

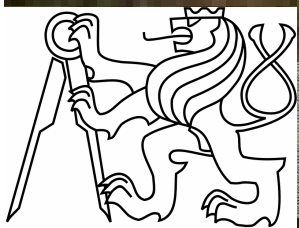
# Biopaliva ve spalovacích motorech a jejich vliv na výfukové emise

Michal Vojtíšek

Fakulta strojní ČVUT v Praze

michal.vojtisek@fs.cvut.cz

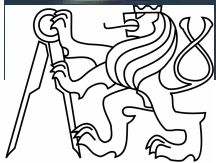
tel. (+420) 774 262 854



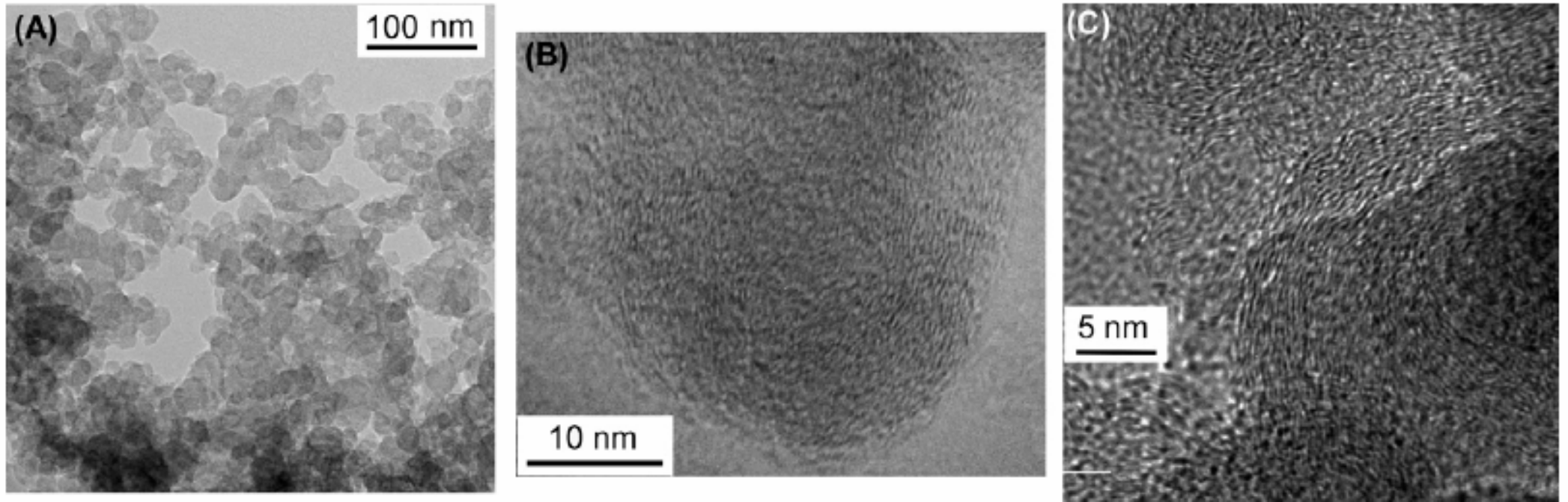
Seminář Přírodovědecké fakulty UK  
4. března 2015

# Současné problémy 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



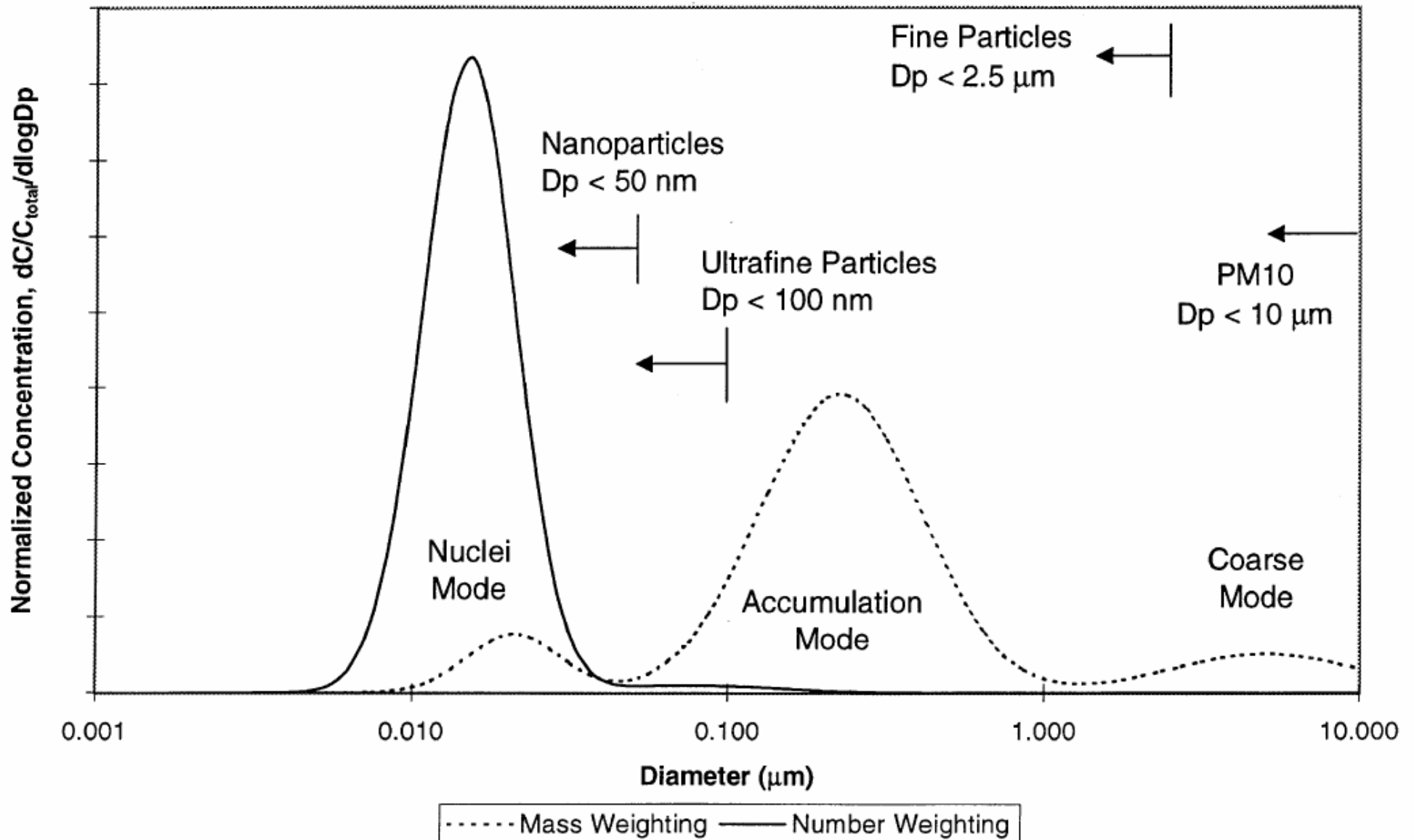
# Částice ve výfukových plynech naftového motoru



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



# 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)

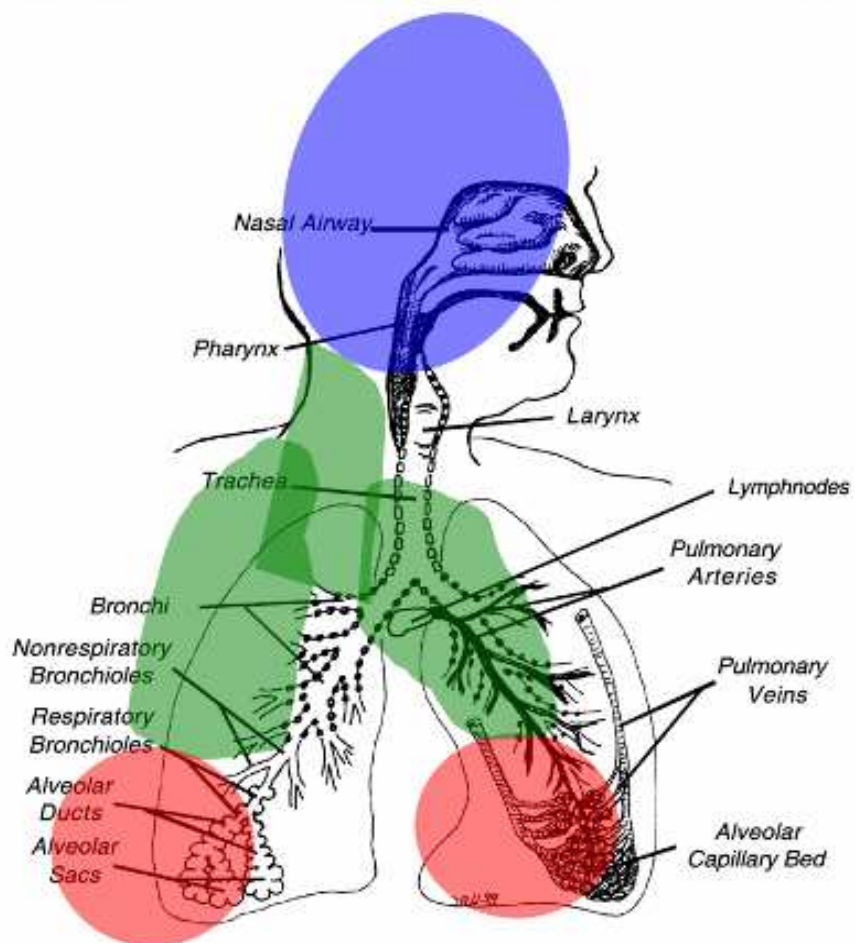
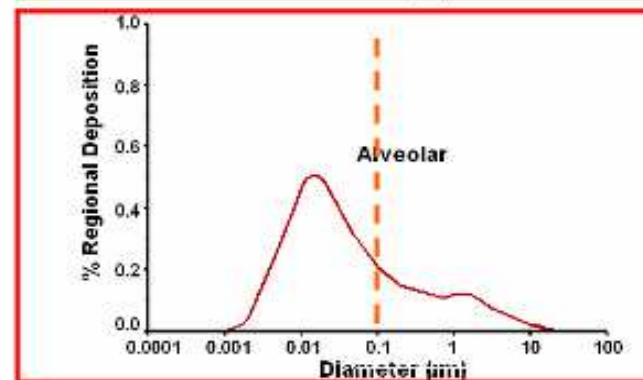
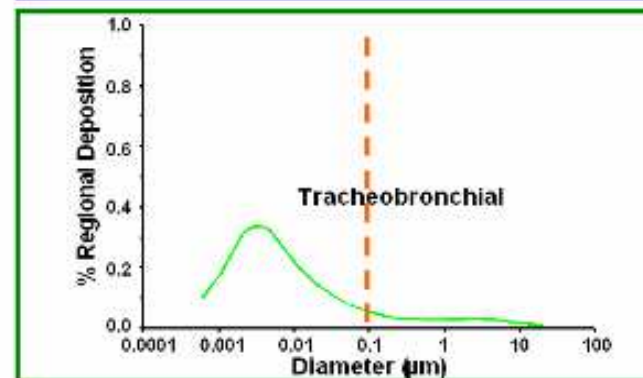
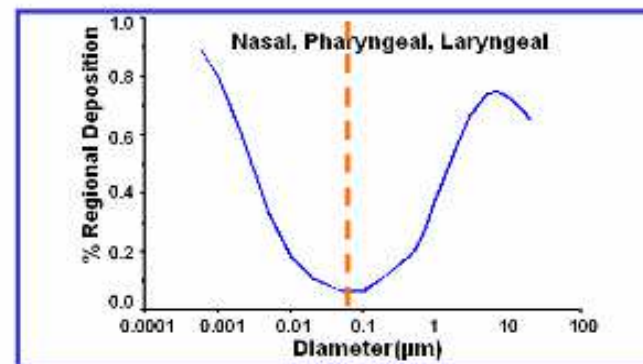
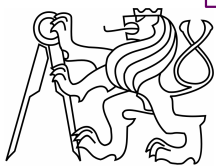


Figure courtesy of J.Harkema



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



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

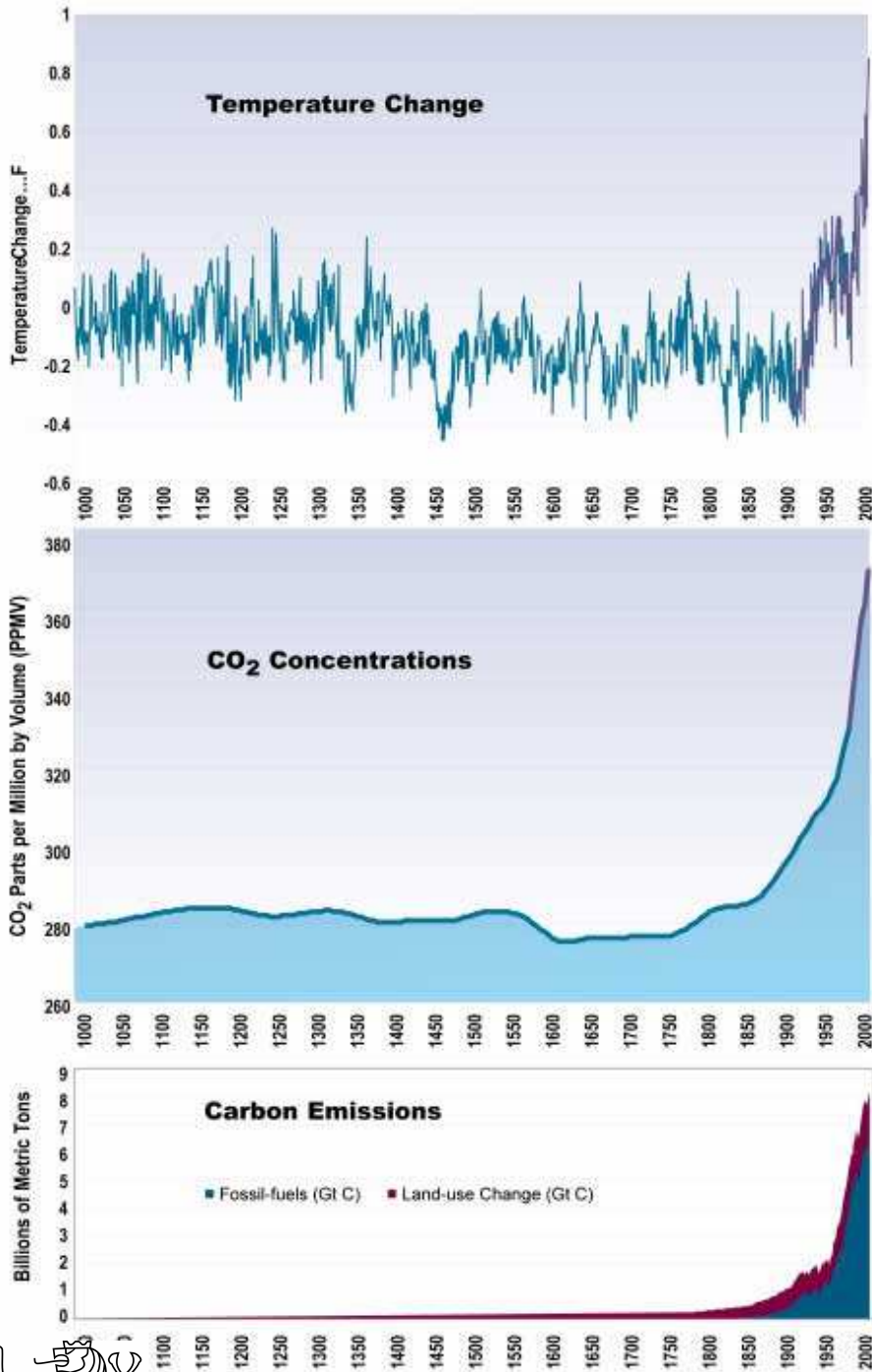
**Statistiky ČR:**

**částice 7379** (Puklíková, 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.**

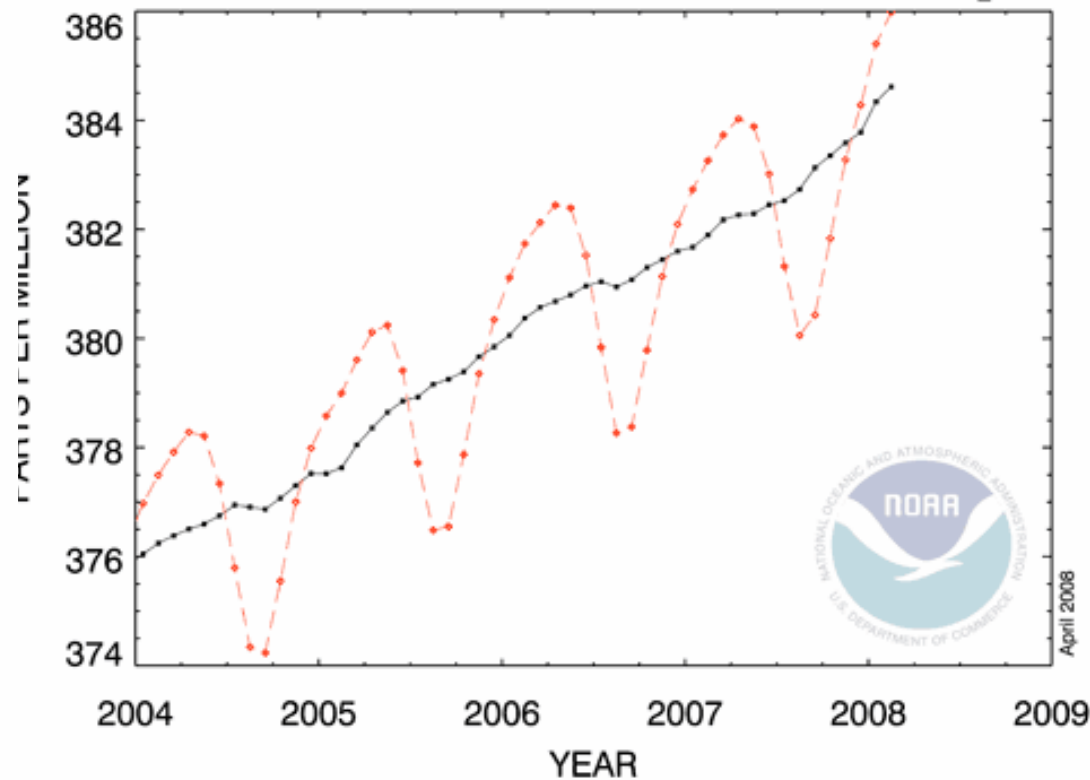


# 1000 Years of Global CO<sub>2</sub> and Temperature Change



# Emise skleníkových plynů, trendy koncentrace CO<sub>2</sub>, trendy průměrné teploty

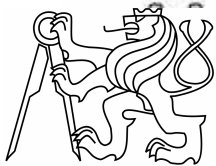
## RECENT GLOBAL MONTHLY MEAN CO<sub>2</sub>



Zdroj: NOAA, USA

<http://www.esrl.noaa.gov/news/2008/img/co2trend.m.gif>

<http://www.usgcrp.gov/usgcrp/Library/nationalassessment/LargerImages/OverviewGraphics/1000YrRecords.jpg>



# Biopaliva v ČR

Jednotky % etanolu v benzínu

Jednotky % FAME v naftě

E85 (70-85% etanol)

B100 (čistá bionafta)

B30 (směsná nafta)

„Pokoutné“ spalování rostlinných olejů různých kvalit

Výzkumné a demonstrační účely

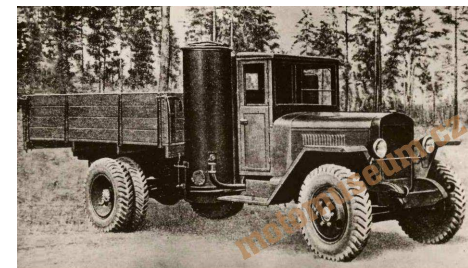
Bioplyn (metan)

Dimethyléter

n-butanol, iso-butanol

...

Historické využití:  
Parní stroj (dřevo)  
Dřevoplyn



Čerpací stanice - Býšť



Provozní doba:

NON-STOP, 22 - 5 tankautomat

Pohonné hmoty:



2x



4x



5x

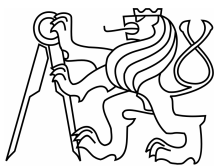


5x



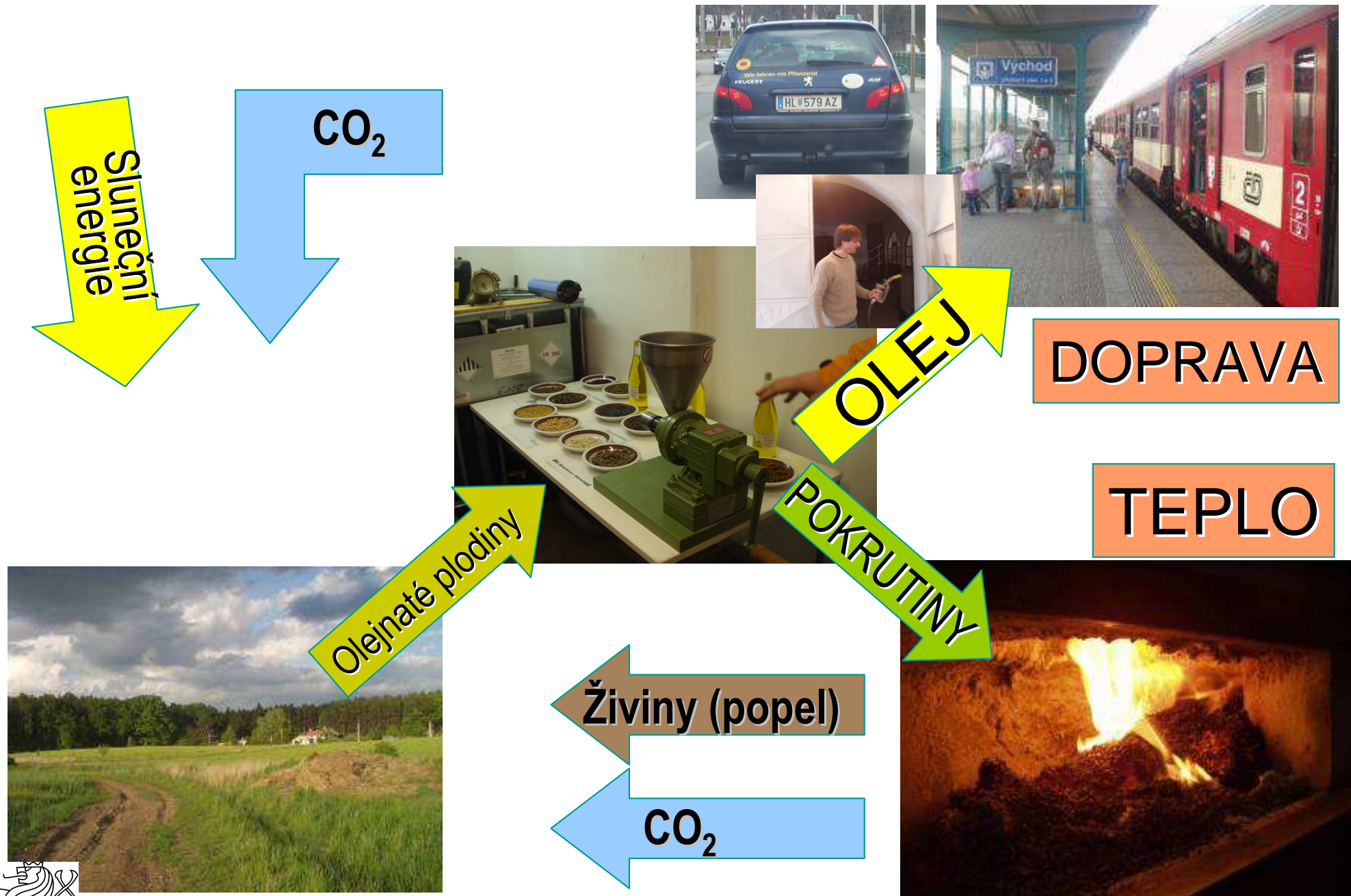
1x

[http://www.km-prona.cz/Seznam\\_cerpacich\\_stanic.htm?stanice=Cerpaci\\_stanice\\_-\\_Byst#seznam](http://www.km-prona.cz/Seznam_cerpacich_stanic.htm?stanice=Cerpaci_stanice_-_Byst#seznam)





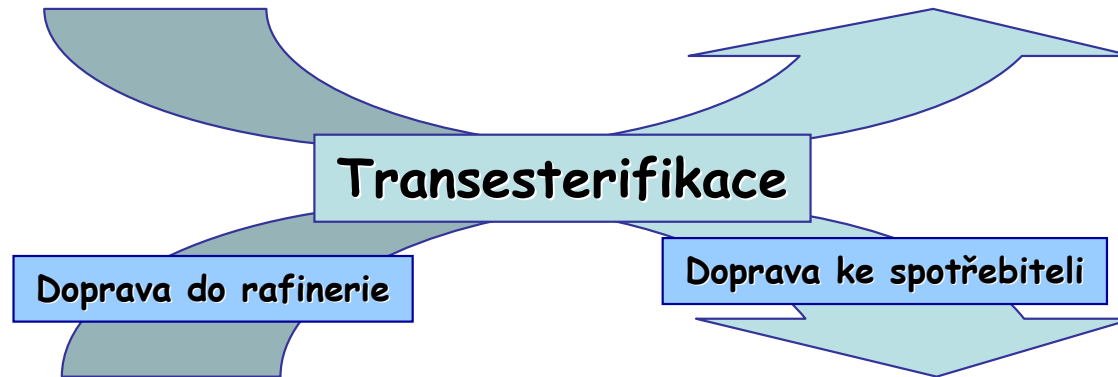
# Koloběh uhlíku u rostlinného oleje



# Výroba bionafty - energetická náročnost

Alkohol, katalyzátory

Glycerin, vedlejší produkty



Rostlinný olej

Alkylestery mastných kyselin  
(např. metylester řepkového oleje)  
- BIONAFTA

**Současná energetická náročnost:**

**0.4-0.5 MJ z fosilních zdrojů na 1 MJ v bionaftě,  
převážně na výrobu metanolu a výrobu MEŘO  
(ropná nafta: 1.15 fosilních MJ / MJ nafty)**

**Odhady energetické náročnosti se liší !!!**

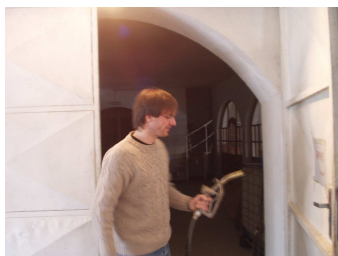
**Záleží na technologii a zda k výrobě paliva  
energií z fosilních či obnovitelných zdrojů.**



# Biopaliva jako podpora zaměstnanosti a místní ekonomiky

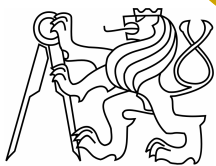
## Dovážená ropa

- Peníze odtékají do zahraničí
- Pracovní místa vytvořena jinde
- Zisky odtékají nebo „globalizovány“
- Schodek zahraničního obchodu



## Místní produkce biopaliv

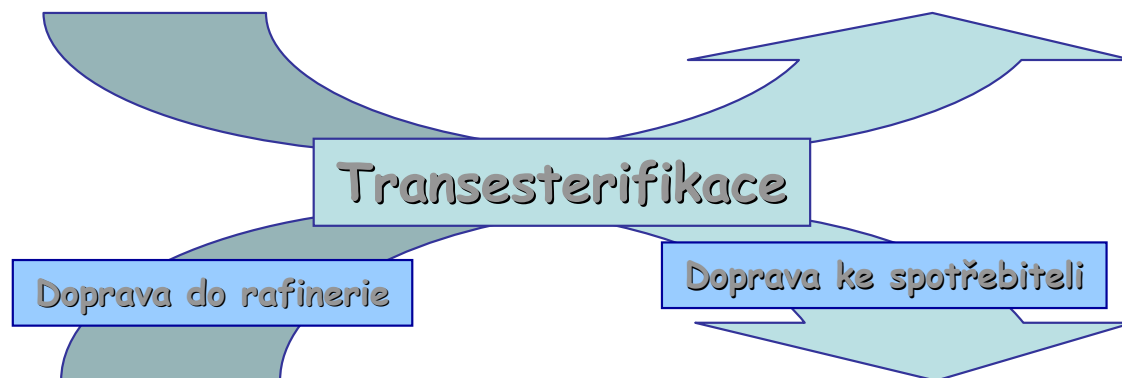
- Zaměstnanost na venkově
- Náklady na výrobu paliva podporují ekonomiku v regionu
- Zisky zůstávají v regionu
- Rozvoj ekonomicky slabších oblastí



# Výroba paliva: bionafta vs. rostlinný olej

Alkohol, katalyzátory

Glycerin, vedlejší produkty



Rostlinný olej

Alkylestery mastných kyselin  
(např. metylester řepkového oleje)  
- BIONAFTA

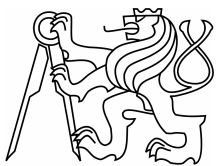
**Přímé použití jako palivo**

**Současná energetická náročnost:**

**0.13-0.36 MJ z fosilních zdrojů na 1 MJ**

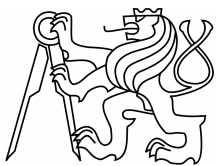
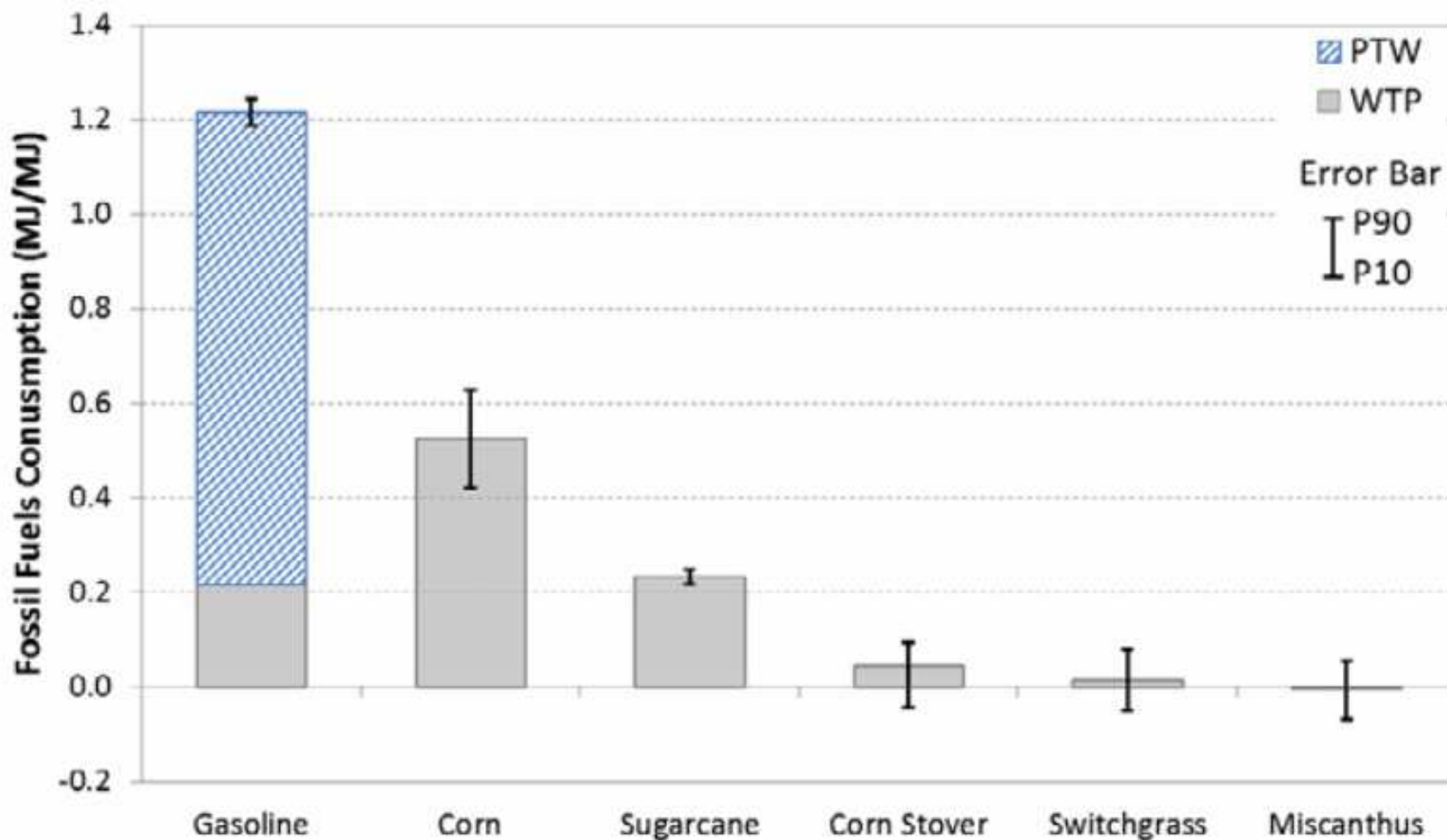
**(bionafta: 0.4-0.5 fosilních MJ / MJ v bionaftě,**

**Ropná nafta: 1.15 fosilních MJ / MJ nafty)**

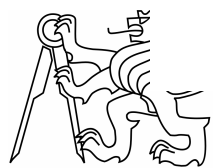
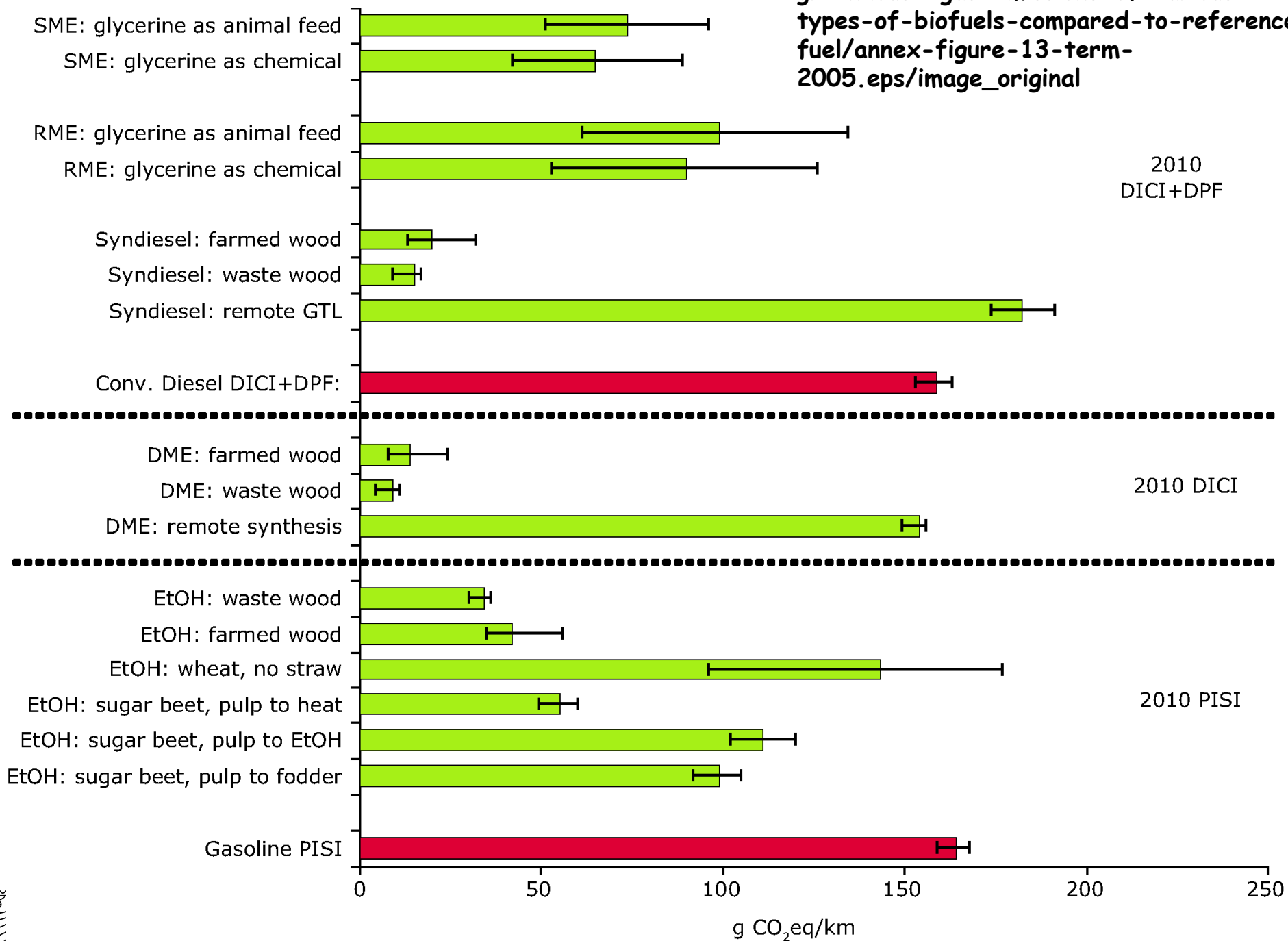


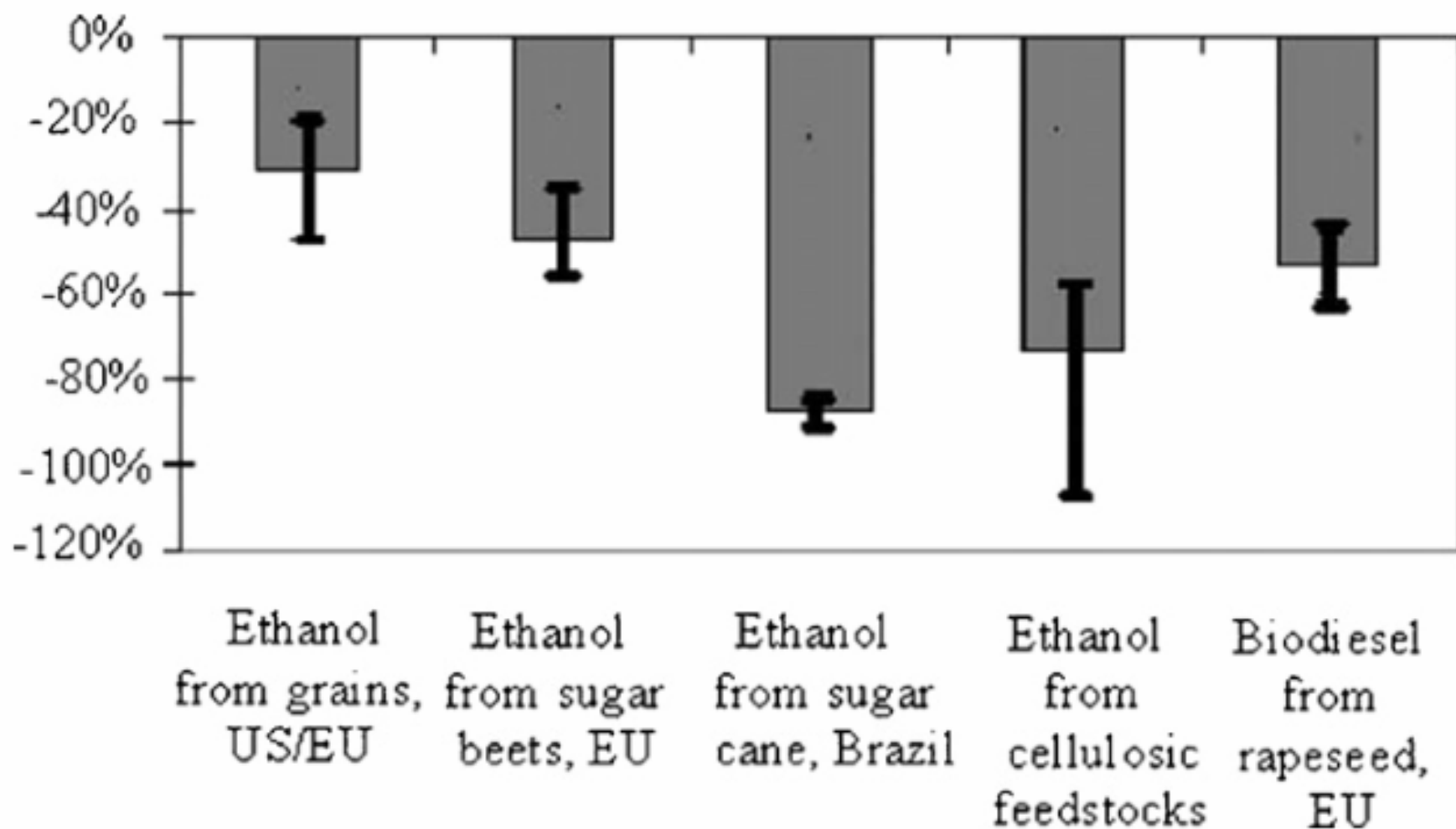
# Wang et al., Environ. Res. Lett. 7 (2012) 045905

[http://iopscience.iop.org/1748-9326/7/4/045905/pdf/1748-9326\\_7\\_4\\_045905.pdf](http://iopscience.iop.org/1748-9326/7/4/045905/pdf/1748-9326_7_4_045905.pdf)



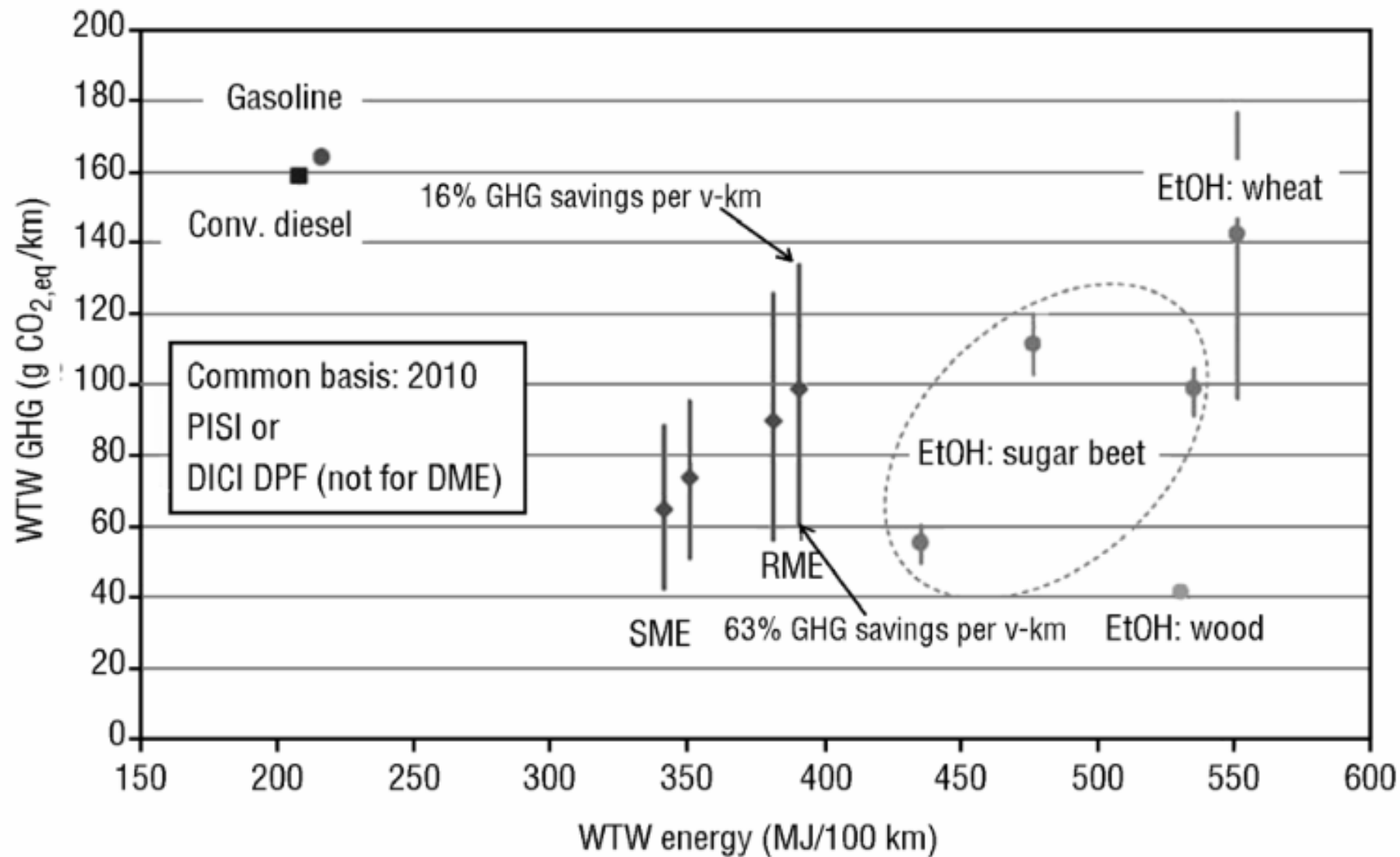
[http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/overall-well-to-wheel-greenhouse-gas-emissions-of-various-types-of-biofuels-compared-to-reference-fuel/annex-figure-13-term-2005.eps/image\\_original](http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/overall-well-to-wheel-greenhouse-gas-emissions-of-various-types-of-biofuels-compared-to-reference-fuel/annex-figure-13-term-2005.eps/image_original)





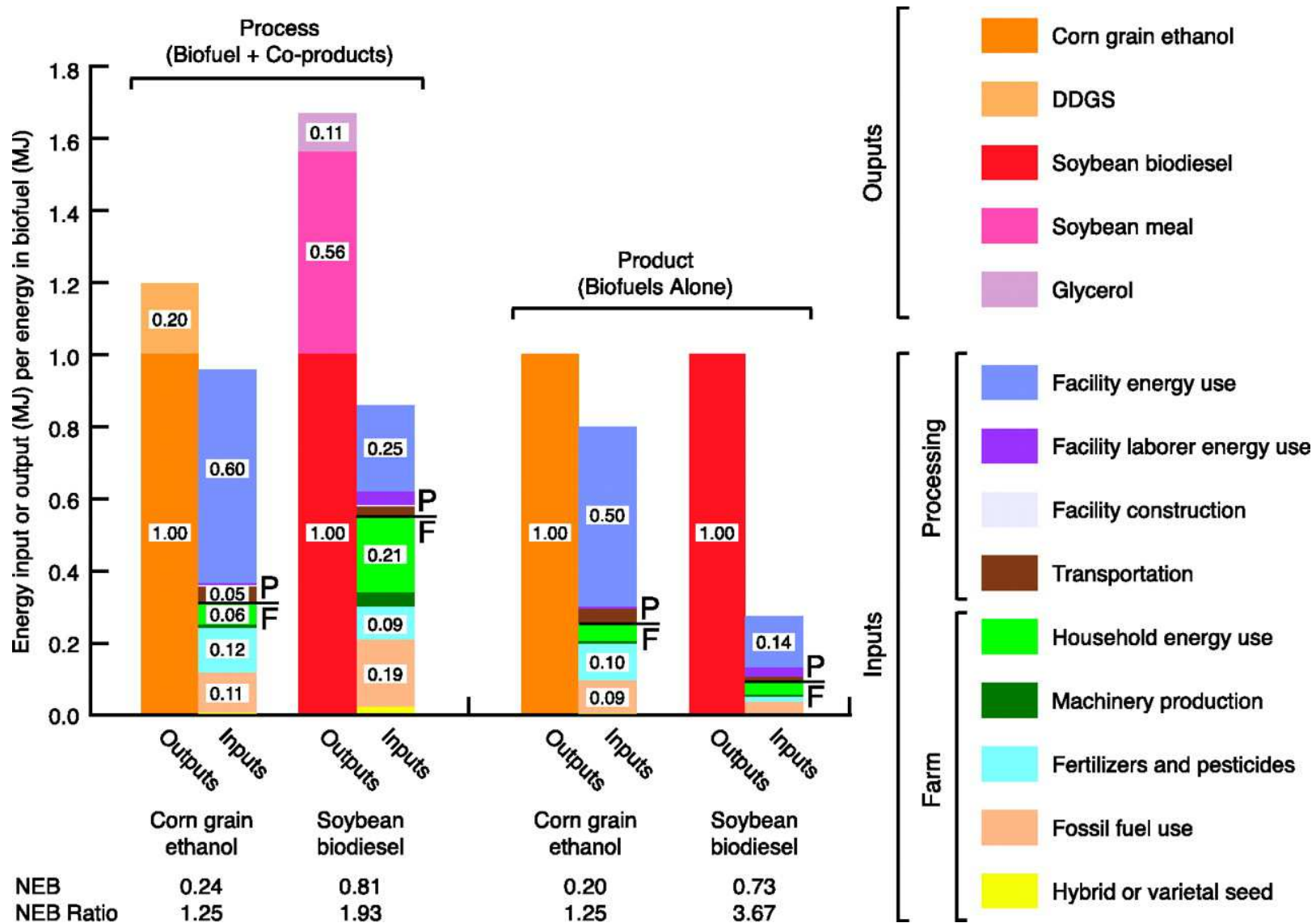
# Larson, Energy for Sustainable Development, 10, 2, 2006, 109-126.

<http://francois.catroux.free.fr/CNAM/ENF208-Energie%20et%20developpement%20durable/2008/sdarticle4.pdf>





# NEB of corn grain ethanol and soybean biodiesel production.



Hill J et al. PNAS 2006;103:11206-11210

# Diskuze: Energetická náročnost výroby rostlinných olejů

Plodina                      Energie na:                      kultivaci                      extrakci                      dopravu

Řepka                      (kg nafty / kg)                      0.05-0.09 (2004: SRN 0.053-0.056, ČR 0.061-0.090)

(ÚZPI ČR)                      (při 1 t oleje/ha)                      (1988: ČR 0.137-0.140)

Kavka, Miroslav a kol.: Normativy zemědělských výrobních technologií. Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha, 2006. Verze z r. 2004 na <http://www.agroporadenstvi.cz/poradenstvi/op/index.htm>.

Řepka                      (MJ/MJ)                      0.28                      0.01 - za studena                      0.03  
(JRC EC)                                                                0.05 extrakce

Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context. WELL-TO-TANK Report, Version 2c, March 2007. Appendix 2, strana 5 <http://ies.jrc.ec.europa.eu/WTW>

Slunečnice                      (MJ/MJ)                      0.18                      0.01 - za studena                      0.03  
(JRC EC)                                                                0.05 extrakce

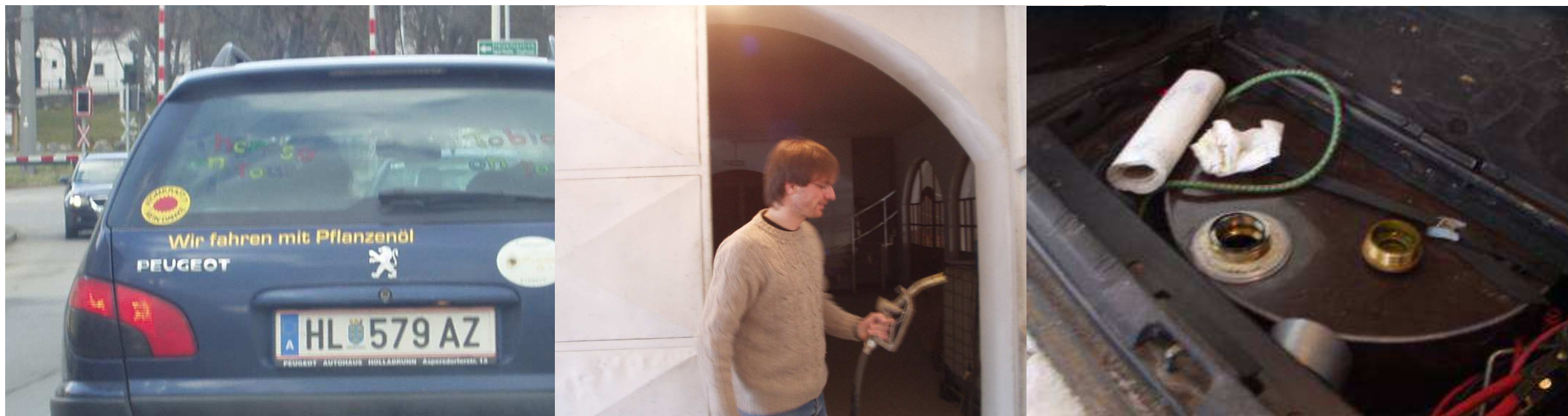
Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context. WELL-TO-TANK Report, Version 2c, March 2007. Appendix 2, strana 5 <http://ies.jrc.ec.europa.eu/WTW>

Sója                      (MJ/MJ)                      0.06                      0.08 extrakce                      0.01  
(US DOE)

Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus. Publikace National Renewable Energy Laboratory číslo NREL/SR-580-24089 UC Category 1503, květen 1998, <http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/24089.pdf>, strana 214.



# Praktické využití rostlinného oleje v moderních motorech



# Lisování rostlinného oleje

(Střední škola Landwirtschaftliche Fachschule, Tulln a.d. Donau, Rakousko)



Tulln, Rakousko. Foto autor.

Vliv biopaliv na emise spalovacích motorů  
Michal Vojtíšek – Seminář PŘF UK, 4.3.2015



# Různé druhy a kvality rostlinných olejů

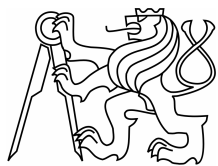


Řepkový olej  
palivové  
kvality

Palmový  
olej

Použitý  
fritovací  
olej

Degradovaný  
řepkový olej



# Různé druhy a kvality rostlinných olejů

## Nevyhovující kvalita může být zdrojem mnoha problémů



**Viskózní úsady**



**Pevné látky**

**Surový palmový olej**



**Teplota (bod) tuhnutí**

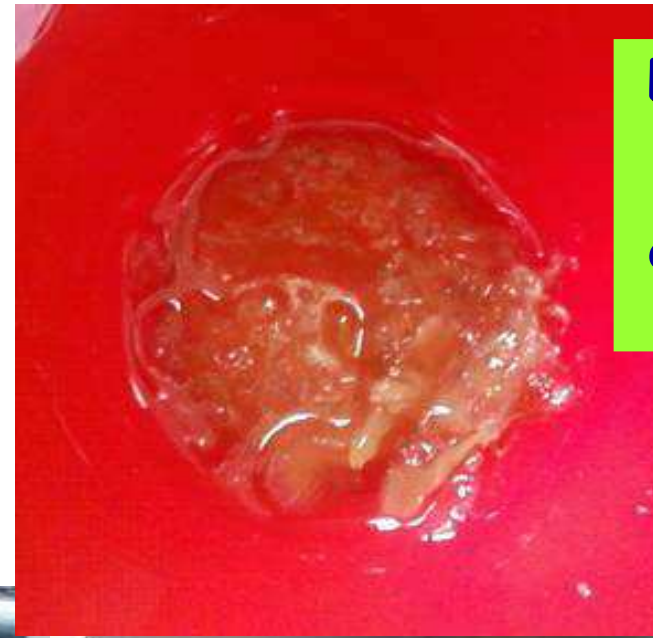


# Různé druhy a kvality rostlinných olejů

## Nevyhovující kvalita může být zdrojem mnoha problémů



**Použitý  
fritovací  
olej**



**Kousky vysoce  
viskózních  
polymerů v  
degradovaném  
oleji**



**Odpad z  
výroby  
bionafty  
(není palivo,  
nehoří v  
motoru)**



**Použitý  
fritovací  
olej**



# Měření emisí - válcová zkušebna (New York, USA)

## Ford F-350 - nafta, bionafta, použitý fritovací olej





# Měření emisí - válcová zkušebna (New York, USA)

## Ford F-350 - nafta, bionafta, použitý fritovací olej

B-100

vs.

nafta

<i>Cycle</i>	HC	CO	NOx	CO2	PM
LA92	- 43%	- 10%	- 7%	- 13%	- 34%
HWFE	- 57%	- 9%	+ 5%	- 9%	- 34%
NYCC	- 61%	- 9%	+ 15%	- 2%	- 40%
US06	- 53%	- 22%	+ 6%	- 6%	- 20%

Frit.olej

vs.

nafta

<i>Cycle</i>	HC	CO	NOx	CO2	PM
LA92	- 14%	+ 61%	- 21%	- 12%	- 34%
HWFE	- 35%	+ 42%	- 6%	- 4%	- 34%
NYCC	- 20%	+ 162%	- 8%	+ 2%	+ 30%
US06	- 30%	+ 31%	- 4%	- 5%	- 20%

Průměr

<i>Palivo</i>	HC	CO	NOx	CO2	PM
Nafta	0.10	0.33	2.94	304	0.155
Bionafta	0.05	0.29	3.00	277	0.106
Frit. olej	0.07	0.53	2.64	285	0.106

B-100 vs. nafta

- 50%

- 11%

+ 2%

- 9%

- 32%

Frit.olej vs. nafta

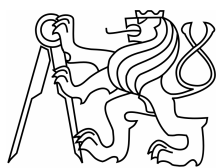
- 25%

+ 60%

- 10%

- 6%

- 32%

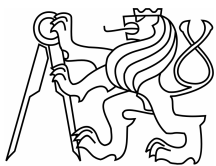
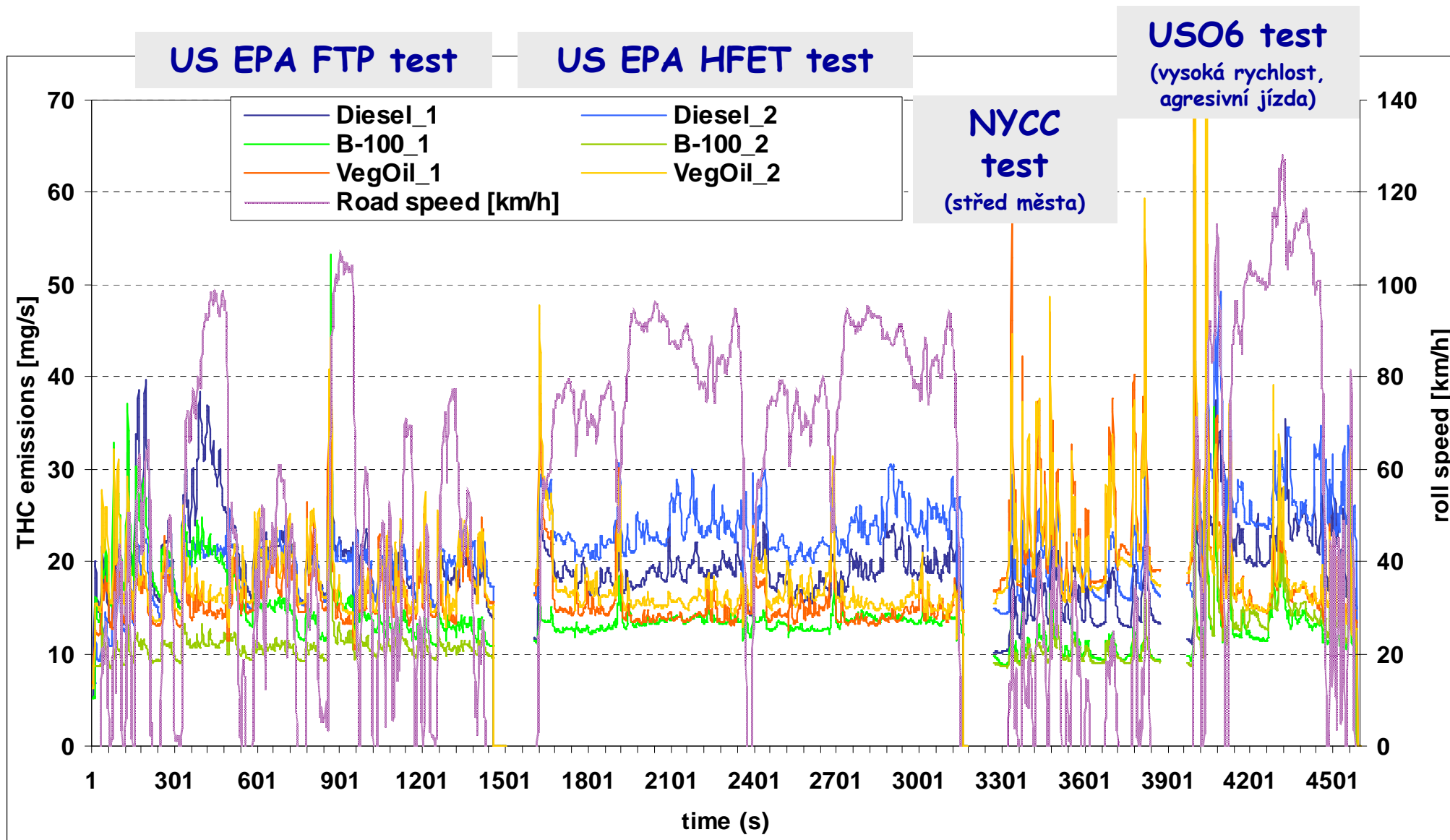


**Poznámka:** Orámované pole označuje statisticky významný rozdíl ( $p < 0.05$ )

Vliv biopaliv na emise spalovacích motorů  
Michal Vojtíšek – Seminář PŘF UK, 4.3.2015

# Emise uhlovodíků (HC) - nafta, 100% MESO, použitý fritovací olej

Nákladní vůz Ford F-350 (Vojtisek-Lom, JRC Transp. and Env. 2007)



# Měření plynných emisí mobilním spektrometrem FTIR

(práce autora v roce 2006 na Atmospheric Sciences Research Center, SUNY, vychází z grantu NYSERDA PON 704, jehož byl autor hlavním řešitelem)



Uložení za jízdy  
v odpruženém rámu

Napájení 12V, celkový  
příkon za jízdy < 300W

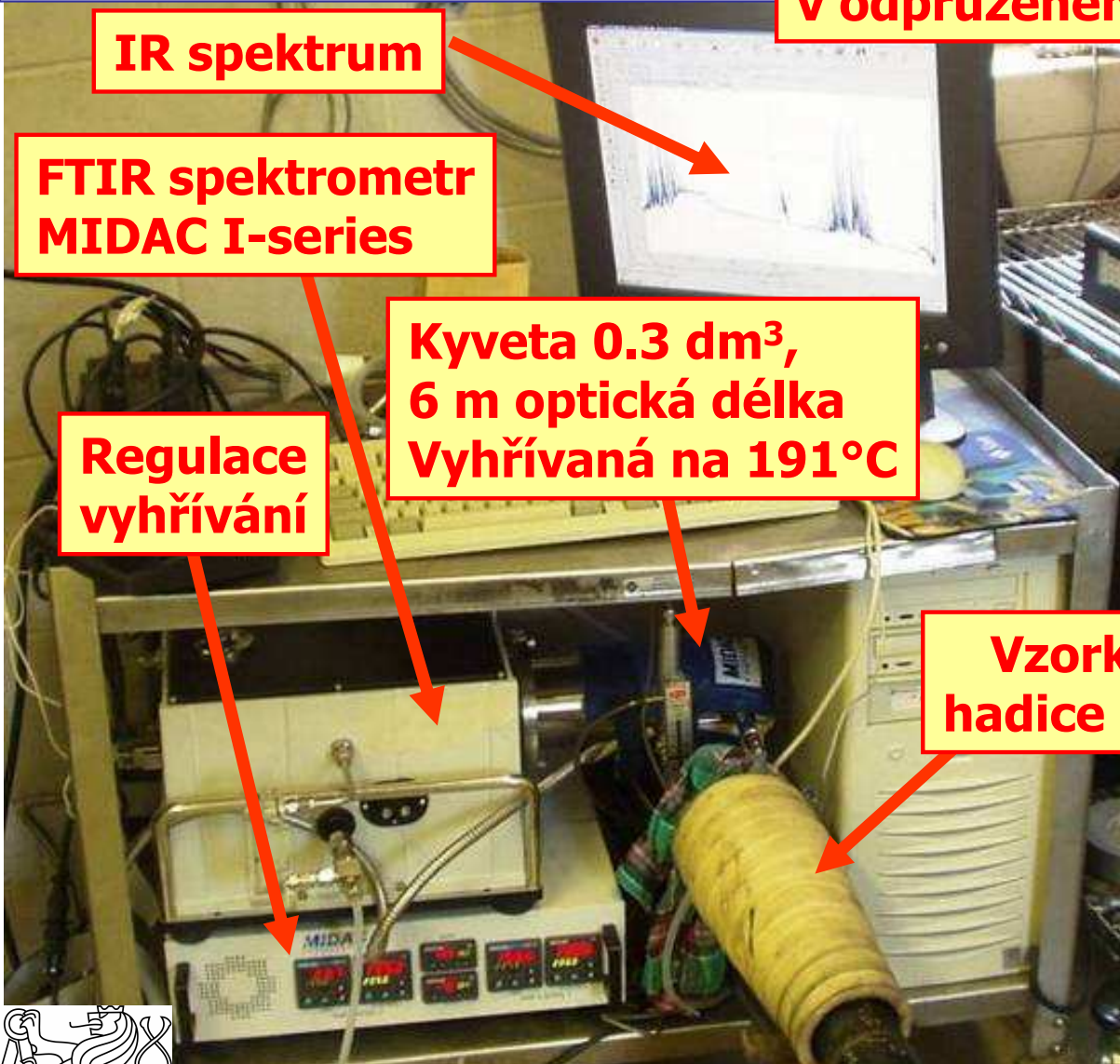
IR spektrum

FTIR spektrometr  
MIDAC I-series

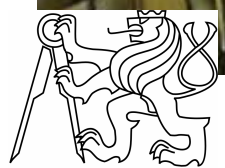
Kyveta 0.3 dm<sup>3</sup>,  
6 m optická délka  
Vyhřívána na 191°C

Regulace  
vyhřívání

Ovládání za jízdy  
průmyslovým PC



Vzorkovací  
hadice - 191°C



# Emise skleníkových plynů

## Emise $\text{CO}_2$ měřeny IR spektrometry

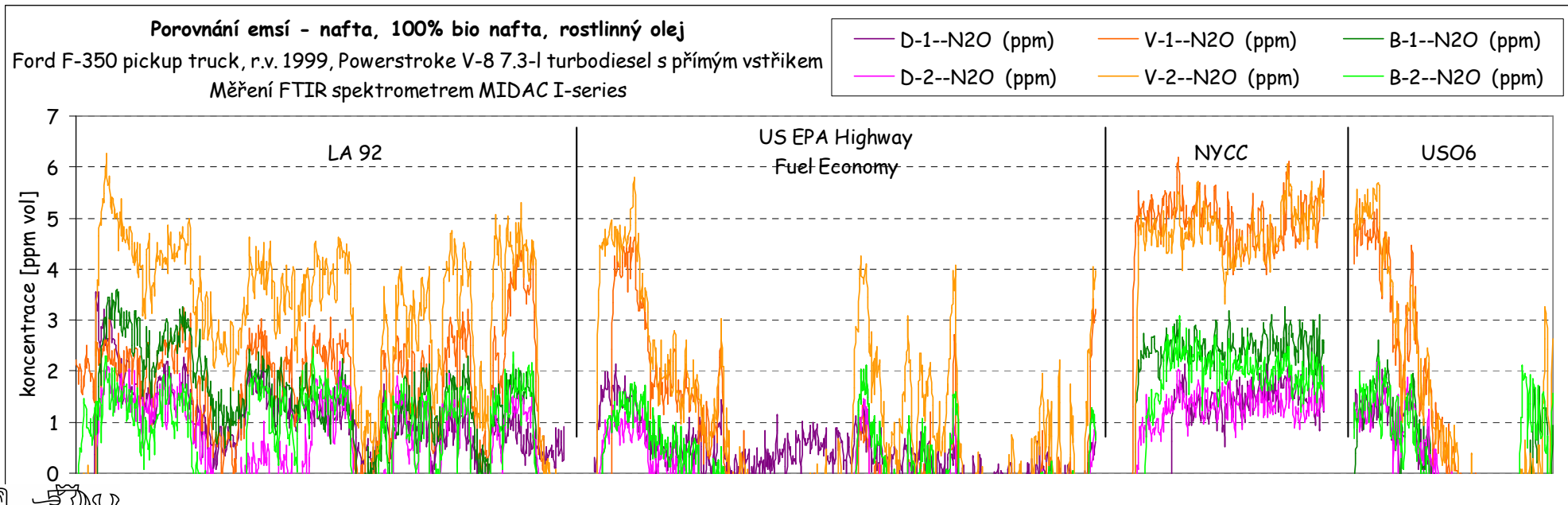
všechn uhlík v palivu však pochází z  $\text{CO}_2$  absorbovaného rostlinami ze vzduchu - proto jsou výsledné přímé emise  $\text{CO}_2$  ze spalování rostlinných olejů nulové

## Emise oxidu dusného ( $\text{N}_2\text{O}$ ) měřeny na vozidle Ford FTIR spektrometrem

Emise  $\text{N}_2\text{O}$  byly při provozu na rostlinný olej vyšší, ale koncentrace byly pouze jednotky ppm, tedy **nízké desetiny g na kg  $\text{CO}_2$**

I při uvážení vyššího „skleníkového“ potenciálu  $\text{N}_2\text{O}$  se jedná o ekvivalent řádově 1%  $\text{CO}_2$  vyprodukovaného při provozu na naftu.

Emise metanu ( $\text{CH}_4$ ) byly měřeny na vozidle Ford FTIR spektrometrem a byly pod mezí detekovatelnosti (cca 1 ppm).



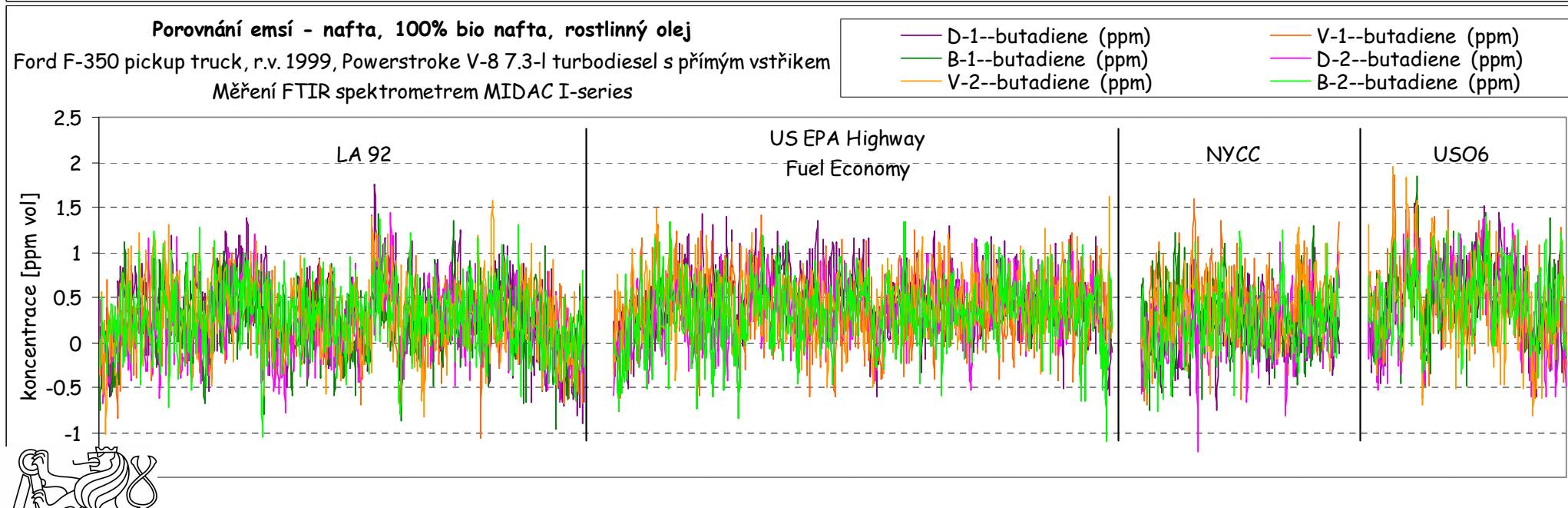
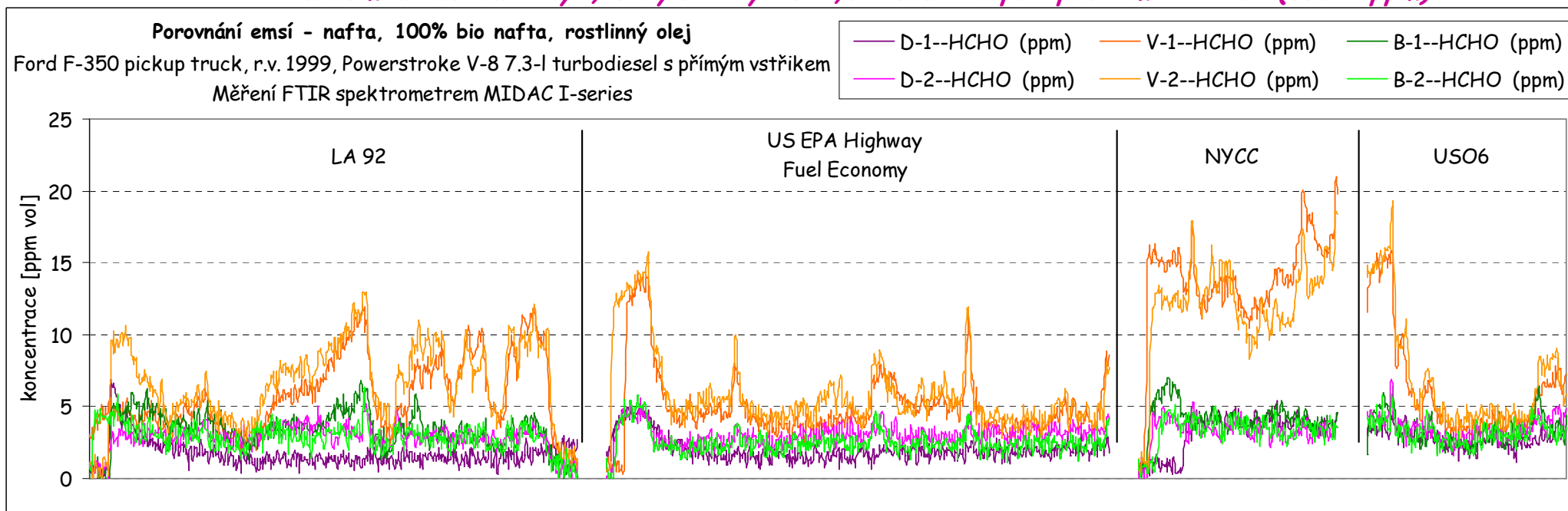
(Vojtisek-Lom, JRC Transp. and Env. 2007)



# Emise aldehydů a dienů - nafta, MEMK, olej

## Nákladní vůz Ford F-350 (Vojtisek-Lom, JRC Transp. and Env. 2007)

*Poznámka: acetaldehyd, akrylaldehyd a 1,3-butadien pod prahem detekce (cca 1 ppm)*



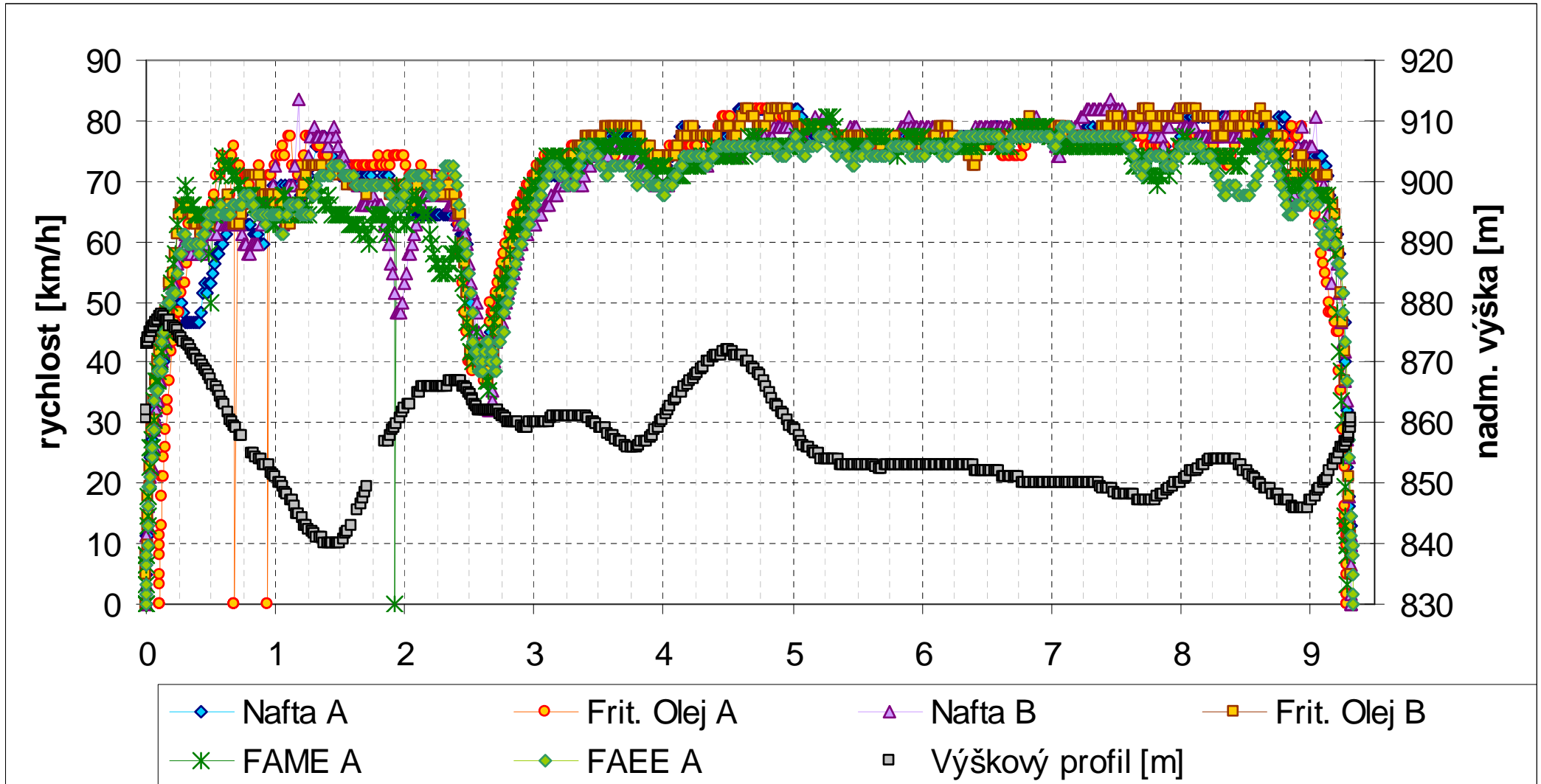
# Biofuels workshop, Superior, Montana, 2001 - VW Transporter



# Biofuels workshop, Superior, Montana, 2001 - VW Transporter Metylestery a etylestery hořčičného a sojového oleje, surové oleje

## Výsledky - rychlost jízdy a profil trati (GPS)

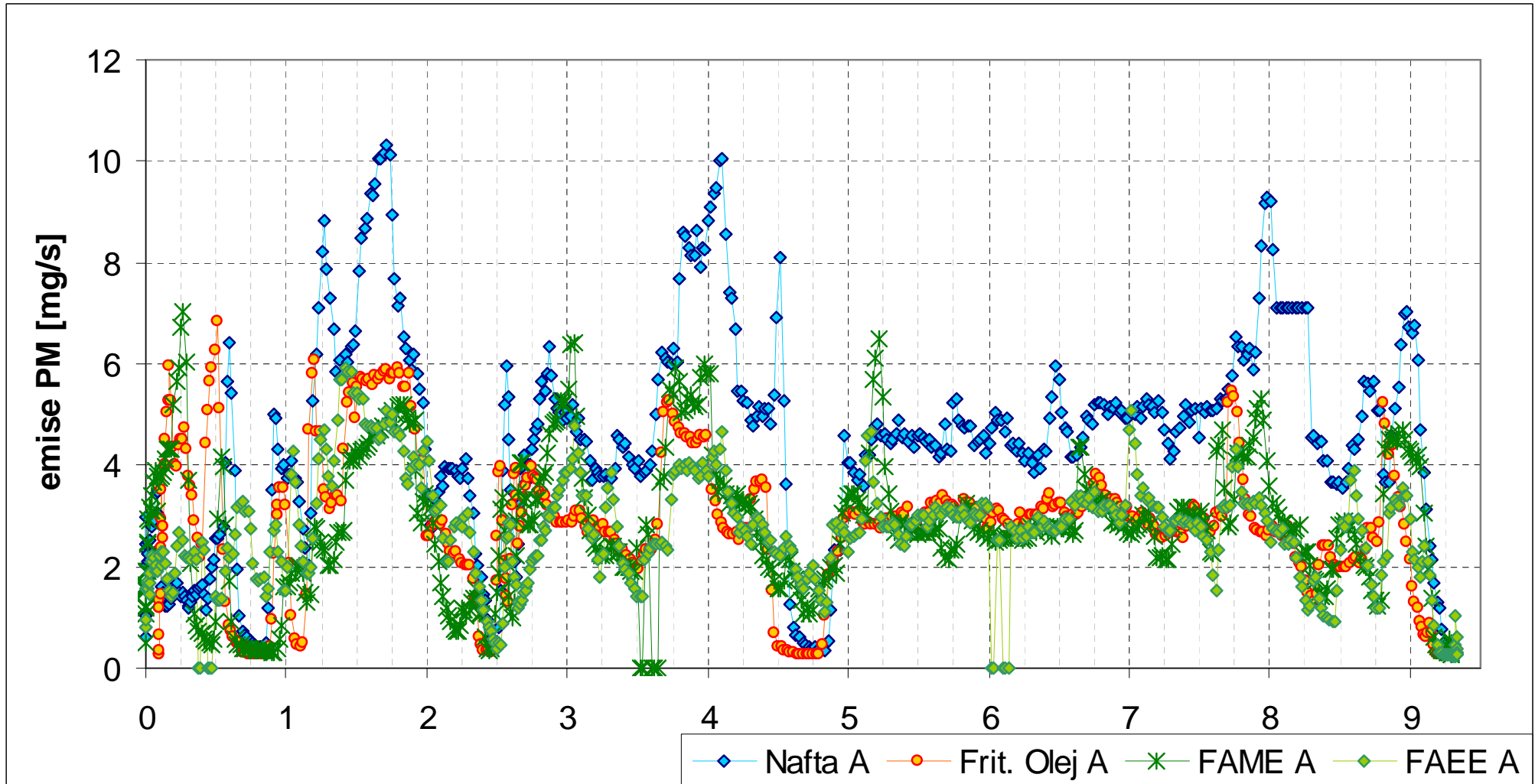
Výsledky vyneseny vzhledem k ujeté vzdálenosti (časy se neshodují)



# Biofuels workshop, Superior, Montana, 2001 - VW Transporter

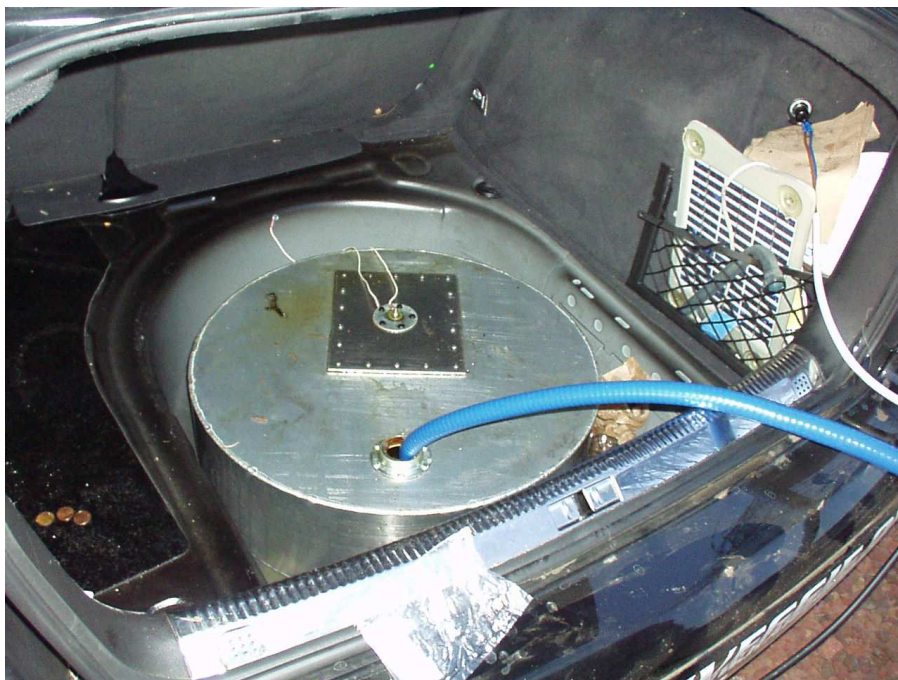
## Metylestery a etylestery hořčičného a sojového oleje, surové oleje

### Výsledky - emise částic v závislosti na ujeté vzdálenosti

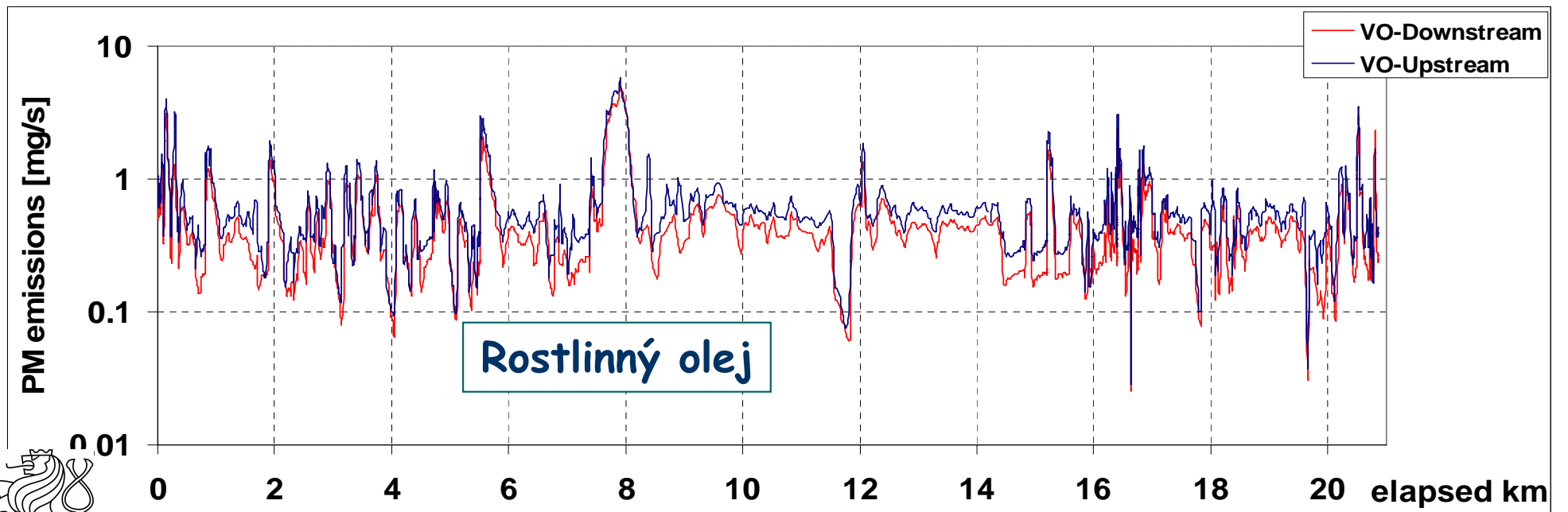




# Měření emisí - San Diego, Kalifornie - VW Jetta - použitý fritovací olej

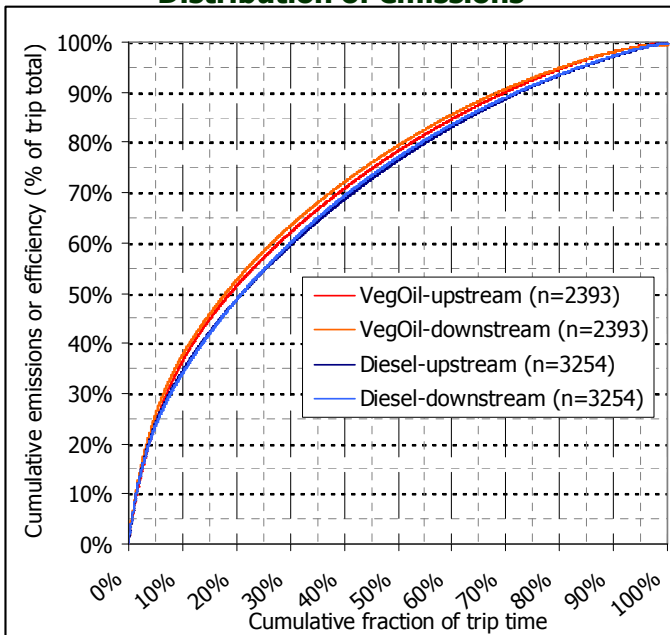


# Měření emisí částic a účinnosti oxidačního katalyzátoru VW Jetta, 20,9 km zkušební trat'

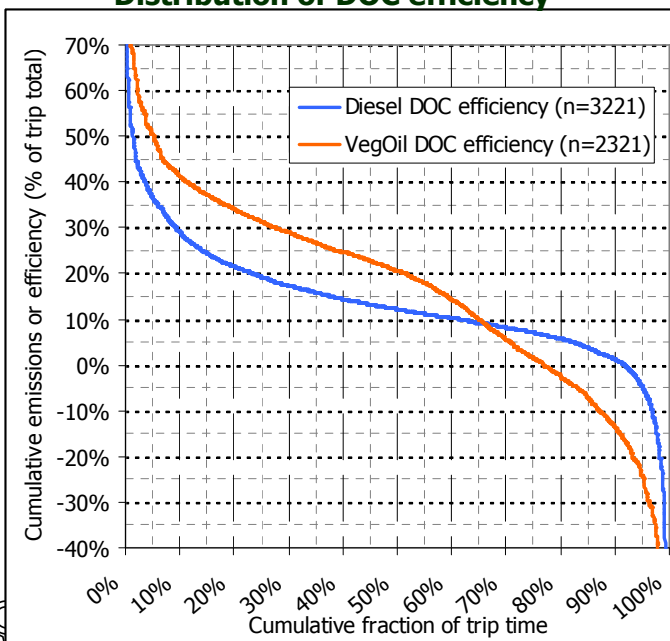


# Měření emisí částic a účinnosti oxidačního katalyzátoru

Distribution of emissions



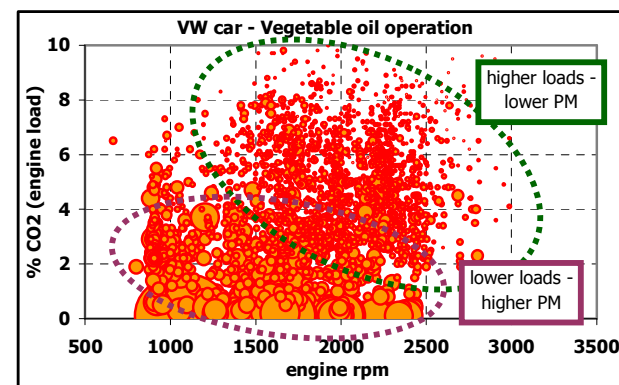
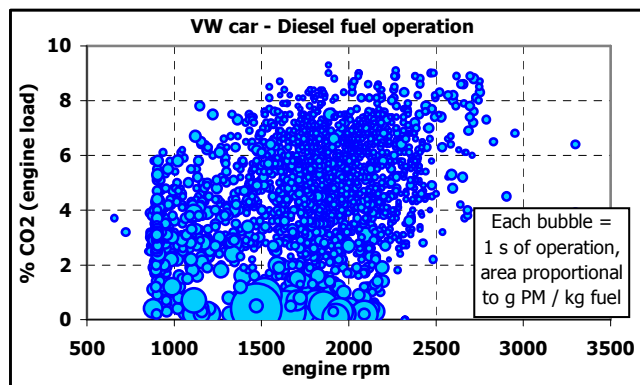
Distribution of DOC efficiency



Měření emisí z vozidel poháněných použitým fritovacím olejem za reálného provozu

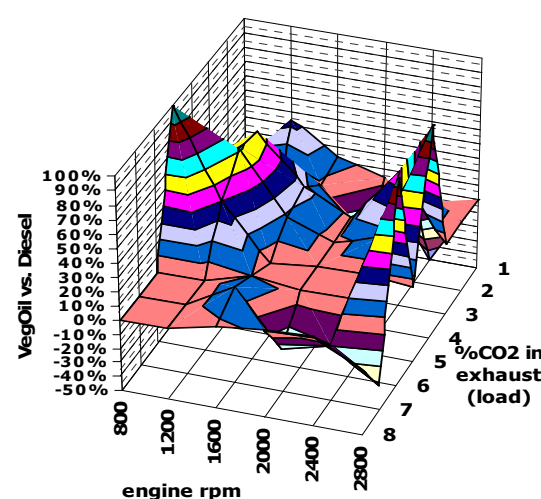
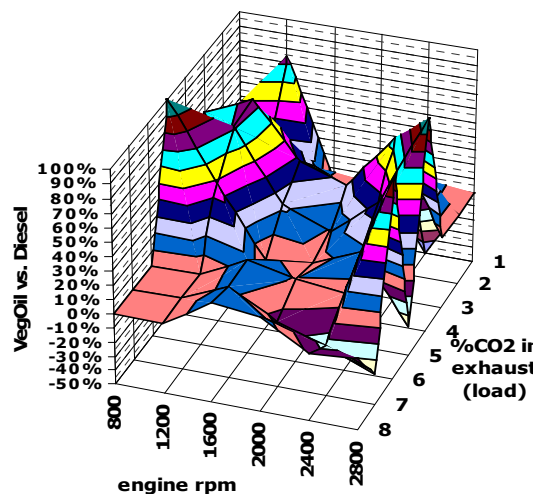
- Využití metody Monte-Carlo při zpracování dat

Vojtíšek-Lom, M.: Monte-Carlo characterization of the effect of powering of light diesel vehicles with non-esterified recycled frying oils on particulate matter exhaust emissions using a low-cost portable on-board measurement system. Sborník International Aerosol Conference, Helsinki, Finsko, září 2010.



VegOil vs. Diesel fuel – upstream of DOC

VegOil vs. Diesel fuel – downstream of DOC



# Velikostní spektra částic

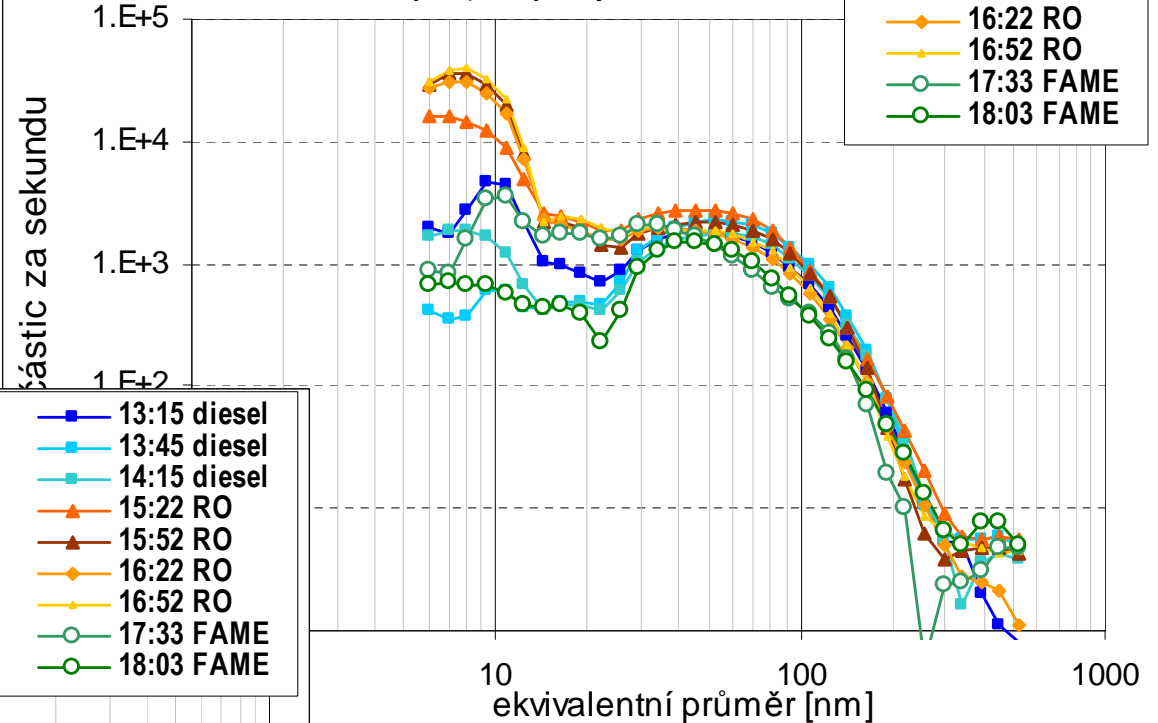
Motor Cummins ISBe4  
Nafta, bionafta,  
Rostlinný olej

Vojtíšek a kol., SAE 2011-24-0104

## Velikostní spektra částic - volnoběh

vznětový motor Cummins ISBe4

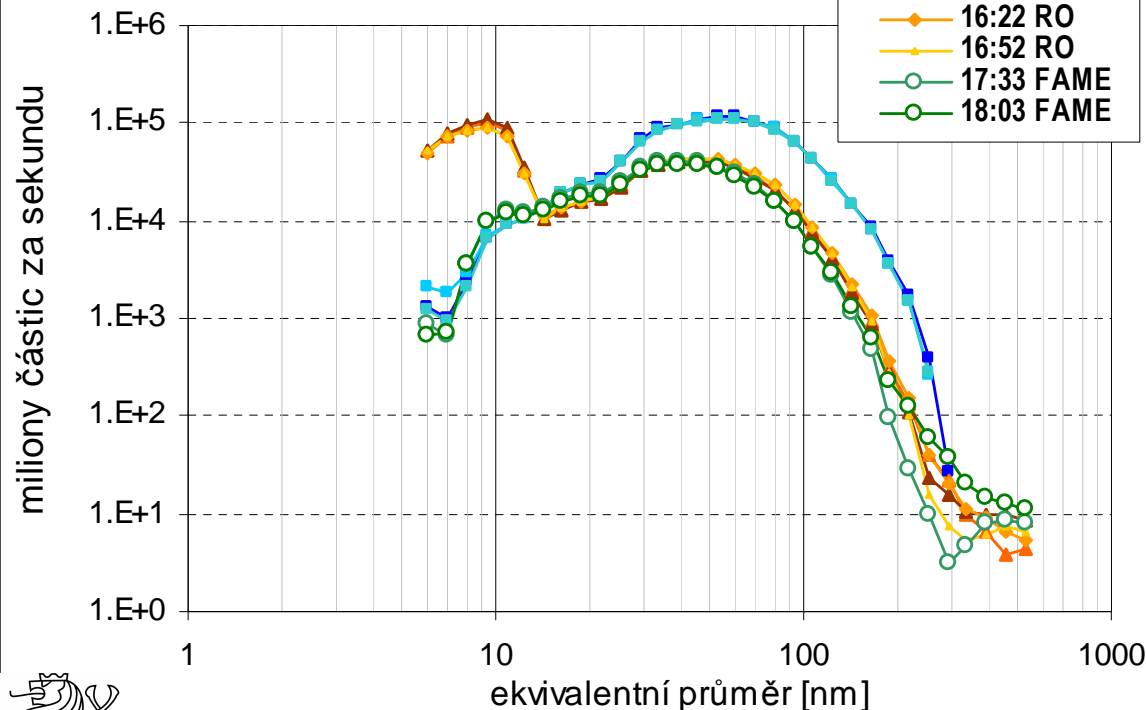
diesel = nafta, RO = ohřátý řepkový olej, FAME = bionafta



## Velikostní spektra částic - plný výkon

vznětový motor Cummins ISBe4

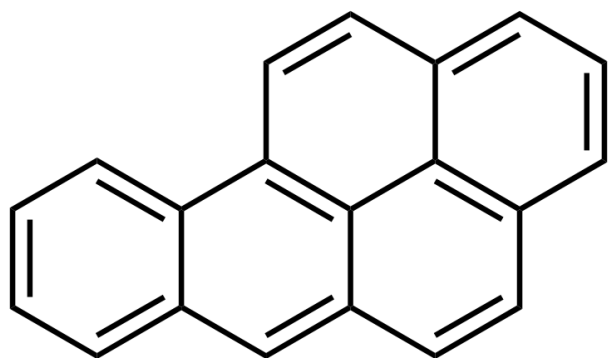
diesel = nafta, RO = ohřátý řepkový olej, FAME = bionafta



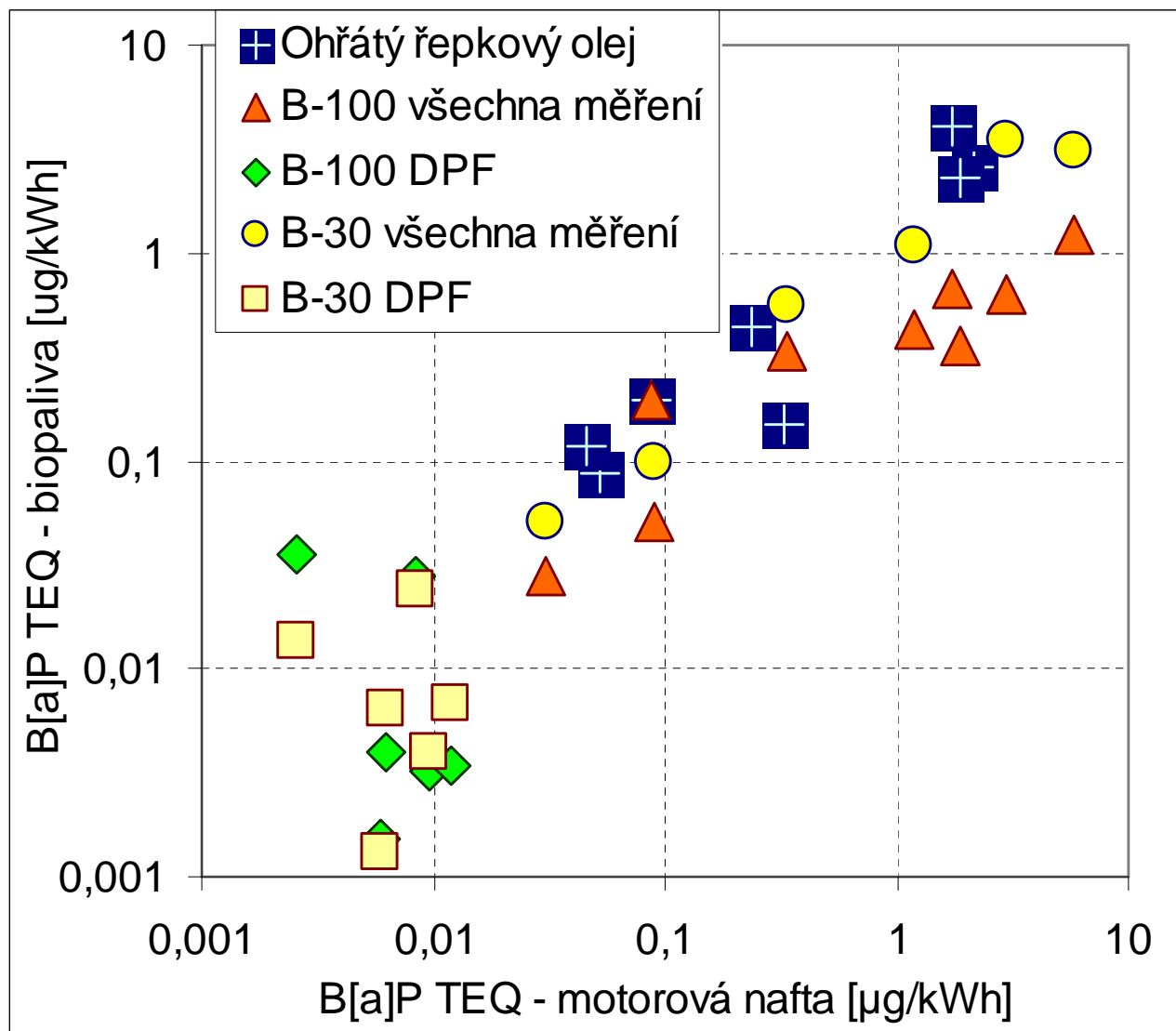
# Emise PAU při provozu na biopaliva vzhledem k motorové naftě

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).

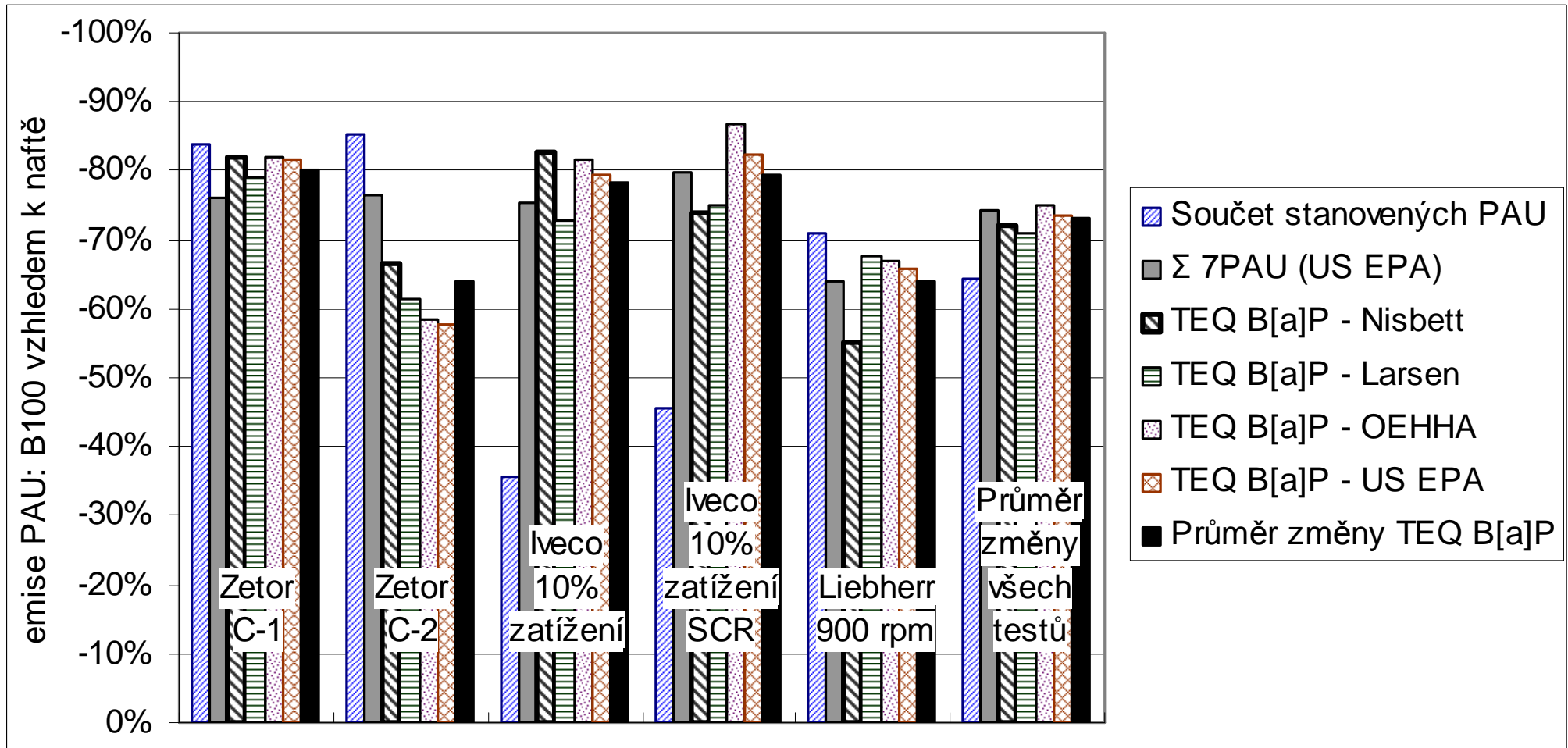


benzo(a)pyren (BaP).



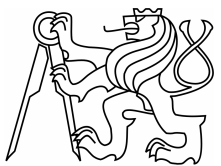
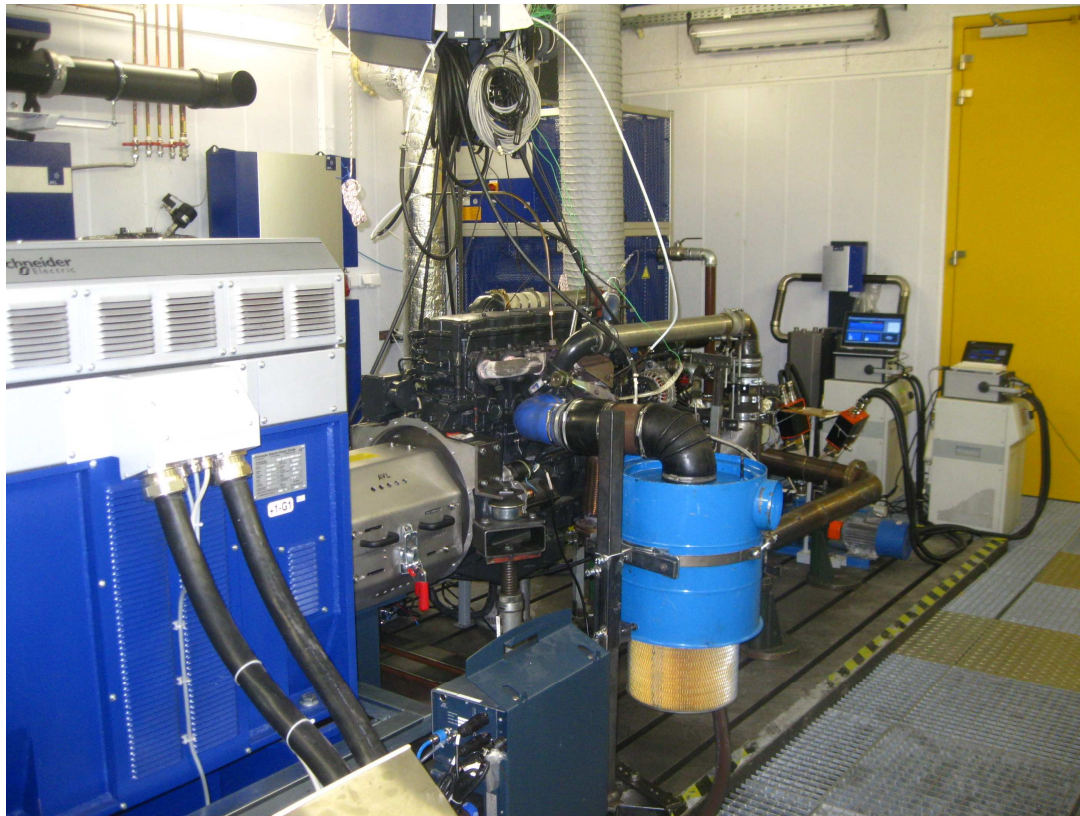
# Emise PAU při provozu na B-100 vzhledem k motorové naftě

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



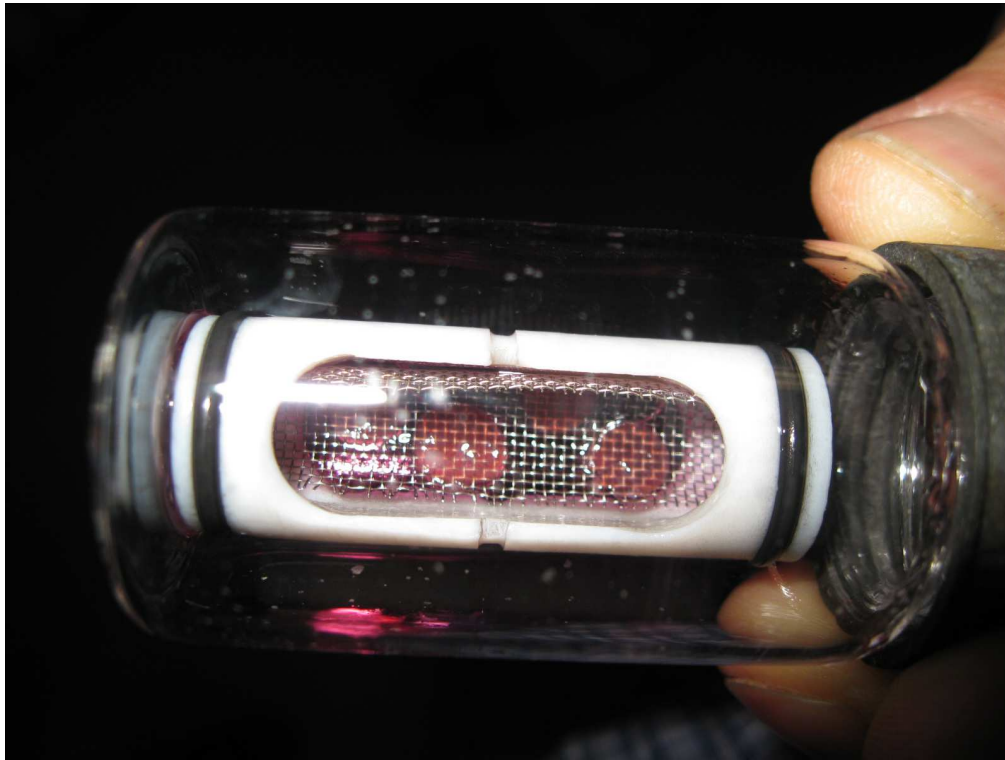
# Toxikologické zkoušky - vzorkování částic vysokoobjemovými vzorkovači s následnou extrakcí částic nebo organických látek a in-vitro studii

## Spolupráce autora s Ústavem experimentální medicíny AV ČR



# Toxikologické zkoušky - vystavení řezů plic potkanů výfukovým plynům

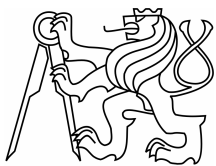
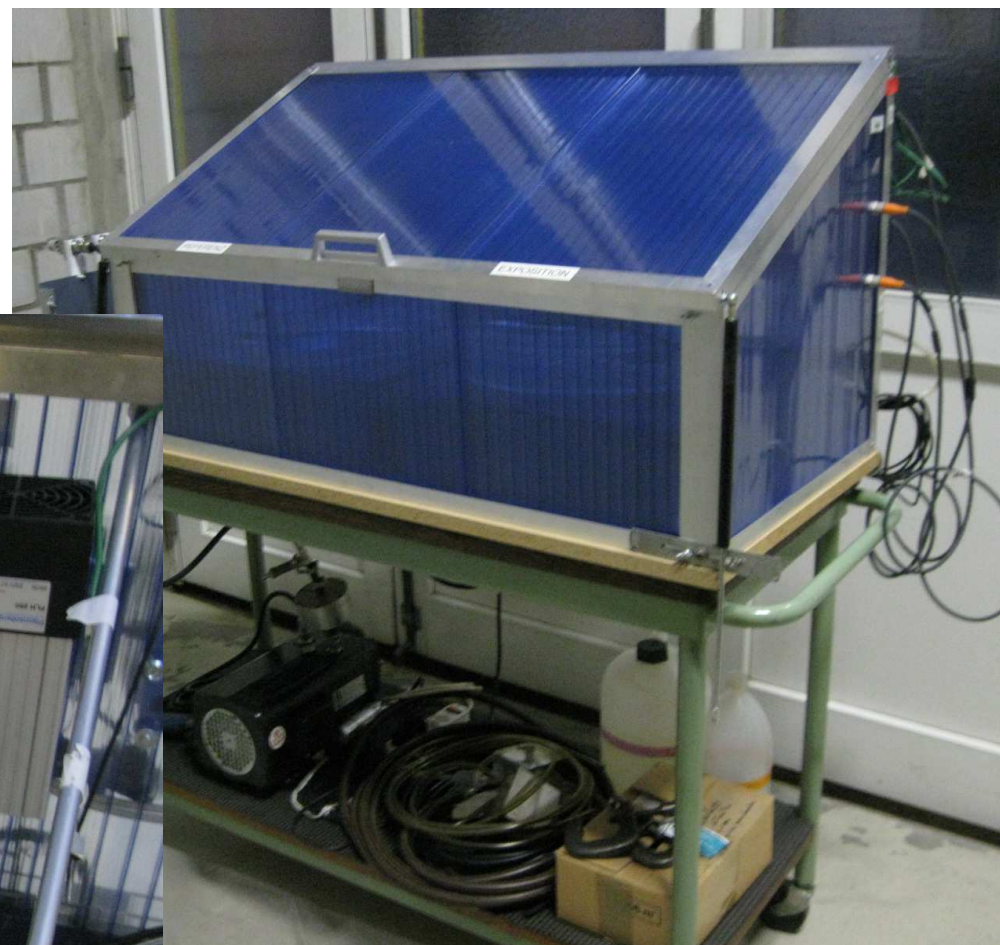
Prof. Jean-Paul Morin, Université de Rouen, Francie





# Toxikologické zkoušky - vystavení buněčných kultur výfukovým plynům

Prof. Barbara Rothen, Université de Fribourg, Švýcarsko



## Souhrn a závěry

- Ve vznětových motorech využívána bionafta, v koncentracích jednotek procent, cca 30%, a 100%.
- Ve vznětových motorech jsou také využívány různé rostlinné oleje; kvalita paliva má zásadní vliv na chod a životnost motoru a emise.
- Biopaliva - potenciál lokální výroby paliva a snížení  $CO_2$ .
- Čistá bionafta snižuje hmotnost emitovaných částic o přibližně polovinu, a emise karcinogenních polycyklických aromatických uhlovodíků o desítky procent (70% dle měření autora).
- Bionafta je oproti naftě méně toxická, méně nebo srovnatelně toxické se zdají být i výfukové emise, s občasným zvýšením toxicity.
- Hladina emisí motoru daná konstrukcí, seřízením, technickým stavem a provozními podmínkami má větší vliv než použité palivo.
- Hodnocení dopadu nových paliv a technologií motoru na lidské zdraví je jednou z priorit výzkumu v oblastech motorů i kvality ovzduší.

