

KVM Katedra vozidel a motorů  
 Fakulta strojní  
 Technická univerzita v Liberci

**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 – CZ TPIS, Praha 2.11.2011

KVM Katedra vozidel a motorů  
 Fakulta strojní  
 Technická univerzita v Liberci

**Emise ze spalovacích motorů představují průmyslové bezpečnostní riziko** pro:

- Zaměstnance přímo pracující se stroji (řidiči, obsluha, pracovníci údržby)
- Zaměstnance vyskytující se v blízkosti (až stovky metrů) běžících motorů
- Obyvatele / uživatele přilehlých budov / oblastí

**riziko škod způsobených:** (a možné odpovědnosti za ně v občansko-právním řízení)

- Zaměstnancům (zdraví)
- Uživatelům přilehlých budov / oblastí
- Na životním prostředí

**Progressivní průmyslový podnik 21. století všechna předvídatelná rizika studuje, hodnotí, a aktivně podniká kroky k jejich minimalizaci (předcházení ztrátám a náhradě škod, udržování dobrých vztahů s veřejností, dobrý souseď a dobrý správce).**

Vojtíšek: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika – CZ TPIS, Praha 2.11.2011

KVM Katedra vozidel a motorů  
 Fakulta strojní  
 Technická univerzita v Liberci

**Emise ze spalovacích motorů představují průmyslové bezpečnostní riziko** pro:

- Zaměstnance přímo pracující se stroji (řidiči, obsluha, pracovníci údržby)
- Zaměstnance vyskytující se v blízkosti (až stovky metrů) běžících motorů
- Obyvatele / uživatele přilehlých budov / oblastí

**riziko škod způsobených:** (a možné odpovědnosti za ně v občansko-právním řízení)

- Zaměstnancům (zdraví)
- Uživatelům přilehlých budov / oblastí
- Na životním prostředí

**Téma práce:**  
**Jaké emise?**  
**Co na ně má vliv?**  
**Jaké škody?**  
**Co s tím lze dělat?**

Vojtíšek: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika – CZ TPIS, Praha 2.11.2011

KVM Katedra vozidel a motorů  
 Fakulta strojní  
 Technická univerzita v Liberci

**Představení... Co děláme... Laboratoř spalovacích motorů**

- Základní a aplikovaný výzkum, vývoj; bakalářské, magisterské, doktorské studium
- Zkušební stanoviště s dynamometry pro motory do 700 kW / 3000 Nm
- Válcová vozidlová zkušebna pro lehká vozidla
- Rozvody vodíku, zemního plynu, LPG, úpravy motorů pro plyná paliva
- Dvoj- a různopalivové systémy (nafta-plyn, nafta-rostlinné oleje, nafta-alkoholy...)
- Měření emisí plyných látek a částic
- Základní výzkum spalování
- Vývojové a konstrukční práce

Úprava motoru Zetor pro spalování rostlinných olejů

Hlavní hala laboratoře

Vojtíšek: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika – CZ TPIS, Praha 2.11.2011

KVM Katedra vozidel a motorů  
 Fakulta strojní  
 Technická univerzita v Liberci

**Představení... Co děláme... Měření emisí za reálného provozu**

**„Celý den jezdí auty sem a tam, aby ukázal, 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, trajektu, ...)**

Vojtíšek: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika – CZ TPIS, Praha 2.11.2011

KVM Katedra vozidel a motorů  
 Fakulta strojní  
 Technická univerzita v Liberci

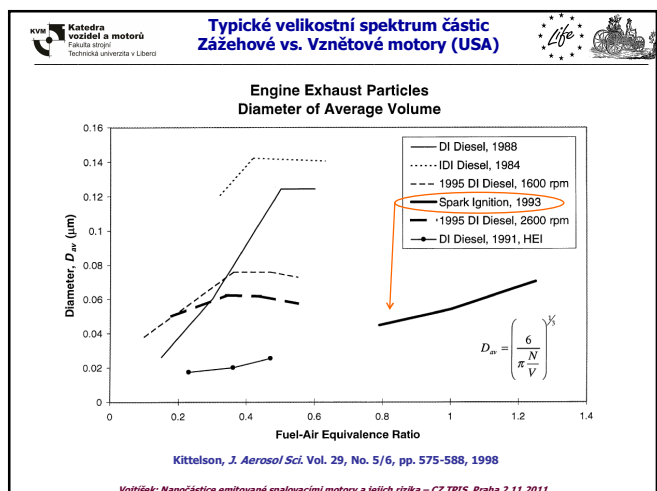
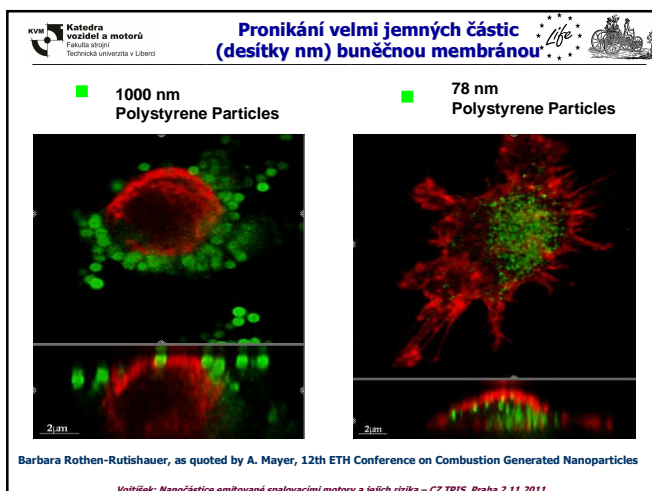
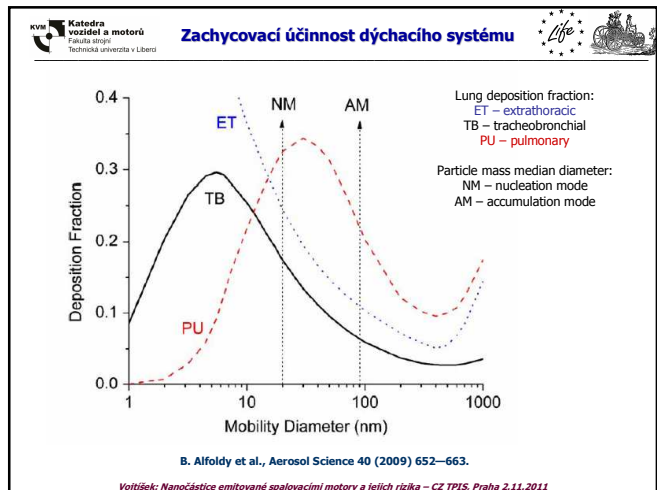
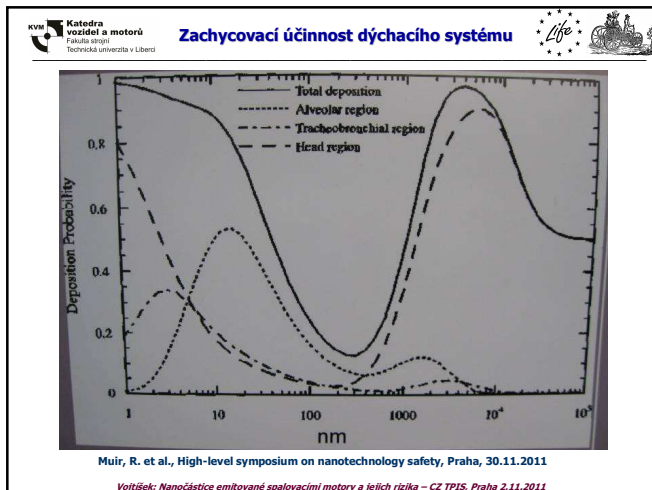
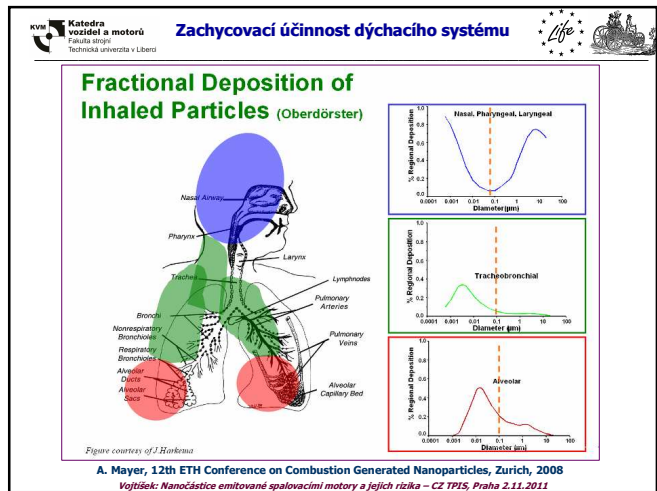
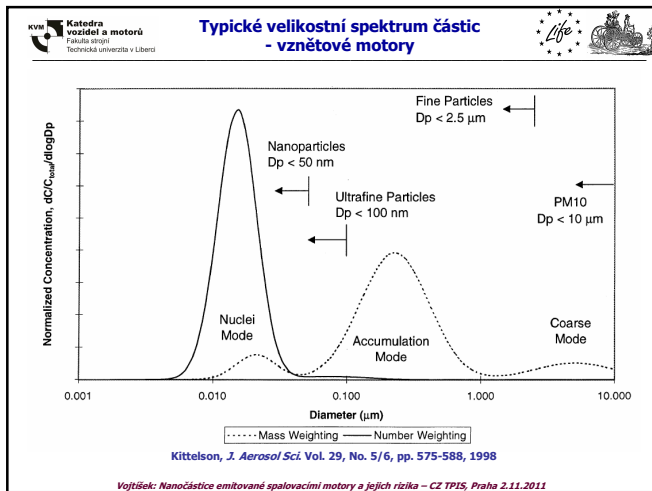
**Nárůst intenzity dopravy způsobuje, že téměř polovina emisí pevných částic pochází z mobilních zdrojů**

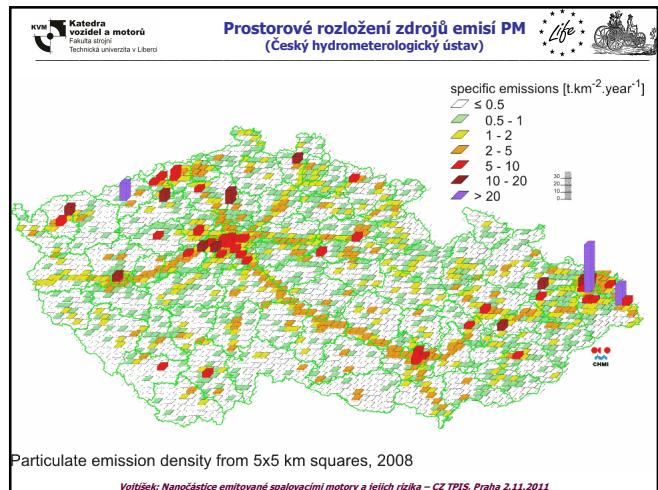
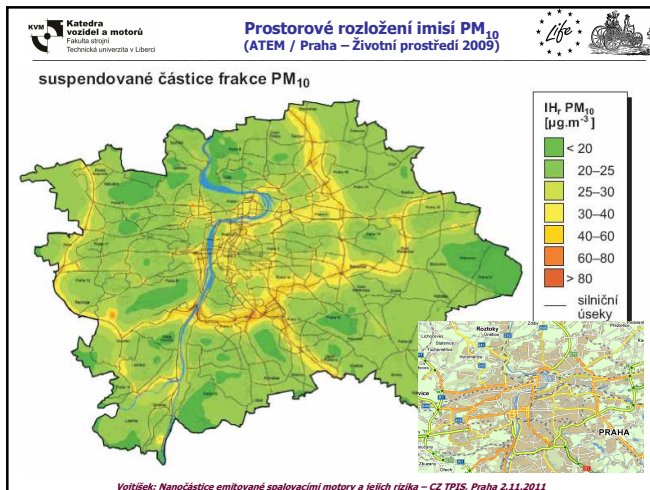
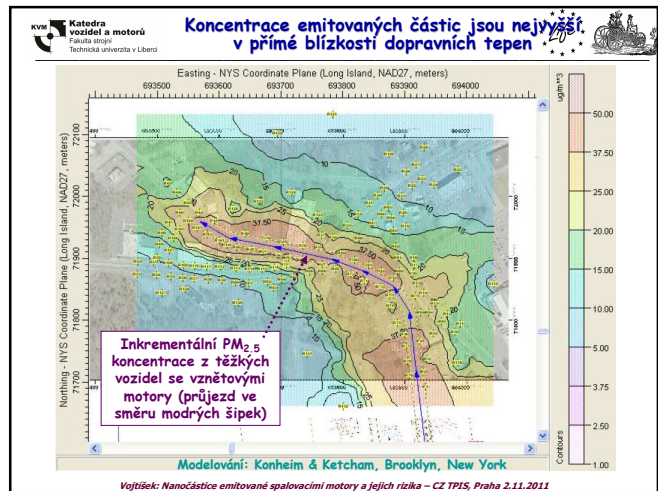
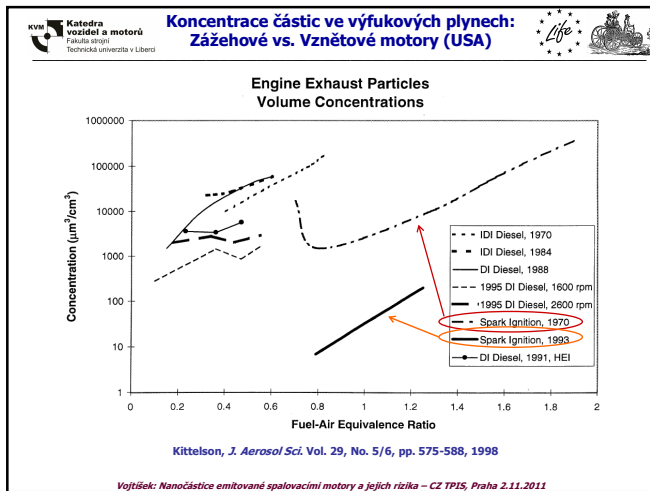
**v Praze doprava vyprodukuje 10,8 Gg (mil. tun) částic ročně – to je 14-15x více 0,7-0,8 Gg/rok ze stacionárních zdrojů (dle Praha – Životní prostředí 2009)**

Year	silniční nákladní doprava, desítky milionů tunokilometrů	prodej motorové nafty, miliony tun	registrované automobily, miliony	registrované nákladní vozy, statisíce	podíl dopravy na celkových emisích PM10, desítky procent
Jan-98	3.5	2.2	2.5	2.8	2.5
Jan-99	3.8	2.3	2.6	2.9	2.6
Jan-00	4.0	2.4	2.7	3.0	2.7
Jan-01	4.2	2.5	2.8	3.1	2.8
Jan-02	4.5	2.6	2.9	3.2	2.9
Jan-03	4.8	2.7	3.0	3.3	3.0
Jan-04	5.0	2.8	3.1	3.4	3.1
Jan-05	5.2	2.9	3.2	3.5	3.2
Jan-06	5.5	3.0	3.3	3.6	3.3
Jan-07	5.8	3.1	3.4	3.7	3.4
Jan-08	6.0	3.2	3.5	3.8	3.5

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

Vojtíšek: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika – CZ TPIS, Praha 2.11.2011





**Ekvivalentní z hlediska „ $\text{PM}_{2.5}$ “ - 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  $\mu\text{m}$ )

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**

Vojtěšek: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika – CZ TPIS, Praha 2.11.2011

**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 zabijí více lidí, než dopravní nehody, a přibližně stejně jako druhotný cigaretový kouř.**

Vojtěšek: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika – CZ TPIS, Praha 2.11.2011

**KVM Katedra vozidel a motorů**  
 Fakulta strojní  
 Technická univerzita v Liberci

**"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)

*Vojtěšek: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika – CZ TPIS, Praha 2.11.2011*

**KVM Katedra vozidel a motorů**  
 Fakulta strojní  
 Technická univerzita v Liberci

**Zároveň s narůstajícími emisemi z dopravy narůstá výskyt onemocnění (a to nejen dýchacích cest)**

**Zdroj: Ročenka životního prostředí, MŽP ČR, 2007.**  
*Vojtěšek: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika – CZ TPIS, Praha 2.11.2011*

**KVM Katedra vozidel a motorů**  
 Fakulta strojní  
 Technická univerzita v Liberci

**Nádory, novotvary, a kvalita ovzduší**

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

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

**Zdroj: UZIS, Národní onkologický registr ČR**  
**Zdroj: CHMÚ**

*Vojtěšek: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika – CZ TPIS, Praha 2.11.2011*

**KVM Katedra vozidel a motorů**  
 Fakulta strojní  
 Technická univerzita v Liberci

**Nádory, novotvary, a kvalita ovzduší**

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

**Obr. D3.1.2 Počet motorových vozidel**

**Zdroj: UZIS, Národní onkologický registr ČR**  
**Zdroj: TSK – ÚOI**

*Vojtěšek: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika – CZ TPIS, Praha 2.11.2011*

**KVM Katedra vozidel a motorů**  
 Fakulta strojní  
 Technická univerzita v Liberci

**Nádory, novotvary, a kvalita ovzduší**

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

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

**Zdroj: UZIS, Národní onkologický registr ČR**  
**Zdroj: TSK – ÚOI**

*Vojtěšek: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika – CZ TPIS, Praha 2.11.2011*

**KVM Katedra vozidel a motorů**  
 Fakulta strojní  
 Technická univerzita v Liberci

**Co s tím? ... Osvěta!**

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

**Zdroj: TSK – ÚOI**  
*Vojtěšek: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika – CZ TPIS, Praha 2.11.2011*

**Co s tím? ... Údržba!**

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

*Vojtěšek: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika – CZ TPIS, Praha 2.11.2011*

**Co s tím? ... Údržba!**

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

CO Decile	Percent of Total CO
1st	0.06
2nd	0.06
3rd	0.06
4th	0.06
5th	0.06
6th	0.06
7th	0.06
8th	0.39
9th	1.02
10th	34.4

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

*Vojtěšek: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika – CZ TPIS, Praha 2.11.2011*

**Co s tím? ... Kvalita obsluhy!**

Vliv agresivní jízdy na emise částic - každá bublina znázorňuje hmotnostní emise PM za jednu sekundu jízdy

**Termin „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**

*Vojtěšek: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika – CZ TPIS, Praha 2.11.2011*

**Co s tím? ... Kvalita obsluhy!**

**Autobus International 3400 145 kW 6,0 l turbodiesel**

- Studený start**
- Normální jízda**
- Agresivní jízda (při dodržení bezpečnosti provozu a předpisů)**
- Velmi klidná jízda (bez omezení dopravy pomalou jízdou)**
- Obsah kruhu je úměrný okamžitým emisím pevných částic, kruh = 1 s jízdy**

*Vojtěšek: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika – CZ TPIS, Praha 2.11.2011*

**Co s tím? ... Čistší paliva!**

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

*Vojtěšek: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika – CZ TPIS, Praha 2.11.2011*

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

**Vstupní strana**      **Výstupní strana**

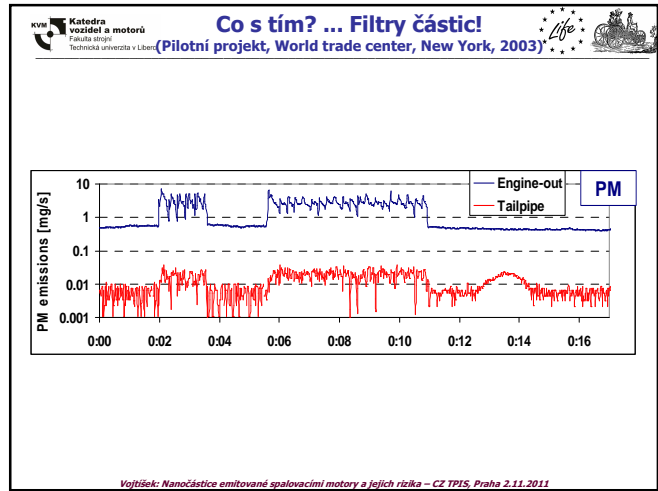
*Vojtěšek: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika – CZ TPIS, Praha 2.11.2011*

KVM **Katedra vozidel a motorů**  
 Fakulta strojní  
 Technická univerzita v Liberci

## Co s tím? ... Filtry částic!

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

*Vojtěšek: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika – CZ TPIS, Praha 2.11.2011*



KVM **Katedra vozidel a motorů**  
 Fakulta strojní  
 Technická univerzita v Liberci

## Co s tím? ... Filtry částic!

(Běžná stavba, Biel, Švýcarsko, 2011)

*Vojtěšek: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika – CZ TPIS, Praha 2.11.2011*

KVM **Katedra vozidel a motorů**  
 Fakulta strojní  
 Technická univerzita v Liberci

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

### Ekvivalentní z hlediska „PM<sub>2,5</sub>“ - 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**

*Vojtěšek: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika – CZ TPIS, Praha 2.11.2011*

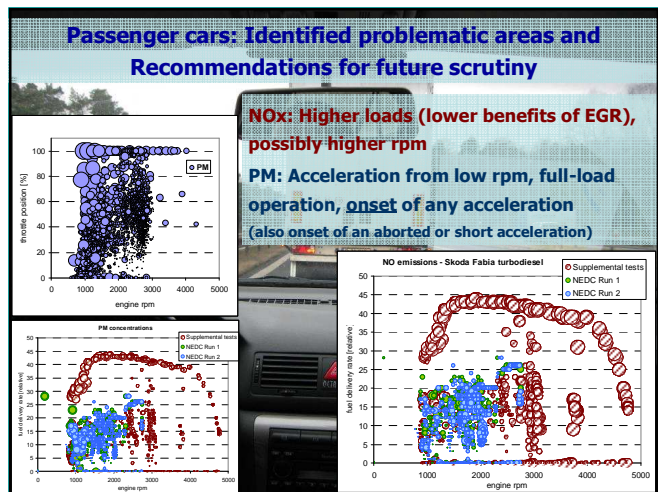
KVM **Katedra vozidel a motorů**  
 Fakulta strojní  
 Technická univerzita v Liberci

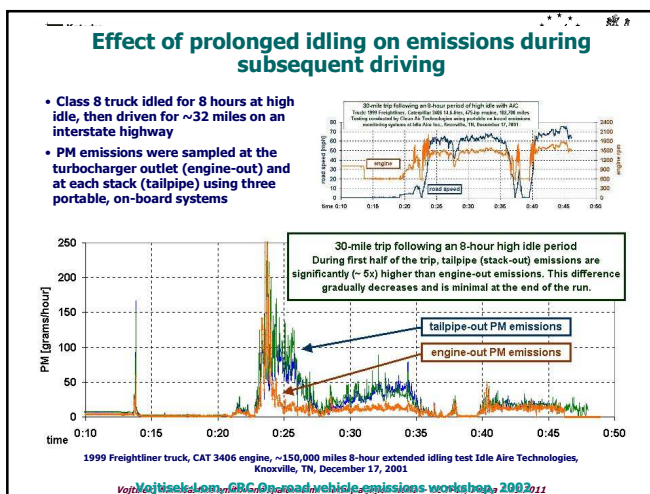
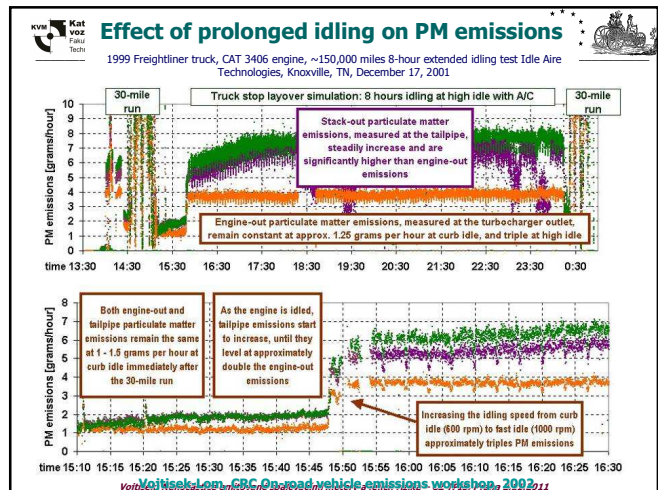
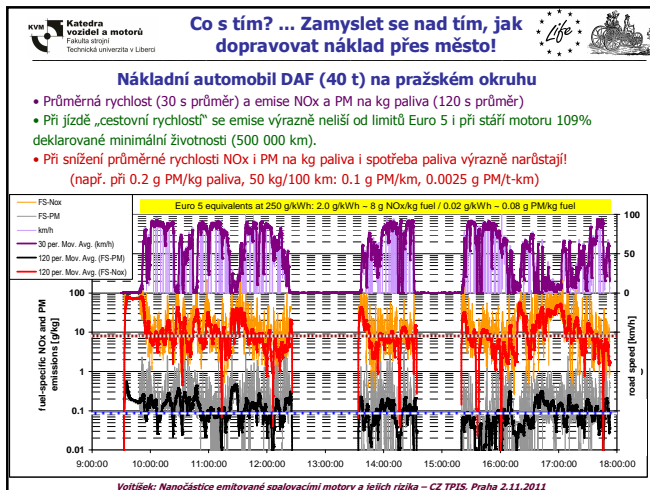
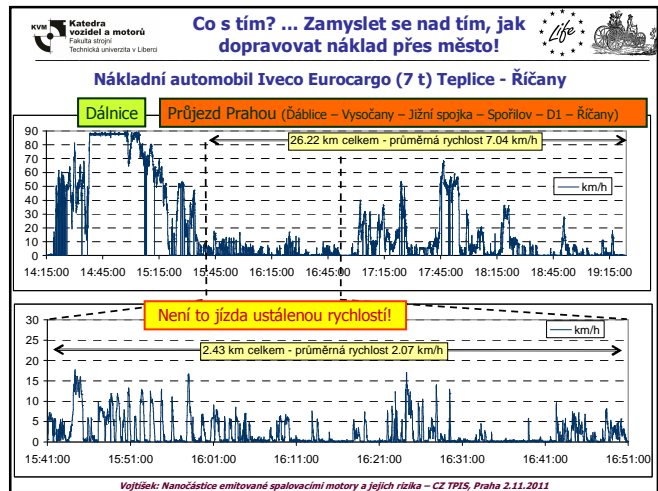
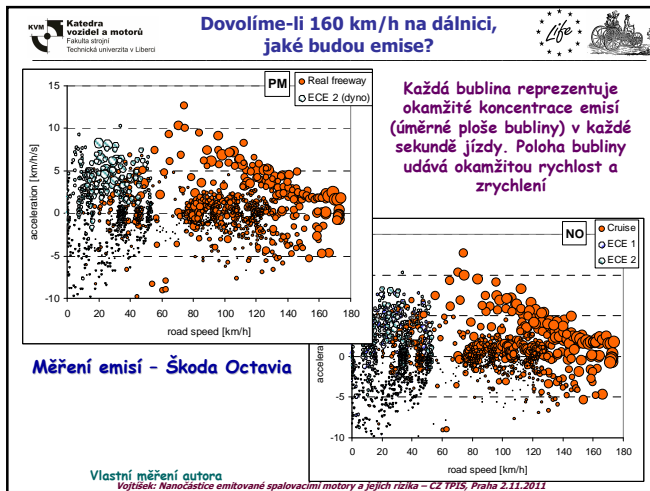
## Co s tím? ... Emisní limity které skutečně sniží emise!

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

Pohled do výfukového potrubí tomu neodpovídá.  
 (Kdesi v ČR. Foto: autor.)

*Vojtěšek: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika – CZ TPIS, Praha 2.11.2011*

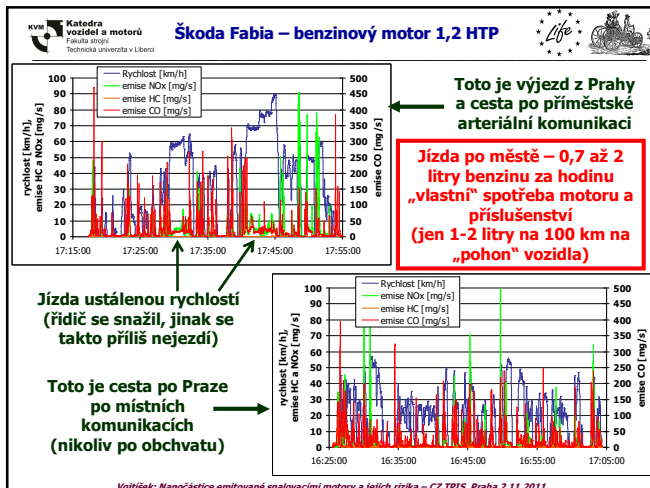
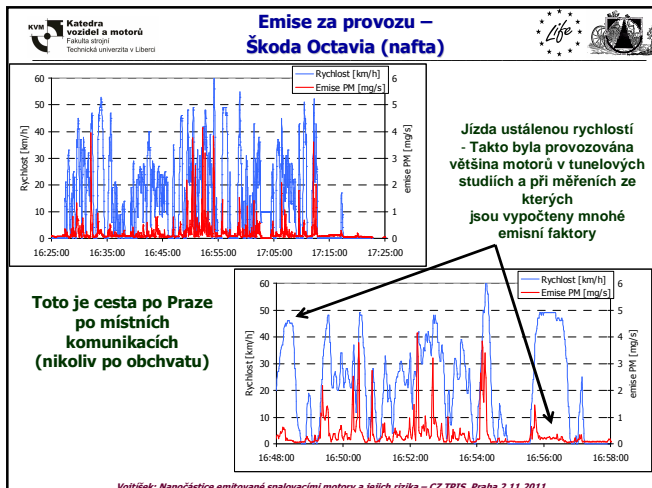
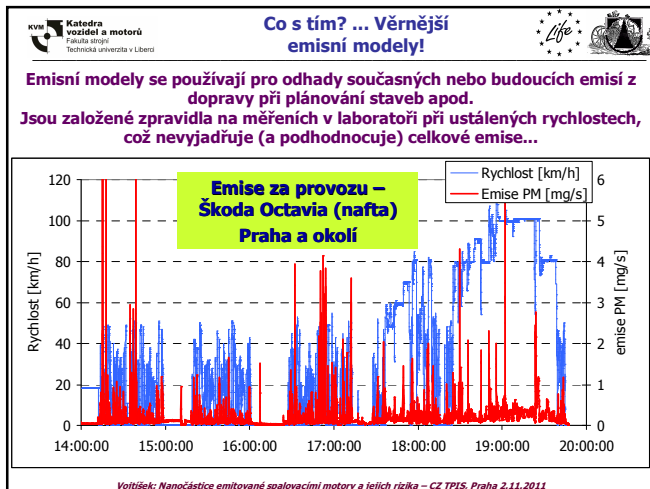
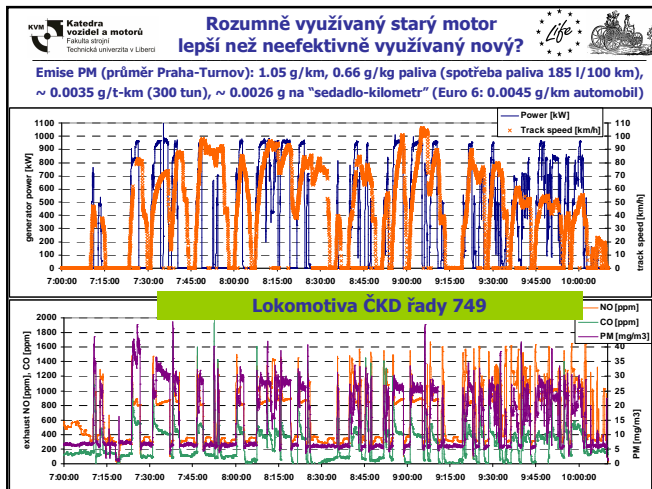




### Co s tím? ... Zamyslet se nad tím, jak dopravovat náklad přes město!

- Lokomotiva řady 749, ČKD Praha, r.v. 1968
- Motor: K 6S310 DR, ČKD Praha, r.v. 1968, řadový přeplňovaný šestiválec, zdvihový objem 163,2 litru, výkon 1500 k při 775 ot/min
- 5 vagonů, hmotnost soupravy 290-300 tun (počet a hmotnost cestujících nebyly přesně známy)
- Měření provedena při běžném provozu rychlíku na trati Praha - Tanvald

Vojtěšek, Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika - CZ TPIS, Praha 2.11.2011



**Měření**

emisí z reálných vozidel, v reálném provozu, se zahrnutím všech „anomálií“, je základem pro účinná opatření pro jejich snižování.

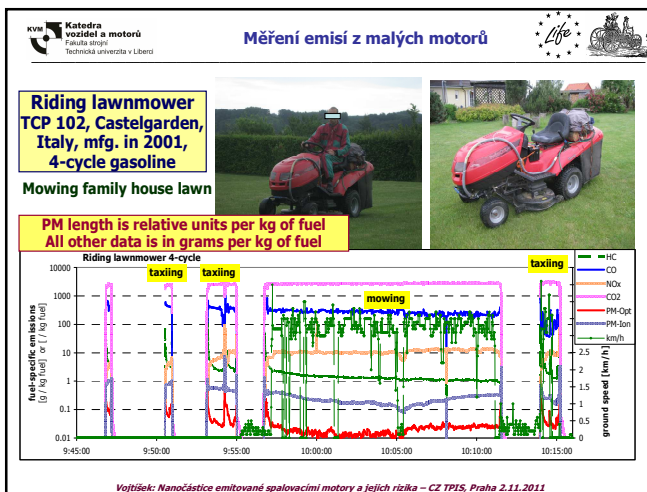
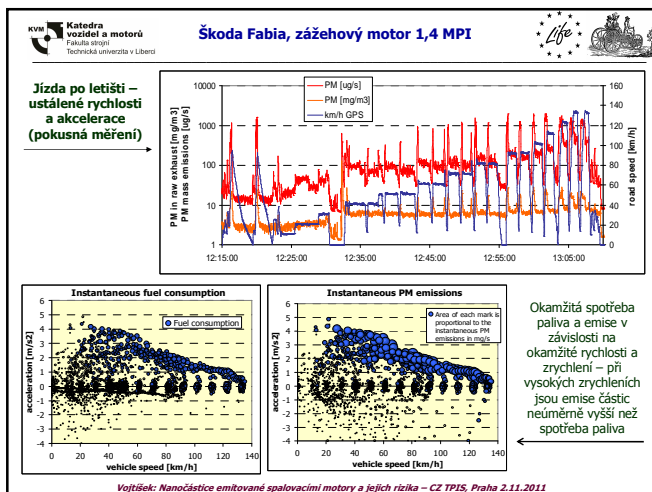
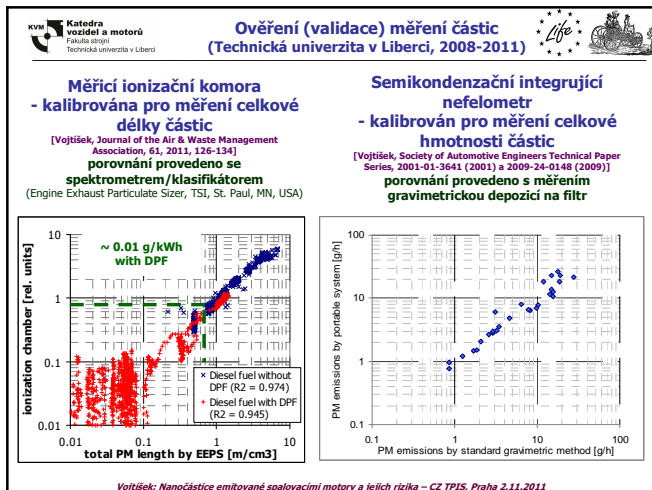
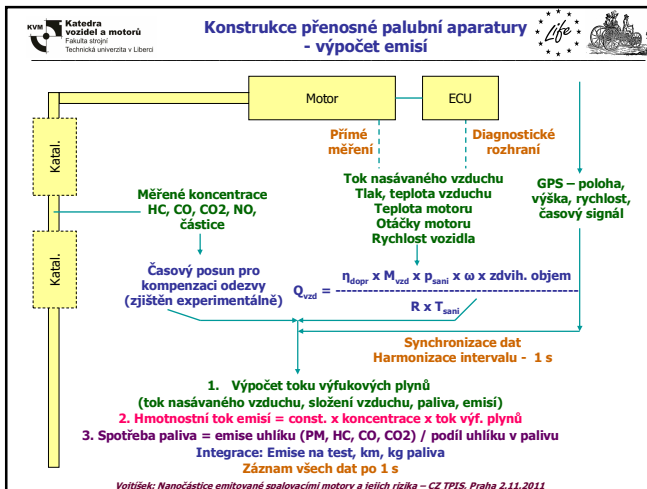
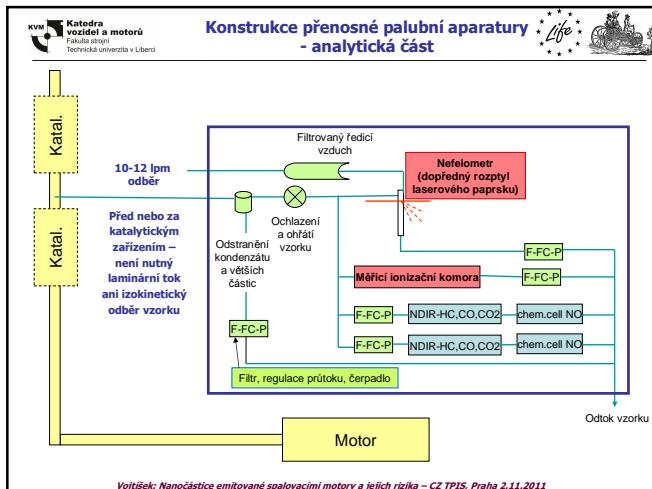
Měřit základní sledované látky nestačí. Nejlepší je přímo měřit vliv na zdraví...

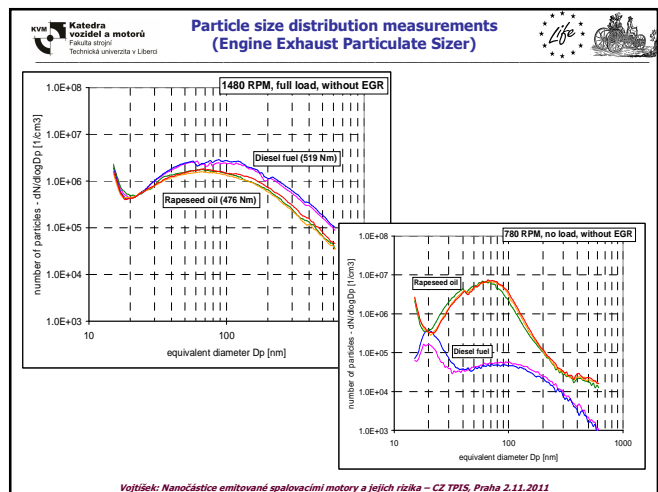
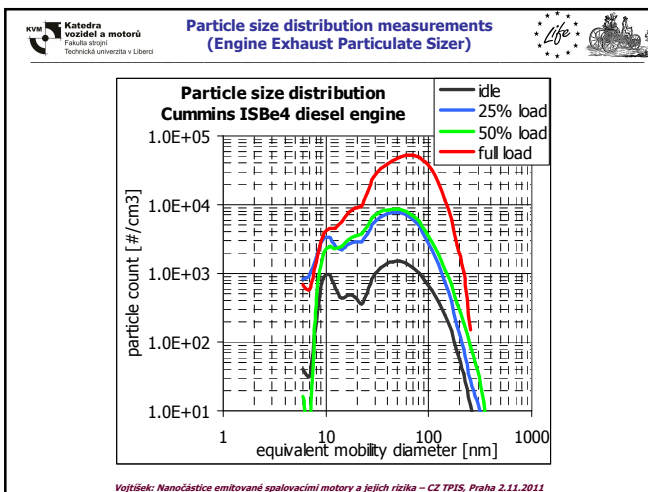
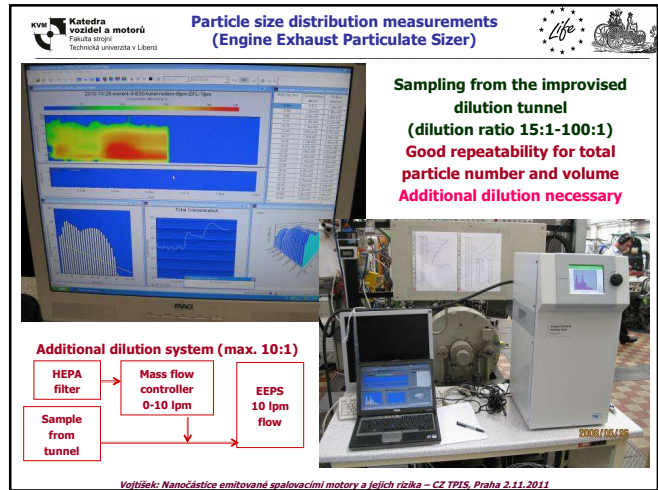
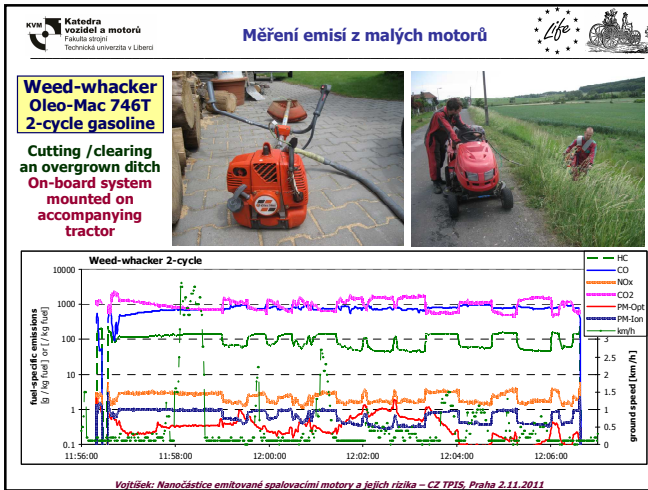
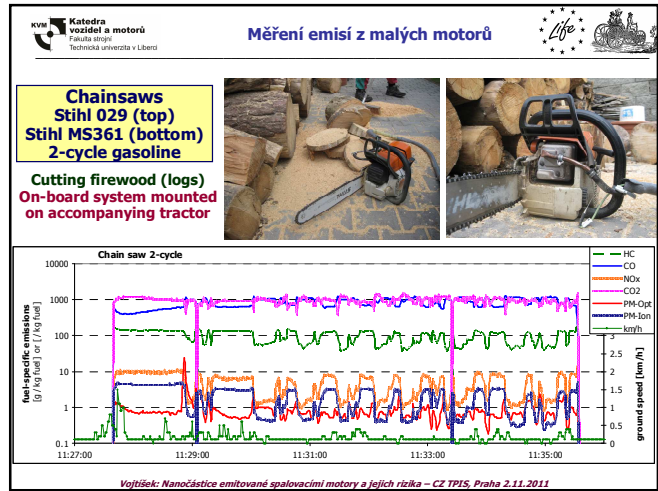
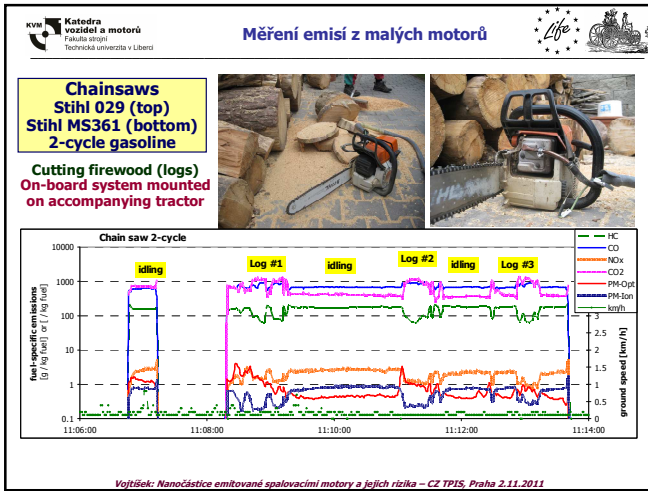
**Projekt Medetox: Sledování toxicity výfukových plynů v podmínkách městského provozu**

Vojtěšek: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika – CZ TPIS, Praha 2.11.2011









KVM Katedra vozidel a motorů  
Fakulta strojní  
Technická univerzita v Liberci

Life

**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)

*Vojtíšek: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika – CZ TPIS, Praha 2.11.2011*

KVM Katedra vozidel a motorů  
Fakulta strojní  
Technická univerzita v Liberci

Vzorkování částic ve výfukových plynech  
vysokoobjemovými vzorkovači

Life

**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

*Vojtíšek: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika – CZ TPIS, Praha 2.11.2011*

KVM Katedra vozidel a motorů  
Fakulta strojní  
Technická univerzita v Liberci

High-volume sampling of PM for toxicological assays

Life

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

*Vojtíšek: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika – CZ TPIS, Praha 2.11.2011*

KVM Katedra vozidel a motorů  
Fakulta strojní  
Technická univerzita v Liberci

High-volume sampling of PM for toxicological assays

Life

**High-volume Digitel 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., Ozduší 2011  
Škrdlíková et al., Ozduší 2011  
Topinka et al., ETH Conference on Combustion Generated Nanoparticles, 2011

*Vojtíšek: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika – CZ TPIS, Praha 2.11.2011*

KVM Katedra vozidel a motorů  
Fakulta strojní  
Technická univerzita v Liberci

Shrnutí

Life

Velmi jemné částice emitované spalovacími motory jsou jedním z největších a nejvíce rizikových zdrojů znečištění ovzduší všude, kde se spalovací motory hojně používají.

Nanočástice (do 50-100 nm) se usazují v plicích, pronikají buněčnou membránou, a působí na „celý“ organismus; tyto vlivy jsou dlouhodobé a kumulativní; není známa existence „bezpečné“ koncentrace.

**Progresivní průmyslový podnik 21. století všechna rizika studuje, hodnotí, a aktivně podniká kroky k jejich minimalizaci (předcházení ztrátám a náhradě škod, udržování dobrých vztahů s veřejností, dobrý soused a dobrý správce).**

Emise lze snižovat vhodnou volbou technologie motorů a paliva (filtry částic, plynná paliva), která musí být vhodně využívána (kvalita údržby, kvalita obsluhy, provozní podmínky), případně náhradou motorů jinými pohony (elektrické manipulační vozíky v uzavřených prostorech).

Realizace opatření pro snižování emisí částic vyžadují znalost mnoha oborů (spalovací motory, paliva a spalování, fyzika a chemie aerosolů, dopravní inženýrství, ekonomika, životní prostředí a zdraví), rozhodnutí musí být podpořena smysluplnými měřeními a modely; jinak hrozí neúčelné vynaložení nákladů, a rozsáhlé škody na lidském zdraví.

*Vojtíšek: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika – CZ TPIS, Praha 2.11.2011*

KVM Katedra vozidel a motorů  
Fakulta strojní  
Technická univerzita v Liberci

S rachtivým pozdravem, Vaši spolehliví služebníci,  
největší zdroj „vyrobených“ nanočástic

Já už jich moc nedělám...

Já jim to o co přišli vynahradím

*Vojtíšek: Nanočástice emitované spalovacími motory a jejich rizika – CZ TPIS, Praha 2.11.2011*

## Poděkování

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



Příspěvek byl vytvořen částečně v rámci projektu MŠMT 1M0568: "Výzkumné centrum spalovacích motorů a automobilů Josefa Božka II", 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, částečně z osobní iniciativy a příspěví autorů.