

Využití paliva E95 ve vznětových motorech

USE OF THE FUEL E95 IN CI ENGINES

Jan Hromádko¹, Jiří Hromádko², Petr Miler¹, Pavel Štěrba³

¹Česká zemědělská univerzita v Praze, ²Ministerstvo životního prostředí, ³TÜV SUD Auto CZ, s. r. o.

Využíváním biopaliv se snižuje produkce emisí skleníkových plynů, zejména CO₂. Při spalování rostlinného materiálu se uvolní pouze tolik emisí CO₂, kolik bylo předtím ze vzduchu využito fotosyntézou. U biopaliv se tento oxid uhličitý pouze vrací zpět do ovzduší, odkud byl předtím při pěstování odčerpán. Biopaliva také patří mezi obnovitelné zdroje energie, tj. zdroje, které jsou člověku volně k dispozici a jejichž zásoba se obnovuje v časových měřítcích srovnatelných s jejich využíváním na rozdíl od fosilních paliv, které se vytvářely v rozpětí několika geologických období, ale mohou být vyčerpány již během několika desetiletí. Výše uvedené argumenty uvádí jednoznačné důvody pro používání biopaliv (1–4).

Pro podporu využívání biopaliv přijala Evropská unie v roce 2009 novou směrnici Evropského parlamentu a Rady o kvalitě paliv. Směrnice zavedla závazný minimální cíl (10 %) pro podíl biopaliv v dopravním sektoru pro všechny členské státy. Směrnice dále uvádí, že biopaliva využívaná k dosažení souladu s cíly stanovenými v této směrnici a biopaliva, na která se vztahují vnitrostátní režimy podpory, musí splňovat kritéria udržitelnosti, tj. určitou minimální úsporu skleníkových plynů oproti fosilní alternativě a certifikaci biopaliv, jež má prokázat původ biopaliva (5–7).

Jelikož cílem návrhu směrnice je závazek nahradit alespoň 10 % pohonných hmot biopalivy, není možné tohoto podílu dosáhnout pouze povinným uváděním nízkoprocentních směsí biopaliv na trh. Je nutné využívat čistá biopaliva a vysokoprocentní směsí biopaliv. V našich klimatických podmínkách jsou uvažována biopaliva na bázi bioetanolu nebo methylesteru řepkového oleje (8).

Využití bioetanolu převládá u zážehových motorů a methylester řepkového oleje lze využít pouze ve vznětových motorech. Využití bioetanolu ve vznětových motorech je spojeno s řadou technických problémů, avšak přináší vyšší přínos v poklesu přímo škodlivých emisí, zejména kouřivosti motoru a produkce oxidů dusíku, na rozdíl od přidávání methylesteru řepkového oleje. Dále bude do budoucna možné vyrábět bioetanol jako biopalivo druhé generace, které přinese výraznější snížení produkce CO₂. Z těchto dvou důvodů je třeba se více zaměřit na možnosti využití bioetanolu ve vznětových motorech, zejména pak na palivo E95 (9–11).

Možnosti využití bioetanolu ve vznětových motorech

Hlavním technickým problémem při provozu vznětových motorů na bioetanol je jeho nízká hodnota cetanového čísla, která podstatně omezuje schopnost vznícení paliva. Ve srovnání s běžnými palivy potřebuje bioetanol dvojnásobnou teplotu pro

vznícení, tj. cca 1000 K proti 550 K při vznícení motorové nafty. Vzhledem k této skutečnosti je nutné pro spalování bioetanolu provedení konstrukčních úprav vznětového motoru nebo použití vhodných palivových aditiv podporujících vznícení, především pro režimy studených startů. Bioetanol však není ani příliš vhodný pro mísení s motorovou naftou vzhledem k obtížné mísitelnosti obou paliv a nestálosti vzniklé směsi. Tyto emulze ale nabízí možnost snížení kouřivosti motoru a pokles emisí škodlivých látek ve výfukových plynech (12, 13).

Pro použití bioetanolu jako alternativního paliva vznětových motorů v zásadě existují tři možné způsoby:

- přimíchávání bioetanolu do motorové nafty,
- dvoupalivový systém, kdy je do spalovacího prostoru zvlášť přiváděn bioetanol a zvlášť motorová nafta,
- jedнопalivový systém využívající palivo E95.

Přimíchávání bioetanolu do motorové nafty

Zkušenosti ukazují, že nejvýraznějšího poklesu v produkci přímo škodlivých emisí (CO, HC, NO_x, PM) přináší přidání 5 % bioetanolu do motorové nafty. Z hlediska většího poklesu produkce CO₂ je lepší přidávat vyšší podíl bioetanolu. Vyšší podíl bioetanolu přináší výrazný problém s mazáním vstříkovačím čerpadla, v experimentálních zkouškách podíl bioetanolu nepřesahuje 20 %.

Jakékoliv přidání bioetanolu do motorové nafty je spojeno s problematickou tvorbou homogenní směsi. Stabilita směsi je nejvíce ovlivněna teplotou a podílem vody v bioetanolu. Při teplotě pod 10 °C dochází k separaci jednotlivých fází, stejným způsobem se projeví jakékoliv množství vody v bioetanolu. Separaci jednotlivých fází lze podpořit přidáváním kosolventů. Z hlediska teploty je nejvhodnějším kosolventem ethyl acetát (14) a z hlediska obsahu vody v ethanolu TFT (tetrahydrofuran) (15, 16, 17).

Přidání 5 % bioetanolu do motorové nafty bylo testováno na Katedře vozidel a pozemní dopravy Technické fakulty České zemědělské univerzity v Praze. Po přidání bioetanolu motor vykazoval pokles točivého momentu o 2–3 %, který je způsoben nižší výhřevností bioetanolu. Ze stejného důvodu poklesla i produkce CO₂. Výrazně poklesla kouřivost i koncentrace CO a uhlovodíků (HC) způsobená kyslíkem vázaným v palivu. Mírný pokles v důsledku snížení spalovací teploty zaznamenala koncentrace NO_x (10).

Dvoupalivový systém

Dvoupalivový systém se vyznačuje odděleným přívodem obou paliv do spalovacího prostoru. Lze použít např. vstřík ethanolu do spalovacího prostoru samostatným vstříkovačem



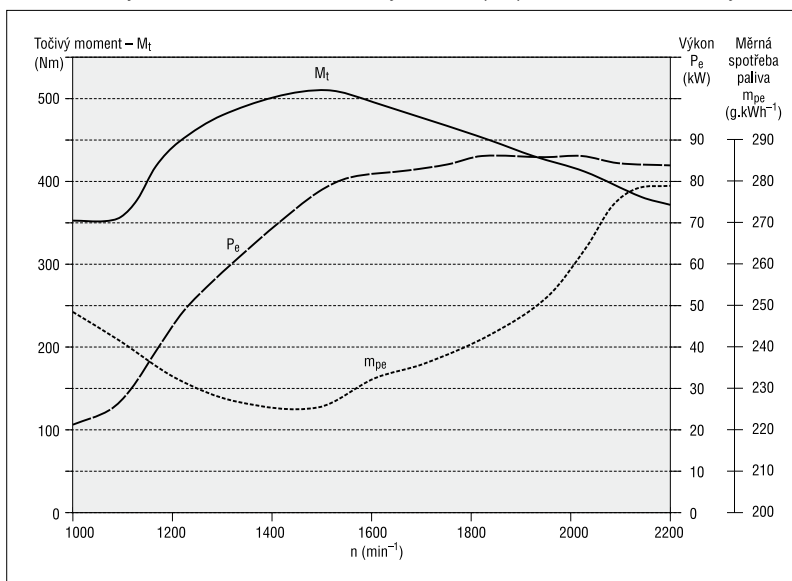
současně se vstřikem zapalovací dávky motorové nafty druhým vstřikovačem. Jiná možnost spočívá v nasávání zápalné směsi líhu se vzduchem. Příprava směsi se uskutečňuje obdobně jako v motorech zážehových buď v karburátoru, nebo nízkotlakým vstřikováním před sací ventil. Vlastní zapálení směsi se zajišťuje opět vstříknutím zapalovací dávky motorové nafty.

V současné době se z těchto možností testuje kombinace vysokotlakého vstřikování nafty common rail a nepřímý vstřik bioetanolu před sací ventily. Tento způsob využití bioetanolu ve vznětových motorech přináší výrazný pokles v produkci NO_x a PM (pevných částic). Pokles se pohybuje mezi 35–85 % (18, 19, 20).

Jednopalivový systém využívající palivo E95

Hlavní problém spojený s touto aplikací představuje nízká vznětlivost bioetanolu (cetanové číslo pouze 8), která musí být zvýšena speciálními aditivami. I přes výraznou aditivaci nelze bioethanol spalovat v běžných vznětových motorech, je nutné provést jejich úpravu. Základní úprava spočívá ve zvýšení kompresního poměru na 25 a více a ve změně dimenzování vstřikovacího systému, která je nutná vzhledem k nízké výhřevnosti ethanolu. Takto upravený motor již nelze provozovat na běžnou naftu. V současné době je tento způsob použití bioetanolu ve vznětových motorech využíván v autobusech firmy Scania (ve Stockholmu je v provozu na 200 městských autobusů, vidět je lze i na dalších místech). Palivo, které je pak používáno v těchto motorech, je označováno jako E95 a skládá se z 95 % líhu a 5 % aditiv podporujících vznětlivost (10, 21).

Obr. 1. Vnější otáčkové charakteristiky motoru při použití motorové nafty



Výsledky aplikace paliva E95 ve vznětovém motoru

Aplikace bioetanolového paliva E95 byla zkoušena v Ústavu pro výzkum motorových vozidel TUV SUD Auto CZ, s. r. o., Zkoušeným objektem byl řadový čtyřtaktní čtyřválcový traktorový motor chlazený vodou. Motor je vybaven přímým vstřikem paliva do spalovacího prostoru a je přeplňován výfukovým turbodmyčadlem s mezichladičem stlačeného vzduchu.

V prvním kroku byly srovnávány výkonostní parametry motoru při použití motorové nafty a E95. K tomuto byly naměřeny vnější otáčkové charakteristiky, viz obr. 1. a 2. V dalším kroku byly porovnány

změny v produkci měrných emisí. Produkce emisí byla vyhodnocována v souladu s předpisem EHK 96, který pro traktorové motory předepisuje měření v osmi pracovních bodech motoru. V jednotlivých bodech je stanovena produkce měrných emisí a přes hmotnostní koeficient, který je přiřazen každému pracovnímu bodu, je stanovena měrná produkce emisí pro každou složku emisí v celém osmibodovém zatěžovacím cyklu. Porovnání produkce jednotlivých složek emisí znázorňuje obr. 3.

Při spalování motorové nafty mají křivky P_e , M_t i m_{pe} typické průběhy charakteristické pro vznětový motor. Křivka výkonu vrcholí (P_e) při 2 000 otáčkách za minutu, točivý moment (M_t) dosahuje svého maxima při 1 500 otáčkách za minutu. Křivka měrné spotřeby paliva (m_{pe}) má minimum v oblasti otáček maximálního točivého momentu. Při provozu motoru na bioetanolová paliva mají křivky P_e i M_t nezvykle plochý průběh. Průběh točivého momentu je z provozního hlediska velmi nevýhodný, protože při použití lihového paliva motor postrádá zálohu točivého momentu potřebnou zejména u traktorů a nákladních vozidel. Výkon i točivý moment motoru je ve využitelném spektru otáček nižší přibližně o 40 %, než při provozu na motorovou naftu.

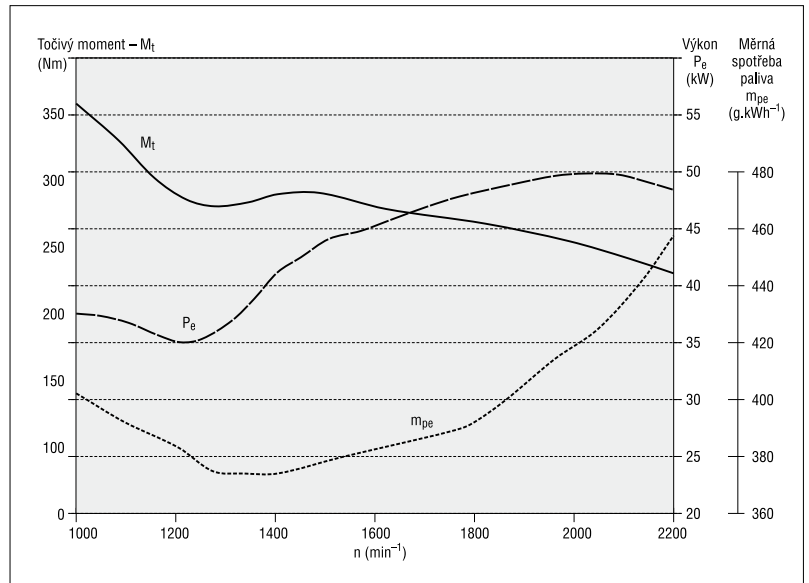
U paliva E95 dochází k nárůstu měrné produkce oxidu uhelnatého CO o 200 %. Velice výrazný je nárůst u emisí uhlovodíků HC, který dosahuje nárůstu dokonce 562 %. Emise oxidů dusíku NO_x nevykazují tak výrazné zvýšení, jako ostatní plynné složky, nárůst je pouze o 5 %. Příznivější je situace u emisí pevných částic PT, kde dochází k poklesu jejich produkce o 34 %.

Závěr

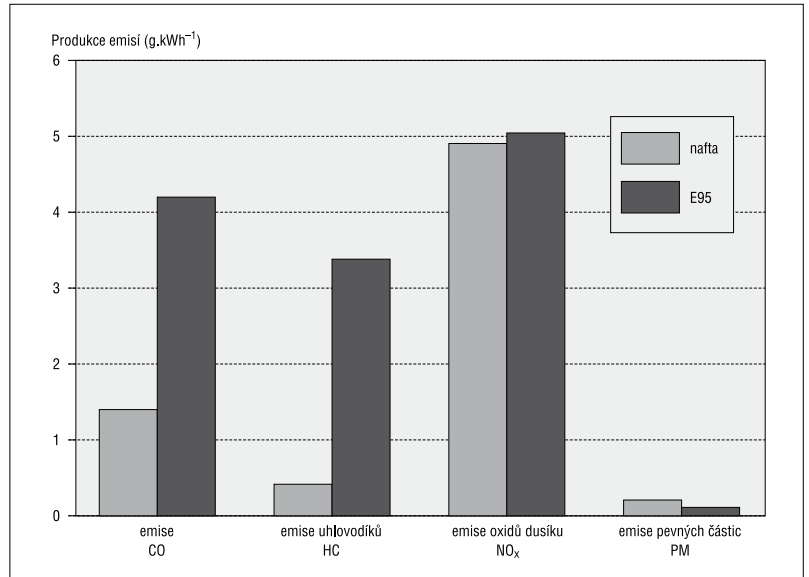
Z výše uvedeného vyplývá, že lze bioetanol vhodně aplikovat i ve vznětových motorech. V současné době je z hlediska poklesu emisí skleníkových plynů nejdiskutovanější způsob využití bioetanolu jako paliva E95. Další perspektivní možností by bylo přidávání bioetanolu do motorové nafty, které ovšem naráží na problematickou stabilitu směsi. Snížení výkonu motoru a i nevhodný průběh křivek točivého momentu a výkonu motoru u paliva E95 je způsoben nízkou výhřevností bioetanolu. Pro zvýšení točivého momentu a tedy i výkonu motoru by bylo nutné zvýšit dodávku paliva do motoru. Některé vstřikovací systémy však nejsou schopny takového zvýšení vstřikované dávky. Nejlepší je výměna palivové soustavy za novou, více výkonnou, a úprava parametrů palivové i vstřikovací soustavy na palivo E95. Tímto způsobem je možné eliminovat jak snížení výkonu a točivého momentu motoru, tak i nevhodný průběh točivého momentu a výkonu motoru.

Při hodnocení produkce měrných emisí je nutné uvědomit si, že motor na palivo E95 dosahuje nižšího výkonu, a to o 40 %. Kdyby došlo k nárůstu výkonu na stejnou hodnotu jako u motorové nafty, byl by rozdíl v hodnotách měrných emisí výrazně nižší. I přes tuto úpravu budou měrné emise oxidu uhelnatého a nespálených uhlovodíků podstatně vyšší, než

Obr. 2. Vnější otáčkové charakteristiky motoru při použití paliva E95



Obr. 3. Porovnání produkce měrných emisí stanovených dle předpisu EHK 96



u použití motorové nafty. Jak ukazují zkušenosti ze zahraničního výzkumu, je vhodné vznětové motory přestavěné na palivo E95 doplnit oxidačním katalyzátorem, který zneškodní převážnou většinu emisí oxidu uhelnatého a nespálených uhlovodíků HC.

Při dosažení stejných výkonových parametrů jako při provozu na motorovou naftu bude přínosem mírný pokles produkce oxidů dusíku NO_x a výrazný pokles produkce pevných částic.

Závěrem je třeba si uvědomit, že hlavním důvodem k používání paliva E95 je snížení produkce oxidu uhličitého, který je dán biologickým původem bioetanolu.

Pokles v produkci oxidu uhličitého může být u biopaliv druhé generace více než 90 %. U biopaliv první generace se pokles pohybuje v rozmezí 35–45 %, v závislosti na použité technologii výroby a zejména na druhu vstupní biomasy. Z pohledu produkce oxidu uhličitého vychází jako vstupní biomasa lépe cukrová řepa, než obilí.

Tento článek vznikl za podpory Ministerstva dopravy ČR, projekt č. G912-058-520 „Metodika kvantifikace a vyhodnocení environmentálních a bezpečnostních vlivů dopravy“, a Ministerstva školství mládeže a tělovýchovy ČR, projekt (OC 193), součást akce EU COST 356 „Metody hodnocení a multidisciplinární ocenění vlivů dopravy na trvale udržitelné životní prostředí“.

Souhrn

Článek se zabývá možností použití bioetanolu ve vznětových motorech a zejména pak využitím paliva E95. Využití bioetanolu jeho přimícháváním do motorové nafty a dvoupalivového systému přináší možnost nahrazení 20–40 % motorové nafty. Palivo E95 pak představuje možnost, jak ve vznětovém motoru nahradit 100 % motorové nafty, a tím více přispět k evropskému závazku do roku 2020 nahradit 10 % spotřebovaných pohonných hmot v dopravě biopalivy. Kromě výrazného přínosu v podobě poklesu produkce oxidu uhličitého přináší palivo E95 také možnost, jak snížit emise oxidů dusíku a pevných částic. V současné době je palivo E95 používáno ve více než 200 městských autobusech ve švédském Stockholmu.

Klíčová slova: vznětový motor, bioetanol, motorová nafta, škodlivé emise.

Literatura

- DOORNBOSCH, R.; STEEMBLIK, R.: Biofuels: Is the Cure Worse than the Disease. In *Round Table on Sustainable Development-Organisation for Economic Co-operation and Development*. Paris, 11.–12. 9. 2007.
- Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources*. COM(2008) 30 final, 23. 1. 2008.
- KESSE, D. G.: Global warming—facts, assessment, countermeasures. *J. Petroleum Sci. and Engin.*, 26, 2000, s. 157–168.
- CAO, X.: Climate change and energy development: implications for developing countries. *Resources Policy*, 29, 2003, s. 61–67.
- Directive 2003/30/EC of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of biofuels or other renewable fuels for transport*. Brusel, 17. 5. 2003.
- Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC*. Brusel, 23. 4. 2009.

- Directive 2009/30/EC of the European Parliament and of the Council amending Directive 98/70/EC as regards the specification of petrol, diesel and gas-oil and introducing a mechanism to monitor and reduce greenhouse gas emissions and amending Council Directive 1999/32/EC as regards the specification of fuel used by inland waterway vessels and repealing Directive 93/12/EEC*. Brusel, 23. 4. 2009.
- HROMÁDKO, J. ET AL.: Ekonomická analýza využití bioetanolu v zážehových motorech, *Listy cukrov. řepář.*, 125, 2009 (3), s. 101–103.
- MILER, P. ET AL.: Zhodnocení ekologického potenciálu paliva E85. *Listy cukrov. řepář.*, 125, 2009 (5/6), s. 180–184.
- HROMÁDKO, J. ET AL.: Využití etanolu ve vznětových motorech. *Listy cukrov. řepář.*, 125, 2009 (1), s. 24–27.
- HÖNIG, V.; MILER, P.; HROMÁDKO, J.: Bioetanol jako inspirace do budoucna. *Listy cukrov. řepář.*, 124, 2008 (7/8), s. 203–206.
- LI, D. G. ET AL.: Physico-chemical properties of ethanol-diesel blend fuel and its effect on performance and emissions of diesel engines. *Renew Energy*, 30, 2005, s. 967–976.
- SATGE DE CARO, P. ET AL.: Interest of combining an additive with diesel-ethanol blends for use in diesel engines. *Fuel*, 80, 2001, s. 565–574.
- LETCHER, T. M.: Diesel blends for diesel engines. *S. Afr. J. Sci.*, 79 1983, s. 4–7.
- LETCHER, T. M.: Ternary liquid-liquid phase diagrams for diesel fuel blends. *S. Afr. J. Sci.*, 76, 1980, s. 130–132.
- HANSEN, A. C.; ZHANG, Q.; LYNE, P. W. L.: Ethanol-diesel fuel blends a review. *Bioresource Technol.*, 96, 2005, s. 277–285.
- KWANCHAREONA, P.; LUENGARUEMITCHAIA, A.; JAI-INB, S.: Solubility of a diesel-biodiesel-ethanol blend, its fuel properties, and its emission characteristics from diesel engine. *Fuel*, 86, 2007, s. 1053–1061.
- LU, X.; MAA, J.; JIA, L.; HUANG, Z.: Simultaneous reduction of NO_x emission and smoke opacity of biodiesel-fueled engines by port injection of ethanol. *Fuel*, 87, 2008, s. 1289–1296.
- SAYINA, C.; USLUB, K.; CANAKCIC, M.: Influence of injection timing on the exhaust emissions of a dual-fuel CI engine. *Renewable Energy*, 33, 2008, s. 1314–1323.
- XING-CAI, L.; JIAN-GUANG, Y.; WU-GAO, Z.; ZHEN, H.: Effect of cetane number improver on heat release rate and emissions of high speed diesel engine fueled with ethanol-diesel blend fuel. *Fuel*, 83, 2004, s. 2013–2020.
- AGARWAL, A. K.: Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. *Prog. Energy Combust. Sci.*, 33, 2007, s. 233–271.

Hromádko J., Hromádko J., Miler P., Štěrbá P.: Use of the Fuel E95 in CI Engines

The article deals with a possibility of bioethanol use in compression ignition (CI) engines and especially the using of the fuel E95. The use of bioethanol as a blend of bioethanol and diesel and also a double fuel system brings the possibility of 20–40 % of diesel supplying. The fuel E95 is chances how to replace 100 % of diesel in CI engines thereby contribute towards the European engagement for substitution of 10 % of driving fuel consumed in transport by the year 2010. Besides of expressive benefit in carbon dioxide downturn, this fuel E95 brings downturn also in nitrogen oxide and solid production. Currently this fuel is being used in more than 200 buses in the Swedish Stockholm.

Key words: Compression ignition engine, bioethanol, diesel, harmful emissions.

Kontaktní adresa – Contact address:

Ing. Jan Hromádko, Ph. D., Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 Suchbát, Česká republika, e-mail: janhromadko@tf.czu.cz

OSOBNÍ

Ing. Josef Světlík oslavil 50. narozeniny

Padesáté narozeniny oslavil 5. ledna ing. Josef Světlík, ředitel cukrovaru společnosti Cukrovary a lihovary TTD v Českém Meziříčí. Narodil se v Opočně, po absolvování SPŠPT v Praze (1980) a Vysoké školy chemicko-technologické nastoupil v roce 1985 do českomoravského cukrovaru jako provozní technik. Od roku 1989 zde pracoval ve funkci výrobně-technického náměstka a na začátku roku 1993 se stal ředitelem závodu. Jubilantovi gratulujeme a přejeme do dalších let mnoho štěstí, zdraví a pracovních i osobních úspěchů.

Blahoslav Marek