

Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika

Michal Vojtíšek, M.Sc., Ph.D.
Fakulta Strojní, Technická univerzita v Liberci
michal.vojtisek@tul.cz, tel. (+420) 774 262 854



Úvod

Emise ze spalovacích motorů jsou z hlediska zdravotního rizika jedním z největších zdrojů znečištění ovzduší v městských aglomeracích.

Většina našich odhadů celkových emisí je založena převážně na měření relativně malého počtu relativně nových motorů za ideálních podmínek v laboratoři, a na měření imisí.

Emise z daného vozidla v daném okamžiku jsou velmi různé – závisí na technologii motoru, technickém stavu, atmosférických a provozních podmínkách, způsobu jízdy, ... na to se často zapomíná!

Splňuje-li nějaký motor nové emisní normy (Euro 3,4,5,...) při homologačních zkouškách za ideálních podmínek, neznamená to nutně že má odpovídající nízké emise i po celou dobu reálného provozu.

Pouze sledováním emisí (regulovaných i neregulovaných) po celou dobu životnosti vozového parku můžeme získat podklady pro uvážená rozhodnutí o vhodných opatřeních pro snížení emisí.



Současná situace silniční dopravy

- **Intenzita dopravy i spotřeba paliva rostou**
- **Emise ze spalovacích motorů, zejména velmi jemné částice, se stávají jedním z hlavních problémů většiny měst**
- Spalování fosilních paliv vede k emisím skleníkových plynů, jejich narůstající koncentrace spojena s rizikem klimatických změn
- Zásoby fosilních zdrojů jsou omezené
- ČR i EU jsou energeticky závislé na jiných zemích



Spalovací motory jsou dnes jedním z největších zdrojů znečištění ovzduší



Počet automobilů (osobních i nákladních) na našich silnicích neustále roste



Automobilismus



Praha, 2009



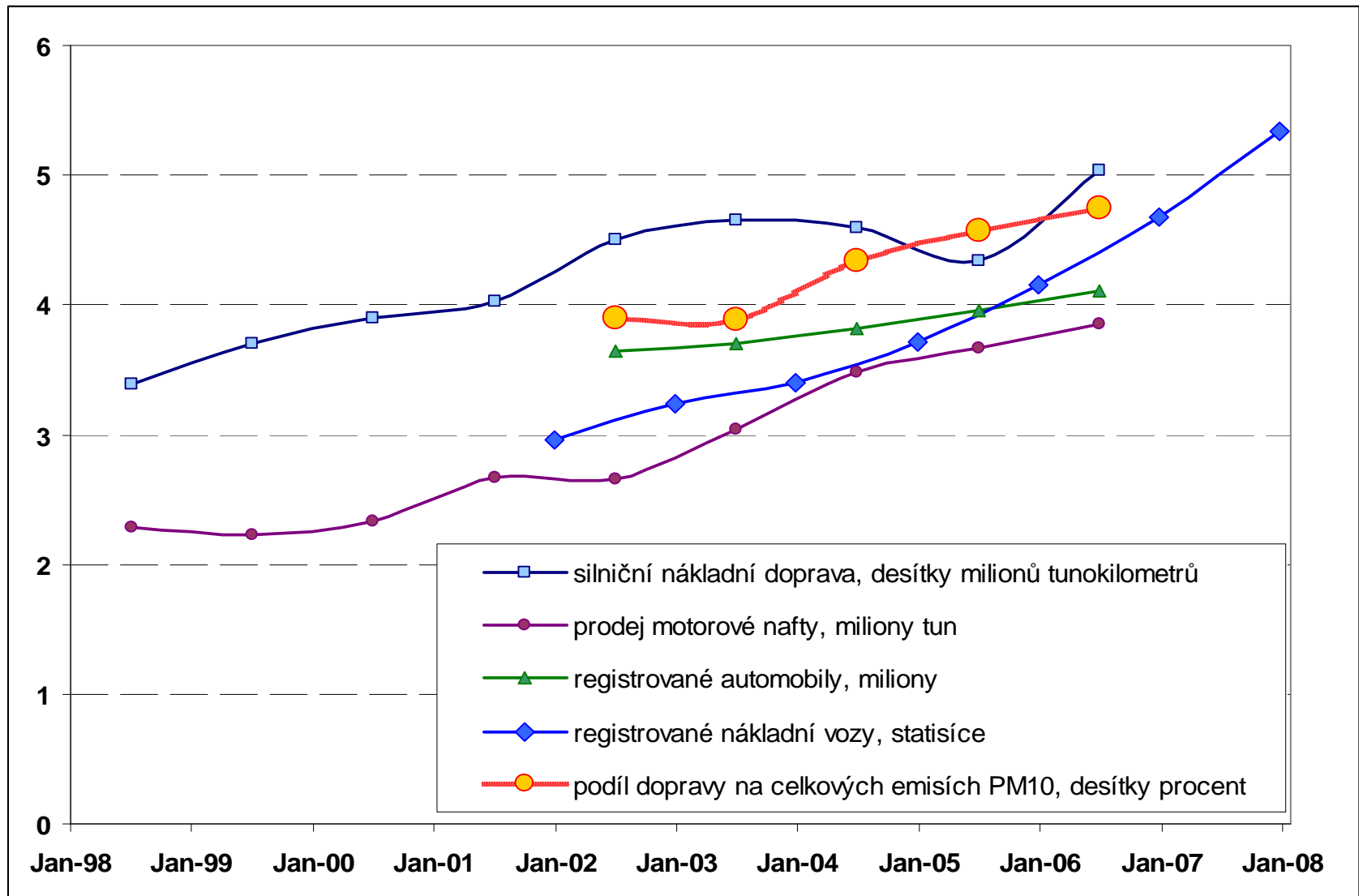
In the Czech Republic, in the period from 1990 to 2004, energy consumed by transport rose by almost 100%, increasing by 6.7 percent from 2003 to 2004.

Ministry of the Environment

(Report on The Environment in the Czech Republic in 2004 – December 2005)



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



Zdroj: Ročenka životního prostředí, MŽP ČR, 2007; Centrální registr motorových vozidel; Ministerstvo dopravy



Emise ze spalovacích motorů - plyny

- Oxid uhelnatý (CO) – jedovatý plyn
- Směs uhlovodíků (vyjma metanu) (NMHC)
- Oxidy dusíku (NO_x)
 - látky podílející se na tvorbě přízemního ozonu a smogu
- Metan (CH₄)
- Oxid uhličitý (CO₂)
 - Skleníkové plyny
- Těkavé organické sloučeniny (VOC) odpařené z paliva
- Toxické látky, zejména formaldehyd, acetaldehyd, benzen, acrolein, 1,3-butadien, a směs plynných, kapalných a pevných organických látek vznikajících spalováním nafty ve vznětových motorech



Emise ze spalovacích motorů - částice

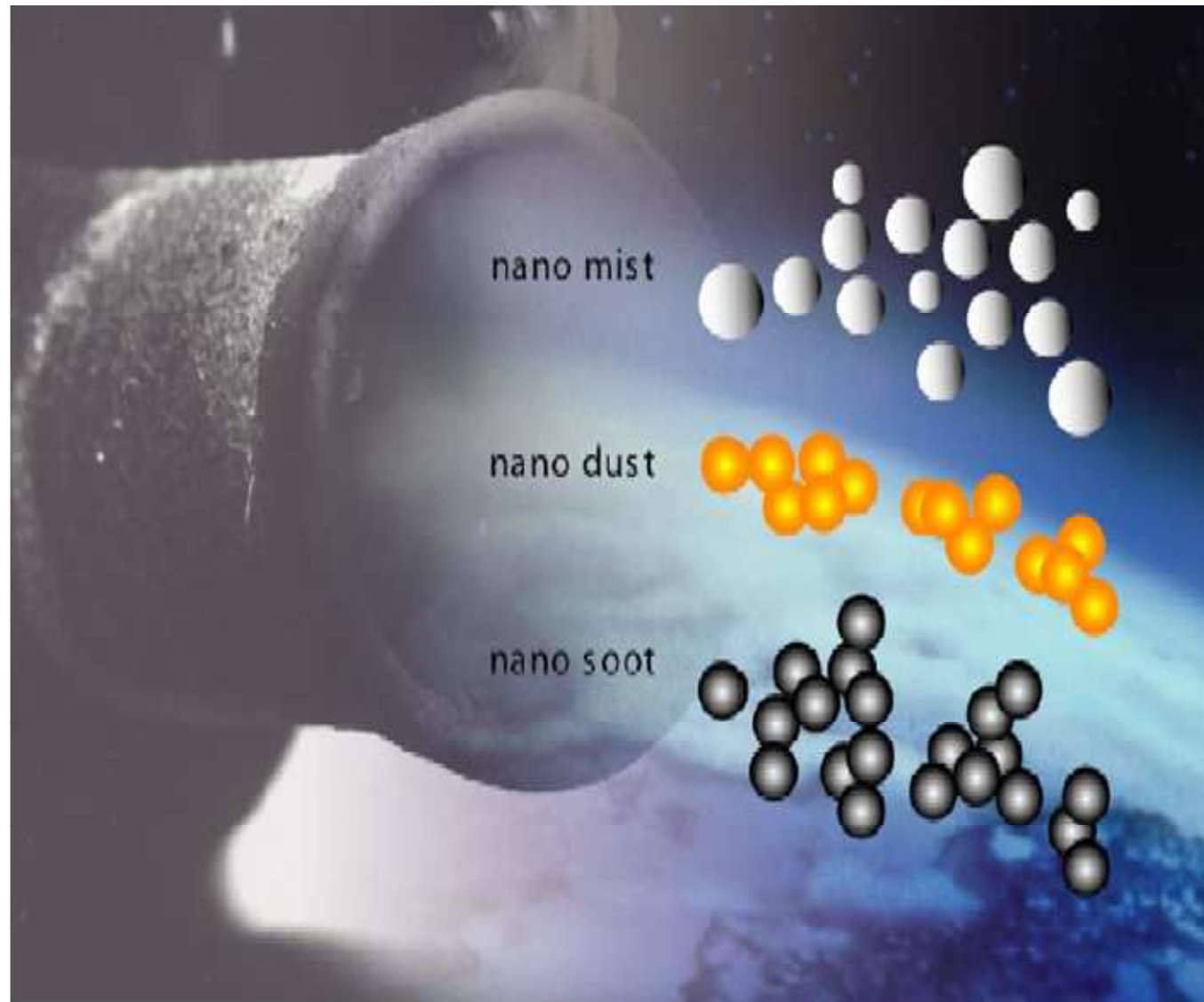
- Černé saze – povětšinou „čistý“ uhlík, částice mají velikost 0.1 až 1 mikrometr, mají složitý fraktální tvar připomínající sněhové vločky, na těchto částicích se nachytávají aerosoly, plyny, pyl, mikroorganismy, atd.
- Aerosoly – směs organických látek z nespáleného nebo částečně spáleného paliva a oleje, kyseliny sírové a dusičné a jejich sloučenin, částice mají velikost řádově od 0.005 do 0.1 mikrometru, nejsou proto téměř viditelné
- Částice se zachycují a usazují v plicích, vyvolávají onemocnění dýchacích cest, napadají i srdce a mozek



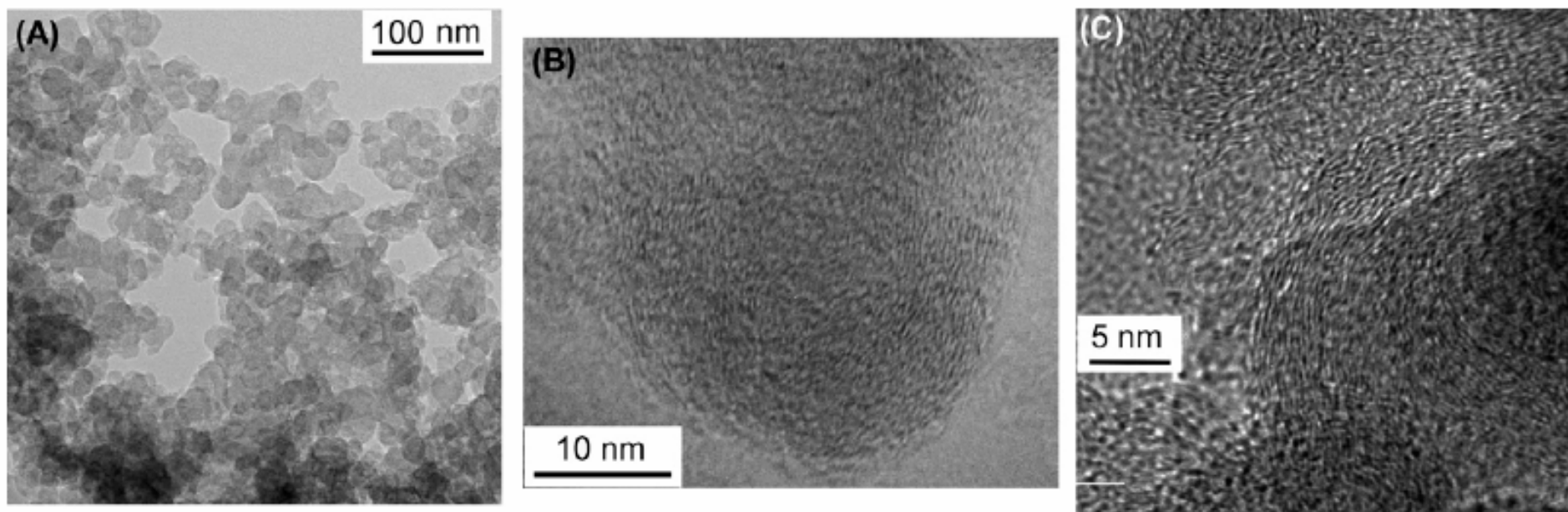
Základní typy výfukových aerosolů

- elementární uhlík (saze)
- anorganické sloučeniny a kovy
- volatilní látky

A.Mayer, TTM



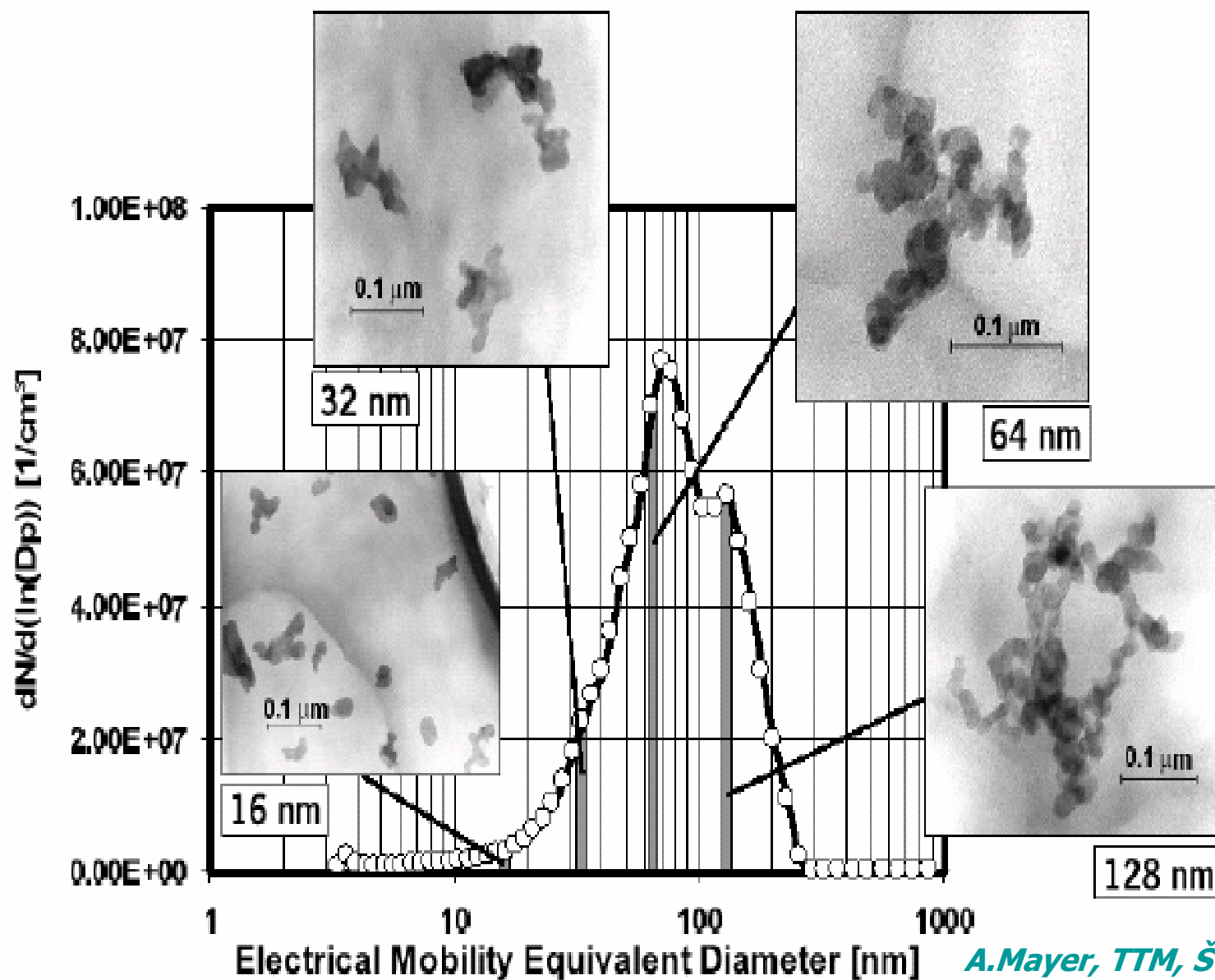
Částice ve výfukových plynech naftového motoru



Liatl A., Dimopoulos P.E., *Combustion and Flame* 157 (2010) 1658–1670.



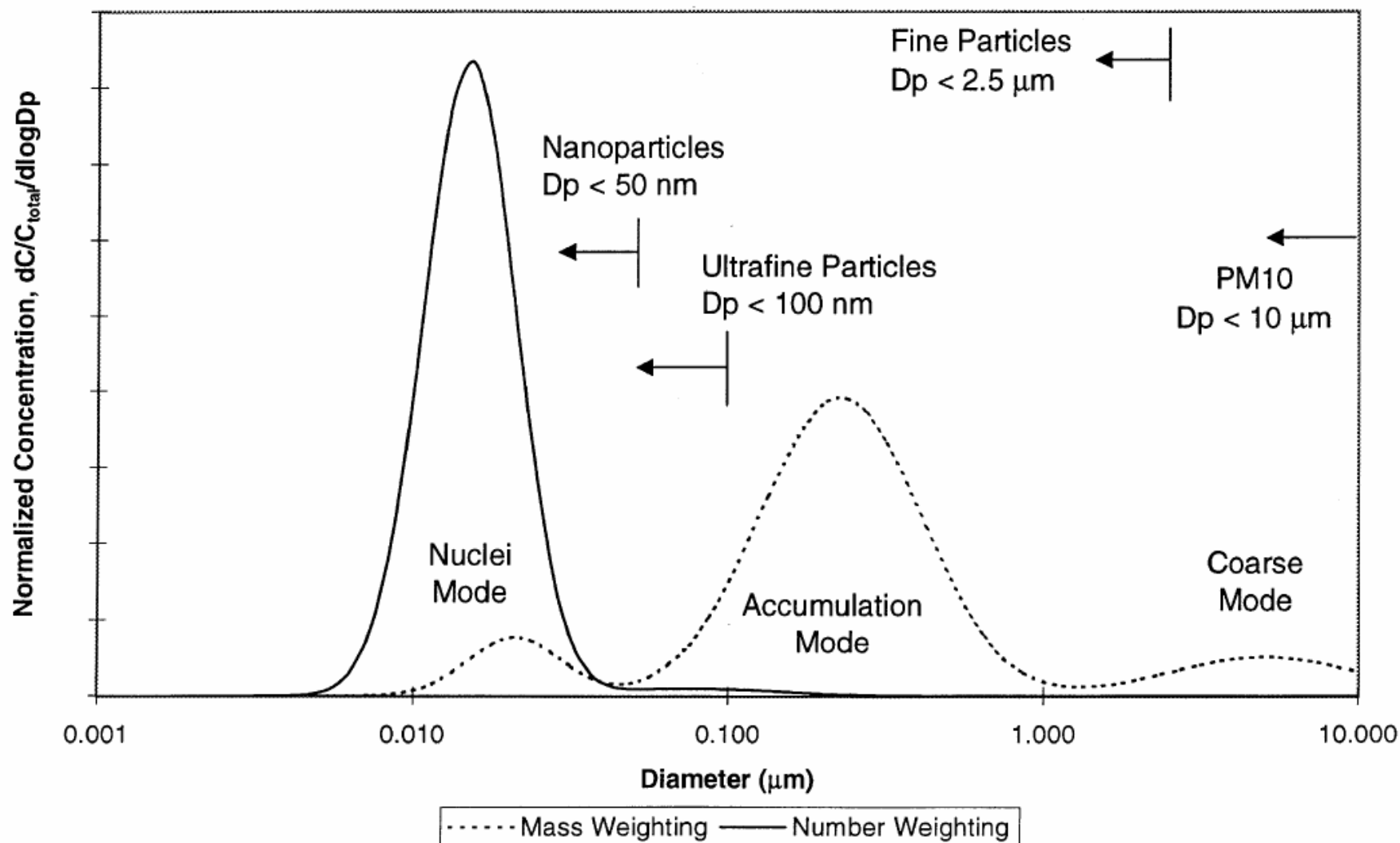
Částice ve výfukových plynech naftového motoru



A.Mayer, TTM, Švýcarsko
Přednáška na MŽP 2009



Typické velikostní spektrum částic - vznětové motory



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



Zachycovací účinnost dýchacího systému

Fractional Deposition of Inhaled Particles (Oberdörster)

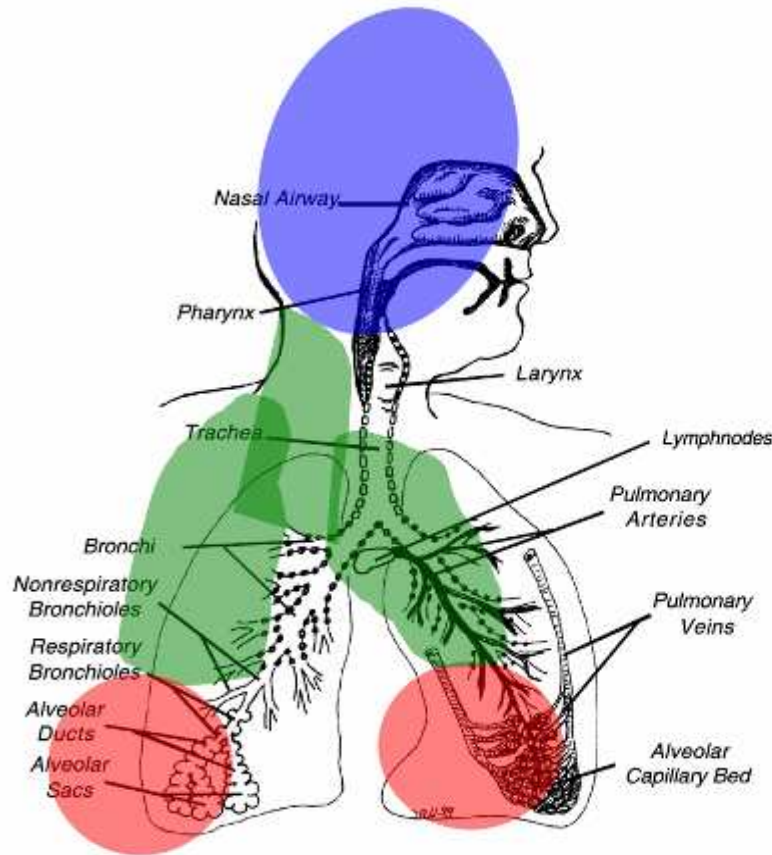
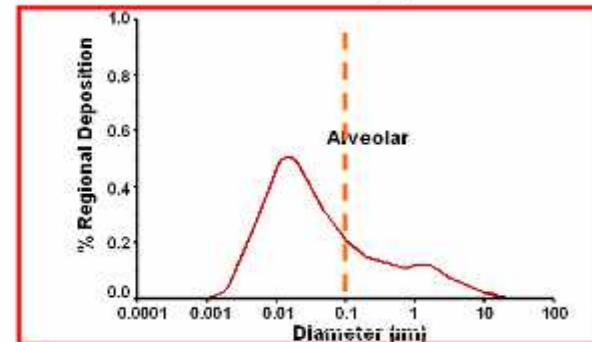
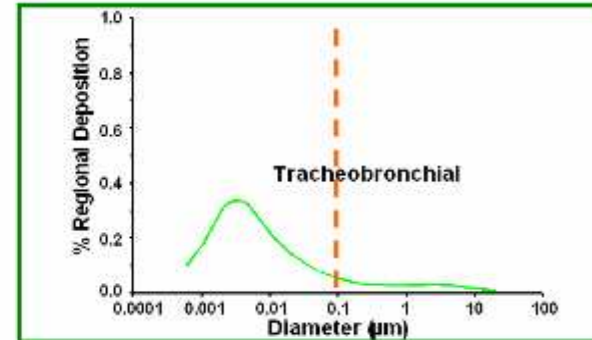
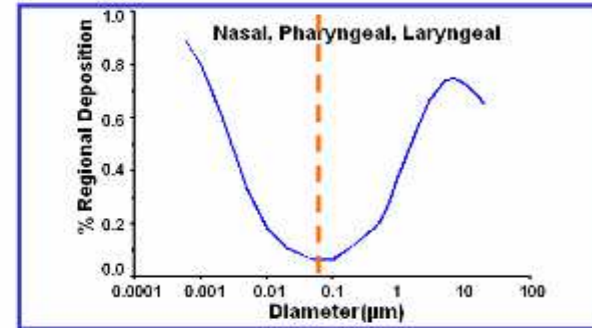


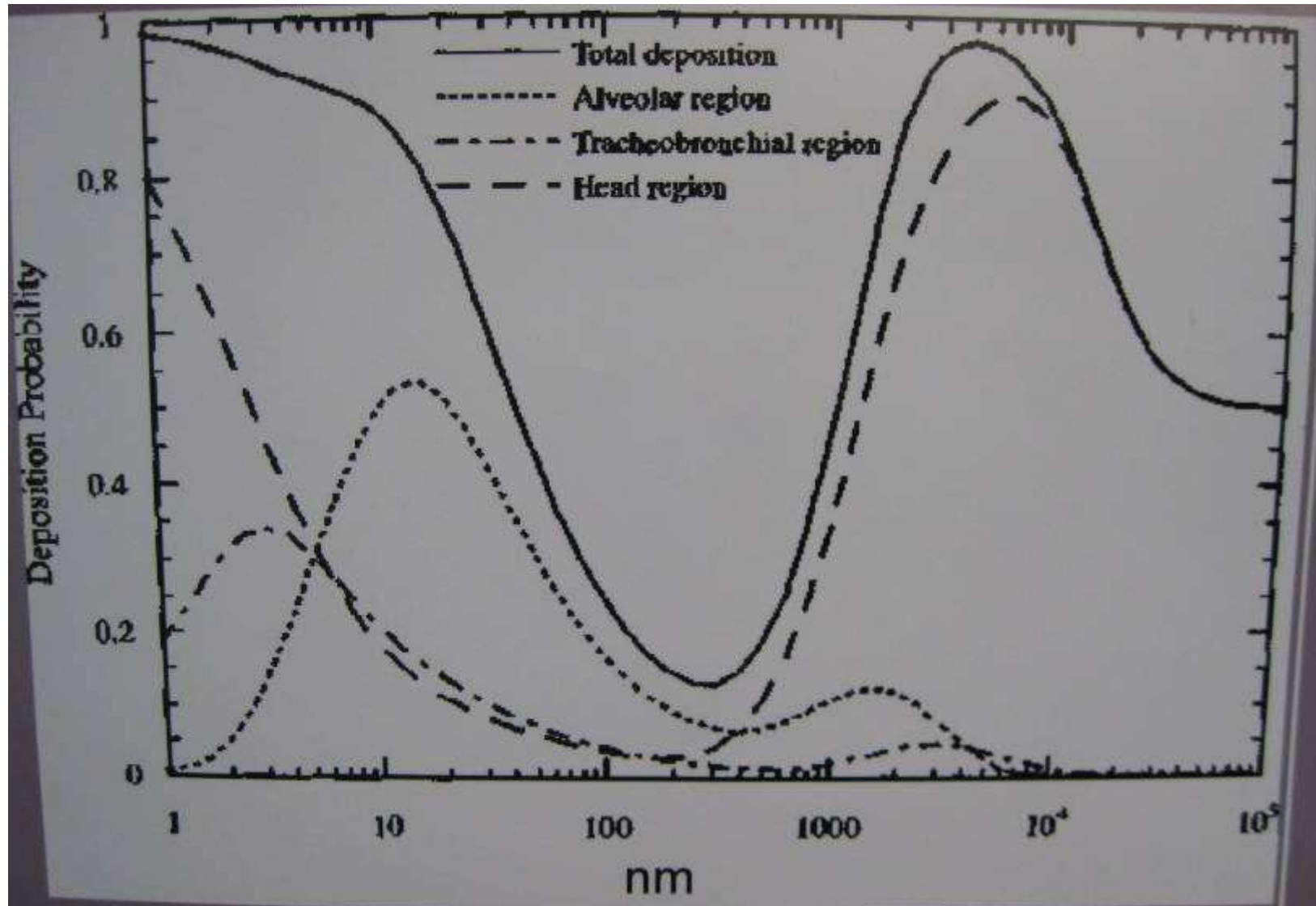
Figure courtesy of J.Harkema



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

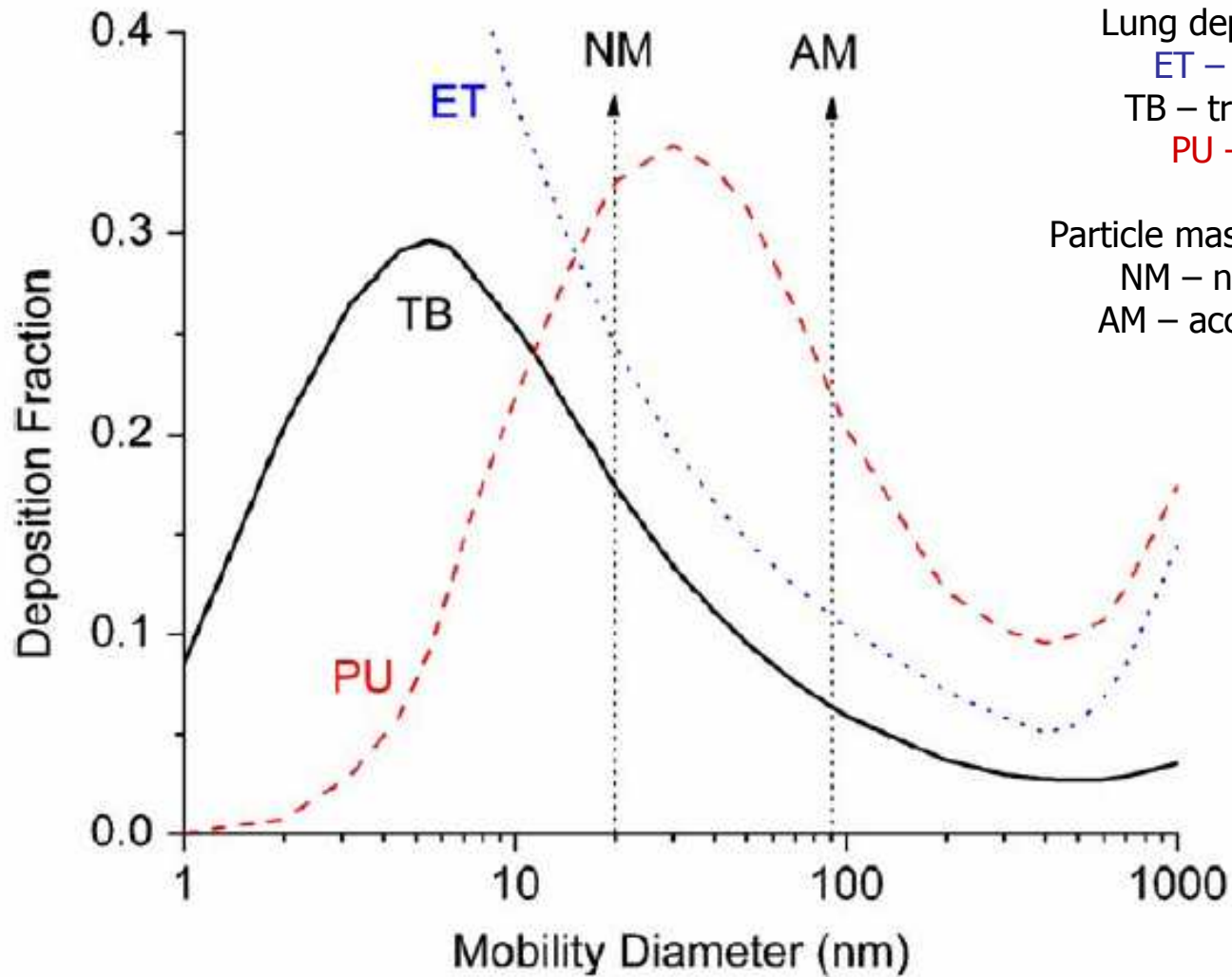


Zachycovací účinnost dýchacího systému



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

Zachycovací účinnost dýchacího systému



Lung deposition fraction:

ET – extrathoracic

TB – tracheobronchial

PU – pulmonary

Particle mass median diameter:

NM – nucleation mode

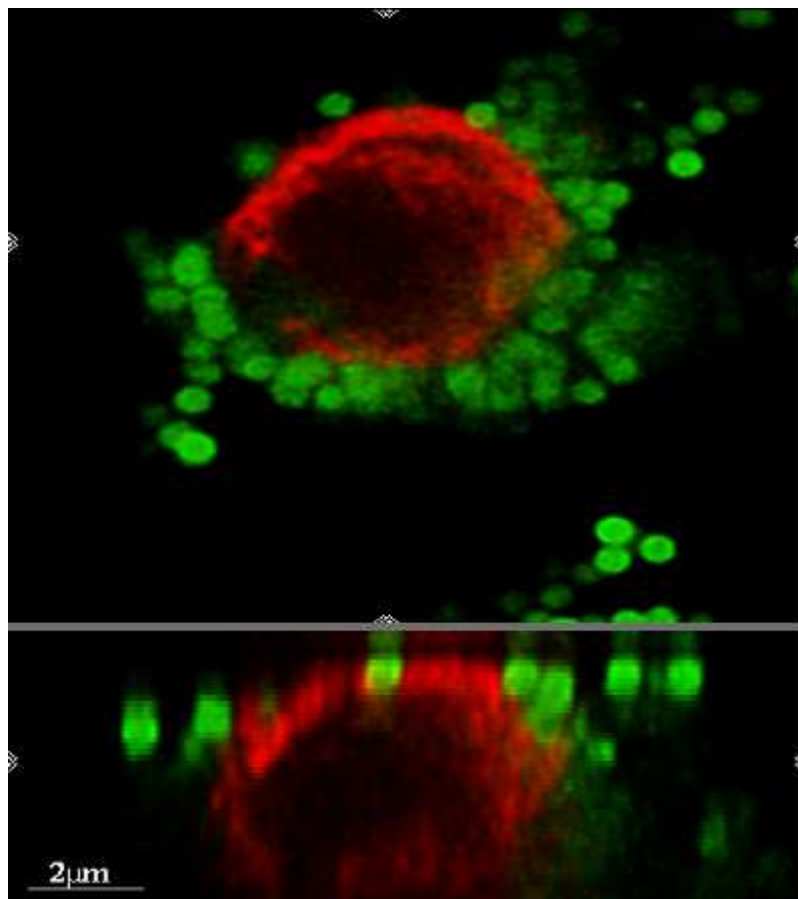
AM – accumulation mode

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

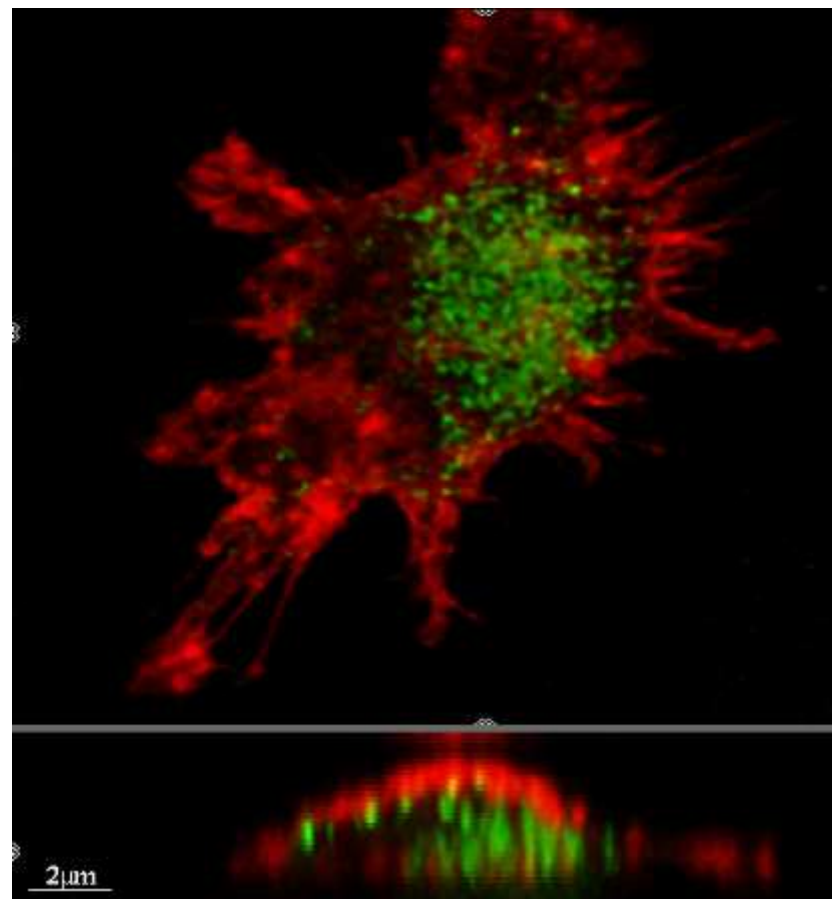


Pronikání velmi jemných částic (desítky nm) buněčnou membránou

■ 1000 nm
Polystyrene Particles



■ 78 nm
Polystyrene Particles



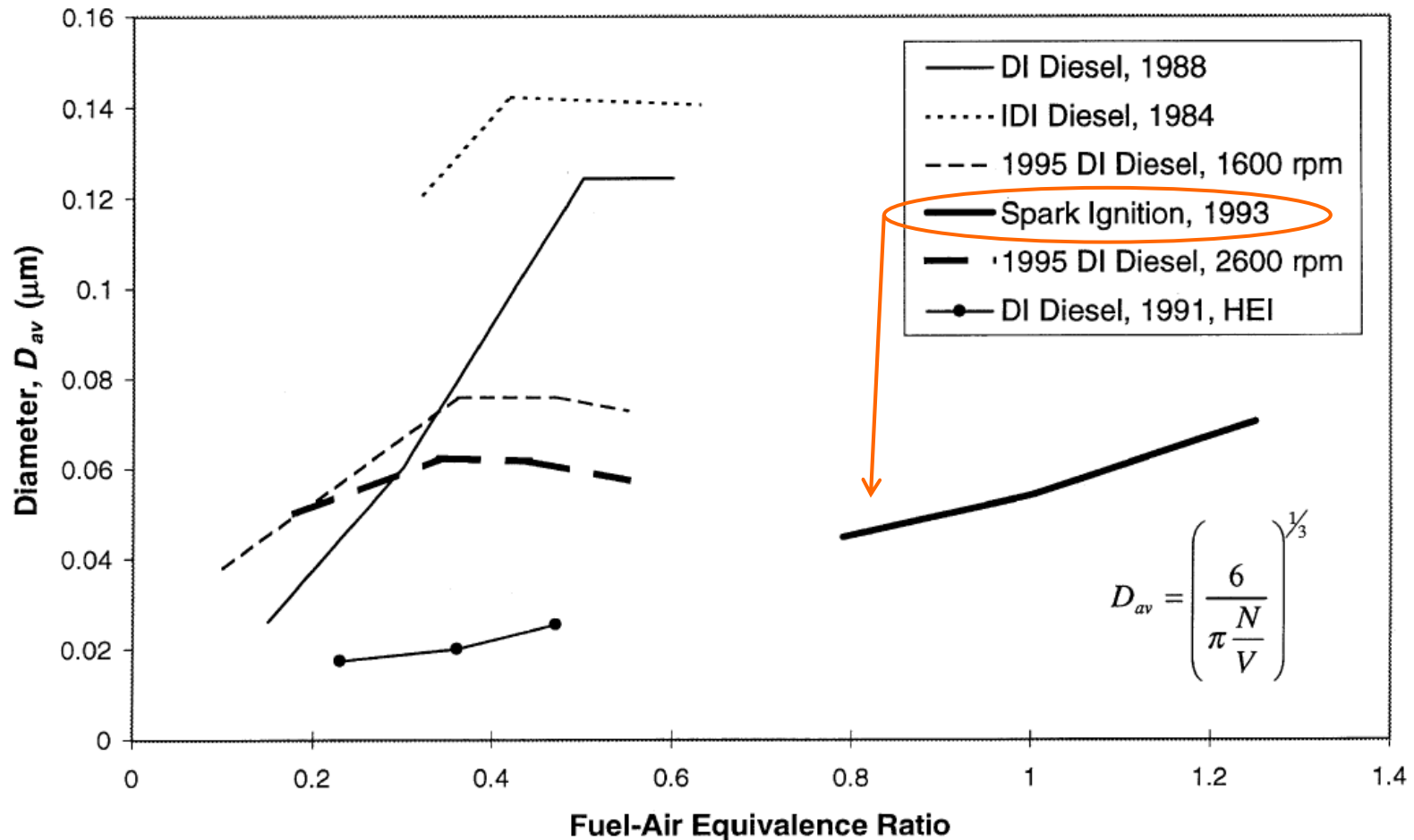
Barbara Rothen-Rutishauer, as quoted by A. Mayer, 12th ETH Conference on Combustion Generated Nanoparticles



Typické velikostní spektrum částic Zážehové vs. Vznětové motory (USA)



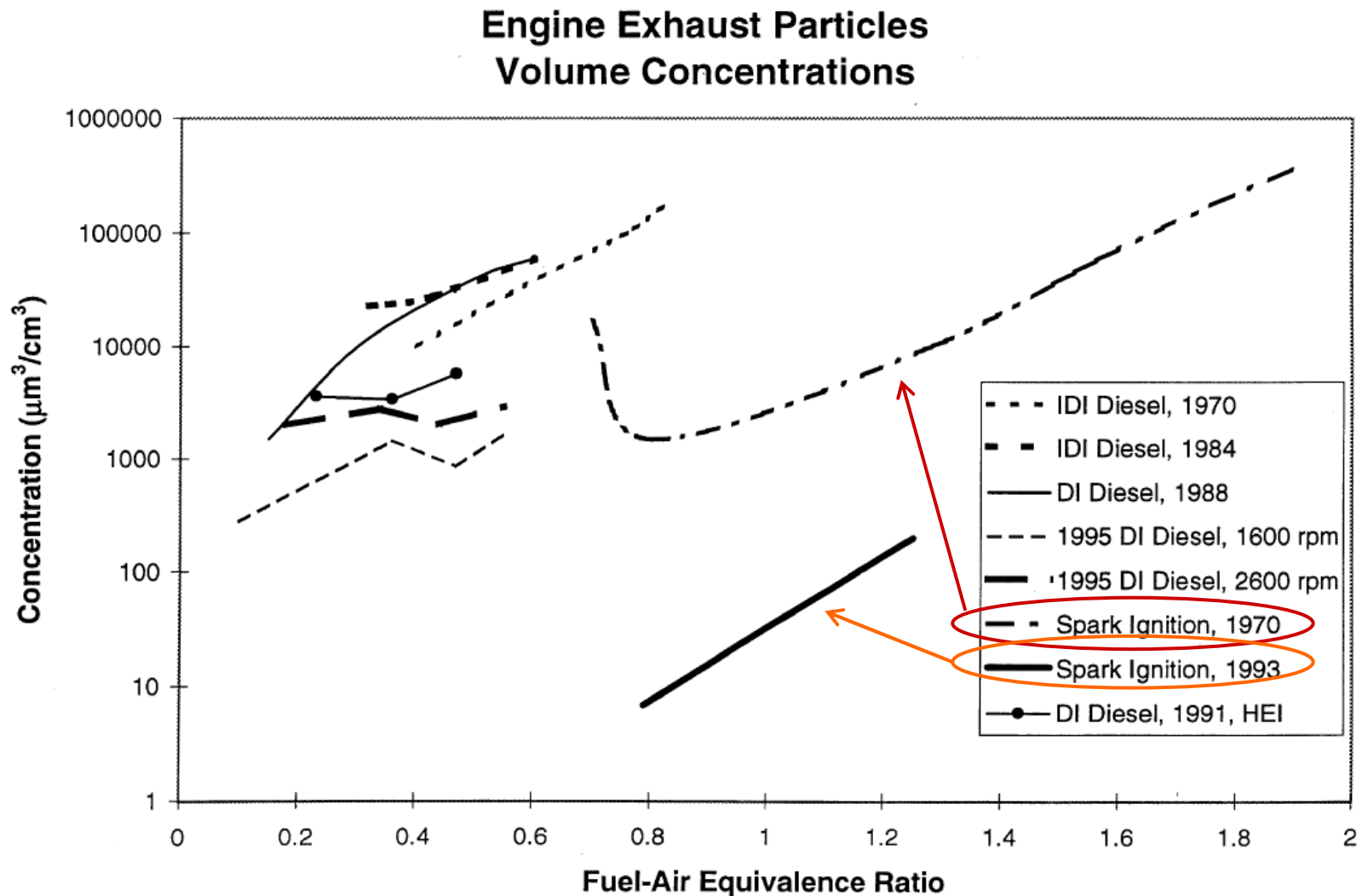
Engine Exhaust Particles
Diameter of Average Volume



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



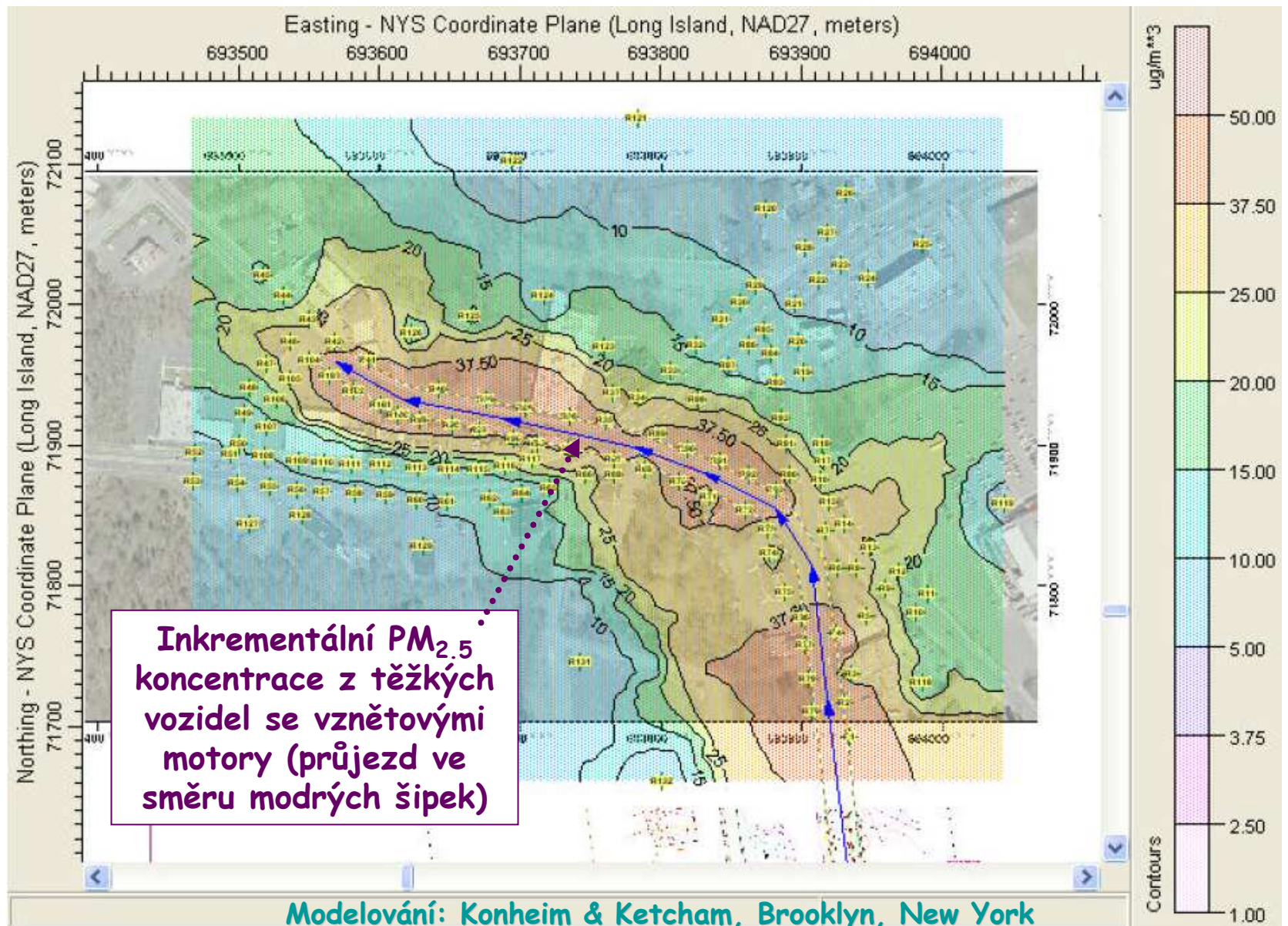
Koncentrace částic ve výfukových plynech: Zážehové vs. Vznětové motory (USA)



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

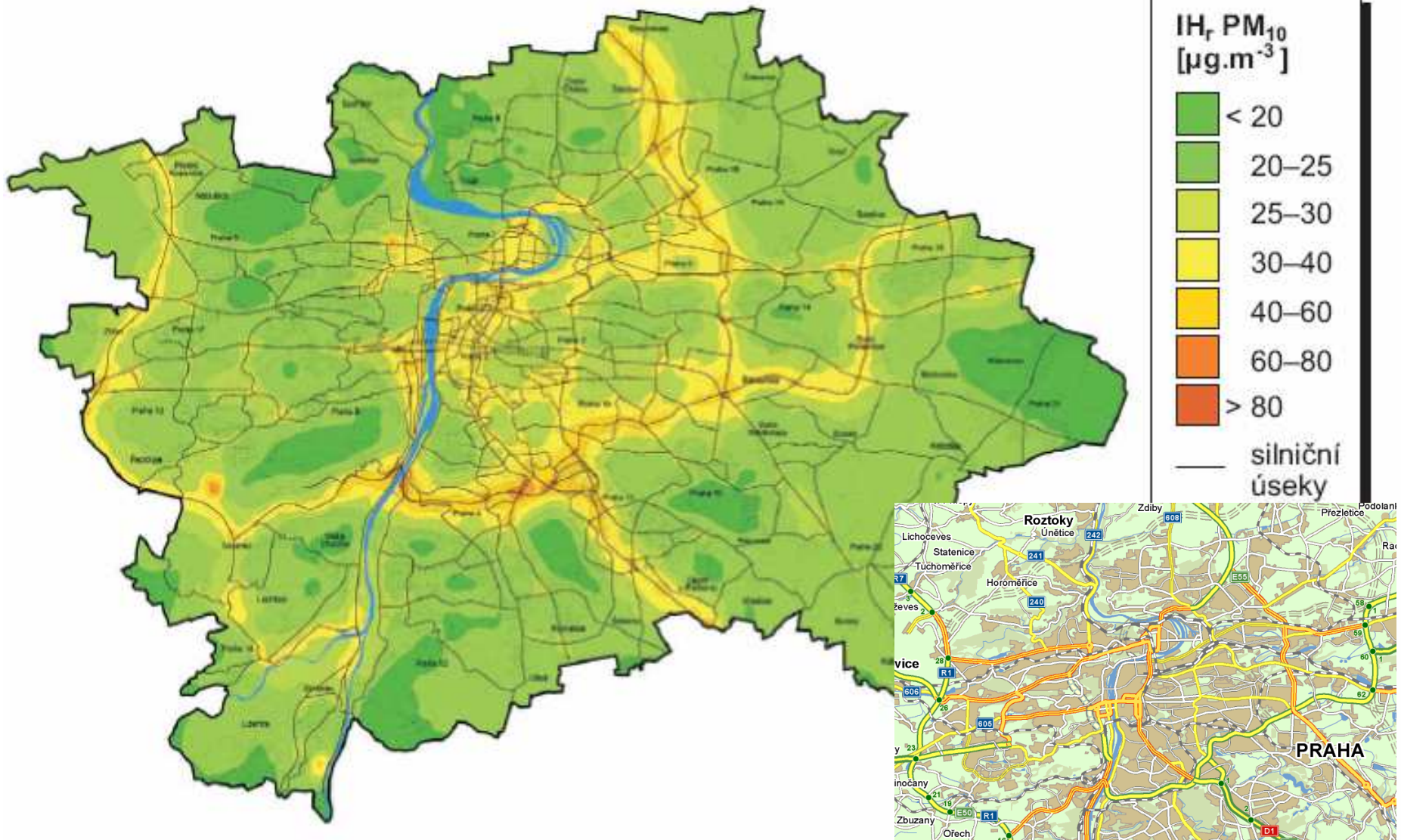


Koncentrace emitovaných částic jsou nejvyšší v přímé blízkosti dopravních tepen

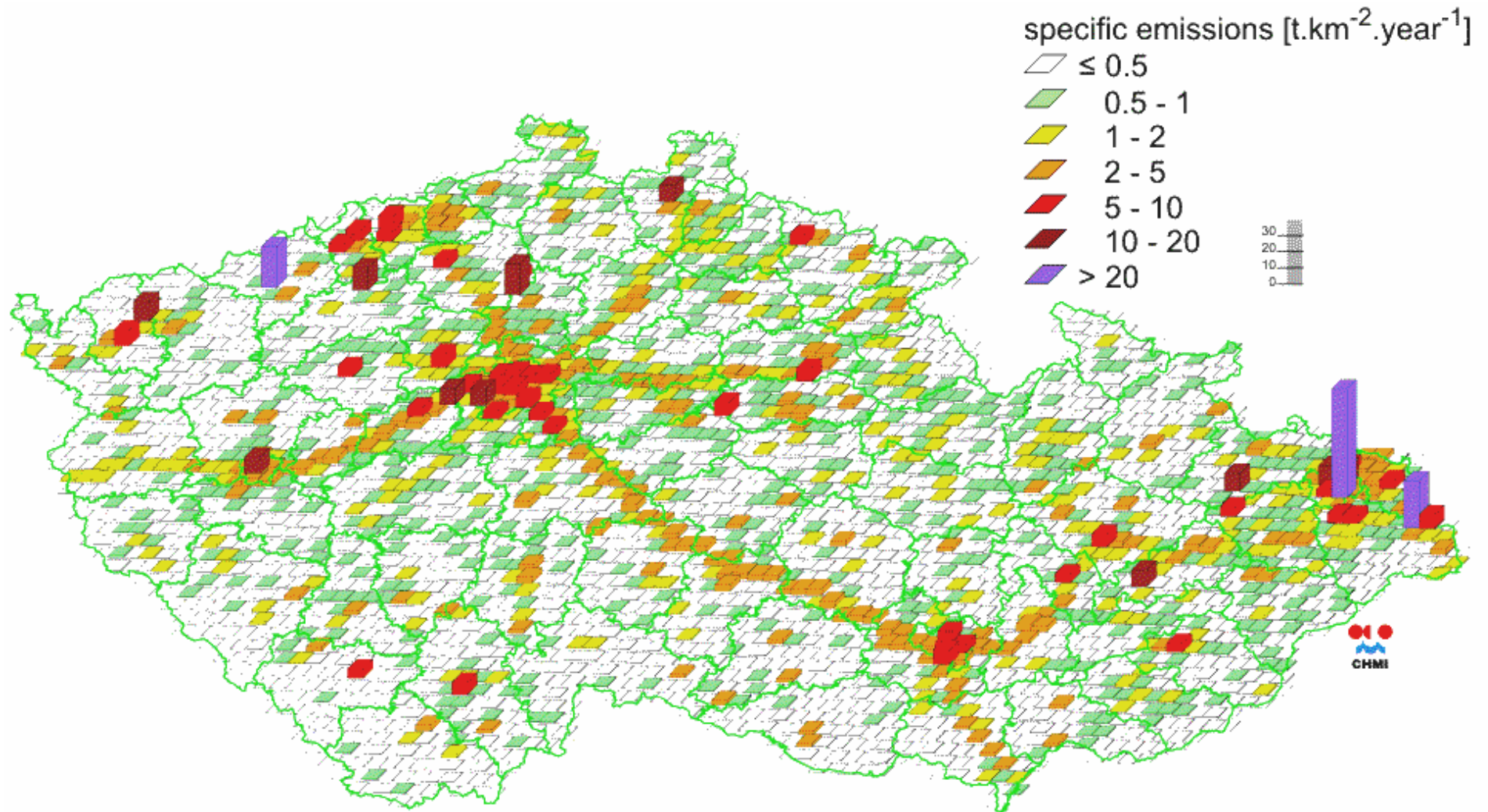


Prostorové rozložení imisí PM₁₀ (ATEM / Praha – Životní prostředí 2009)

suspendované částice frakce PM₁₀



Prostorové rozložení zdrojů emisí PM (Český hydrometeorologický ústav)



Particulate emission density from 5x5 km squares, 2008



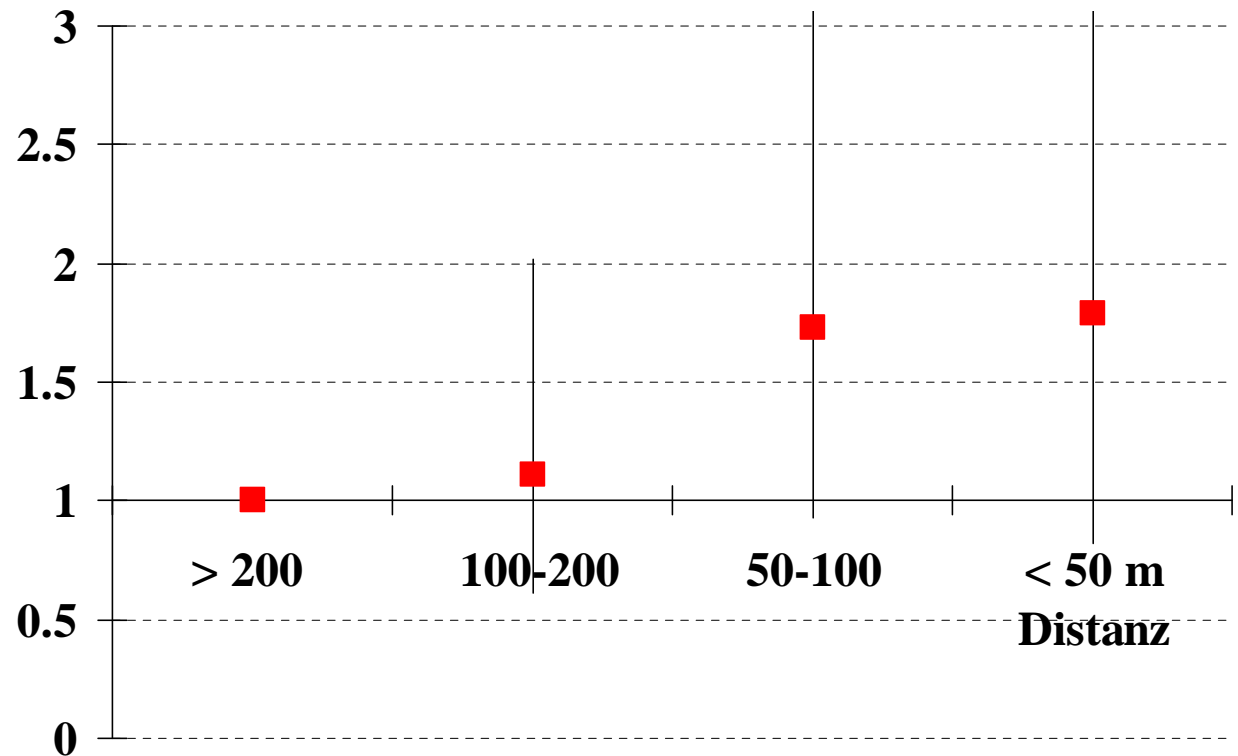
Poměrné riziko infarktu myokardu v závislosti na vzdálenosti od komunikace s vysokou intenzitou dopravy

3399 pacientů, věk 45-75, Essen, Germany

(A. Mayer, TTM, Switzerland)



Risiko OR



Hoffmann 2006

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.

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



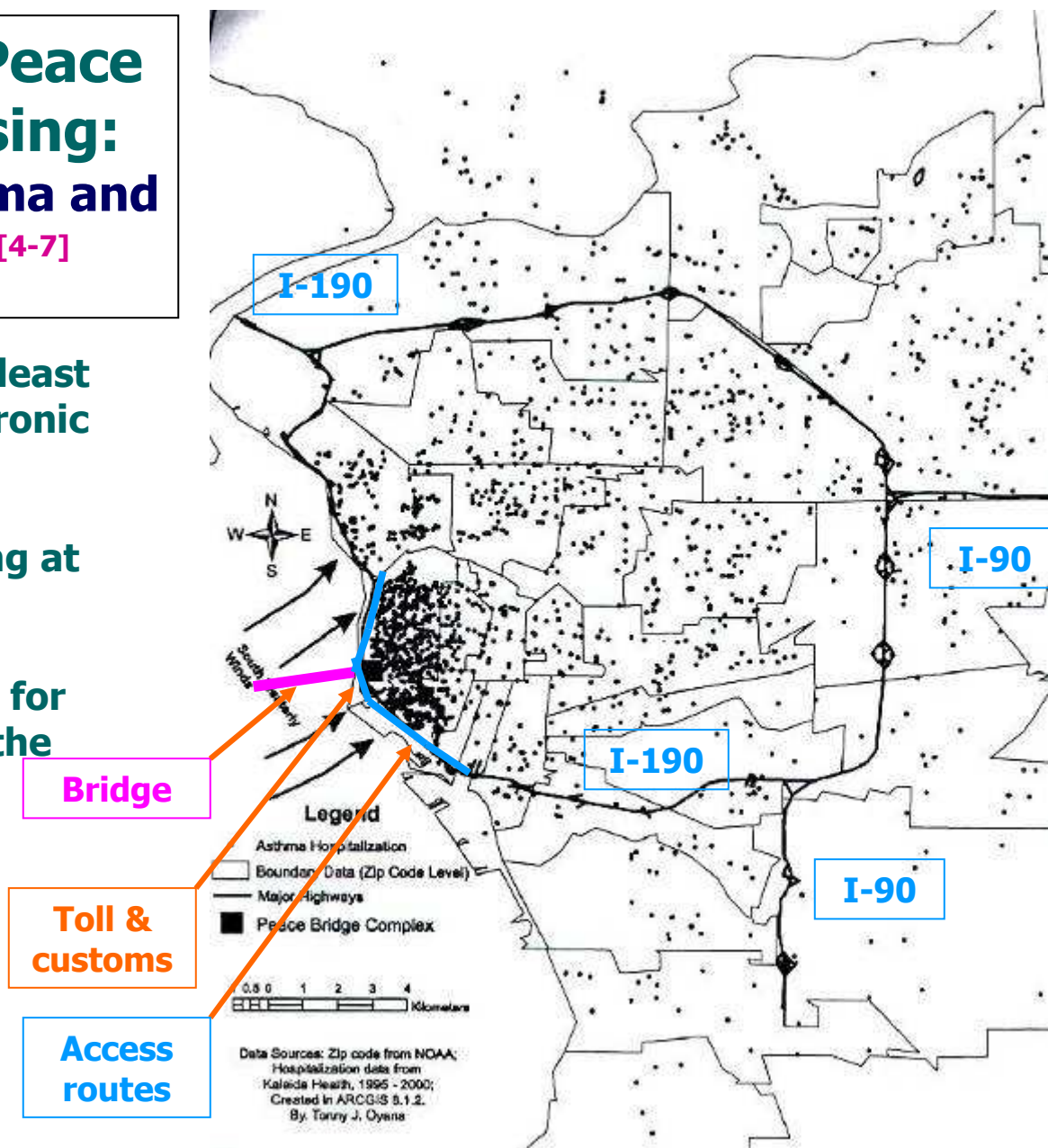
Low-income residential area adjacent to U.S. toll/customs plaza



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)

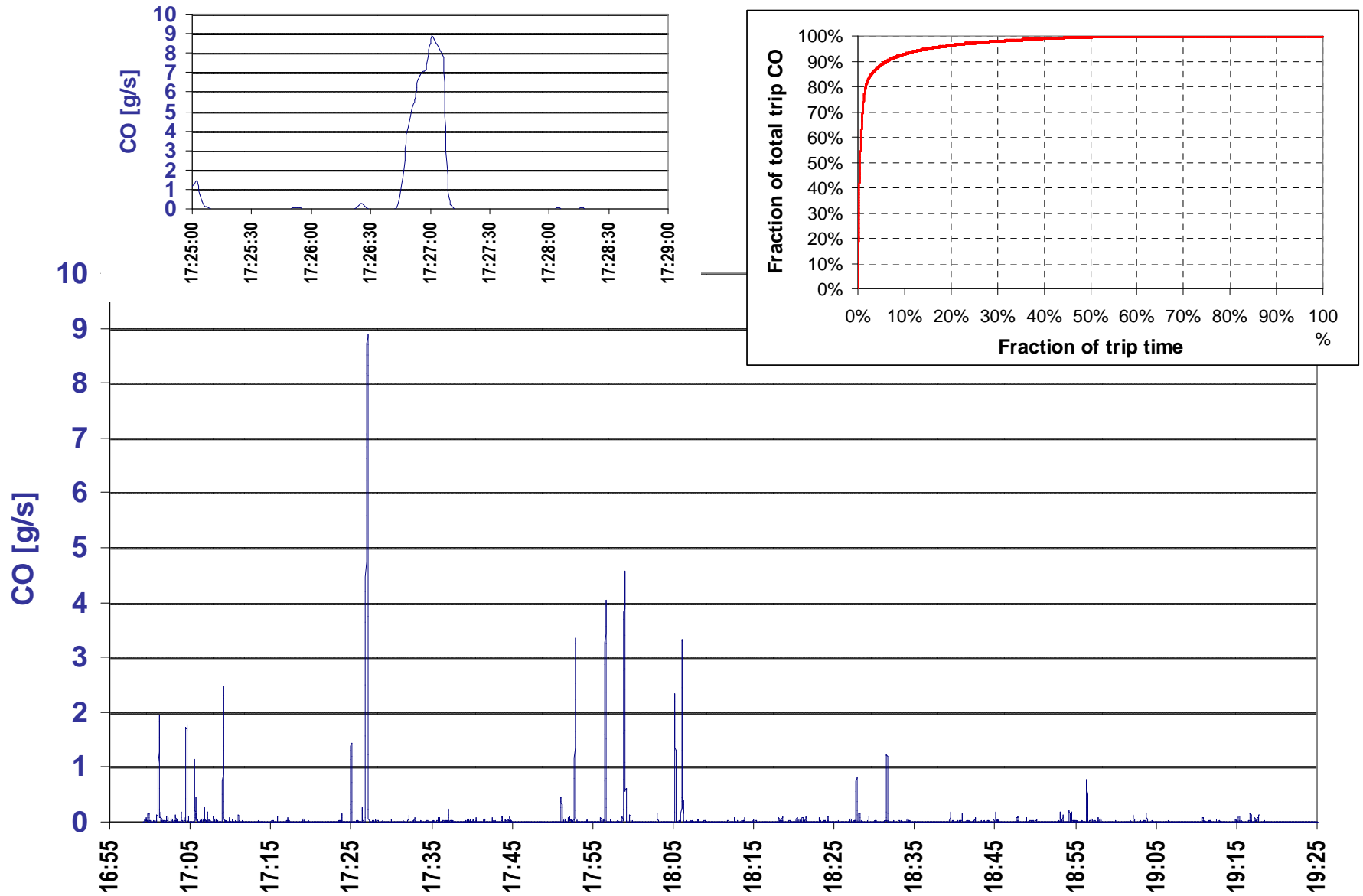


Jamson S. Lwebuga-Mukasa, *Journal of Asthma*, Vol. 42, No. 5, 2005, pp.337-348.

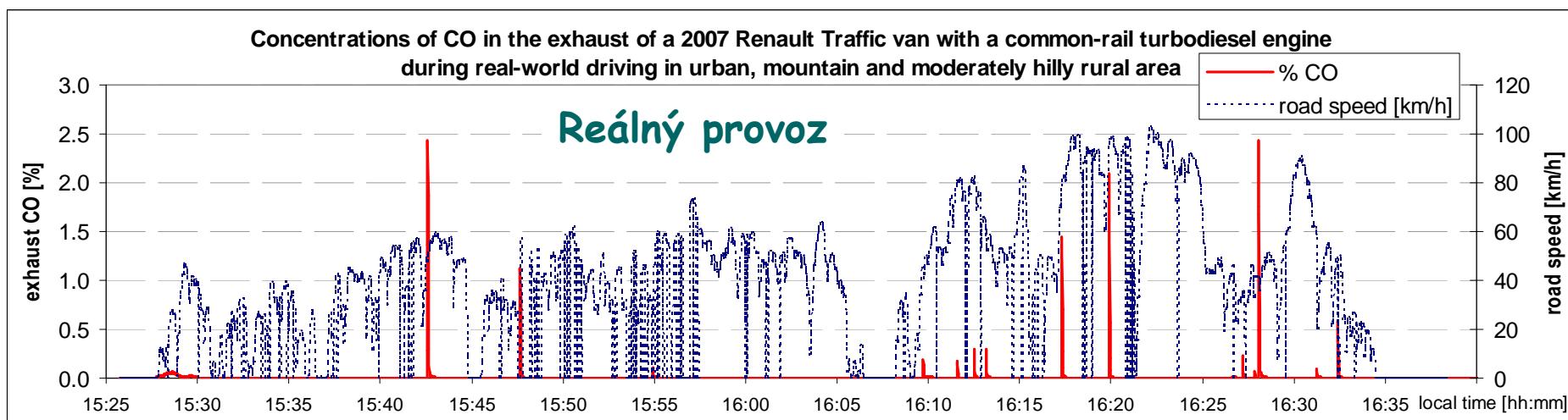
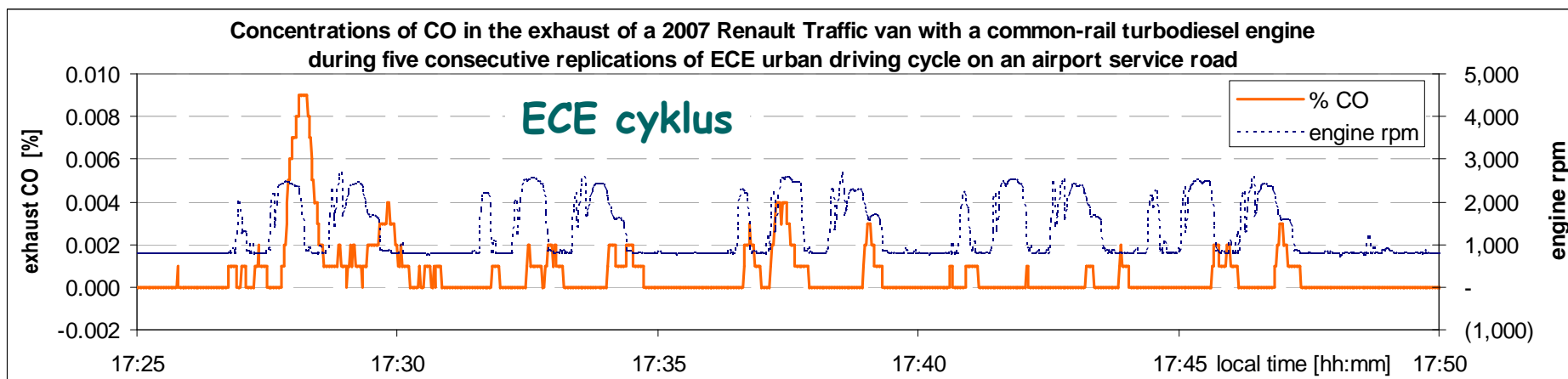


Jízda po dálnici

Osobní automobil, benzinový motor, 138 kW



Podíl „špiček“ na celkových emisích: CO, moderní vznětový motor



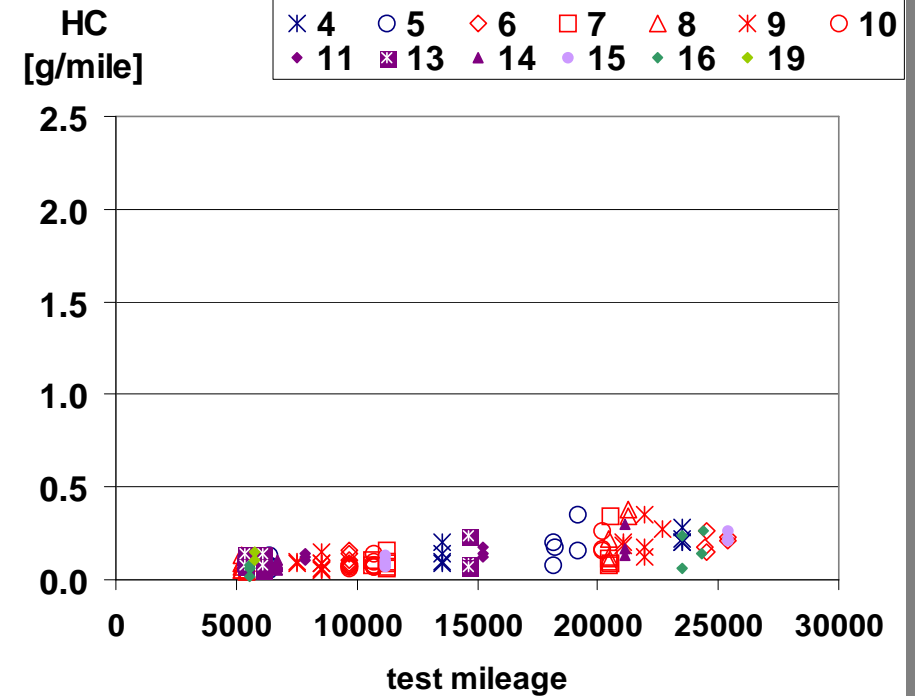
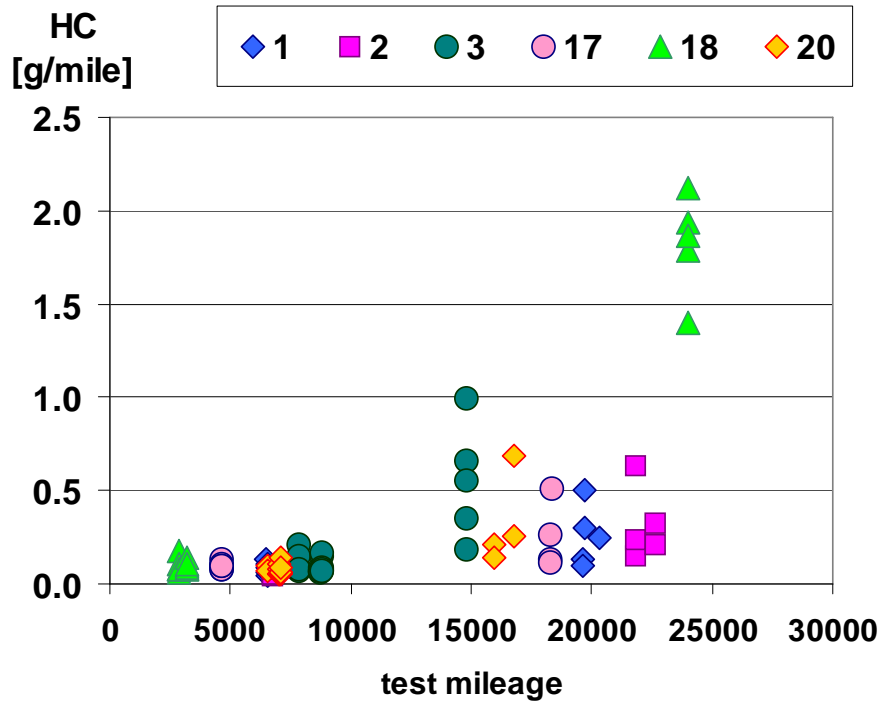
Měření autora, Liberec a okolí, 2008



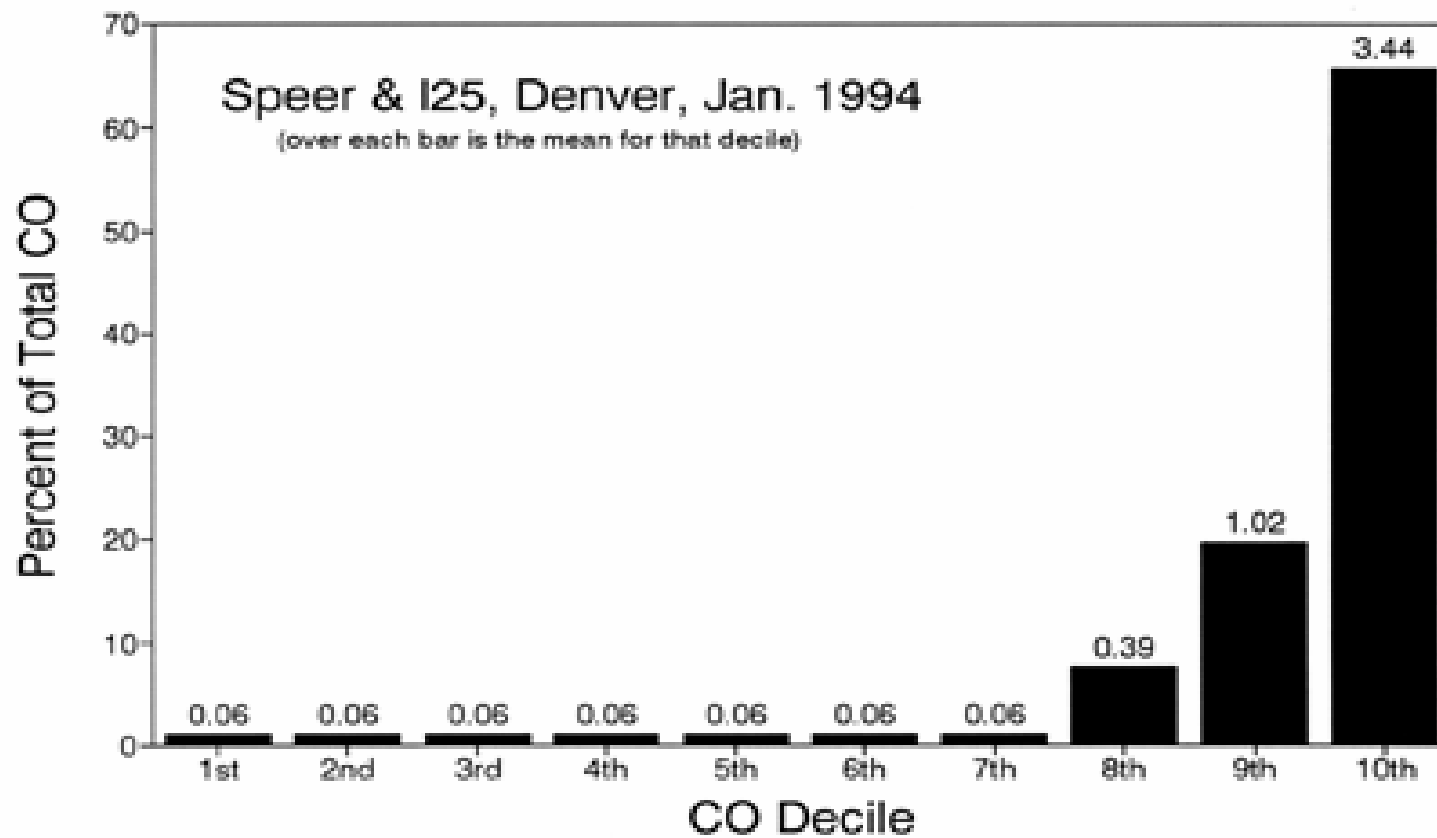
Emise se zvyšují s najetými km

- a to ne stejně, i pro jinak „stejná“ vozidla!

Příklad: Emise NMHC, autobusy poháněné zemním plynem
Pittsburgh, Pennsylvánie, USA
Měření za reálného provozu autorem, 1996-1999



Nepoměrné množství celkových emisí má na svědomí nepoměrně malá část vozidel



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



Co s tím? ... Osvěta!

(Např.: Nesušit si rukavice výfukovými plyny ze svářecího agregátu)



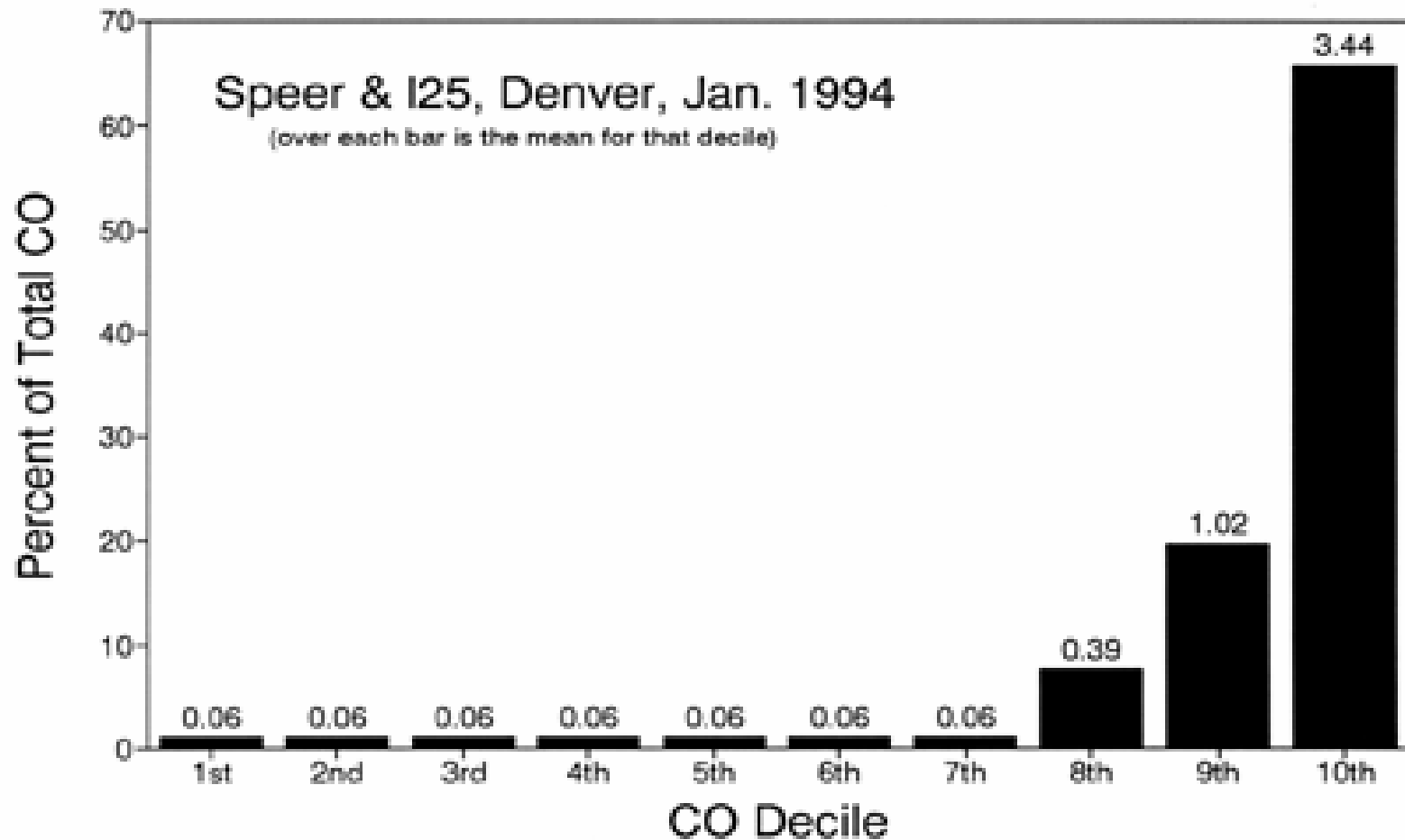
Co s tím? ... Údržba!

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



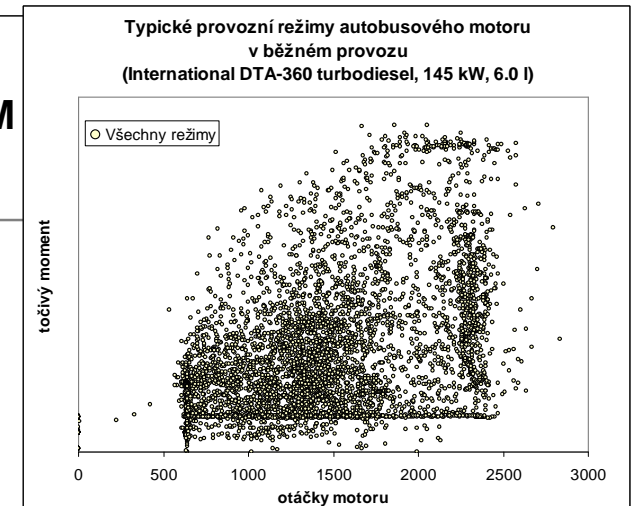
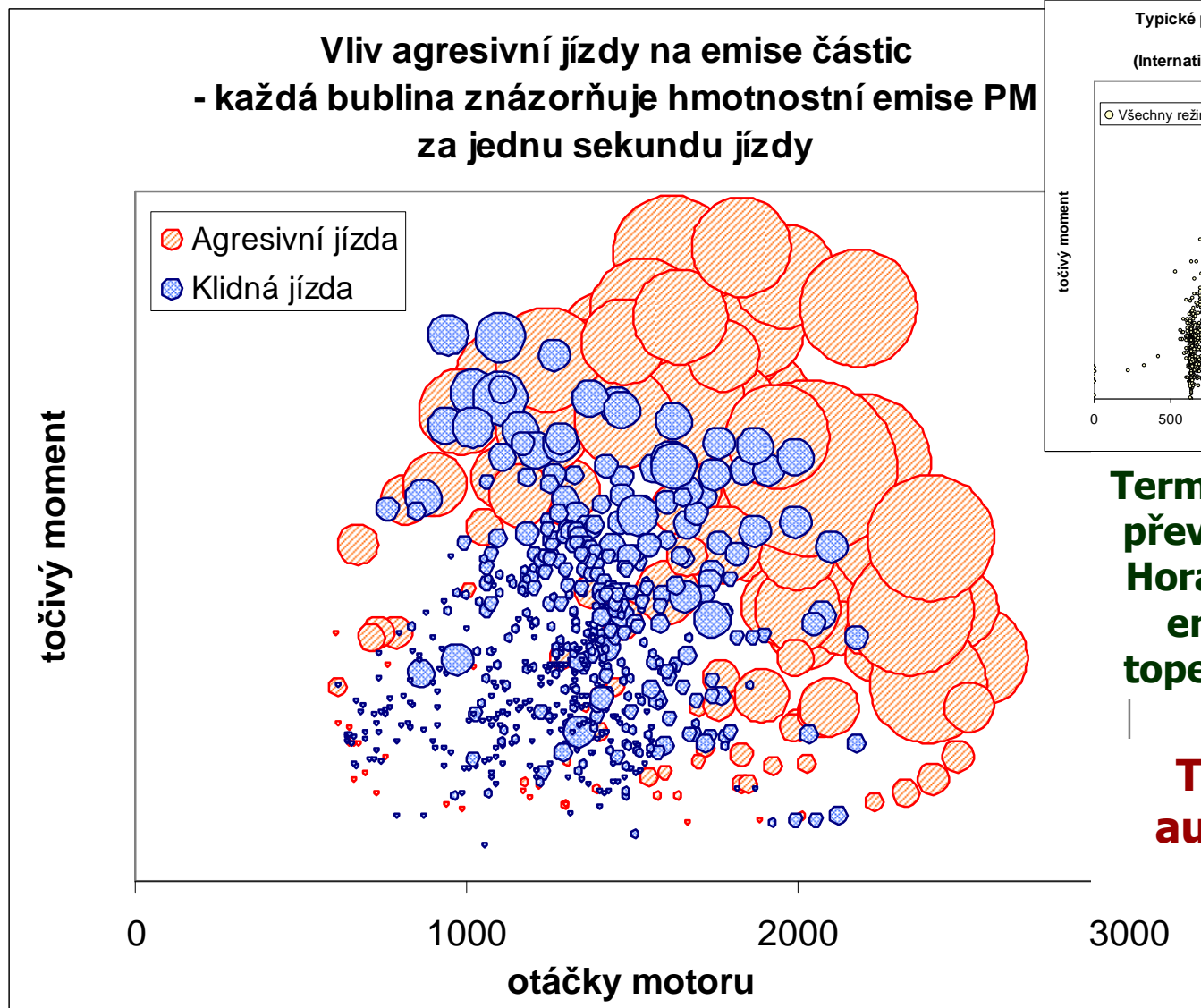
Co s tím? ... Údržba!

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



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

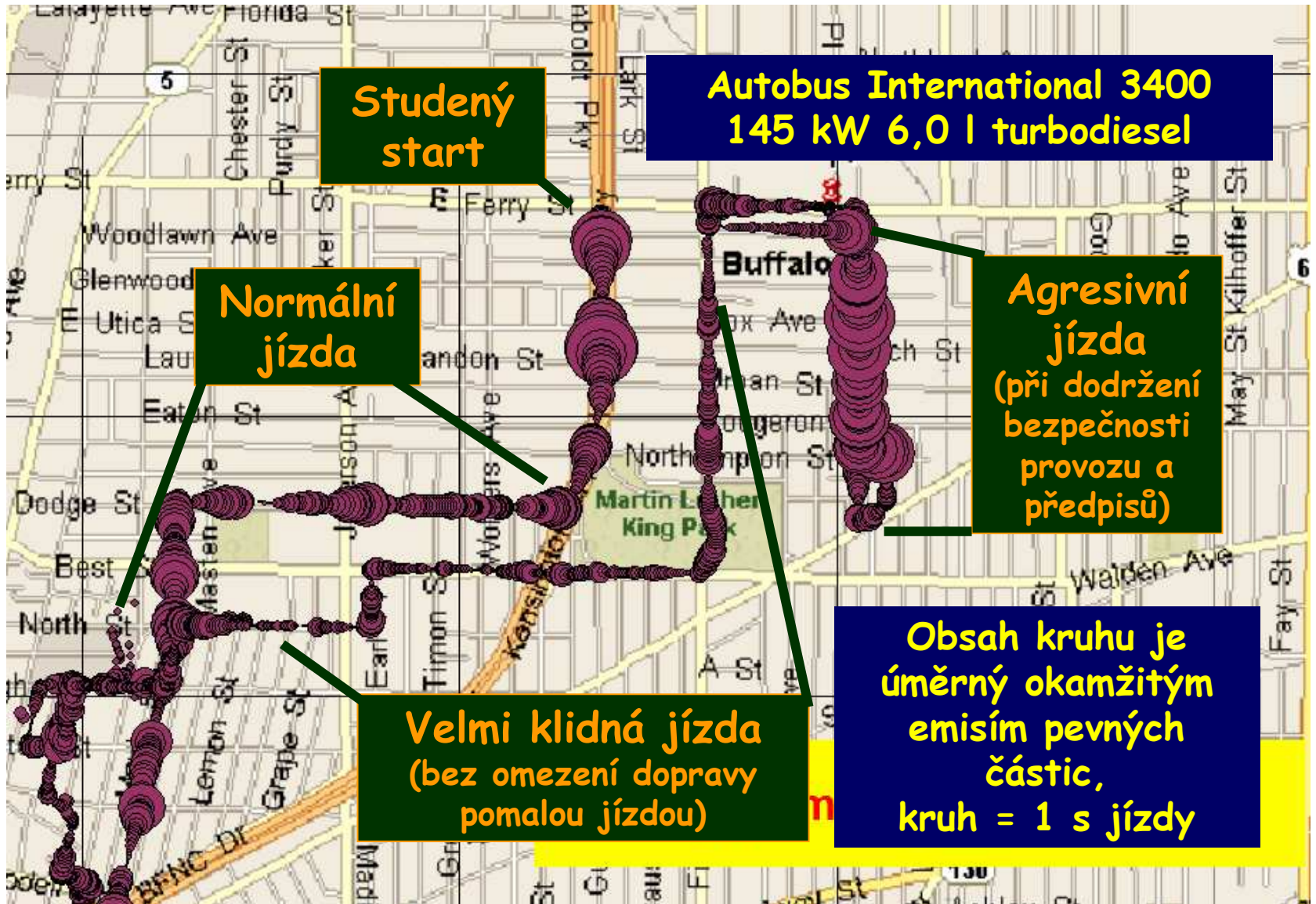
Co s tím? ... Kvalita obsluhy!



**Termín „kvalita obsluhy“
převzat z přednášky dr.
Horáka, VŠB Ostrava, o
emisích z lokálních
topenišť, Ovzduší 2011**

**Tato data jsou z
autobusu ve státě
New York**

Co s tím? ... Kvalita obsluhy!

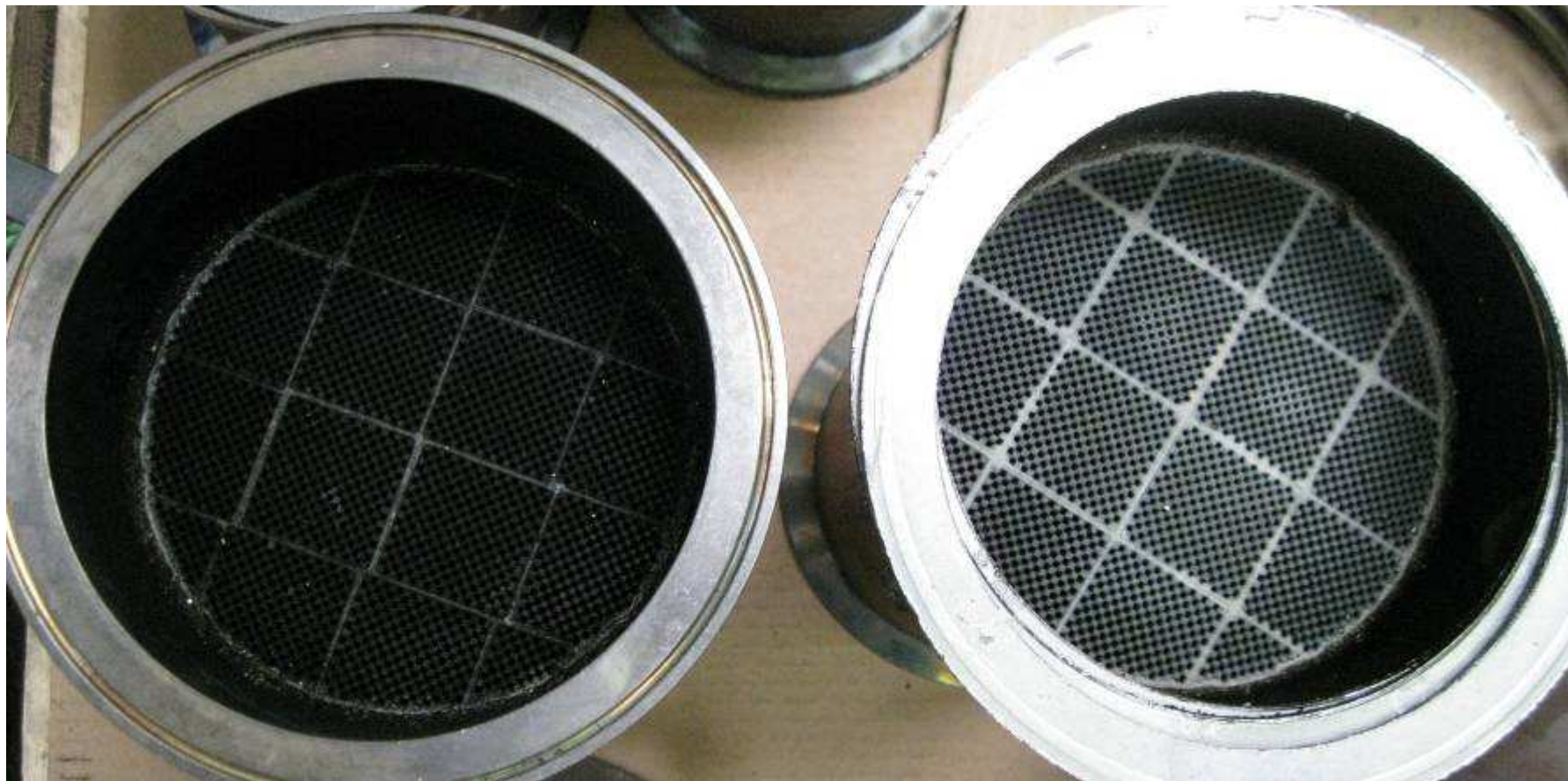


Co s tím? ... Čistší paliva!

Výfuk lokomotivy na stlačený zemní plyn
Napa Valley, Kalifornie, USA
(ukázkový projekt California Air Resources Board, 2004)



Co s tím? ... Filtry částic! (účinnost 90 až 99.9%)

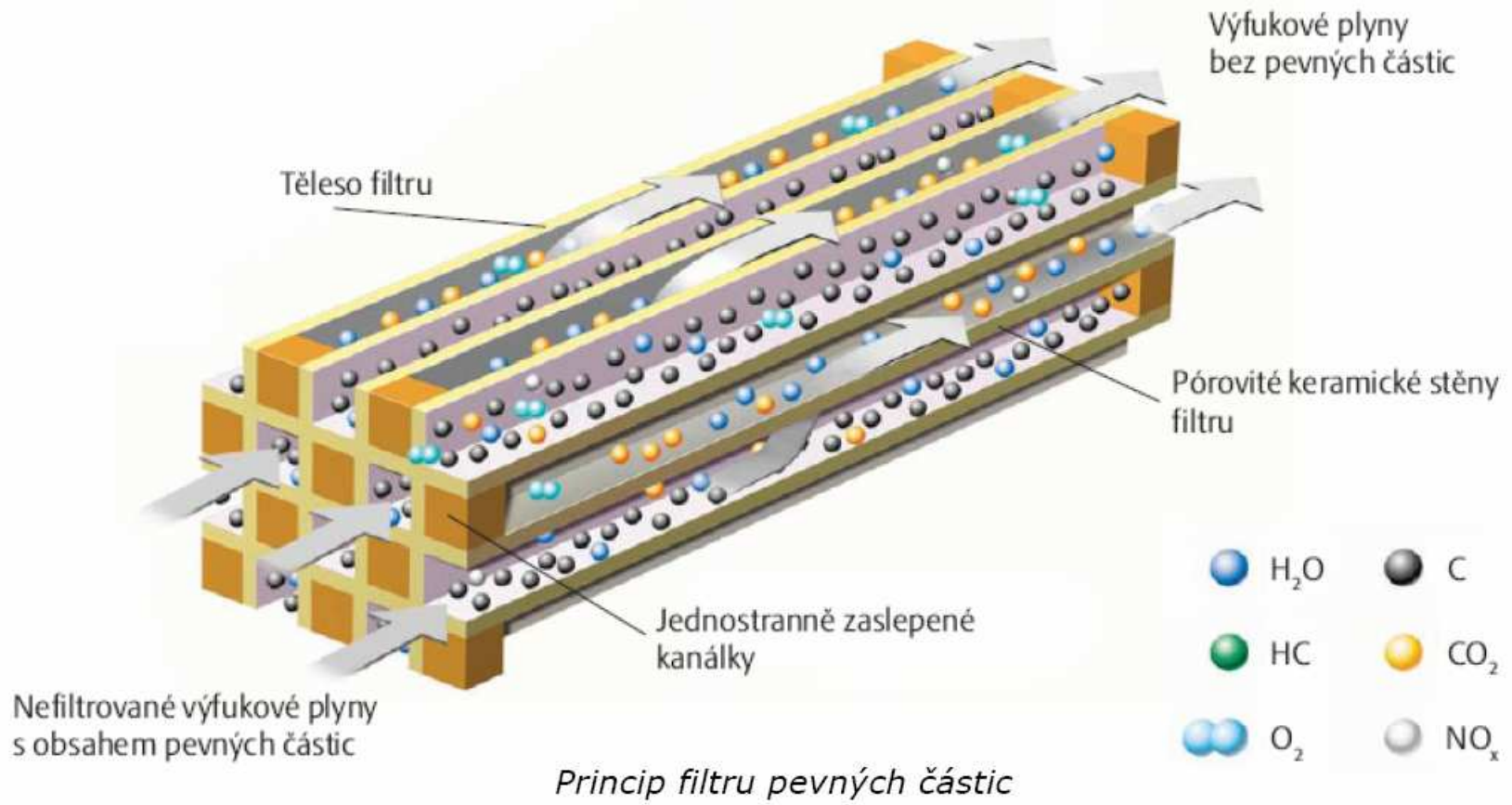


Vstupní strana

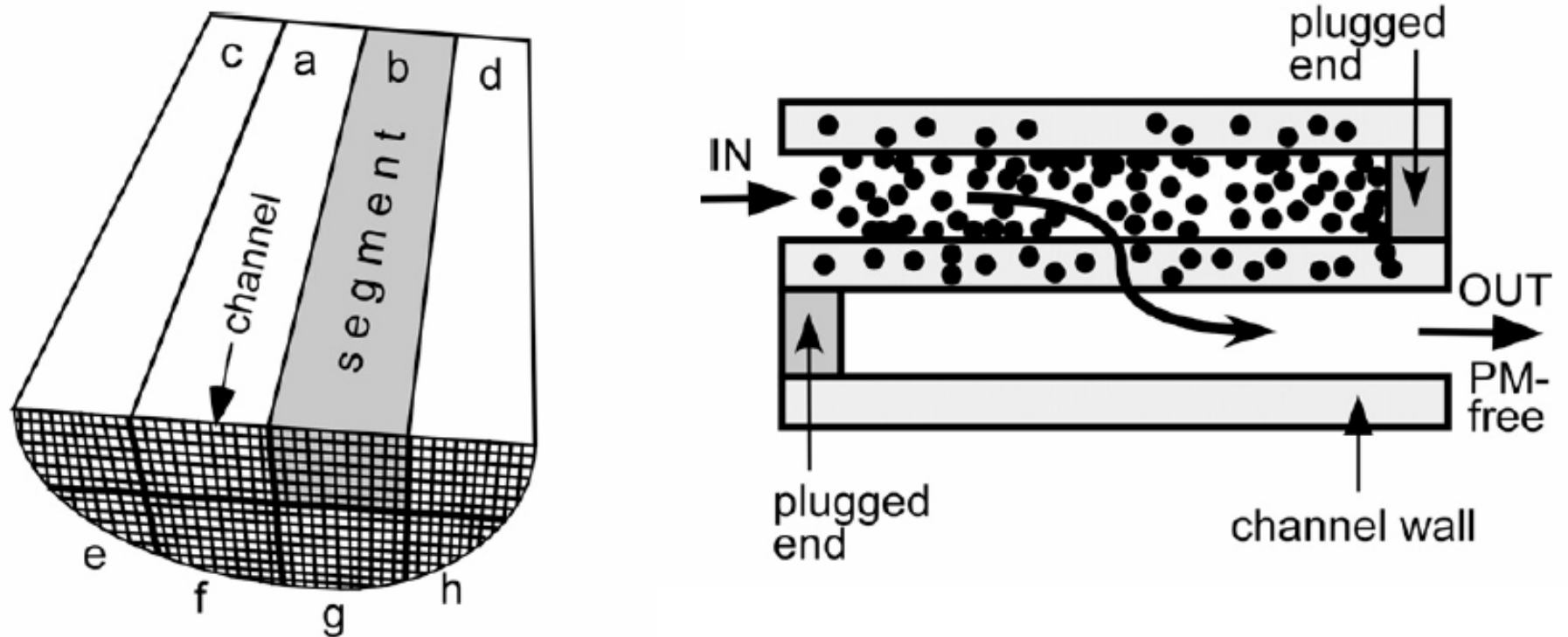
Výstupní strana



Filtr částic



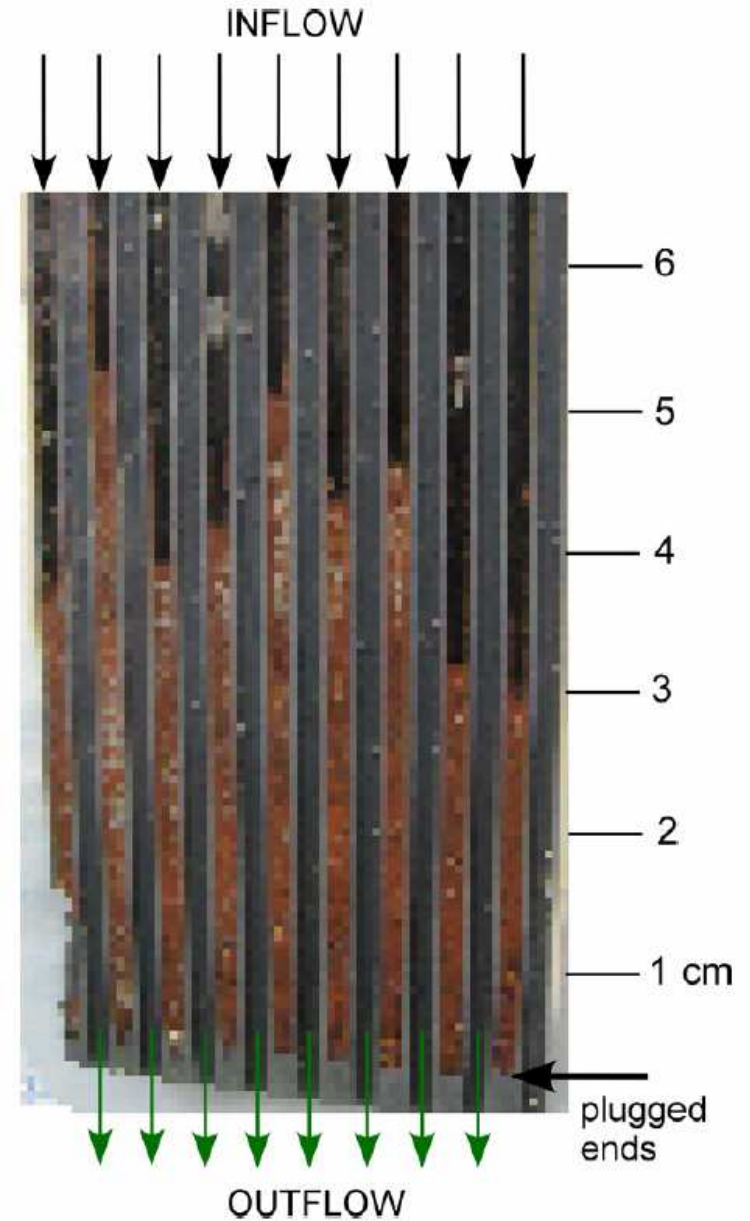
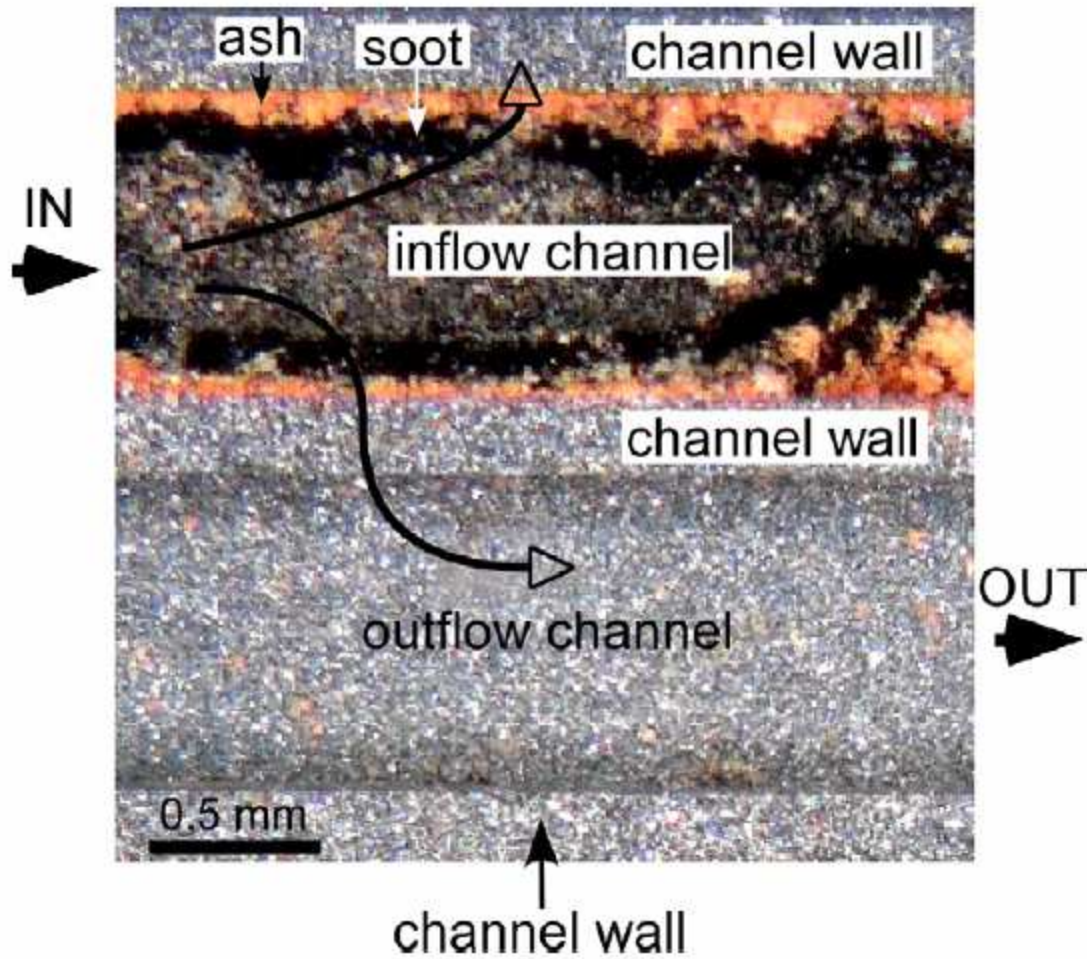
Filtr částic



A. Liati, P. Dimopoulos Eggenschwiler / Combustion and Flame 157 (2010) 1658–1670



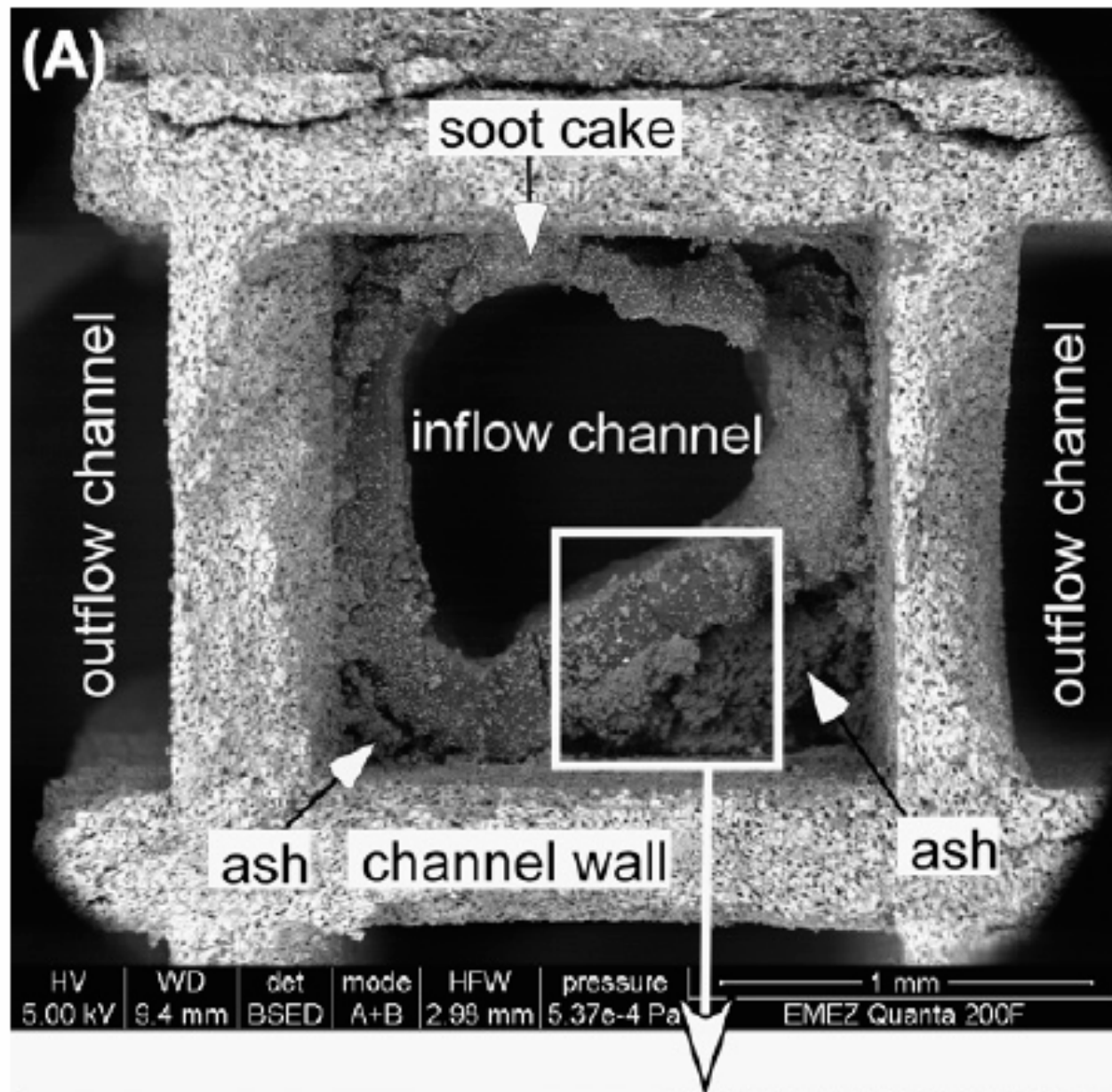
Filtr částic



A. Liati, P. Dimopoulos Eggenschwiler / Combustion and Flame 157 (2010) 1658–1670

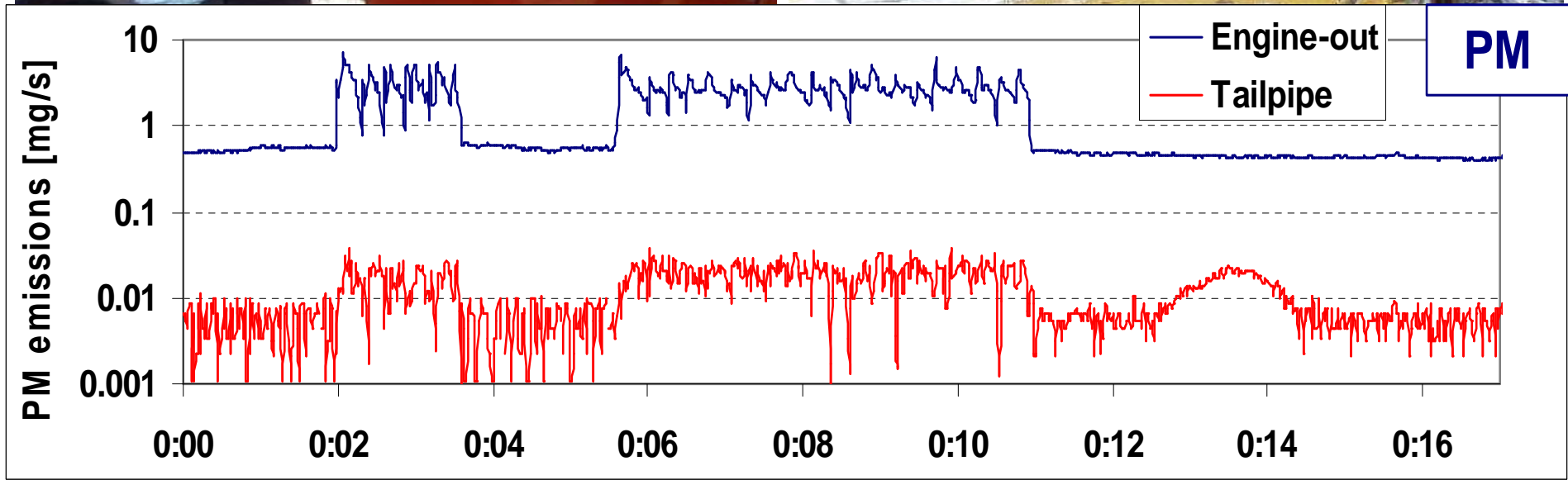
Filtr částic

A. Liati, P. Dimopoulos
Eggenschwiler / Combustion and
Flame 157 (2010) 1658–1670



Co s tím? ... Filtry částic!

(Pilotní projekt, World trade center, New York, 2003)



**Dnešní technologie
umožňuje velmi nízké
emise částic.**

**(Typický výfuk
stavebního stroje s
naftovým motorem,
Švýcarsko)**

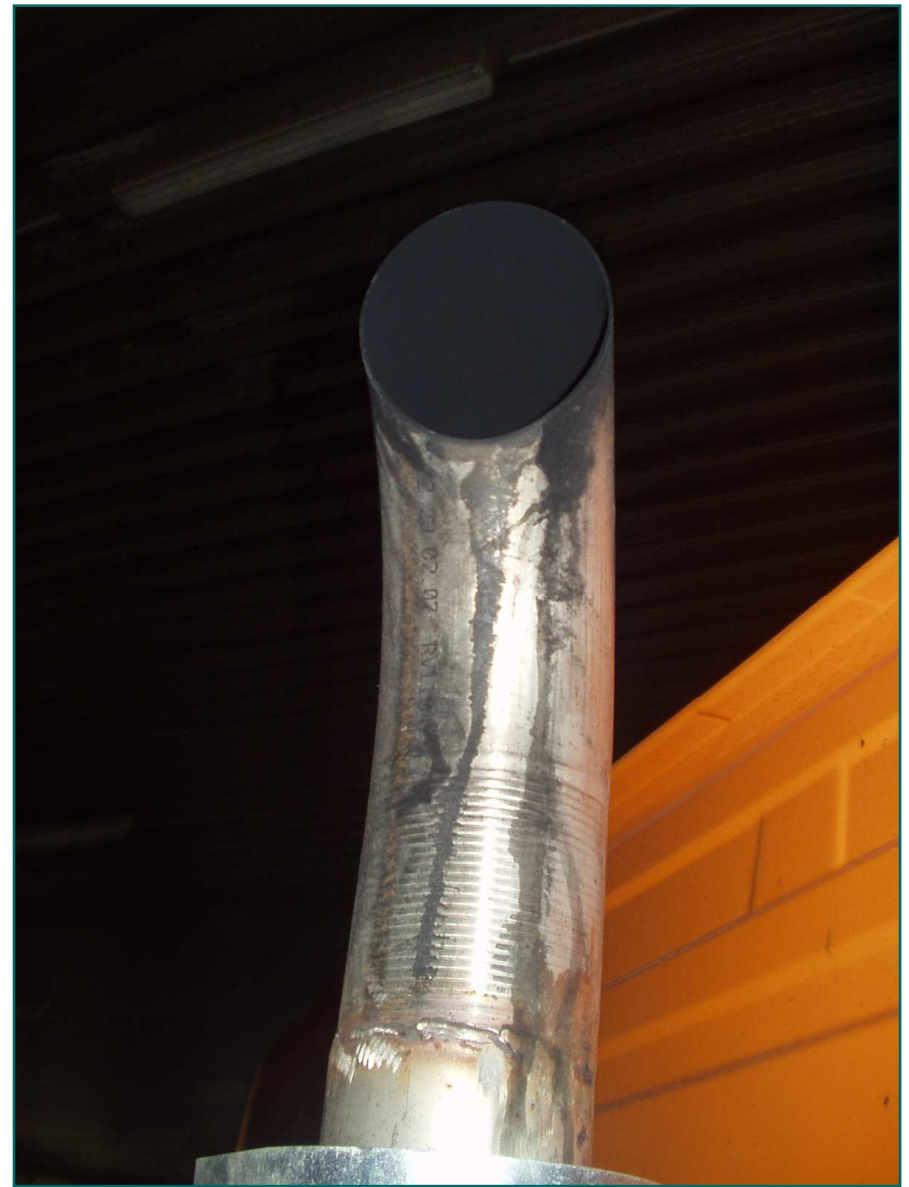


Co s tím? ... Emisní limity které skutečně sníží emise!

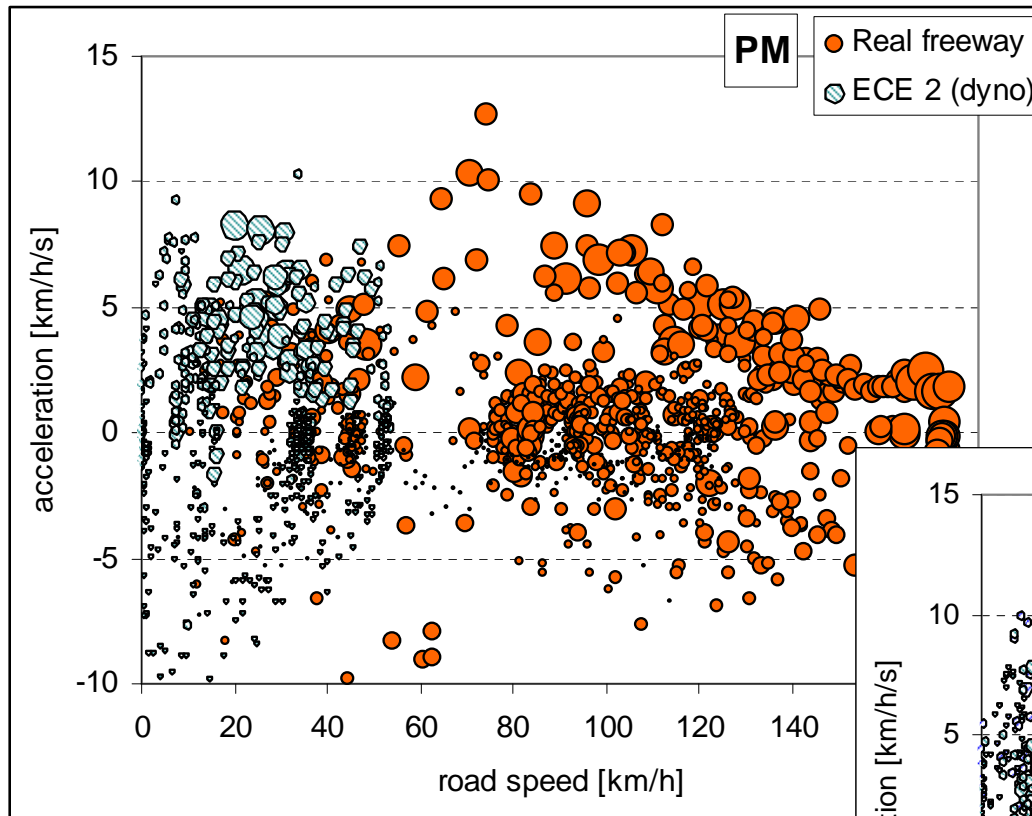
Motor tohoto vozu byl homologován podle normy Euro 5.

Pohled do výfukového potrubí tomu neodpovídá.

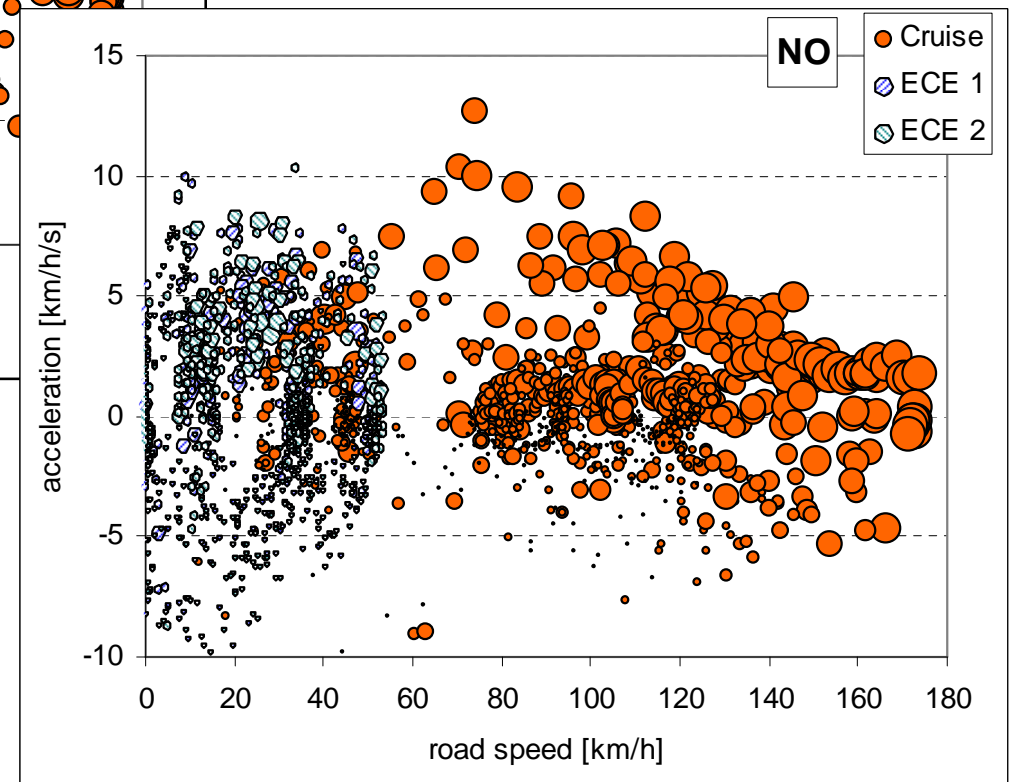
(Kdesi v ČR. Foto: autor.)



Měření emisí za provozu – Škoda Octavia



Každá bublina reprezentuje okamžité koncentrace emisí (úměrné ploše bubliny) v každé sekundě jízdy. Poloha bubliny udává okamžitou rychlost a zrychlení

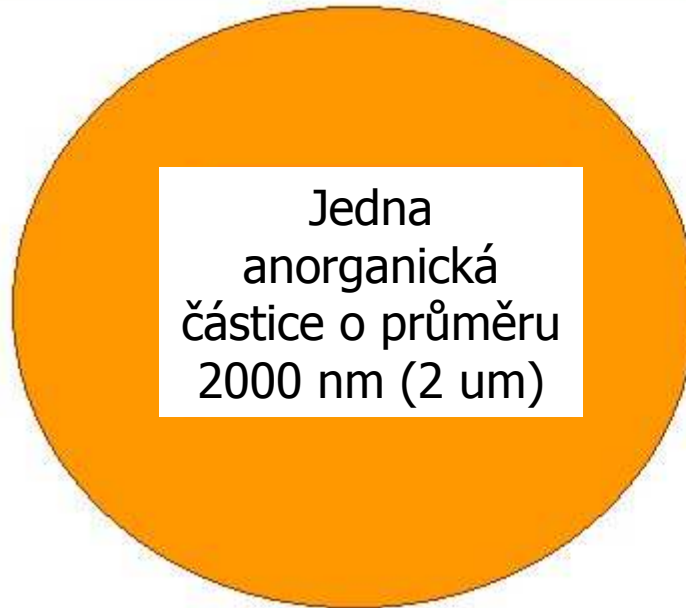


Vlastní měření autora

Co s tím? ... Měřit a limitovat emise tak, aby to odpovídalo zdravotnímu riziku

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

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



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



x 1,000

Milion
organických
nanočástic o
průměru 20 nm

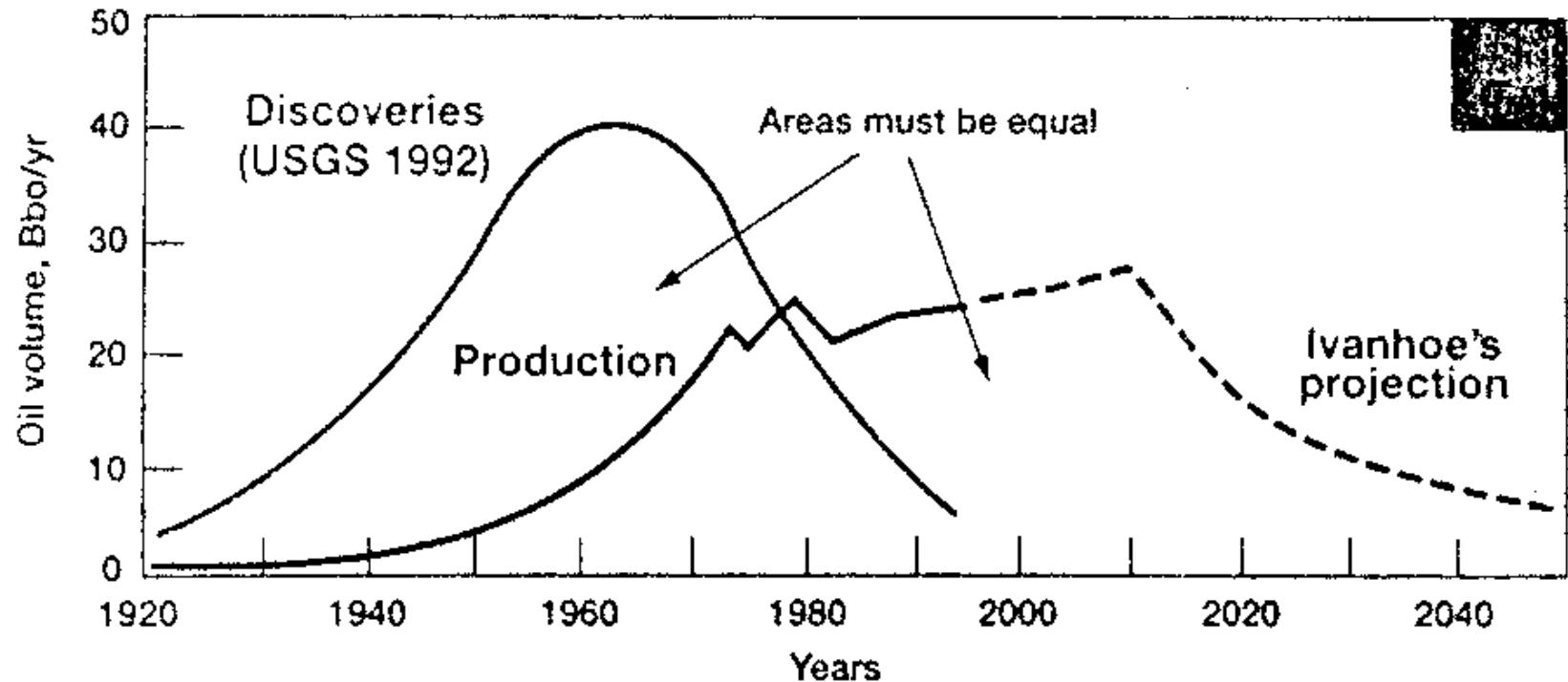


x 1,000,000

... Možná se problém vyřeší sám ... ???

"Ropný zlom":

Světová těžba je blízko svého maxima a bude klesat, poptávka vzrůstá, vzrůstat budou i ceny.



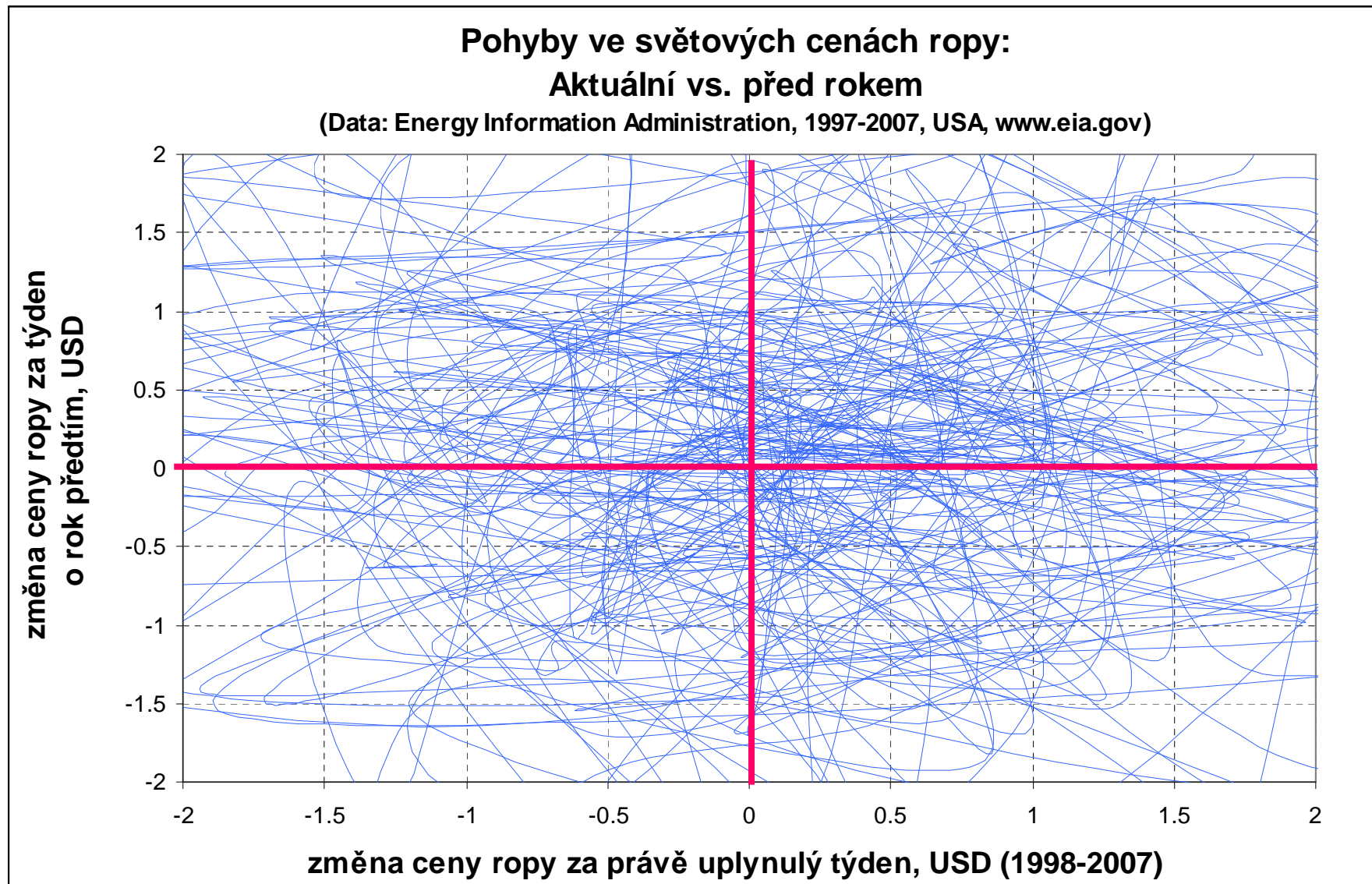
World oil supply, showing global oil peak at about 2010 with steady decline thereafter.

**Graf: Objevy nových nalezišť ropy (levá křivka) klesají.
A lze vytěžit jen to co bylo objeveno.**

Ivanhoe, L.F.: World Oil, October 1995, p. 77-87



Stabilita vývoje světových cen ropy



Soumrak automobilismu?



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní

Vojtíšek: Nanočástice emitované spalovacími motory. GenTox, Brno 10.5.2012.
■ Za přispění evropského finančního nástroje LIFE – projekt MEDETOX (LIFE10 ENV/CZ/651)

50





Soumrak Automobilismu?



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní

Vojtíšek: Nanočástice emitované spalovacími motory. GenTox, Brno 10.5.2012.
■ Za přispění evropského finančního nástroje LIFE – projekt MEDETOX (LIFE10 ENV/CZ/651)

51





Soumrak automobilismu?



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní

Vojtíšek: Nanočástice emitované spalovacími motory. GenTox, Brno 10.5.2012.
■ Za příspěví evropského finančního nástroje LIFE – projekt MEDETOX (LIFE10 ENV/CZ/651)

52



Méně energeticky náročná doprava



Méně energeticky náročná doprava



Změny v územním plánování



Města pro pěší a ekologická doprava



Projekt MEDETOX: EU LIFE+ program, projekt LIFE10 ENV/CZ/651



Ústav experimentální medicíny AV ČR, Technická
univerzita v Liberci,
Ministerstvo životního prostředí ČR

Inovativní metody pro sledování toxicity výfukových
emisí ze spalovacích motorů v podmínkách
městského provozu

Městský provoz:

- nejvíce technicky náročný z hlediska emisí
- nejvyšší míra expozice (blízkost, počet lidí)



Představení... Co děláme... Měření emisí za reálného provozu ... a do budoucna plánujeme vzorkování emisí pro toxikologické analýzy



„Celý den jezdí auty sem a tam, aby ukázali, že ježdění autem je špatné pro životní prostředí.“
(Steve Taylor, New York)

(A taky traktorem, kamionem, lokomotivou, bagrem, autobusem, sekačkou, nakladačem, malým letadlem, na motorce, trajektem, ...)



Poděkování

Foto pro zamyšlení: Útlum automobilové dopravy a podpora pěší a cyklistické dopravy, Manhattan, New York



Příspěvek byl vytvořen částečně v rámci projektu LIFE10 ENV/CZ/651: MEDETOX ("Innovative Methods of Monitoring of Diesel Engine Exhaust Toxicity in Real Urban Traffic"), financovaného Evropskou komisí v programu LIFE+ a Ministerstvem životního prostředí České Republiky, a částečně z osobní iniciativy a příspěví autora.

