kohteissa nykytilassa. Samaan päästömäärään päästään myös erilaisella ajoneuvojakaumalla.

Kohde	Henkilöauto		Paketti- auto	Kuorma-auto		Bussi		
	Bensa %	Diesel %	Diesel %	Ilman perä- vaunua %	Perävau- nulla %	Diesel %	Kaasu %	Biodiesel %
Hämeentie - Nykytila - Korotus - Käännetty	53	15	9	2,2	0,1	18,4	2,5	-
Teollisuuskatu	63	18	11	4,4	2	-	1,5	-
Unioninkatu	64	18	12	4	0,3	2,3	-	-
Töölöntulli	62	18	10	2,5	0,7	7,2	-	-
Sörnäisten rantatie	65	18	12	2,6	0,6	0,8	0,4	-
Kehä I - Nykytila - Käännetty	62	18	13	5	1,5	0,9	-	-

Laskennassa käytetyt eri ajoneuvojen osuudet kokonaisliikennemäärästä Hämeentien eri skenaarioissa. Samaan päästömäärään päästään myös erilaisella ajoneuvojakaumalla.

Kohde	Henkilöauto		Paketti- auto	Kuorma-auto		Bussi		
	Bensa %	Diesel %	Diesel %	Ilman perä- vaunua %	Perävau- nulla %	Diesel %	Kaasu %	Biodiesel %
Vähennys Ha	46	13	12	2,7	1,7	23	3,1	-
NO _x -muutos	53	13	9	2,2	0,1	18	2,5	-
Kalusto	53	15	9	2,2	0,1	-	10	10
Ruuhka	63	18	6	1,3	0,04	11	1,5	-

Laskennassa käytetyt eri ajoneuvojen osuudet kokonaisliikennemäärästä Unioninkadun eri skenaarioissa. Samaan päästömäärään päästään myös erilaisella ajoneuvojakaumalla.

Kohde	Henkilöauto		Paketti- auto	Kuorma-auto		Bussi		
	Bensa %	Diesel %	Diesel %	Ilman perä- vaunua %	Perävau- nulla %	Diesel %	Kaasu %	Biodiesel %
Bussiton	65	18	12	4,1	0,3	-	-	-
Päästölisäys	54	15	11	2,6	0,01	14	3,4	-
Kalusto	54	15	11	2,6	0,01	9	9	-

Laskennassa käytetyt eri ajoneuvojen osuudet kokonaisliikennemäärästä Töölöntullin eri skenaarioissa. Samaan päästömäärään päästään myös erilaisella ajoneuvojakaumalla.

Kohde	Henkilöauto		Paketti- auto	Kuorma-auto		Bussi		
	Bensa %	Diesel %	Diesel %	Ilman perä- vaunua %	Perävau- nulla %	Diesel %	Kaasu %	Biodiesel %
Bussiton	67	19	12	2,8	0,1	-	-	-
Vähennys	43	12	10	2,5	0,7	7	-	-
Kalusto	62	18	10	2,5	0,7	2,2	2,9	2,2
Ruuhka	78	22	11	2,5	0,4	7	-	-

Laskennassa käytetyt eri ajoneuvojen osuudet kokonaisliikennemäärästä Kehä I:n skenaarioissa. Samaan päästömäärään päästään myös erilaisella ajoneuvojakaumalla.

Kohde	Henkilöauto		Paketti- auto	Kuorma-auto		Bussi		
	Bensa %	Diesel %	Diesel %	Ilman perä- vaunua %	Perävau- nulla %	Diesel %	Kaasu %	Biodiesel %
Kasvu 1 ja 2	62	18	13	5	1,5	0,9	-	-

Liite 2. Kokonaispäästöt

Typen oksidien, hiukkasten ja hiilidioksidin kokonaispäästöt eri kohteissa nykytilassa.

Kohde	NO _x päästö, kg/km	PM päästö, kg/km	CO ₂ päästö, kg/km
Hämeentie - Nykytila - Korotus - Käännetty	36	1,4	6730
Teollisuuskatu	31	1,5	8470
Unioninkatu	13	0,6	3200
Töölöntulli	65	2,8	14 000
Sörnäisten rantatie	45	2,1	10 200
Kehä I - Nykytila - Käännetty	92	4,2	17 400

Typen oksidien, hiukkasten ja hiilidioksidin kokonaispäästöt Hämeentien eri skenaarioissa sekä päästöjen muutos nykytilaan verrattuna (+ päästöt lisääntyvät, - päästöt vähentyvät).

Kohde	NO _x päästö, kg/km (Muutos, %)	PM päästö, kg/km (Muutos, %)	CO ₂ päästö, kg/km (Muutos, %)
Vähennys Ha	29 (-21)	1,1 (-22)	5020 (-25)
NO _x -muutos	32 (12)	1,2 (-12)	5920 (-12)
Kalusto	26 (-29)	0,9 (-37)	4900 (-27)
Ruuhka	54 (+49)	2,1 (+51)	11 000 (+65)

Typen oksidien, hiukkasten ja hiilidioksidin kokonaispäästöt Unioninkadun eri skenaarioissa sekä päästöjen muutos nykytilaan verrattuna (+ päästöt lisääntyvät, - päästöt vähentyvät).

Kohde	NO _x päästö, kg/km (Muutos, %)	PM päästö, kg/km (Muutos, %)	CO ₂ päästö, kg/km (Muutos, %)
Bussiton	10 (-18)	0,5 (-13)	2900 (-9)
Päästölisäys	24 (+88)	1,0 (+56)	4680 (+46)
Kalusto	19 (+54)	0,8 (+24)	4680 (+10)

Typen oksidien, hiukkasten ja hiilidioksidin kokonaispäästöt Töölöntullin eri skenaarioissa sekä päästöjen muutos nykytilaan verrattuna (+ päästöt lisääntyvät, - päästöt vähentyvät).

Kohde	NO _x päästö, kg/km (Muutos, %)	PM päästö, kg/km (Muutos, %)	CO ₂ päästö, kg/km (Muutos, %)
Bussiton	38 (-42)	1,8 (-35)	10400 (-26)
Vähennys	50 (-23)	2,2 (-21)	9630 (-31)
Kalusto	56 (-15)	2,3 (-17)	12 940 (-8)
Ruuhka	86 (+31)	3,8 (+37)	19 320 (+38)

Typen oksidien, hiukkasten ja hiilidioksidin kokonaispäästöt Kehä I:n skenaarioissa

Kohde	NO _x päästö, kg/km (Muutos, %)	PM päästö, kg/km (Muutos, %)	CO ₂ päästö, kg/km (Muutos, %)
Kasvu 1 ja 2	129 (+40)	6,2 (+48)	28 700 (+65)

Liite 3: Pitoisuudet nykytilanteen päästöillä

NO₂ ja NO_x vuosikeskiarvot ja vuoden 18. suurimmat tunti-arvot nykytilanteen päästöillä katukuiluukohteissa ja avoimen väylän kohteissa vuonna 2004 ja 2005.

Kohde	Piste	Puoli	Korkeus	Vuosikeskiarvo				Vuoden 18. suurin tunti-arvo			
				NO ₂		NO _x		NO ₂		NO _x	
				2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005
Hämeentie, Nykytila	Piste1	Pohj.	4	45	40	97	84	137	139	614	585
			10	35	30	61	52	120	118	556	499
			26	30	26	48	40	108	106	506	415
	Piste2	Etelä	4	46	41	97	85	130	135	609	606
			10	35	30	61	51	115	116	506	495
			26	30	26	47	40	108	106	489	415
Hämeentie, Korotus	Piste1	Pohj.	4	48	43	103	90	139	141	634	590
			10	38	33	69	58	123	121	570	505
			33	33	28	53	45	108	106	499	415
	Piste2	Etelä	4	49	43	104	91	134	138	595	593
			10	38	33	69	58	119	119	509	486
			33	33	28	53	45	108	106	482	409
Hämeentie, Käännetty	Piste1	Pohj.	4	42	37	87	73	130	131	553	547
			10	34	29	59	50	117	112	509	494
			26	31	26	48	41	108	106	483	412
	Piste2	Etelä	4	47	41	100	87	135	133	646	562
			10	35	30	61	51	117	116	544	472
			26	31	26	48	41	108	106	504	406
Teollisuuskatu	Piste1	Pohj.	4	39	33	76	63	119	116	534	502
			10	32	27	53	44	110	109	511	435
			22	29	25	45	38	108	105	487	413
	Piste2	Etelä	4	43	38	91	77	123	121	596	515
			10	33	29	57	48	112	110	515	455
			22	29	25	45	38	108	105	502	409
Unioninkatu	Piste1	Itä	4	38	33	73	62	115	111	494	487
			10	34	29	58	48	111	107	494	430
			22	33	28	55	45	110	105	494	412
	Piste2	Länsi	4	39	34	78	67	118	113	578	448
			10	34	29	59	48	111	107	515	418
			22	33	28	55	45	110	105	494	411
Töölöntulli, Katukuilu	Piste1	Pohj.	4	48	41	113	94	148	151	693	672
			10	36	31	70	58	124	124	550	548
			21	31	27	52	44	110	110	504	443
	Piste2	Etelä	4	52	46	128	111	149	151	735	700
			10	38	33	73	62	127	127	615	543
			21	31	27	52	44	111	110	504	445
Töölöntulli, Avoin väylä	Piste1	Etelä	4	39	37	78	73	239	228	1237	965
	Piste2	Pohj.	4	44	43	94	93	212	239	1003	926
Sörnäisten rantatie	Piste1	Länsi	4	38	35	69	65	216	192	892	937
	Piste2	Itä	4	39	38	76	73	222	216	1096	903
Kehä I	Piste1	Etelä	4	39	36	90	86	218	203	1235	1012
	Piste2	Pohj.	4	44	43	102	106	207	233	1176	1331
Kehä I, Käännetty	Piste1	Itä	4	45	44	112	108	210	181	1251	955
	Piste2	Länsi	4	39	36	87	81	241	230	1259	1235

Liite 4. Pitoisuudet skenaariopäästöillä

NO₂ ja NO_x vuosikeskiarvot ja vuoden 18. suurimmat tuntiarvot Hämeentien eri skenaarioilla vuonna 2004 ja 2005.

Skenaario	Piste	Puoli	Korkeus	Vuosikeskiarvo				Vuoden 18. suurin tuntiarvo			
				NO ₂ 2004	2005	NO _x 2004	2005	NO ₂ 2004	2005	NO _x 2004	2005
Vähennys Ha	Piste1	Pohj.	4	43	37	86	74	130	131	599	549
			10	33	29	56	47	116	115	521	482
			26	30	25	46	38	108	106	494	412
	Piste2	Etelä	4	43	38	87	75	125	128	565	563
			10	33	29	56	47	112	113	505	466
			26	30	25	46	38	108	106	478	406
NO _x -muutos	Piste1	Pohj.	4	45	40	91	78	141	145	606	565
			10	34	30	58	49	122	120	536	490
			26	30	26	46	39	108	106	502	413
	Piste2	Etelä	4	46	40	91	79	132	140	587	585
			10	34	30	58	49	115	120	505	479
			26	30	26	46	39	108	106	483	411
Kalusto	Piste1	Pohj.	4	41	36	82	71	127	127	585	535
			10	32	28	54	45	113	112	509	476
			26	30	25	45	38	108	105	487	410
	Piste2	Etelä	4	42	37	83	71	121	125	542	543
			10	33	28	54	45	111	113	505	457
			26	29	25	45	38	108	105	474	401
Ruuhka	Piste1	Pohj.	4	51	46	120	105	150	153	694	668
			10	39	34	74	63	129	129	600	543
			26	32	27	52	43	109	109	509	455
	Piste2	Etelä	4	52	46	121	106	143	152	672	671
			10	39	34	74	63	122	128	556	553
			26	32	27	52	43	109	109	509	437

NO₂ ja NO_x vuosikeskiarvot ja vuoden 18. suurimmat tuntiarvot Unioninkadun eri skenaarioilla vuonna 2004 ja 2005.

Skenaario	Piste	Puoli	Korkeus	Vuosikeskiarvo				Vuoden 18. suurin tuntiarvo			
				NO ₂ 2004	2005	NO _x 2004	2005	NO ₂ 2004	2005	NO _x 2004	2005
Bussiton	Piste1	Itä	4	36	31	67	57	113	108	474	460
			10	33	28	55	45	109	106	474	420
			22	32	27	52	43	109	104	474	409
	Piste2	Länsi	4	37	33	71	60	115	110	550	440
			10	33	28	55	46	110	107	502	414
			22	32	27	52	43	109	104	474	409
Päästölisäys	Piste1	Itä	4	46	40	100	84	133	125	553	539
			10	39	33	75	62	118	111	527	478
			22	37	31	68	55	115	109	527	435
	Piste2	Länsi	4	48	42	108	94	133	129	636	521
			10	39	33	76	63	123	113	581	453
			22	37	31	68	55	115	109	527	426
Kalusto	Piste1	Itä	4	43	37	90	76	127	118	523	529
			10	37	32	69	57	116	109	523	459
			22	35	30	63	51	112	107	523	425
	Piste2	Länsi	4	45	39	97	83	127	122	618	495
			10	37	32	69	57	117	110	556	437
			22	35	30	63	51	113	107	523	420

NO₂ ja NO_x vuosikeskiarvot ja vuoden 18. suurimmat tuntiarvot Töölöntullin eri skenariolla vuonna 2004 ja 2005.

Skenaario	Piste	Puoli	Korkeus	Vuosikeskiarvo				Vuoden 18. suurin tuntiarvo			
				NO ₂		NO _x		NO ₂		NO _x	
				2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005
Bussiton	Piste1	Pohj.	4	40	34	82	68	122	122	548	531
			10	33	28	57	47	111	112	514	454
			21	30	26	47	39	108	105	503	420
	Piste2	Etelä	4	43	38	90	78	123	125	605	543
			10	34	29	59	49	113	112	517	461
			21	30	26	47	39	109	106	503	410
Vähennys	Piste1	Pohj.	4	44	38	98	82	136	139	626	614
			10	34	29	62	51	117	116	519	498
			21	30	26	49	41	109	106	504	429
	Piste2	Etelä	4	48	42	110	95	140	141	673	630
			10	35	30	64	54	119	119	564	490
			21	30	26	49	41	109	106	504	423
Kalusto	Piste1	Pohj.	4	45	39	103	86	140	141	648	636
			10	35	30	65	54	119	119	521	511
			21	31	26	50	42	109	107	504	433
	Piste2	Etelä	4	49	43	116	101	140	144	692	657
			10	36	31	68	57	120	121	582	509
			21	31	26	50	42	109	108	504	431
Ruuhka	Piste1	Pohj.	4	52	45	132	110	161	164	755	765
			10	39	34	80	67	133	135	595	601
			21	33	28	57	48	113	114	506	481
	Piste2	Etelä	4	58	51	151	132	161	165	796	767
			10	41	36	86	73	137	137	662	609
			21	33	28	57	48	115	115	516	466

NO₂ ja NO_x vuosikeskiarvot ja vuoden 18. suurimmat tuntiarvot Kehä I:n eri skenaarioilla vuonna 2004 ja 2005.

Skenaario	Piste	Puoli	Korkeus	Vuosikeskiarvo				Vuoden 18. suurin tuntiarvo			
				NO ₂		NO _x		NO ₂		NO _x	
				2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005
Kasvu 1	Piste1	Etelä	4	44	40	112	107	291	247	1662	1393
	Piste2	Pohj.	4	49	49	127	134	255	290	1474	1778
Kasvu 2	Piste1	Etelä	4	42	39	112	107	249	220	1662	1393
	Piste2	Pohj.	4	47	46	127	134	223	247	1474	1778

Liite 5. Nopeusriippuvat päästökertoinkinnot

Nopeusriippuvaiset NO_x-, PM- ja CO₂-päästökertoinkinnot ajoneuvotyypittäin keskimääräiselle ajoneuvolle. X on matkanopeus eli sisältää pysähdykset ja kiihdytykset. Biodieselin NO_x päästöt oletettiin olevan 15 % alaisempia kuin tavallisen dieselin, hiukkaspäästöjen 30 % alaisempia ja biodieselinä ei oletettu olevan lainkaan hiidioksidipäästöjä

Ajoneuvotyyppi ja vuosi	NO _x , g/km	PM, g/km	CO ₂ , g/km
Henkilöauto	0,0005X ² - 0,00118X + 0,61163	(0,000013X ² - 0,001465X + 0,080611)*0,05	(0,00196X ² - 0,27582X + 15,94838)*23,3
Diesel 2005	0,00017X ² - 0,02362X + 1,38435	0,000013X ² - 0,001465X + 0,080611	(0,000919X ² - 0,152593X + 9,727907)*27
Pakettiauto	0,000134X ² - 0,0101633X + 1,1979	0,0000262X ² - 0,0030385X + 0,27835	(0,00115X ² - 0,19074X + 12,15988)*27
Kuorma-auto	ilman perävaunua 2000 33,161X ^{-0,6327}	1,7921X ^{-0,686}	(-0,0000762X ³ + 0,0194277*X ² - 1,4721692X + 52,2623739)*27
	Perävaunulla 2000 53,152X ^{-0,5581}	2,497X ^{-0,7259}	(-0,000102X ³ + 0,027701X ² - 2,335329X + 97,725472)*27
Bussi	Diesel 2000 44,587X ^{-0,5185}	3,1444X ^{-0,736}	(159,49*X ^{-0,4318})*27,1
	Kaasu 2000 47,797X ^{-0,9806}	X<60 km/h: 1,30 - 0,07033X + 0,001545X ²	(159,49*X ^{-0,4318})*27,1
		- 0,000012X ³	
		X> 60 km/h: 0,05	

www.ytv.fi

**YTV Pääkaupunkiseudun
yhteistyövaltuuskunta**
Seutu- ja ympäristötieto,
PL 521 (Opastinsilta 6 A), 00521 Helsinki
Puhelin (09) 156 11, faksi (09) 156 1369
etunimi.sukunimi@ytv.fi

**Huvudstadsregionens
samarbetsdelegation**
Region- och miljööinformation
PB 521 (Semaforbron 6 A), 00521 Helsingfors
Telefon (09) 156 11, telefax (09) 156 1369
fornamn.efternamn@ytv.fi

YTV:n julkaisuja 23/2008

ISSN: 1796-6965
ISBN (pdf): 978-951-798-711-0