

# Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika

**Michal Vojtíšek**, M.Sc., Ph.D.

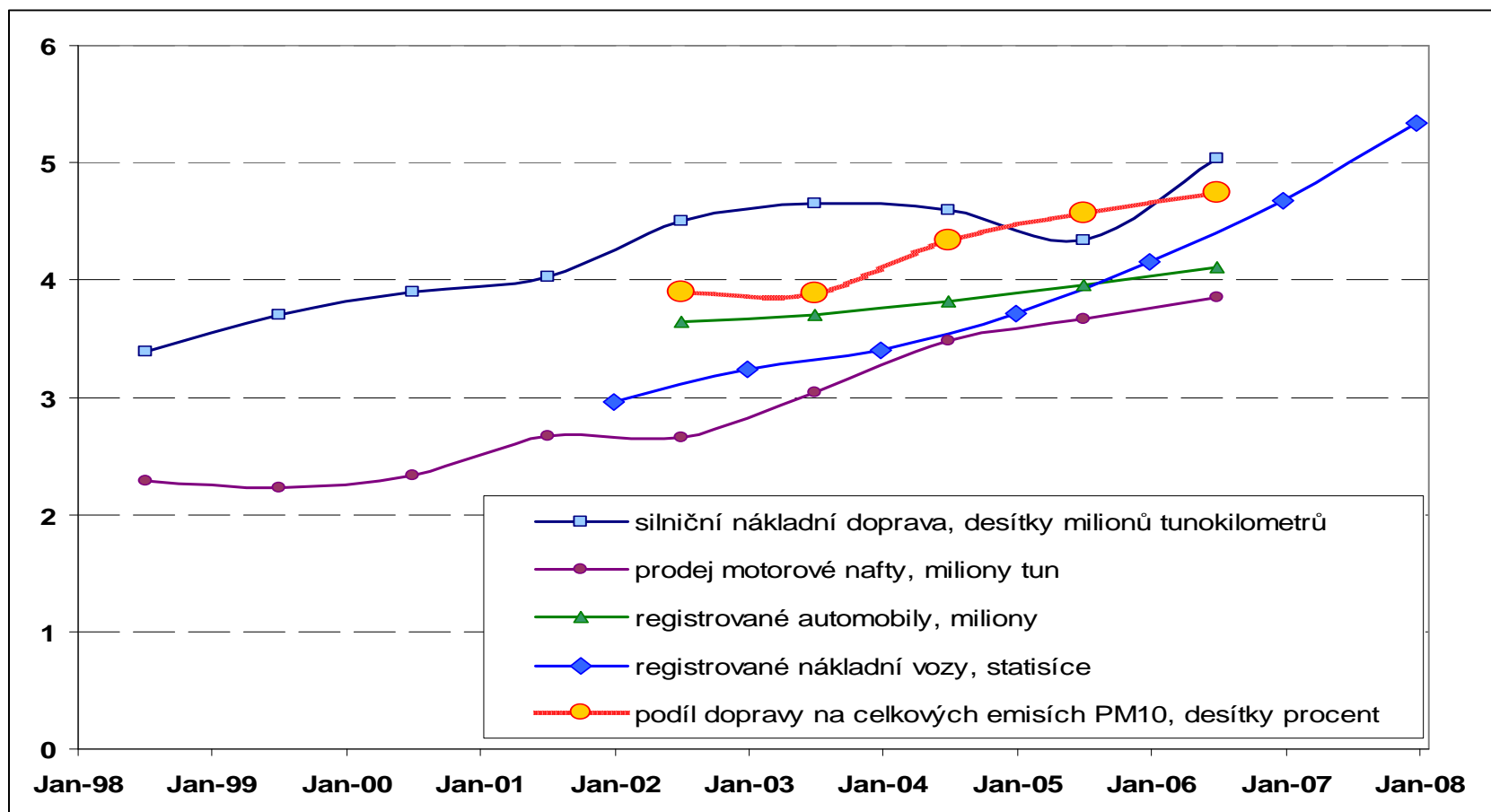
Výzkumné centrum spalovacích motorů a automobilů Josefa Božka  
Fakulta Strojní, Technická univerzita v Liberci / Fakulta Strojní, ČVUT v Praze  
michal.vojtisek(at)tul.cz, michal.vojtisek(at)fs.cvut.cz, tel. (+420) 774 262 854



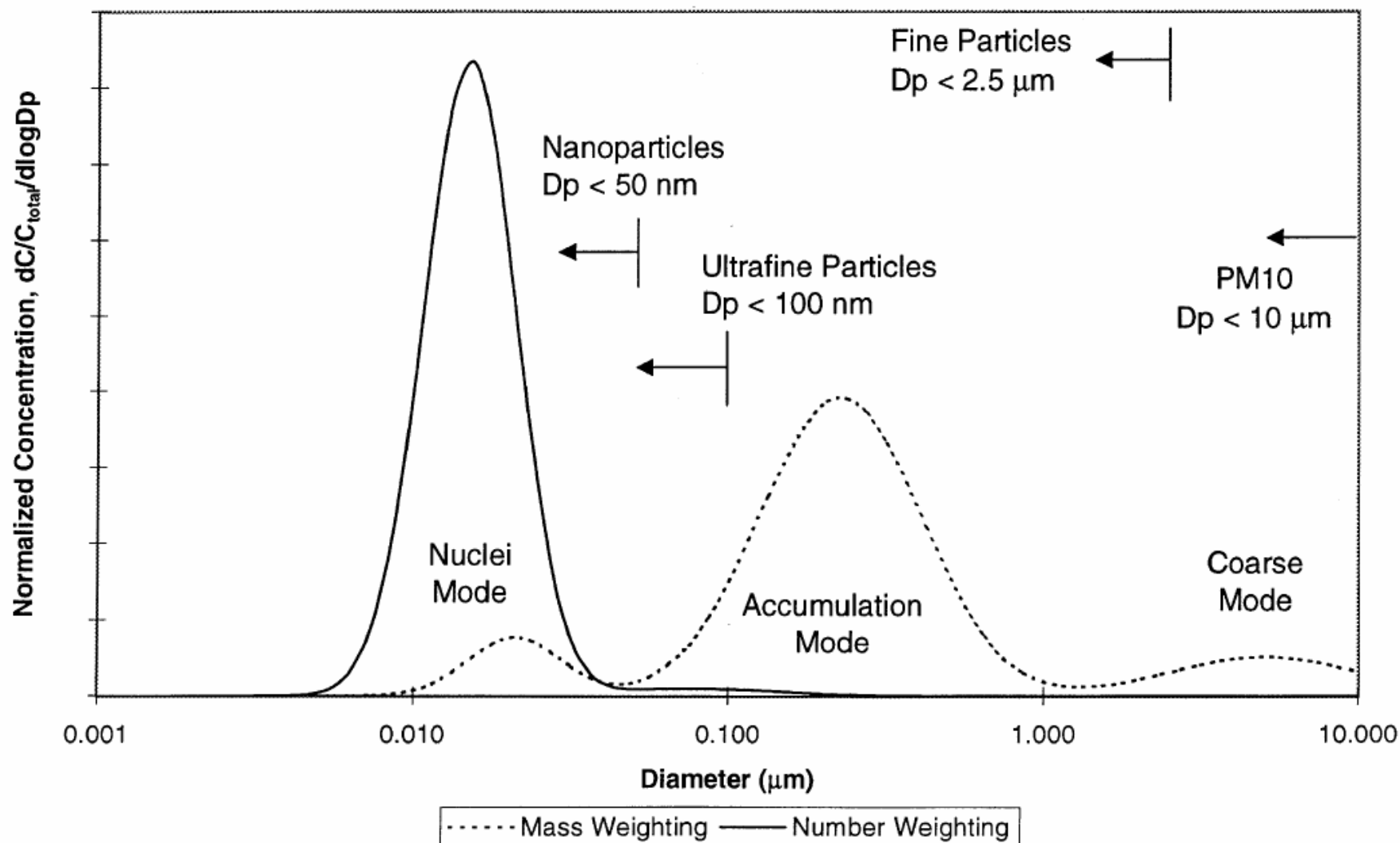
**Vojtíšek: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika – Úvodní setkání MEDETOX, ÚEM AV ČR Praha, 19.12.2011**

## Nárůst intenzity dopravy způsobuje, že téměř polovina emisí pevných částic pochází z mobilních zdrojů

**v Praze doprava vyprodukuje 10,8 Gg (mil. tun) částic ročně – to je 14-15x více 0,7-0,8 Gg/rok ze stacionárních zdrojů (dle Praha – Životní prostředí 2009)**



Zdroj data v grafu: Ročenka životního prostředí, MŽP ČR, 2007; Centrální registr motorových vozidel; Ministerstvo dopravy  
**Vojtíšek: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika – Úvodní setkání MEDETOX, ÚEM AV ČR Praha, 19.12.2011**



Kittelson, *J. Aerosol Sci.* Vol. 29, No. 5/6, pp. 575-588, 1998



## Fractional Deposition of Inhaled Particles (Oberdörster)

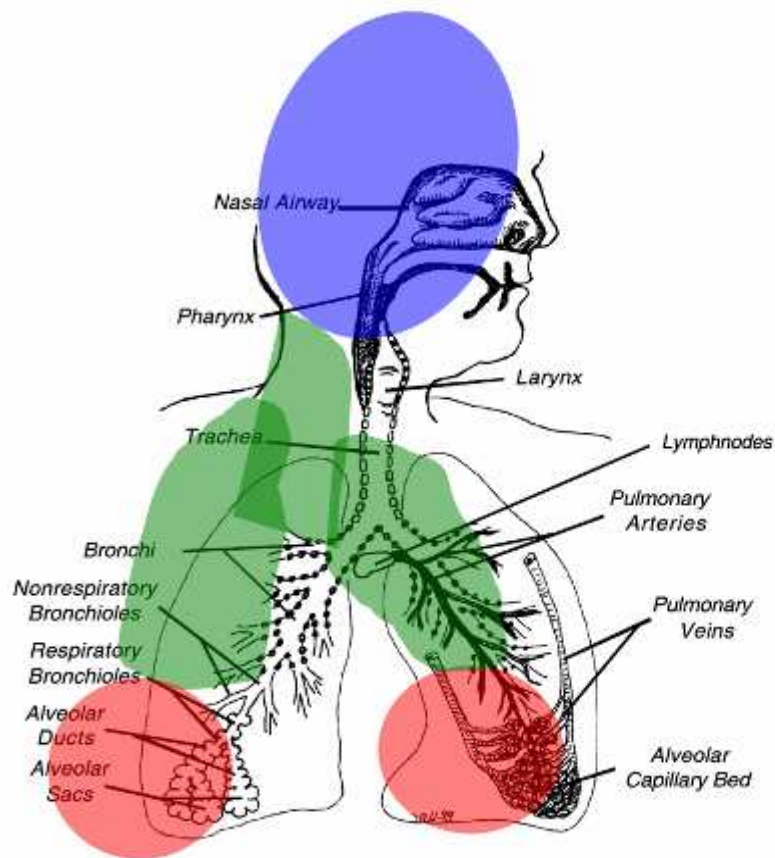
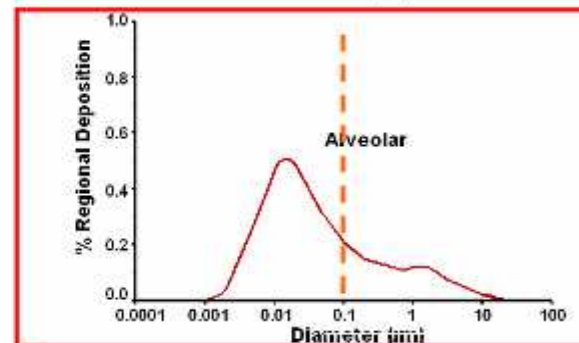
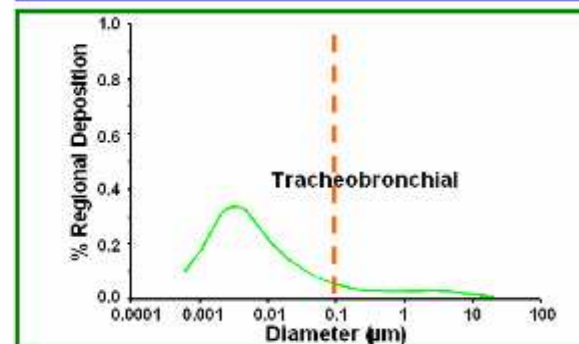
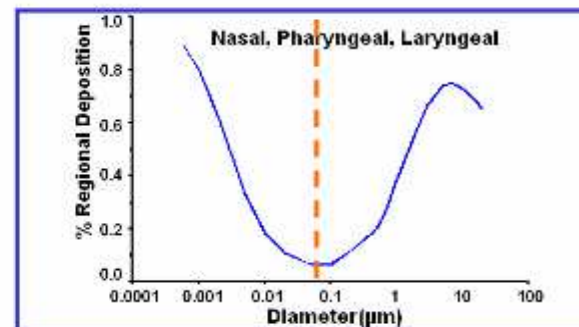
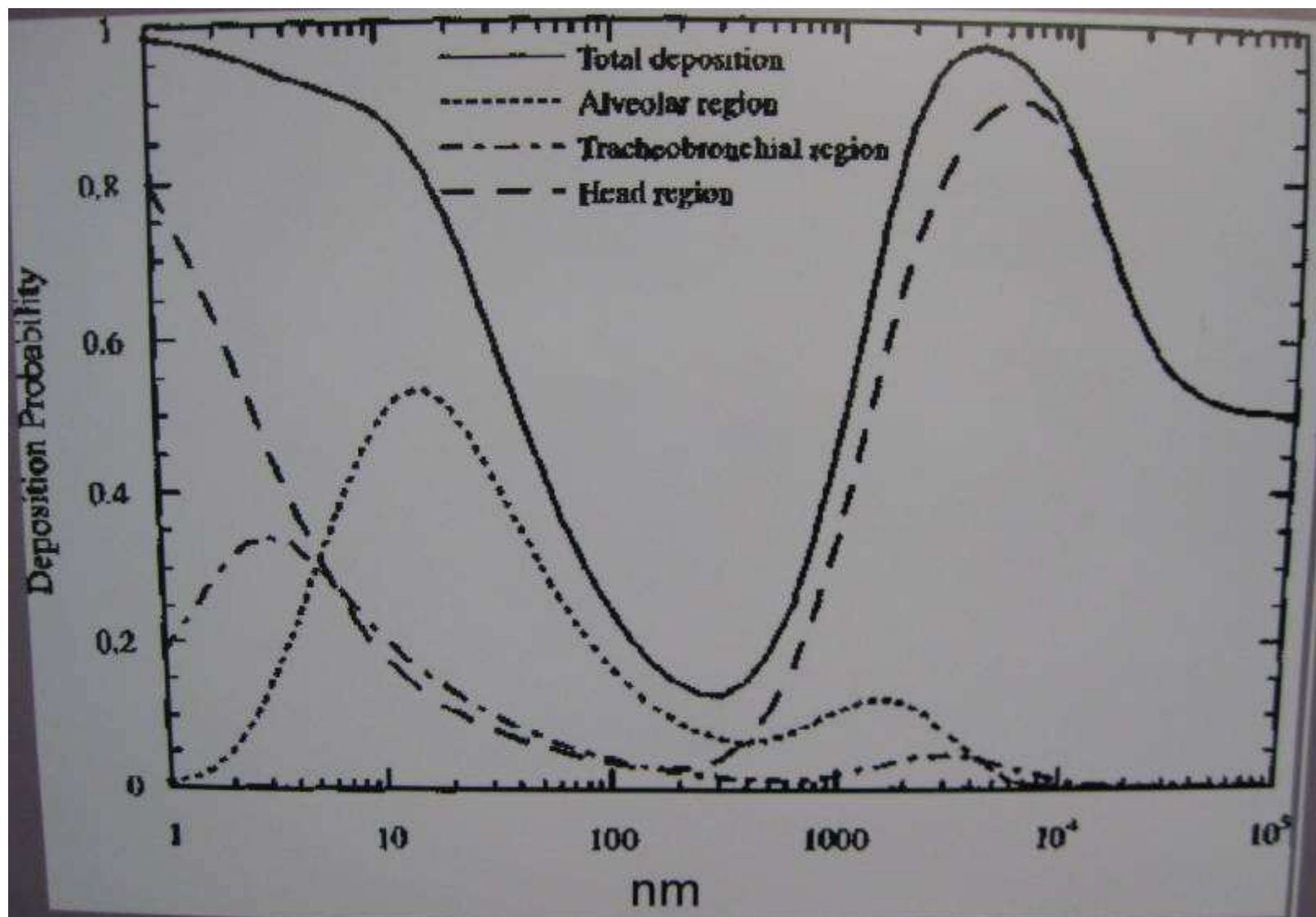


Figure courtesy of J.Harkema



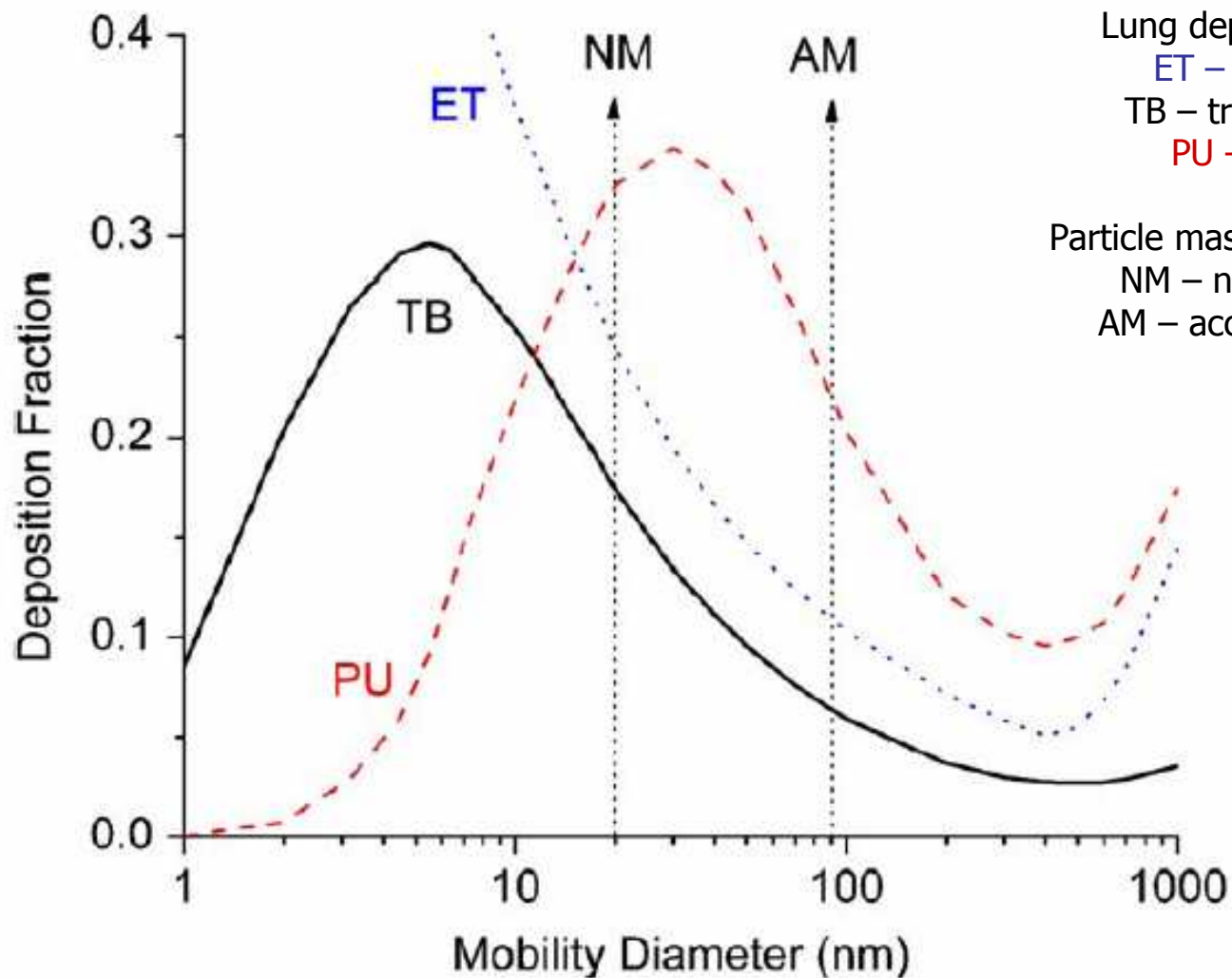
A. Mayer, 12th ETH Conference on Combustion Generated Nanoparticles, Zurich, 2008

Vojtíšek: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika – Úvodní setkání MEDETOX, ÚEM AV ČR Praha, 19.12.2011



Muir, R. et al., High-level symposium on nanotechnology safety, Praha, 30.11.2011

*Vojtíšek: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika – Úvodní setkání MEDETOX, ÚEM AV ČR Praha, 19.12.2011*



Lung deposition fraction:

ET – extrathoracic

TB – tracheobronchial

PU – pulmonary

Particle mass median diameter:

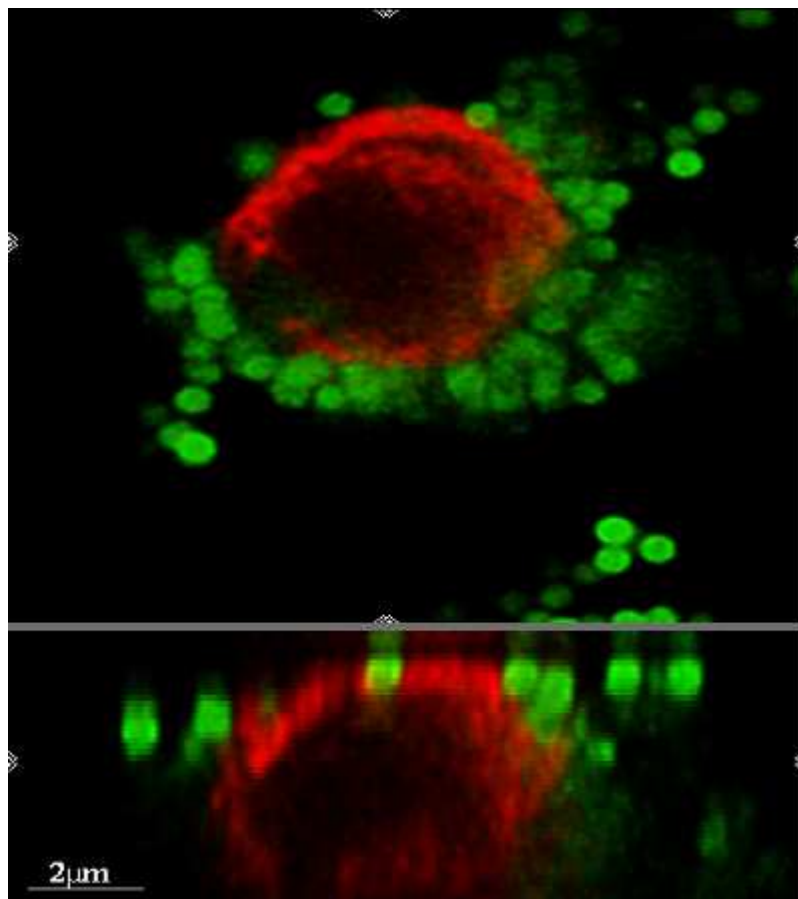
NM – nucleation mode

AM – accumulation mode

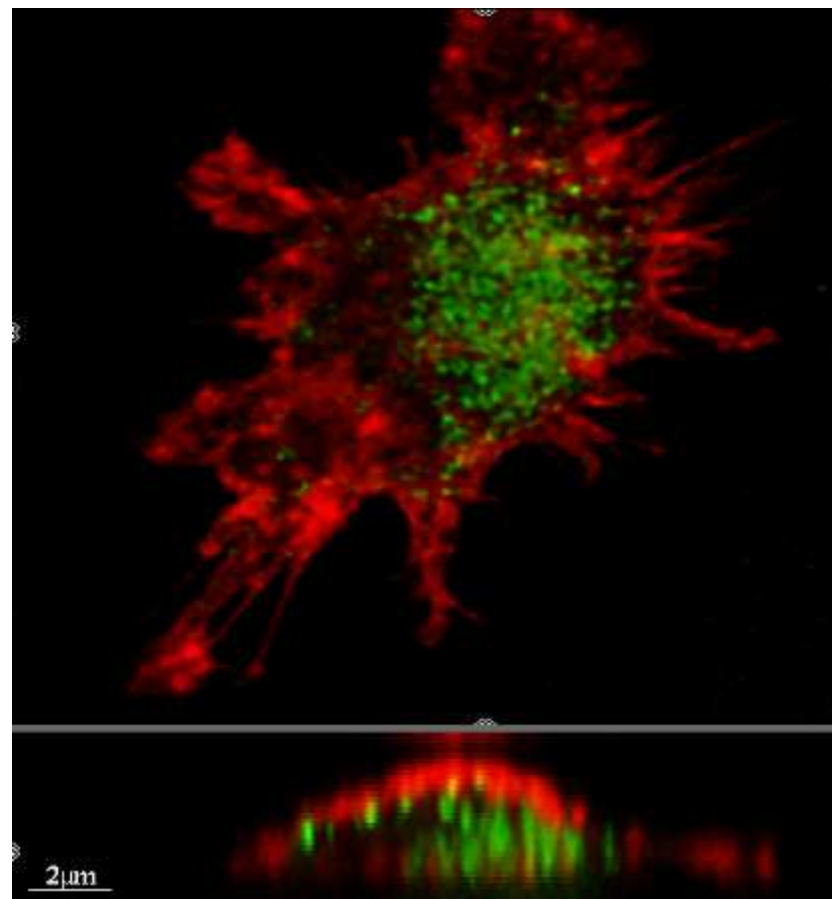
**B. Alföldy et al., Aerosol Science 40 (2009) 652–663.**



■ 1000 nm  
Polystyrene Particles



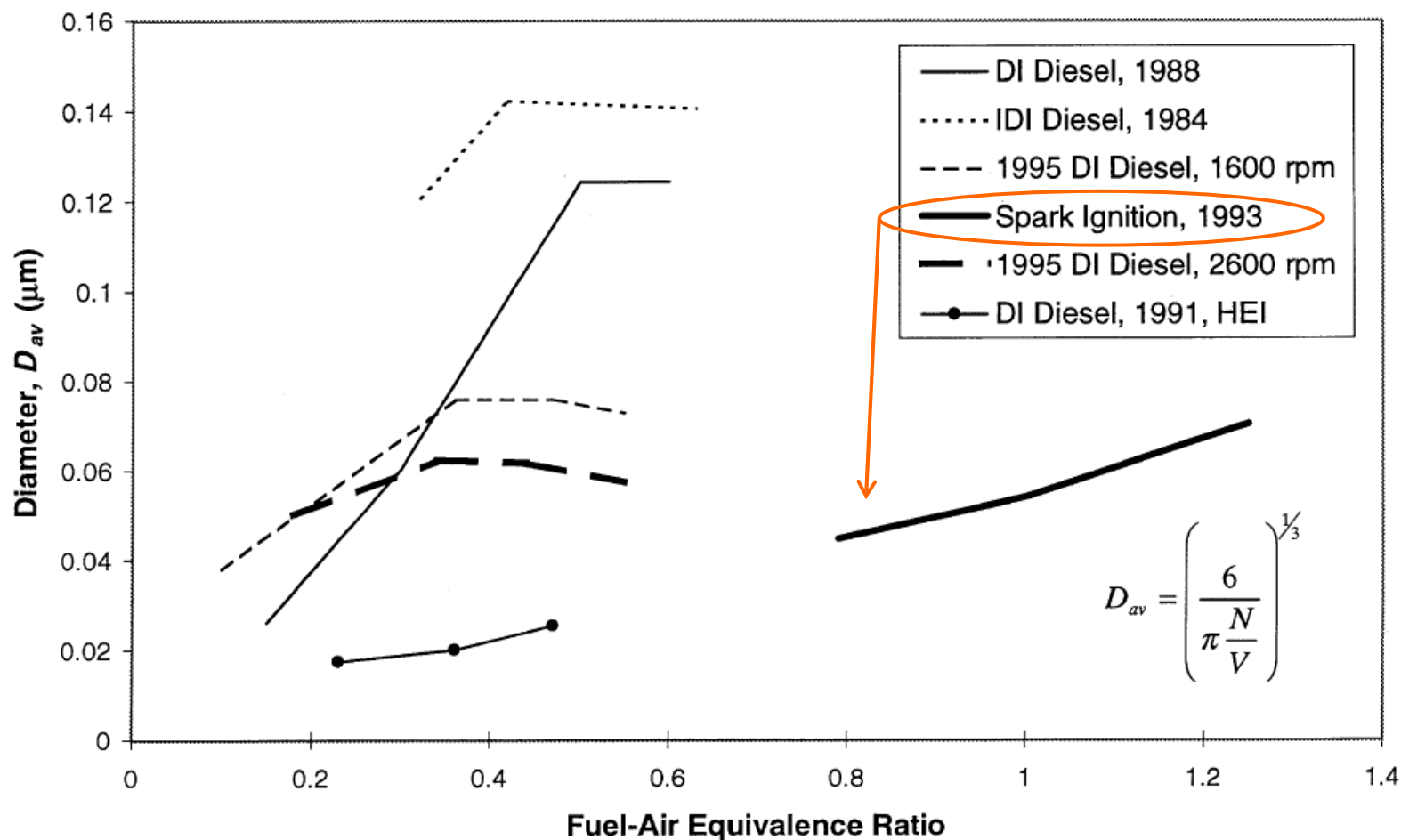
■ 78 nm  
Polystyrene Particles



Barbara Rothen-Rutishauer, as quoted by A. Mayer, 12th ETH Conference on Combustion Generated Nanoparticles



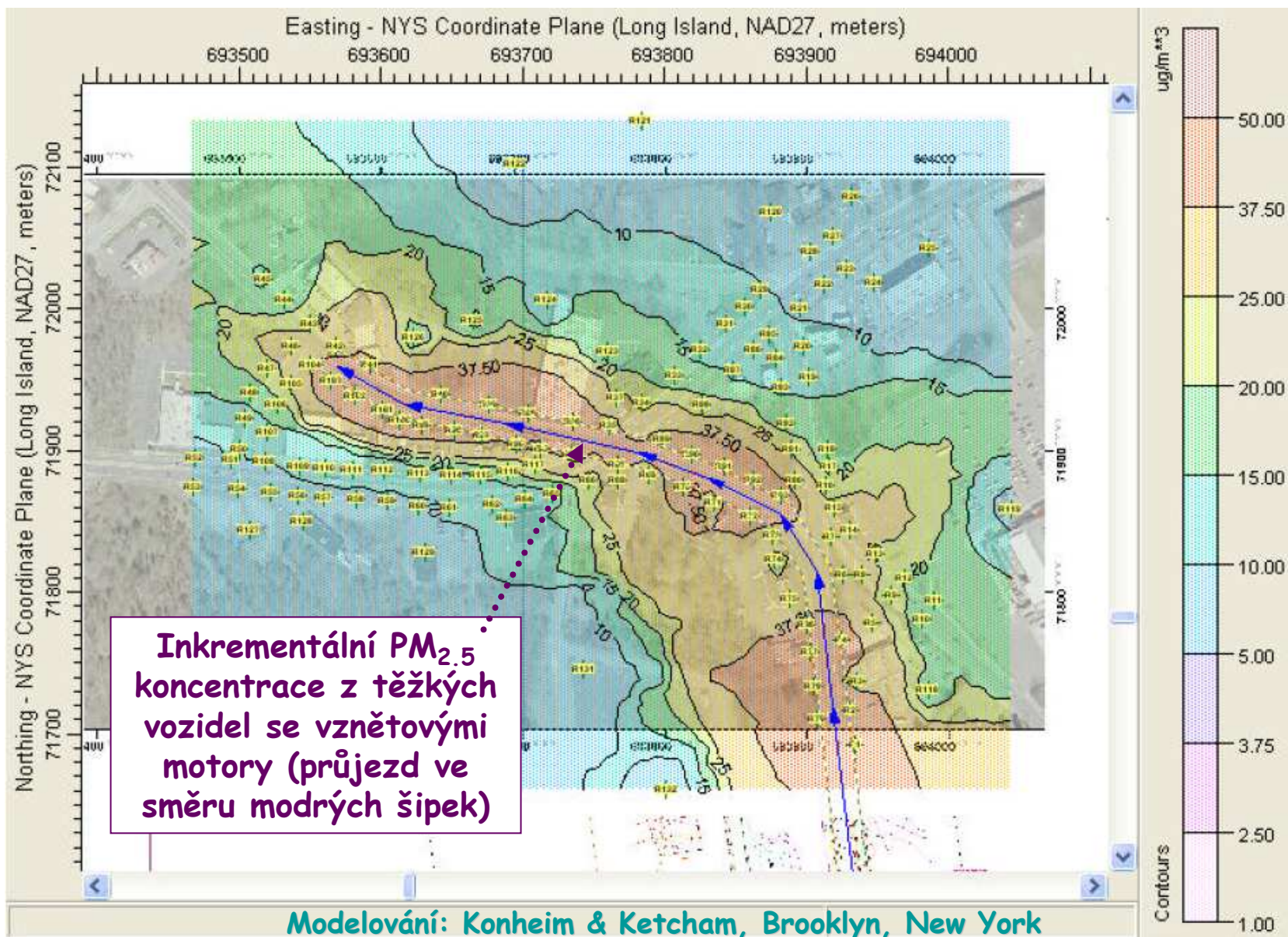
## Engine Exhaust Particles Diameter of Average Volume



Kittelson, *J. Aerosol Sci.* Vol. 29, No. 5/6, pp. 575-588, 1998



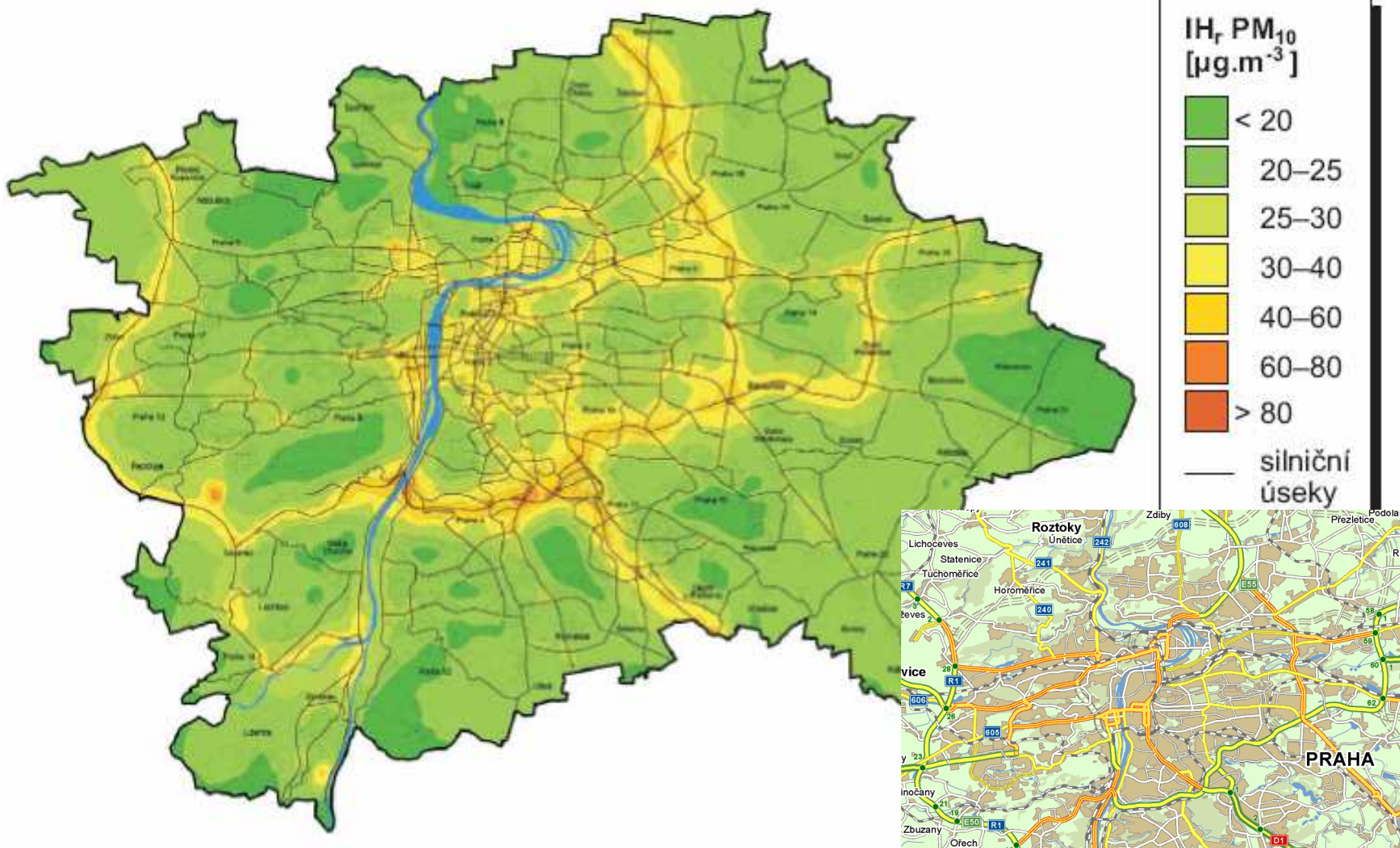
# Koncentrace emitovaných částic jsou nejvyšší v přímé blízkosti dopravních tepen

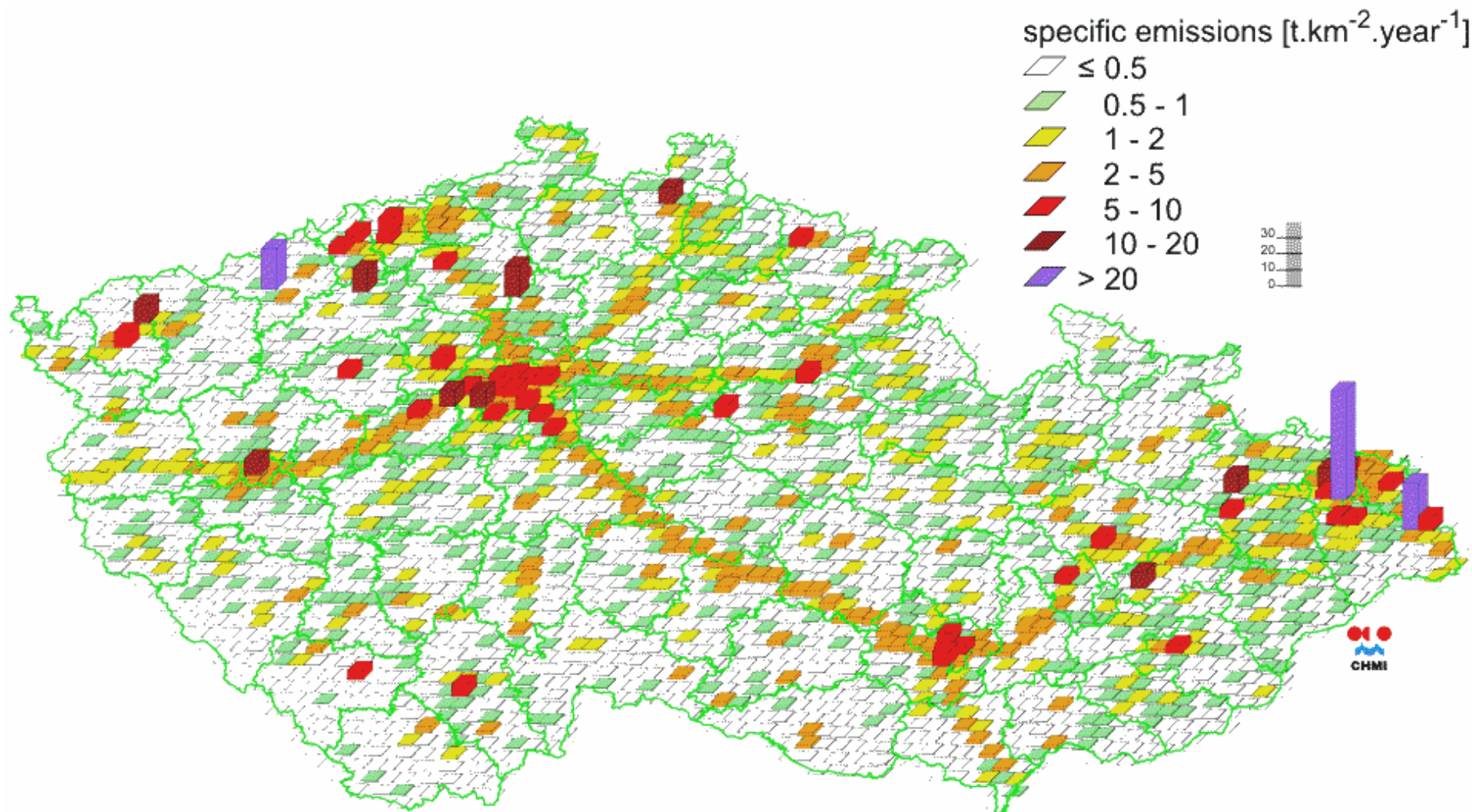






## suspendované částice frakce PM<sub>10</sub>





Particulate emission density from 5x5 km squares, 2008



## Ekvivalentní z hlediska „PM2,5“ - ale ekvivalentní zdravotní riziko?

According to the current particulate matter measurement standards (total mass),  
the following three are equivalent:

Jedna  
anorganická  
částice o průměru  
2000 nm (2  $\mu$ m)

Tisíc částic sazí  
(element. uhlík)  
nanočástic o  
průměru 200 nm  
ve výfuk. plynech



**x 1,000**

Milion  
organických  
nanočástic o  
průměru 20 nm



**x 1,000,000**





## Recent Research Findings:

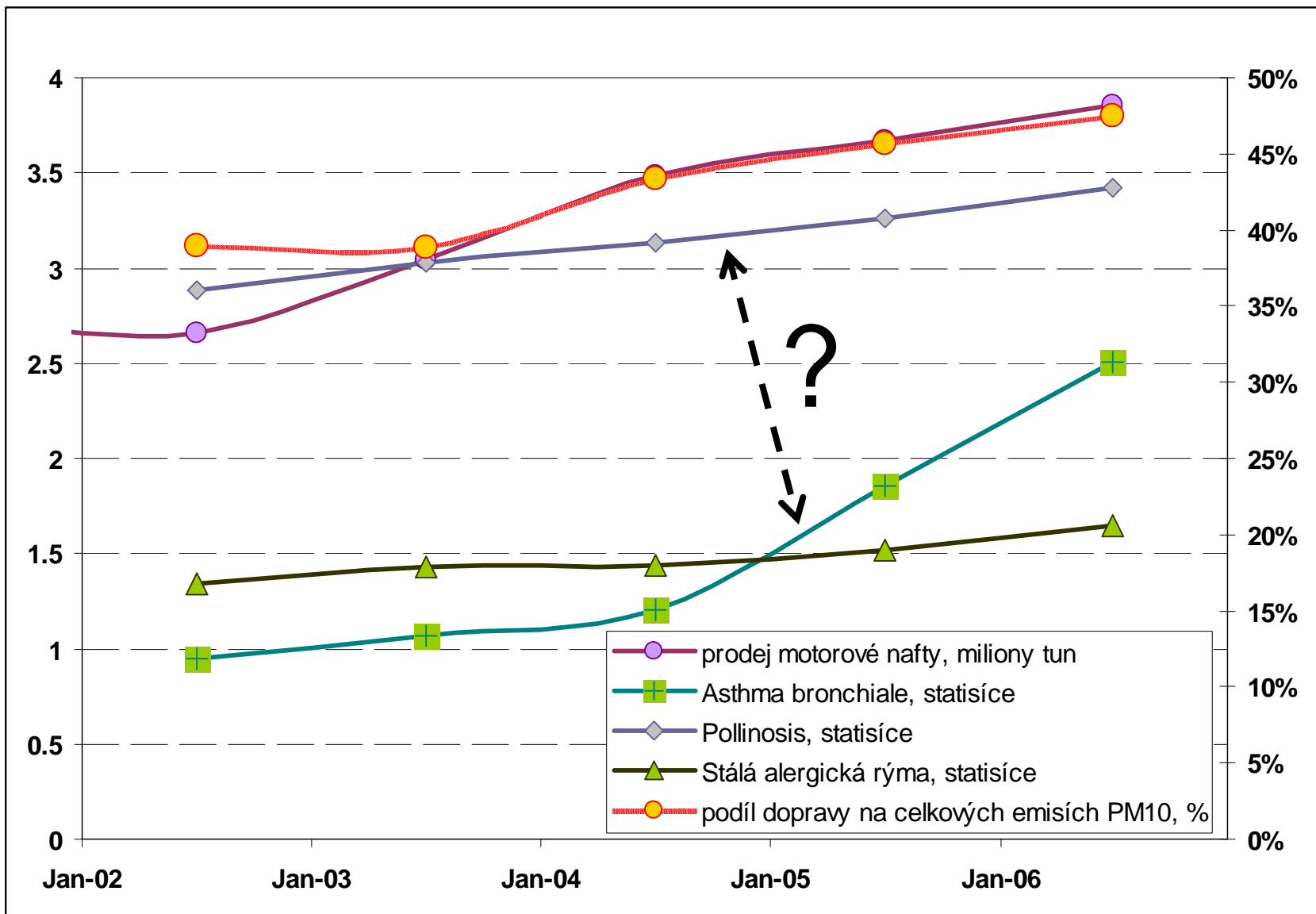
### Health Effects of Particulate Matter and Ozone Air Pollution, January 2004

#### Air Pollution Causes Premature Death

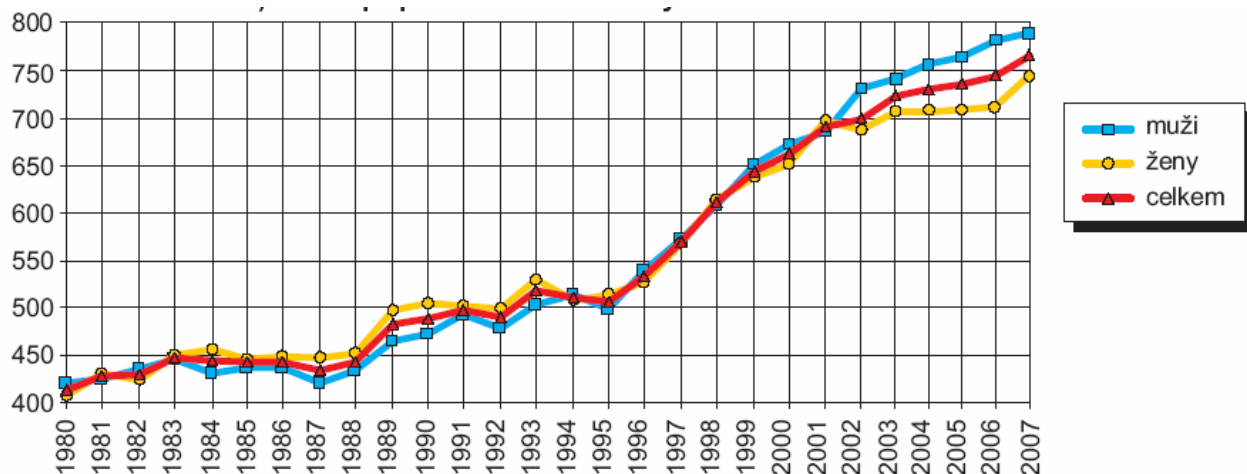
Attaining the California PM standards would annually prevent about 6,500 premature deaths, or 3% of all deaths. These premature deaths shorten lives by an average of 14 years. This is roughly equivalent to the same number of deaths (4,200 - 7,400) linked to second-hand smoke in the year 2000. In comparison, motor vehicle crashes caused 3,200 deaths and homicides were responsible for 2,000 deaths (CARB 2002a, and CDHS 2000).

**Mikroskopické pevné částice vznikající spalováním jsou jedna z nejčastějších příčin předčasného úmrtí. V Kalifornii zabíjejí více lidí, než dopravní nehody, a přibližně stejně jako druhotný cigaretový kouř.**

“Fine particulate matter (PM<sub>2,5</sub>) is responsible for significant negative impacts on human health. Further, there is as yet no identifiable threshold below which PM<sub>2,5</sub> would not pose a risk. As such, this pollutant should not be regulated in the same way as other air pollutants. The approach should aim at a general reduction of concentrations in the urban background to ensure that large sections of the population benefit from improved air quality. However, to ensure a minimum degree of health protection everywhere, that approach should be combined with a limit value, which is to be preceded in a first stage by a target value.”  
(Směrnice 2008/50/EC, úvodní část)



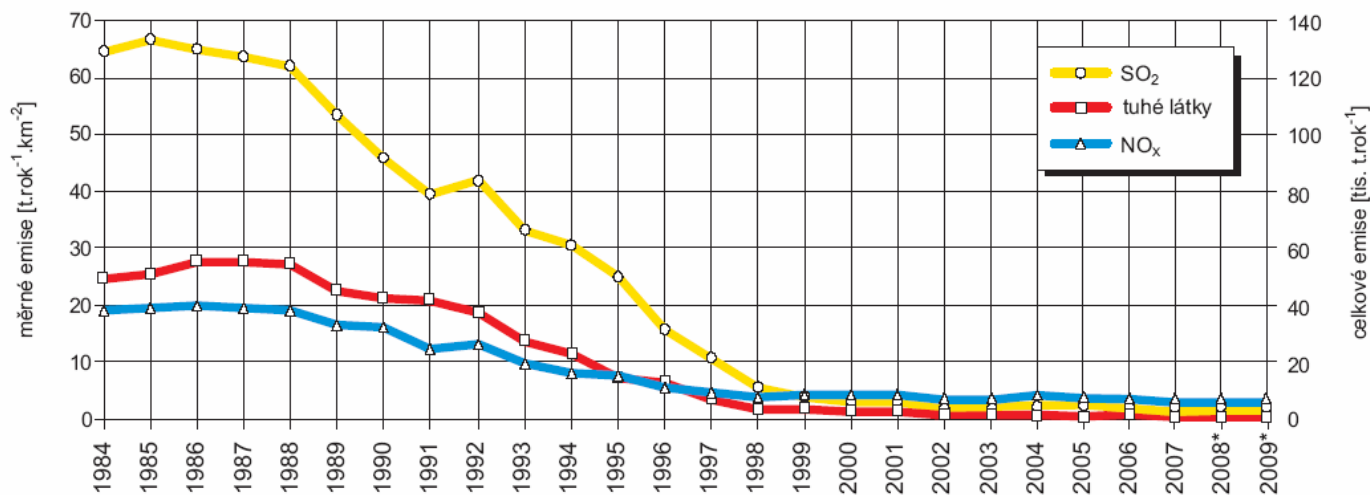
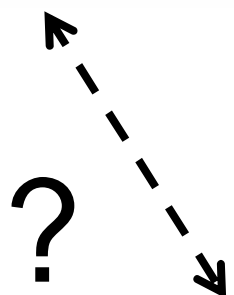
Zdroj: Ročenka životního prostředí, MŽP ČR, 2007.



**Počet hlášených zhoubných nádorů a novotvarů in situ na 100 tis. obyvatel**  
 Zdroj: Praha - Životní prostředí 2009.

Zdroj: ÚZIS, Národní onkologický registr ČR

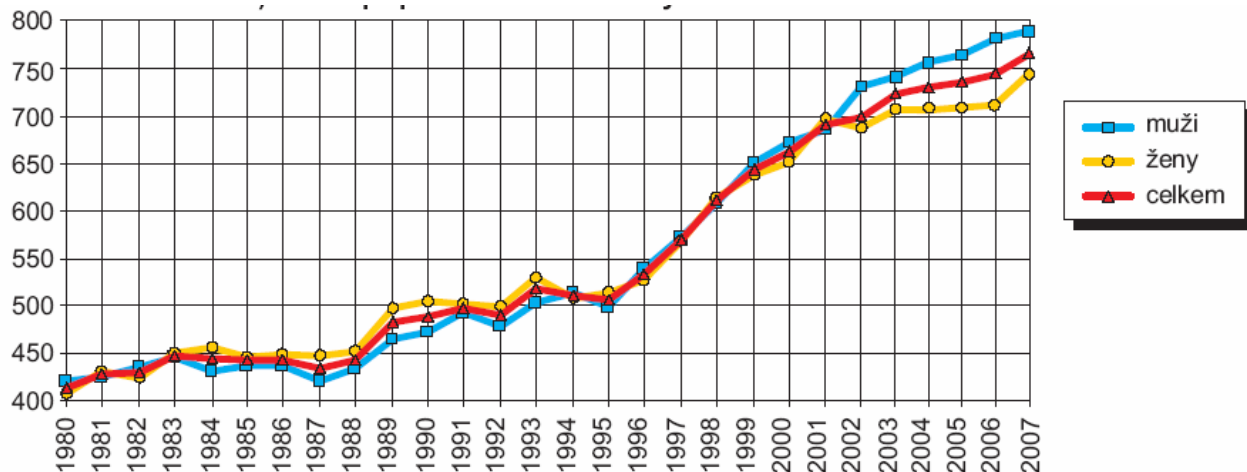
Obr. B1.2.3 Celkové a měrné emise ze stacionárních zdrojů, Praha, 1984–2009



\* od roku 2008 zahrnutý emise tuhých látek ze stavebních činností

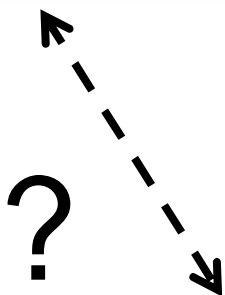
Zdroj: ČHMÚ



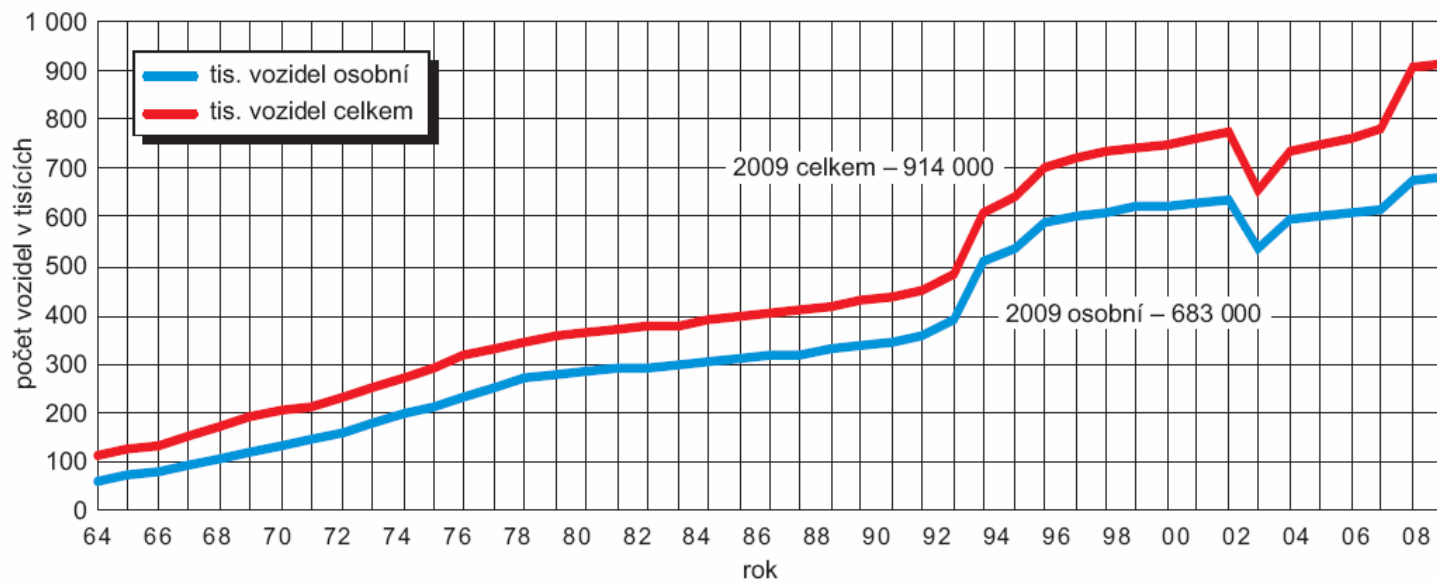


**Počet hlášených zhoubných nádorů a novotvarů in situ na 100 tis. obyvatel**  
 Zdroj: Praha - Životní prostředí 2009.

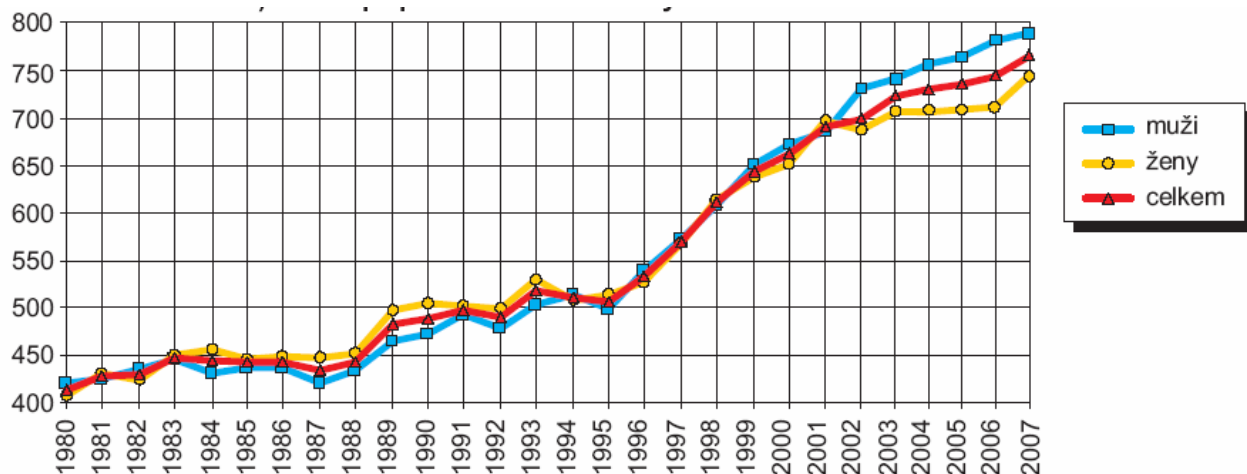
Zdroj: ÚZIS, Národní onkologický registr ČR



Obr. D3.1.2 Počet motorových vozidel

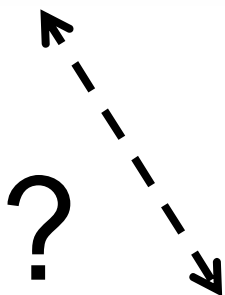


Zdroj: TSK – ÚDI

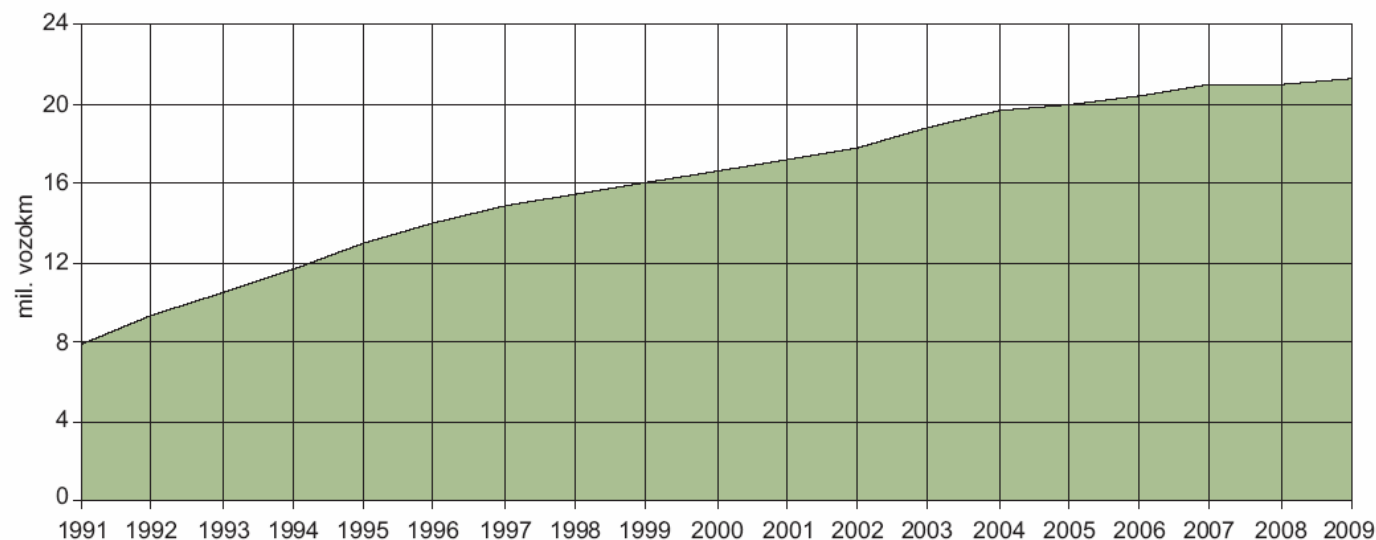


**Počet hlášených zhoubných nádorů a novotvarů in situ na 100 tis. obyvatel**  
 Zdroj: Praha - Životní prostředí 2009.

Zdroj: ÚZIS, Národní onkologický registr ČR



Obr. D3.1.3 Dopravní výkon automobilové dopravy za průměrný pracovní den



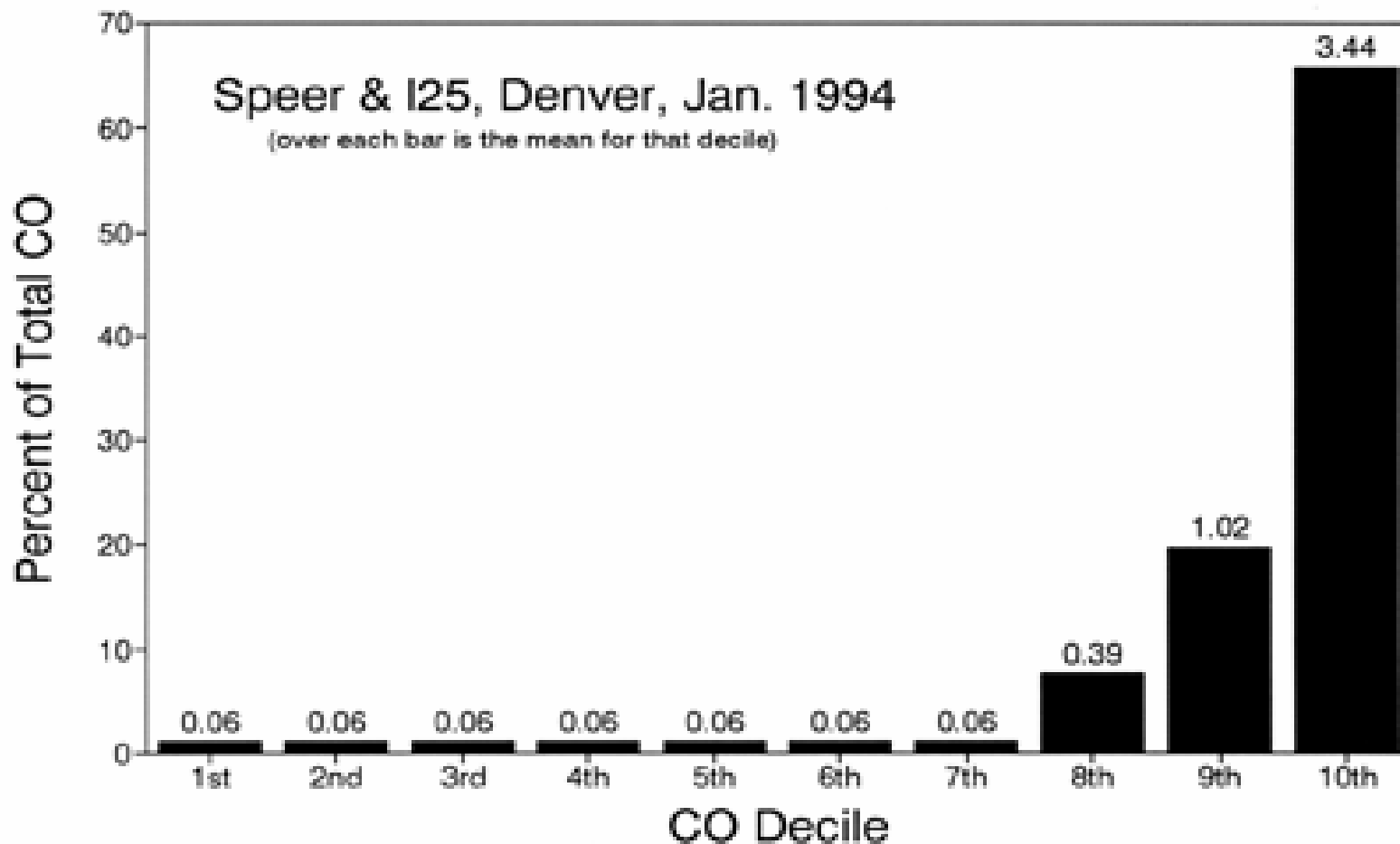
Zdroj: TSK – ÚDI

**(Malé procento motorů ve špatném stavu = velký podíl na celkových emisích)**



*Vojtíšek: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika – Úvodní setkání MEDETOX, ÚEM AV ČR Praha, 19.12.2011*

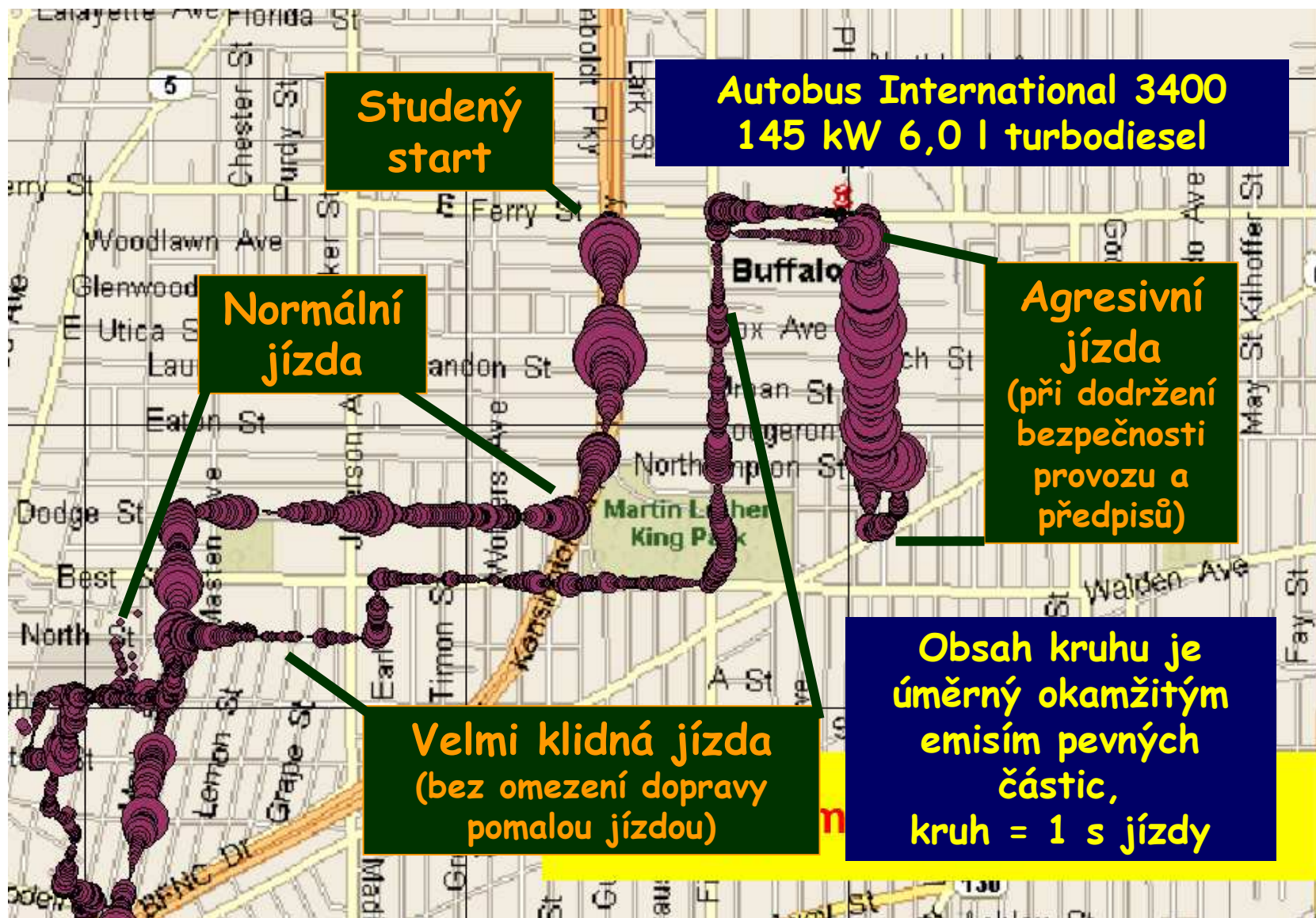
(Malé procento motorů ve špatném stavu = velký podíl na celkových emisích)



*Graph: Prof. Donald Stedman, University of Denver,  
University lecture on vehicle emissions, 1995*



# Špatná jízda = více emisí!



**Motor tohoto  
vozu byl  
homologován  
podle normy  
Euro 5.**

Pohled do výfukového  
potrubí tomu neodpovídá.

(Kdesi v ČR. Foto: autor.)

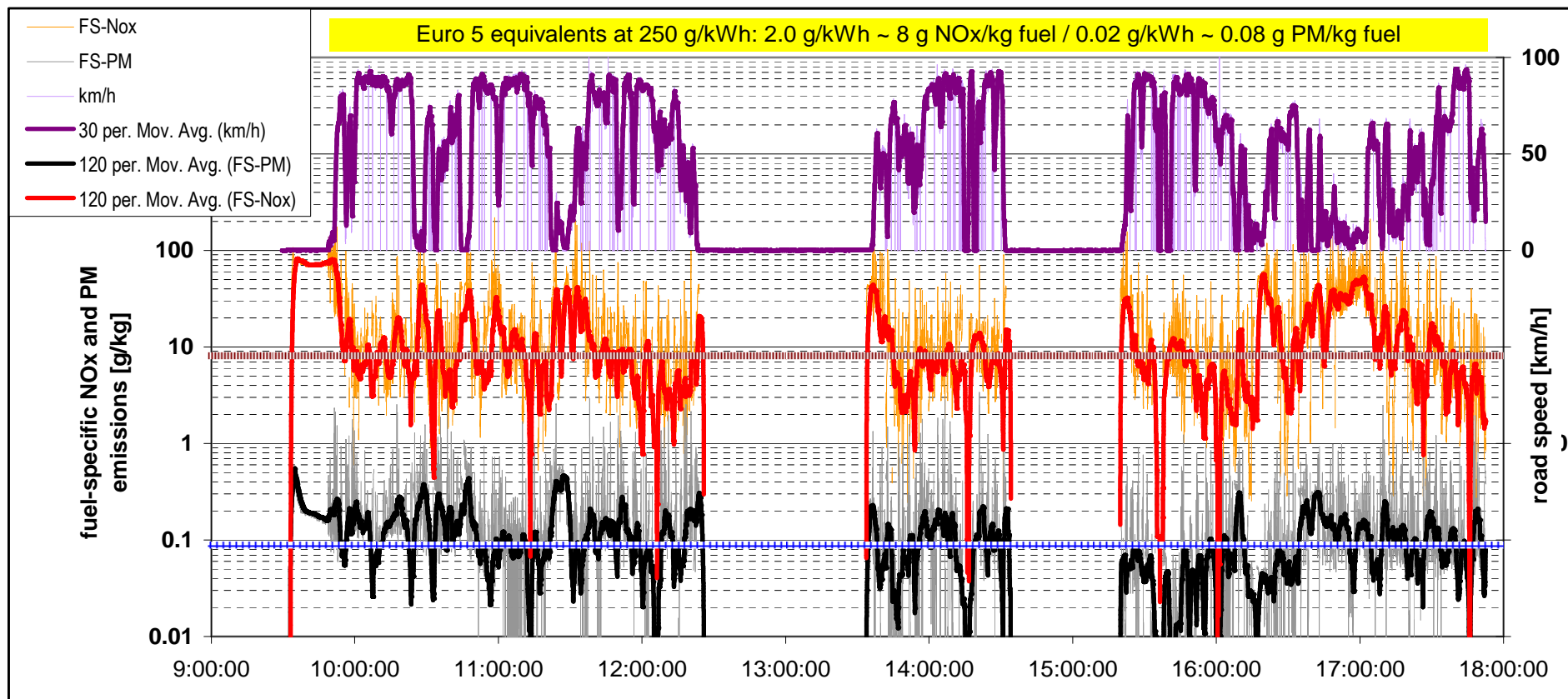


# Popojíždění v zácpě = více emisí!

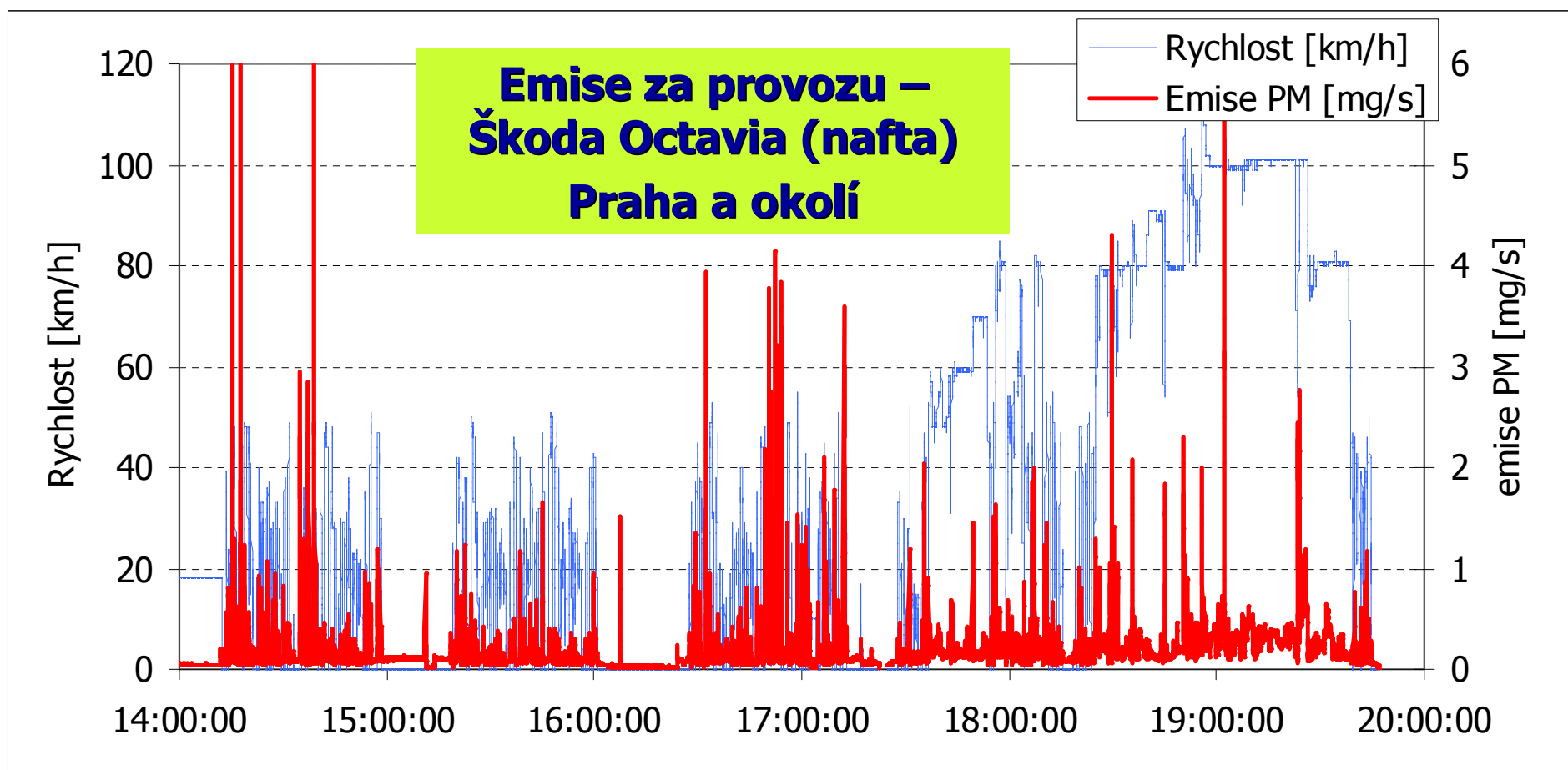


## Nákladní automobil DAF (40 t) na pražském okruhu

- Průměrná rychlost (30 s průměr) a emise NOx a PM na kg paliva (120 s průměr)
- Při jízdě „cestovní rychlostí“ se emise výrazně neliší od limitů Euro 5 i při stáří motoru 109% deklarované minimální životnosti (500 000 km).
- Při snížení průměrné rychlosti NOx i PM na kg paliva i spotřeba paliva výrazně narůstají!  
 (např. při 0.2 g PM/kg paliva, 50 kg/100 km: 0.1 g PM/km, 0.0025 g PM/t-km)

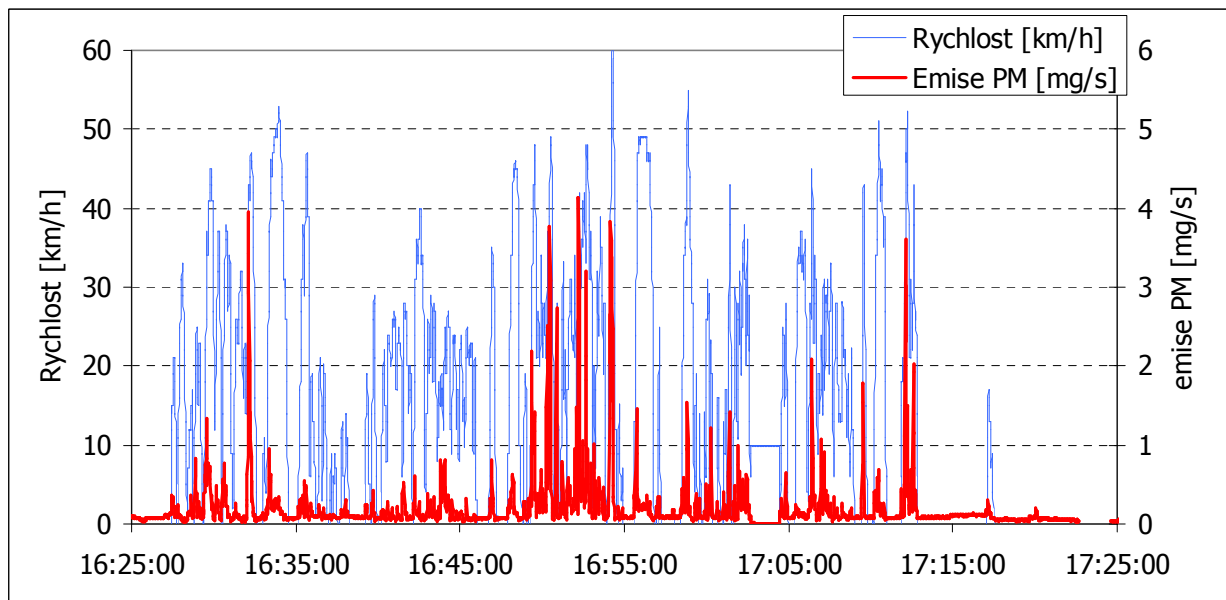


**Emisní modely se používají pro odhady současných nebo budoucích emisí z dopravy při plánování staveb apod. Jsou založené zpravidla na měřeních v laboratoři při ustálených rychlostech, což nevyjadřuje (a podhodnocuje) celkové emise...**



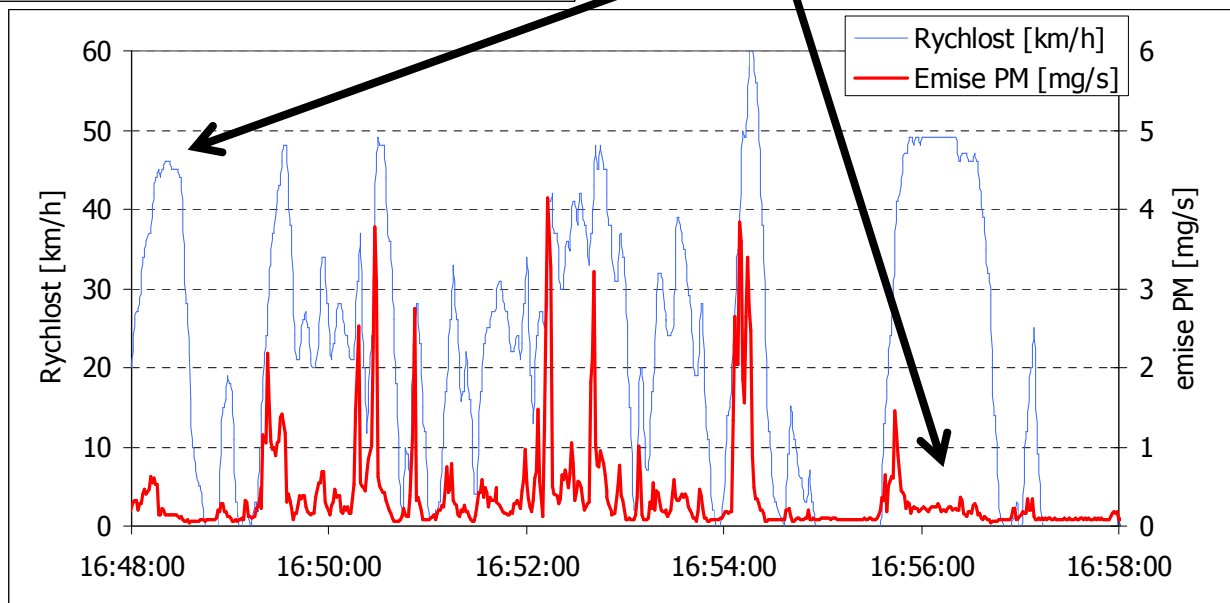


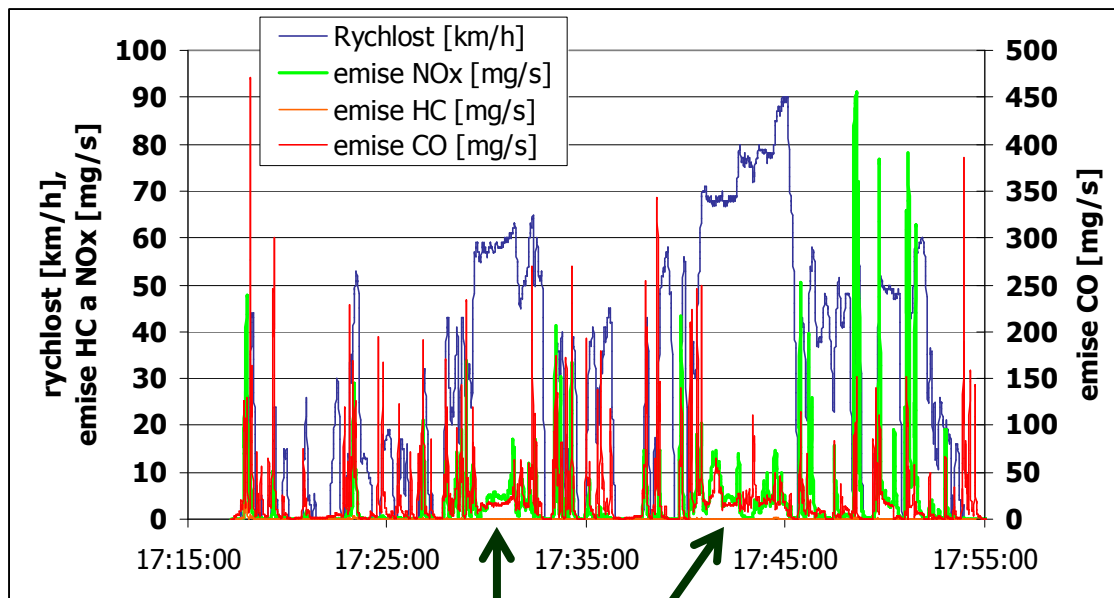
# Emise za provozu – Škoda Octavia (nafta)



**Jízda ustálenou rychlostí  
- Takto byla provozována  
většina motorů v tunelových  
studiích a při měřeních ze  
kterých  
jsou vypočteny mnohé  
emisní faktory**

**Toto je cesta po Praze  
po místních  
komunikacích  
(nikoliv po obchvatu)**



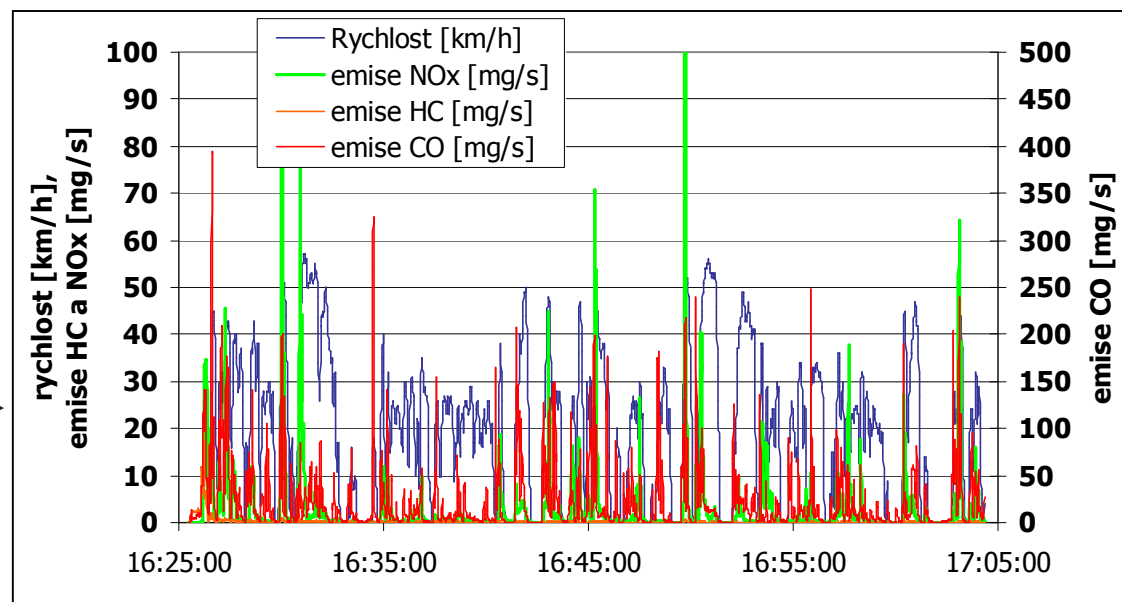


**Toto je výjezd z Prahy a cesta po příměstské arteriální komunikaci**

**Jízda po městě – 0,7 až 2 litry benzínu za hodinu „vlastní“ spotřeba motoru a příslušenství (jen 1-2 litry na 100 km na „pohon“ vozidla)**

**Jízda ustálenou rychlostí (řidič se snažil, jinak se takto příliš nejezdí)**

**Toto je cesta po Praze po místních komunikacích (nikoliv po obchvatu)**



# Emise – případová studie



## Peace Bridge border crossing

- 1.14 million heavy trucks annually [1]
- 7.66 million private vehicles annually
- Frequent delays, during which trucks idle [2]
- On Buffalo side, trucks often use residential streets as staging areas



Low-income residential area  
adjanced to U.S.  
toll/customs  
plaza



Down  
town

Buffalo, NY, USA

Prevailing  
winds

Fort Erie, Ontario, Canada

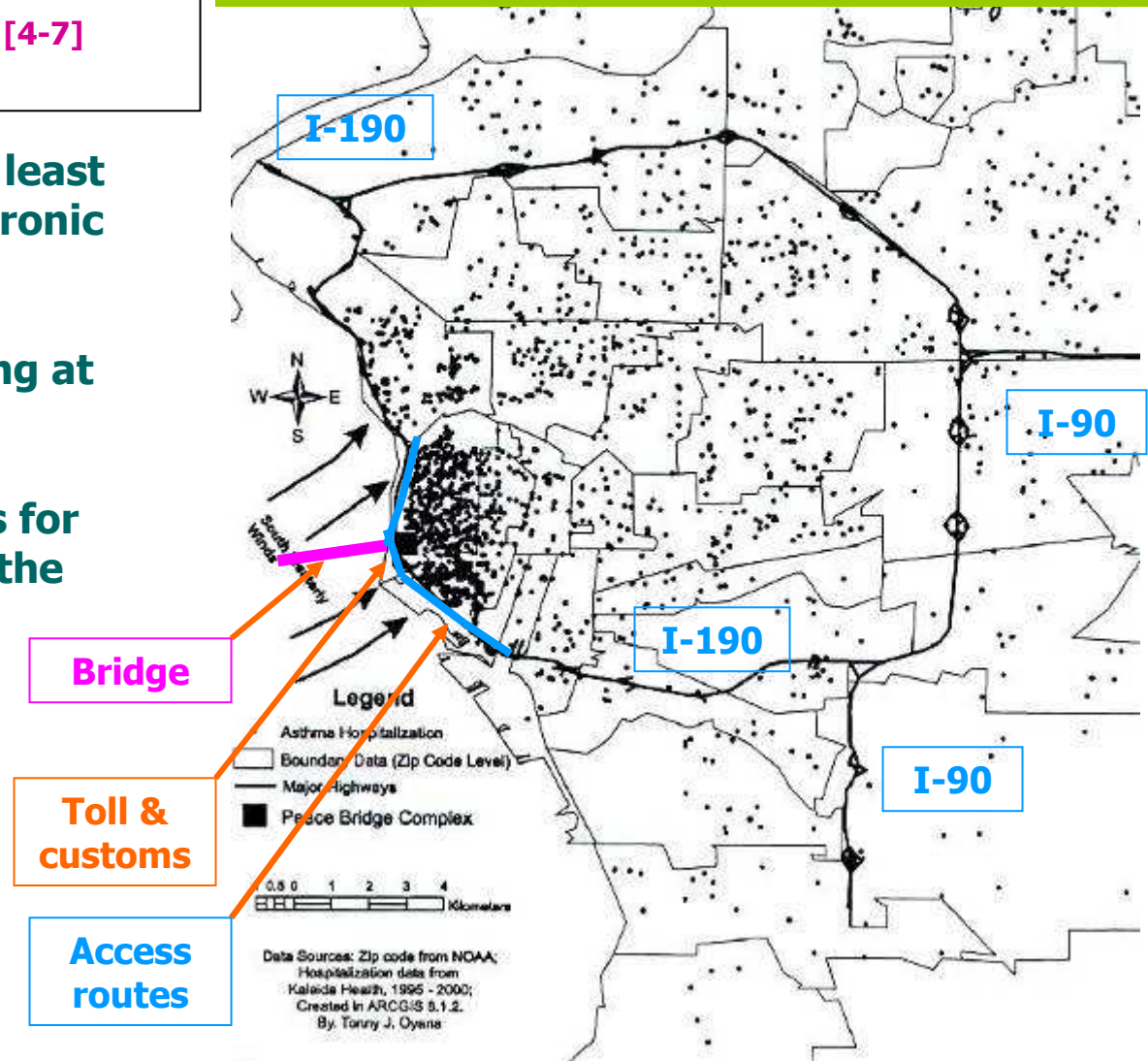


## Health issues near Peace Bridge border crossing: Very high levels of asthma and respiratory ailments [4-7]

- 36% of households with at least one person suffering from chronic respiratory ailment
- 51% of households reporting at least one asthmatic
- Health care utilization rates for asthma more than double in the immediate vicinity than in surrounding neighborhoods

**Spatial distribution of asthma cases in Buffalo (marked by black dots)**

**Hraniční přechod USA-Kanada**  
**3-4 tisíce kamionů denně**  
**Tečka = bydliště pacienta s chronickými dýchacími obtížemi**  
**(Gočárův okruh 2015: 4-5 tisíc denně)**



Jamson S. Lwebuga-Mukasa, *Journal of Asthma*, Vol. 42, No. 5, 2005, pp.337-348.

# Emise – místní realita

## Kvalita ovzduší

Základním obecným podkladem pro hodnocení současného imisního zatížení uvažovanými škodlivinami jsou výsledky požadového imisního měření. Imisní situace přímo v posuzované lokalitě není trvale sledována.

Zájmová lokalita patří mezi oblasti se zhoršenou kvalitou ovzduší – z důvodu znečištění suspendovanými částicemi PM<sub>10</sub> (podle dat za r. 2007).

Empla AG spol. s r.o. Hradec Králové

77

Koncentrace částic je třeba snižovat (dle 2008/50/EC)

V HK jsou koncentrace částic příliš vysoké a je třeba je snížit (dle 2008/50/EC)



V roce 2008 byla na stanici č. 1503 Hradec Králové – Brněnská naměřena nejvyšší 24-hodinová imisní koncentrace  $\text{PM}_{10}$  **111,4**  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (12.2.), 98% Kv = **65,2**  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Hodnota 36. nejvyšší naměřené 24-hodinové koncentrace (imisní limit přípouští překročení hodnoty  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  35x za rok) v roce 2008 byla **42,6**  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (26.10.). V roce 2008 byl překročen stanovený 24-hodinový imisní limit 22x, hodnota 24-hodinového imisního limitu zvýšená o mez tolerance byla překročena 22x. Průměrná roční hodnota koncentrace  $\text{PM}_{10}$  byla stanovena **26,2**  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

**... V roce 2007 to bylo 25,6 ug/m<sup>3</sup>,  
2009 - 28,0 ug/m<sup>3</sup>, 2010 - 29,5 ug/m<sup>3</sup>  
(průměrná roční koncentrace PM10, data ČHMÚ)**

**Není bezpečná koncentrace pro jemné částice (PM2.5) (2008/50/EC)**

**Koncentrace částic neklesají a je třeba je snižovat**

(2008/50/EC annex XIV: vždy jsou-li koncentrace PM2.5 větší než  $8.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , roční průmery: 2006 – 14, 2007 – 17, 2008 - 18, 2009 – 16, 2010 – 19  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

**S pokračujícím nárůstem tranzitní i místní silniční dopravy budou v HK koncentrace částic pravděpodobně příliš vysoké a pro splnění 2008/50/EC je bude třeba je snížit**

(2008/50/EC annex XIV: PM2.5 max.  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  do 2015, max.  $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$  do 2020 – dle měření v jiných městech PM2.5 jsou blízké PM10)

(Směrnice Evropského parlamentu 2008/50/EC v Rozptylové studii zmíněna není.)

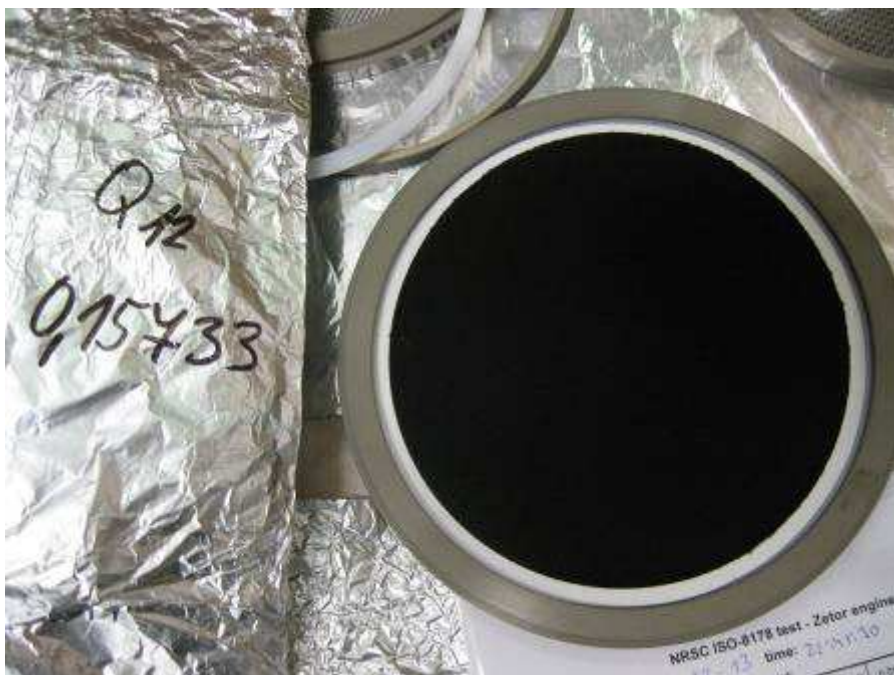
**Cíle projektu MEDETOX:  
Využití inovativních metod pro  
stanovování toxicity výfukových plynů v  
podmínkách městského provozu.**





**Vzorkování pro toxikologické studie:  
Vzorkování na filtry s následnou extrakcí  
vs.  
Přímá expozice biologického materiálu**





## High-volume samplers

(Digitel, normally used for ambient air quality measurements, here adapted for use with diluted diesel exhaust)





### High-volume Digital samplers vs. conventional gravimetric measurements:

	Conventional	High-vol sampler
Sampling rates [l/min]	30-50	500-1000
Filter diameter [mm]	47	150
Mass of PM deposited [ug]	50 - 500	3 000 – 20 000
Filter diameter [mm]	47	150
Filter active area [cm <sup>2</sup> ]	11-13	~ 150
Sampled volume [m <sup>3</sup> ]	~ 0.1 – 0.5	10 - 100

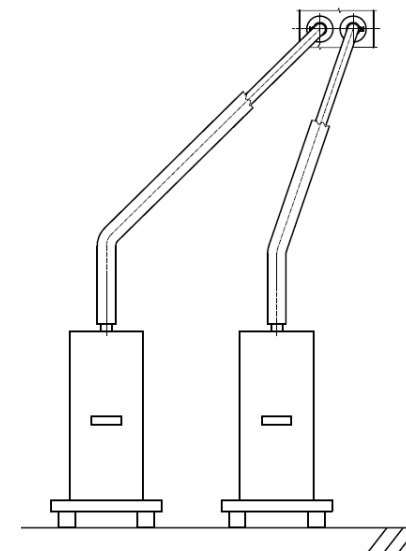
**For toxicological assays and advanced chemical characterization, large quantities of PM are needed – about two orders of magnitude more than for gravimetric measurement... usually, full-flow dilution tunnel / CVS system is used.**

**Results of these studies have been presented:**

**Vojtíšek et al., Ovzduší 2011**

**Škrdlíková et al., Ovzduší 2011**

**Topinka et al., ETH Conference on Combustion Generated Nanoparticles, 2011**







# Řezy plicní tkáně

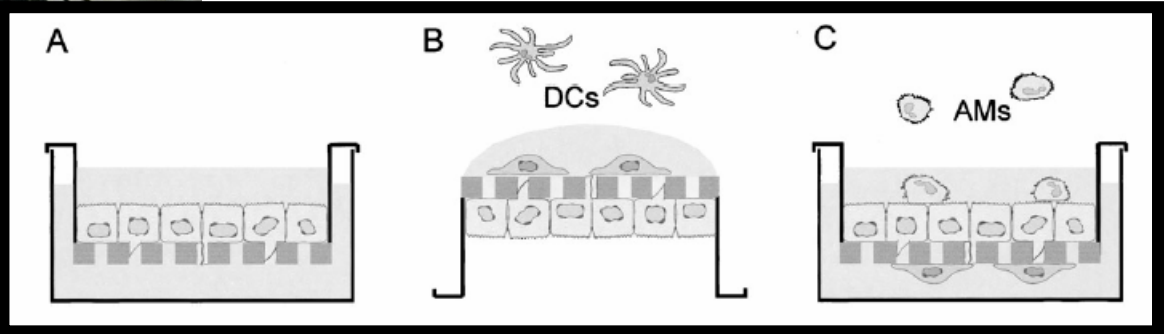
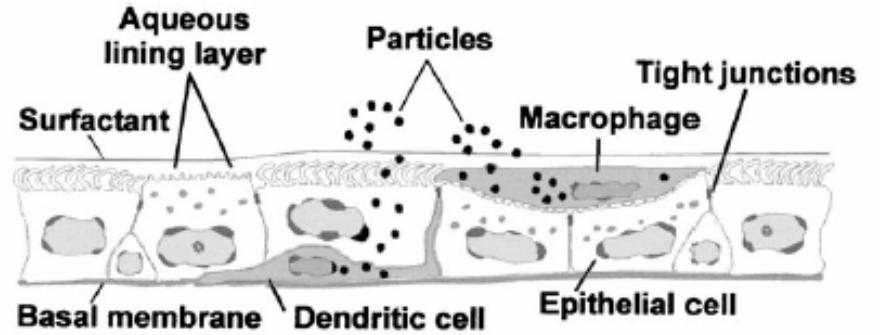
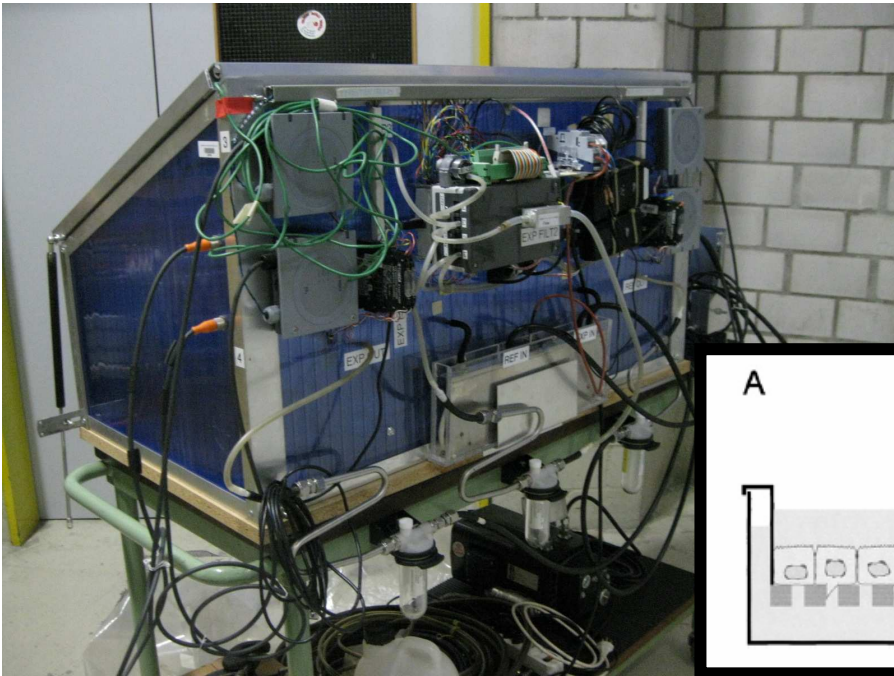
Prof. Jean-Paul Morin  
Université de Rouen, Francie  
+ CERTAM, St. Etienne, Francie







**Buněčné kultury,  
expoziční komora**  
Barbara Rothen-Rutishauer  
Universite de Fribourg, Švýcarsko  
Prof. Jan Czerwinski  
ABFH, Nidau, Švýcarsko



## **Směry úsilí - vzorkování:**

### **Charakterizace reálného provozu v městských aglomeracích, jeho replikace v laboratoři, vzorkování vysokoobjemovými vzorkovači**

- Vývoj a využití přenosných měřicích zařízení pro měření nanočástic a plyných látek
- Sledování emisí částic vznětových i zážehových motorů, včetně nesilničních vozidel
- Studie improvizovaných ředicích zařízení (plnoprůtočný tunel)
- Vývoj a využití ředicího zařízení pro přímé napojení vysokoobjemového vzorkovače na výfukový systém motoru

### **Konstrukce přenosného vysokoobjemového vzorkovače, měření přenosným vzorkovačem za reálného provozu**

- Vývoj přenosného proporcionálního vzorkovače
- Vývoj přenosného vysokoobjemového vzorkovače

### **Úvaha přímé expozice jako alternativy ke vzorkování**

### **Případové studie – pražský region**

## Laboratory main exhaust duct used as an improvised full-flow dilution tunnel



Sampling ports for high-volume samplers for toxicological assays



Sampling ports for particulate sizing (EEPS) and for gravimetric measurement





## Přihlášené publikace:

- Vojtíšek, M.; Mazač, M.; Laurin, J.: On-road exhaust emissions from an ordinary gasoline engine operated on E-85. (Submitted, Listy cukrovarnické a řepařské) x
- Vojtíšek, M.: Operating history „artefacts“ of large engine particulate matter emissions measurement. (Submitted, Proceedings of the ASME 2012 Internal Combustion Engine Division Spring Technical Conference, ICES2012, May 6-9, 2012, Torino, Piemonte, Italy) x

## Realizované publikace:

- Vojtíšek, M.; Pechout, M.; Mazač, M.: Experimental Investigation Of Rapeseed Oil Combustion In A Modern Common-Rail Diesel Engine. Society of Automotive Engineers Technical Paper Series, ISSN 0148-7191, 2011-24-0104. (+ VCJB, GAČR)
- Vojtíšek, M.: Measurement of particulate matter exhaust emissions from internal combustion engines during real-world operation using portable on-board monitoring systems. Vyzvaná přednáška, EMPA, Dubendorf, Švýcarsko, 30.11.2011.
- Topinka, J.; Milcova, A.; Schmuczerova, J.; Mazac, M.; Pechout, M.; Vojtisek-Lom, M.: Comparison of Genotoxicity of Exhaust from a Diesel, Biodiesel and Rapeseed Oil Powered Engine – pilot study. Výroční konference České aerosolové společnosti, Čejkovice, 3.-4.11.2011. (+ VCJB, GAČR)
- Vojtíšek, M.: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika. Předneseno na konferenci České technologické platformy pro průmyslovou bezpečnost, Praha, 2.11.2011.
- Vojtíšek, M.; Dittrich, A.; Mazač, M.; Dufek, M.; Fenkl, M: On-road particulate matter emissions from homogeneous charge spark ignition engines. Presented at XLII. International Scientific Conference KOKA 2011, Žilina, Slovakia, September 7-9, 2011. Technológ, 3, 2011, ISSN 1337-8996. (+ VCJB)
- Vojtíšek, M.; Pechout, M.; Mazač, M.; Dittrich, A.; Čihák, M.: Particulate matter measurement with an improvised full-flow dilution tunnel. Presented at XLII. International Scientific Conference KOKA 2011, Žilina, Slovakia, September 7-9, 2011. Technológ, 3, 2011, ISSN 1337-8996. (+ VCJB, GAČR)
- Pechout, M.; Vojtíšek, M.: Comparison of effects caused by utilizing rapeseed oil as a fuel for a modern and an older design diesel engine – part a: fueling, combustion and performance. Presented at XLII. International Scientific Conference KOKA 2011, Žilina, Slovakia, September 7-9, 2011. Technológ, 3, 2011, ISSN 1337-8996. (+ VCJB, GAČR)
- Pechout, M.; Vojtíšek, M., Mazač, M.: Comparison of effects caused by utilizing rapeseed oil as a fuel for a modern and an older design diesel engine – part b: exhaust emissions. Presented at XLII. International Scientific Conference KOKA 2011, Žilina, Slovakia, September 7-9, 2011. Technológ, 3, 2011, ISSN 1337-8996. (+ VCJB, GAČR)

***Vojtíšek: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika – Úvodní setkání MEDETOX, ÚEM AV ČR Praha, 19.12.2011***