

EFFECT OF COMBUSTION OF ALTERNATIVE FUELS ON DIESEL ENGINE EXHAUST EMISSIONS

Polcar A., Čupera J.

Department of Engineering and Automobile Transport, Faculty of Agronomy, Mendel University in Brno, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Czech Republic

E-mail: adam.polcar@mendelu.cz

ABSTRACT

The article describes the influence of combustion of the alternative fuels on the composition of exhaust emissions, also on the production of carbon dioxide CO₂, carbon monoxide CO and unburned hydrocarbons HC. Tests were conducted on diesel engine Zetor, model: Zetor 1005. The engine was operating on rapeseed oil and its blends with diesel oil (50:50), methyl ester of rapeseed oil and biodiesel. All tests were carried out in laboratories of the Department of Engineering and Automobile Transport at the Mendel University in Brno. Results of measurements showed changes of exhaust gases composition. We came to the conclusion that the operation of the engine for biofuels significantly decreases emissions of organic pollutants - carbon monoxide and unburned hydrocarbons.

Key words: engine, combustion, exhaust emissions

Acknowledgments: This project was supported by IGA 2010 – TP03.

ÚVOD

V současné době většina spalovacích motorů používá ke svému provozu uhlovodíková paliva na bázi ropy – naftu a benzín. Ropa ale představuje neobnovitelný zdroj energie, který má omezené zásoby. Odhaduje se, že světová těžba ropy by měla vrcholit již kolem roku 2020. Vlivem rozvoje automobilismu, s přibývajícím poptávkou a klesající, nebo alespoň nezvyšující se dodávkou, lze očekávat strmý a nekontrolovatelný nárůst cen tohoto druhu paliva. Mezi další problémy vyskytující se spalováním těchto ropných derivátů je to, že představují jeden z hlavních zdrojů znečišťování ovzduší škodlivinami a skleníkovými plyny. Tyto důvody nutí lidstvo hledat alternativní paliva, která se budou svými vlastnostmi blížit palivům na bázi ropy a budou šetrnější k životnímu prostředí. Jedním z potenciálně perspektivních motorových paliv jsou tzv. rostlinné oleje. Rostlinné oleje jsou získávány z olejnatých rostlin a disponují příznivými vlastnostmi, blíží se vlastnostem motorové nafty – mají vysokou výhřevnost, jsou kapalné, nesnadno zápalné atd. V České Republice jsou nejvíce rozšířeny rostlinné oleje získávány z řepky olejné tzv. řepkové oleje. Mimo zkoumání jejich fyzikálně-chemických vlastností se pozornost výrobců motorů zaměřuje zejména na jejich přímou aplikaci ve vznětových motorech – na úpravu motoru pro spalování těchto biopaliv, změnu výkonnostních a ekonomických parametrů a rozbor jednotlivých složek emisí.

Článek se zabývá vlivem spalování rostlinného oleje resp. řepkového oleje, jeho směsi s motorovou naftou, metylesteru řepkového oleje a bionafty ve spalovacích motorech na složení výfukových emisí.

MATERIÁL A METODIKA

Pro měření byl použit vznětový motor Zetor, model: Zetor 1005, osazený v traktoru Zetor FORTERRA 9641. Jak je již v úvodu zmíněno, byl motor při zkouškách provozován na:

- *motorovou naftu (pro získání výchozích hodnot)*
- *řepkový olej*
- *směs řepkového oleje a motorové nafty (50:50)*
- *metylester řepkového oleje*
- *bionaftu (31 % metylesteru řepkového oleje, 69 % motorové nafty)*

Měření probíhalo v laboratořích Ústavu techniky a automobilové dopravy na Mendelově univerzitě v Brně podle metodiky OECD, při dodržení dovolených mezních úchytek předepsaných normou ČSN ISO 789-1. Pro zjištění obsahu jednotlivých sledovaných složek výfukových plynů: CO₂, CO, HC, při spalování daného typu paliva, bylo nutné změřit jmenovité a částečné charakteristiky, při

MENDELNET 2010

kerých docházelo k záznamu obsahu sledovaných složek emisí. Na základě naměřených charakteristik byly sestaveny úplné charakteristiky motoru, které posloužili jako podklad pro sestavování emisních map příslušné emisní složky v celém pracovním rozsahu motoru.

Měření probíhalo:

1) dynamicky – pro získání maximálního výkonu, točivého momentu a jmenovitých otáček. Tyto hodnoty posloužily následně jako podklad pro nastavení statického měření jmenovité charakteristiky.

2) staticky- při statickém měření probíhalo vlastní měření jmenovitých a částečných charakteristik. Pro sestavení jmenovitých charakteristik bylo zvoleno 13 a více bodů hodnot točivého momentu při daných otáčkách, na které byl následně motor zatížen dynamometrem. Po zatížení motoru na dané otáčky a ustálení měřených hodnot došlo k jejich uložení současně s hodnotami sledovaných emisí. Celé měření probíhalo zcela automaticky.

Pro sestavení grafu úplné charakteristiky motoru při provozu na daný typ paliva bylo provedeno měření jedné jmenovité a jedenácti částečných charakteristik motoru při snížených dodávkách paliva. Do úplné charakteristiky motoru byly následně vyneseny hyperboly stálých výkonů, křivky měrných spotřeb a křivky jednotlivých složek emisí.

Po změření všech hodnot a následně změně typu použitého paliva, se celý postup zopakoval. Díky horším vlastnostem některých paliv bylo nutné před začátkem měření provést zásah do palivové soustavy motoru.

Technické parametry traktoru Zetor Forterra 9641

Výrobce traktoru: Zetor, a.s., model: FORTERRA 9641, číslo motoru: 1005 – 000015 048 -127, Číslo traktoru: L0964201029K, rok výroby: 2008, počet odpracovaných motohodin: 20. Motor: model: Zetor 1005, řadový čtyřválcový kapalinou chlazený vznětový s dvou-palivovou soustavou s řadovým vstříkovačím čerpadlem, přeplňovaný turbokompresorem bez regulace plnicího tlaku. Zdvihový objem: 4156 cm³. Jmenovitý výkon: 66 kW, Maximální točivý moment: 391 N.m. Převodovka: Mechanická s třístupňovým násobičem, reverzační, synchronizovaná. Počet převodových stupňů 24 vpřed / 18 vzad. Pohon pojezdu 4K4. Pneumatiky: přední náprava: Michelin MITAS RD-01 Radial Drive 320/85 R 24, zadní náprava: MITAS RD-01 Radial Drive 420/85 R 38.



Obr. 1 Traktor Zetor FORTERRA 9641

Popis měřicího zařízení:

Pro změření již zmíněných charakteristik byl použit **vířivý dynamometr V 500**, který byl k traktoru připojen přes zadní vývodový hřídel. Technické údaje dynamometru: výrobce: VÚES Brno, typ dynamometru: V 500, otáčky [min^{-1}]: 150/1500/3000, výkon [kW]: 4/500/500, točivý moment [N.m]: 254/3184/1592.

Pro stanovení množství emisí CO_2 , CO a HC ve výfukových plynech byl použit **4složkový infraanalýzátor Infracal CL**. Zpracování výstupních údajů analyzátoru bylo realizováno vlastními nástroji. Data byla zpracovávána na externím PC v prostředí LabVIEW a distribuována po síti Ethernetu do měřicího počítače zkušebny. Technické parametry přístroje: měřicí rozsah (vol): CO: 0-10 % (rozlišení 0,001 %), CO_2 : 0-20 % (rozlišení 0,01 %), HC: 0-2500 ppm (rozlišení 1 ppm), lambda: 0-9,999 (Brettschneider bez respektování NO_x), přesnost přístroje: splňuje třídu přesnosti dle OIML Class 1 a 0.



Obr. 2 Připojení traktoru k vířivému dynamometru V 500

Mezi další sledované hodnoty při měření patřila např. kouřivost (měřena Opacimetrem Bosch RTM 430), spotřeba paliva (měřena hmotnostním průtokoměrem Coriolis Sitrans FC MassFlo Mass 6000), hmotnostní průtok vzduchu (pomocí termického anemometru), teplota paliva, mazacího oleje motoru, nasávaného vzduchu před čističem, výfukových plynů a teplota a tlak vzduchu za turbodmychadlem (teploty byly měřeny termočlánky NiCr-Ni, tlak tenzometrickým snímačem tlaku). V neposlední řadě probíhalo i snímání barometrických podmínek v laboratoři pro výpočet korekčních koeficientů.

Měřené hodnoty ze všech uvedených snímačů byly snímány s frekvencí 18 Hz a průběžně ukládány do paměti měřicího počítače zkušebny.

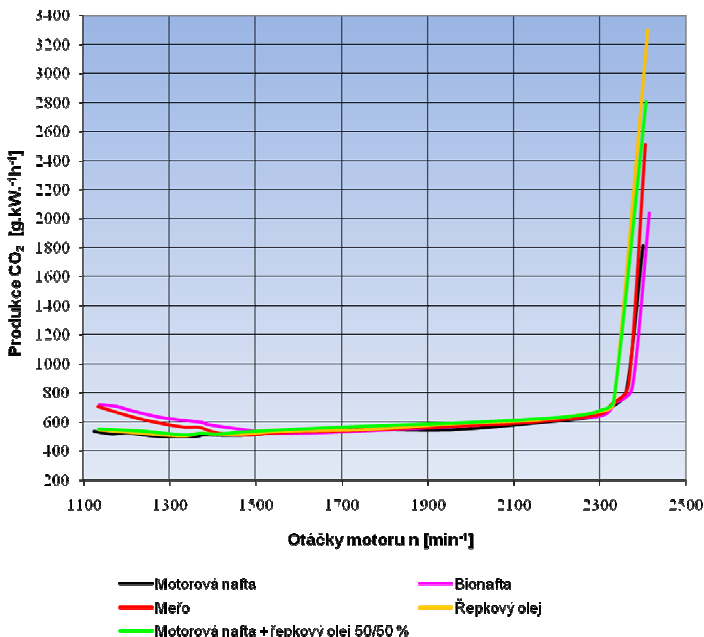


Obr. 3 Maska programu pro snímání měřených hodnot

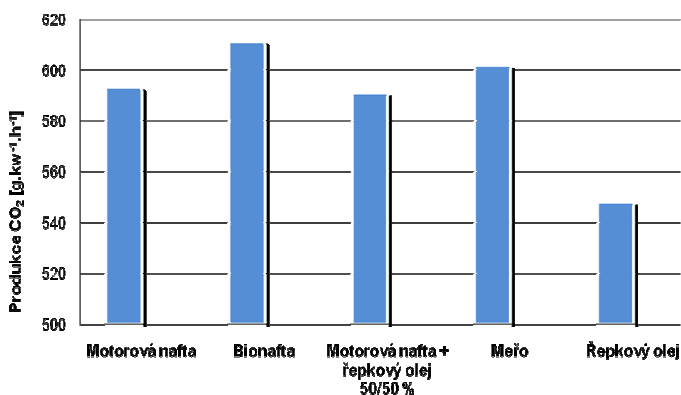
VÝSLEDKY A DISKUZE

Na základě měření byly sestaveny závislosti obsahu jednotlivých složek emisí oxidu uhličitého CO₂, oxidu uhelnatého CO a emisí nespálených uhlovodíků HC, na otáčkách při jmenovité dodávce paliva (Obr. 4, Obr. 6, Obr. 8) a také úplné charakteristiky jednotlivých emisí. Z důvodu omezeného rozsahu článku zde úplné charakteristiky emisí uvedeny nebudou.

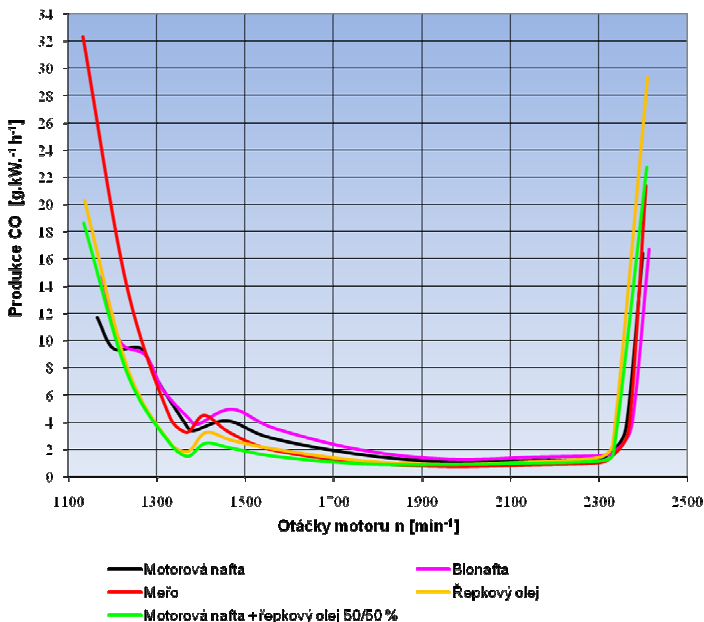
Pro detailnější zjištění produkce sledovaných složek emisí při maximálním výkonu jsme vytvořili sloupcové grafy Obr. 5, Obr. 7 a Obr. 8. Největšího výkonu bylo na základě měření dosaženo u motorové nafty při otáčkách 2148 min⁻¹, u bionafty při 2156 min⁻¹, u směsi motorové nafty s řepkovým olejem 50:50 při 1960 min⁻¹, u metylesteru řepkového oleje při 2152 min⁻¹ a u čistého řepkového oleje již při otáčkách 1764 min⁻¹.



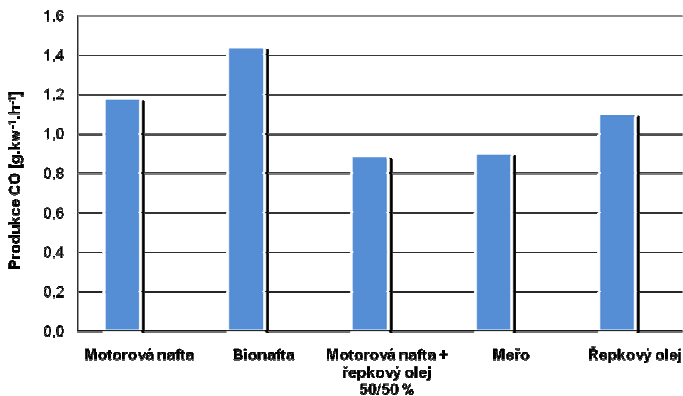
Obr. 4 Závislost produkce oxidu uhličitého na otáčkách motoru (naměřeno při jmenovité otáčkové charakteristice)



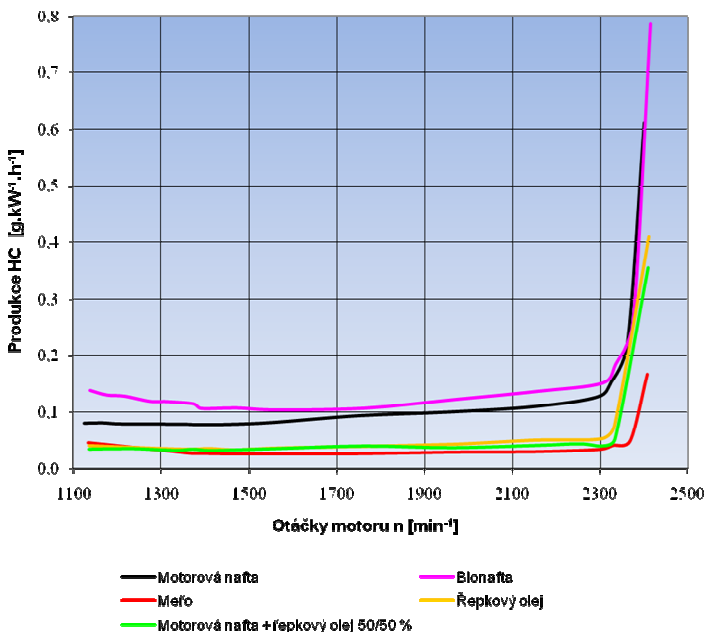
Obr.5 Porovnání produkce CO₂ uvedených paliv při maximálním výkonu



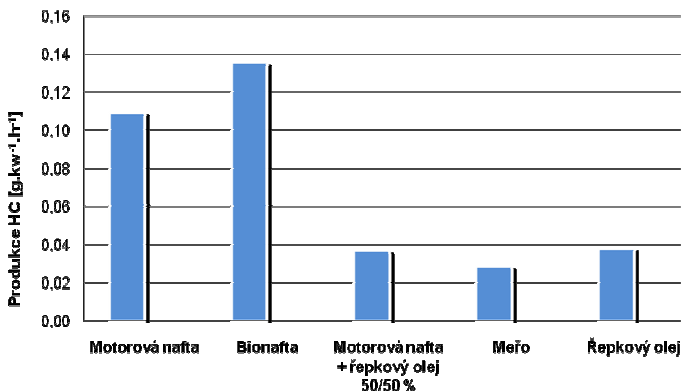
Obr. 6 Závíslost produkce oxidu uhelnatého na otáčkách motoru (naměřeno při jmenovité otáčkové charakteristice)



Obr. 7 Porovnání produkce CO uvedených paliv při maximálním výkonu



Obr. 8 Závislost produkce nespálených uhlovodíků na otáčkách motoru (naměřeno při jmenovité otáčkové charakteristice)



Obr. 9 Porovnání produkce HC uvedených paliv při maximálním výkonu

Grafické závislosti zobrazují průběh obsahu jednotlivých složek emisí v závislosti na otáčkách motoru při jmenovité dodávce paliva. Hodnoty emisí výfukových plynů jsou charakteristickým ukazatelem kvality spalování, která je zejména dána jejich fyzikálně-chemickými vlastnostmi paliva.

Při měření řepkového oleje a jeho směsi s naftou v poměru 50/50 bylo zapotřebí, v důsledku jeho vysoké kinematické viskozity, která je přibližně 12krát větší než u motorové nafty, ho před vstupem do palivové soustavy ohřívat (teplota těchto paliv se následně pohybovala mezi 55 až 73 °C). Viskozita olejů úzce souvisí s kvalitou jejich spalování a tedy i s emisemi výfukových plynů. Při správný průběh spalování je zapotřebí palivo ve spalovacím prostoru dokonale rozpráší – atomizovat. Pečlivá atomizace paliva má pak za následek jeho snadnou a rychlou oxidaci. Pokud bychom používali vysoce viskózní paliva a snižovali jejich viskozitu nuceným ohříváním, museli bychom pro zabezpečení dokonalého průběhu jejich spalování použít daleko vyšších vstříkovačích tlaků než při vstříkávání nafty.

Příčiny vzniku emisí nespálených uhlovodíků jsou srovnatelné jako u emisí CO - jsou produktem nedokonalé oxidace. Vznikají vždy při obohacování směsi, tzn. v případech, kdy se vstříkuje více než základní množství paliva, nebo v místech, do kterých se plamen nemůže dostat, jako např. ve štěrbině mezi pístem a prvním pístním kroužkem. Nespálené uhlovodíky vznikají i tehdy, když v důsledku nižší teploty v blízkosti stěn spalovacího prostoru dojde k vyhasínání plamene. Emise HC a CO jsou složky paliva a jejich zvýšené množství ve výfukových plynech poukazuje na energetickou ztrátu, na menší využití energie obsažené v přivedeném palivu a následně i menší přeměnu na mechanickou práci. Z grafických závislostí sledovaných emisí CO a HC (Obr. 6 a Obr. 8) je patrné, že při použití alternativních paliv došlo ke snížení jejich produkce v celém rozsahu otáček. Jen při nízkých otáčkách a plných zatíženích dochází k velkému nárůstu emisí CO. Tento nárůst může být způsoben zhoršeným spalováním v důsledku delšího průtahu vznícení (vlivem horší odpařitelnosti zkoušeného paliva). Při porovnání produkce oxidu uhličitého a zejména pak nespálených uhlovodíků při maximálním výkonu je produkce těchto škodlivin menší než při spalování motorové nafty a bionafty. Je to z důvodu lepší oxidace paliv. Lepší oxidace nastává z důsledku vyššího obsahu kyslíku v palivu, což se projeví rychlejší tvorbou směsi a tedy i dokonalějším spalováním. Někdy bývají tyto paliva, z důvodu vyššího obsahu kyslíku, označována též jako paliva kyslíkatá. Nejnižších hodnot emisí CO dosahoval motor v oblastech vysokých výkonů, naopak emisí HC v oblastech maximálních točivých momentů.

Oxid uhličitý je bezbarvý, velice stabilní, málo reaktivní plyn. Je produktem dokonalé oxidace - dokonalého spalování. Tento plyn je jeden z hlavních plynů, které vytvářejí radiační clony omezující sdílení tepla ze zeměkoule sáláním, neboli vyvolává skleníkový efekt a účastní se tak na oteplování klimatu Země. Při spalování rostlinných olejů dochází k lepší oxidaci než u motorové nafty a bionafty a tedy k nepatrnému zvýšení emisí CO₂, které jsou „cílem“ spalování (viz Obr.4).

Výsledky měření odpovídají výsledkům podobných měření publikovaných ke stejné problematice.

ZÁVĚR

Cílem článku je analyzovat složení výfukových emisí při spalování alternativních paliv - řepkového oleje a jeho metylesterů. Při rozboru výsledků docházíme k závěrům, že použití těchto alternativních paliv přináší výrazné snížení emisí základních i minoritních zdravotně rizikových organických škodlivin - oxidu uhelnatého a nespálených uhlovodíků. Ovšem ale před stanovením obecných závěrů, jestli dané palivo je k životnímu prostředí šetrnější, si musíme uvědomit, že jde o posuzování zatížení životního prostředí pouze při spalování těchto paliv. Abychom komplexně posoudili vliv daného alternativního paliva na životní prostředí, museli bychom do analýzy zahrnout jeho celý „životní cyklus“ tzv. LCA- Life Cycle Assessment, tj. produkci zdrojů, výrobu paliva, jeho distribuci ke spotřebiteli až po fázi jeho spotřeby ve vozidle. Jak vyplývá ze závěrů různých analýzy, tak používání těchto paliv je z hlediska snížení GHG emisí efektivní ve fázi koncové spotřeby pouze za předpokladu, že se podaří zachytit a uskladnit CO₂ vznikající již v procesu jejich výroby, tedy za cenu jejich větší energetické náročnosti výroby. Výhoda zavádění biopaliv spočívá zejména v omezování závislosti na ropných produktech, využití domácích zdrojů, průmyslové výroby a udržování krajiny. Dalšími přednostmi biopaliv je jejich netoxicitá a biologická odbouratelnost.

Nahrazení klasických konvenčních motorových paliv z fosilních zdrojů za alternativní paliva z obnovitelných zdrojů naráží v současné době na dva hlavní problémy. V první řadě jde zejména o velké náklady na výrobu biopaliv a dále pak na náklady spojené s případnou úpravou spalovacího motoru (aplikace vyhřívaných nádrží apod.) a zvýšené provozní náklady. Při provozu motoru na biopaliva je nutné používání speciálního motorového oleje a zkrácení jeho intervalu výměny, díky jeho znehodnocování např. oligomerizací rostlinných olejů. Vedle nízké oxidační stability stojí i náchylnost biopaliv k tvorbě usad, jak ve spalovacím prostoru, tak i v palivových nádržích.

LITERATURA

BAUER F. a kol.: Výsledky měření spalovacího motoru při provozu na alternativní paliva. Zkušební zpráva, Brno: MZLU, 2008, 68 s.

DUMITRU B.: *Rapeseed oil and methyl ester of rapeseed oil as alternative fuels for diesel engines*. Collection from XLI. International Scientific Conference of Czech and Slovak University Departments and Institutions Dealing with the Research and Combustion Engines in Liberec: TU Liberec, Department of Vehicles and Engines, 2010, 350 s.

MACEK J.: *Spalovací motory I*. ČVUT, Praha, 2007, 260 s.

POLCAR A.: *Katalytické systémy zážehových motorů- monitorování účinnosti v definovaných jízdních režimech*. Diplomová práce, MZLU Agronomická fakulta, Brno: 2009, 92s.

VLK F.: *Paliva a maziva motorových vozidel*. Brno: Vlk, 2006, 376 s.

VOJTÍŠEK M.: Vliv provozních podmínek na spalování rostlinných olejů ve stávajících vznětových motorech a na výfukové emise. Doktorská disertační práce, Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009, 138 s.