

# POUŽITÍ PALIVA E85 V PALIVOVÉ SOUSTRAVĚ ZÁŽEHOVÝCH MOTORŮ KONSTRUOVANÝCH PRO AUTOMOBILOVÝ BENZIN

Daniel Maxa

Ústav technologie ropy a alternativních paliv  
Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, Praha 6  
maxad@vscht.cz

Zvyšování obsahu biosložek v motorových palivech, plánované do r. 2020, lze v případě paliv pro zážehové motory realizovat buď plošným zvýšením koncentrace bioetanolu v automobilových benzinech, nebo použitím paliv s vysokým obsahem biosložky – např. paliva E85. Tomu však zatím brání malé rozšíření vozidel, resp. jejich motorů, schopných toto palivo spalovat. Jednou z možností většího rozšíření paliva E85 je dodatečná úprava pohonných jednotek původně konstruovaných pro automobilový benzin s malým přídatkem biosložky. Předkládaný příspěvek je věnován rozdílu ve vlastnostech obou typů paliv podstatným z pohledu do-  
datečné konverze motoru pro použití E85. V závěru příspěvku je proveden odhad vlivu změny vlastností paliva na jeho množství dávkované do spalovacího prostoru motoru se stechiometrickým spalováním.

*Klíčová slova:* bioetanol, automobilový benzin, E85, flex-fuel vehicle

Došlo 7. 6. 2013, přijato 19. 9. 2013

## 1. Úvod

Většina spotřeby biopaliv v dopravě se dnes realizuje přidáváním malých koncentrací biosložek, které nemají, přes často zmiňované problémy vyplývající z menší termické a oxidační stability biosložek a vysoké afinity etanolu k vodě, mít významný vliv na provoz pohonných jednotek. Obsah biosložek v motorových palivech používaných v Evropské unii, resp. České republice, je dán především Směrnicí Evropského parlamentu a Rady č. 2009/28/ES, která stanovuje závazné cíle postupné náhrady energetického obsahu motorových paliv (automobilového benzínu a motorové nafty) obnovitelnými zdroji energie. Podle tohoto dokumentu má náhrada do roku 2020 dosáhnout 10 % energetického obsahu [1]. Směrnice 2009/30/ES pak specifikuje parametry motorových paliv (u benzínu do obsahu bioetanolu 10 % obj.) [2].

V České republice je v současnosti u automobilového benzínu s oktánovým číslem 95 obsah bioetanolu max. 5 % obj. E10, tedy benzin s 10 % obj. bioetanolu, se na rozdíl od některých sousedních zemí v ČR nedodává. V nadcházejících letech je plánováno další zvyšování podílu motorových paliv [3]. V případě etanolu bude toto zvyšování pokryto vysokoprocenními směsmi etanolu s benzínem (E85). Použití vysokoprocenních etanolových paliv je však možné pouze v automobilech (resp. jejich motorech), které jsou pro tento účel konstruovány. Jsou většinou označovány jako FFV (Flex Fuel Vehicles), což navíc znamená, že jsou schopny spalování paliv s proměnným obsahem etanolu, většinou v rozsahu 0 až 85 % obj.

Nutnost speciální konstrukce FFV vyplývá z odlišných vlastností běžného automobilového benzínu a vysokoprocenních etanolových směsí. Specifikace nejpoužívanějšího automobilového benzínu, BA 95, udává norma ČSN EN 228 a specifikace E85

ČSN P CEN/TS 15293. V tabulce 1 jsou shrnuty vybrané parametry obou paliv a čistého etanolu, které mohou významným způsobem ovlivňovat provoz pohonné jednotky automobilu.

**Tab. 1:** Vybrané parametry BA95, etanolu a E85

Parametr	BA 95	Etanol	E85
Obsah etanolu (% obj.)	max. 5	-	70 – 85
Hustota při 15 °C (kg.m <sup>-3</sup> )	720-775	794	787,4
Výhřevnost (MJ.kg <sup>-1</sup> )	46,4	28,6	29,1
Obj. výhřevnost (kWh.l <sup>-1</sup> )	cca 9,1	5,9	6,3 – 7,0
Výparné teplo (kJ.kg <sup>-1</sup> )	290	904	816
Obsah kyslíku (% hm.)	max. 2,7	34,7	25 - 30
Oktanové číslo VM	min. 95	108	min. 95*

\* až 109

Pokud je motor z hlediska přípravy palivové směsi a nastavení dalších parametrů (předstih zážehu) schopen stechiometrického spalování vysokoprocenní směsi benzínu s etanolem, se zvyšujícím se obsahem etanolu může být dosaženo snížení emisí uhlovodíků, oxidu uhelnatého i oxidů dusíku při zvýšení maximálního výkonu; díky nižší výhřevnosti paliva s obsahem etanolu stoupá spotřeba [3].

### 1.1. Příprava palivové směsi v zážehových motorech

Většina současných osobních automobilů se zážehovými motory využívá dávkování paliva na principu nízkotlakého vstřiku do sacího potrubí, kde dojde k odpaření paliva a jeho homogenní směs se vzduchem je nasávána do válce motoru. V dalším textu nebudou popisovány systémy přímého vstřikování paliva (GDI), případně systémy spalující chudou směs.

Zatímco první automobily s elektronicky řízenou přípravou směsi vzduch/palivo byly vybaveny tzv. jednobodovým vstřikováním (palivo se dávkuje jednou

vstřikovací tryskou umístěnou za škrtecí klapkou sání vzduchu) dnešní zážehové motory s nepřímým vstřikem paliva mají vstřikovací trysky odděleně v sacím potrubí pro každý válec motoru. Dávkování paliva je zajištěno řízením doby otevření elektronicky ovládaných vstřikovacích ventilů. V normálním režimu chodu motoru je množství paliva řízeno regulační smyčkou se zpětnou vazbou na základě informace o obsahu zbytkového kyslíku ve spalínách, měřeném tzv. lambda-sondou. Základní množství paliva v závislosti na otáčkách a zatížení motoru je odečítáno z „mapy“, uložené v řídicí jednotce motoru a regulační smyčka toto množství pouze koriguje tak, aby bylo dosaženo skutečně stechiometrického spalování charakterizovaného koeficientem přebytku vzduchu rovným jedné. Stechiometrické spalování je pak podmínkou pro dostatečnou účinnost katalytických konvertorů zážehových motorů při odbourávání nespálených uhlovodíků a oxidu uhelnatého na jedné straně, ale i oxidů dusíku na straně druhé. Pokud korekce regulační smyčky množství vstřikovaného paliva dosahuje dlouhodobě vyšších kladných nebo záporných hodnot, opravuje se základní množství vstřikovaného paliva odečtené z „mapy“ korekčními konstantami tak, aby se spalování i bez zásahu regulační smyčky blížilo stechiometrickému. Korekce základních hodnot množství paliva kompenzuje především odchylky v tlaku před vstřikovacími tryskami, vlastnosti tryssek, ale i odchylky v kvalitě paliva, především jeho stechiometrického poměru se vzduchem.

## 1.2. Dodatečné úpravy zážehových motorů pro použití E85

Hlavní změnou při použití E85 namísto běžného benzínu je snížení poměru mezi množstvím vzduchu a paliva při stechiometrickém spalování. Při stejném zatížení motoru, daném otevřením škrtecí klapky a tedy průtokem spalovacího vzduchu, je nutné dávkovat do spalovacího prostoru motoru větší množství paliva. V opačném případě by docházelo ke spalování chudé směsi se všemi důsledky na výkon motoru, jeho plynulý chod a funkci katalytického konvertoru výfukových plynů. Určitého zvýšení množství paliva je schopna běžná řídicí jednotka motoru v rámci zpětnovazební regulace bohatosti směsi (viz předchozí kapitola). Pokud však regulační zásah a požadavek na korekci množství paliva překročí určitou mez, je tento stav vyhodnocen jako chyba, zpětnovazební regulace je vyřazena a motor přechází do náhradního či nouzového režimu. K tomuto stavu dochází u pohonných jednotek koncipovaných pro běžný benzin nejčastěji při koncentraci etanolu v palivu cca 30 až 50 %. Některé pohonné jednotky jsou však schopny normálního provozu na palivo s ještě vyšším obsahem bioetanolu [4].

Kromě zvýšení dávky paliva vztažené k množství nasávaného vzduchu dochází při spalování etanolu, resp. jeho směsi s benzinem, k dalším změnám. Ty jsou způsobeny kromě odlišného směšovacího poměru vzduch/palivo také nižší výhřevností etanolu a jeho relativně velkým výparným teplem.

Dodatečné úpravy vozidel pro spalování E85 spočívají právě v úpravě signálu pro vstřikovací trysky motoru tak, že délka impulzu, a tedy doba vstřiku paliva se prodlouží v určitém poměru oproti délce impulzu vycházejícího z řídicí jednotky. Další úpravy, které by vedly k lepšímu využití např. vyššího oktanového čísla etanolového paliva zvýšením kompresního poměru motoru, jsou příliš nákladné a navíc by se jimi vyloučila či ztížila možnost použití původního paliva.

Jedním z řešení, zajišťujících skutečný „flexi-fuel“ provoz pohonné jednotky, tedy schopnost spalovat palivo se širokým rozsahem koncentrací etanolu, je instalace senzoru kvality paliva. Ten pro řídicí jednotku motoru zajistí informaci o složení aktuálně spalovaného paliva, z níž řídicí jednotka následně stanovuje předpokládanou stechiometrickou dávku paliva. Druhou možností je zohlednění širšího rozmezí poměru vzduch/palivo v algoritmech řízení vstřikování. Větší tolerance však v tomto případě zmenšuje možnosti diagnostiky poruch motoru.

Další velmi důležitou podmínkou úspěšné konverze pro spalování E85 je, aby v motoru byly použity materiály s dostatečnou odolností vůči etanolovému palivu – především se jedná o těsnicí prvky a hadice [5].

Cílem příspěvku byl teoretický výpočet úpravy množství vstřikovaného paliva při náhradě benzínu palivem s obsahem 85 % hm. etanolu a současně experimentální ověření chování vstřikovací trysky motoru; tato data pak byla použita pro odvození relativního prodloužení délky vstřiku při použití E85 jako náhrady běžného benzínu.

## 2. Experimentální část

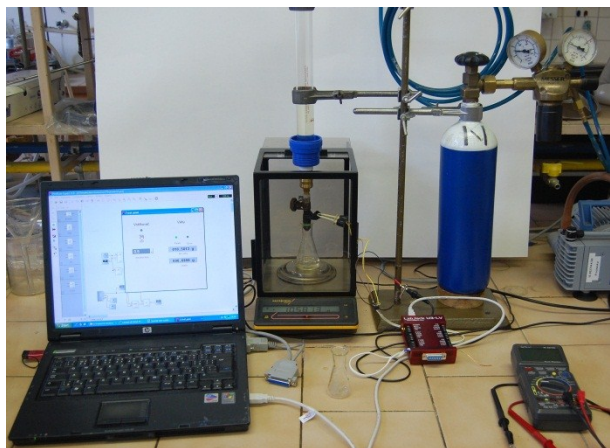
### 2.1. Použitá paliva

Pro experimenty byl použit benzin s oktanovým číslem 95 bez obsahu bioetanolu a E85 z distribuční sítě. Hustota a viskozita paliv byly stanoveny na viskozimetru SVM 3000 (Anton Paar) při teplotách 15, 20 a 30 °C.

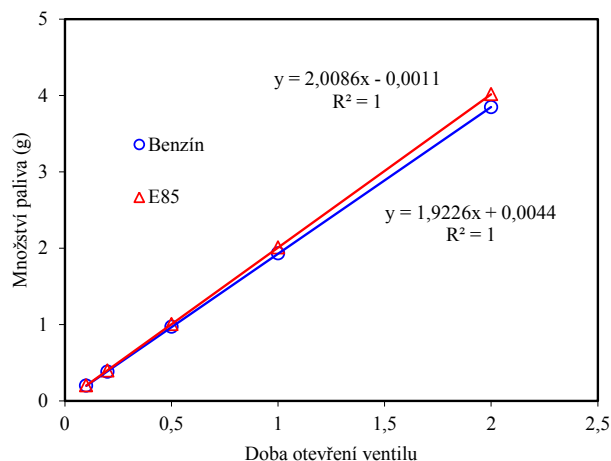
### 2.2. Stanovení množství paliva dávkovaného vstřikovačem

Vliv kvality paliva na jeho průtok vstřikovací tryskou byl testován na sestavě, simulující podmínky v palivové soustavě motoru (obr. 1). Vstřikovací ventil pro motor Škoda 1.2/47kW AZQ/BME byl napojen na zásobník paliva, tlakovaný dusíkem na 300 kPa (tlak ve sběrném palivovém potrubí za podávacím čerpadlem motoru) pomocí elektronického regulátoru tlaku.

Otevírání ventilu po přesně nastavenou dobu bylo zajištěno pomocí řídicí aplikace v PC ovládající sepnutí a rozepnutí ovládacího napětí přes vstupně/výstupní modul (Labjack U3 LV) a galvanicky oddělený spínací prvek. Množství paliva proteklé ventilem v jednom spínacím impulsu bylo snímáno pomocí analytických vah (Sartorius) a odečítáno řídicí aplikací.



Obr. 1 Sestava pro testování paliv při jejich dávkování vstřikovacím ventilem



Obr. 2 Závislost dávky paliva na době otevření vstřikovacího ventilu pro BA95 a E85

### 3. Výsledky a diskuse

Fyzikální vlastnosti porovnávaných paliv při teplotách 15 až 30 °C jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 2: Fyzikální vlastnosti porovnávaných paliv za různých teplot

	Teplota (°C)	Hustota (kg.m <sup>-3</sup> )	Kinematická viskozita (mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> )
E85	15	785,6	1,434
	20	781,0	1,312
	30	773,3	1,145
BA95	15	757,9	0,595
	20	753,9	0,558
	30	744,8	0,533

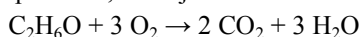
Pro průtok paliva při jeho dávkování je důležitý rozdíl v hustotě, ale i viskozitě, která je u paliva E85 výrazně vyšší než u běžného benzínu.

Skutečný vliv změny vlastností paliva na množství paliva procházejícího vstřikovacím ventilem je zřejmý z obr. 2.

Byla zjištěna velmi dobrá korelace mezi dobou otevření ventilu a hmotností proteklého paliva, důležitá pro správnou funkci dávkování paliva. Zároveň je jasný vliv vlastností paliva – vyšší viskozita E85 se na dávkování paliva prakticky neprojevila, naopak dávka (vyjádřená hmotnostně) je u E85 vyšší díky jeho vyšší hustotě. U benzínu byl zjištěn hmotnostní tok otevřenou tryskou 1,94 g.s<sup>-1</sup>, u E85 2,01 g.s<sup>-1</sup>.

#### 3.1. Odhad prodloužení doby otevření vstřikovací trysky při použití E85

Úpravu dávkování paliva ovlivňuje především stechiometrie spalování, která je u etanolu následující:



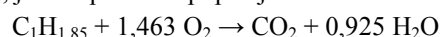
Molekulová hmotnost etanolu a kyslíku je 46,068, resp. 31,998 g/mol. Teoretický hmotnostní směšovací poměr kyslík/palivo lze vyjádřit jako

$$\alpha = \frac{m_{O_2}}{m_f} = \frac{n_{O_2}M_{O_2}}{n_fM_f} \quad (1)$$

kde  $m$  je hmotnost,  $n$  počet molů, resp. stechiometrický koeficient a  $M$  molekulová hmotnost, indexy pak označují kyslík a palivo ( $f$ ). Spalování čistého etanolu v kyslíku odpovídá výsledná hodnota 2,0838.

Koncentraci kyslíku ve vzduchu 20,9 % obj. odpovídá 23,1 % hm., pak teoretický hmotnostní poměr vzduch/etanol: 2,0838/0,2313 = **9,008**

Obdobný výpočet lze provést pro benzin bez kyslíkatých složek s průměrným elementárním složením CH<sub>1,85</sub> [7], jehož spalování popisuje rovnice:



Hmotnostnímu poměr vzduch/benzin pak podle rovnice (1) s korekcí na složení vzduchu odpovídá hodnota **14,607**.

Pro palivo E85 při maximální koncentraci etanolu v palivu rovné 85 % obj. a středních hustotách etanolu a benzínu podle tab. 1 odpovídá výsledná stechiometrie spalování směsi E85 poměru vzduch/palivo hodnotě **9,809**.

Při spalování se nemění jen hmotnostní poměr vzduch/palivo, ale i plnění válců díky rozdílům v hustotě směsi v porovnávaných případech (páry etanolu mají nižší hustotu než páry benzínu). Za standardních podmínek vychází hustota stechiometrické směsi E85 se vzduchem rovna 1,342 kg.m<sup>-3</sup>, zatímco hustota benzínové směsi 1,353 kg.m<sup>-3</sup> (za předpokladu průměrné molekulové hmotnosti benzínu 105 g.mol<sup>-1</sup>).

Další vliv na množství dávkovaného paliva představují jeho vlastnosti (viskozita, hustota), které rozhodují o průtoku paliva vstřikovacím ventilem. Celkově teoretické prodloužení vstřiku pro E85 vychází z rozdílů ve stechiometrii spalování a maximálních průtoků paliva.

Na základě zjištěných údajů vychází toto prodloužení:

$$14,607/9,809 \cdot 1,94/2,01 \cdot 1,342/1,353 - 1 = \mathbf{0,426 \sim 43 \%}$$

Je zřejmé, že skutečná hodnota navýšení doby vstřiku paliva bude mírně odlišná díky dalším vlivům. Např. teplota nasávané směsi je u E85 nižší díky výrazně vyššímu výparnému teplu etanolu, které tak zajistí lepší plnění válců. Díky tomu dochází při použití paliva s obsahem etanolu také ke změně termodynamické účinnosti. Je ovlivněn i maximální výkon motoru. Etanol má sice významně nižší výhřevnost než benzin (tab. 1), ale díky jeho větší koncentraci ve stechiometrické směsi se vzduchem a lepšímu plnění je maximální dosažitelný výkon motoru u E85 mírně vyšší než u benzínu.

#### 4. Závěr

Použití motorových paliv s vysokým podílem bioetanolu je podmíněno technickou připraveností pohonné jednotky, a to buď přímo od výrobce automobilu, nebo díky dodatečné úpravě. Ta spočívá především ve změně dávkování paliva, které je nezbytné díky odlišným chemickým i fyzikálním vlastnostem etanolu a benzínu. Zatímco rozdíl v chemickém složení znamená především změnu ve stechiometrii spalování, fyzikální vlastnosti určují chování paliva v palivovém systému motoru. Na základě rozdílů ve vlastnostech benzínu a E85 byl proveden odhad změny dávkování vysokoprocenního etanolového paliva, který je základním parametrem jednotek pro dodatečnou úpravu motorů.

Ačkoli podle očekávání má větší vliv chemické složení paliva, jako významné se však ukázaly i jeho fyzikální vlastnosti, určující průtok vstřikovacím ventilem.

#### Literatura

1. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/28/ES, dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:cs:PDF> staženo 1. 11. 2012
2. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/30/ES, dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0088:0113:CS:PDF> staženo 1. 11. 2012
3. Národní akční plán České republiky pro energii z obnovitelných zdrojů. Ministerstvo průmyslu a obchodu 2012.
4. Vojtíšek M., Mazač M., Laurin J.: Výfukové škodliviny konstrukčně neupraveného motoru na bioetanolové palivo E85. Listy cukrovarnické a řepařské 128 (4), 2012, s. 146
5. Koc M., Sekmen Y., Topgül T., Yücesu H.S.: The effect of ethanol - unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emissions in a spark-ignition engine. Renewable Energy 34, 2009, s. 2101

6. Micallef G.: Elastomer selection for bio-fuel requires a systems approach. Sealing Technology, Vol 2009 (1), Jan 2009, s. 7.
7. Amendment to regulation No. 101, ECE/TRANS/WP.29/GRPE/2008/8, Economic and Social Council, 2008

#### Summary

Daniel Maxa

Department of Petroleum Technology  
and Alternative Fuels  
Institute of Chemical Technology

#### *The use of E85 in fuel systems of common spark ignition engines*

In case of cars equipped with spark ignition engines, the increase of biofuel consumption according to EU directives can be ensured either with bulk increase in ethanol concentration in petrol, or with broader use of high-percentage ethanol blends, e.g. E85. However, it requires larger expansion of flex-fuel vehicles fleet, or the use of engine retrofit systems enabling the use of E85 in conventional SI engines. The most important role of such systems is to increase fuel injection time according to different E85 properties. The paper summarises differences in composition and properties of petrol and E85, and gives theoretical and experimental background for calculation of relative injection time increment.