

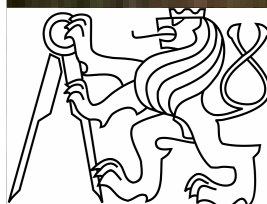
Biopaliva ve spalovacích motorech a jejich vliv na výfukové emise

Michal Vojtíšek

Fakulta strojní ČVUT v Praze

michal.vojtisek@fs.cvut.cz

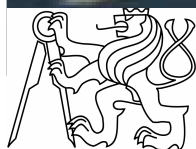
tel. (+420) 774 262 854



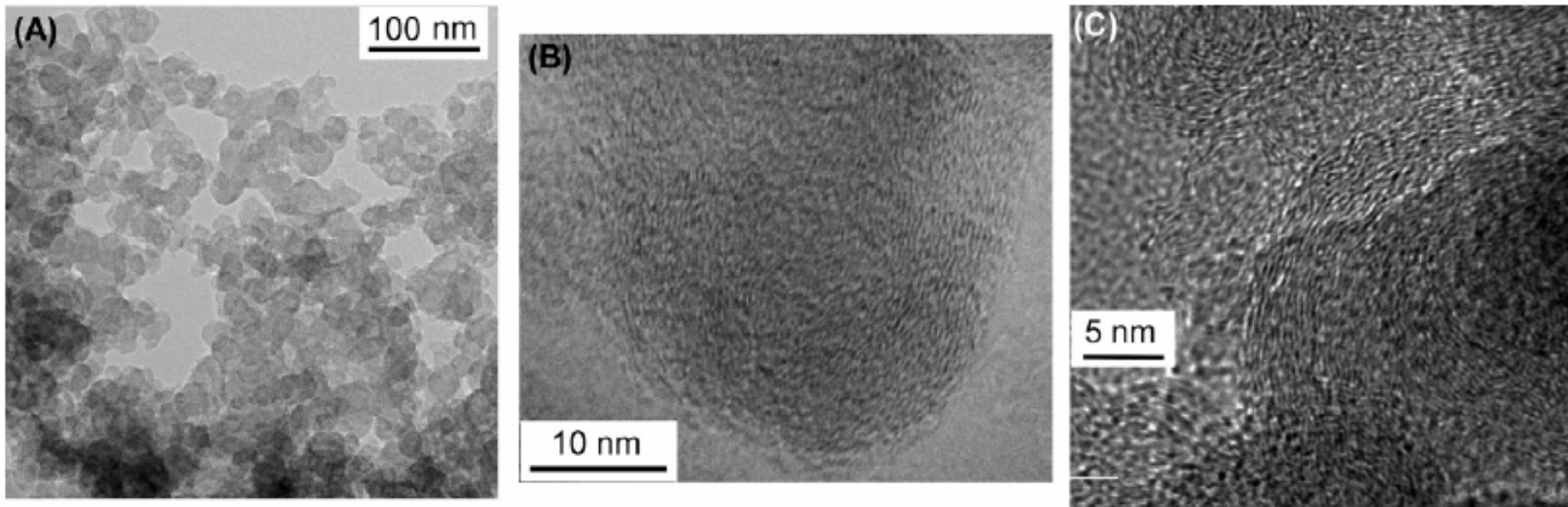
Seminář Přírodovědecké fakulty UK
4. března 2015

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



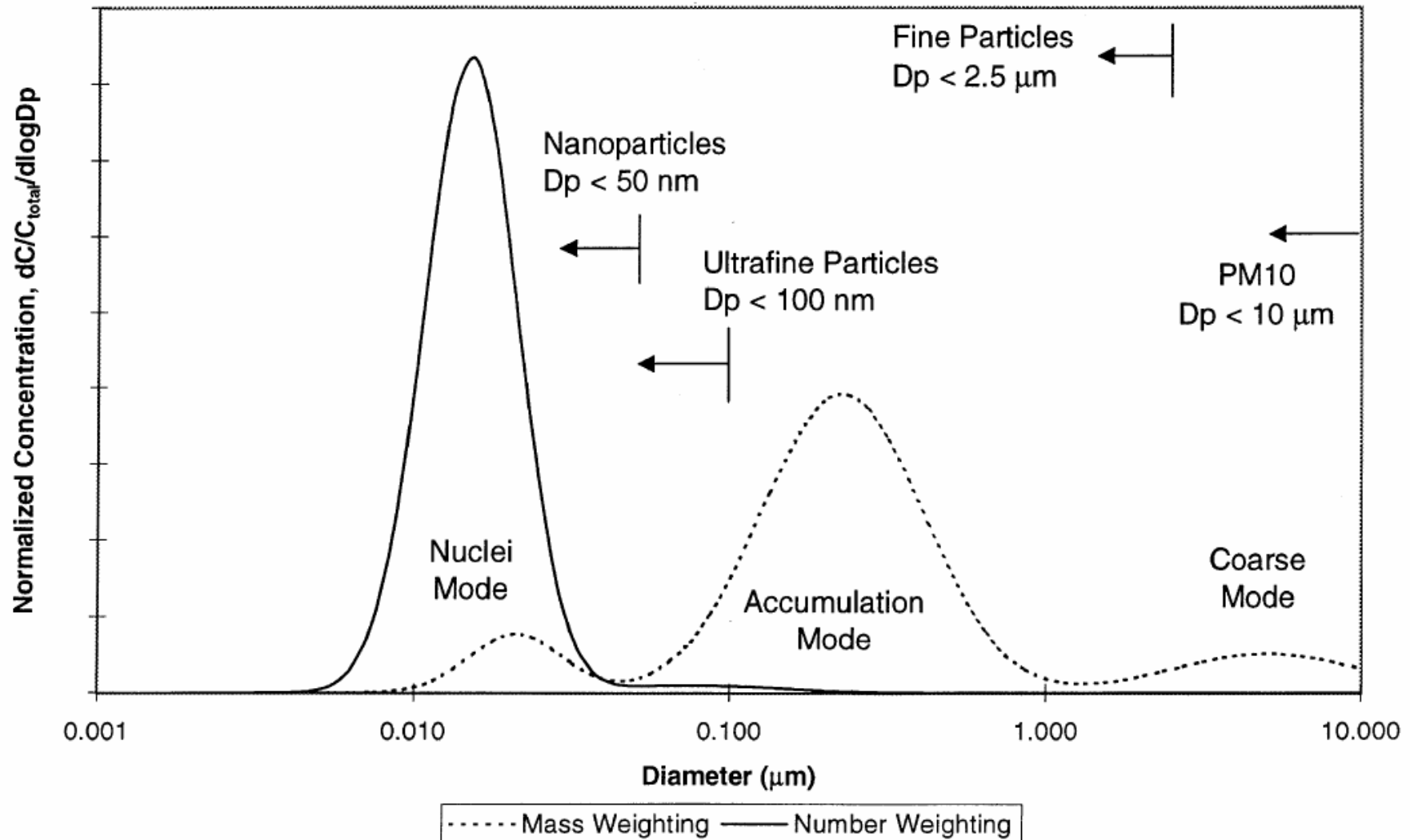
Částice ve výfukových plynech naftového motoru



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

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



Zachycovací účinnosť dýchacieho systému

Fractional Deposition of Inhaled Particles (Oberdörster)

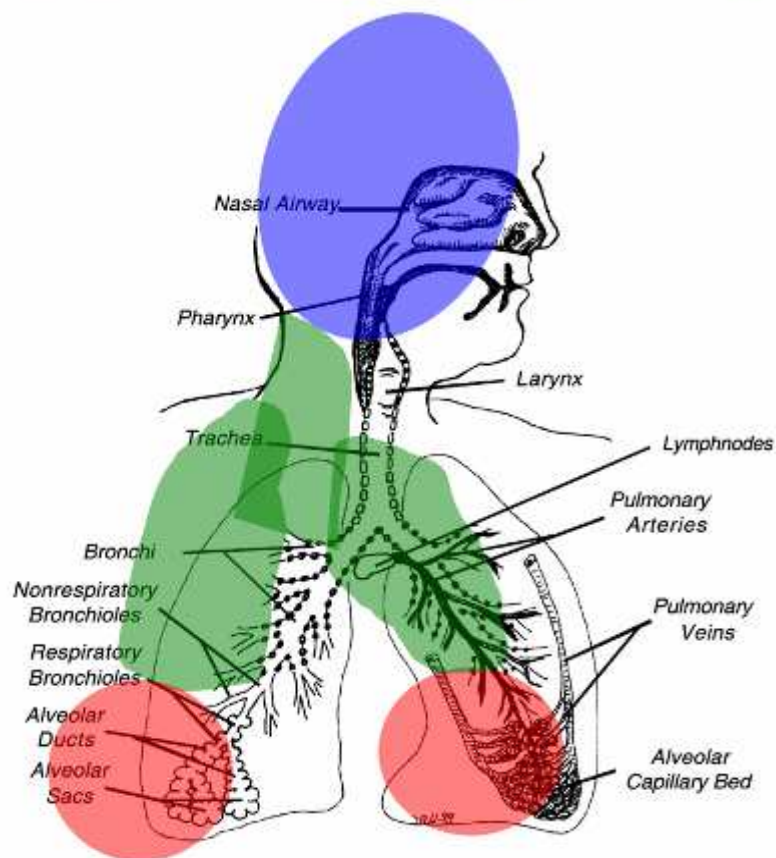
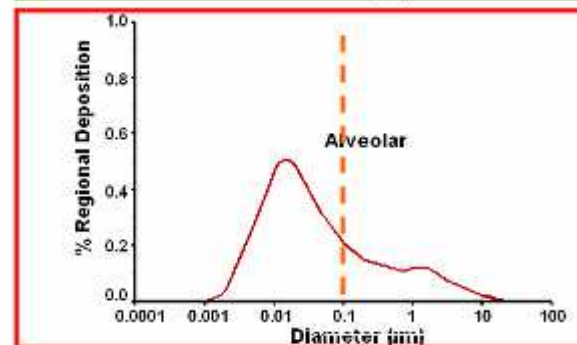
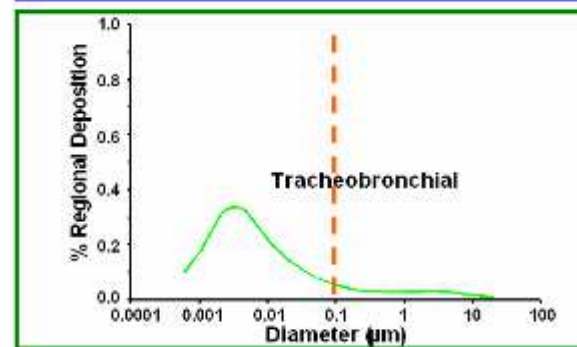
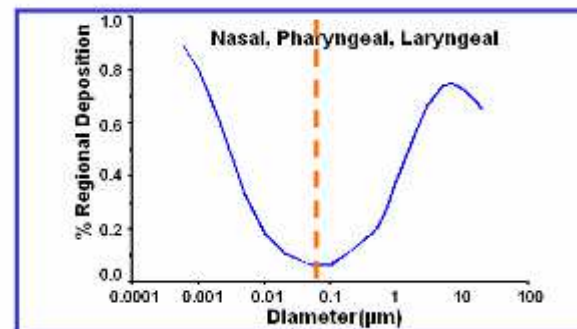
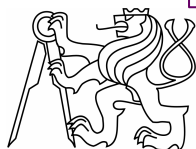


Figure courtesy of J.Harkema



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



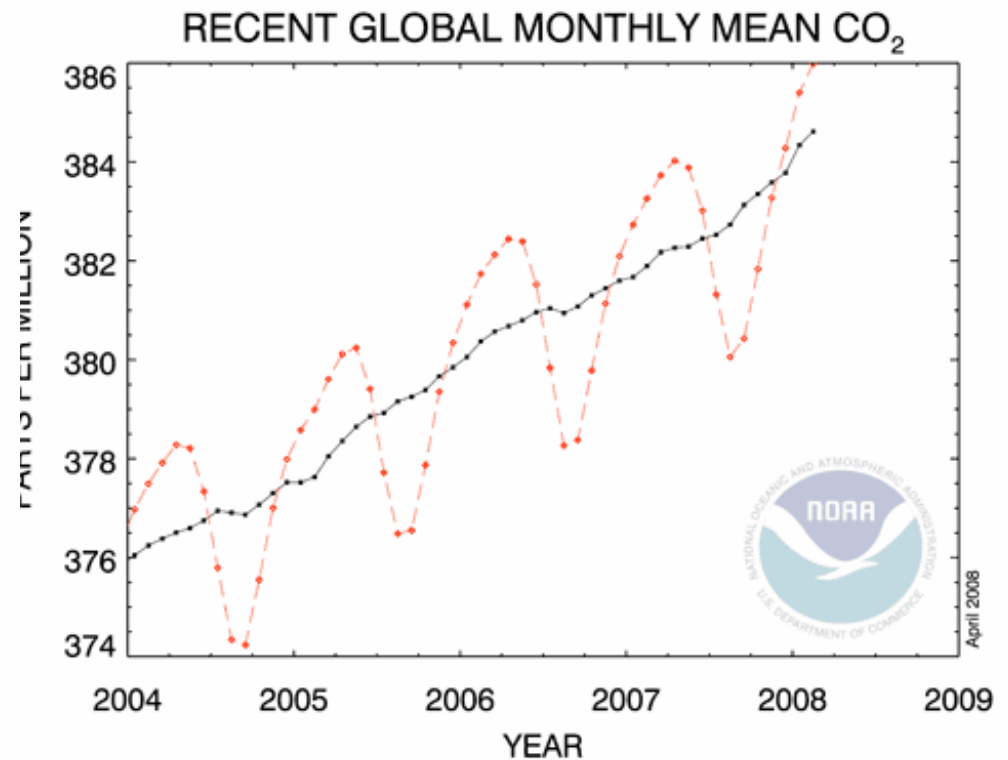
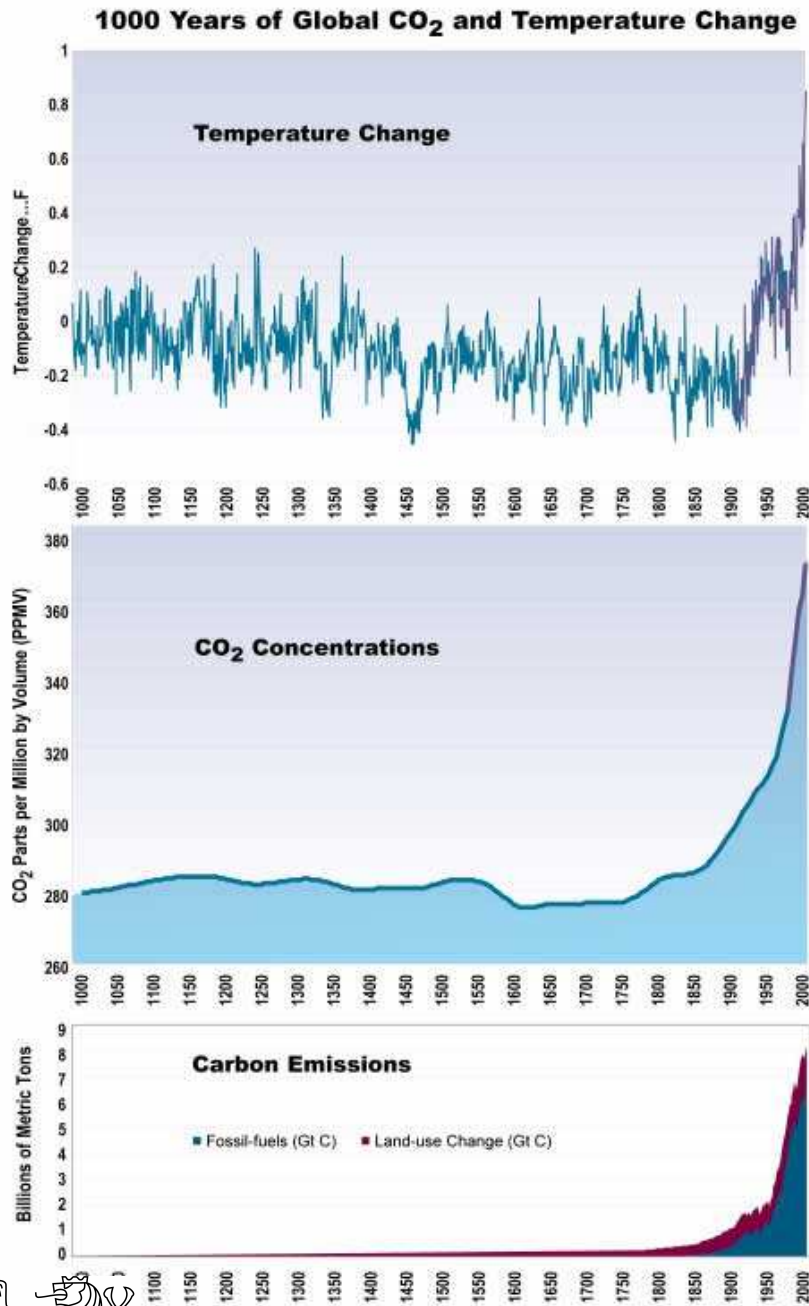
**Částice a ozon v přízemních
vrstvách atmosféry jsou příčinou
cca 406 tisíc předčasných úmrtí
v EU ročně
(dopravní nehody „jen“ 39 tisíc)**

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.**



Emise skleníkových plynů, trendy koncentrace CO₂, trendy průměrné teploty



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)

Dimetyléter

n-butanol, iso-butanol



...

Historické využití:
Parní stroj (dřevo)
Dřevoplyn



Čerpací stanice - Býšť



Provozní doba:

NON-STOP, 22 - 5 tankautomat

Pohonné hmoty:



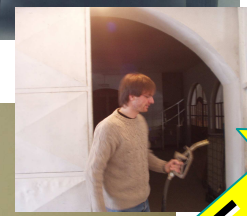
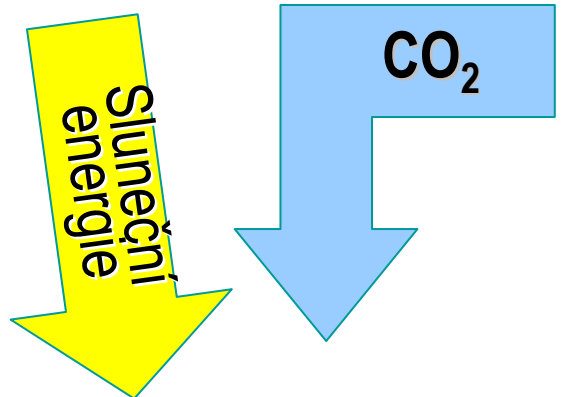
http://www.km-prona.cz/Seznam_cerpacich_stanic.htm?stanice=Cerpaci_stanice_-_Byst#seznam

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

8



Koloběh uhlíku u rostlinného oleje



DOPRAVA

TEPLO



OLEJ

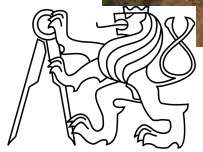
POKRUTINY



Olejnate plodiny

Živiny (popel)

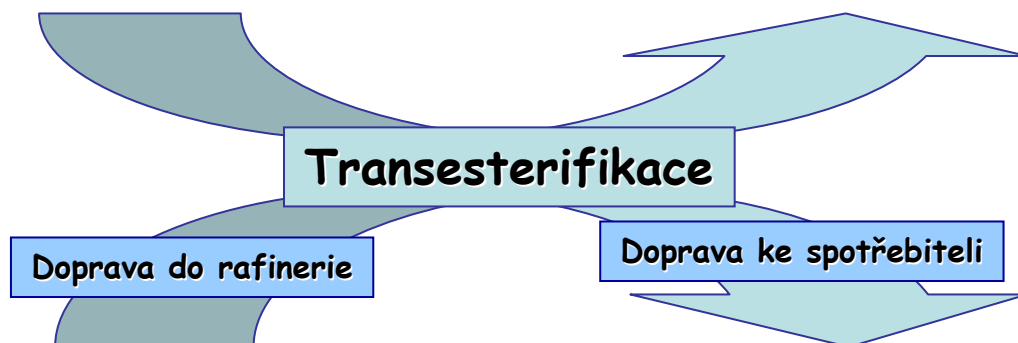
CO₂



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 !!!

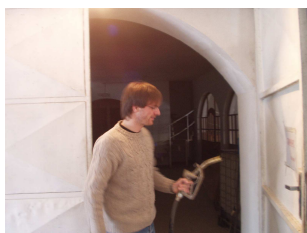
**Záleží na technologii a zda k výrobě paliva
energií z fosilních či obnovitelných zdrojů.**



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

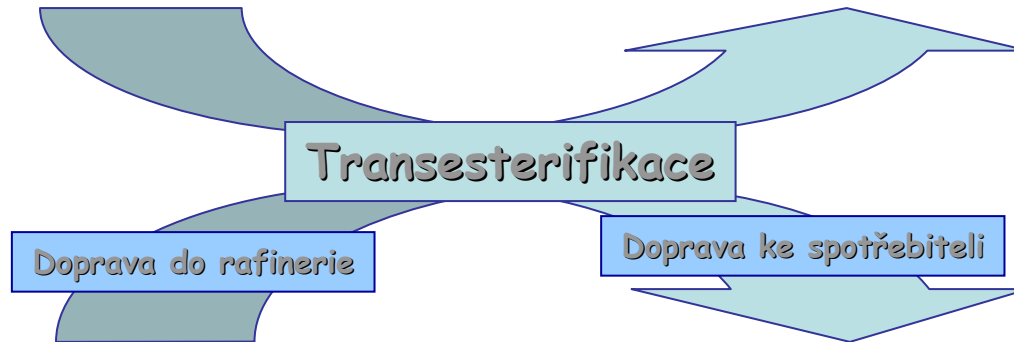
Vliv biopaliv na emise spalovacích motorů
Michal Vojtíšek – Seminář PŘF UK, 4.3.2015



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

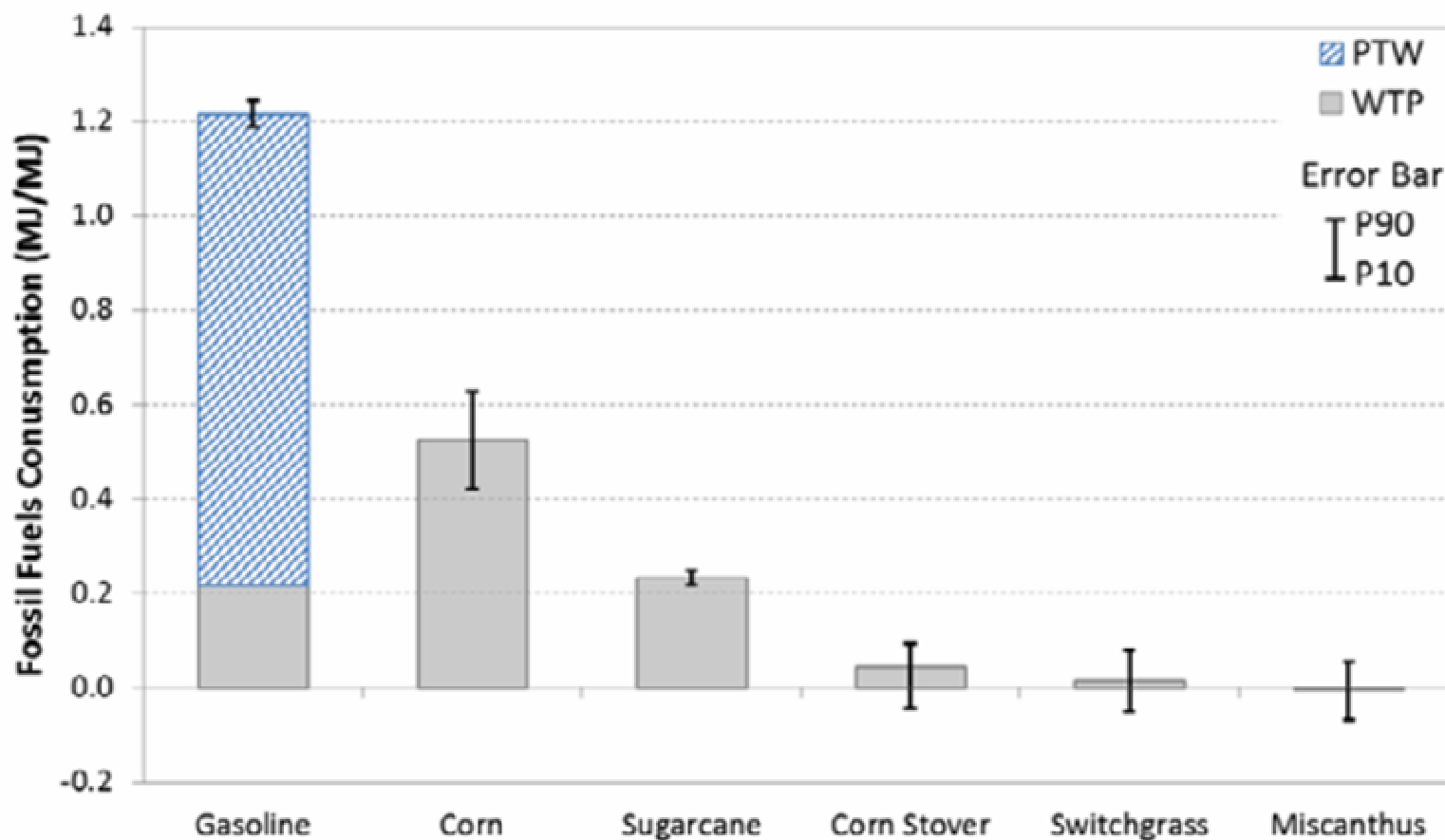


Současná energetická náročnost:

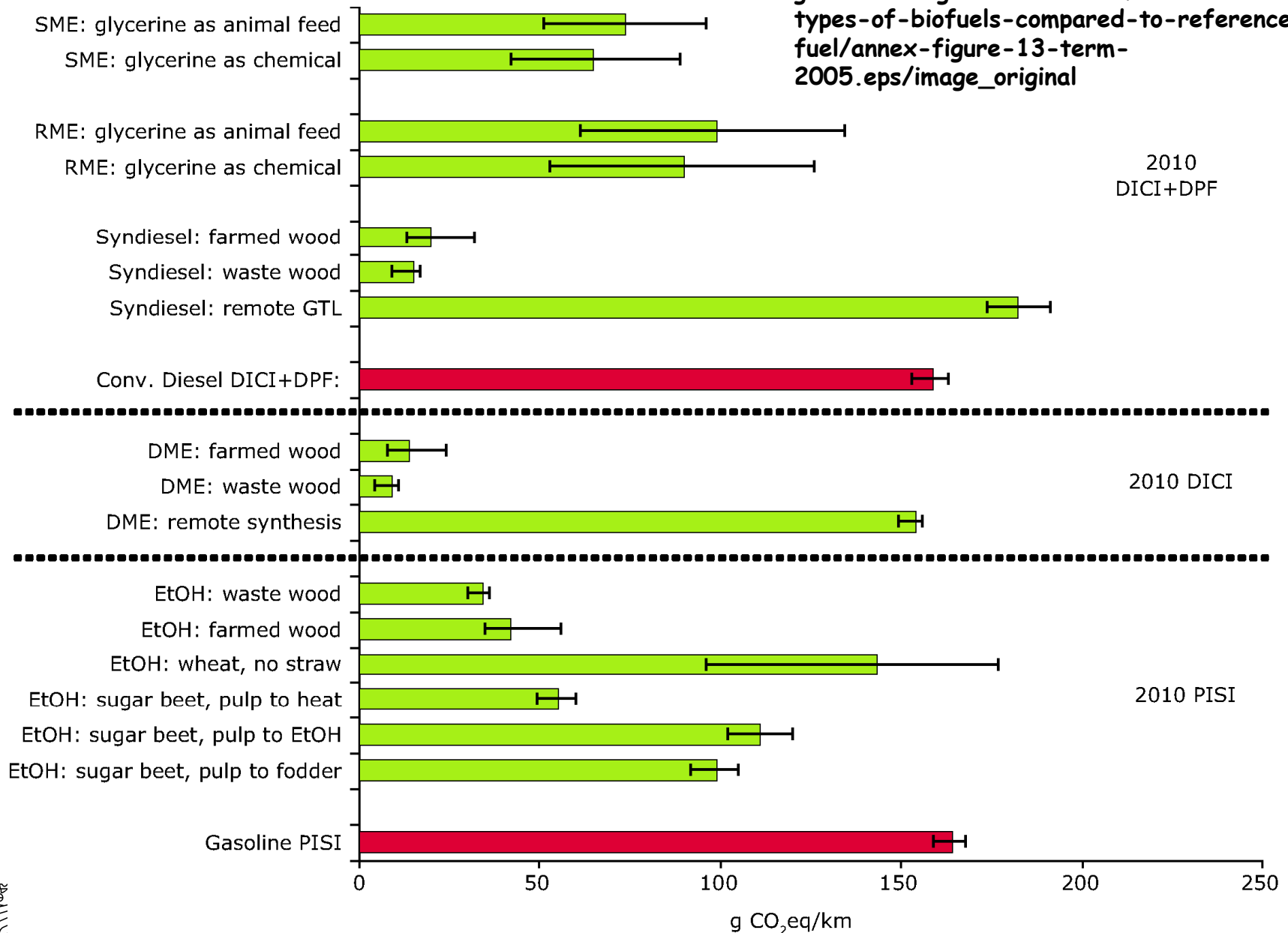
0.13-0.36 MJ z fosilních zdrojů na 1 MJ
(bionafta: 0.4-0.5 fosilních MJ / MJ v bionaftě,
Ropná nafta: 1.15 fosilních MJ / MJ nafty)



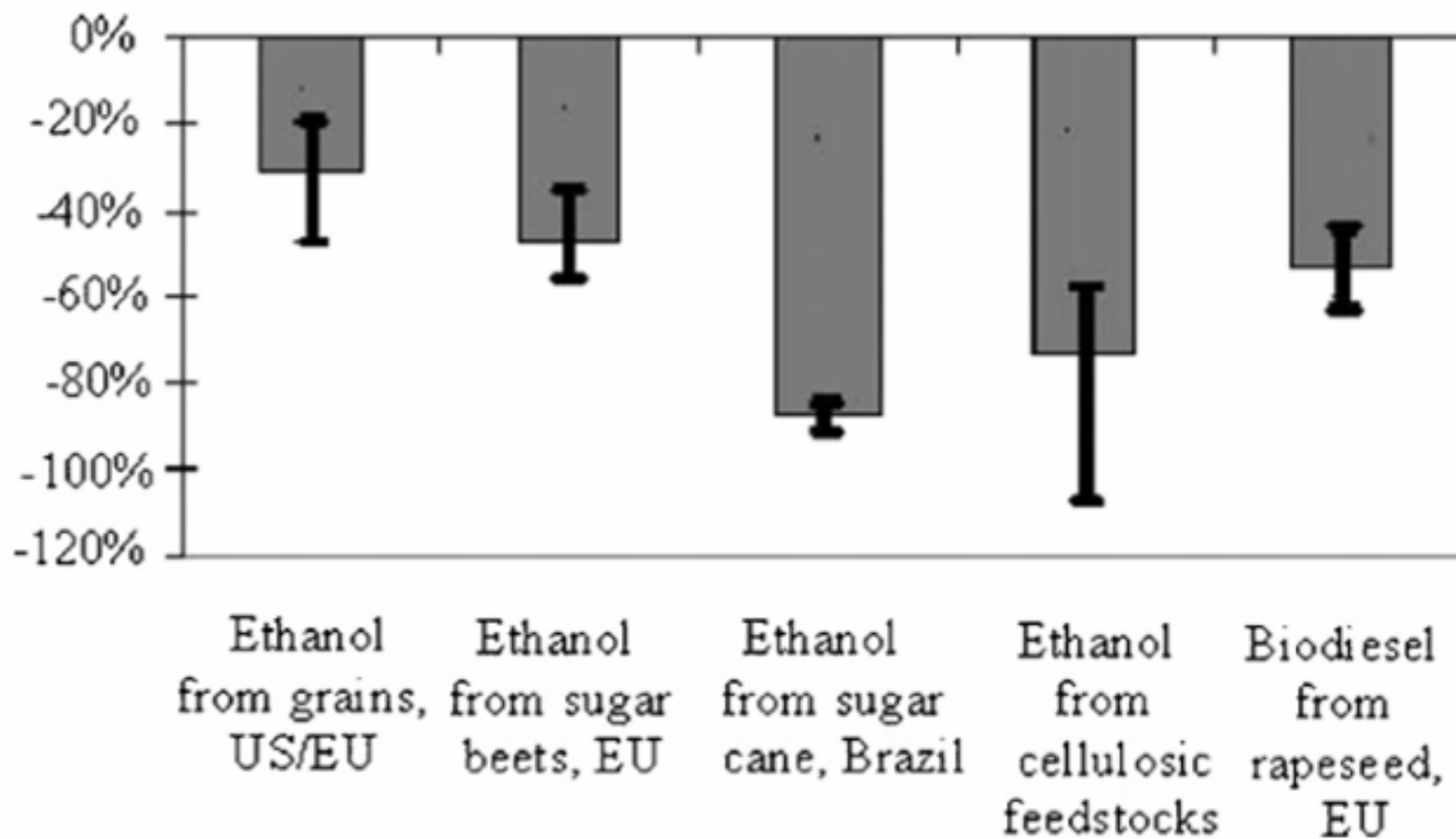
Wang et al., Environ. Res. Lett. 7 (2012) 045905
http://iopscience.iop.org/1748-9326/7/4/045905/pdf/1748-9326_7_4_045905.pdf



http://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

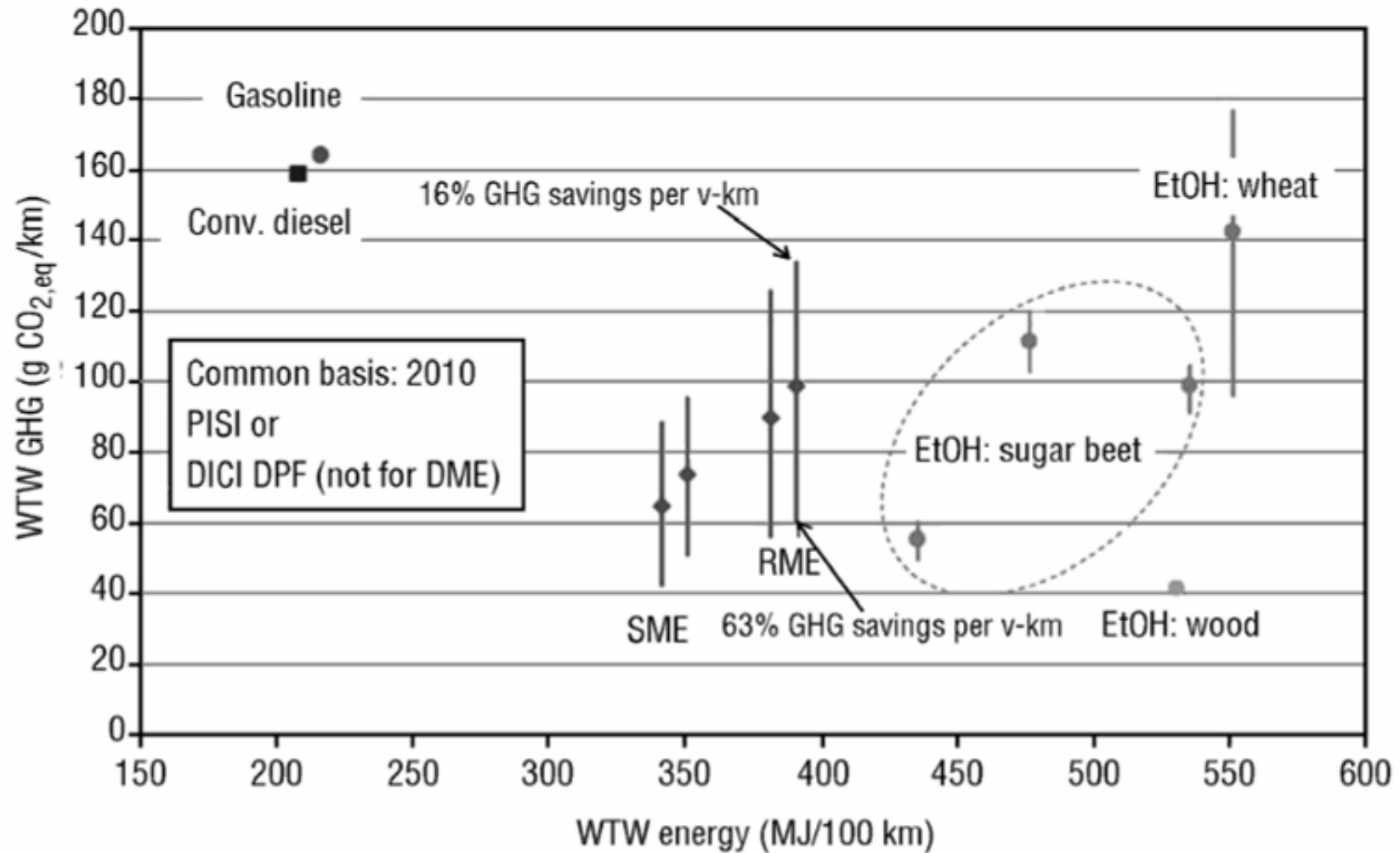


K. Bozbas / Renewable and Sustainable Energy Reviews 12 (2008) 542–552

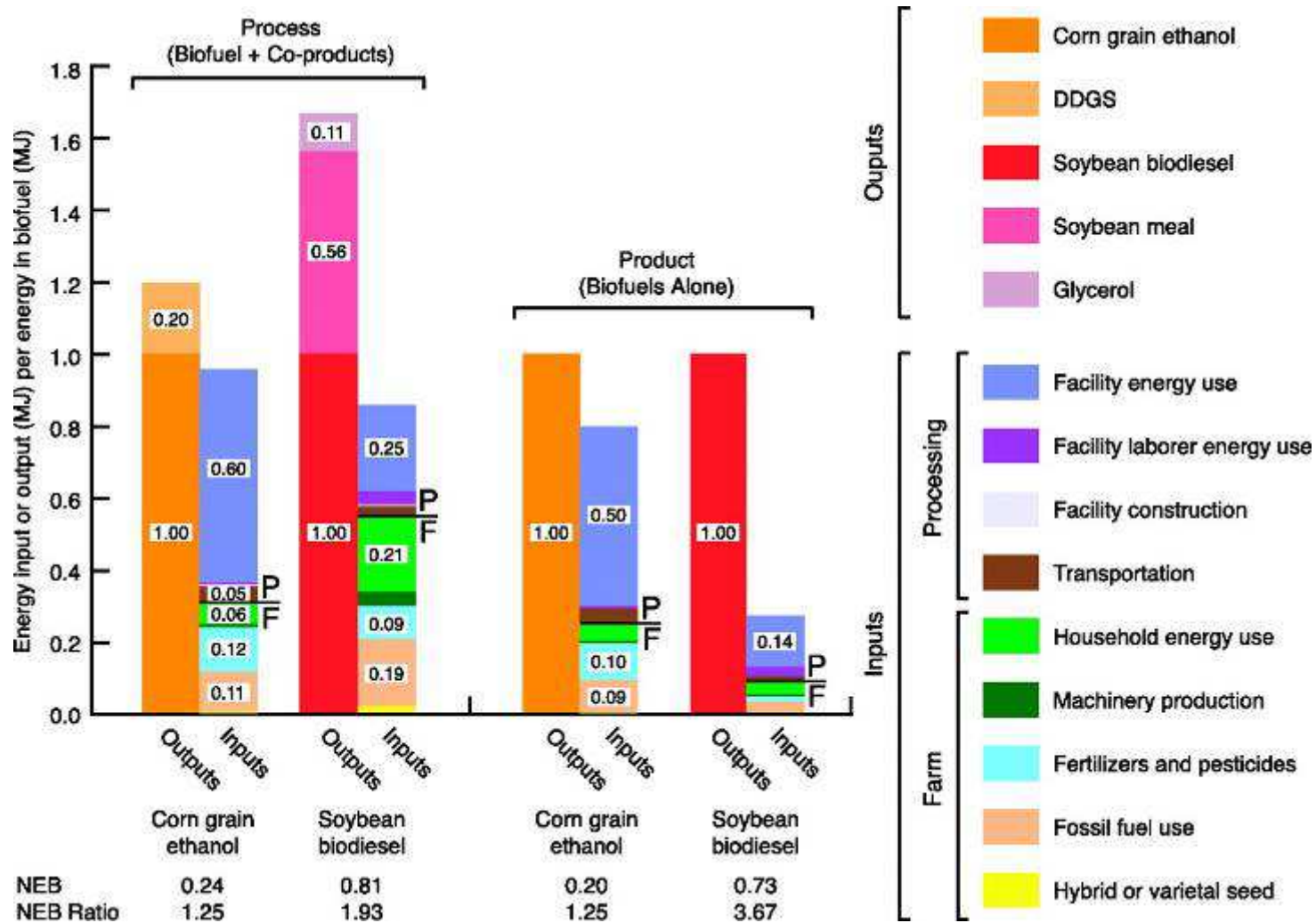


Larson, Energy for Sustainable Development, 10, 2, 2006, 109-126.

<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

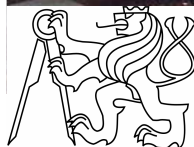
Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context. WELL-TO-TANK Report, Version 2c, March 2007. Appendix 2, strana 5 <http://ies.jrc.ec.europa.eu/WTW>

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



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

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**

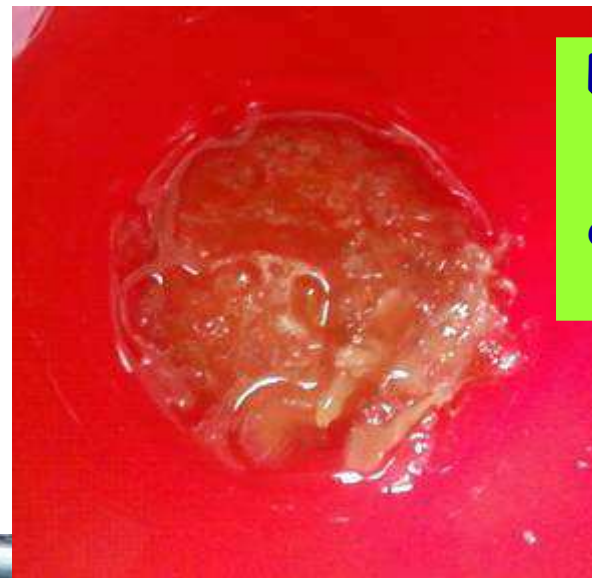


Různé druhy a kvality rostlinných olejů

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	Cycle	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	Cycle	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	Palivo	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%

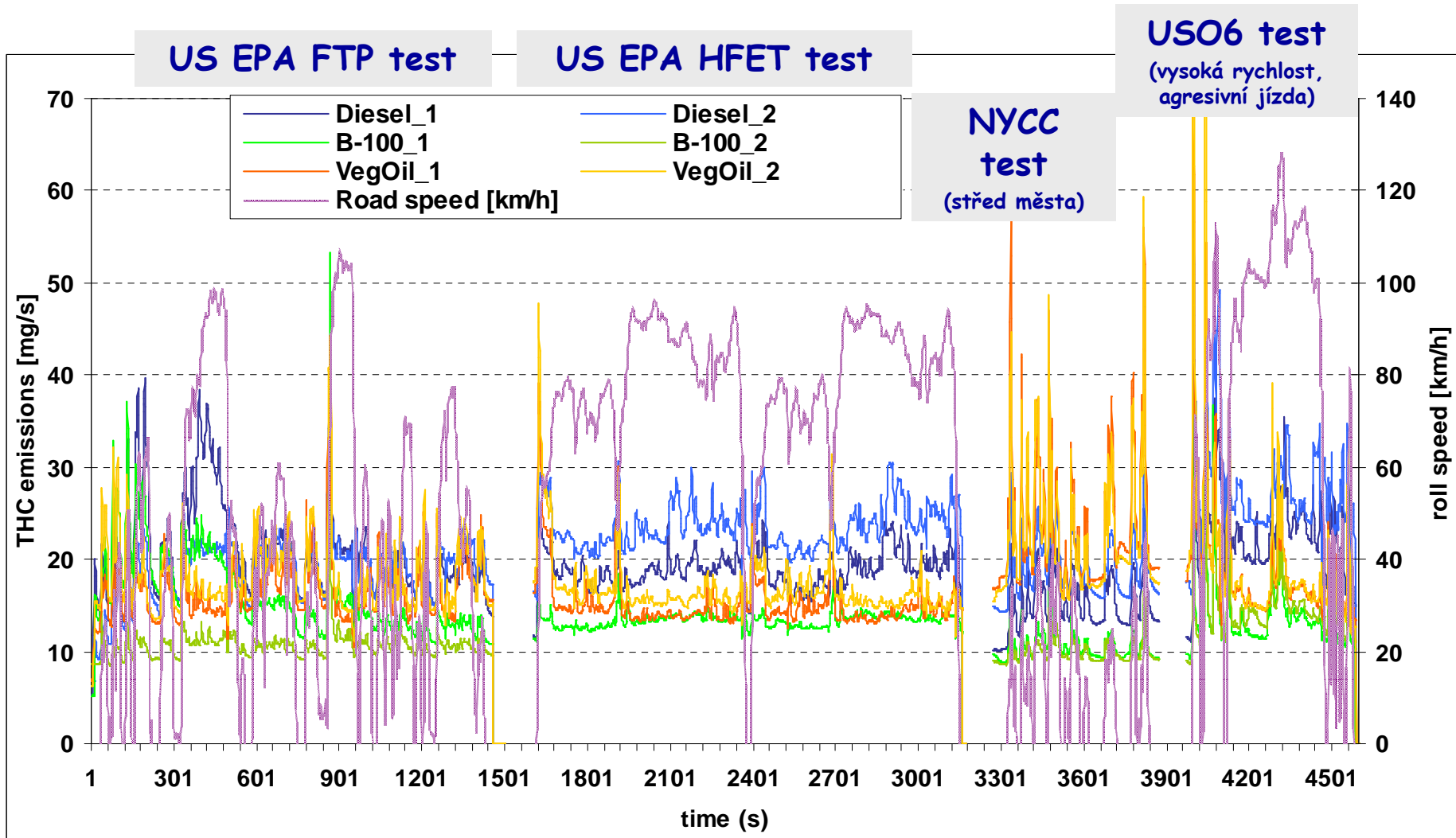


Poznámka: Orámované pole označuje statisticky významný rozdíl ($p < 0.05$)

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)



UNIVERSITY AT ALBANY
State University of New York

Uložení za jízdy
v odpruženém rámu

Napájení 12V, celkový
příkon za jízdy < 300W

IR spektrum

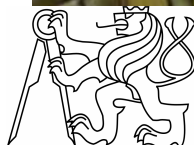
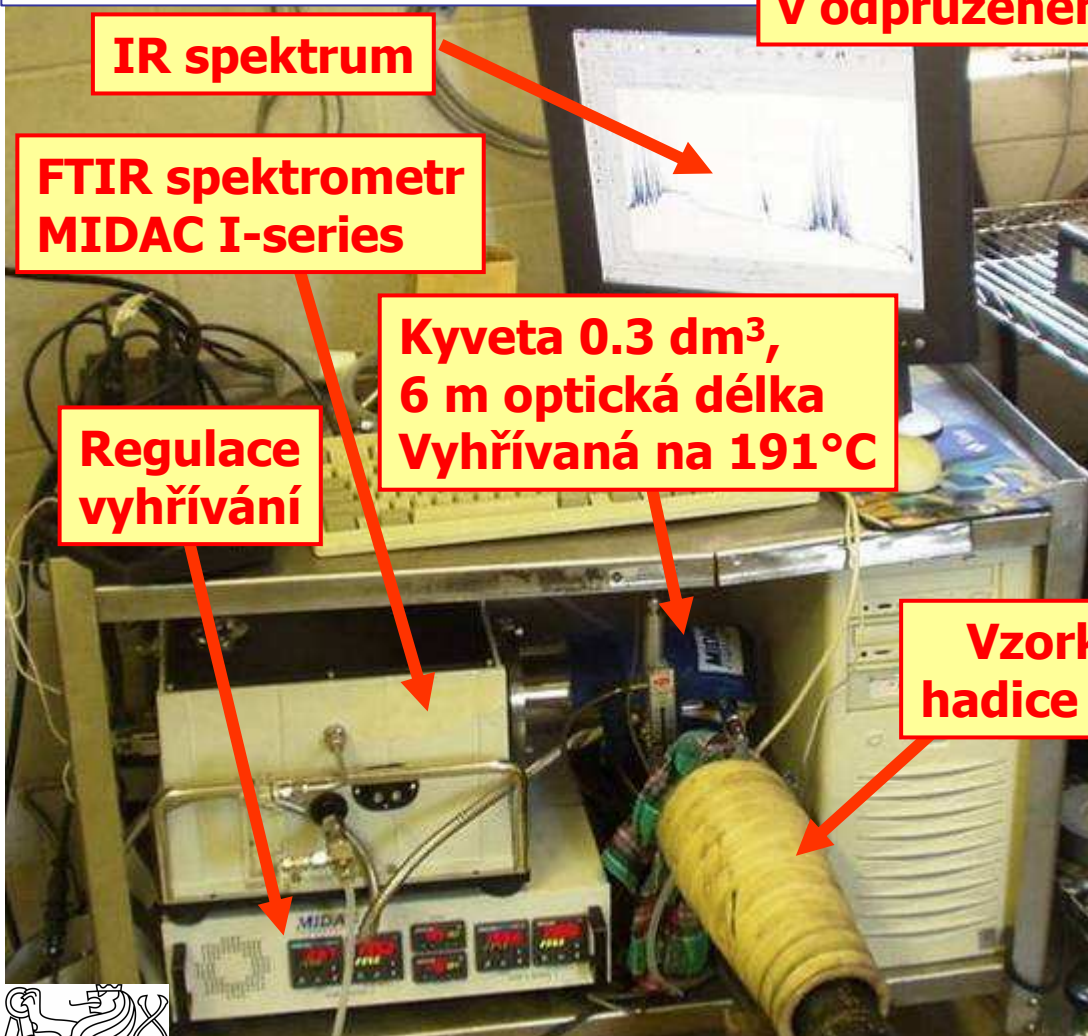
FTIR spektrometr
MIDAC I-series

Kyveta 0.3 dm³,
6 m optická délka
Vyhřívána na 191°C

Regulace
vyhřívání

Vzorkovací
hadice - 191°C

Ovládání za jízdy
průmyslovým PC



Emise skleníkových plynů

Emise CO₂ měřeny IR spektrometry

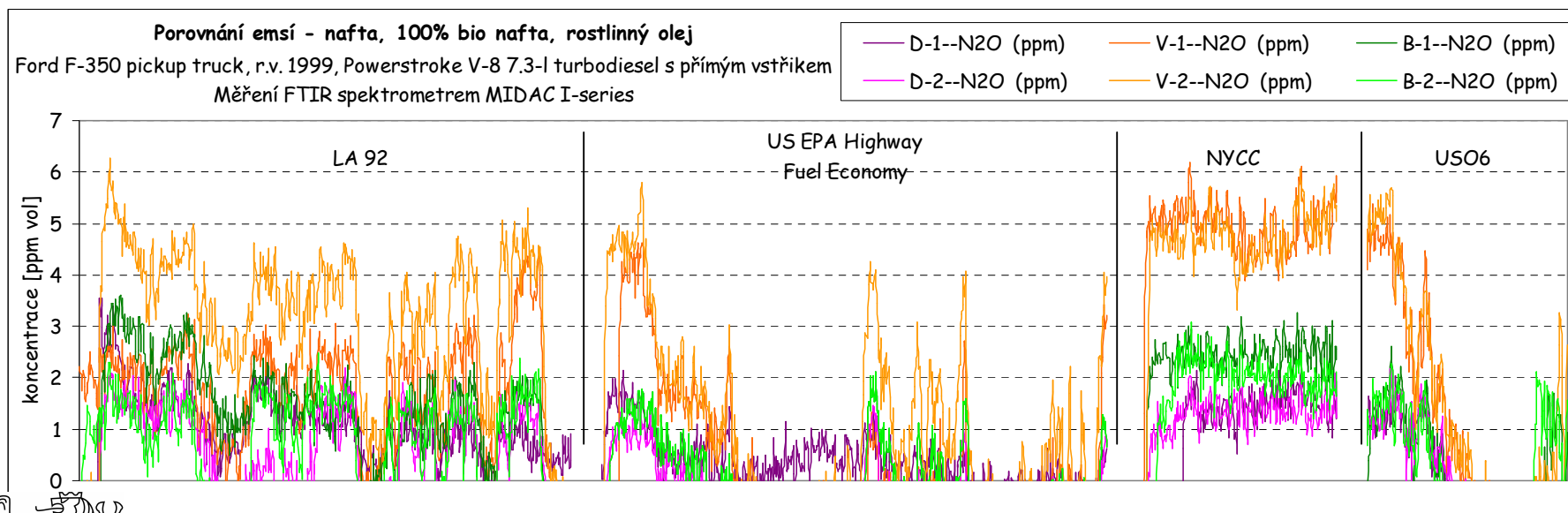
všechn uhlík v palivu však pochází z CO₂ absorbovaného rostlinami ze vzduchu - proto jsou výsledné přímé emise CO₂ ze spalování rostlinných olejů nulové

Emise oxidu dusného (N₂O) měřeny na vozidle Ford FTIR spektrometrem

Emise N₂O byly při provozu na rostlinný olej vyšší, ale koncentrace byly pouze jednotky ppm, tedy **nízké desetiny g na kg CO₂**

I při uvážení vyššího „skleníkového“ potenciálu N₂O se jedná o ekvivalent řádově 1% CO₂ vyprodukovaného při provozu na naftu.

Emise metanu (CH₄) byly měřeny na vozidle Ford FTIR spektrometrem a byly pod mezí detekovatelnosti (cca 1 ppm).



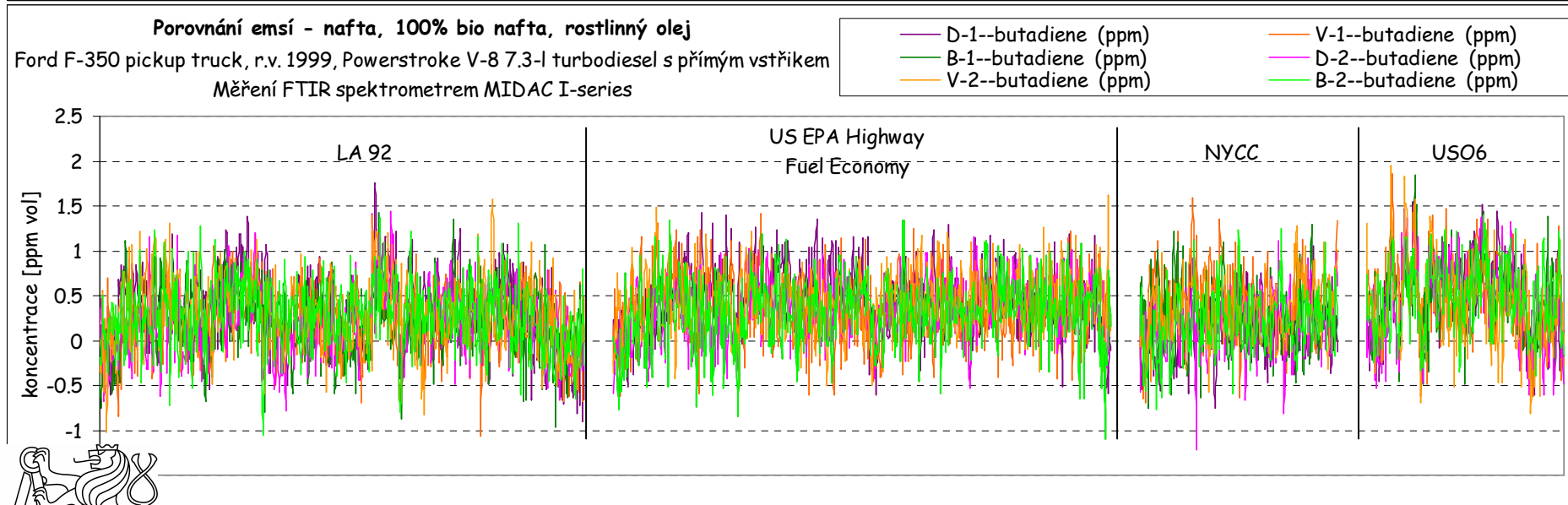
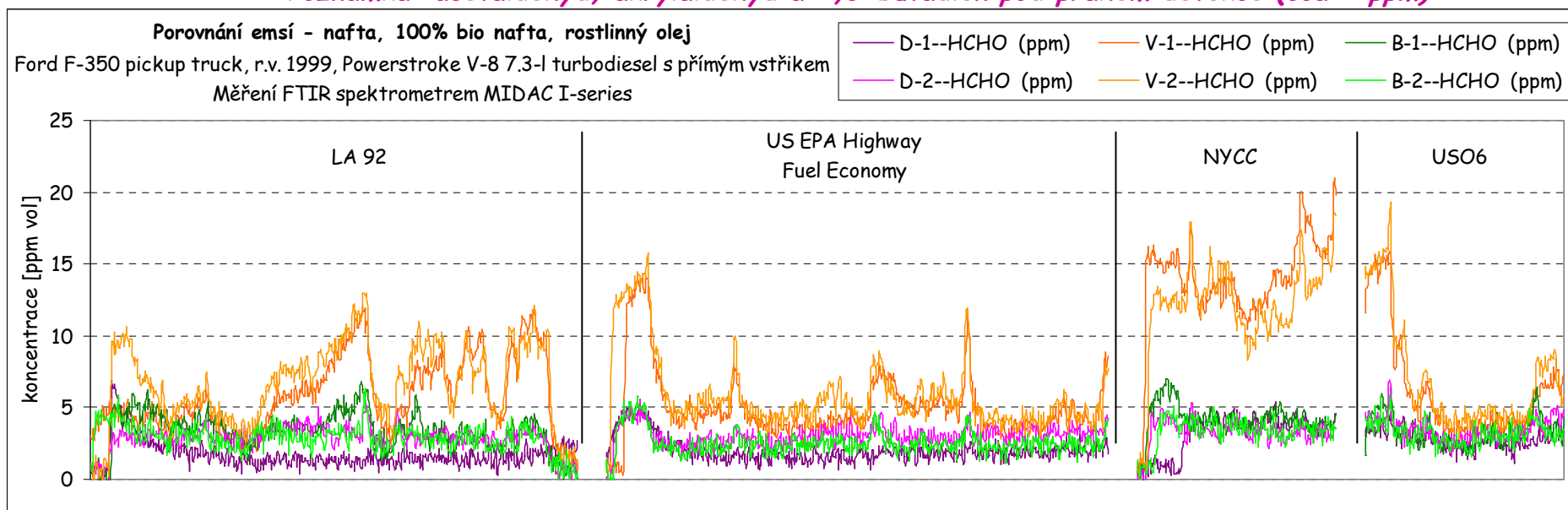
(Vojtisek-Lom, JRC Transp. and Env. 2007)



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)



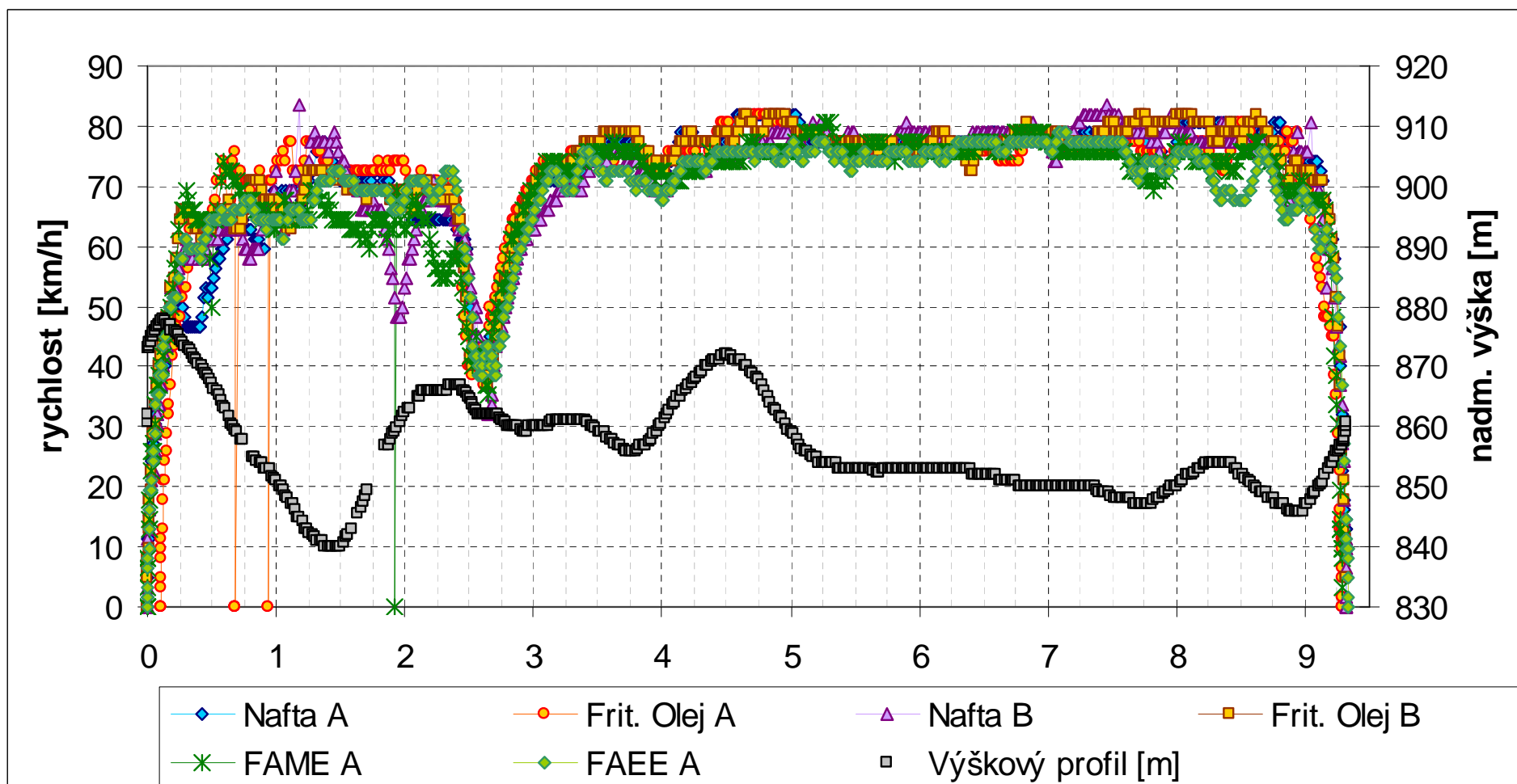
Biofuels workshop, Superior, Montana, 2001 - VW Transporter



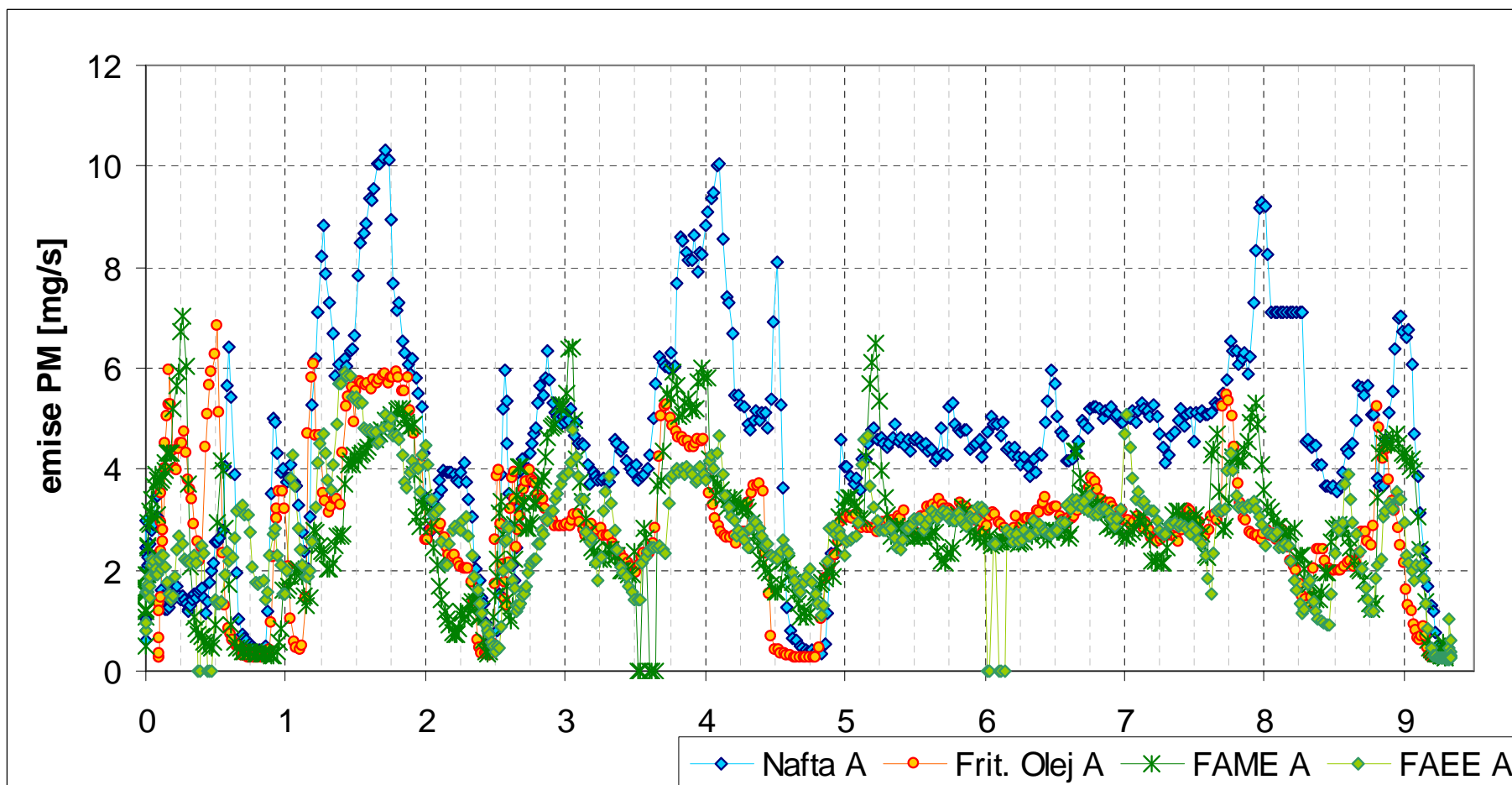
Biofuels workshop, Superior, Montana, 2001 - VW Transporter Metylestery a etylestery hořčičného a sojového oleje, surové oleje

Výsledky - rychlost jízdy a profil trati (GPS)

Výsledky vyneseny vzhledem k ujeté vzdálenosti (časy se neshodují)



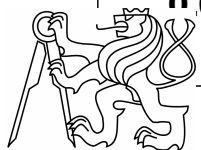
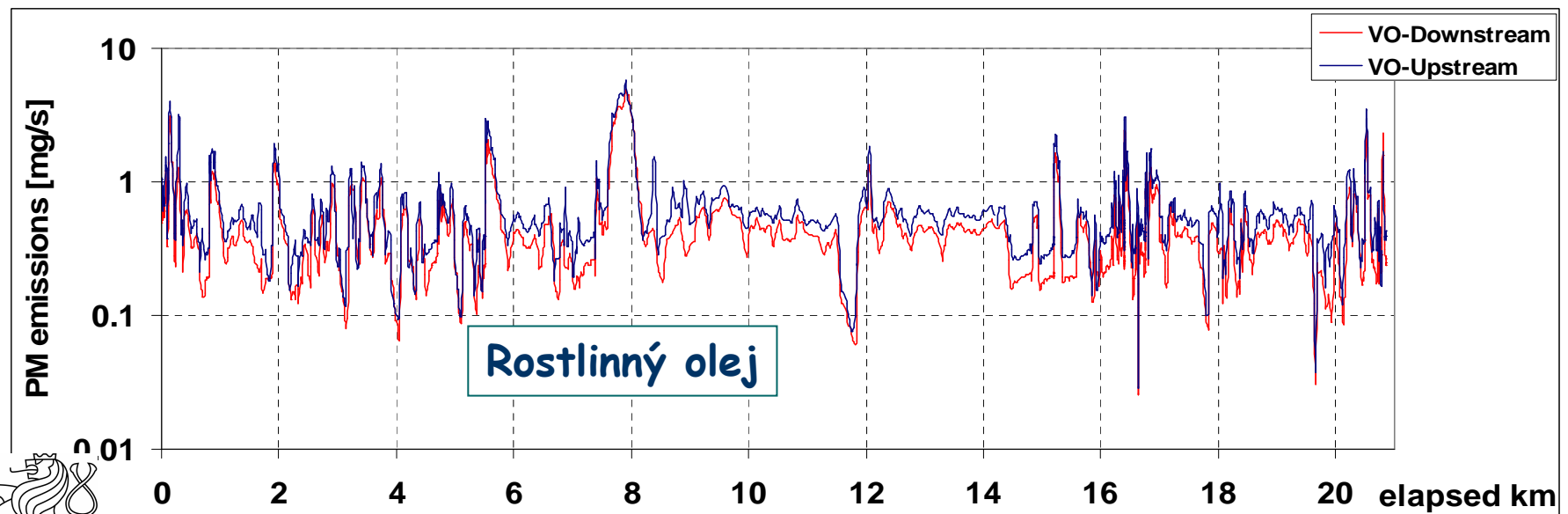
Biofuels workshop, Superior, Montana, 2001 - VW Transporter Metylestery a etylestery hořčičného a sojového oleje, surové oleje Výsledky - emise částic v závislosti na ujeté vzdálenosti



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

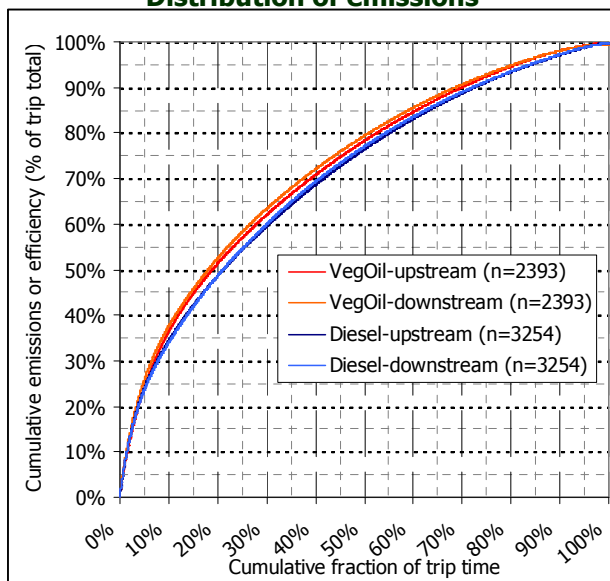


Měření emisí částic a účinnosti oxidačního katalyzátoru VW Jetta, 20,9 km zkušební trat'

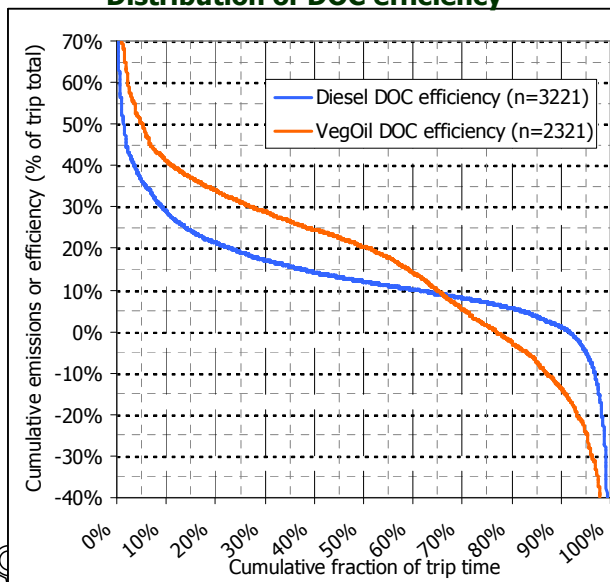


Měření emisí částic a účinnosti oxidačního katalyzátoru

Distribution of emissions



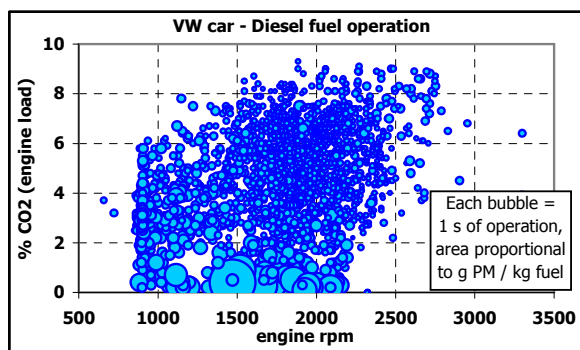
Distribution of DOC efficiency



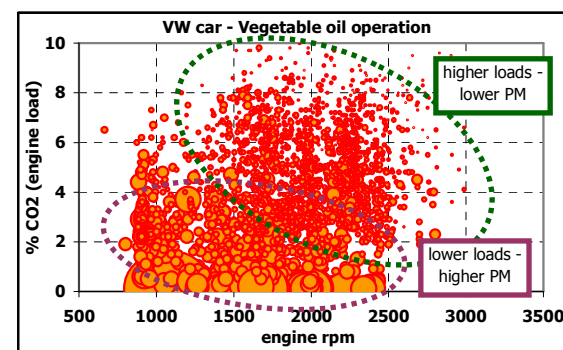
Měření emisí z vozidel poháněných použitým
fritovacím olejem za reálného provozu

- Využití metody Monte-Carlo při zpracování dat

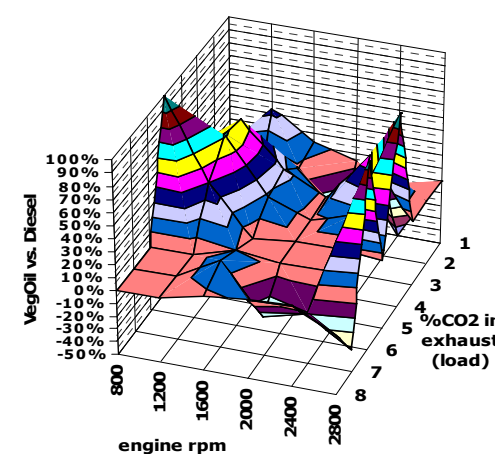
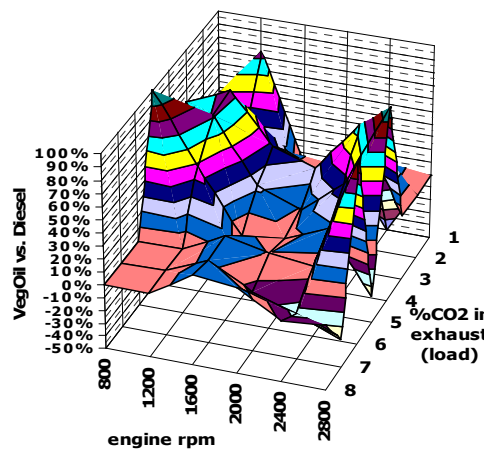
Vojtíšek-Lom, M.: Monte-Carlo characterization of the effect of powering of light diesel vehicles with non-esterified recycled frying oils on particulate matter exhaust emissions using a low-cost portable on-board measurement system. Sborník International Aerosol Conference, Helsinki, Finsko, září 2010.



VegOil vs. Diesel fuel – upstream of DOC



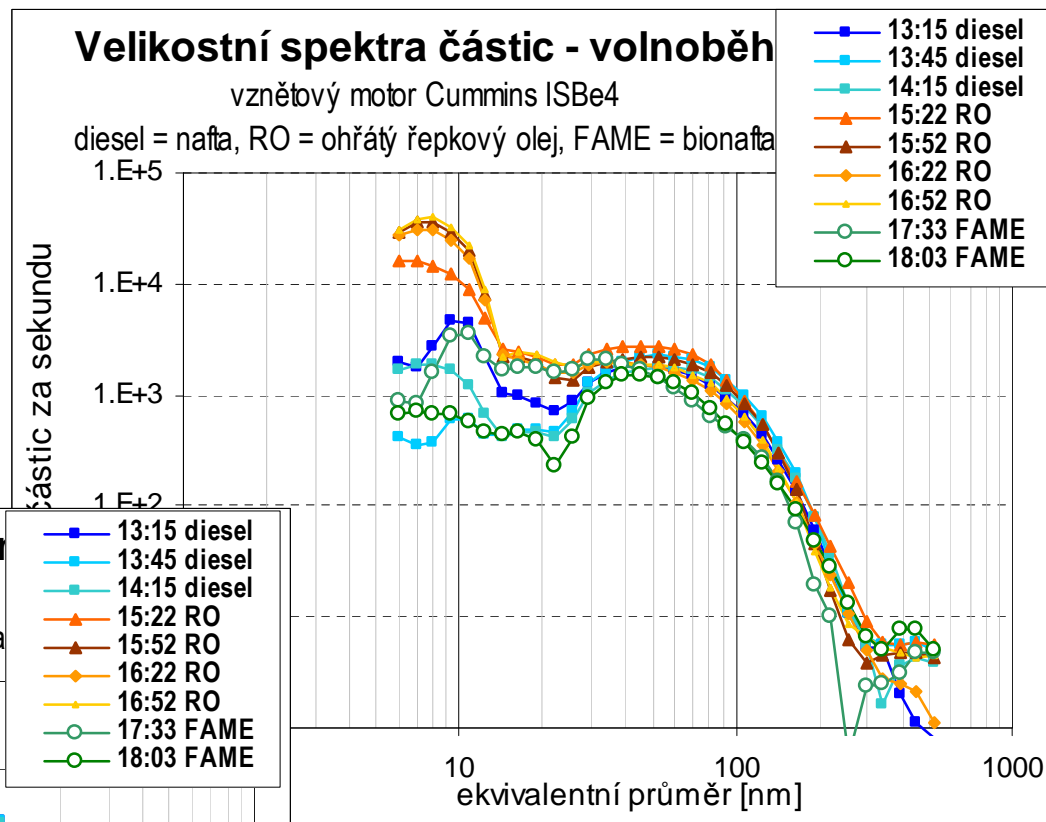
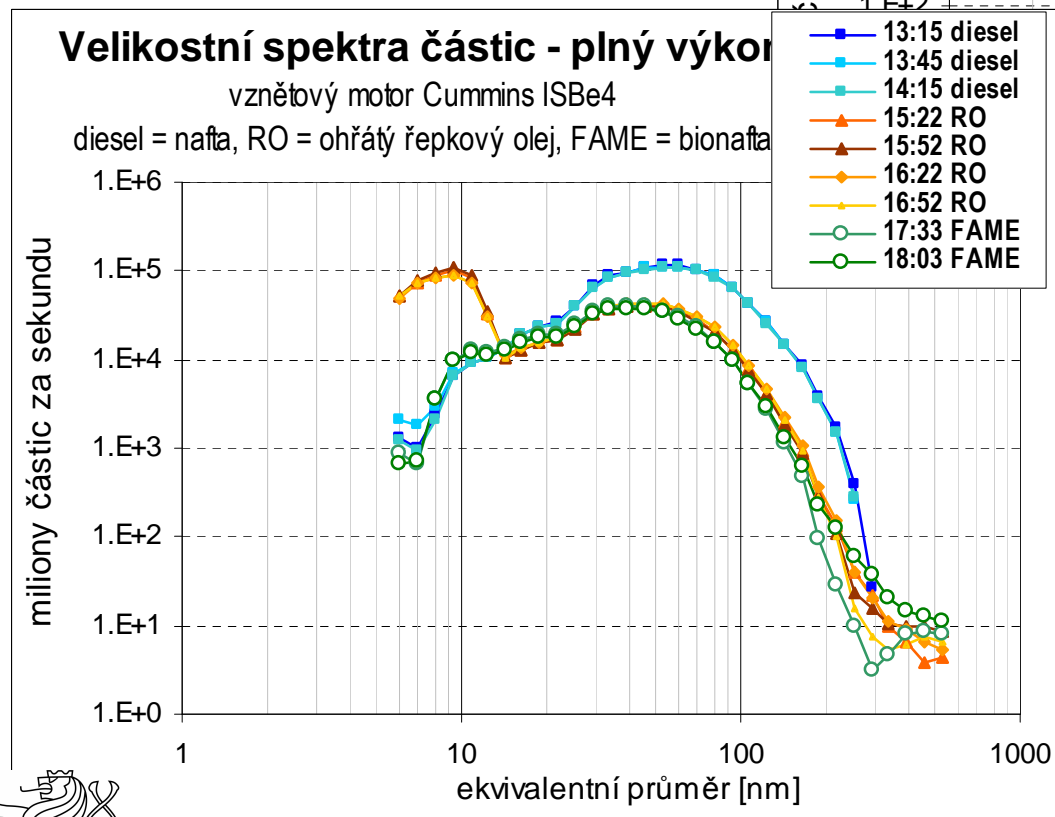
VegOil vs. Diesel fuel – downstream of DOC



Velikostní spektra částic

Motor Cummins ISBe4
Nafta, bionafta,
Rostlinný olej

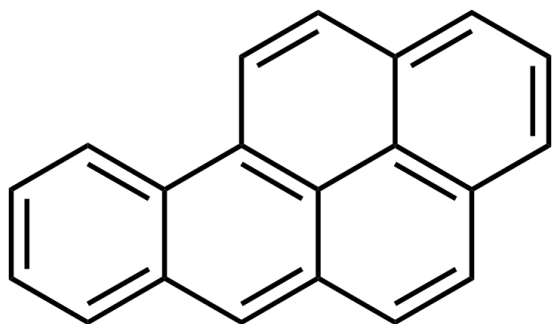
Vojtíšek a kol., SAE 2011-24-0104



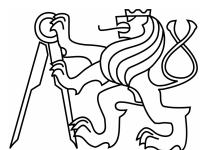
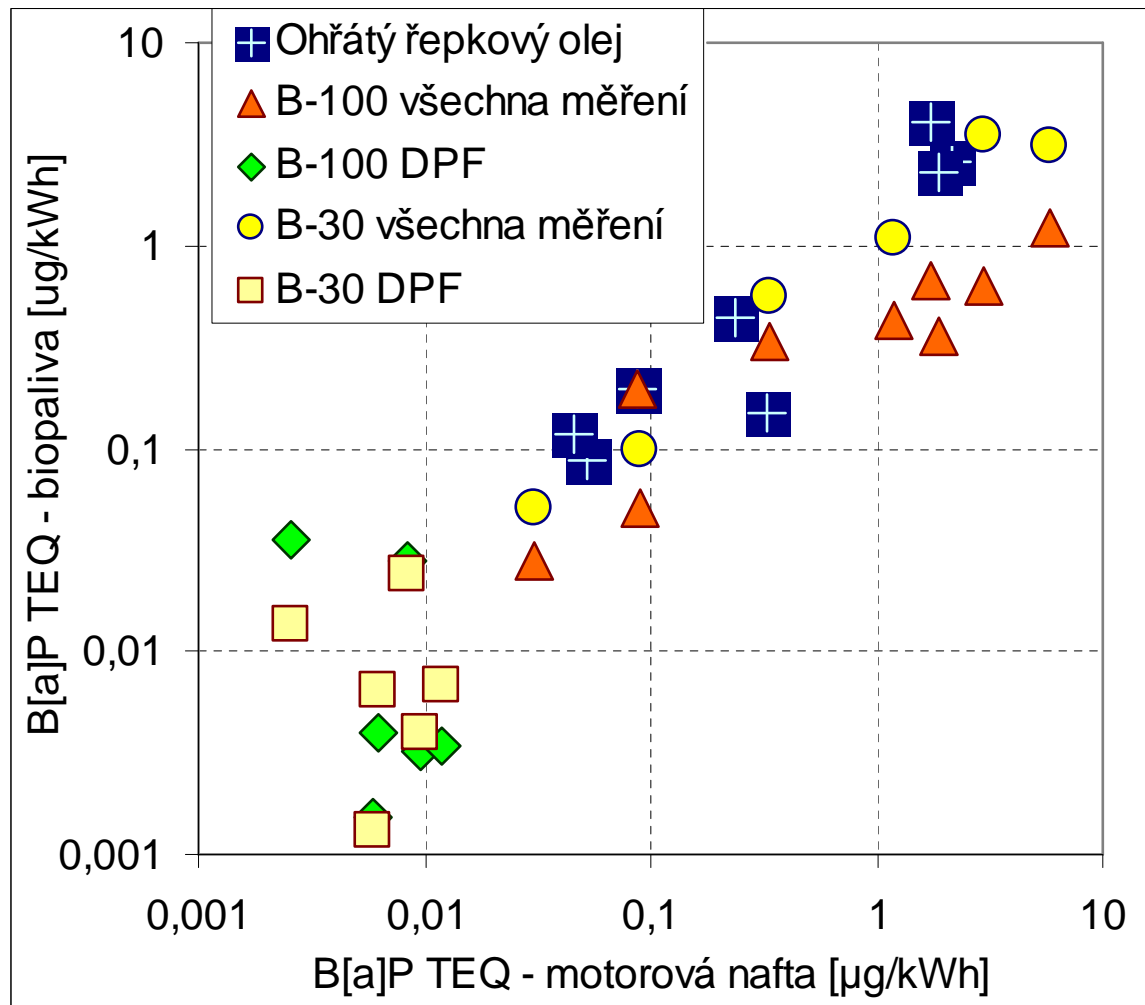
Emise PAU při provozu na biopaliva vzhledem k motorové naftě

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).

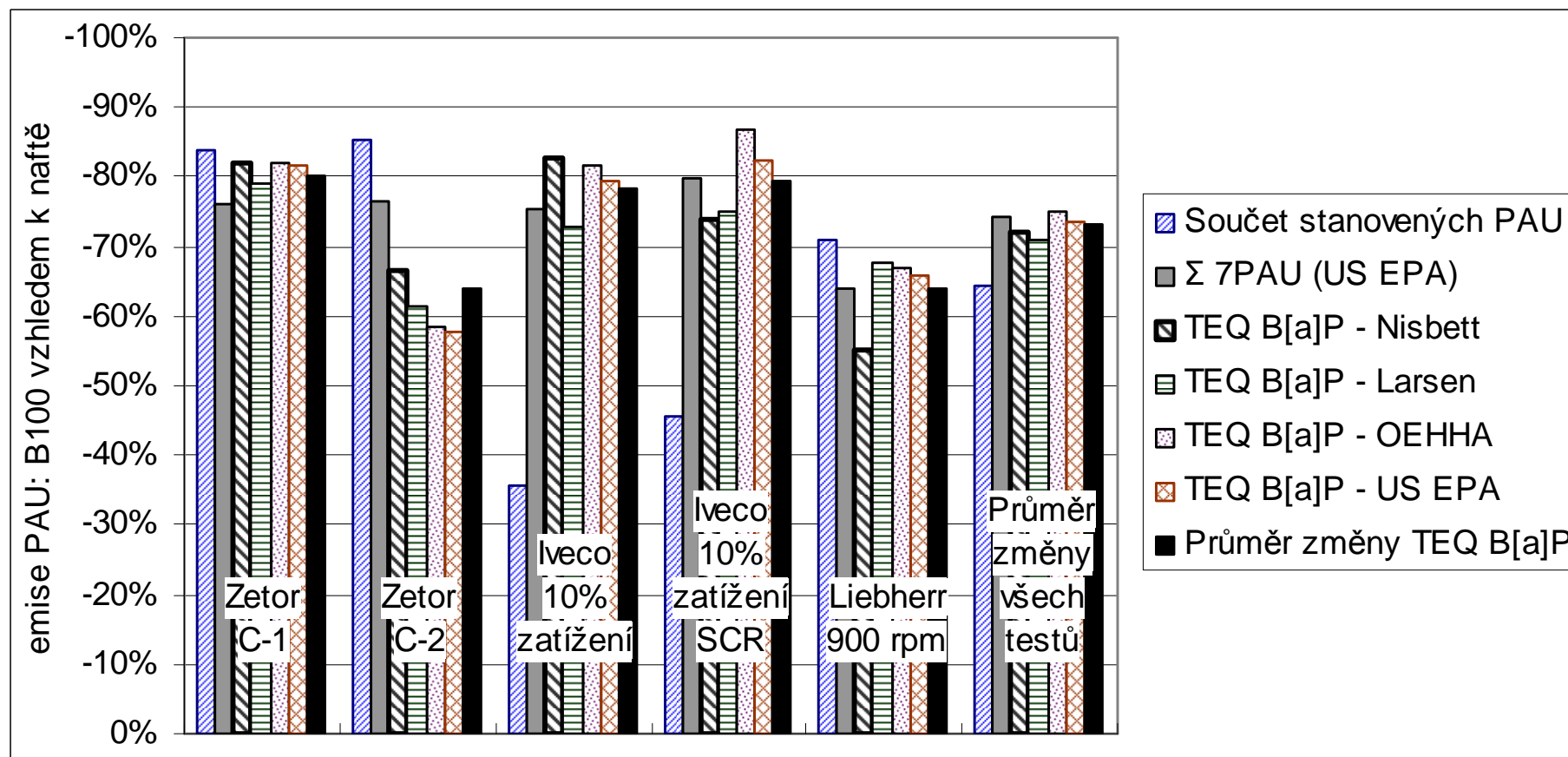


benzo(a)pyren (BaP).



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.

