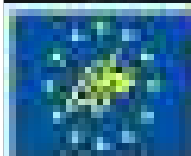
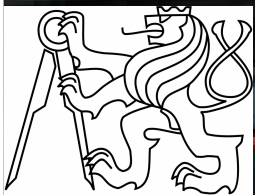


Inovativní metody pro sledování toxicity výfukových emisí ze spalovacích motorů v podmínkách městského provozu

LIFE10 ENV/CZ/651



Doc. 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

**Projekt MEDETOX (LIFE10 ENV/CZ/651)
Inovativní metody pro sledování toxicity výfukových
emisí ze spalovacích motorů v podmínkách
městského provozu
2011-2016**

**1.223.524 EUR celkový rozpočet, 50% EU, 14% MŽP
Demonstrační projekt**

**Ústav experimentální medicíny AV ČR,
Technická univerzita v Liberci
(+ Michal Vojtíšek FS ČVUT v Praze),
Ministerstvo životního prostředí ČR**

Městský provoz:

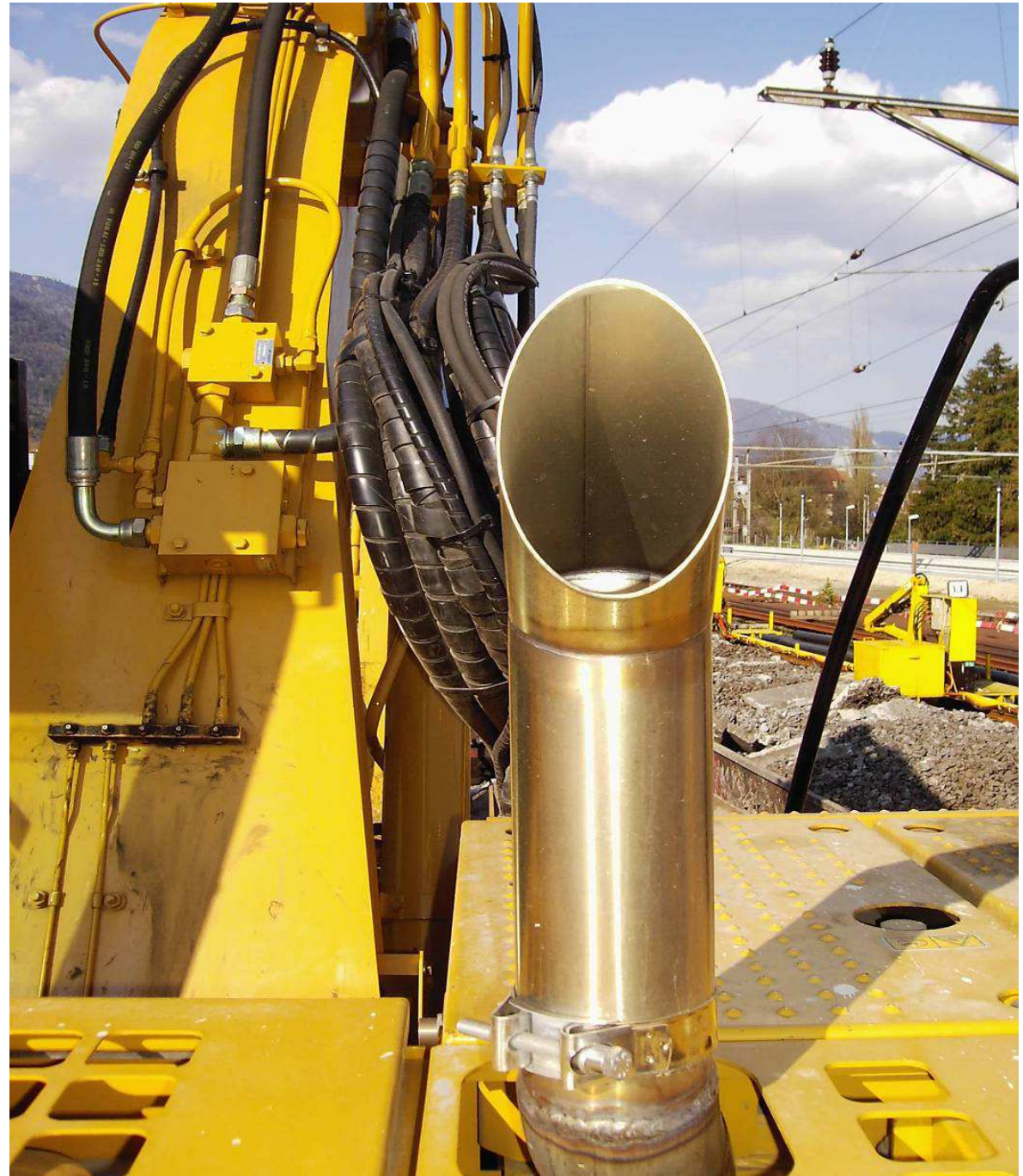
- nejvíce technicky náročný z hlediska emisí**
- nejvyšší míra expozice (blízkost, počet lidí)**



**Spalovací motory
produkují velmi
malé a zdraví
nebezpečné
částice, a to v těsné
blízkosti lidí.**

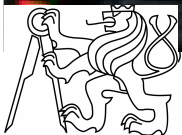
**Technická řešení
dostupná jsou,
ale nevyužíváme je
v dostatečné míře,
a samotná nestačí.**

**Má-li být zlepšení
ovzduší dosaženo,
rozhodování musí
být kvalifikované
a podložené fakty.**



Proč nás zajímají částice?

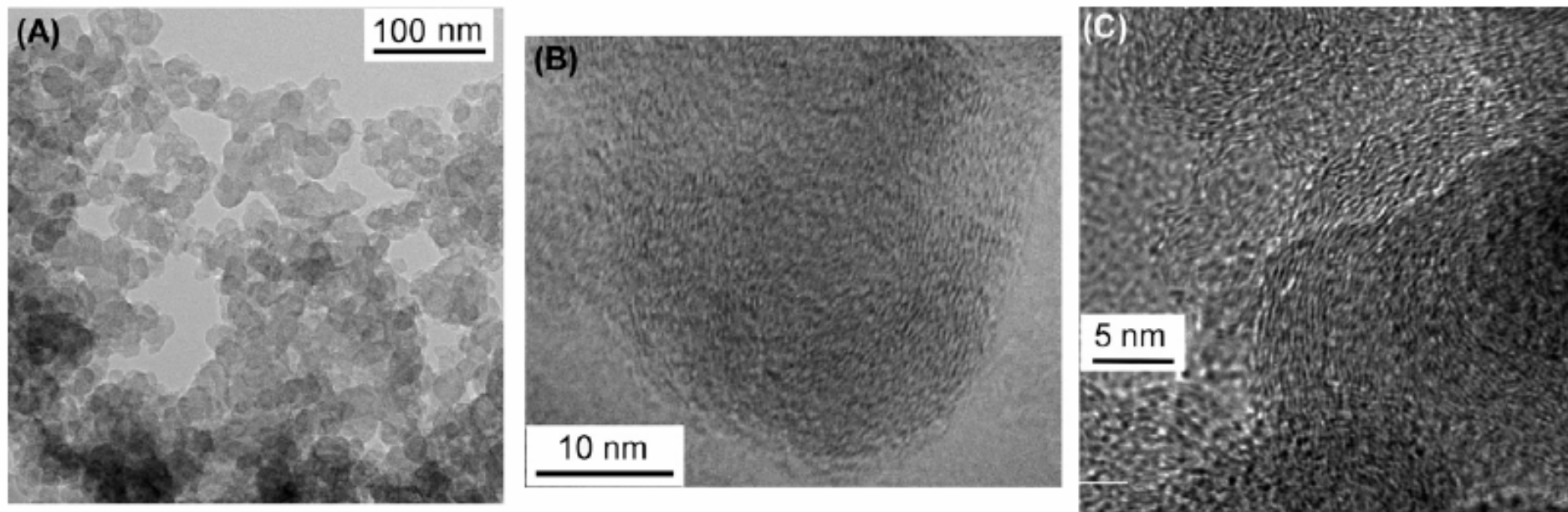
**Částice a ozon v přízemních
vrstvách atmosféry jsou příčinou
cca 406 tisíc předčasných úmrtí
v EU ročně
(dopravní nehody „jen“ 39 tisíc)**



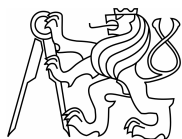
Spalovací motory – hlavní zdroj nanočástic

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.

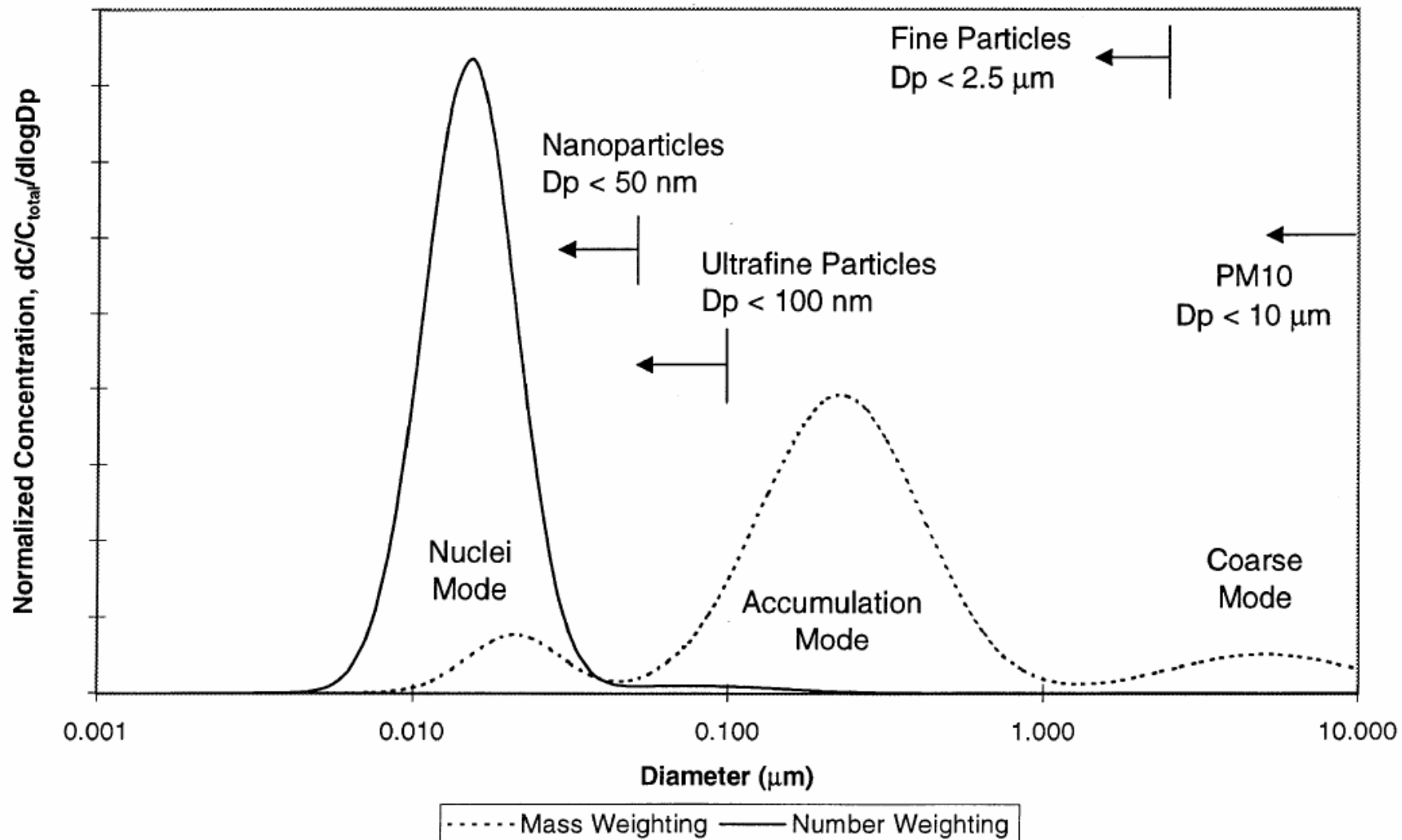


Liati A., Dimopoulos P.E., *Combustion and Flame* 157 (2010) 1658–1670.



Spalovací motory – hlavní zdroj nanočástic

Typické velikostní spektrum částic - vznětové motory



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



Spalovací motory – hlavní zdroj nanočástic

Fractional Deposition of Inhaled Particles (Oberdörster)

Zachycovací účinnost dýchacího systému

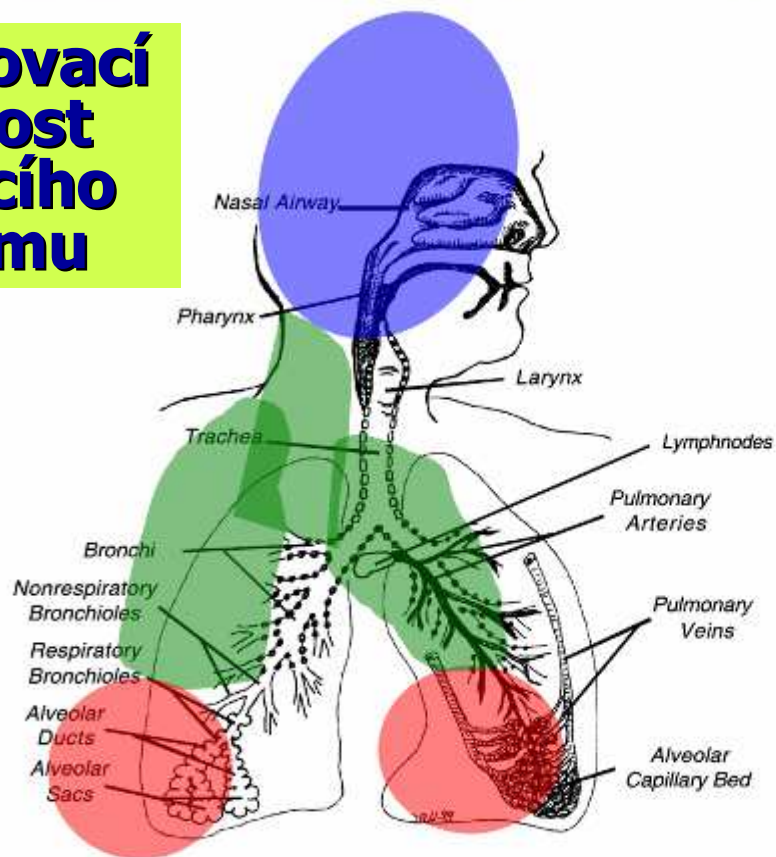
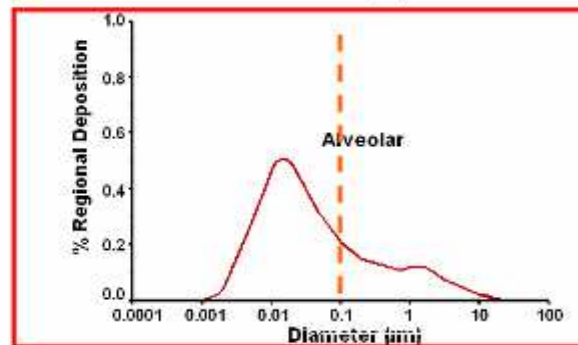
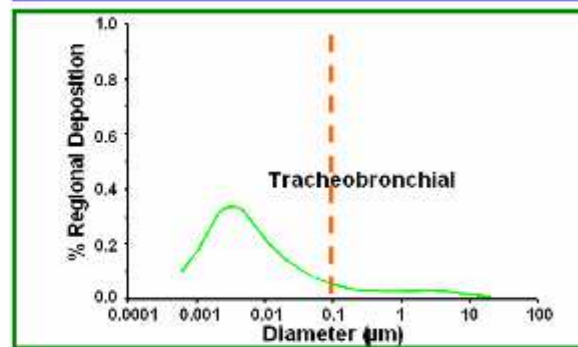
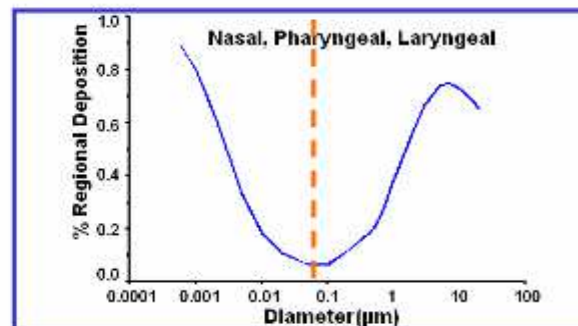


Figure courtesy of J.Harkema

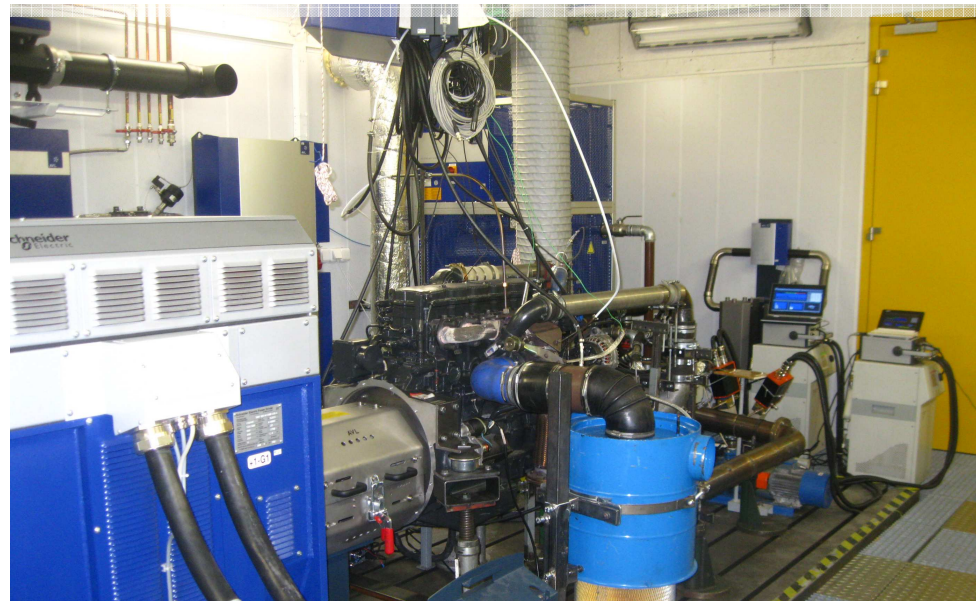


A. Mayer, 12th ETH Conference on Combustion Generated Nanoparticles, Zurich, 2008



S čím si hrajeme v naší laboratoři

Online měření částic
VTP Roztoky (ČVUT v Praze)



Vzorkování částic ve VTP Roztoky (nové laboratoře ČVUT v Praze)

**Benzinové a naftové automobily a motory,
klasická a alternativní paliva,
klasické i neregulované emise,
měření & vysokoobjemové vzorkování**



S čím si hrajeme v naší laboratoři

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

... měření nanočástic ve výfukových plynech a jejich vzorkování 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, ...)



S čím si hrajeme v naší laboratoři

Měření emisí za reálného provozu – projekt MEDETOX

... měření nanočástic ve výfukových plynech a jejich vzorkování pro toxikologické analýzy



Rychlý klasifikátor
částic (EEPS)

Přenosný systém – PEMS
CO, CO₂, NO, NO₂,
částice

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



S čím si hrajeme v naší laboratoři

**Měření autobusu za provozu
(s tímto přívěsem měří Centrum dopravního výzkumu)**



Měření emisí za reálného provozu pomocí přenosných zařízení

Konstrukce autora



První funkční zařízení
Pittsburgh, USA, 1996-1999



První komerčně prodávané
zařízení - OEM-2100
vyráběné 1999-2002



Foto: Měření na Pennsylvania
State University, USA, 2001-2003



Měření emisí za reálného provozu pomocí přenosných zařízení

Konstrukce autora



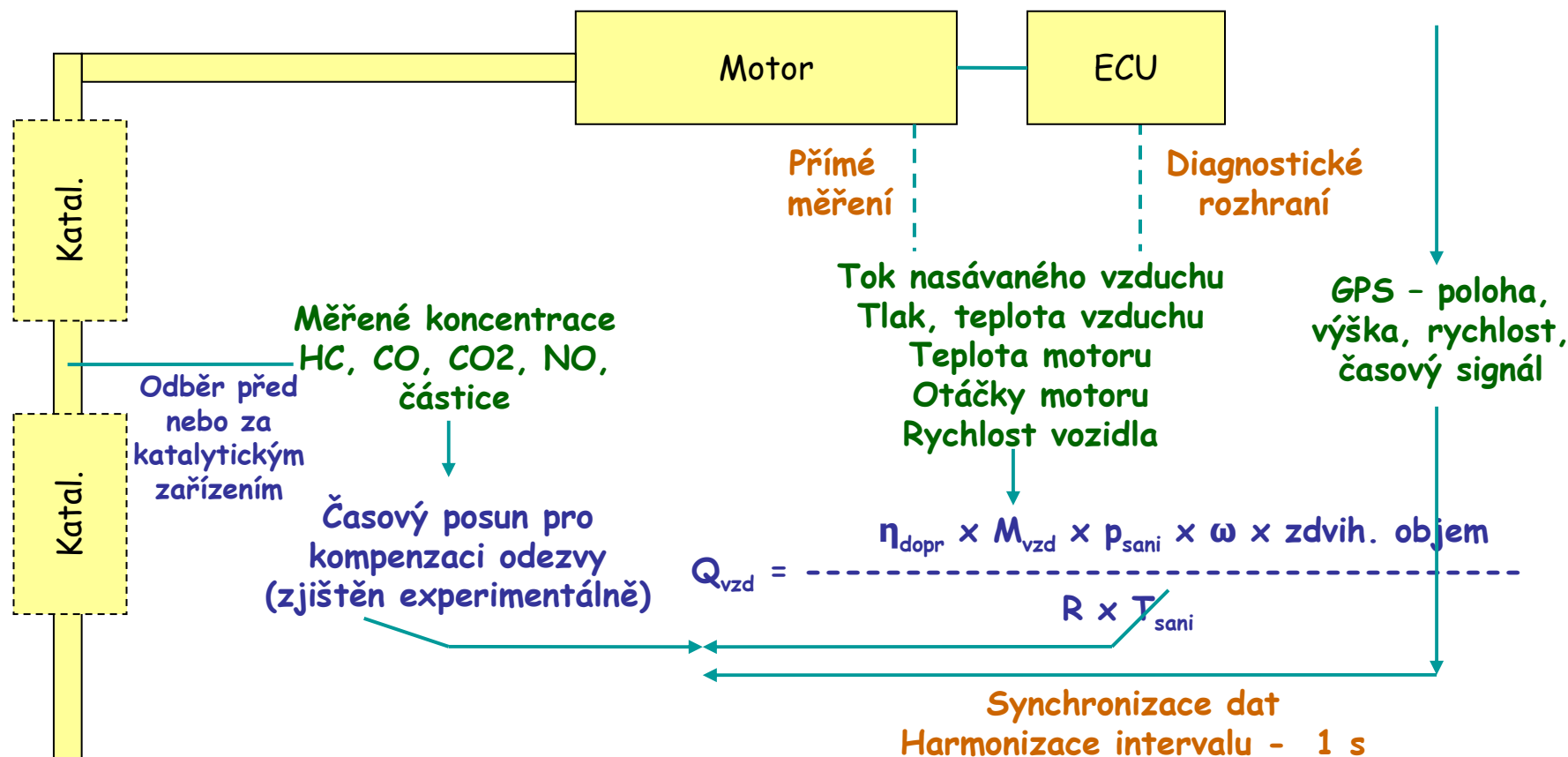
Komerčně prodávané
zařízení
Montana system
vyráběný 2002-2005



Mobilní spektrometr
FTIR
prototyp, 2004-2006



Koncept přenosné palubní aparatury - výpočet emisí



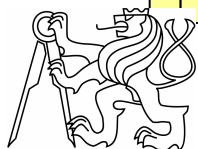
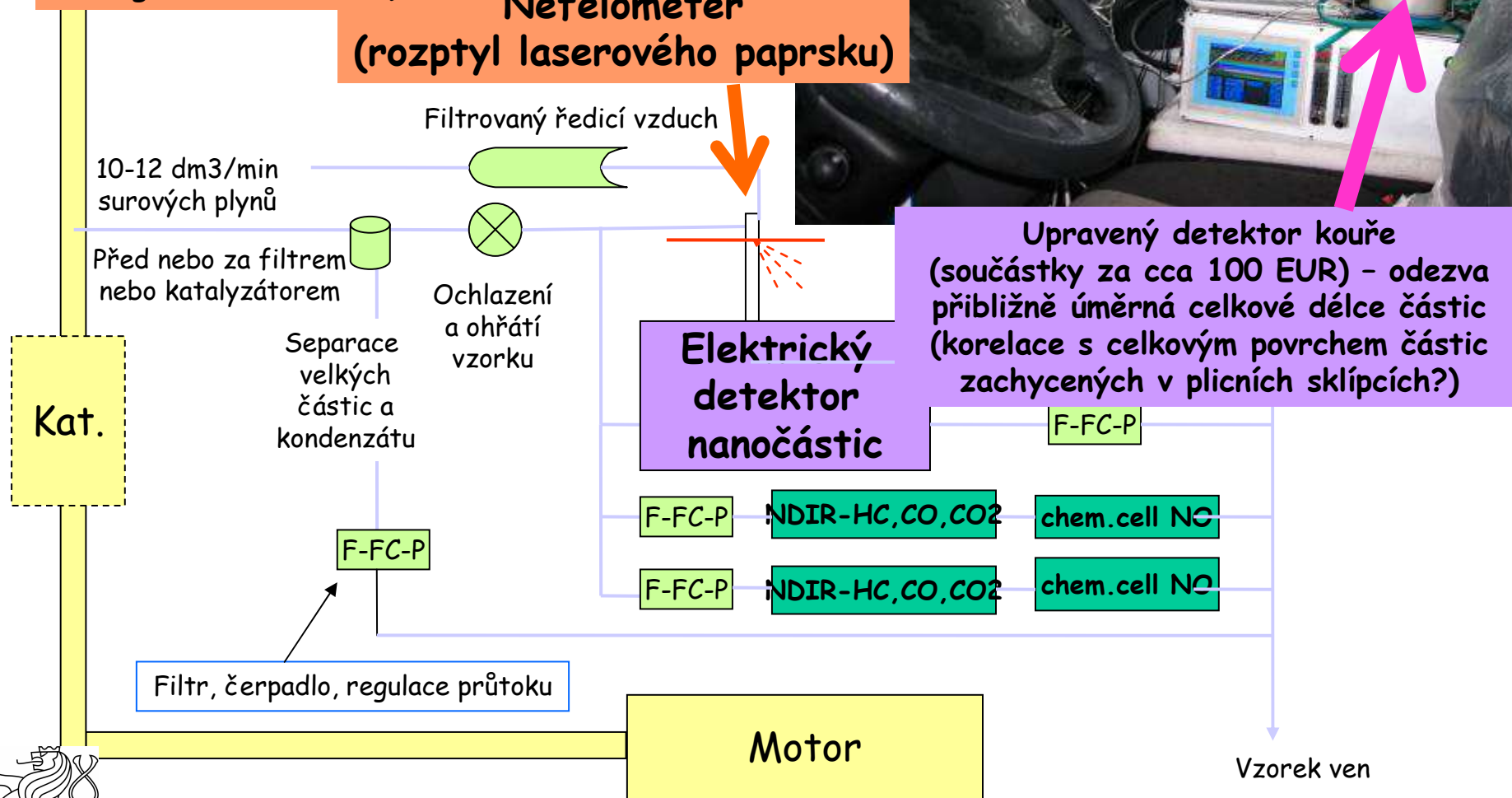
1. Výpočet toku výfukových plynů
(tok nasávaného vzduchu, složení vzduchu, paliva, emisí)
 2. Hmotnostní tok emisí = const. x koncentrace x tok výf. plynů
 3. Spotřeba paliva = emise uhlíku (PM, HC, CO, CO₂) / podíl uhlíku v palivu
- Integrace: Emise na test, km, kg paliva
- Záznam všech dat po 1 s**



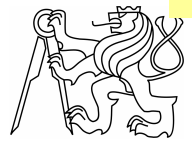
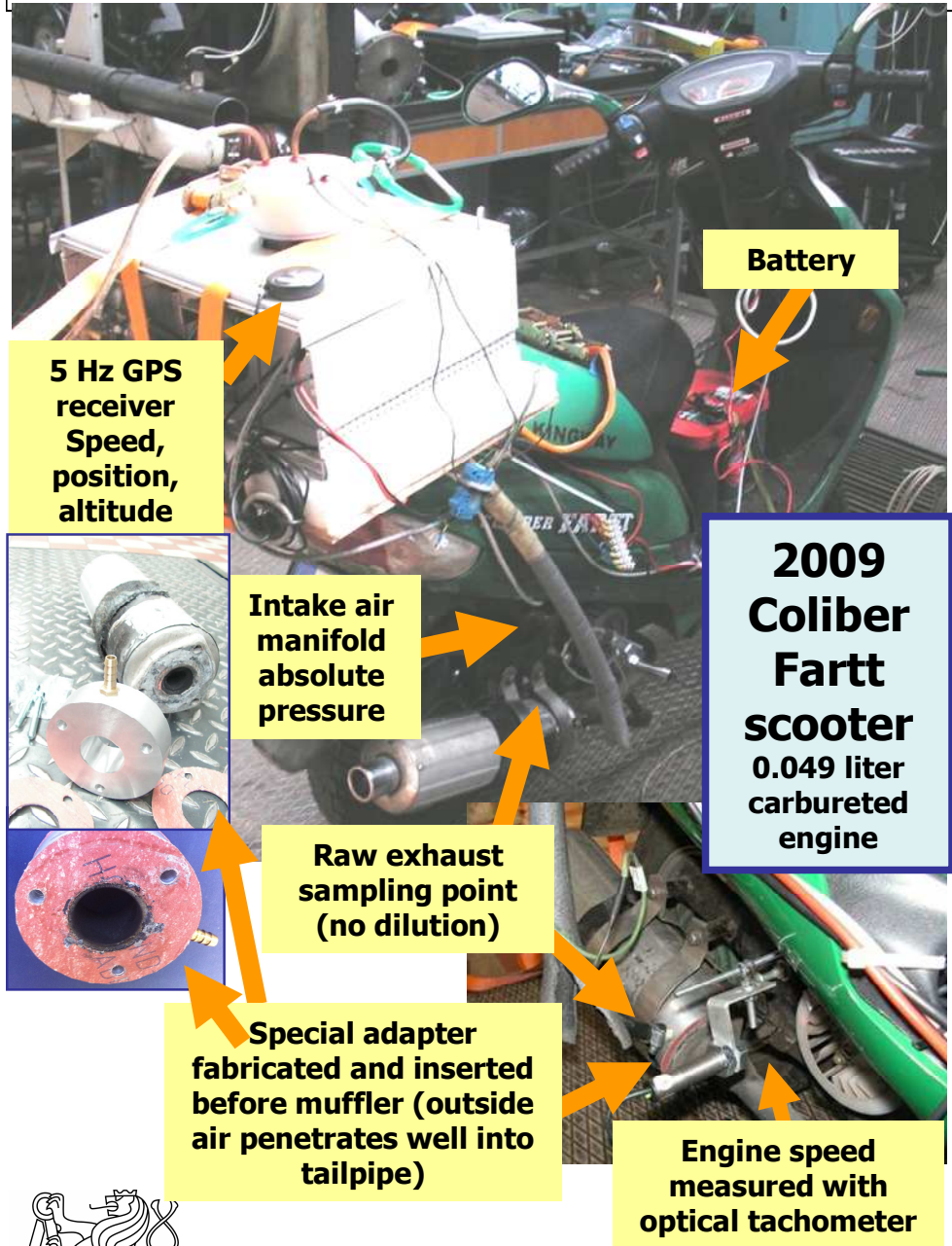
Palubní měřicí zařízení

Odezva přibližně úměrná hmotnostní koncentraci částic
(představte si laserové ukazovátko namířené do cigaretového kouře)

**Nefelometer
(rozptyl laserového paprsku)**



On-board system versatility: Motorcycle to locomotive



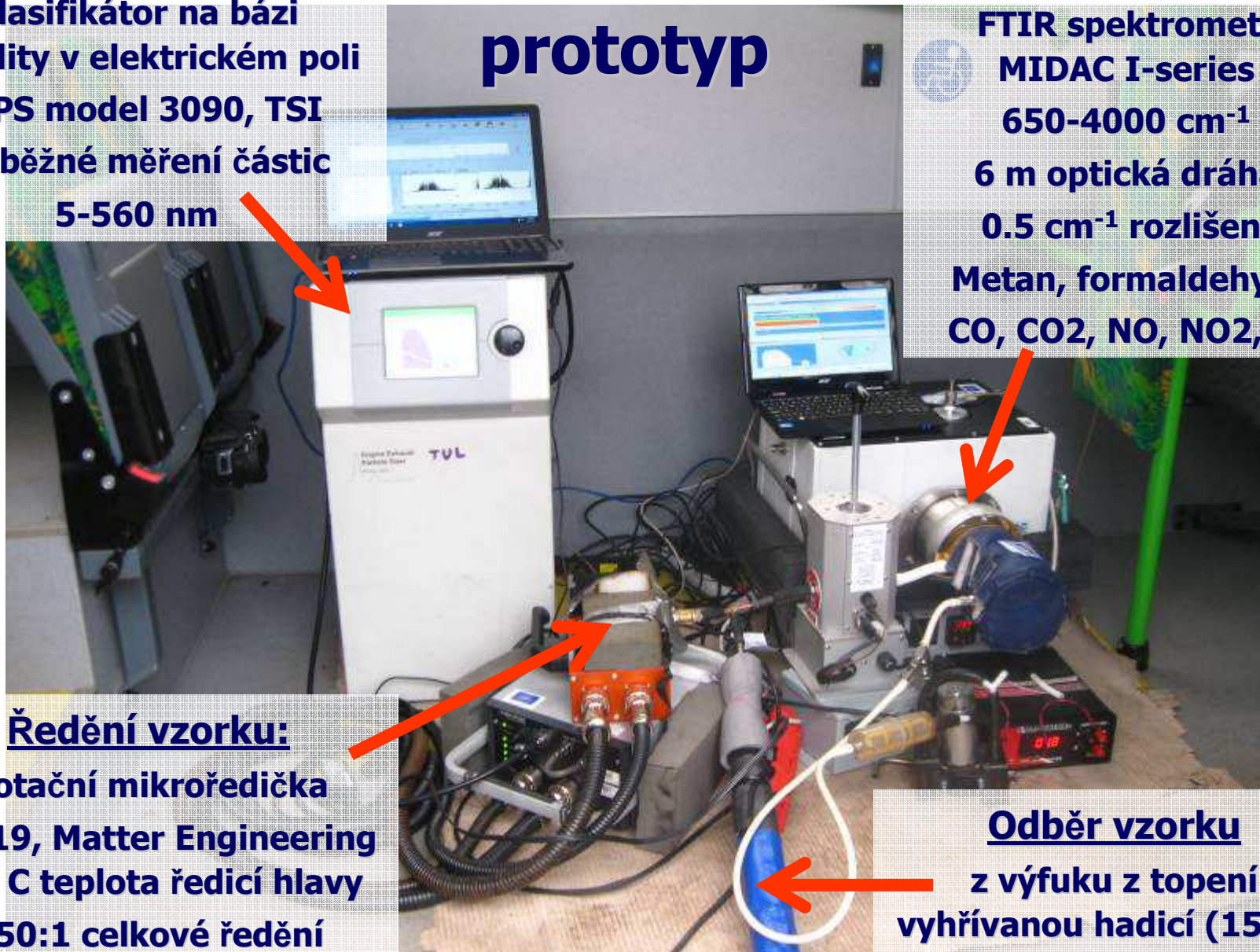
MEDETOX prototyp

Koncentrace částic:

Klasifikátor na bázi mobility v elektrickém poli
EEPS model 3090, TSI
průběžné měření částic
5-560 nm

Plynné emise:

FTIR spektrometr
MIDAC I-series
650-4000 cm^{-1}
6 m optická dráha
0.5 cm^{-1} rozlišení
Metan, formaldehyd,
CO, CO₂, NO, NO₂, ...

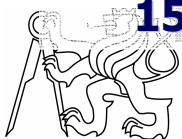


Ředění vzorku:

Rotační mikroředička
MD-19, Matter Engineering
150 C teplota ředicí hlavy
150:1 celkové ředění

Odběr vzorku

z výfuku z topení
vyhřívánou hadicí (150 C)



S čím si hrajeme v naší laboratoři

**Měření autobusu za provozu – projekt MEDETOX
Přenosný FTIR analyzátor – online měření mnoha plyných látek**



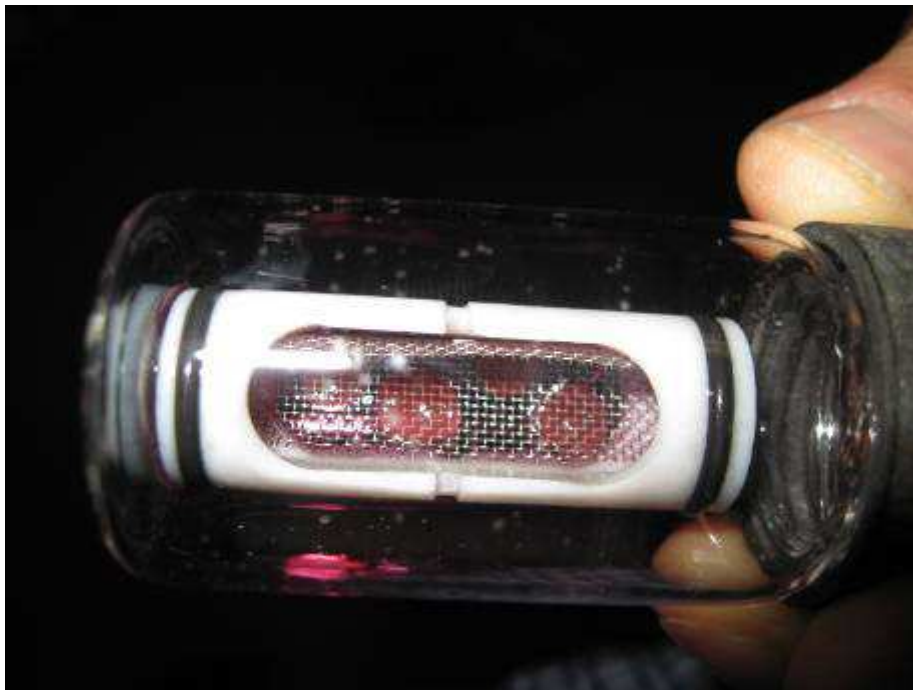
Toxikologické zkoušky - vzorkování částic vysokoobjemovými vzorkovači s následnou extrakcí částic nebo organických látek a in-vitro studii

Spolupráce autora s Ústavem experimentální medicíny AV ČR



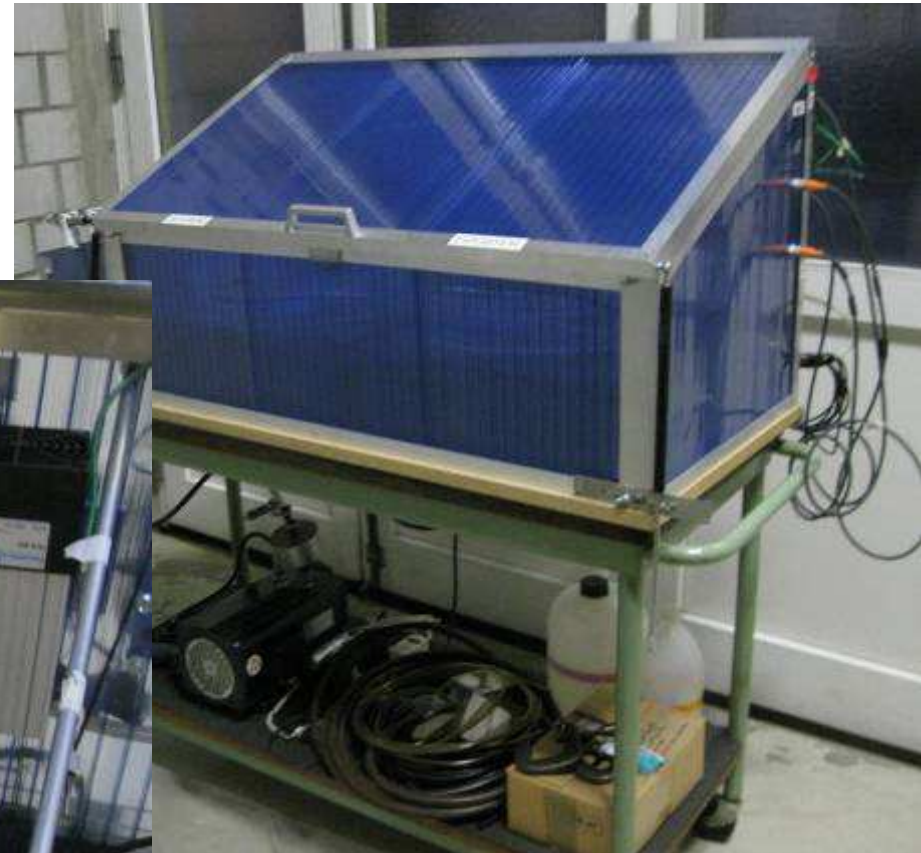
Toxikologické zkoušky - vystavení řezů plic potkanů výfukovým plynům

Prof. Jean-Paul Morin, Université de Rouen, Francie



Toxikologické zkoušky - vystavení buněčných kultur výfukovým plynům

Prof. Barbara Rothen, Universitě de Fribourg, Švýcarsko



Portable proportional sampling

Diluted sample flow through filter is constant (20-50 dm³/min).

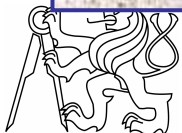
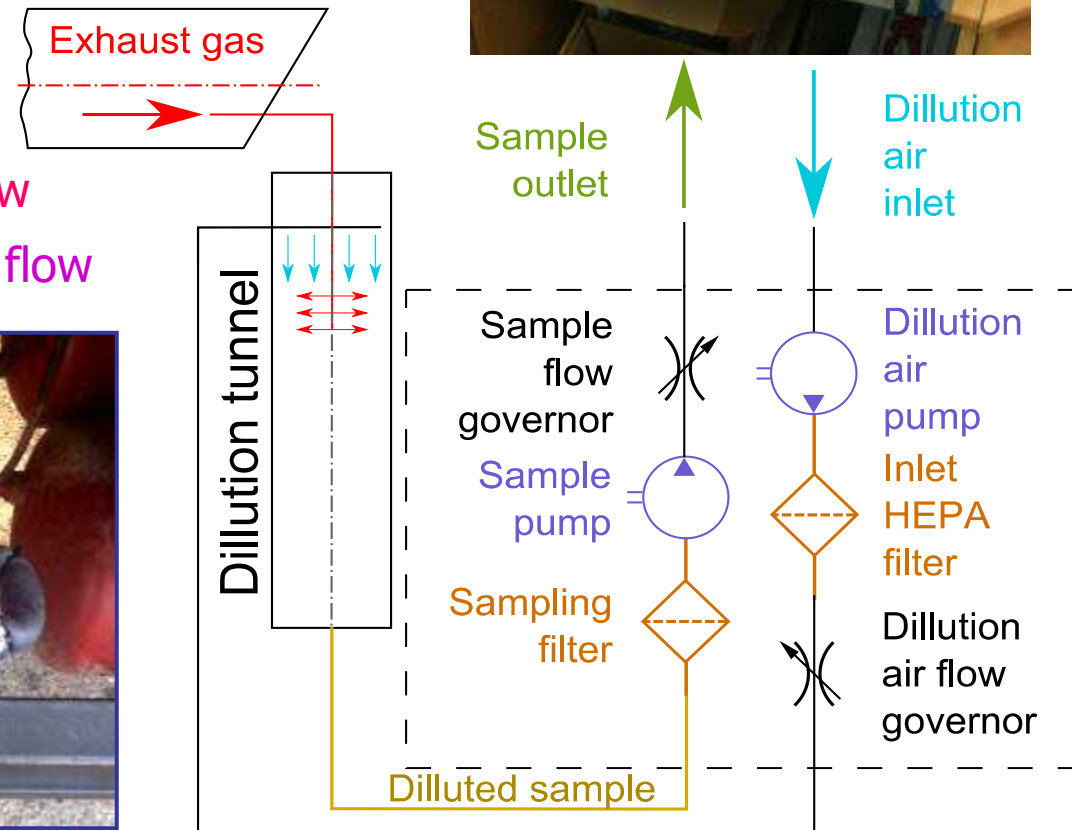
Dilution air flow is regulated so that raw exhaust flow into microdilution tunnel is proportional to the total exhaust flow.

HEPA filtered air is metered into microdilution tunnel near sampling point.

Raw exhaust flow =

= total sample flow – dilution air flow

Exhaust flow ~ measured intake air flow



A co malé motory? Třeba sekačky? Měření emisí částic malých motorů

Benzinové motory také produkují částice
Malé motory – levné, jednoduché technologie
- těsná blízkost operátora
- neexistující emisní limity pro částice



Spálením 1 litru benzínu v malém motoru vznikne stejně částic jako spálením stovek až tisíců litrů nafty v Euro 6 autobusu.



Škola hrou: Studentský projekt TU v Liberci n-butanol a isobutanol jako alternativní paliva



Sériově vyráběný benzinový motor provozovaný na E85, butanol, isobutanol, ...



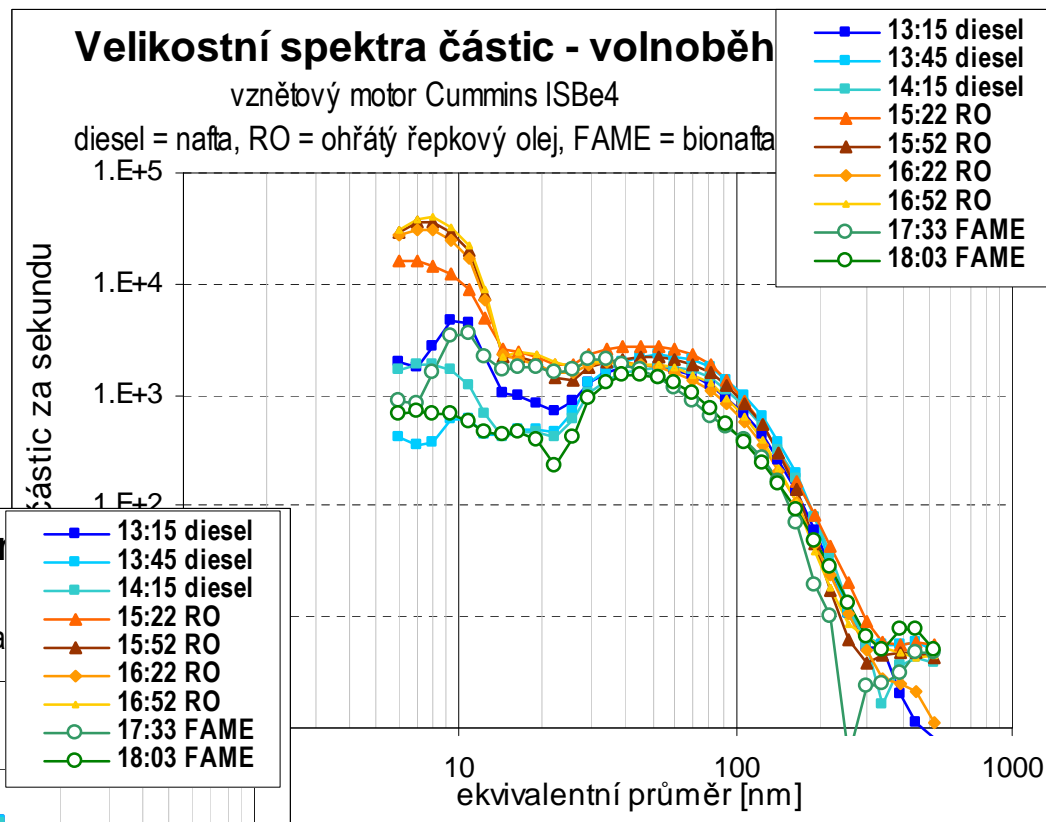
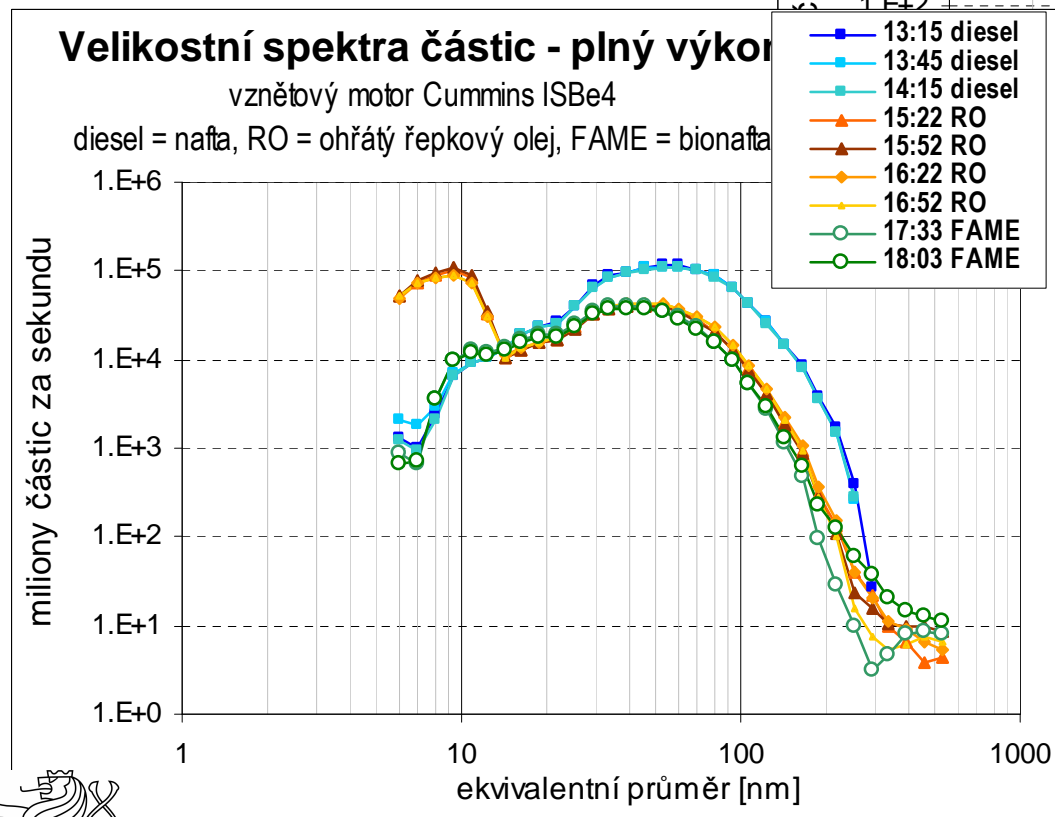
**Dopady nových paliv na emise, ovzduší, zdraví:
FTIR měří formaldehyd, acetaldehyd, CH₄, N₂O, NH₃, NO, NO₂, CO, CO₂...**



Velikostní spektra částic

Motor Cummins ISBe4
Nafta, bionafta,
Rostlinný olej

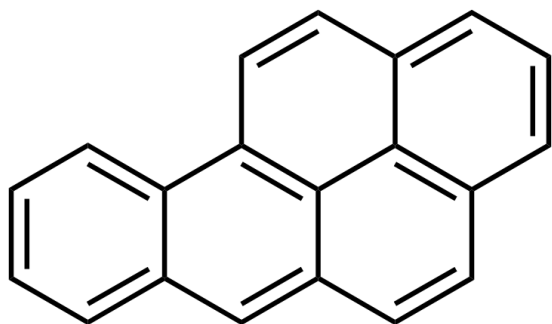
Vojtíšek a kol., SAE 2011-24-0104



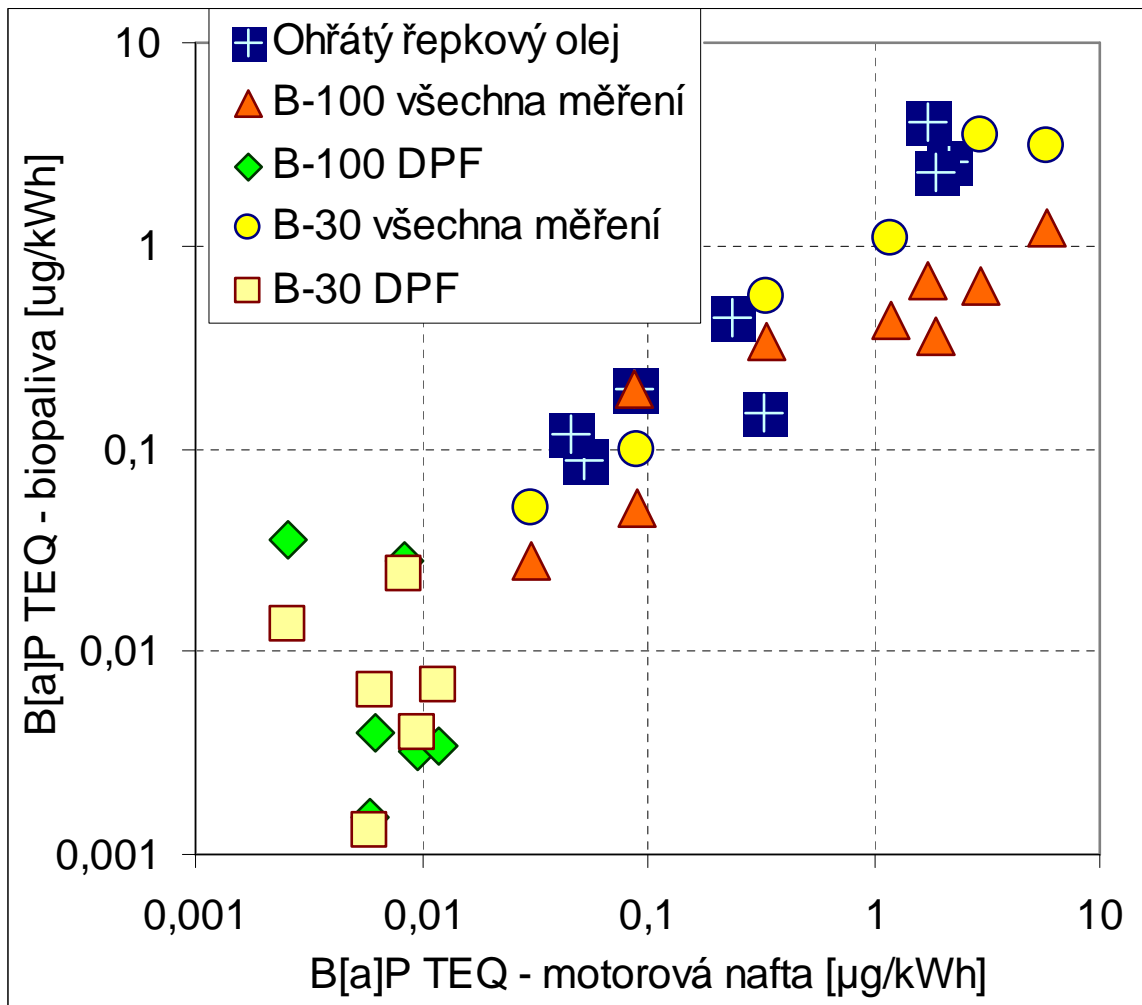
Emise PAU při provozu na biopaliva vzhledem k motorové naftě

B-30 (směsná nafta), B-100 (bionafta), řepkový olej
4 motory, 2 laboratoře motorů, 3 analytické laboratoře
Vojtíšek a kol., Atmospheric Environment, 2012

Střední hodnoty
toxického ekvivalentu
(TEQ) benzo(a)pyrenu
(BaP).

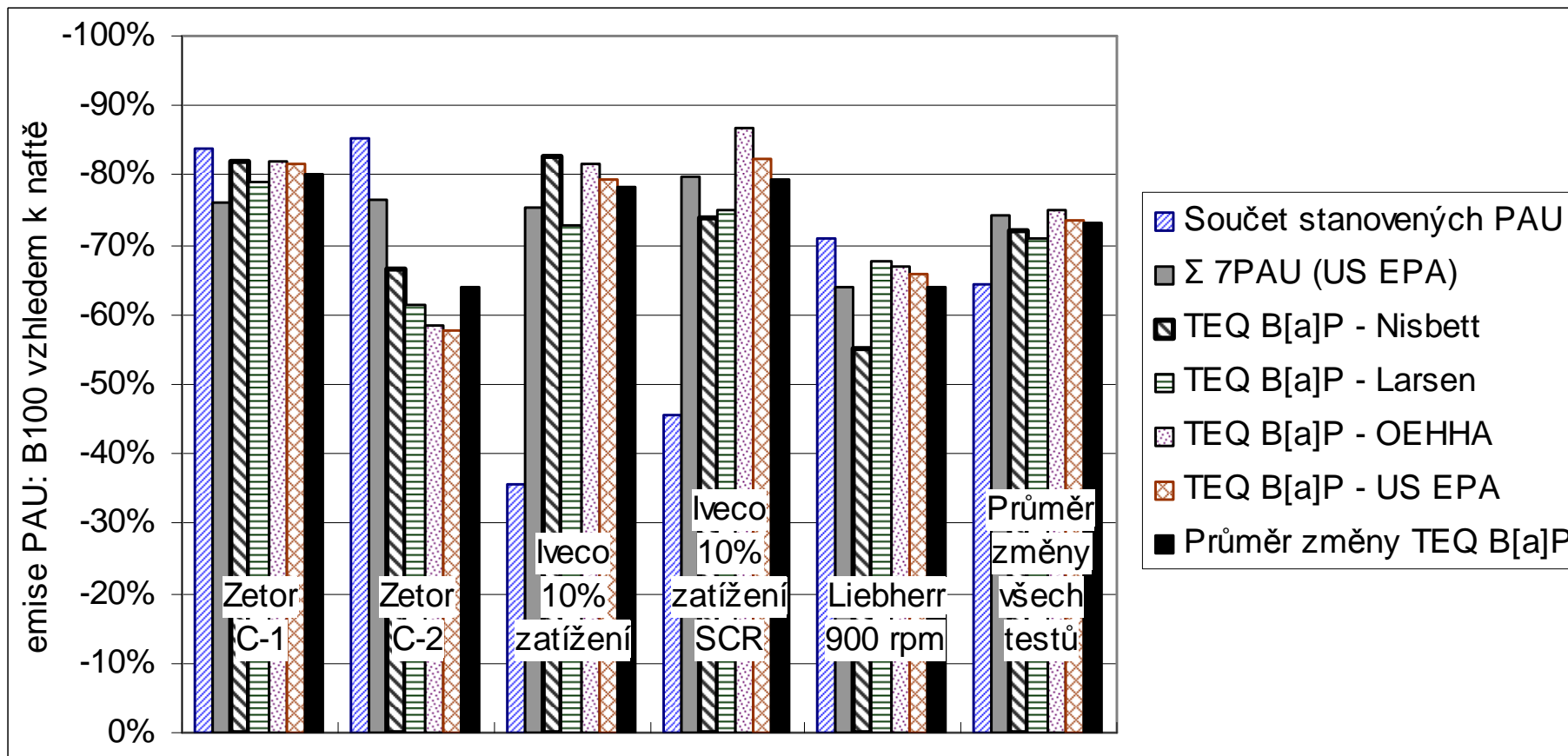


benzo(a)pyren (BaP).



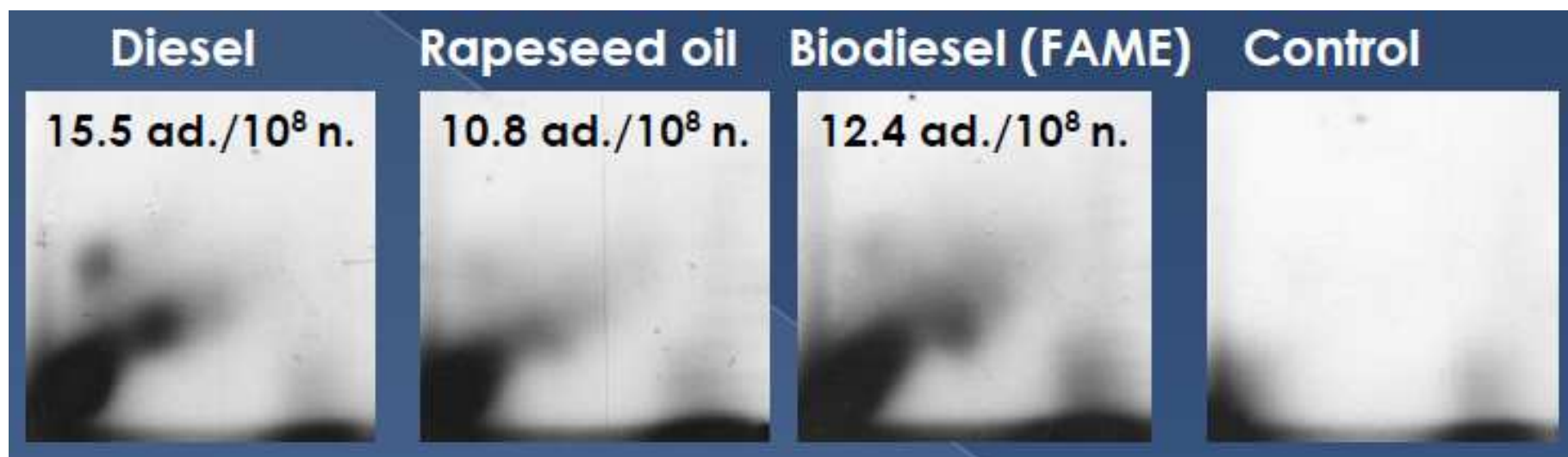
Emise PAU při provozu na B-100 vzhledem k motorové naftě

4 motory (2 i s DPF), 2 laboratoře motorů, 3 analytické laboratoře
Vojtíšek a kol., Atmospheric Environment, 2012



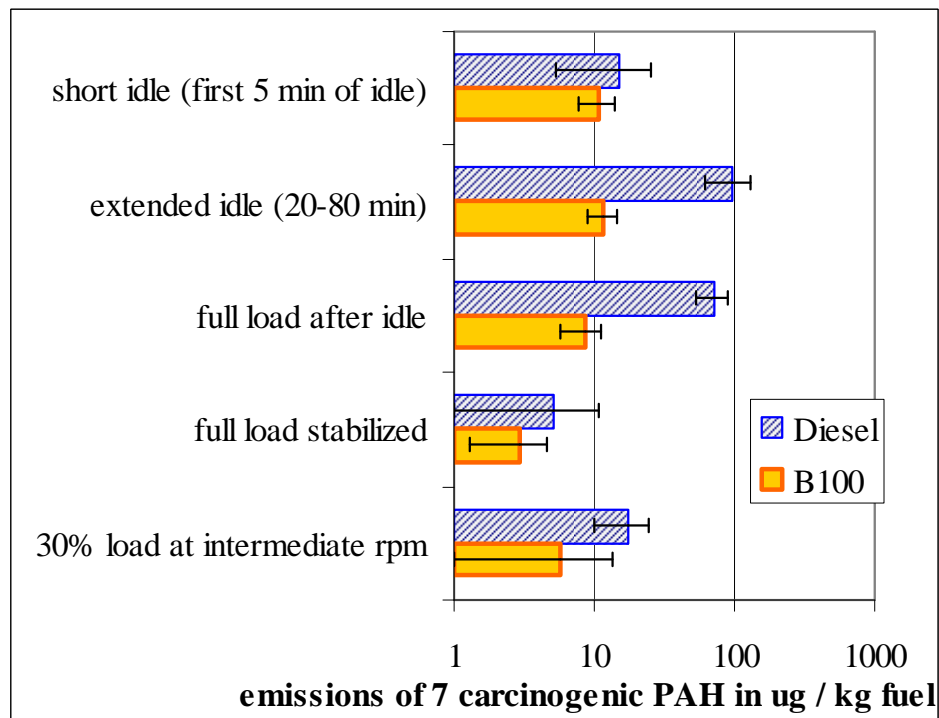
DNA adukty - vliv částic z nafty a biopaliv na DNA

Topinka a kol., Toxicology letters, 2012

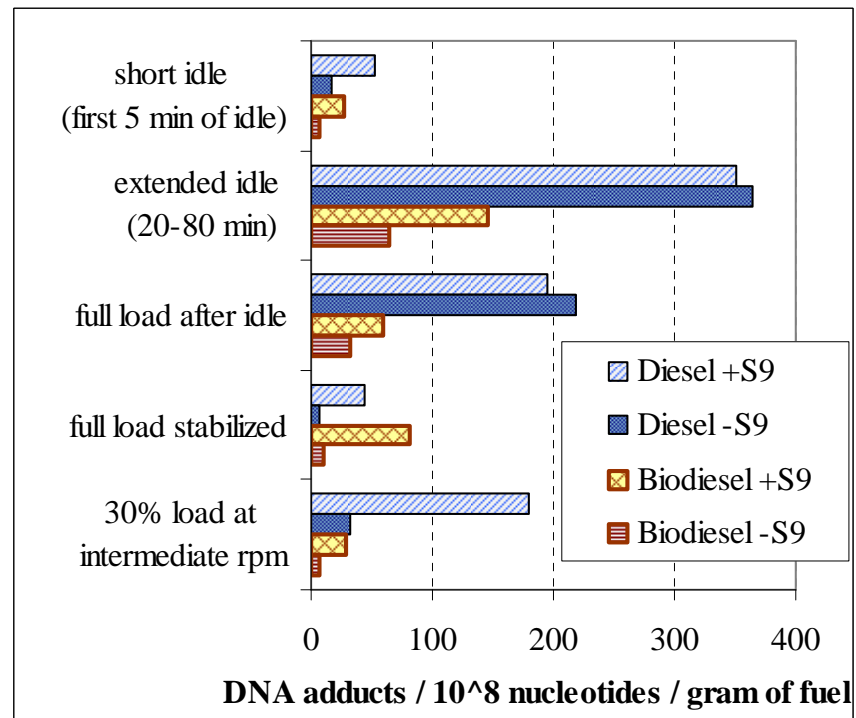


Emise PAU a DNA adukty při dlouhém provozu naftového motoru na volnoběh

Vojtíšek a kol., Atmospheric Environment, 2015



cPAH



Genotoxicity



Projekt MEDETOX (LIFE10 ENV/CZ/651)

Aktivity:

1. Řízení projektu
2. Monitorování projektu
3. Optimalizace měření a vzorkování za provozu, stavba prototypu
4. Optimalizace toxikologických analýz
5. Validace (3) a (4)
6. Sledování dopadu reálných jízdních podmínek
7. Sledování dopadu biopaliv
8. Audit
9. Spolupráce (networking)
10. Rozsévání výsledků (disseminace)
11. After-LIFE plan (co dál)



Zkušenosti s LIFE

Vhodné pro „unikátní“ projekty nespádající do jiných programů

Očekáváno přímé zlepšení stavu životního prostředí

Problematické otázky

- zařazení projektu do CEP
- režim DPH
- národní kofinancování (tak jako FP7 z MŠMT)
- administrativa a formální požadavky nejsou sjednoceny s dalšími EU programy
- podpora ze strany státní správy / legislativních orgánů



Zpětná vazba - odezvy

Velmi dobrá odezva & spolupráce s EK

Velmi dobrá odezva od občanů a odborníků

Malý zájem českých zákonodárců

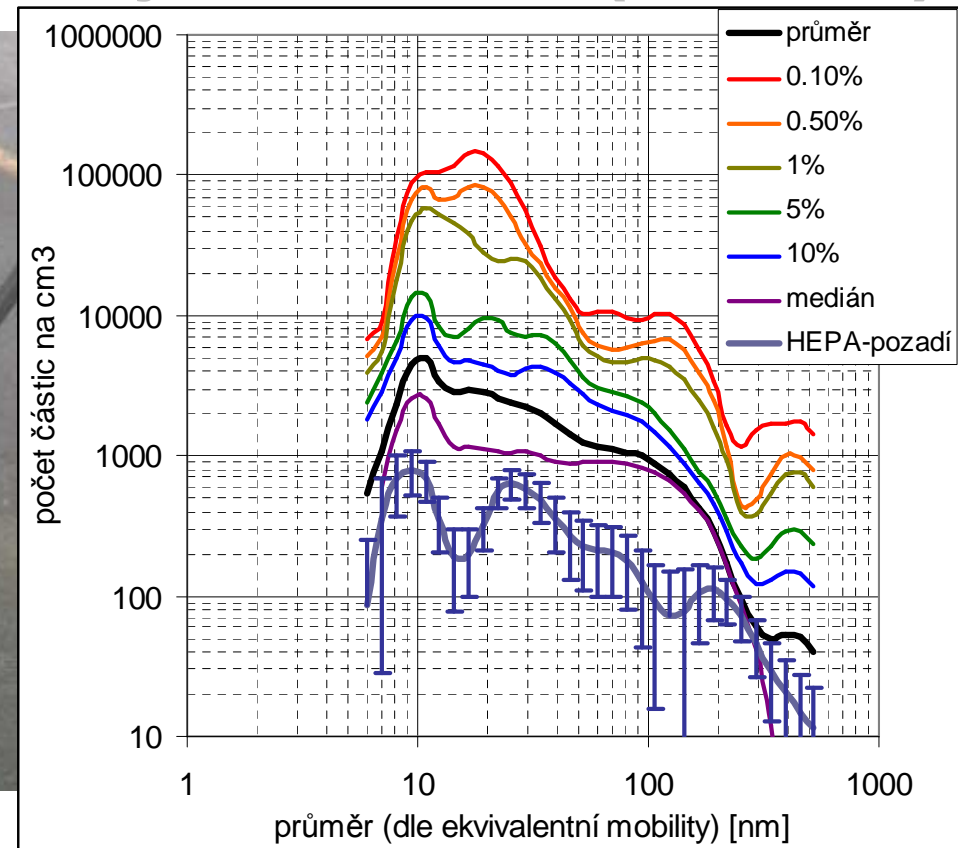
Šli bychom do toho znova?

Ano, připravujeme návrhy (malé motory, lokální topeniště, nanočástice ve městech)

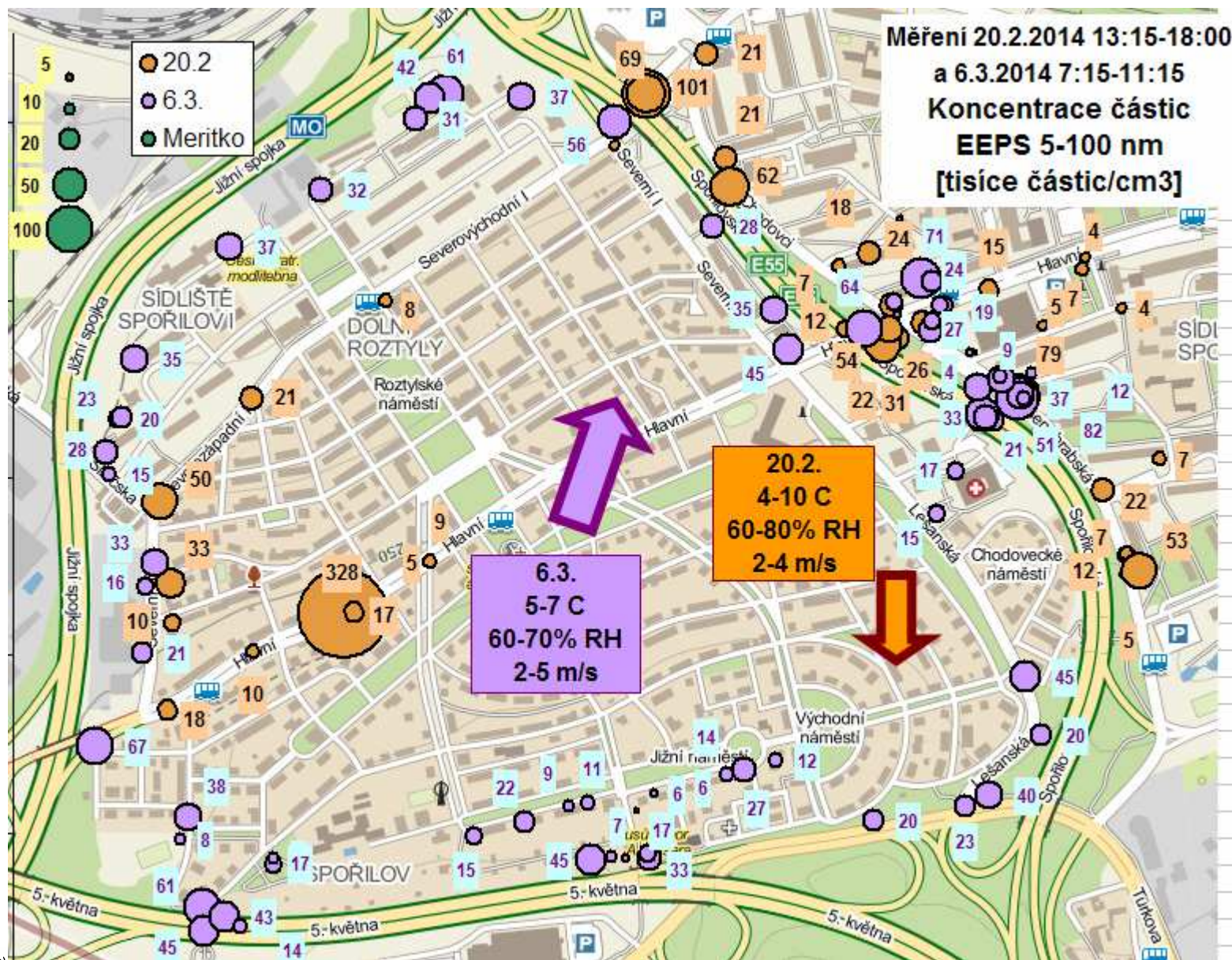




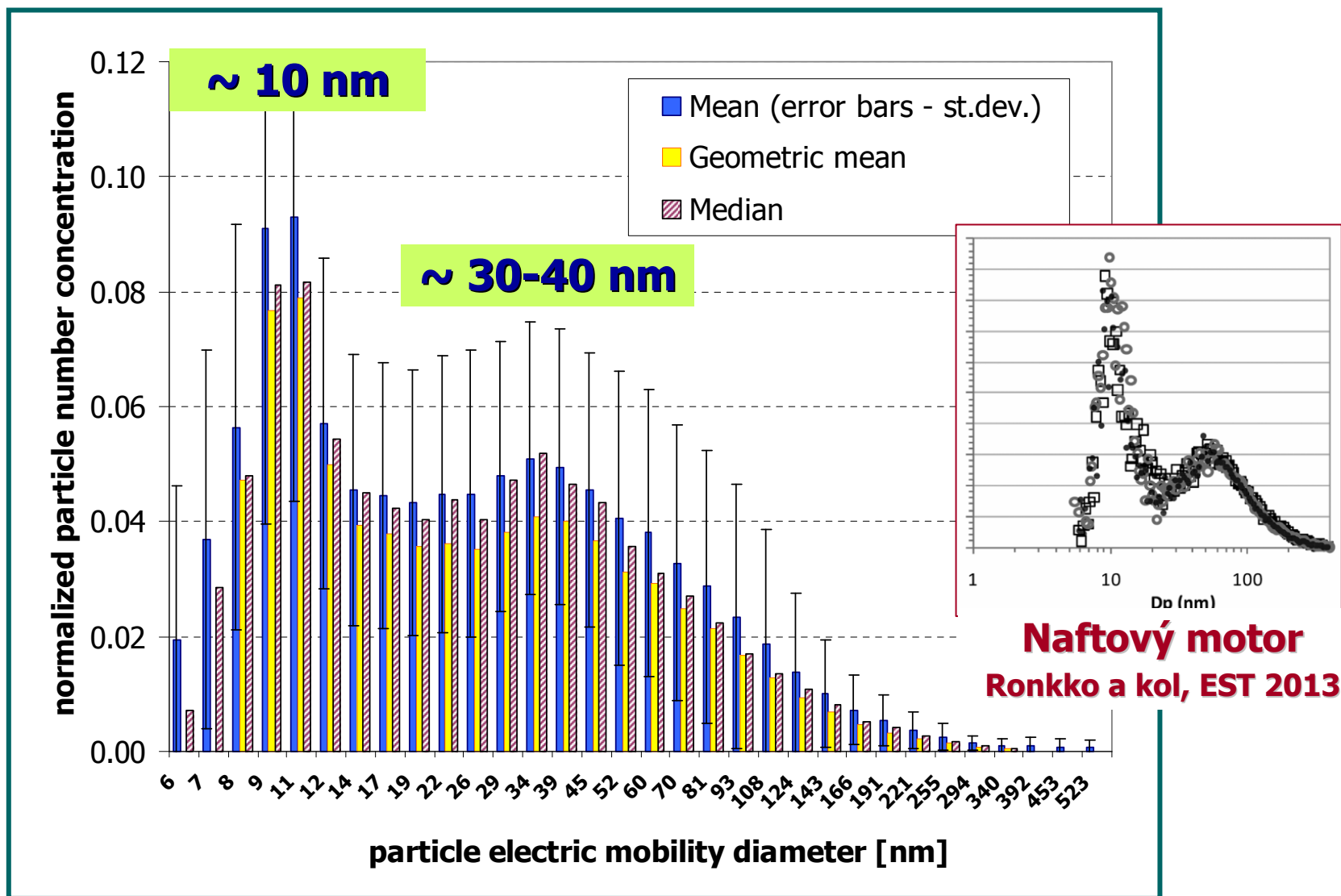
Spořilov – nanočástice v ovzduší
 $\sim 10^4$ částic/cm³ klidná část Spořilova
 $\sim 10^5$ #/cm³ podél Spořilovské
 10^5 - 10^6 + #/cm³ exponované křižovatky
 10^4 - 10^7 #/cm³ vně vozidla
 (jízda Liberec-výjezd z Prahy po D1)
90-95% jsou nanočástice (do 100 nm)



Spořilov – koncentrace nanočástic 20.2. a 6.3.



Velikostní spektrum částic v ovzduší u silnice Spořilov, únor 2014, průměr 40 lokalit



Vojtíšek a kol., NanoCon 2014



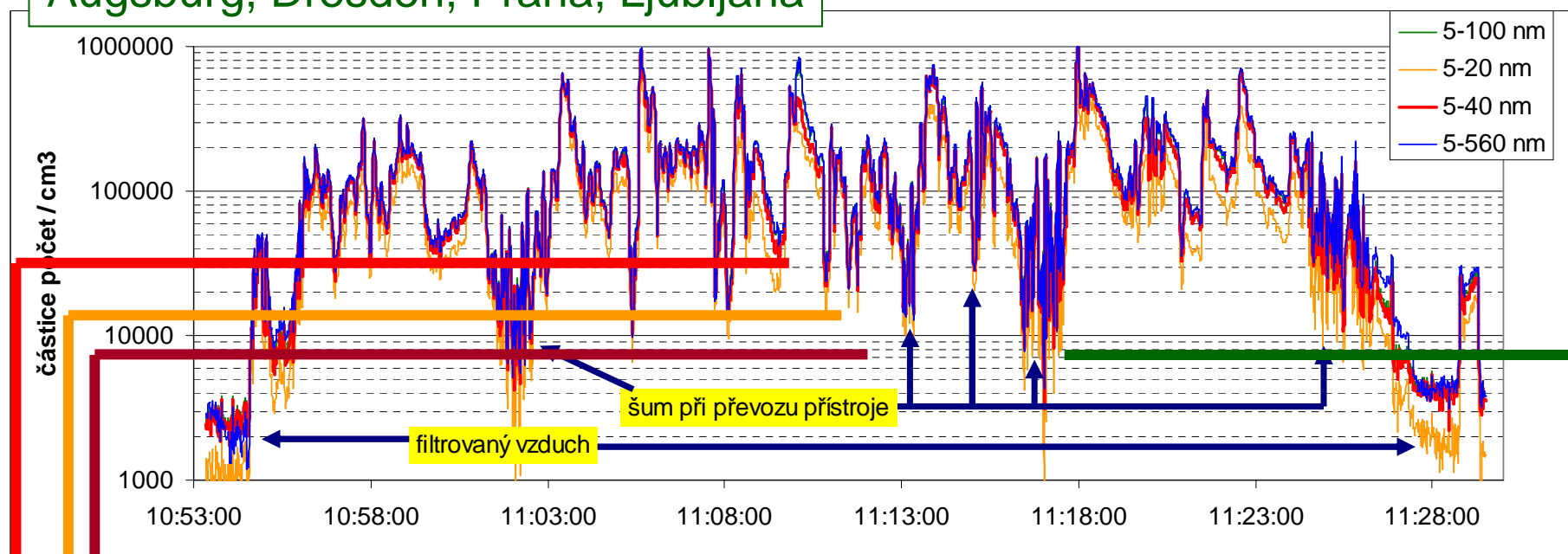
Spořilov – koncentrace nanočástic 26.3.

jižní strana pěší lávky přes 5. května

vs. Celkový počet částic, Řimnáčová a kol., Atmos. Environ. 2011

vs. UFIREG 2012 (7th Newsletter, zde rozdávaný)

6-7 tis. částic na cm^3 – průměr 2012
Augsburg, Dresden, Praha, Ljubljana



7 tis. částic na cm^3 – průměr 2008-2009 Praha-Suchdol

14 tis. částic na cm^3 – křižovatka Praha-Suchdol

20-40 tis. částic na cm^3 – Jižní Spojka – těsná blízkost



Kolik nanočástic vdechujeme ve škole a kolem ní?



Michal Vojtíšek*, Erik Zoubek, Eliška Hrnčiariková, Lukáš Kuneš, Jakub Sýkora,
Adam Černík, Šimon Peterka, Michal Vojtíšek, Eliška Víravová

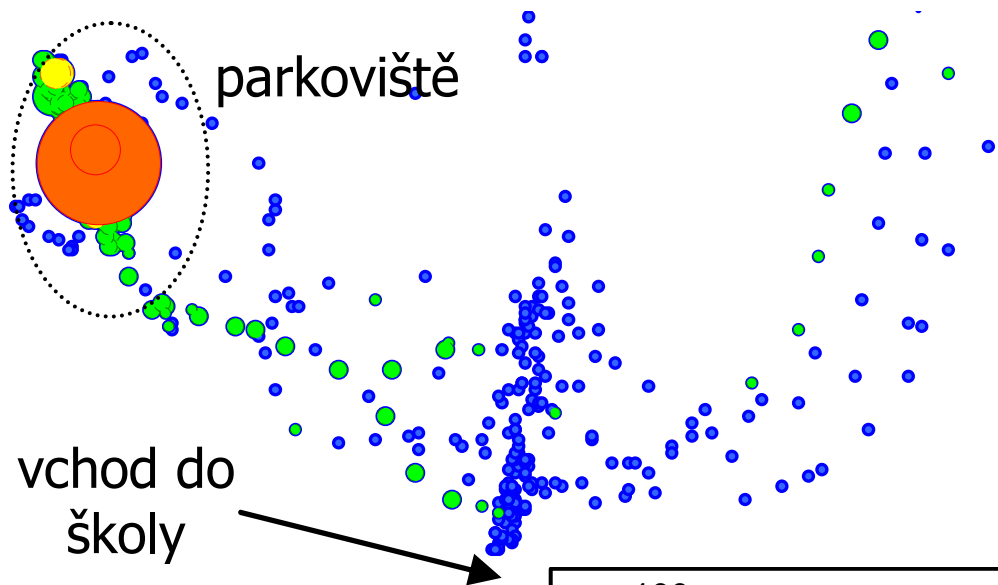
Základní škola Sion J. A. Komenského v Hradci Králové, Na Kotli 1201, 500 09 Hradec Králové

* Centrum vozidel udržitelné mobility, Fakulta strojní ČVUT v Praze, michal.vojtisek@fs.cvut.cz, tel. (+420) 774 262 854

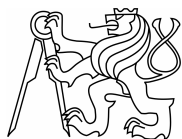
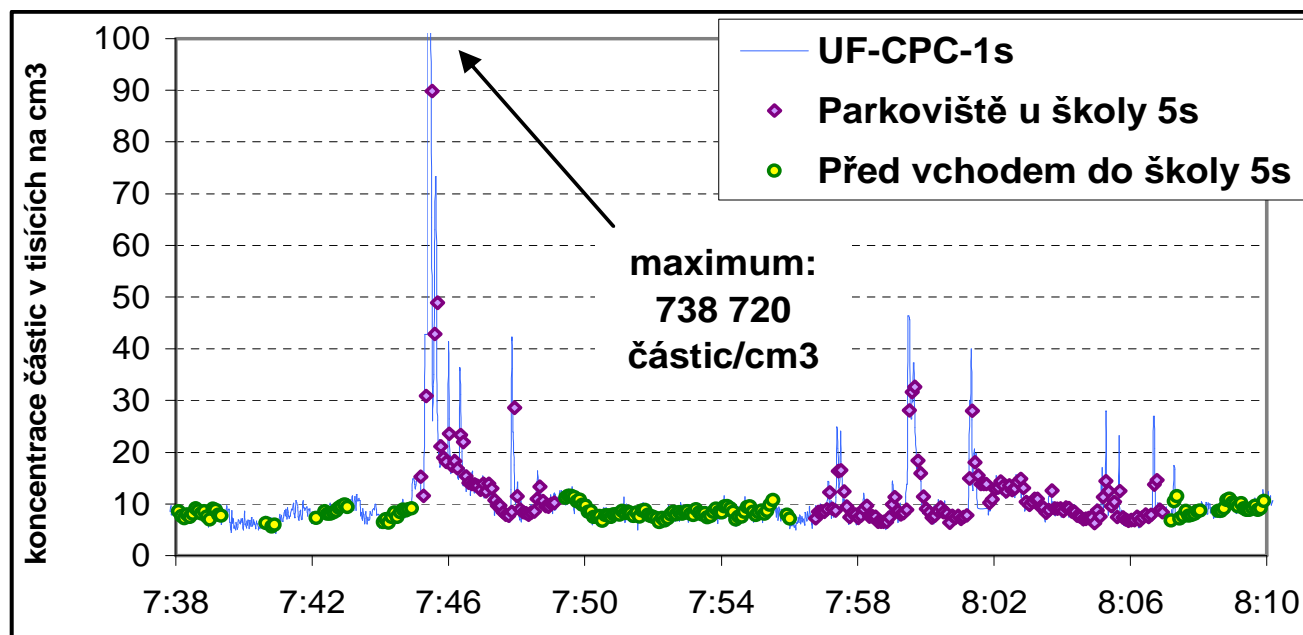
Den vědeckých pokusů na ZŠ SION J.A.Komenského, Hradec Králové, 23. ledna 2015

Prezentace výsledků – Ovzduší 2015, Brno, 20.-22.4.2015

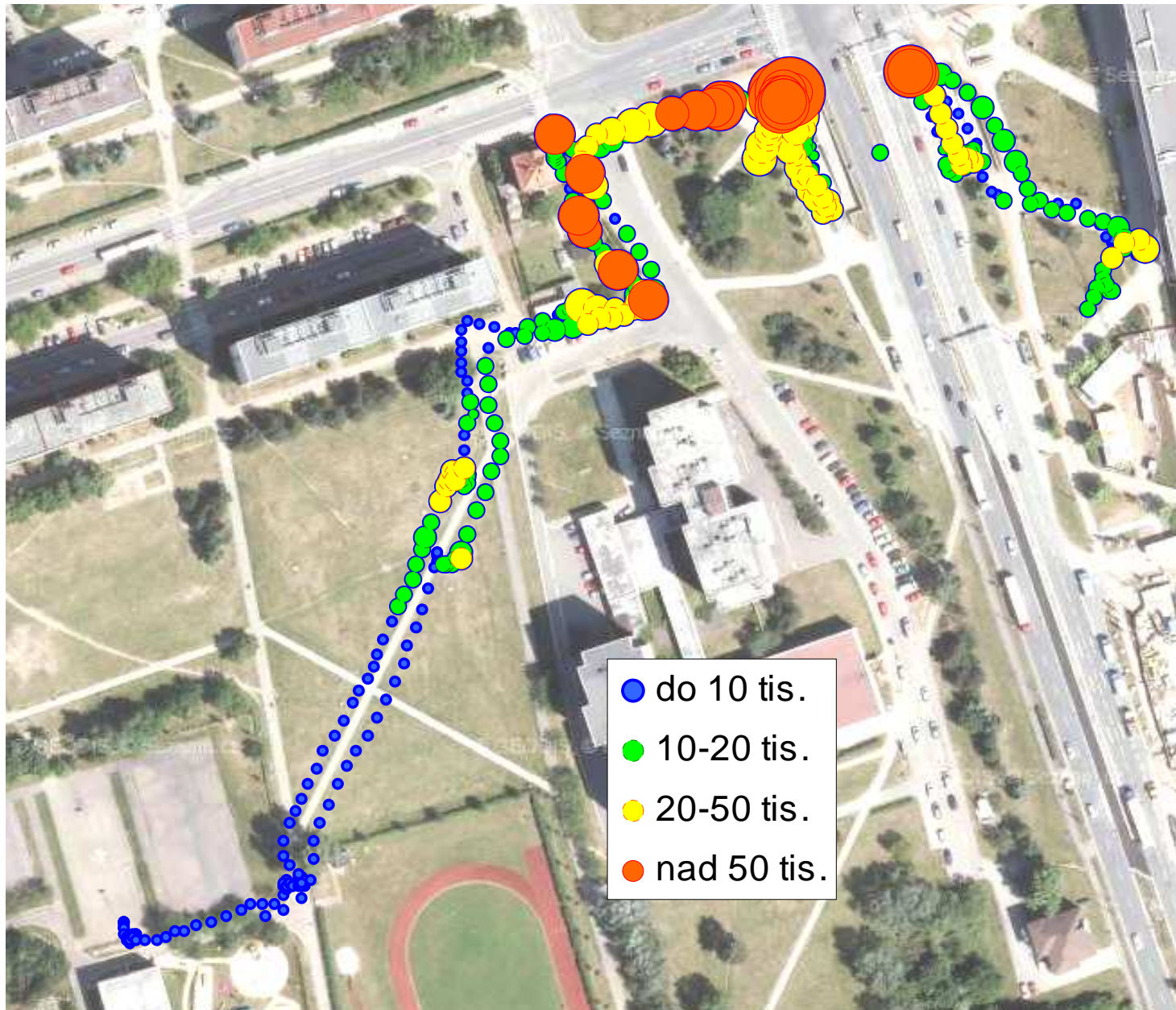
Nejhorší je parkoviště u školy!!!



**Nejhorší je parkoviště...
Ne všechna auta přispívají
stejně, zdaleka nejvíc
produkuje vozidla špatně
navržená či seřízená nebo ve
špatném technickém stavu!!!**



Exkurze k výpadovce Brněnská



Výfukové emise částic nadměrně zvyšují:

- **vytloukání a demontáž filtrů částic (DPF)**
(demontáž samotná nelegální výslovně není, ale provoz takového vozidla již je)
- **vyřazování z provozu a demontáž redukčních katalyzátorů (SCR)**
(demontáž samotná nelegální výslovně není, ale provoz takového vozidla již je)
- **přečipování motorů vozidel na vyšší výkon**
(přečipování samotné nelegální výslovně není, ale provoz takového vozidla je)
- **nevhodná, nedostatečná či žádná údržba motoru**
- **podvádění na emisních měřeních STK**
(jejichž cílem je nalézt vozidla s nadměrnými emisemi a tyto opravit)
- **ladění motorů na homologační cykly, ne na reálný provoz** (předmětem nové EU legislativy pro měření za provozu)
- **velmi vysoká rychlost jízdy**
- **nadměrný výskyt kongesce**
(přetížené a proto částečně či zcela nefunkční části dopravní sítě)
- **přílišná intenzita (zvláště zbytné) silniční dopravy**
(přetížené a proto částečně či zcela nefunkční části dopravní sítě)



Návrh národních legislativních opatření

- vytloukání a demontáž filtrů částic (DPF)

(demontáž samotná nelegální výslovně není, ale provoz takového vozidla již je)

- vyřazování z provozu a demontáž redukčních katalyzátorů (SCR)

(demontáž samotná nelegální výslovně není, ale provoz takového vozidla již je)

- přečerpávání motorů vozidel na vyšší výkon

(přečerpání motorů vozidel není, ale provoz takového vozidla již je)

- postihování úprav vedoucích k technické

nezpůsobilosti k provozu

(žádná údržba motoru není, ale provoz takového vozidla již je)

- měření emisí a tyto opravit

- měření emisí a tyto opravit

- měření emisí a tyto opravit

- měření emisí a tyto opravit

(přetížené a proto částečně či zcela nefunkční části dopravní sítě)

- přílišná intenzita (zvláště zbytné) silniční dopravy

(přetížené a proto částečně či zcela nefunkční části dopravní sítě)

Spolupráce mezi

ministerstvy/institucemi

Jednotný přístup

Kompetentní odborníci

udržující znalosti v oboru

**Kontroly technického stavu
nákladních a osobních
vozidel přímo na silnici**

na vyšší výkon

Postihování úprav

vedoucích k technické

nezpůsobilosti k provozu

(žádná údržba motoru

nezpůsobilosti k provozu

Objektivní a realistické

hodnocení dopadu staveb

na dopravu-emise-ovzduší



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, pojíždění malou rychlostí
- vysoce dynamické změny
- akcelerace na plný výkon

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



Doporučení:

Pro hodnocení toxicity výfukových plynů u nových technologií a nových paliv hodnotit použít realistické 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



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

