

VLIV POUŽÍVÁNÍ BIOPALIV NA PROVOZNÍ PARAMETRY SPALOVACÍCH MOTORŮ TRAKTORŮ

T. Šmerda, J. Čupera

Došlo: 7. ledna 2010

Abstract

ŠMERDA, T., ČUPERA, J.: *Influence of biofuels usage in internal combustion engines of agricultural tractors on output parameters*. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2010, LVIII, No. 2, pp. 219–228

Application of alternative fuels brings the social benefits in terms of reducing dependence on oil industry and its products as well as decreasing of damage of the environment together with using of natural resources, especially in field of renewable energy resources. The use of biofuels is the most important part of energy strategy in European Union, whose member states have agreed the content of biofuels will achieve 5.75% of the total energy sum of fuel for transport purposes in 2010. Operation of internal combustion engine fueled by RME brings environmental benefits as described several authors in analysis of the life cycle. The contribution deals with technical difficulties of the RME usage in internal combustion engine used in agricultural tractors. Different fuel causes different process of combustion which means changes in output power and pollution. The aim of this experiment was to determine these effects. Experimental work was divided into two parts according to various fuel systems. The first tractor was equipped with mechanical injection system, the second one was provided with common-rail fuel system. The test procedures consisted of measurement of power-torque curves where the engine load was created by Eddy current dynamometer. Exhaust gas analyzer sampled the pollution of carbon monoxide, carbon dioxide and hydrocarbons as the most important indicators of combustion process.

biofuels, RME, pollution, tractor's engine

Moderní koncepce zemědělské výroby je spjata se spotřebou energie, která pochází z fosilních zdrojů a je dále transformována ve vhodné formě, například kapalného paliva. Značná část spotřebované energie je spojena s provozem zemědělské techniky, kde se jako prostředek transformace chemické energie obsažené v palivu využívají převážně čtyřdobé, přeplňované vznětové motory, které svým maximálním výkonem dosahují i více než 440 kW. V podmínkách České republiky se spotřebuje v sektoru zemědělství 7–10 % z celkové spotřeby motorové nafty. Vzhledem ke známým negativním projevům činnosti spalovacího motoru na životní prostředí a zdraví člověka je vyvíjen tlak i v tomto sektoru na snižování spotřeby paliva a vybraných emisních složek. Množství a druh těchto složek jsou mimo technických vlastností motoru a pracovního zatížení ovlivněno používaným palivem, které svým chemickým složením ovlivňuje celkovou energetickou bilanci.

Do popředí zájmu se proto dostávají biopaliva, která svými vlastnostmi umožní zčásti nebo zcela nahradit stávající zdroje, jejichž kapacita je konečná a soustředěná v nestabilních regionech světa. Podle (Gnansounou E. et al., 2009) lze technicky zajistit úplnou náhradu automobilových benzínů a motorové nafty pomocí biopaliv, ale v dlouhodobém měřítku lze uvažovat s 10% až 15% podílem biopaliv na celkové spotřebě uhlovodíkových paliv. Uplatňování biopaliv má z celospolečenského hlediska přínosy v omezování závislosti na ropných produktech, snižování zátěže životního prostředí, využití domácích zdrojů a průmyslové výroby a udržování krajiny. Jak vyplývá ze závěrů technicko-ekonomické analýzy vhodných biopaliv v dopravě, paliva z obnovitelných zdrojů mohou přinést výrazné snížení GHG (Green House Gas) emisí, ale za cenu větší energetické náročnosti jejich výroby a distribuce.

Využívání biopaliv je cílem také Evropské unie, jejíž členské státy se dohodly, že v roce 2010 bude tvořit podíl biopaliv 5,75 % z celkového energetického obsahu spotřeby pohonných hmot pro dopravní účely a v roce 2020 to bude činit 10 %. Předpoklady Evropské unie (EU-27) jsou takové, že v roce 2020 bude pokrývat vlastními zdroji čtvrtinu celkové spotřeby biopaliv pro splnění stanovených cílů. K tomu bude potřeba 15 % orné půdy (17,5 mil. ha) s předpokládaným průměrným energetickým výnosem 1,6 toe (tuna olejového ekvivalentu = 41,87 GJ). Z pohledu surovin pro výrobu biopaliv se uvažuje pro rok 2020 s využitím 19 % produkce obilovin a 47 % produkce olejnin s cenovým růstem 3–6 % u obilovin a 8–15 % u olejnin. V současné době se využívá pro produkci biodieselu v EU přibližně 3 mil. ha orné půdy, z toho pro pěstování řepky olejné 2,18 mil. ha (Gelder, J. W. et al.; 2008).

V současné době se používání biopaliv u zemědělské techniky soustředí na spalování MEŘO (metylester řepkového oleje) a jeho případných směsí s motorovou naftou. Provoz spalovacího motoru na MEŘO má environmentální přínos, jak popisuje ve své analýze životního cyklu několik autorů (Batchelor et al., 1995; Jevič, 2005), ale z pohledu technického vzniká několik problémů s biologickou povahou samotného paliva a jeho chemickým složením. V řadě publikací je zmiňována nižší výhřevnost, vysoké povrchové napětí, nevhodný prů-

běh destilační křivky a také chemická agresivita vůči některým materiálům palivové soustavy. Uvedené nedostatky lze úspěšně řešit přizpůsobením řídicí jednotky palivové soustavy a použitím vhodných materiálů. Vzhledem k tomu, že je snaha uvedené palivo používat u spalovacích motorů, které na MEŘO nebyly koncipovány, dochází ke změnám parametrů spalovacího motoru, především velikosti točivého momentu a spotřeby paliva. Cílem bylo provést analýzu výstupních parametrů při používání alternativních paliv u spalovacího motoru s řadovým vstřikovacím čerpadlem a spalovacího motoru s palivovou soustavou Common Rail.

MATERIÁL A METODY

Pro analýzu vlivu používání alternativních paliv na výstupní parametry spalovacího motoru bylo provedeno měření s dvojicí traktorů v laboratorních podmínkách Ústavu techniky a automobilové dopravy na Mendelově univerzitě v Brně. Traktor I. (rok výroby 2008) byl vybaven řadovým vstřikovacím čerpadlem a traktor II. (rok výroby 2009) palivovou soustavou Common Rail. Nízkotlaká část palivové soustavy spalovacího motoru traktoru I. byla doplněna o podávací čerpadlo, filtry, výměník tepla pro předehřev paliva a dvojici třicestných ventilů. Charakteristika spalovacích motorů obou traktorů je uvedena v Tab. I.

I: Charakteristika spalovacích motorů zkoušených traktorů

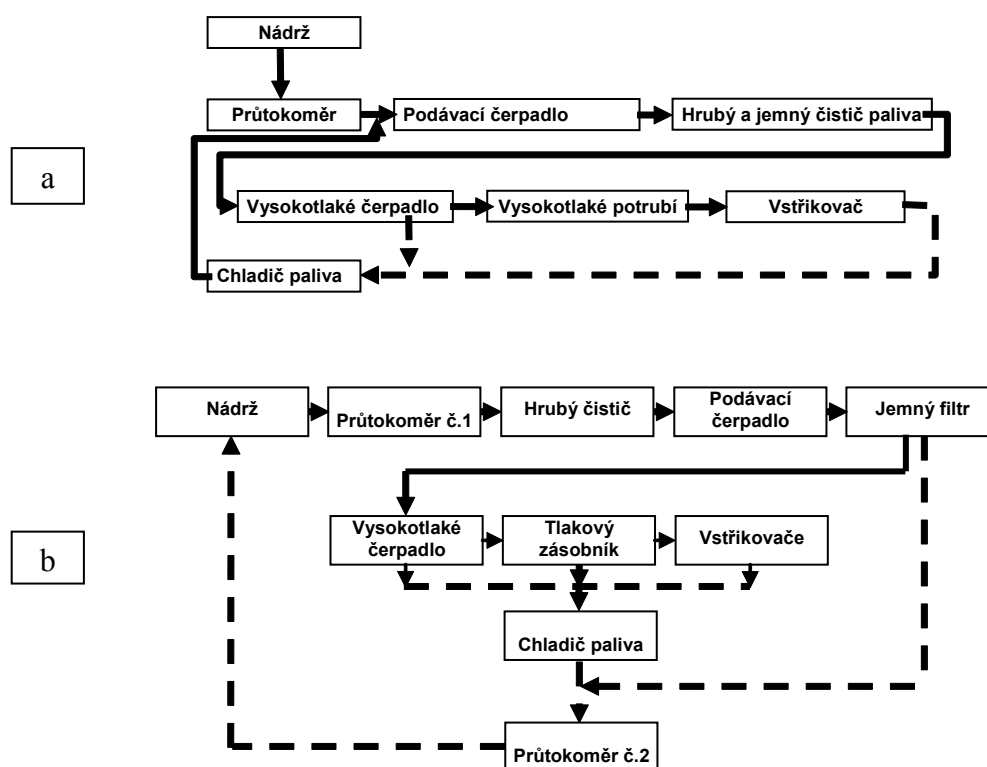
I: Engine specification of tested tractors

	Traktor I.	Traktor II.
Max. výkon (kW)	66	64 (97/68 EC)
Max. točivý moment (N.m)	391	334
Počet válců (-)	4	4
Zdvihový objem (cm ³)	4 156	4 525
Počet ventilů na válec (-)	2	2
Palivová soustava	Řadové vstřikovací čerpadlo, Doplnění pal. soustavy o filtry, čerpadlo a předehřev paliva, dvojici třicestných ventilů pro provoz motoru s řepkovým olejem	Common Rail, bez úpravy
Přeplňování	Turbodmychadlo bez regulace plnicího tlaku	Turbodmychadlo bez regulace plnicího tlaku

II: Přehled základních parametrů použitých paliv

II: Overview of main parameters of used fuels

Palivo	Výhřevnost (MJ/kg)	Hustota při 15 °C	Norma určující kvalitu paliva	Použití u traktoru
Motorová nafta	42,69	837	EN 590	Traktor I. Traktor II.
Řepkový olej	36,72	915	DIN V 51605	Traktor I.
Metylester řepkového oleje (MEŘO)	37,21	883	EN 14214	Traktor I. Traktor II.
Směs I. (30 % MEŘO a 70 % motorová nafta)	41,21	850,8	ČSN 65 6508	Traktor I. Traktor II.
Směs II. (50 % motorová nafta a 50 % řepkový olej)	39,71	876	-	Traktor I.



1: Schéma zapojení průtokoměrů do palivových soustav zkoušených traktorů; a – palivová soustava s řadovým vstřikovacím čerpadlem, b – palivová soustava Common Rail

1: Fuel flow diagram and mass flowmeters connections of tested tractors; a – in-line fuel injection pump, b – Common Rail fuel injection system

Zatěžování spalovacího motoru probíhalo přes zadní vývodový hřídel pomocí vířivého dynamometru. Měřenými parametry byly otáčky motoru (indukční snímač), spotřeba paliva (dvojice Coriolisových průtokoměrů), teplota paliva (termočlánek), teploty (termočlánek) a tlaky (piezo-resistivní snímač) plnicího vzduchu před a za turbodmychadlem, teplota výfukových plynů (termočlánek). Schéma zapojení průtokoměrů do palivových soustav je uvedeno na obr. 1. Na konci výfukového potrubí byla umístěna sonda pro odběr vzorků k měření emisí CO, CO₂ a HC pomocí infraanalýzátoru Infracal CL. Pro vyjádření hmotnosti produkováných emisí byla měřena hmotnost nasávaného vzduchu průtokoměrem v sání motoru. Frekvence snímání měřených parametrů byla 20 Hz.

Měření se uskutečnilo při plné dodávce paliva se statickým zatěžováním. Spalovací motor traktoru I. pracoval postupně s pětici různých paliv: motorová nafta, směs I. (30 MEŘO a 70 % motorová nafta), směs II. (50 % motorová nafta a 50 % řepkový olej), MEŘO a řepkový olej. Traktor II. byl provozován na motorovou naftu, MEŘO a směs I. Dolní výhřevnost použitých paliv je uvedena v Tab. II.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Z naměřených hodnot byl dopočítán výkon motoru, měrná spotřeba paliva, měrná produkce emisí

CO a HC a cyklová dávka paliva. Uvedené parametry byly vyjádřeny graficky v závislosti na otáčkách spalovacího motoru pro jednotlivá zkoušená paliva, viz obr. 2 až 7. Z výsledků je zřejmé, že nejvyšší výkony motorů obou traktorů byly v celém rozsahu otáčkových charakteristik dosaženy s motorovou naftou. Pro přehlednost jsou hodnoty max. výkonů obou traktorů uvedeny v Tab. III.

U traktoru I. byl naměřen max. výkon motoru s motorovou naftou 63,8 kW a nejnižší s řepkovým olejem 57,2 kW. To znamená 10,2% snížení výkonu motoru. V případě směsi I. (30 % MEŘO a 70 % Motorová nafta) dosáhl max. výkon 63,1 kW, což znamenalo 1% snížení výkonu. V případě provozu na řepkový olej a směs II. byl využit přehřev paliva na teplotu 55 až 74 °C, viz obr. 3. V grafu na obr. 3 a 6 jsou znázorněny průběhy cyklové dávky paliva na jeden válec. Z jejich průběhu je patrné, že nejnižších hodnot je dosaženo při provozu na motorovou naftu a nejvyšších při provozu na řepkový olej a směs I. Při max. výkonu motoru tak došlo ke zvýšení cyklové dávky v případě řepkového oleje o 8,2 % ve srovnání s motorovou naftou. I přes zvýšení cyklové dávky byl průběh výkonu motoru nejnižší. Nastavení vysokotlakého řadového čerpadla se během měření neměnilo a vytlačovaný objem tak zůstal stále stejný. Velkou roli zde sehrála viskozita a vyšší měrná hmotnost použitých alternativních paliv. Odlišné výsledky přináší (Emberger

III: Maximální výkon motoru a jeho změna v závislosti na použitém palivu

III: Maximal engine power and its changes depending on used fuel

Palivo	Traktor I.		Traktor II.	
	Maximální výkon motoru (kW)	Snížení výkonu při porovnání s motorovou naftou v (%)	Maximální výkon motoru (kW)	Snížení výkonu při porovnání s motorovou naftou v (%)
Motorová nafta	63,75	-	53,21	-
Řepkový olej	57,24	10,21	-	-
Metylester řepkového oleje (MEŘO)	59,66	6,42	49,32	7,55
Směs I. (30 % MEŘO a 70 % motorová nafta)	63,12	1	52,48	1,89
Směs II. (50 % motorová nafta a 50 % řepkový olej)	59,79	6,21	-	-

et al., 2009), kteří naměřili až 10% zvýšení výkonu motoru při použití řadového čerpadla a řepkového oleje. Zvýšení cyklové dávky lze vysvětlit u mechanických vstřikovacích čerpadel dřívější dobou otevření trysek a větším nárůstem vstřikovacích tlaků v důsledku rozdílů fyzikálních vlastností paliv, především viskozitou a stlačitelností (Emberger et al., 2009). Podle zákonů vstřikování závisí průtah vstřikování na hydraulických odporech, tzn. změnách průřezů, tření o povrch, vzájemném tření kapaliny, statickém tlaku ve výtlačném potrubí, tlaku ve spalovacím prostoru, otáčkách vysokotlakého čerpadla, stlačitelnosti paliva, pružnosti materiálů atd. Z pohledu analýzy velikosti výkonu při použití několika druhů paliv je nutné brát v úvahu množství energie obsažené v dávce. Vezmeme-li pro porovnání např. cyklovou dávku při maximálním výkonu motoru, pak je z Tab. IV zřejmé, že motorová nafta díky nižší měrné hmotnosti a nejvyšší dolní výhřevnosti ze zkoušených paliv umožňuje při nižší cyklové dávce dosáhnout nejvyššího energetického obsahu, což lze pozorovat u obou traktorů.

Dalším hodnoceným parametrem byla měrná spotřeba paliva, kterou lze považovat za míru efektivity přeměny energie paliva na mechanickou práci, viz obr. 2 a 5. U obou palivových soustav byla naměřena nejnižší měrná spotřeba na motorovou naftu 235 g/kW.h (traktor I) a 253 g/kW.h (traktor II) a nej-

vyšší při provozu na řepkový olej 276 g/kW.h (traktor I), resp. MEŘO 303 g/kW.h (traktor II). Je tedy zřejmé, že se pro hodnocení použila paliva s různou hustotou a výhřevností, je proto vhodnější využít parametr MJ/kW.h. Teprve potom lze účelně porovnat efektivitu práce spalovacího motoru při provozu na paliva s rozdílným energetickým obsahem. Pro srovnání efektivity práce spalovacího motoru byl vybrán režim při jmenovitých otáčkách, viz tab. V. Z výsledků je zřejmé, že množství energie spotřebované na kW.h je přibližně stejné a vykazuje jen malé rozdíly, které lze přisuzovat tomu, že spalovací motory jsou optimalizovány a konstrukčně řešeny pro provoz s motorovou naftou.

Velký vliv zde mají jak fyzikálně-chemické vlastnosti paliv jako jsou např. viskozita, povrchové napětí, destilační křivka, počet dvojných vazeb atd., také uspořádání spalovacího prostoru, intenzita víření, teplota nasávaného vzduchu. S používáním biopaliv je spojeno sledování produkce vybraných složek emisí HC, CO a PM, které se podle dostupných výsledků snižují až na obsah NO_x. V našem měření jsme sledovali produkci HC a CO, obr. 4 a 7. Z uvedených grafů je zřejmé, že nejvyšších hodnot bylo dosaženo při provozu na směs I. (traktor I.) a motorovou naftu (traktor II.). Naopak nejnižší hodnoty byly zjištěny při provozu na metylester řepkového oleje u obou traktorů. Srovnáme-li opět

IV: Energetický obsah v cyklové dávce při maximálním výkonu

IV: Energy content in one injection rate at maximum power

Palivo	Traktor I.		Traktor II.	
	Energetický obsah v cyklové dávce (J/válec)	Porovnání s motorovou naftou (%)	Energetický obsah v cyklové dávce (J/válec)	Porovnání s motorovou naftou (%)
Motorová nafta	2 855,22	100,00	2 647,90	100,00
Řepkový olej	2 571,33	90,06	-	-
Metylester řepkového oleje (MEŘO)	2 740,00	95,96	2 451,02	92,56
Směs I. (30 % MEŘO + 70 % motorová nafta)	2 849,16	99,79	2 593,27	97,94
Směs II. (50 % motorová nafta + 50 % řepkový olej)	2 715,65	95,11	-	-

V: Vyjádření měrné spotřeby paliva v hmotnostním a energetickém vyjádření při jmenovitých otáčkách

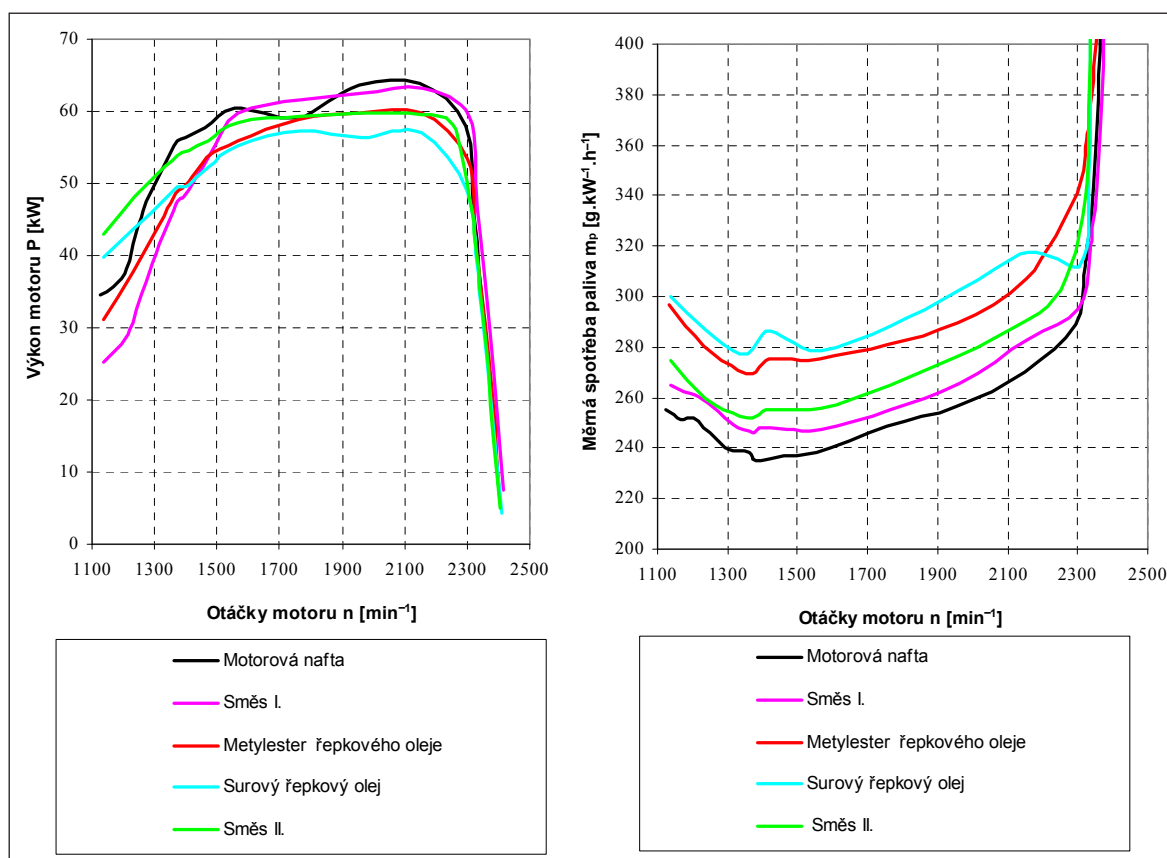
V: Enumeration of specific fuel consumption in terms of mass and energy at rated engine speed

Palivo	Traktor I.		Traktor II.	
	Měrná spotřeba paliva (g/kW.h)	Měrná spotřeba paliva (MJ/kW.h)	Měrná spotřeba paliva (g/kW.h)	Měrná spotřeba paliva (MJ/kW.h)
Motorová nafta	289,07	12,34	324,42	13,85
Řepkový olej	311,61	11,44	-	-
Metylester řepkového oleje (MEŘO)	340,64	12,68	375,84	13,99
Směs I. (30 % MEŘO a 70 % motorová nafta)	295,57	12,18	333,54	13,75
Směs II. (50 % motorová nafta a 50 % řepkový olej)	323,73	12,86	-	-

Porovnání relativních hodnot měrných spotřeb při jmenovitých otáčkách*.

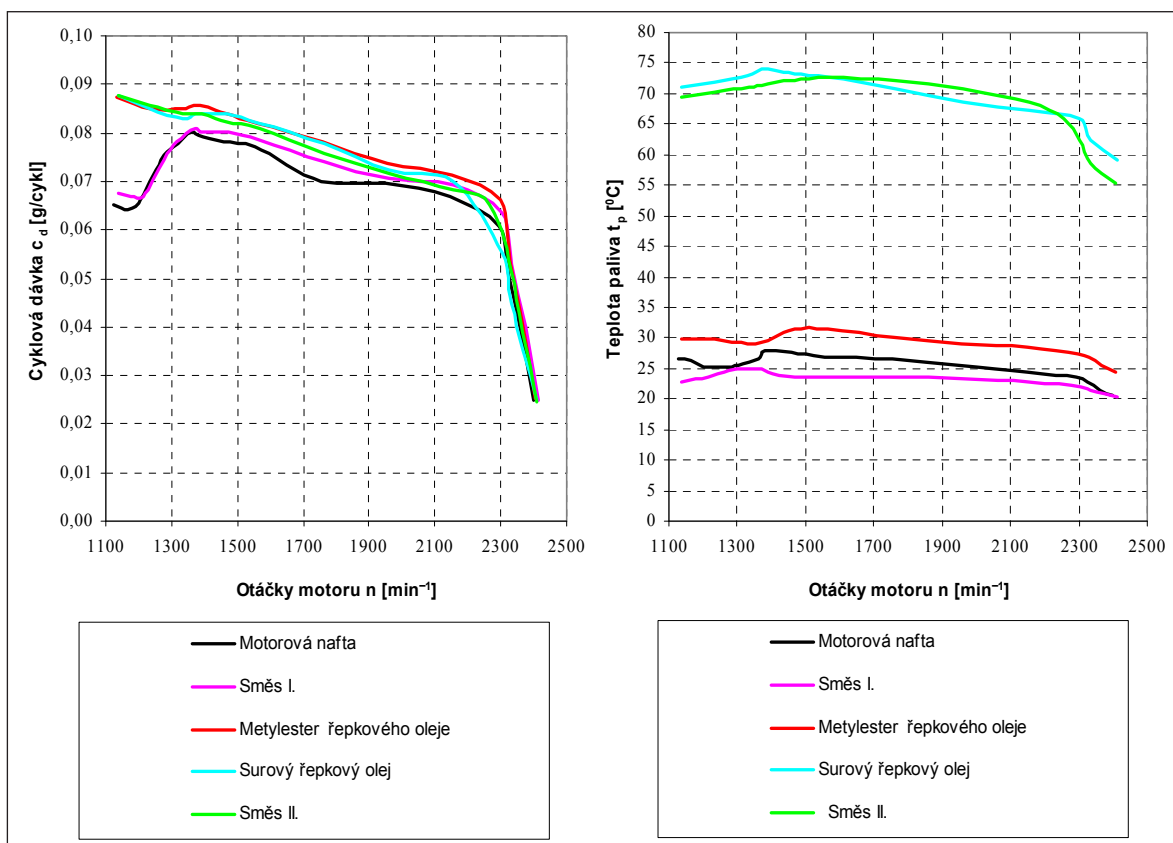
Motorová nafta	100,00	100,00	100,00	100,00
Řepkový olej	107,80	92,71		
Metylester řepkového oleje (MEŘO)	117,84	102,76	115,85	101,01
Směs I. (30 % MEŘO a 70 % motorová nafta)	102,25	98,70	102,81	99,28
Směs II. (50 % motorová nafta a 50 % řepkový olej)	111,99	104,21		

* Paliva jsou porovnávána s motorovou naftou (100%)



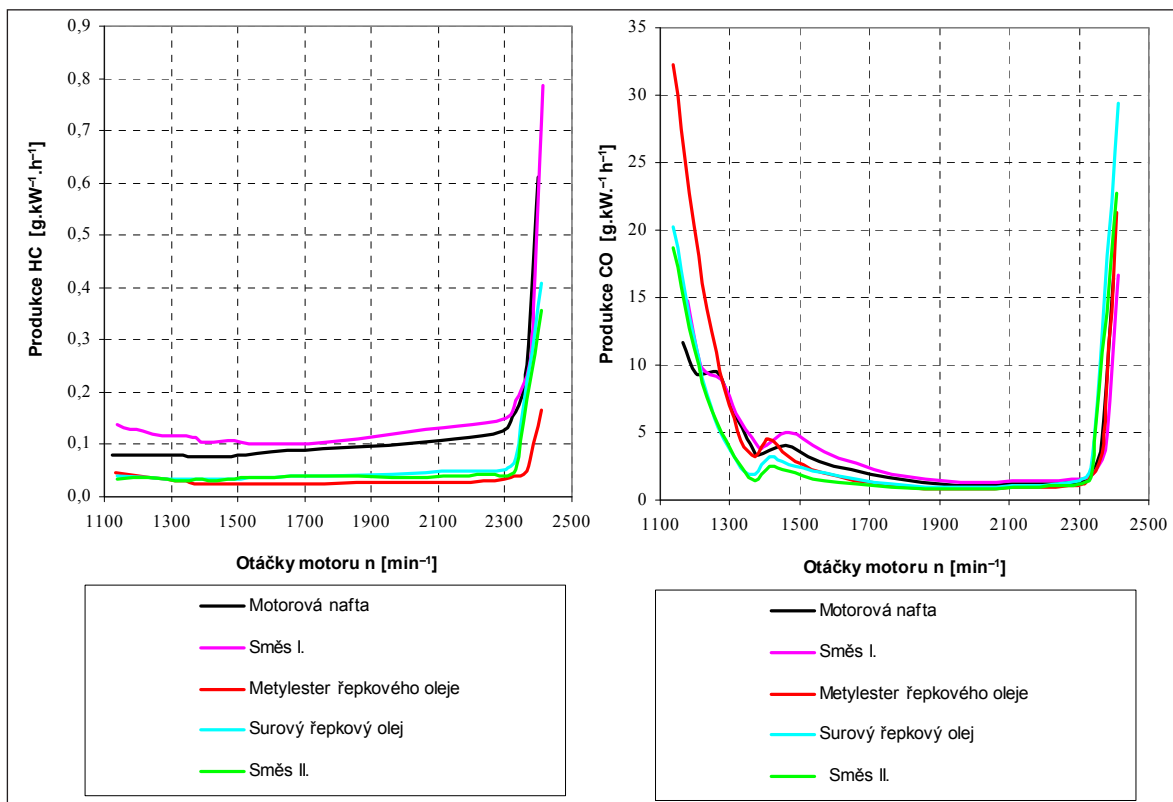
2: Průběh výkonů a měrných spotřeb paliv u traktoru s řadovým vysokotlakým čerpadlem

2: Curves of engine power and specific fuel consumption of a tractor equipped with in-line fuel injection pump



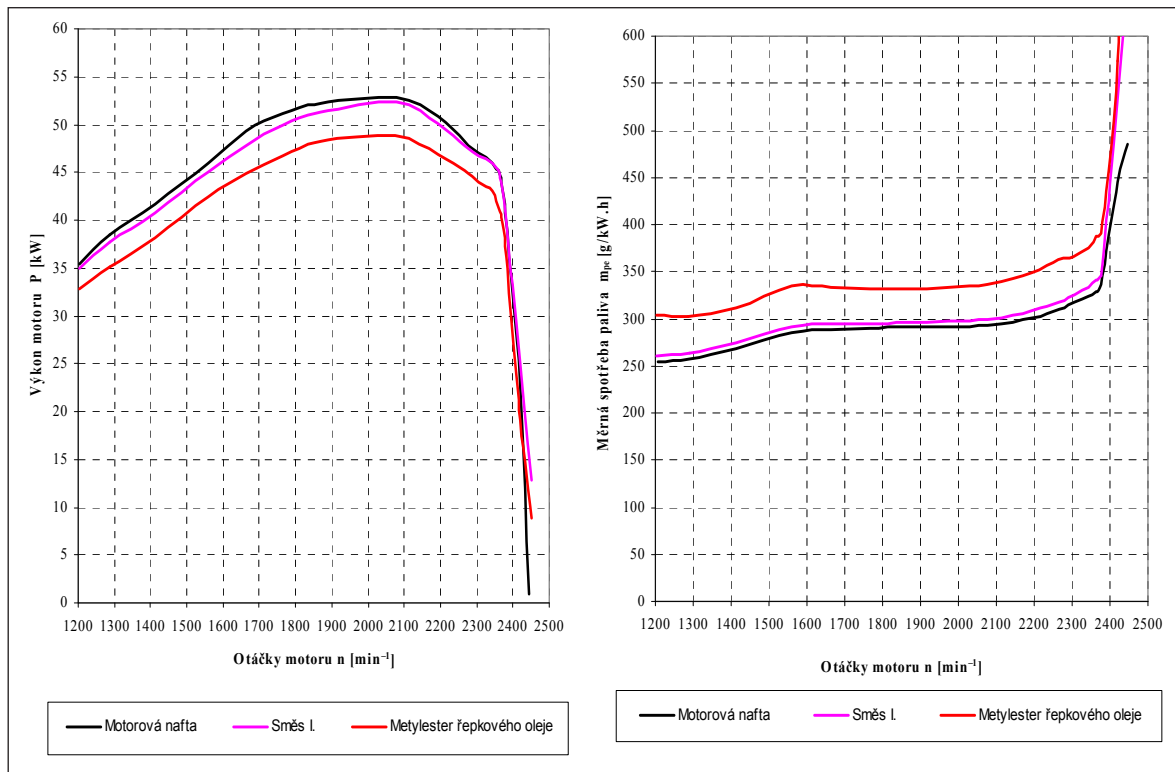
3: Průběh cyklových dávek a teplot paliv u traktoru s řadovým čerpadlem

3: Curves of cycle injection quantity and fuel temperature of a tractor equipped with in-line fuel injection pump



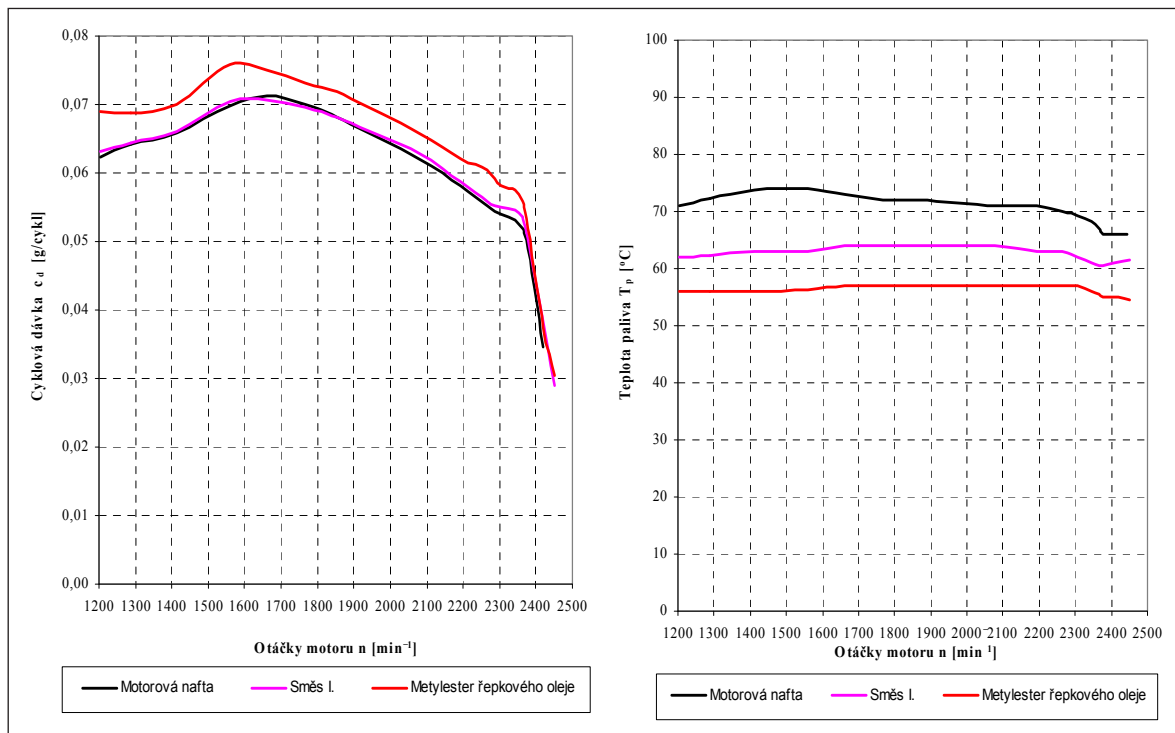
4: Průběh produkce HC a CO u traktoru s řadovým vstřikovacím čerpadlem

4: Curves of Hydrocarbons and Carbon monoxide of a tractor equipped with in-line fuel injection pump



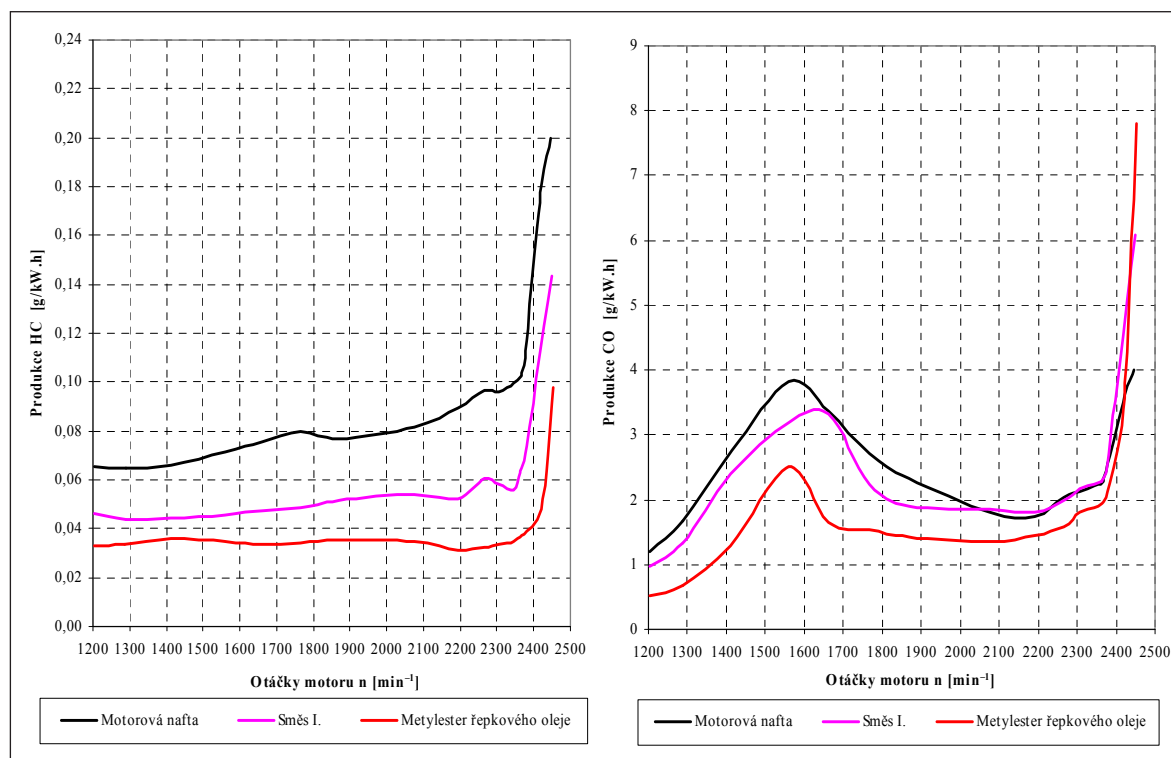
5: Průběh výkonů a měrných spotřeb u traktoru s palivovou soustavou Common Rail

5: Curves of engine power and specific fuel consumption of a tractor equipped with Common Rail fuel injection system



6: Průběh cyklových dávek a teplot paliv u traktoru s palivovou soustavou Common Rail

6: Curves of cycle injection quantity and fuel temperature of a tractor equipped with Common Rail fuel injection system



7: Průběh produkce HC a CO u traktoru s palivovou soustavou Common Rail

7: Curves of Hydrocarbons and Carbon monoxide of a tractor equipped with Common Rail fuel injection system

hodnoty HC a CO např. při maximálním výkonu motoru, pak použitím metylesteru řepkového oleje došlo ke snížení HC o 63 % a CO o 45 % (traktor I) a v případě traktoru II o 58 % HC a 25 % CO v porovnání s provozem na směs I, resp. motorovou naftu. Tyto výsledky se nacházejí v rozmezí uváděné i jinými autory (Demirbas, 2009, EPA, 2002). Snížení měřených emisí je přikládáno většímu obsahu kyslíku, který zabraňuje jeho lokálnímu nedostatku ve spalovacím prostoru, neboť jak CO, tak i HC vznikají mimo jiné za nepříznivých oxidačních podmínek.

ZÁVĚR

Z provedených měření vyplývají následující závěry:

1. Použitím alternativních paliv založených na rostlinné bázi u spalovacího motoru s řadovým čer-

padlem a palivovou soustavou Common Rail bylo zjištěno zvýšení cyklové dávky v porovnání s motorovou naftou o 0,5 až 15 %.

2. Vyšší cyklová dávka u alternativních paliv nevedla k nárůstu výkonu motoru, což je dáno nižším energetickým obsahem paliva v cyklové dávce.
3. Provoz spalovacích motorů na alternativní paliva vykazoval podobnou míru efektivity práce jako na motorovou naftu, což je zřejmé z měrné spotřeby paliva v MJ/kW.h. Rozdíly lze přisuzovat optimalizaci spalovacího motoru pro provoz s motorovou naftou.
4. Použitím alternativních paliv došlo k poklesu měřených plynných emisí HC a CO od 25 do 63 % v porovnání s motorovou naftou.

SUMMARY

The aim of experimental work was to determine effects caused by using biofuels in conventional internal combustion engines without any changes in fuel injection system. Mechanical injection system and Common-Rail fuel system were tested under power test procedures. Rated power curve was measured via PTO loaded with Eddy current dynamometer. The measurement consisted of following parameters: engine speed, fuel consumption, intake temperature and pressure, fuel temperature and exhaust temperature. Pollution of carbon monoxide and hydrocarbons were sampled within the test procedures. The results of emission measurement clearly show advantages on condition that alternative biofuel is used. Decrease of hydrocarbons and carbon monoxide ranged between 25% and 63% in comparison with diesel fuel. However, lower heating value reduces engine power up to

10% even the cycle duty growth up to 115% of nominal value. Efficiency of refueled engines fell down in all cases of testing.

SOUHRN

Naším cílem bylo provést analýzu výstupních parametrů spalovacího motoru s řadovým vstřikovacím čerpadlem a spalovacího motoru s palivovou soustavou Common Rail při použití alternativních paliv. Měřenými parametry byly otáčky motoru, spotřeba paliva, teplota paliva, teploty a tlaky plnicího vzduchu před a za turbodmychadlem, teplota výfukových plynů. Během měření byly sledovány vybrané plynné složky emisí CO a HC. Provoz spalovacích motorů na alternativní paliva vykazoval podobnou míru efektivity práce jako na motorovou naftu, což je zřejmé z měrné spotřeby paliva v MJ/kW.h. Rozdíly lze přisuzovat optimalizaci spalovacího motoru pro provoz s motorovou naftou. Použitím alternativních paliv došlo k poklesu měřených plynných emisí HC a CO od 25% do 63 % v porovnání s motorovou naftou. Využitím alternativních paliv založených na rostlinné bázi u spalovacího motoru s řadovým čerpadlem a palivovou soustavou Common Rail bylo zjištěno zvýšení cyklové dávky v porovnání s motorovou naftou o 0,5 % až 15 %. Vyšší cyklová dávka u alternativních paliv nevedla k nárůstu výkonu motoru, což je dáno nižším energetickým obsahem v cyklové dávce paliva.

biopaliva, metylester řepkového oleje, emise, traktorový motor

Poděkování

Príspevek vznikl s podporou projektu COST 356 OC191 „Doprava v zemědělství a její dopad na životní prostředí“ uděleného MŠMT ČR a výzkumného záměru č. MSM6215648905 „Biologické a technologické aspekty udržitelnosti řízených ekosystémů a jejich adaptace na změnu klimatu“ uděleného MŠMT ČR.

LITERATURA

- DEMIRBAS, A.: Political, economic and environmental impacts of biofuels, *Applied Energy* 86 (2009) str. 108–117.
- BATCHELOR, S. E., BOOTH, E. J., WALKER, K. C.: Energy analysis of rape methyl ester (RME) production from winter oilseed rape, *Industrial Crops and Products* 4 (1995) 193–202 44.
- EMBERGER, P., THUNEKE, K., GASSNER, T.: Betriebsverhalten von Rapsöl-Traktoren im Praxisbetrieb, *Landtechnik* 64 (2009), No. 1, str. 37–39.
- EPA 2002 – A comprehensive analysis of biodiesel impacts on exhaust emissions EPA, 420-P-02-001, Washington DC, 2006 63
- GELDER, J. W., KAMMERAAT, K., KROES, H.: Soy consumption for feed and fuel in the European Union, A research paper prepared for Milieudiefensie (Friends of the Earth Netherlands, 2008, 34.
- GNANSOUNOU, E., DAURIAT, A., VILLEGAS, J., PANICHELLI, L.: Life cycle assessment of biofuels: Energy and greenhouse gas balances, *Biore-source Technology* 100 (2009) 4919–4930 144.
- JEVIČ, P., MALAŤÁK, J., PŘIKRYL, M., BRADNA, J.: Důsledky výroby bioethanolu a methylesteru mastných kyselin z biosurovin pro bilanci energie a skleníkových plynů. In: 6. Biogenní pohonné hmoty 2005. VZÚT Praha, VÚZT – SVB – MZČR 2005 – ČZU v Praze, s. 79–92, ISBN 80-86884-08-2 196.

Adresa

Ing. Tomáš Šmerda, Ph.D., Ing. Jiří Čupera, Ph.D., Ústav techniky a automobilové dopravy, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika, e-mail: tomas.smerda@mendelu.cz, xcupera@node.mendelu.cz

