

# Měření výfukových emisí pístových spalovacích motorů během reálného provozu přenosnými palubními aparaturami

Michal Vojtíšek, M.S., Ph.D.

Fakulta strojní ČVUT v Praze  
michal.vojtitsek@fs.cvut.cz  
tel. (+420) 774 262 854

Obhajoba habilitační práce  
Fakulta strojní ČVUT v Praze  
29. května 2014



## 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 emisí.

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



Vojtíšek M.: Měření výfukových emisí pístových spalovacích motorů během reálného provozu přenosnými palubními aparaturami. Obhajoba habilitační práce – FS ČVUT v Praze, 29.5.2014



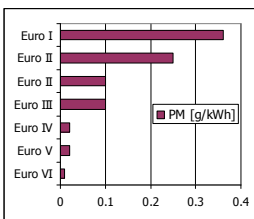
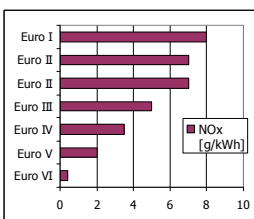
## Emisní limity vs. reálné emise

Máme přísnější EURO limity, ale kvalita ovzduší se nezlepšuje.

Reálný provoz - emise vyšší než při homologačních testech.

Malý počet vozidel - velký podíl na celkových emisích.

Zvyšující se intenzita dopravy.



Vojtíšek M.: Měření výfukových emisí pístových spalovacích motorů během reálného provozu přenosnými palubními aparaturami. Obhajoba habilitační práce – FS ČVUT v Praze, 29.5.2014



## Emise ze spalovacích motorů - plyny

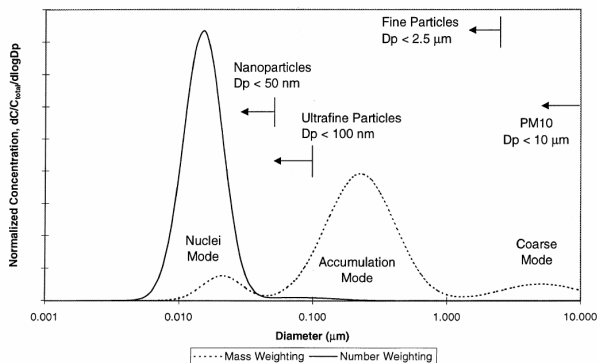
- Oxid uhelnatý (CO) - jedovatý plyn
- Směs uhlovodíků (vyjma metanu) (NMHC)
- Oxidy dusíku (NOx)
  - látky podílející se na tvorbě přizemního ozonu a smogu
- Těkavé organické sloučeniny (VOC) odpařené z paliva
- Toxické látky, zejména formaldehyd, acetaldehyd, benzen, acrolein, 1,3-butadien, a směs plyných, kapalných a pevných organických látek vznikajících spalováním nafty ve vznětových motorech
- Metan (CH<sub>4</sub>)
- Oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>)
  - Skleníkové plyny



Vojtíšek M.: Měření výfukových emisí pístových spalovacích motorů během reálného provozu přenosnými palubními aparaturami. Obhajoba habilitační práce – FS ČVUT v Praze, 29.5.2014



## Typické velikostní spektrum částic - vznětové motory



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

Vojtíšek M.: Měření výfukových emisí pístových spalovacích motorů během reálného provozu přenosnými palubními aparaturami. Obhajoba habilitační práce – FS ČVUT v Praze, 29.5.2014



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

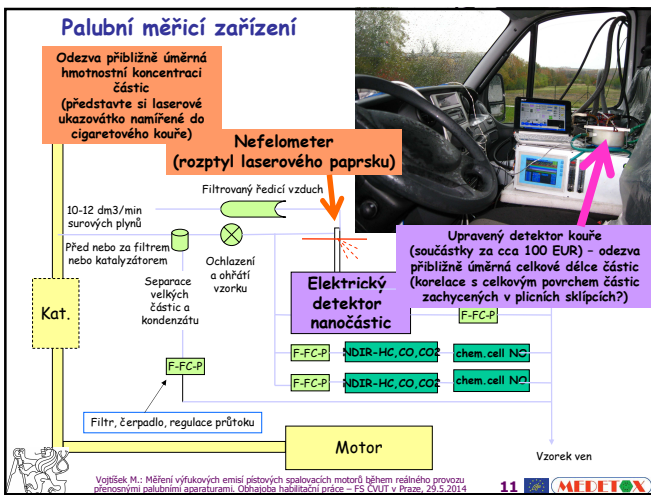
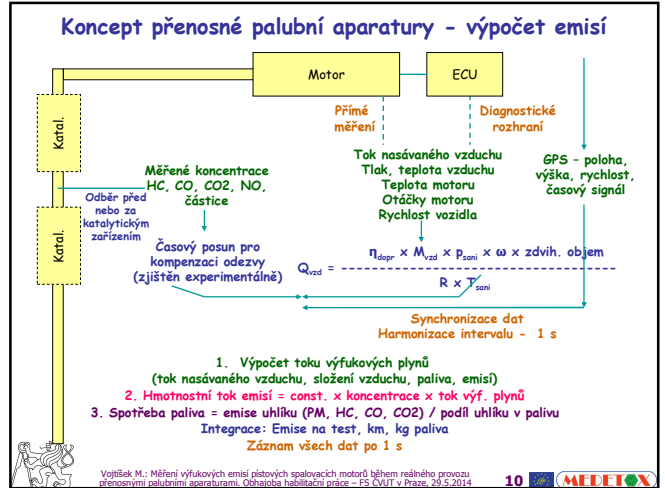
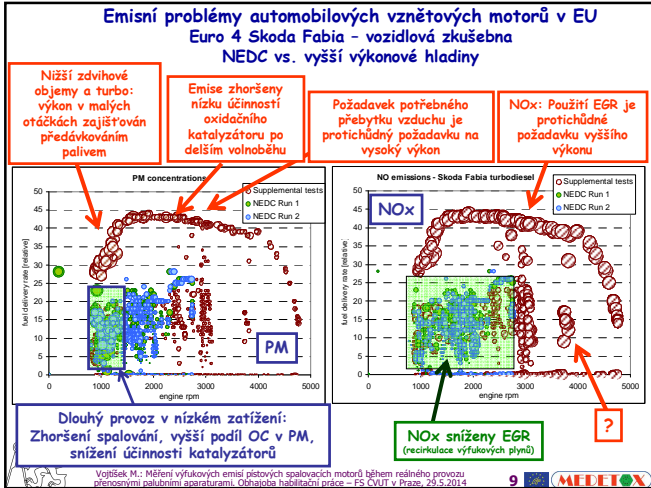
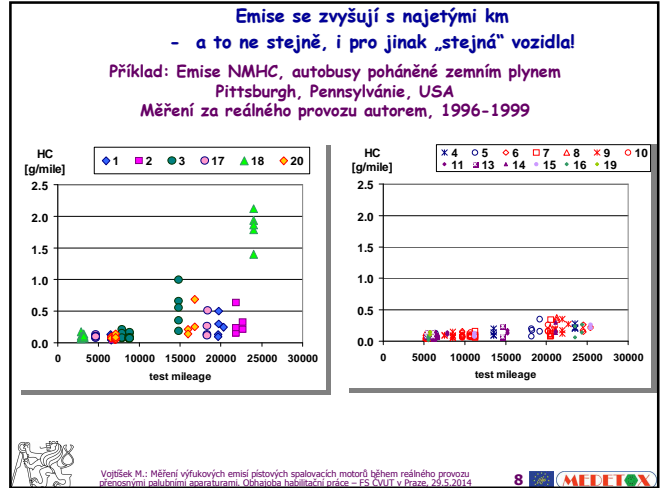
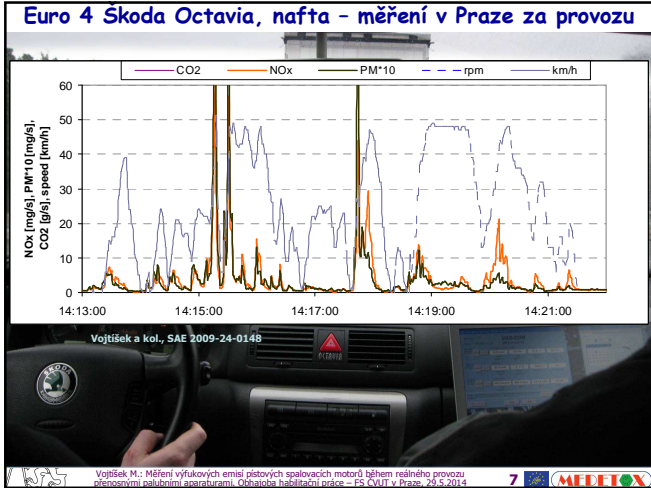
**Statistiky ČR:**  
částice 7379 (Pukliková, Hygiena 2013)  
nehody 583 (statistiky Policie ČR)

Rozjezd kamionu na 90 km/h:  
0,5 až 1 litr nafty  
Volnoběh osobního automobilu:  
0,5 až 1 litr paliva za hodinu  
Dříve než motory zavrhnete,  
zkuste spálit stejné množství  
uhlí či biomasy uprostřed ulice.



Vojtíšek M.: Měření výfukových emisí pístových spalovacích motorů během reálného provozu přenosnými palubními aparaturami. Obhajoba habilitační práce – FS ČVUT v Praze, 29.5.2014





**Měření emisí za reálného provozu pomocí přenosných zařízení**  
**Konstrukce autora**



Komerčně prodávané zařízení  
 Montana system  
 vyráběný 2002-2005



Mobilní spektrometr  
 FTIR  
 prototyp, 2004-2006



Vojtěšek M.: Měření výfukových emisí pístových spalovacích motorů během reálného provozu přenosnými palubními aparaturami. Objaňova habilitační práce – FS ČVUT v Praze, 29.5.2014

13

**Měření emisí plyných látek a částic přenosnou aparaturou**  
**Vzorkování částic přenosným proporcionálním vzorkovačem**

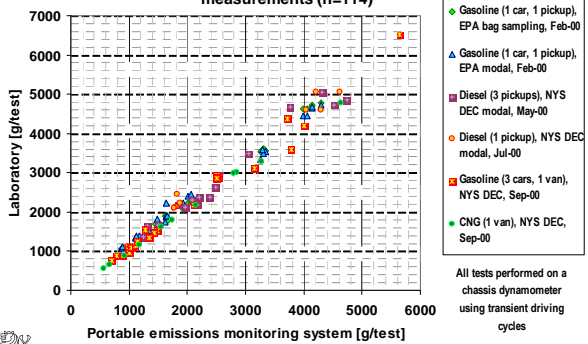


Vojtěšek M.: Měření výfukových emisí pístových spalovacích motorů během reálného provozu přenosnými palubními aparaturami. Objaňova habilitační práce – FS ČVUT v Praze, 29.5.2014

14

**Porovnávací měření - souhrn**  
 (různé technologie motorů, různá paliva, 1999-2000)

Comparison of PEMS and laboratory CO2 emissions measurements (n=114)

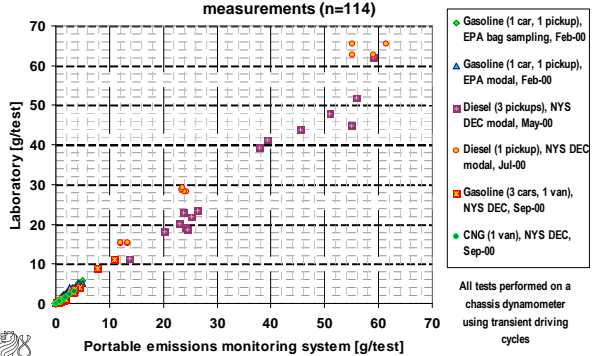


Vojtěšek M.: Měření výfukových emisí pístových spalovacích motorů během reálného provozu přenosnými palubními aparaturami. Objaňova habilitační práce – FS ČVUT v Praze, 29.5.2014

15

**Porovnávací měření - souhrn**  
 (různé technologie motorů, různá paliva, 1999-2000)

Comparison of PEMS and laboratory NOx emissions measurements (n=114)

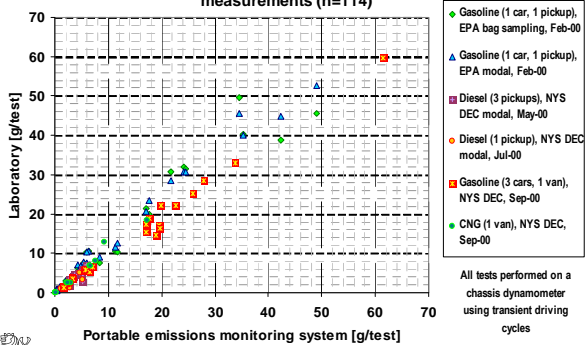


Vojtěšek M.: Měření výfukových emisí pístových spalovacích motorů během reálného provozu přenosnými palubními aparaturami. Objaňova habilitační práce – FS ČVUT v Praze, 29.5.2014

16

**Porovnávací měření - souhrn**  
 (různé technologie motorů, různá paliva, 1999-2000)

Comparison of PEMS and laboratory CO emissions measurements (n=114)



Vojtěšek M.: Měření výfukových emisí pístových spalovacích motorů během reálného provozu přenosnými palubními aparaturami. Objaňova habilitační práce – FS ČVUT v Praze, 29.5.2014

17

**Porovnání měření emisí částic**  
 - motor Zetor 1505, 2008-2010

**Měřicí ionizační komora**  
 - celková délka částic

[Vojtěšek, Journal of the Air & Waste Management Association, 61, 2011, 126-134]

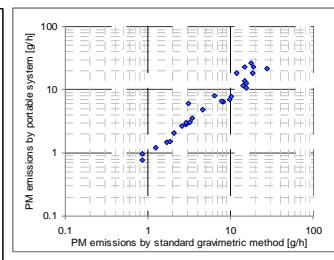
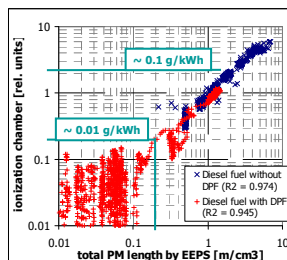
reference: třídící a čítač částic

(Engine Exhaust Particulate Sizer, TSI, St. Paul, MN, USA)

**Rozptyl světla (nefelometr)**  
 ~ celková hmotnost částic

[Vojtěšek, Society of Automotive Engineers Technical Paper Series, 2001-01-3641 (2001) a 2009-24-0148 (2009)]

reference: gravimetrické měření



Vojtěšek M.: Měření výfukových emisí pístových spalovacích motorů během reálného provozu přenosnými palubními aparaturami. Objaňova habilitační práce – FS ČVUT v Praze, 29.5.2014

18

## Ukázka měření - Praha

Měření výfukových emisí vybraných typů vozidel během reálného provozu při průjezdu Prahou měřicí aparaturou umístěnou na palubě vozidla

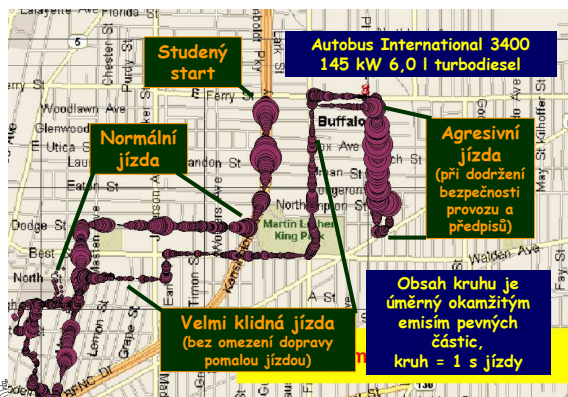
Škoda Octavia, 5 míst, Renault Traffic, 6 míst, TU Liberec-ČVUT/ČZU Praha  
Tahač DAF + návěs, 40 tun, Mělník - Rudná (Jižní spojka) Iveco Eucargo, 7 tun  
Lokomotiva ČKD + 5 vagonů, ~300 tun, ~400 míst, Praha-Vršovice - Tanvald



Vojtěšek M.: Měření výfukových emisí pístových spalovacích motorů během reálného provozu přenosnými palubními aparaturami. Objařba habilitační práce – FS ČVUT v Praze, 29.5.2014

19

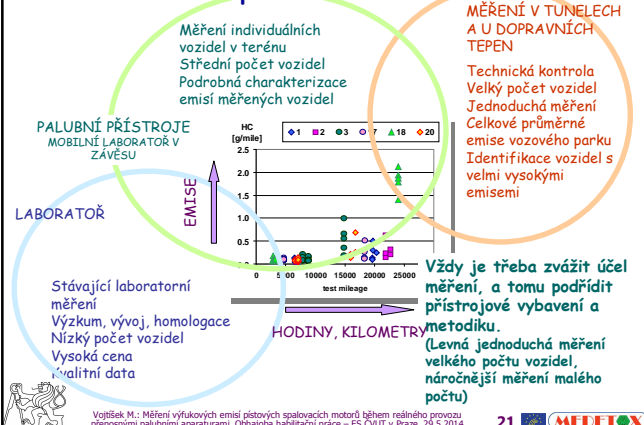
## Vliv stylu jízdy na emise



Vojtěšek M.: Měření výfukových emisí pístových spalovacích motorů během reálného provozu přenosnými palubními aparaturami. Objařba habilitační práce – FS ČVUT v Praze, 29.5.2014

20

## Sledování emisí během celé životnosti vozového parku



Vojtěšek M.: Měření výfukových emisí pístových spalovacích motorů během reálného provozu přenosnými palubními aparaturami. Objařba habilitační práce – FS ČVUT v Praze, 29.5.2014

21

## Závěr

Přenosné měřicí aparatury umístěné na palubě vozidla (PEMS) umožňují měření výfukových emisí během reálné jízdy, které mohou být odlišné od emisí během zkoušek v laboratoři.

PEMS se využívají pro

- ověření emisních vlastností motoru jako součást typového schválení (USA federální zákon 40 CFR 1065)
- výzkum dopadu nových technologií a paliv na výfukové emise
- charakterizaci emisí během reálné jízdy, například pro dopravní studie nebo stanovení emisních faktorů



Vojtěšek M.: Měření výfukových emisí pístových spalovacích motorů během reálného provozu přenosnými palubními aparaturami. Objařba habilitační práce – FS ČVUT v Praze, 29.5.2014

22

## Přínosy autora

- Vývoj měřicích zařízení a metodiky pro měření emisí za provozu
- 2 udělené a komerčně využitelné patenty USA
  - desítky aparatur využity výzkumnými skupinami po celém světě
  - podíl na vzniku nového přístupu, promítnutého do legislativy USA, plánuované využití v legislativě EU
  - ohlasy Web of Science (63), Scopus (101), USPTO (30)

- Výchova a vedení výzkumného týmu a projektů
- 2000-2005 Clean Air Technologies, Buffalo, USA
  - 2008-2010 řešitel GAČR, spolřešitel MČR
  - 2011-2016 EU LIFE+ projekt MEDETOX (spolřešitel)
  - 2013-2015 GAČR projekt BIOTOX (spolřešitel)

Využití PEMS v bakalářských, diplomových a doktorských pracích na FD ČVUT, FS TUL, SUNY Buffalo, Virginia Polytechnic Institute, North Carolina State University, Texas Southern University, Northern Jiaotong & Beijing Jiaotong University



Vojtěšek M.: Měření výfukových emisí pístových spalovacích motorů během reálného provozu přenosnými palubními aparaturami. Objařba habilitační práce – FS ČVUT v Praze, 29.5.2014

23

## Výhled dalšího působení

Další směry:

Sledování a snižování dopadu nových technologií a paliv na lidské zdraví

- 2011 hostující profesor, AFHB, Biel, Švýcarsko (zkoušky filtrů částic, vzorkování na buněčné kultury)
- vzorkování částic pro následné analýzy (projekty BIOTOX, MEDETOX)
- mezioborové působení - udržitelná doprava, udržitelná energetika, obnovitelné zdroje energie, nanočástice vznikající spalováním

Vedení výzkumných projektů

Mezioborová spolupráce a spolupráce se zahraničními laboratořemi

Výuka (experimentální metody, zkoušení motorů, měření emisí, měření za provozu)

Vedení bakalářských, diplomových a doktorských prací

Vojtěšek M.: Měření výfukových emisí pístových spalovacích motorů během reálného provozu přenosnými palubními aparaturami. Objařba habilitační práce – FS ČVUT v Praze, 29.5.2014

24