

# Emise zážehového motoru při spalování paliva E85

EXHAUST EMISSIONS OF SPARK-IGNITION ENGINE FUELLED BY E85

Adam Polcar, Jiří Čupera, Pavel Sedlák – Mendelova univerzita v Brně

Emise škodlivin jsou společností vnímány vždy negativně. Jestliže i ryze přírodní pochody zvyšují environmentální zatížení, pak zejména způsoby transformace energie, které člověk ovládá – spalování, jsou spjaty s růstem škodlivých emisí.

Velmi významným „znečišťovatelem“ je automobilová doprava. Koncepce udržitelnosti dopravy vychází v kapitole emisních dopadů na životní prostředí z legislativních úprav předpisů tak, aby v relativně krátkých časových intervalech klesaly podíly nejvýznamnějších škodlivin. Tento „legislativní tlak“ je na výrobce kladen v homologačních předpisech a podporuje tak zavádění alternativních variant získávání energie pro pohyb dopravních prostředků. V současnosti se jedná o spojení konvenčních pohonných jednotek s elektrickým točivým strojem (hybridní vozidla) či o pohon pouze elektrický (elektromobily). Avšak nabízí se i cesta využití spalovacích motorů s palivy, jejichž dopad není pro přírodu tak drastický, s biopalivy. Zdrojem jejich výroby je biomasa definovaná jako biodegradabilní podíly produktů, odpadů a zbytků ze zemědělské výroby rostlinného nebo živočišného charakteru. Může se jednat také o odpady z dřevařského průmyslu a o podíly z průmyslových či komunálních odpadů, jsou-li biodegradabilní (1).

Mezi významné zemědělské produkty, suroviny k výrobě biopaliv, patří i cukrová řepa. Ta se díky vysokému obsahu cukru, sacharosy, používá k výrobě tzv. kvasného lihu. Kvasný líh, neboli bioetanol, je produktem fermentačních procesů, jejichž vstupní suroviny jsou tvořeny podíly produktů, odpadů a zbytků obsahujících cukry nebo lignocelulózuovou biomasu. A právě cukrová řepa je hlavní komoditou pro výrobu bioetanolu v České republice a spolu s pšenicí i v Evropě (2).

Bioetanol se řadí do skupiny nižších alkoholů a využívá se jako substituční palivo jak pro zážehové, tak i vznětové motory. Nedostatečná těkavost ethanolu při nízkých teplotách, ovlivňující teplotní rozsah jeho použití jako paliva, však patří k limitujícím faktorům. Spalování čistého ethanolu je možné pouze asi od 7 °C (3). Pro odstranění této nevýhody se do ethanolu přidává podíl benzínu, který umožňuje použití těchto směsí i při nízkých teplotách.

Počátek využívání ethanolu jako paliva pro zážehové motory se datuje na konec 19. století, kdy byl nedostatek benzínu a vysoká produkce lihu. V letech 1926 až 1936 bylo v Československu

zákonem stanoveno povinné přidávání 20 % ethanolu do směsi s benzínem. V meziválečném období se také, díky nedostatku benzínu, na trhu objevilo i palivo zvané „Dynakol“ tvořené 50 % ethanolu, 30 % benzenu a 20 % benzínu. Avšak s růstem efektivitu těžby ropy počátkem 20. století došlo k postupnému nahrazování lihu benzínem. Používání lihobenzinových směsí zaniklo v padesátých letech v důsledku levnější výroby benzínu (4). Lihobenzinové směsi se začínají v Evropské unii znovu objevovat začátkem 21. století zavedením biopalivového programu. V současné době je od 1. 6. 2010 v České republice zákonem č. 172/2010 Sb. stanoveno povinné přimíchávání 4,1 % objemových jednotek bioetanolu do automobilového benzínu.

Postupným zaváděním biopaliv se nejenom snižuje závislost na ropných palivech, ale také se mj. do jisté míry redukuje produkce škodlivých látek motorem. Jednou z příčin nízké produkce emisí je kyslík, který biopaliva obsahují. Jak je obecně známo, kyslík obsažený v palivu podporuje dokonalejší hoření tohoto paliva. V současné době je u nás v prodeji ethanolové palivo E85, které je tvořeno 85 % bioetanolu a 15 % benzínu. Pro posouzení vlivu spalování E85 na emise výfukových plynů byla na Ústavu techniky a automobilové dopravy Mendelovy univerzity provedena série měření na vozidlech se zážehovým motorem. Mezi sledované emise patřil oxid uhelnatý CO, nespálené uhlovodíky  $C_xH_y$  a emise oxidů dusíku  $NO_x$ , které jsou ve výfukových plynech monitorovány a legislativně omezeny.

## Materiál a metody

Jak již bylo zmíněno výše, měření byla realizována ve vozidlových laboratořích Ústavu techniky a automobilové dopravy Mendelovy univerzity v Brně. Pro posouzení vlivu spalování

Tab. 1. Specifikace motoru osobního automobilu VW Golf 1.4 a VW Golf 1.6

Parametr	VW Golf 1.4		VW Golf 1.6	
	Velikost	Jednotka	Velikost	Jednotka
Zdvihový objem	1 390	cm <sup>3</sup>	1 598	cm <sup>3</sup>
Maximální výkon	55	kW při 5 000 ot.min <sup>-1</sup>	77	kW při 5 700 ot.min <sup>-1</sup>
Maximální točivý moment	126	N.m při 3 300 ot.min <sup>-1</sup>	148	N.m při 4 500 ot.min <sup>-1</sup>
Kompresní poměr	10,5	–	11,5	–
Opotřebením – ujetá vzdálenost	179 720	km	107 927	km

Obr. 1. Zkoušená vozidla ve vozidlových laboratořích Ústavů techniky a automobilové dopravy: 1 – vozidlo Volkswagen Golf 1.6 na válcovém dynamometru; 2 – vozidlo Volkswagen Golf 1.4; 3 – přenosný emisní analyzátor spalín MRU Vario Plus



biopaliva E85 na produkci monitorovaných emisí byly vybrány dva osobní automobily z produkce společnosti Volkswagen, a to vozidla Golf 1.4 a 1.6 čtvrté modelové řady. Stručná specifikace motorů obou vozidel je uvedena v tab. I.

Jako referenční palivo byl použit benzin Natural 95. Pro to, aby bylo možné spalovat vysokoobjemové směsi ethanolu s benzinem v konvenčních vozidlech se zážehovým motorem, je nutná úprava vstřikovaného množství paliva do válce motoru, resp. směšovacího poměru paliva a vzduchu. Kyslík, který ethanol obsahuje, snižuje jeho výhřevnost (výhřevnost E85 při 25 °C je 28,94 MJ.kg<sup>-1</sup> a benzínu 42–45 MJ.kg<sup>-1</sup>). Pokud by nebyla upravena dávka paliva, v důsledku spalování chudé směsi by hrozil pokles výkonu motoru a mj. i nedostatečné interní chlazení spalovacího prostoru. Překročení součinitele přebytku vzduchu  $\lambda$  přes hodnotu 1 s sebou nese riziko nárůstu teploty, a tím i možnosti tepelně-mechanického poškození motoru. Úprava směšovacího poměru spočívala v prodloužení doby otevření vstřikovacího ventilu prostřednictvím kontroléru, který byl do vozidel nainstalován. Ostatní parametry motoru zůstaly stejné jako při jeho provozu na benzin.

K analýze výfukových plynů byla použita u vozidla VW Golf 1.4 emisní systémová analýza Bosch ESA a u vozidla VW Golf 1.6 elektrochemický přenosný analyzátor MRU Vario

Plus. Měření probíhalo při maximálním otevření škrtecí klapky. Pro měření parametrů motoru při jeho různém zatížení byl využit válcový dynamometr (viz obr. 1.). Ostatní provozní parametry (otáčky motoru, součinitel přebytku vzduchu, teplota nasávaného vzduchu, teplota chladicí kapaliny atd.) byly měřeny rovněž pomocí systémové analýzy Bosch, nebo byly snímány z interní sítě vozidla CAN-Bus pomocí diagnostického testeru TS Pro. Každé měření bylo opakováno celkem třikrát. Teplota v laboratoři byla systémem ventilace udržována na teplotě 20 °C. Výsledky měření byly korigovány dle metodiky ISO 1585. Pro korekci naměřených údajů byl také měřen barometrický tlak a vlhkost vzduchu.

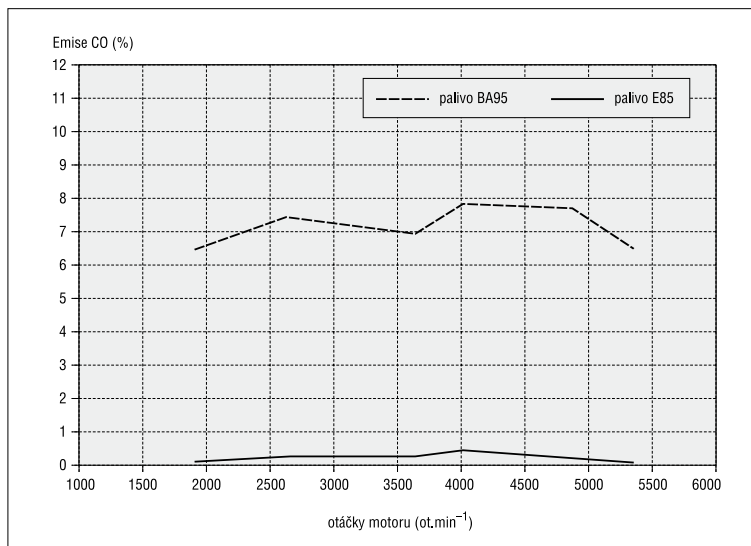
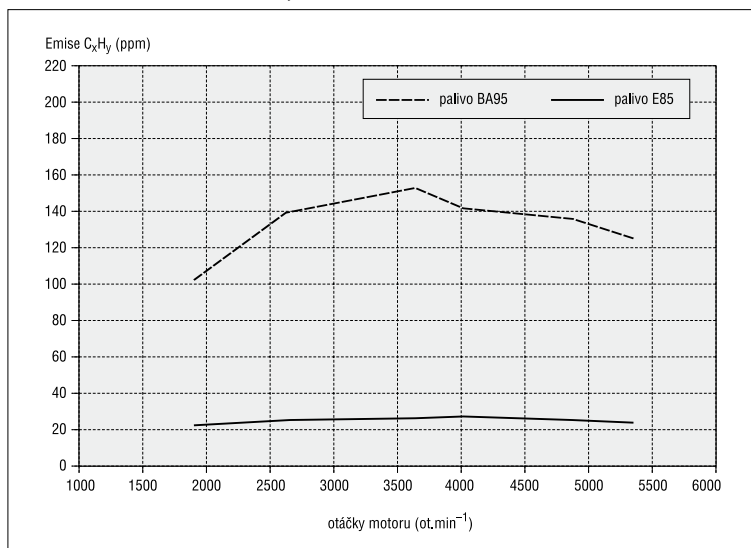
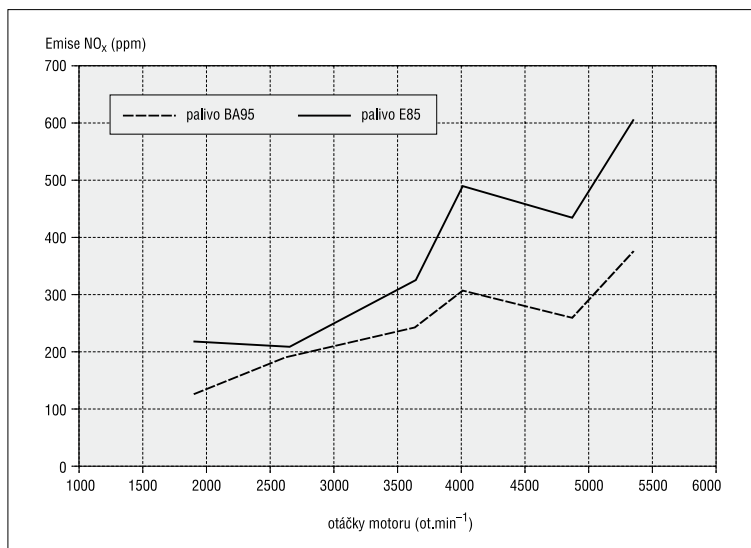
### Výsledky a diskuse

Experimentální měření bylo určeno pro porovnání produkce škodlivých složek výfukových emisí, resp. oxidu uhelnatého CO, nespálených uhlovodíků C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> a oxidů dusíku NO<sub>x</sub> při spalování benzínu Natural 95 (dále jen BA95) a vysokoprocentní směsi bioetanolu a benzínu – E85. Na obr. 2. až 4. je vyneseno průběh produkce jednotlivých sledovaných složek výfukových plynů u automobilu VW Golf 1.4 a na obr. 5. až 7. průběh produkce škodlivin při různých otáčkách u VW Golf 1.6.

Vznik jednotlivých složek emisí je obecně podmíněn mnoha faktory. Oxid uhelnatý je produktem nedokonalého spalování, které nastává vlivem nedostatku vzduchu ve spalované směsi nebo kvůli nedostatečnému času potřebnému na dokonalé prohoření směsi. Nárůst emisí nespálených uhlovodíků je způsoben spalováním příliš bohatých nebo extrémně chudých směsí, špatnou homogenitou směsi, velkým množstvím usazenin ve spalovacím prostoru a dalšími faktory, jako je např. tvar spalovacího prostoru. Produkce emisí oxidů dusíku závisí na tlaku a teplotě během spalování. Dusík je málo reaktivní plyn, který se slučuje s kyslíkem až při teplotách nad 1 500 °C, při vysokém tlaku za přítomnosti kyslíku.

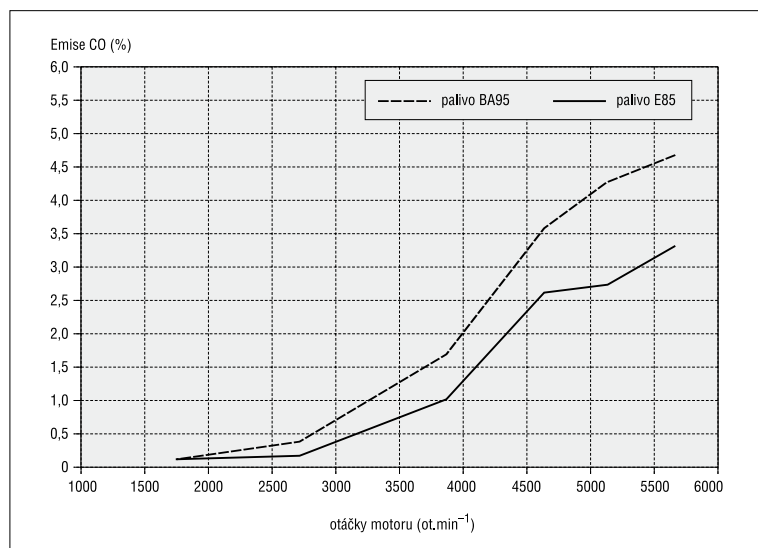
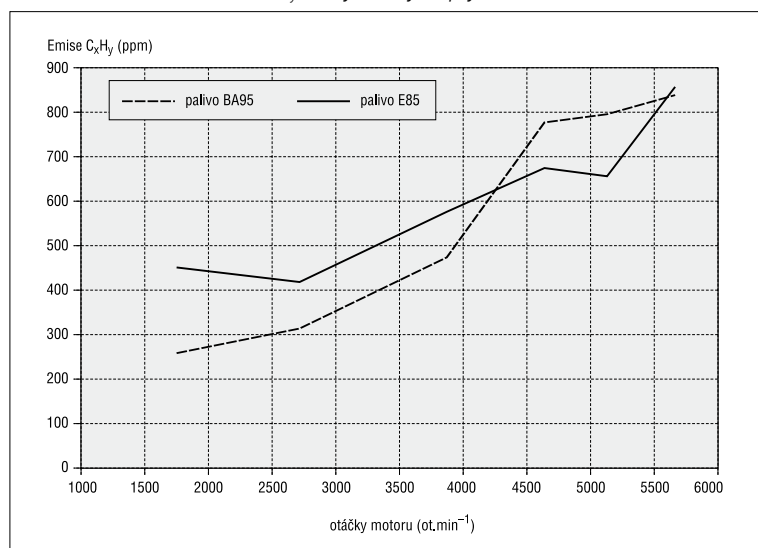
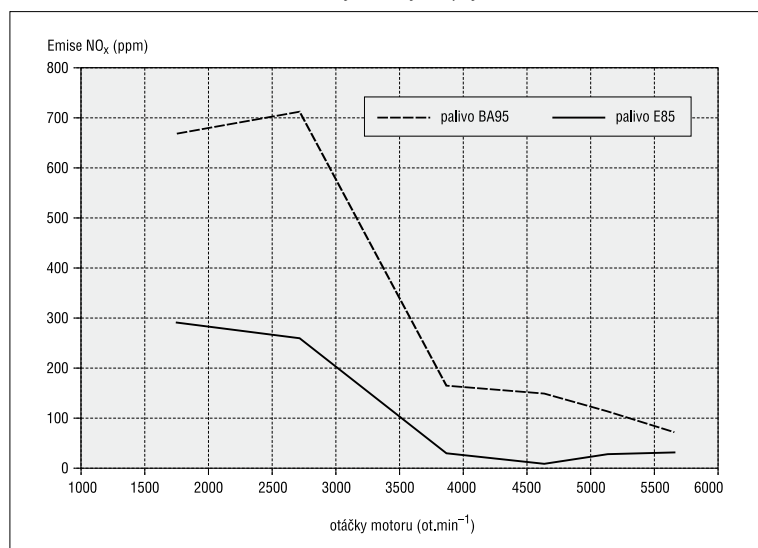
Při hodnocení obsahu oxidu uhelnatého (obr. 2. a obr. 5.) je patrný pozitivní pokles při spalování E85 u obou vozidel. U automobilu Volkswagen Golf 1.4 v průměru, resp. v celém rozsahu otáček o 97 % a u automobilu Volkswagen Golf 1.6 o 28 %. U emisí nespálených uhlovodíků a oxidů dusíku nebylo mezi oběma automobily dosaženo stejných výsledků. Zatímco u automobilu Volkswagen Golf 1.4 dochází k průměrnému poklesu emisí  $C_xH_y$  o 81,2 % (obr. 3.), u vozidla Volkswagen Golf 1.6 se obsah těchto emisí při spalování E85 ve výfukových plynech zvýšil o 3,6 % (obr. 6.) Naopak emise oxidů dusíku u automobilu Volkswagen Golf 1.4 vzrostly průměrně o 34,4 % (obr. 4.) a u vozidla Volkswagen Golf 1.6 byl jejich obsah při spalování E85 nižší o 34,6 % (obr. 7.) než při spalování benzínu.

Ve srovnání s výsledky studie publikované autory MILLER ET AL. (5) se naše výsledky rovněž liší. Autoři studie prováděli virtuální simulaci městské (UCD) a mimoměstské (EUDC) části evropského homologačního cyklu NECD pro zhodnocení přínosu spalování biopaliva E85. Základ simulace tvořily emisní charakteristiky naměřené na zkušební motoru na motoru Škoda Felicia 1,3 MPI při provozu na benzin Natural 95 a na biopalivo E85. Rozborem výsledků autoři zjistili, že spalováním E85 dochází k poklesu všech limitujících škodlivin ( $CO$ ,  $C_xH_y$ ,  $NO_x$ ). Při kombinovaném způsobu provozu poklesla produkce emisí  $CO$  při spalování E85 o 30 %, produkce emisí  $C_xH_y$  o 21 % a emisí  $NO_x$  o 31 %. Pokles emisí  $CO$  a  $C_xH_y$  při spalování E85 je zejména dán zlepšením hoření paliva ve válci díky vyšší rychlosti hoření ethanolu a lepší homogenitě směsi způsobené přítomností kyslíku v ethanolu. Pokles emisí  $NO_x$  vysvětluje nižší teplota spalování díky vyššímu výparnému teplu ethanolu. Výparné teplo ethanolu je  $904 \text{ kJ.kg}^{-1}$ , což je ve srovnání s benzinem 3× více (výparné teplo benzínu je  $290 \text{ kJ.kg}^{-1}$ ). Při odpařování E85 tak ve válci dochází k internímu chlazení, což se projeví poklesem teploty spalování. Důležité je však zdůraznit, že tento jev je závislý na součiniteli přebytku vzduchu, resp. na bohatosti směsi. Nárůst  $NO_x$  emisí u vozidla Volkswagen Golf 1.4 lze vysvětlit spalováním podstatně chudší směsi paliva E85 proti benzinu ( $\lambda_{E85} = 0,99$ ,  $\lambda_{BA95} = 0,807$ ). Navíc oblast ( $\lambda \sim 1$ ) je obecně v důsledku vysoké teploty spalování doprovázená vysokými emisemi oxidů dusíku, které jsou i přes vysoké výparné teplo E85 vyšší než při provozu

Obr. 2. Produkce emisí  $CO$  ve výfukových plynech u vozidla VW Golf 1.4Obr. 3. Produkce emisí  $C_xH_y$  ve výfukových plynech u vozidla VW Golf 1.4Obr. 4. Produkce emisí  $NO_x$  ve výfukových plynech u vozidla VW Golf 1.4



Obr. 5. Produkce emisí CO ve výfukových plynech u vozidla VW Golf 1.6

Obr. 6. Produkce emisí C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> ve výfukových plynech u vozidla VW Golf 1.6Obr. 7. Produkce emisí NO<sub>x</sub> ve výfukových plynech u vozidla VW Golf 1.6

motoru vozidla na benzin, u kterého byla směs podstatně bohatší. U automobilu VW Golf 1,6 byla směs paliva E85 a vzduchu bohatší, než u automobilu Volkswagen Golf 1.4, a blížila se stejné hodnotě jako při provozu motoru na benzin, což způsobilo velký pokles emisí NO<sub>x</sub> při menší změně emisí CO a C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>. Možné příčiny nepatrného nárůstu emisí nespálených uhlovlodíků (obr. 6.) lze spatřit ve velkém opotřebením motoru automobilu, neboli v možném spalování oleje či ve velkém množství usazenin ve spalovacím prostoru.

Mezi další studie, které hodnotily vliv směsí ethanolu a benzínu na výfukové emise patří studie autorů KOÇ ET AL. (6). Cílem jejich měření bylo porovnat vliv biopaliva E50 a E85 na výkonové parametry a na produkci výfukových emisí při různých kompresních poměrech motoru. Součinitel přebytku vzduchu byl udržován při všech měřeních na hodnotě 1. Rozbor výsledků ukázal, že s rostoucím podílem ethanolu ve směsi dochází ve všech otáčkách k poklesu jak emisí CO, tak i C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> a emisí NO<sub>x</sub>.

### Závěr

Experimentální měření mělo za úkol posoudit produkci vybraných emisí při spalování směsi obsahující 85 % bioetanolu a 15 % benzínu v motoru. Pro měření byla vybrána vozidla, u kterých byla provedena dodatečná úprava řídicích algoritmů pomocí přestavbového kitu. Měřením bylo zjištěno, že výsledky nejsou zcela konzistentní a jsou do značné míry ovlivněny opotřebením a seřízením motoru, resp. nastavením vstřikované dávky. Jak ale z dalších studií, publikovaných ke stejné problematice, vyplývá, lze o bioetanolu hovořit jako o ekologickém palivu, které při spalování v motoru produkuje ve srovnání s benzinem méně škodlivých emisí.

Pro dosažení kvalitního spalování E85 za všech provozních režimů by dodatečná přestavba motoru neměla zahrnovat pouze úpravu vstřikované dávky, ale např. i úpravu předstihu zážehu. Ve srovnání s benzinem má bioetanol vyšší oktanové číslo, resp. vyšší odolnost proti samovznícení, což rovněž přispívá k lepšímu průběhu hoření paliva ve válci, a tedy i k nižší produkci škodlivých emisí – produktů nedokonalého spalování. Vozidla, která mimo úpravy bohatosti směsi umějí nastavit i předstih zážehu, tlak plnění apod., v závislosti na tom, jaká směs bioetanolu a benzínu se právě spaluje, jsou označována jako FFV (Fuel Flexible Vehicle). U nich je zaručeno maximální využití potenciálu bioetanolu jako paliva pro spalovací motory.

*Príspevek vznikl za podpory projektu IGA TP2/2012 „Implementace komunikačního protokolu SAE J1939 v zemědělském traktoru“.*

### Souhrn

Článek se zabývá zhodnocením ekologického přínosu biopaliva E85, tvořeného 85 % bioetanolu a 15 % benzínu. Měření byla provedena na dvou vozidlech, která byla pro

spalování E85 dodatečně přestavěna. Měření byla uskutečněna na válcovém dynamometru v laboratořích Ústavu techniky a automobilové dopravy Mendelovy univerzity v Brně. Rozbor výsledků měření ukázal určitý ekologický potenciál bioetanolu. Míra poklesu při spalování E85 je ale dána opotřebením a seřízením motoru, resp. vstříkované dávkou, která je nutná z hlediska nízké výhřevnosti bioetanolu. Autoři obdobných publikací docházejí rovněž k závěrům, že spalováním paliva E85 lze do značné míry přispět ke snížení škodlivých emisí produkovaných dopravními prostředky provozovaných na benzin.

**Klíčová slova:** bioetanol, biopalivo E85, spalování paliva, výfukové emise.

## Literatura

1. DEMIRBAS, A.: *Biofuels, Green Energy and Technology*. London: Springer, 2009, 336 s., ISBN 978-1-84882-010-4.
2. BALAT, M.; BALAT, H.; ÖZ, C.: Progress in bioethanol processing. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34, 2008, s. 551–573.
3. MATĚJOVSKÝ, V.: *Automobilová paliva*. 1. vyd., Praha: Grada Publishing, a. s., 2005, 224 s., ISBN 80-247-0350-5.
4. TRNAVSKÝ, J.: Motorová biopaliva bez předsudků. *Energie 21*, 2011 (4), s. 30–31.
5. MILER, P. ET AL.: Zhodnocení ekologického potenciálu paliva E85, *Listy cukrov. řepář.*, 125, 2009 (5–6), s. 180–184.
6. KOÇ, M. ET AL.: The effects of ethanol–unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emissions in a spark-ignition engine. *Renewable Energy*, 34, 2009, s. 2101–2106.

## Polcar A., Čupera J., Sedlák P.: Exhaust Emissions of Spark-Ignition Engine Fueled by E85

The article deals with the evaluation of ecological benefits of bio-fuel E85. E85 is constituted by 85 % of ethanol and 15 % of gasoline. Measurements were carried out on two vehicles. Engines of these vehicles were subsequently rebuilt for E85 combustion. Measurements were carried out using chassis dynamometer in the laboratories of the Department of Engineering and Automobile Transport at Mendel University in Brno. Analysis of measurement results showed ecological potential of bioethanol. The level of exhaust emission decrease at E85 combustion is given by the engine wear and engine adjustment which is necessary due to low heating value of bioethanol. The authors of similar studies also concluded that combustion of E85 fuel has positive impact on reducing harmful exhaust emissions produced by vehicles fueled by gasoline.

**Key words:** bioethanol, biofuel E85, fuel combustion, exhaust emission.

## Kontaktní adresa – Contact address:

Ing. Adam Polcar, Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Ústav techniky a automobilové dopravy, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika, e-mail: xpolcar@node.mendelu.cz

## ROZHLEDY

### Lakkakula P., Schmitz A. Posuny ve spotřebě cukru a vysokofruktosového kukuřičného sirupu: Změna chuti nebo relativní cena? (Sugar and high fructose corn syrup consumption shifts: change in tastes or relative prices?)

Cukr byl historicky hlavním světovým sladidlem. Jak se postupně zvyšovaly jeho ceny, stal se vysokofruktosový kukuřičný sirup konkurentem a v mnohém cukr nahrazuje. Výsledkem je, že využití fruktosového sirupu roste a užití cukru klesá. Avšak v USA od roku 2002 spotřeba fruktosového sirupu na osobu trvale klesá, zatímco spotřeba cukru roste. V Mexiku je tomu naopak. Jsou tyto posuny ve spotřebě cukru a fruktosového sirupu způsobeny změnou chuti, nebo změnou relativních cen cukru a fruktosového sirupu nebo obojím? Použitím logaritmického lineárního modelu metodou nejmenších čtverců bylo zjištěno, že hlavní roli v posunu spotřeby cukru a fruktosového sirupu hrají změny relativních cen.

*Int. Sugar J.*, 115, 2013, č. 1376, s. 556–559. *Kaldec*

### Rocha L. B. Brazilský cukr a ethanol v roce 2013 a později (Brazil's sugar and ethanol on 2013 and beyond)

Brazílie je nesporným tvůrcem cen na světovém trhu s cukrem, kde se podílí 50 % na světovém exportu. Mezi roky 2006 a 2009 bylo uvedeno do provozu více než 100 nových cukrovarů, ale později se počet nových cukrovarů značně omezil. Nedávný pokles cen třtiny ovlivnil i provozní náklady třtiny u pěstitelů v tradičních oblastech. Poslední vývoj ukazuje, že pro další rozvoj a restrukturalizaci cukrovarnického průmyslu budou hrát hlavní roli především zahraniční investice. Výsledkem pak je

vyšší produkce v menším počtu cukrovarů. Článek ukazuje na předpokládaný scénář růstu produkce cukru a ethanolu do roku 2020. Brazílský sektor cukru a ethanolu bude pokračovat ve své expanzi i v další dekádě, i když v pomalejším tempu (asi 9% nárůst proti minulé dekádě).

*Int. Sugar J.*, 115, 2013, č. 1374, s. 392–398. *Kadlec*

### Zimmer Y. Isoglukosa – jak významná je to hrozba cukrovarnickému průmyslu EU? (Isoglucose – High significant is the threat to the EU sugar industry?)

V EU skončí po kampani 2016/2017 kvótový systém pro cukr a isoglukosu. Isoglukosa vyráběná z kukuřice zaujímá asi 50 % na trhu sladidel v USA, zatímco na trhu sladidel EU zaujímá méně než 5 %. Článek analyzuje ekonomiku výroby isoglukosy v Evropě za účelem objasnění konkurenceschopnosti cukru a isoglukosy:

1. Isoglukosa se stane konkurenčním sladidlem pro cukr. Cukrovarnický průmysl EU by musel zvýšit svou produkci a marži o 40 %, aby prodával cukr za stejnou cenu, jakou má isoglukosa.
2. Průmysloví uživatelé cukru se přesunou k isoglukose a tím dají cukrovarnickému průmyslu silný podnět k uhájení svého postavení na trhu.
3. Protože pouze 30 % současných uživatelů cukru na trhu sladidel je schopno přejít k isoglukose, stojí před cukrovarnickým průmyslem rozhodnutí, jak se na tuto situaci připravit. Zatím však není jasno, zda budoucí investoři výroby isoglukosy budou schopni získat na trhu sladidel v Evropě většinu.

*Zuckerind./Sugar Ind.*, 138, 2013, č. 12, s. 770–777. *Kadlec*