

Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika

Michal Vojtíšek, M.S., Ph.D.
Centrum vozidel udržitelné mobility
Fakulta strojní, ČVUT v Praze
EU LIFE+ projekt MEDETOX,
Technická univerzita v Liberci
 michal.vojtisek@fs.cvut.cz
 tel. (+420) 774 262 854



- Těžká vozidla a pojezd v kongesci

Vojtíšek: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika. Těžká vozidla a kongesce. Akademie věd ČR, 27.11.2013. 1

Emise z motorových vozidel jsou příčinou cca 406 tisíc předčasných úmrtí v EU ročně (dopravní nehody „jen“ 39 tisíc)



Vojtíšek: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika. Těžká vozidla a kongesce. Akademie věd ČR, 27.11.2013. 3

Částice ve výfukových plynech naftového motoru

Zvětšíme-li tyto částice na velikost zrnka máku, částice o průměru 10 mikrometrů (součást PM10) bude velká jako meloun.





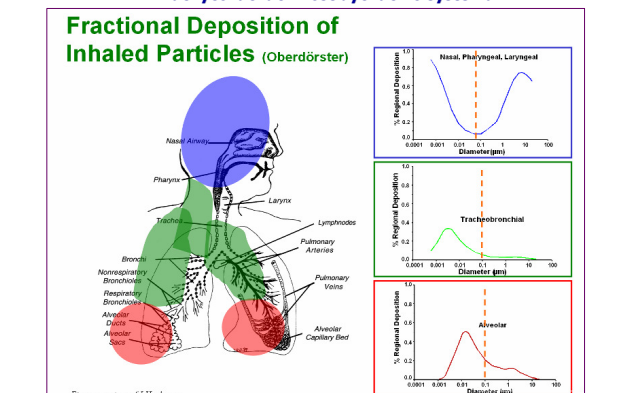
Liati A., Dimopoulos P.E., Combustion and Flame 157 (2010) 1658–1670. 5

Typické velikostní spektrum částic - vznětové motory

Kittelson, J. Aerosol Sci. Vol. 29, No. 5/6, pp. 575-588, 1998. 7

Zachycovací účinnost dýchacího systému

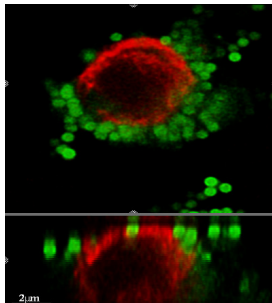
Fractional Deposition of Inhaled Particles (Oberdörster)



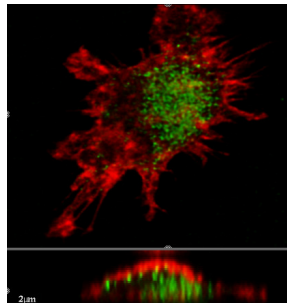
A. Mayer, 12th ETH Conference on Combustion Generated Nanoparticles, Zurich, 2008. 8

Pronikání velmi jemných částic (desítky nm) buněčnou membránou

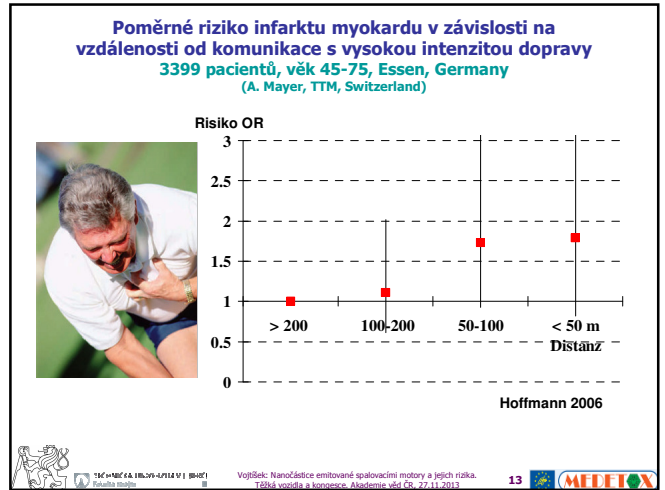
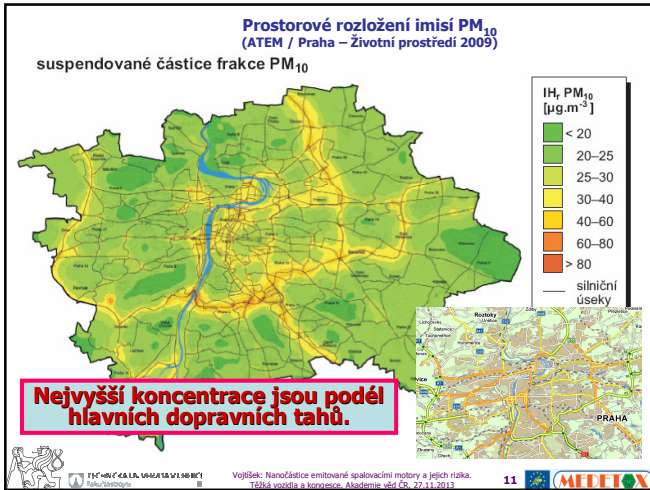
1000 nm Polystyrene Particles



78 nm Polystyrene Particles



Rothen-Rutishauser, as quoted by A. Mayer, 12th ETH Conference on Combustion Generated Nanoparticles. 9



California Environmental Protection Agency
AIR RESOURCES BOARD

AMERICAN LUNG ASSOCIATION of California

Recent Research Findings:

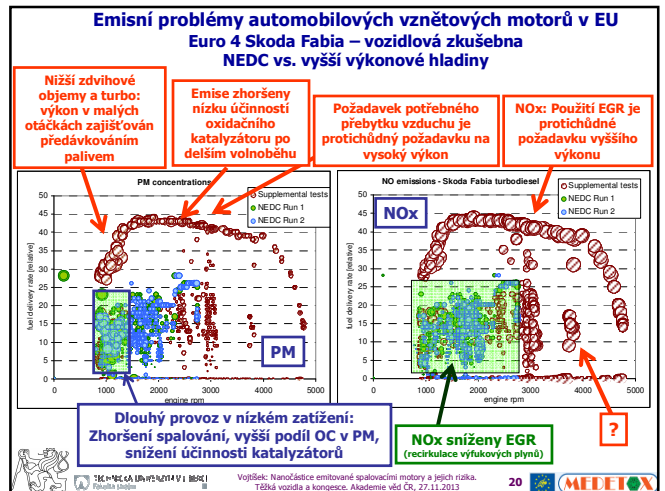
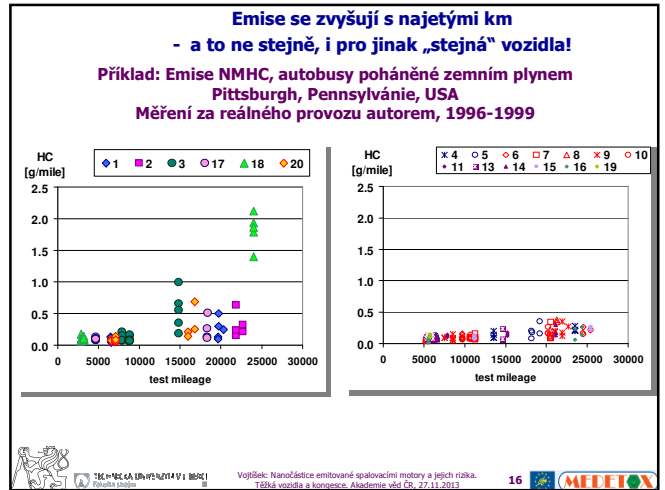
Health Effects of Particulate Matter and Ozone Air Pollution, January 2004

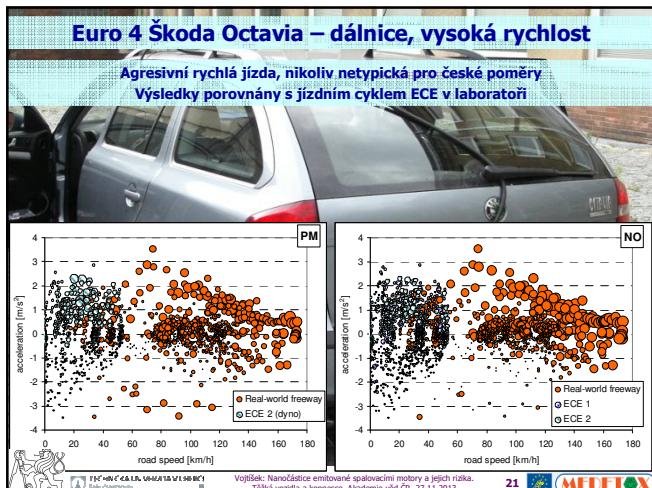
Air Pollution Causes Premature Death
Attaining the California PM standards would annually prevent about 6,500 premature deaths, or 3% of all deaths. These premature deaths shorten lives by an average of 14 years. This is roughly equivalent to the same number of deaths (4,200 - 7,400) linked to second-hand 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.

Předčasná úmrtí v EU ročně: Emise z dopravy 406 tisíc, dopravní nehody 39 tisíc

Vojtěšek: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika. Tisková vozidla a konference, Akademie věd ČR, 27.11.2013. 14





Problém emisí ze spalovacích motorů

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) během reálného provozu a po celou dobu životnosti vozového parku můžeme získat podklady pro uvážení rozhodnutí o vhodných opatřeních pro snížení emisí.

Vojtěch: Nanočisticé emitované spalovacími motory a jejich rizika. Těžká vozidla a kongesce. Akademie věd ČR, 27.11.2013. 23

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)

Vojtěch: Nanočisticé emitované spalovacími motory a jejich rizika. Těžká vozidla a kongesce. Akademie věd ČR, 27.11.2013. 24

Měření emisí plyných látek a částic přenosnou aparaturou

Vzorkování částic přenosným proporcionálním vzorkovačem

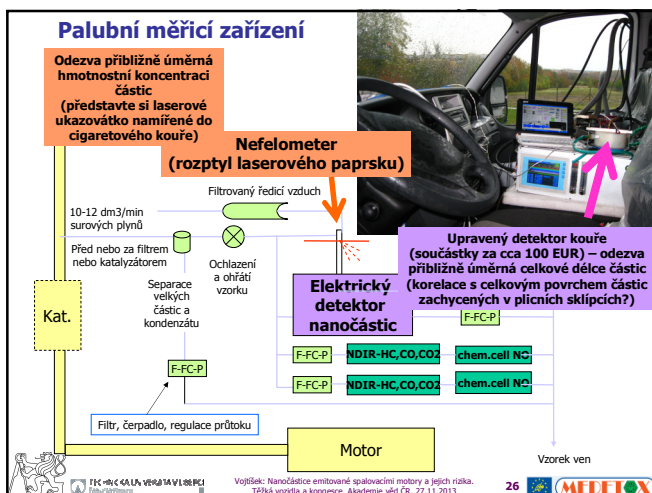
"Nízkoprofilová" instalace

PEMS

Miniaturní řídící tunel s průtokem části vzorku

Proportionální vzorkování částic ve výfukových plynech

Vojtěch: Nanočisticé emitované spalovacími motory a jejich rizika. Těžká vozidla a kongesce. Akademie věd ČR, 27.11.2013. 25



Problém kongesce u tranzitní kamionové dopravy

Spalovací motory – hlavní zdroj velmi jemných částic ve většině městských aglomerací

Nárůst intenzity dopravy zvyšuje emise a zvyšuje míru výskytu kongesce

Emise jsou vyšší než odpovídá modelům

U současného vozového parku má vliv na emise též: technický stav, kvalita jízdy, a provozní podmínky

Tato práce je zaměřena na vliv déletrvající kongesce na emise naftových motorů v těžkých vozidlech

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

Vojtěch: Nanočisticé emitované spalovacími motory a jejich rizika. Těžká vozidla a kongesce. Akademie věd ČR, 27.11.2013. 28



Problémy motorů těžkých vozidel: Euro 3,4,5 splněno i bez filtru (DPF) Spalování a účinnost katalyzátorů klesají při delším nízkém zatížení

Nákladní automobil Iveco Eurocargo (7 t)

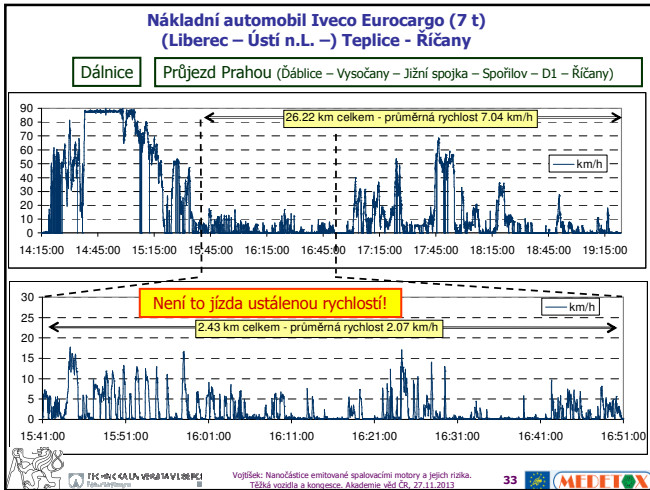
- Iveco Eurocargo, r.v. 2006, 87 tis. km
- Motor Iveco Tector, Euro 4
- Jízda Liberec – Ústí – Teplice – Říčany u Prahy (rozvoz vysokobjemových vzorkovačů)

Měřicí aparatura

Káva (nevylitá)

"Horor tranzitní kamionové dopravy"

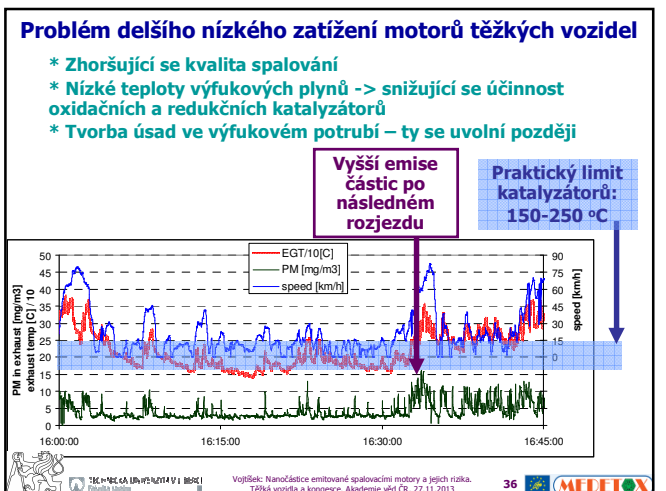
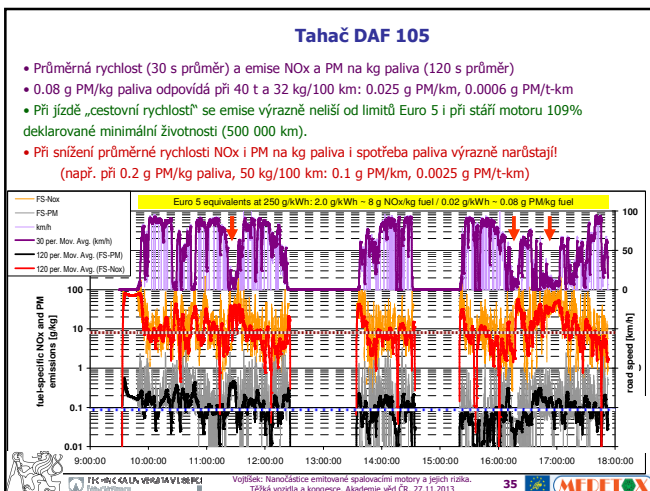
Vojtěšek: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika. Těžká vozidla a kongesce. Akademie věd ČR, 27.11.2013. 32



Tahač DAF 105

- 2006 DAF, 540 tis. km, s návěsem, 24 t náklad, celkem 40 tun
- Motor Paccar, přeplňovaný šestiválec, zdvihový objem 12,9 litru, výkon 410 k, emisní norma Euro 5, se selektivní redukcí NOx („Ad-blue“)
- Jízda Mělník – Rudná s několikerým průjezdem po Jižní spojkce (Běchovice – Spořilov)
- Velmi klidný, rozvážný řidič (prémie za ušetřené palivo – motivace k „eko-jždě“!)

Vojtěšek: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika. Těžká vozidla a kongesce. Akademie věd ČR, 27.11.2013. 34

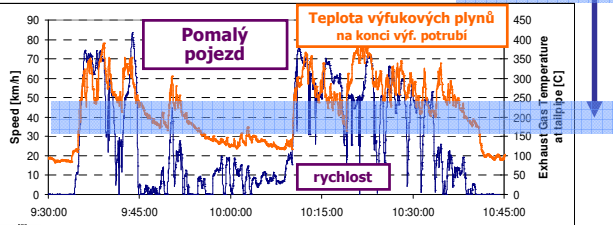


Problém delšího nízkého zatížení motorů těžkých vozidel

- * Zhoršující se kvalita spalování
- * Nízké teploty výfukových plynů -> snižující se účinnost oxidačních a redukčních katalyzátorů
- * Tvorba úsad ve výfukovém potrubí – ty se uvolní později

„Skákání“ – při rozjezdu kabina se tahače naklápí do strany vlivem reakční síly

Praktický limit katalyzátorů: 150-250 °C



Simulace pomalého pojezdu na zkušebně

Motor:
Zetor 1505, vznětový přeplňovaný čtyřválec, 90 kW, řadové vstřikovací čerpadlo, 0.10-0.15 g/kWh PM bez recirkulace výfukových plynů

Palivo: nafta EN590

Provozní podmínky:
1500 ot/min, 30% zatížení (odpovídá jízdě po dálnici)
900 ot/min, 2% zatížení (odpovídá 2-5 km/h pojezdu)
1500 ot/min, 100% zatížení (odpovídá jízdě do Spořilovského kopce)

Vzorkování spráženými vysokoobjemovými vzorkovači membránové (Pall TX40) a křemenné (Whatman QMA) filtry

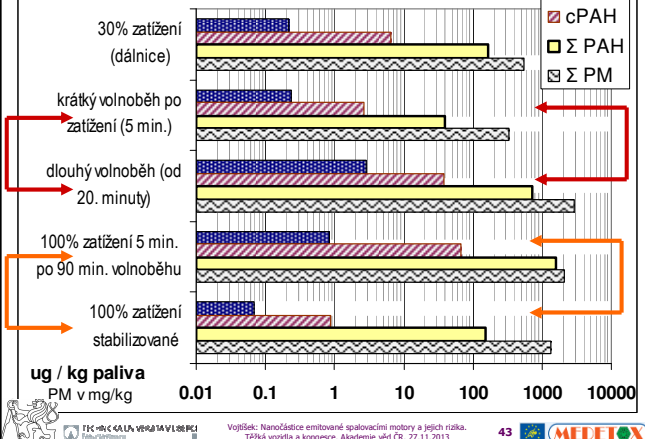
- Tok ředícího vzduchu měřen termickým průtokoměrem
- Nezávislé měření průtoku a ředícího poměru
- 8"x10" filtr (vzorek) 10-200 mg částic na filtr
- CO₂ koncentrace měřeny ve výfukových plynech a na výstupu Hi-Volu (ověření ředícího poměru)
- Ředěné výfukové plyny 67.8 m³/h
- 8"x10" filtr (ředící vzduch)
- Miniaturní ředící tunel 10:1 ředění
- Přívod výfukových plynů
- EcoTech 3000 Hi-vol vzorkovač
- Vstup upraven pro 40 mm trubku
- PM_{2.5} hlavice
- 67.8 m³/h nominální průtok
- PM_{2.5} hlavice (pro ředící vzduch použít nižší průtok, částice jsou stejné filtrovány)

Gravimetrická analýza Extrakce Analýza PAH: HPLC, fluorescenční detekce 16 PAH dle US EPA

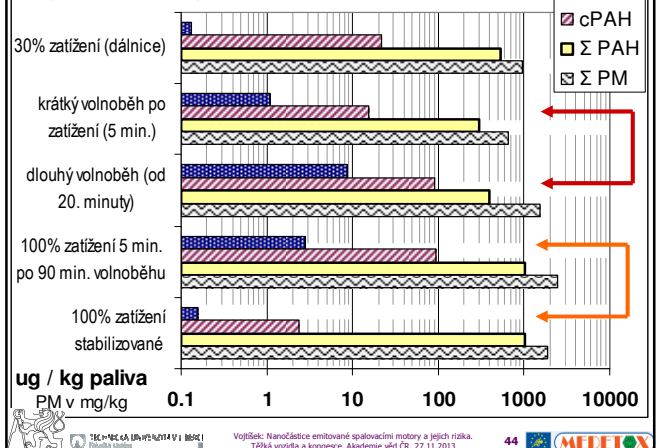


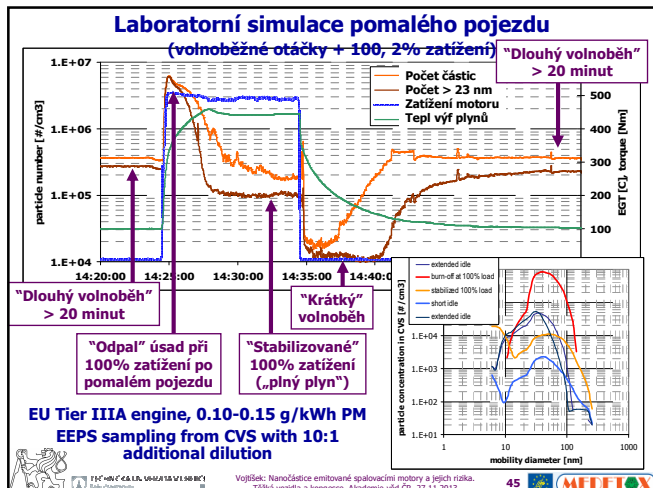
7 karcinogenních PAH dle US EPA:
benzo[a]anthracen
chrysen
benzo[b]fluoranthen
benzo[k]fluoranthen
benzo[a]pyren
dibenzo[a,h]anthracen
indeno[1,2,3-cd]pyren

Křemenné filtry Whatman QMA



Filtry z borosilikátových vláken / fluorokarbon Pall TX40





Moderní vůz s filtrem částic (DPF) – ideální stav: Nízké emise částic

(ve výfuku jich na m3 bylo většinou méně, než je v ostravském vzduchu v zimě)

EURO 5 – DOC, DPF (particle filter), no SCR
2012 Iveco Daily, 3.0-liter Iveco engine

Emissions of particulate matter very low even during 1-hour idle and generally well below 1 mg/m³

Vojtěch: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika. Těžká vozidla a kongesce. Akademie věd ČR, 27.11.2013. 46

Závěry

Během laboratorní simulace podmínek odpovídajících kongesci na typickém vznětovém motoru s řadovým vstřikovacím čerpadlem bylo zjištěno, že během setrvalého provozu na nízké zatížení se zvyšují emise částic (celkové hmotnosti), PAH, karcinogenních PAH i benzo(a)pyrenu, a to cca o řád **a zejména** **setrvalý provoz na nízké zatížení způsobuje, že během následného provozu na vysoké zatížení jsou v prvních několika minutách vyšší emise částic (celkové hmotnosti), PAH, karcinogenních PAH i benzo(a)pyrenu, a to cca o řád**

**Předběžný výrok o významu výsledků:
Děletrvající kongesce škodí osádkám vozidel i okolním obyvatelům**

Městský provoz:

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

Vojtěch: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika. Těžká vozidla a kongesce. Akademie věd ČR, 27.11.2013. 47

Souhrn: Problémová souhra faktorů v hustě obydlených místech s vysokou hustotou provozu

Vysoká koncentrace vozidel
-> **vysoký příspěvek vozidel k imisím**

Vysoká hustota obyvatel
-> **vysoký počet osob exponován**

Vysoká frekvence problematických provozních režimů

- protáhlý provoz na volnoběh, poježdění malou rychlostí
- vysoce dynamické změny
- akcelerace na plný výkon

-> **vyšší a/nebo více nebezpečné emise**

Výfukové emise naftových motorů způsobují rakovinu

Doporučení:

Pro hodnocení toxicity výfukových plynů u nových technologií a nových paliv hodnotit použit realisticke městské provozní podmínky.

Brát v úvahu současný stav poznání a pečlivě přistupovat k hodnocení dopadu záměrů na ovzduší a zdraví.

Nepřetěžovat dopravní síť – zachovat plynulý provoz

Vojtěch: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika. Těžká vozidla a kongesce. Akademie věd ČR, 27.11.2013. 48

Projekt MEDETUX: 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)

Vojtěch: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika. Těžká vozidla a kongesce. Akademie věd ČR, 27.11.2013. 49

