

Vliv biopaliv na emise částic ze vznětových motorů

Michal Vojtíšek, M.S., Ph.D.

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

Habilitační přednáška
Fakulta strojní ČVUT v Praze
29. května 2014

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

Vliv biopaliv na emise částic vznětových motorů
Michal Vojtíšek – Habilitační přednáška – FS ČVUT v Praze, 29.5.2014

Emise skleníkových plynů, trendy koncentrace CO₂, trendy průměrné teploty

1000 Years of Global CO₂ and Temperature Change

RECENT GLOBAL MONTHLY MEAN CO₂

Zdroj: NOAA, USA
http://www.esrl.noaa.gov/news/2008/img/co2trend_m.gif
<http://www.usgcrp.gov/usgcrp/Library/nationalassessment/LargerImages/OverviewGraphics/1000Y-Records.jpg>

Vliv biopaliv na emise částic vznětových motorů
Michal Vojtíšek – Habilitační přednáška – FS ČVUT v Praze, 29.5.2014

Částice ve výfukových plynech naftového motoru

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

Vliv biopaliv na emise částic vznětových motorů
Michal Vojtíšek – Habilitační přednáška – FS ČVUT v Praze, 29.5.2014

Typické velikostní spektrum částic – vznětové motory

Normalized Concentration, $dC_{total}/dlogDp$

Diameter (μm)

Nuclei Mode

Accumulation Mode

Coarse Mode

Fine Particles $Dp < 2.5 \mu m$

Nanoparticles $Dp < 50 nm$

Ultrafine Particles $Dp < 100 nm$

PM10 $Dp < 10 \mu m$

..... Mass Weighting — Number Weighting

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

Vliv biopaliv na emise částic vznětových motorů
Michal Vojtíšek – Habilitační přednáška – FS ČVUT v Praze, 29.5.2014

Zachycovací účinnost dýchacího systému

Fractional Deposition of Inhaled Particles (Oberdörster)

Nasal/Pharyngeal/Laryngeal

Tracheobronchial

Alveolar

Figure courtesy of J. Hultgren

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

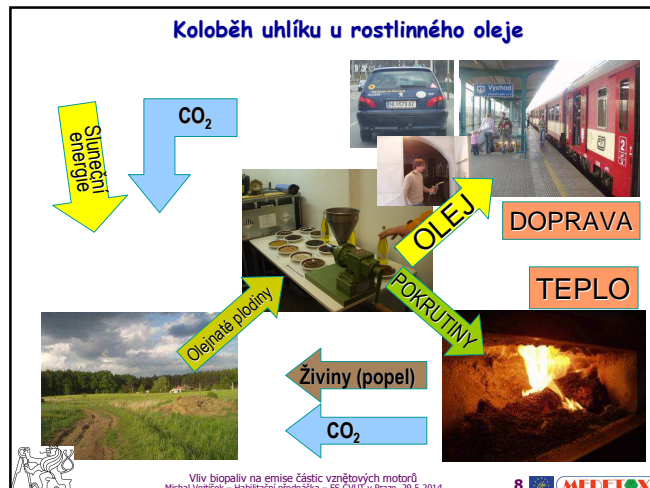
Vliv biopaliv na emise částic vznětových motorů
Michal Vojtíšek – Habilitační přednáška – FS ČVUT v Praze, 29.5.2014

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, Hygiene 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,
zkusťe spálit stejné množství uhlí či biomasy uprostřed ulice.

Vliv biopaliv na emise částic vzdušných motorů
Michal Votibek – Habilitační přednáška – FS CVUT v Praze, 29.5.2014



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 - BYST

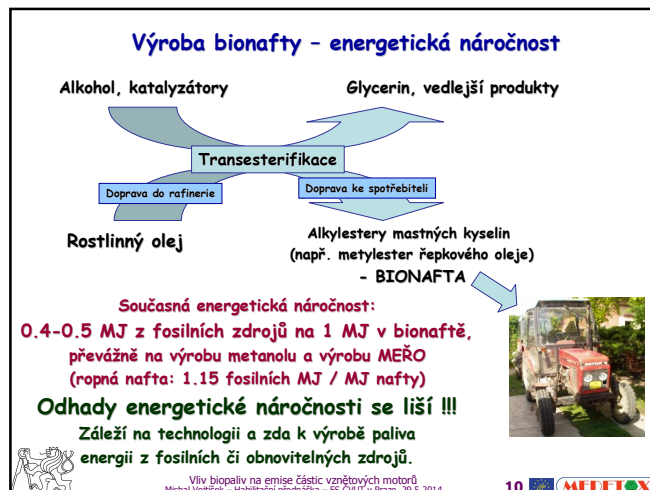
Provozní doba: NON-STOP, 22 - 5 tankautomat

Pohonné hmoty:

ETANOL E85	NATURAL 95	DIESEL PRO	BIO 100	AdBlue
2x	4x	5x	5x	1x

http://www.km-praha.cz/Seznam_cerpacich_stanic.htm?station=Cerpoi_stanice..._Byst#seznam

Vliv biopaliv na emise částic vzdušných motorů
Michal Votibek – Habilitační přednáška – FS CVUT v Praze, 29.5.2014



Praktické využití rostlinného oleje v moderních motorech

Vliv biopaliv na emise částic vzdušných motorů
Michal Votibek – Habilitační přednáška – FS CVUT v Praze, 29.5.2014

Lisování rostlinného oleje

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

Tulln, Rakousko. Foto autor.

Vliv biopaliv na emise částic vzdušných motorů
Michal Votibek – Habilitační přednáška – FS CVUT v Praze, 29.5.2014

Různé druhy a kvality rostlinných olejů

Řepkový olej
 palivové kvality

Palmový olej

Použitý fritovací olej

Degradovaný řepkový olej

Vliv biopaliv na emise částic vzdušných motorů
 Michal Vojtěšek – Habilitační přednáška – FS CVUT v Praze, 29.5.2014

Různé druhy a kvality rostlinných olejů

Nevyhovující kvalita může být zdrojem mnoha problémů

Viskózní úsady

Pevné látky

Surový palmový olej

Teplota (bod) tuhnutí

Vliv biopaliv na emise částic vzdušných motorů
 Michal Vojtěšek – Habilitační přednáška – FS CVUT v Praze, 29.5.2014

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

Vliv biopaliv na emise částic vzdušných motorů
 Michal Vojtěšek – Habilitační přednáška – FS CVUT v Praze, 29.5.2014

Měření emisí - válcová zkušebna (New York, USA)

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

Vliv biopaliv na emise částic vzdušných motorů
 Michal Vojtěšek – Habilitační přednáška – FS CVUT v Praze, 29.5.2014

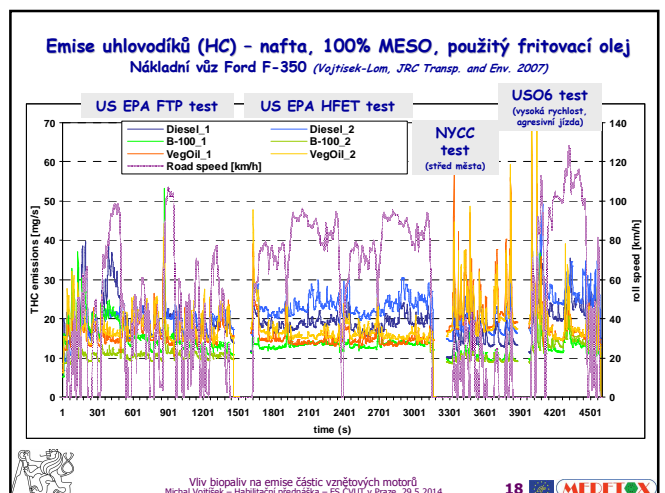
Měření emisí - válcová zkušebna (New York, USA)

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

	Cycle	HC	CO	NOx	CO2	PM
B-100 vs. nafta	LA92	-43%	-10%	-7%	-13%	-34%
	HWFE	-57%	-9%	+5%	-9%	-34%
	NYCC	-61%	-9%	+15%	-2%	-40%
	USO6	-53%	-22%	+6%	-6%	-20%
	Průměr					
Frit.olej vs. nafta	LA92	-14%	+61%	-21%	-12%	-34%
	HWFE	-35%	+42%	-6%	-4%	-34%
	NYCC	-20%	+162%	-8%	+2%	+30%
	USO6	-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 částic vzdušných motorů
 Michal Vojtěšek – Habilitační přednáška – FS CVUT v Praze, 29.5.2014



Měření plyných 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

Oložení za jízdy v odpruženém rámu
Napájení 12V, celkový příkon za jízdy < 300W
Ovládání za jízdy průmyslovým PC

IR spektrum
FTIR spektrometr MIDAC I-series
Regulace vyhřívání
Kyvetka 0.3 dm³, 6 m optická délka
Vyhřívána na 191°C
Vzorkovací hadice - 191°C

Vliv biopaliv na emise částic vznetových motorů
Michal Voříšek – Habilitační přednáška – FS CVUT v Praze, 29.5.2014

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 desetiný 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).

Porovnání emisí - nafta, 100% bio nafta, rostlinný olej
Ford F-350 pickup truck, r.v. 1999, Powerstroke V-8 7.3-l turbodiesel s přímým vstřikem
Měření FTIR spektrometrem MIDAC I-series

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

Vliv biopaliv na emise částic vznetových motorů
Michal Voříšek – Habilitační přednáška – FS CVUT v Praze, 29.5.2014

Emise aldehydů a dienu - nafta, MEMK, olej

Nákladní vůz Ford F-350 (Voříšek-Lom, JRC Transp. and Env. 2007)
Poznámka: acetaldehyd, akrylaldehyd a 1,3-butadien pod prahem detekce (cca 1 ppm)

Porovnání emisí - nafta, 100% bio nafta, rostlinný olej
Ford F-350 pickup truck, r.v. 1999, Powerstroke V-8 7.3-l turbodiesel s přímým vstřikem
Měření FTIR spektrometrem MIDAC I-series

Porovnání emisí - nafta, 100% bio nafta, rostlinný olej
Ford F-350 pickup truck, r.v. 1999, Powerstroke V-8 7.3-l turbodiesel s přímým vstřikem
Měření FTIR spektrometrem MIDAC I-series

Vliv biopaliv na emise částic vznetových motorů
Michal Voříšek – Habilitační přednáška – FS CVUT v Praze, 29.5.2014

Biofuels workshop, Superior, Montana, 2001 - VW Transporter

Vliv biopaliv na emise částic vznetových motorů
Michal Voříšek – Habilitační přednáška – FS CVUT v Praze, 29.5.2014

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)

Vliv biopaliv na emise částic vznetových motorů
Michal Voříšek – Habilitační přednáška – FS CVUT v Praze, 29.5.2014

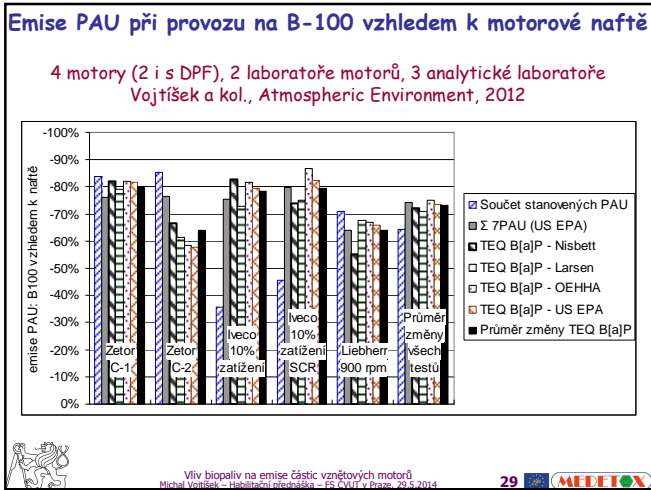
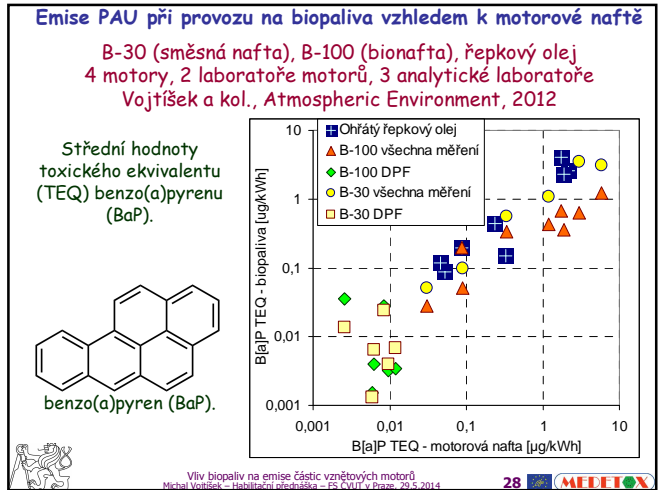
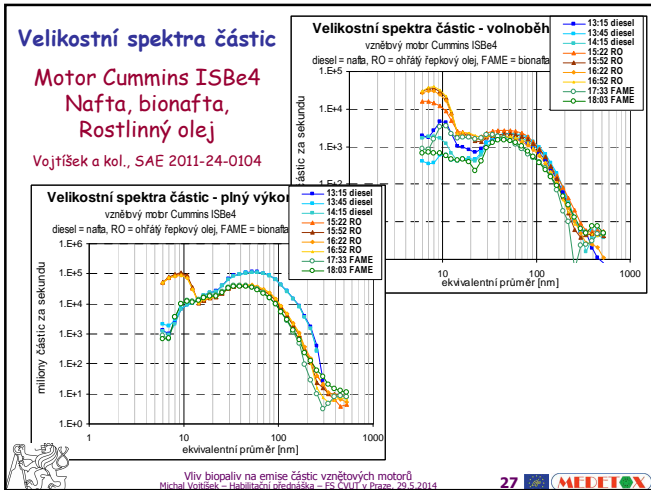
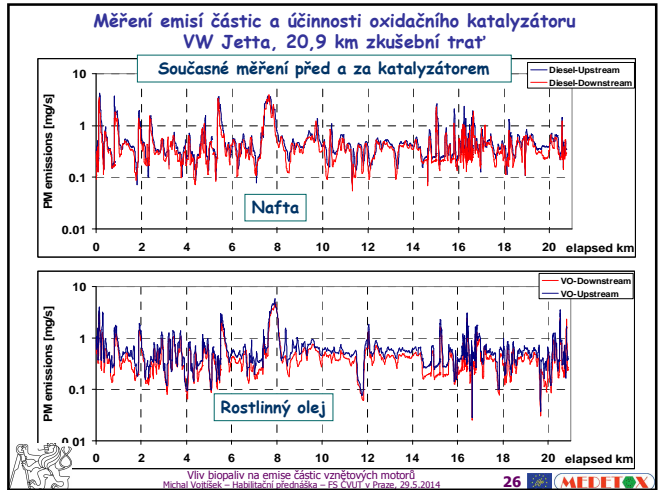
Biofuels workshop, Superior, Montana, 2001 - VW Transporter

Metylestery a etylestery hořčičného a sojového oleje, surové oleje
Výsledky - emise částic v závislosti na ujeté vzdálenosti

Vliv biopaliv na emise částic vznetových motorů
Michal Voříšek – Habilitační přednáška – FS CVUT v Praze, 29.5.2014

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

Vliv biopalin na emise částic vzdušných motorů
Michal Vojtíšek - Habilitační přednáška - FS ČVUT v Praze, 29.5.2014



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

Vliv biopalin na emise částic vzdušných motorů
Michal Vojtíšek - Habilitační přednáška - FS ČVUT v Praze, 29.5.2014

Toxikologické zkoušky - vystavení řezů plic potkanů výfukovým plynům
 Prof. Jean-Paul Morin, Université de Rouen, Francie

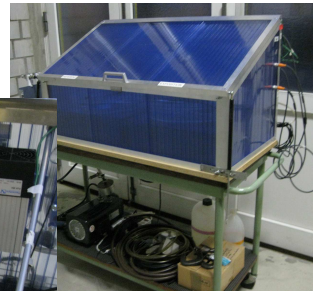
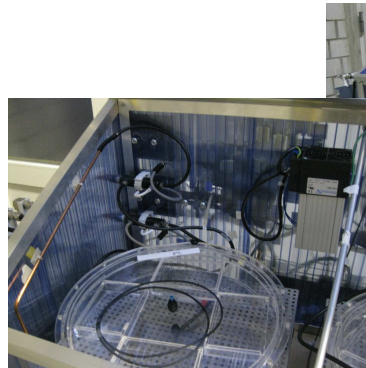


Vliv biopaliv na emise částic vznětových motorů
 Michal Votibek – Habilitační přednáška – FS ČVUT v Praze, 29.5.2014

31



Toxikologické zkoušky - vystavení buněčných kultur výfukovým plynům
 Prof. Barbara Rothen, Université de Fribourg, Švýcarsko



Vliv biopaliv na emise částic vznětových motorů
 Michal Votibek – Habilitační přednáška – FS ČVUT v Praze, 29.5.2014

32



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 CO₂.
- Čistá bionafta snižuje hmotnost emitovaných částic o přibližně polovinu, a emise karcinogenních polycyklických aromatických uhlovodíků o desítky procent (70-80% 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, seřizením, 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.

Vliv biopaliv na emise částic vznětových motorů
 Michal Votibek – Habilitační přednáška – FS ČVUT v Praze, 29.5.2014

33



Přínosy autora

- Vývoj měřicích zařízení a metodiky pro měření emisí za provozu
- 2 udělené a komerčně využitelné patenty USA, 1 patent ČR
 - desítky aparatur využity výzkumnými skupinami po celém světě
 - podíl na vzniku nového přístupu, promítnutého do legislativy USA, plánované využití v legislativě EU
- Laboratorní a PEMS studie využití biopaliv a emisí částic z biopaliv

- * 7 impaktovaných publikací, 14 publikací SAE, > 100 dalších
- * 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, spoluřešitel MDCR
 - 2011-2016 EU LIFE+ projekt MEDETOX (spoluřešitel)
 - 2013-2015 GAČR projekt BIOTOX (spoluřešitel)

- 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, Beijing Jiaotong University



Vliv biopaliv na emise částic vznětových motorů
 Michal Votibek – Habilitační přednáška – FS ČVUT v Praze, 29.5.2014

34



Výhled dalšího působení

Vedení výzkumných projektů a skupin
 Výuka (experimentální metody, zkoušení motorů, měření emisí, měření za provozu)
 Vedení bakalářských, diplomových a doktorských prací

Spalování pokročilých a experimentálních paliv
 Měření emisí během reálné jízdy
 Sledování a snižování dopadu nových technologií a paliv na lidské zdraví

- spolupráce se zahraničními laboratořemi
- 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

Vliv biopaliv na emise částic vznětových motorů
 Michal Votibek – Habilitační přednáška – FS ČVUT v Praze, 29.5.2014

35

