

Zhodnocení ekologického potenciálu paliva E85

THE ECOLOGICAL POTENTIAL EVALUATION OF FUEL E-85

Petr Miler, Jan Hromádko, Jiří Hromádko, Vladimír Hönig, Michal Schwarzkopf
Česká zemědělská univerzita v Praze a Ministerstvo životního prostředí ČR

Evropská unie přijala rozhodnutí dosáhnout do roku 2020 alespoň 20% snížení emisí skleníkových plynů ve srovnání s rokem 1990. Pro splnění tohoto úkolu navrhla EU do roku 2020 závazné cíle – další zlepšení energetické účinnosti o 20 %, dosažení 20% podílu obnovitelné energie a 10% podílu biopaliv na trhu s pohonnými hmotami v EU. Důvodem je mimo jiné zvýšení bezpečnosti dodávek energie prostřednictvím diverzifikace skladby pohonných hmot.

Pro zavádění biopaliv v České republice, kromě výše zmíněného poklesu produkce emisí skleníkových plynů, jsou rozhodující tři důvody:

- biopaliva jsou obnovitelným zdrojem energie,
- používání biopaliv snižuje závislost na ropě, která pochází převážně z dovozu a její cena neustále kolísá – proto nelze předvídat její další cenový vývoj,
- výroba biopaliv přináší další možnosti využití zemědělské půdy a je jednou z příležitostí pro vytvoření nových pracovních míst v rezortu zemědělství a lesnictví.

Bioetanol lze vyrobit z každé zemědělské plodiny, která obsahuje sacharidy, tj. od vojtěšky přes brambory, obiloviny až po cukrovou řepu nebo třtinu. Surovinou může být také jakákoli biomasa obsahující lignocelulózu např. dřevo, dřevěné piliny nebo odpady při výrobě celulózy a papíru. Z obilí a biomasy lze bioetanol vyrobit buď kyselou hydrolyzou pomocí kyseliny sírové, nebo vodní hydrolyzou za vyšších teplot a tlaků, podobně je to možné i kyselou hydrolyzou dřevěných pilin, štěpků nebo stružin.

Bioetanol lze používat na nízkoprocentní přimíchávání do automobilových benzínů, které se řídí zákonem č. 180/2007 Sb. (vychází z evropské směrnice 2003/30/ES) a na vysokoprocentní bioetanolové směsi, zejména palivo E85 skládající se z 85 %

bioetanolu a 15 % benzínu Natural 95. Nízkoprocentní přimíchávání bioetanolu do cca 10 % objemových nepřináší pro spalování v motoru téměř žádný problém, a není tedy potřeba žádná úprava motoru. Vysokoprocentní směsi nelze bez úprav spalovat v běžných motorech kvůli nízké výhřevnosti lihu.

V současné době jsou vysokoprocentní ethanolové směsi využívány ve vozidlech FFV (Flexi Fuel Vehicle). Tato vozidla mohou být provozována jak na běžný benzín, palivo E85, tak i na libovolnou směs benzínu s palivem E85. Palivo E85 je možné spalovat i v běžných vozidlech, ale je třeba provést jednoduchou úpravu řídicí jednotky motoru, která spočívá v prodloužení doby vstřiku paliva. Cena takovéto přestavby se pohybuje v závislosti na výrobci zařízení a typu vstřikovací soustavy daného motoru v rozmezí 5–15 tis. Kč.

Palivo E85 je běžně k dostání u čerpacích stanic v západní Evropě. V roce 2008 začal náš největší výrobce bioetanolu (dobrovický Agroetanol TTD, a. s.) vyrábět toto vysokoprocentní palivo i v ČR. Pokud by využil celou produkci bioetanolu na výrobu tohoto paliva, vyrobil by zhruba 700 tis. hl. České čerpací stanice neprojevily velký zájem prodávat toto palivo. Důvodem byla zejména jeho vyšší cena způsobená relativně nákladnou výrobou bioetanolu a také malý počet automobilů, které ho mohou používat, na našich silnicích. Důležitě je přijetí novely zákona o spotřebních daních, která má obsahovat odpočet spotřební daně z podílu biosložky u paliva E85 a dalších biopaliv, čímž dojde k výraznému snížení jejich ceny. Palivo E85 tak bude moci lépe konkurovat automobilovým benzínům. Proto předpokládáme, že zájem o něj výrazně stoupne.

Materiály a metody

Přínos spalování paliva E85, zejména v produkci emisí, byl vyhodnocován pomocí virtuální simulace evropského homologačního jízdního cyklu pro vozidla do 3,5 t. Základ simulace tvořily emisní charakteristiky motoru a charakteristiky spotřeby paliva zjištěné na zkušebním stanovišti. V prvním kroku byly tyto charakteristiky naměřeny při použití automobilového benzínu Natural 95, v druhém kroku bylo použito paliva E85. Speciálním algoritmem, vytvořeným v programu Mathcad, byly jednotlivé body emisních charakteristik a charakteristiky spotřeby paliva transformovány na spojité charakteristiky měřené veličiny (spotřeba paliva a jednotlivé složky emisí) v závislosti na otáčkách a točivém momentu motoru. Dalším speciálním algoritmem byl evropský jízdní cyklus, který definuje průběh rychlosti vozidla v závislosti na čase cyklu, převeden na průběh otáček a točivého momentu motoru v čase cyklu. Do transformace rychlosti cyklu na otáčky a točivý moment motoru byly zahrnuty

Tab. 1. Parametry motoru

Parametr	Hodnota
maximální výkon	50 kW
maximální točivý moment	106 Nm
palivo	benzín
počet válců	4
vrtní	75,5 mm
zdvih	75,5 mm
kompresní poměr	10:1
jmenovitě otáčky	5 000 min ⁻¹

všechny parametry vozidla, které ovlivňují dynamické vlastnosti vozidla (součinitel odporu valení, čelní plocha vozidla, součinitel odporu vzduchu, jednotlivé převodové poměry atd.). Propojením obou programů vznikla možnost stanovit, k průběhu rychlosti vozidla v jízdním cyklu, produkci okamžitých a kumulovaných hodnot jednotlivých složek emisí.

Jízdní cyklus byl aplikován na vozidlo Škoda Felicia s motorem 1,3 MPi. Základní parametry motoru jsou uvedeny v tab. I.

Vyhodnocení

V prvním kroku jsou naměřené hodnoty doplněné o nulové hodnoty při ztrátovém momentu postupnou interpolací ve směru točivého momentu motoru a následně ve směru otáček motoru převedeny na čtvercovou matici P, která tvoří podklad pro tvorbu spojitých charakteristik motoru. Pro tvorbu spojitých charakteristik je dále třeba definovat rozsah otáček motoru a točivého momentu motoru. Tato definice je provedena maticí M. Výsledná spojitá charakteristika je dána rovnicí:

$$\text{fit}(x,y) := \text{interp}\left[\text{cspline}(M,P), M, P, \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}\right] \quad (1)$$

kde: $\text{fit}(x,y)$ je spojitá charakteristika závislé proměnné,

M je matice definující rozsah otáček a točivého momentu motoru,

P je matice nainterpolovaných diskretních hodnot závislé proměnné.

Výslednou spojitou charakteristiku je dále vhodné ohraničit maximálním a ztrátovým momentem motoru. Příklad výsledné ohraničené charakteristiky spotřeby paliva pro palivo E85 je znázorněn na obr. 1. Obdobným způsobem je stanovena charakteristika spotřeby paliva pro automobilový benzín a charakteristiky jednotlivých složek emisí pro obě paliva.

V druhém kroku je rychlost jízdního cyklu převedena na otáčky a točivý moment motoru. Pro transformaci rychlosti vozidla na otáčky a točivý moment je nutné definovat průběhy jízdních odporů, definovat model řazení jednotlivých převodových stupňů, definovat prokluz kol atd. Výsledný průběh otáček a točivého momentu motoru je znázorněn na obr. 2.

V posledním kroku jsou propojeny spojitě charakteristiky spotřeby paliva a produkce jednotlivých složek emisí s průběhem otáček a točivého momentu motoru v jízdním cyklu. Propojením získáme možnost stanovit okamžité a posléze kumulované hodnoty produkce jednotlivých složek emisí. Kumulované hodnoty za celý cyklus můžeme přes známou ujetou dráhu cyklu přepočítat na měrnou hodnotu vztaženou na jeden ujetý kilometr. Stanovení měrných produkci emisí, respektive spotřeby paliva, je definováno rovnicemi 2 až 4:

$$M_{p_s(i)} := \text{fit}(n_m(i), M_m(i)) \cdot 3,6^{-1} \quad (2)$$

kde: $M_{p_s(i)}$ ($\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$) je průběh okamžité spotřeby paliva,

fit je funkce, která definuje spojitou plochu viz krok výše,

$n_m(i)$ (min^{-1}) je průběh otáček v motoru během cyklu,

$M_m(i)$ (Nm) je průběh točivého momentu motoru během cyklu,

$$M_{p_k(i)} := \sum_{i=0}^i (M_{p_s(i)}) \quad (3)$$

kde: $M_{p_k(i)}$ (g) je průběh kumulované spotřeby paliva,

$M_{p_s(i)}$ ($\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$) je průběh okamžité spotřeby paliva,

$$M_{p_{1\text{km}}} := \frac{M_{p_k(195)}}{1,013} \quad (4)$$

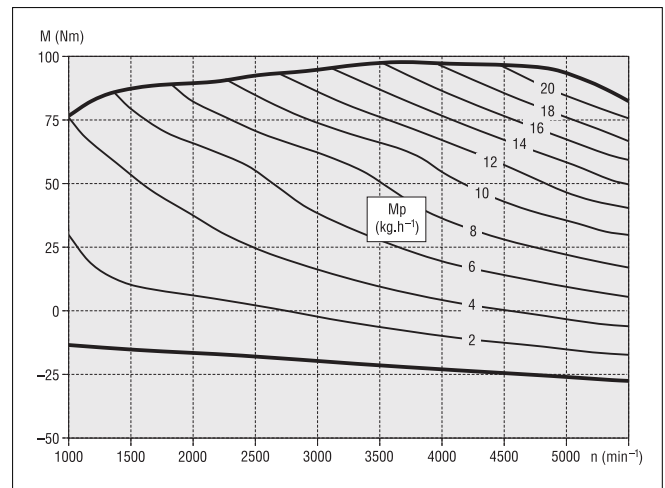
kde: $M_{p_{1\text{km}}}$ ($\text{g} \cdot \text{km}^{-1}$) je měrná spotřeba paliva,

$M_{p_k(195)}$ (g) je hodnota kumulované spotřeby paliva ve 195 sekundě, tedy na konci městského cyklu.

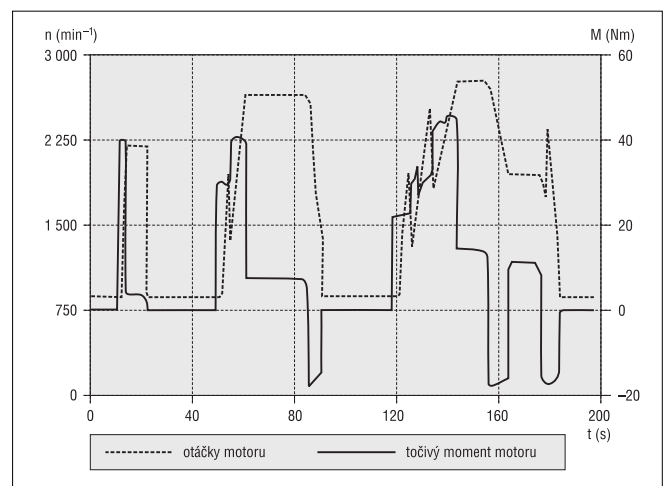
Obr. 3–12. znázorňují průběhy kumulovaných spotřeb paliva a produkci jednotlivých složek emisí pro automobilový benzín Natural 95 a palivo E85 v městské UDC a mimoměstské EUDC části jízdního cyklu NEDC.

Produkce měrných spotřeb paliva a měrných emisí vztažená na jeden ujetý kilometr pro jednotlivé části jízdního cyklu NEDC je přehledně uvedena v tab. II. Je zde také uvedena kombinovaná hodnota měrných spotřeb paliva a měrných emisí určená váhovým průměrem měrné produkce z městské a mimoměstské části cyklu. Městská část je zastoupena 36,8 % a mimoměstská část 63,2 %.

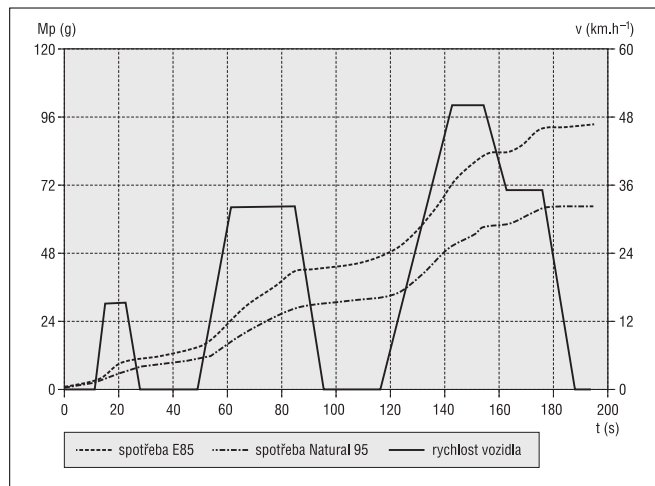
Obr. 1. Hodinová spotřeba paliva E85



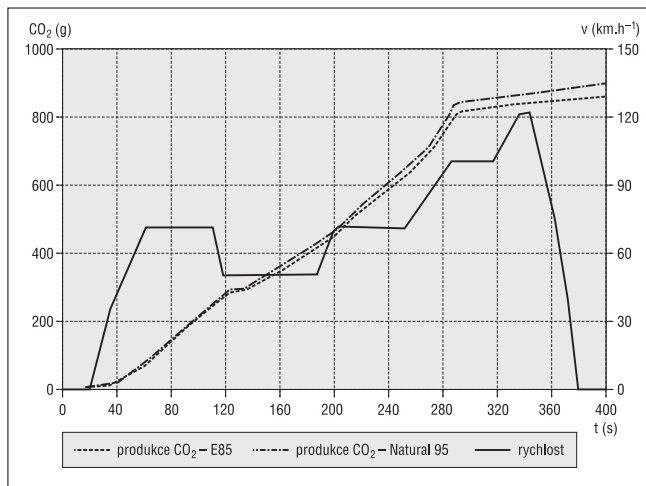
Obr. 2. Průběh otáček a točivého momentu motoru v městském cyklu UDC



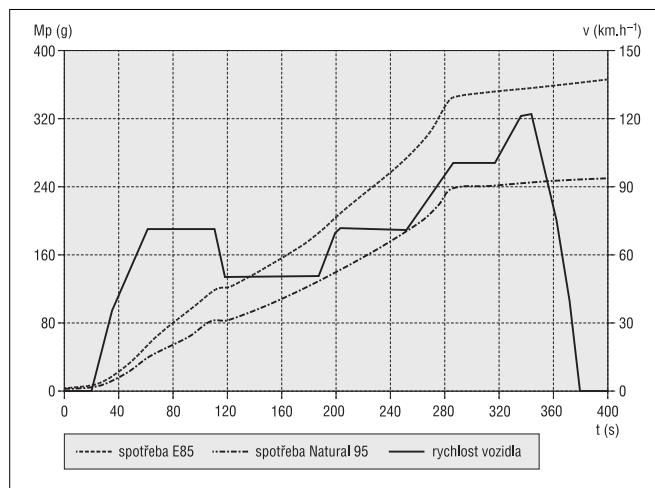
Obr. 3. Spotřeba paliva E85 a benzínu Natural 95 v městském cyklu UDC



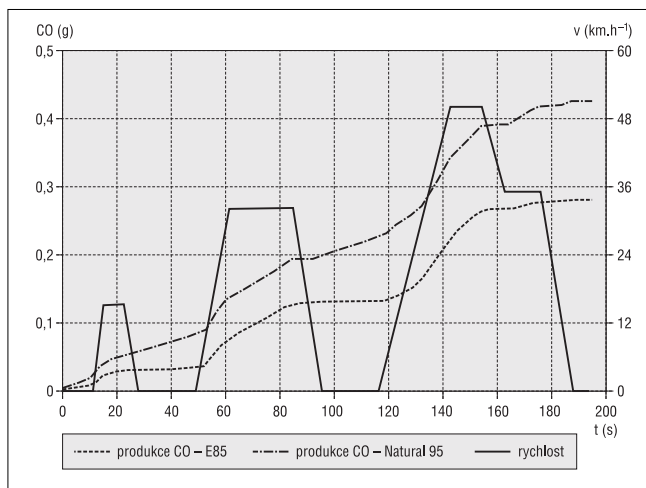
Obr. 6. Produkce emisí CO₂ na palivo E85 a benzin Natural 95 v mimoměstském cyklu EUDC



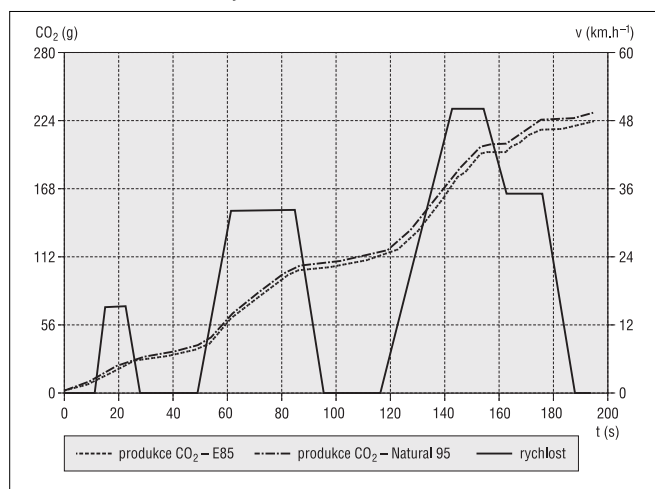
Obr. 4. Spotřeba paliva E85 a benzínu Natural 95 v mimoměstském cyklu EUDC



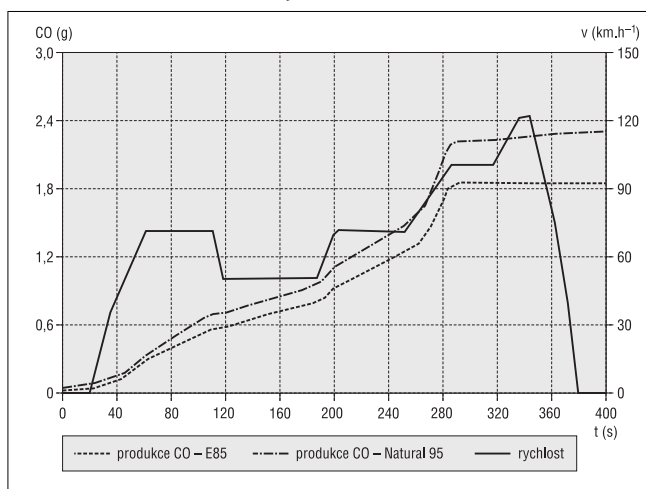
Obr. 7. Produkce emisí CO na palivo E85 a benzin Natural 95 v městském cyklu UDC



Obr. 5. Produkce emisí CO₂ na palivo E85 a benzin Natural 95 v městském cyklu UDC



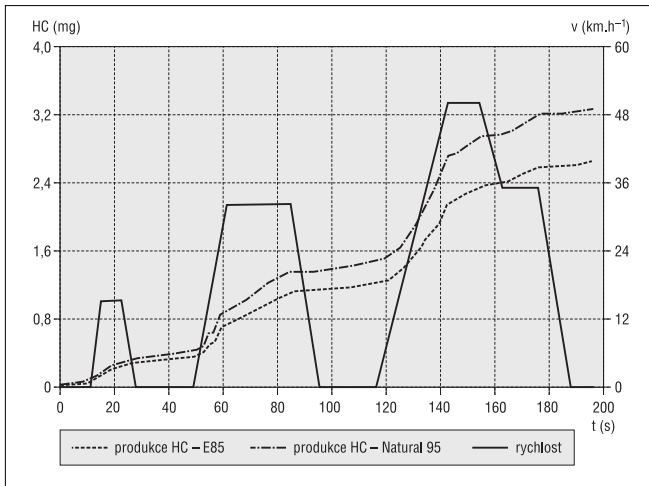
Obr. 8. Produkce emisí CO na palivo E85 a benzin Natural 95 v mimoměstském cyklu EUDC



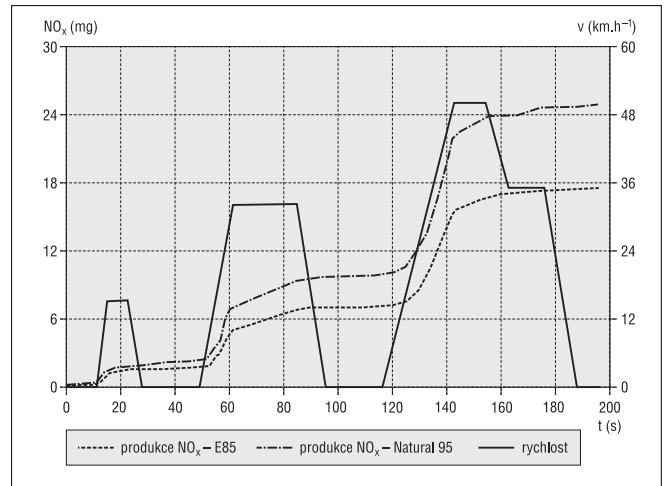
Výsledky provedeného experimentu ukazují na relativně vysoký nárůst spotřeby paliva při použití paliva E85, který je

zpřičiněn nižší výhřevností ethanolu tvořící základ paliva E85. Při kombinovaném způsobu provozu vzroste hmotnostní spotřeba

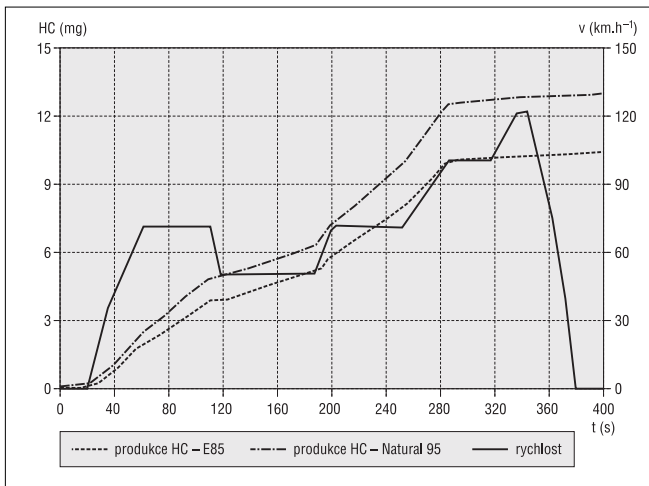
Obr. 9. Produkce emisí HC na palivo E85 a benzin Natural 95 v městském cyklu UDC



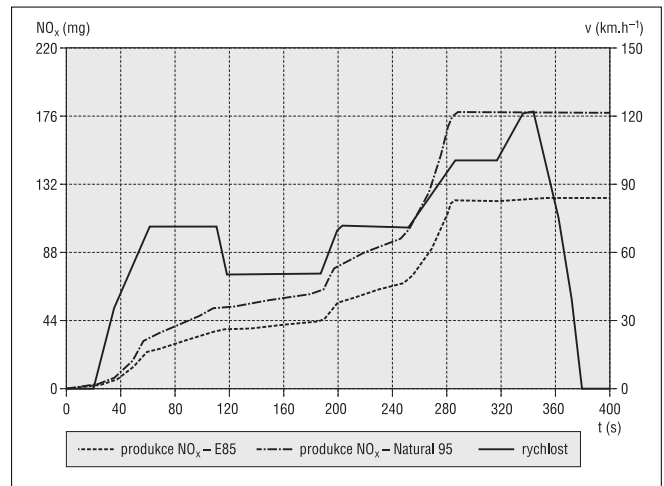
Obr. 11. Produkce emisí NO_x na palivo E85 a benzin Natural 95 v městském cyklu UDC



Obr. 10. Produkce emisí HC na palivo E85 a benzin Natural 95 v mimoměstském cyklu EUDC



Obr. 12. Produkce emisí NO_x na palivo E85 a benzin Natural 95 v mimoměstském cyklu EUDC



paliva o 46,4 %. Výrazný nárůst spotřeby paliva nelze považovat za negativní jev, je však nutné s nárůstem spotřeby paliva kalkulovat při stanovování ceny paliva E85. Přepočítaná cena na energetický ekvivalent benzínu musí být konkurenceschopná. Přímý pokles v produkci CO₂ je relativně nízký, viz obr. 5. a obr. 6., jeho pokles je nutné hledat ve způsobu výroby ethanolu jako biopaliva. V České republice připadají jako nejvhodnější plodiny pro získávání bioetanolu cukrovka a obiloviny. Z těchto dvou jmenovaných plodin přináší cukrová řepa větší úsporu v produkci CO₂ (cukrovka přibližně 40–45 %, obiloviny 25–30 %). Z hlediska úspory produkce CO₂ přinášejí největší přínos biopaliva druhé generace vyráběná z lignocelulózy, jejich výroba je však technicky poměrně náročná, proto je v současné době technologie výroby těchto biopaliv předmětem rozsáhlého výzkumu. Výrazný přínos je i v produkci přímo limitujících škodlivin, oxidu uhelnatého, nespálených uhlovodíků a oxidů dusíku. Produkce oxidu uhelnatého při spalování paliva E85 poklesne o 30 %, produkce nespálených uhlovodíků

poklesne o 21 % a produkce oxidů dusíku poklesne o 31 %, uvažujeme-li o kombinovaném způsobu provozu.

Tab. II. Výsledné měrné produkce jednotlivých složek emisí

Měrné emise	Městská část cyklu	Mimoměstská část cyklu	Kombinovaný provoz
Spotřeba paliva E85 (g . km ⁻¹)	92,25	52,62	67,20
Spotřeba paliva Natural 95 (g . km ⁻¹)	63,56	35,62	45,90
CO ₂ na palivo E85 (g . km ⁻¹)	218,6	122,8	158,05
CO ₂ na palivo Natural 95 (g . km ⁻¹)	225,5	126,7	163,06
CO na palivo E85 (g . km ⁻¹)	0,27	0,26	0,26
CO na palivo Natural 95 (g . km ⁻¹)	0,43	0,33	0,37
HC na palivo E85 (mg . km ⁻¹)	2,59	1,49	1,89
HC na palivo Natural (mg . km ⁻¹)	3,2	1,86	2,35
NO _x na palivo E85 (mg . km ⁻¹)	17,25	17,42	17,36
NO _x na palivo Natural (mg . km ⁻¹)	24,39	25,46	25,07

Výše provedený rozbor experimentu ukazuje na výrazný ekologický potenciál paliva E85. Hlavní nevýhodu bránící jeho širšímu rozšíření představuje cena výsledného biopaliva, která se neobejde bez státní dotace. Jednou z možností jak snížit cenu paliva je odpočet spotřební daně na podíl biosložky. Přínos ve výsledné ceně však, při současných nízkých cenách ropy, nemusí být dostačující. Do budoucna by bylo vhodné hledat i jiné způsoby jak podpořit cenu bioetanolu. Rozšíření využívání paliva E85, může přinést výrazné snížení ekologických dopadů dopravy na životní prostředí, snížit závislost na dovážené ropě a přinést další výrobní možnosti pro zemědělství a cukrovarství.

Příspěvek vznikl za podpory projektu MD ČR č. CG912-058-520 „Metodika kvantifikace a vyhodnocení environmentálních a bezpečnostních vlivů dopravy“ a projektu OC 193 MŠMT ČR, součástí akce EU COST 356 „Metody hodnocení a multidisciplinární ocenění vlivů dopravy na trvale udržitelné životní prostředí“.

Souhrn

Článek se zabývá zhodnocením ekologického přínosu paliva E85, ke kterému byla použita virtuální simulace evropského homologačního cyklu NEDC. Základ simulace tvoří charakteristiky motoru naměřené na zkušebním stanovišti. V prvním kroku jsou naměřeny emisní charakteristiky a charakteristika spotřeby paliva při použití automobilového benzínu Natural 95. V druhém kroku jsou naměřeny stejné charakteristiky při použití paliva E85. Testovaným motorem byl motor Škoda Felicia 1,3 MPi. Pro umožnění spalování paliva E85 bylo nutné použít speciální úpravu řídicí jednotky motoru. Následující speciální výpočtový program vyvinutý na Katedře vozidel a pozemní dopravy je pak schopný k charakteristikám motoru a průběhu rychlosti v jízdním cyklu NEDC stanovit měrnou produkci jednotlivých složek emisí a spotřebu paliva připadající na jeden ujetý kilometr.

Klíčová slova: palivo E85, automobilový benzin Natural 95, spotřeba paliva, škodlivé emise, bioetanol.

Literatura

1. *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, Brusel, 23. 1. 2008.
2. *Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the use of biofuels for transport and proposal for a Council Directive amending Directive 92/81/EEC with regard to the possibility of applying a reduced rate of excise duty on certain mineral oils containing biofuels and on biofuels.* COM (2001) 547 final, Brusel, 7. 11. 2001.
3. KAMEŠ J.: *Alternativní pohony automobilů*. 1. vydání, Praha: Ben, 2004, 232 s., ISBN 80-7300-127-6.
4. MIKŠOVSKÝ T.: Nejasná budoucnost biolihu v Česku. *Petrol magazine*, 7, 2006 (4), s. 68–71.
5. BABIČKA L.: Najde cukrovka využití při výrobě bioplynu a palivového lihu v rámci zemědělského potravinářského komplexu? *Listy cukrov. řepař.*, 122, 2006 (3), s. 78–81.
6. *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 8. 5. 2003.
7. Zákon č. 180/2007 Sb., kterým se mění zákon č. 86/2002 Sb. o ochraně ovzduší. *Sbírka zákonů ČR*, 2007.
8. *Directive 2003/96/EC of the European Parliament and of the Council on restructuring the Community framework for the taxation of energy products and electricity.* Brusel 27. 10. 2003.
9. *Dieselnet – Emission Test Cycle.* [online] (cit. 27. 7. 2008) <<http://www.dieselnet.com/standards/cycles/>>.
10. *EPA – Vehicle chassis Dynamometer Driving Schedules.* [online], <<http://www.epa.gov/otaq/labda.htm#vehcycles>>, (cit. 21. 10. 2006).
11. MATĚJOVSKÝ V.: *Automobilová paliva.* Praha: Grada Publishing, 2005, 224 s.
12. HAVLAS M.: Výstavba lihovaru Dobruška. *Listy cukrov. řepař.*, 123, 2007 (7/8), s. 226–231.
13. TRNKA J.: Koncepce rozvoje biopaliv v České republice. *Listy cukrov. řepař.*, 124, 2008 (5/6), s. 148–149.
14. MAXWELL T., JONES J.: Alternative Fuels (Emissions, Economics, and Performance). Mechanical Engineering Department Texas Tech University, In *Society of Automotive Engineers*, 1994, ISBN 1-56091-523-4
15. TAKÁTS M.: *Měření emisí spalovacích motorů.* Praha: ČVUT, 1997, 111 s.
16. ŠEBOR G., POSPÍŠIL M., MAXA D.: Využití kapalných biopaliv pro pohon motorových vozidel. *Chemické listy*, 100, 2006, s. 30–35.
17. HÖNIG V., MILER P., HROMÁDKO J.: Bioetanol jako inspirace do budoucna. *Listy cukrov. řepař.*, 124, 2008 (7/8), s. 203–206.
18. DOORNBOOSCH R., STEEMBLIK R.: *Biofuels: Is the Cure Worse than the Disease?* Round Table on Sustainable Development-Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, 11.–12. 9. 2007
19. ŠEBOR G., POSPÍŠIL M., ŽÁKOVEC J.: *Technickoekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě.* Výzkumná zpráva vypracovaná pro Ministerstvo dopravy ČR, VŠCHT Praha, 2006.
20. HRADISKÝ J.: Dobrovický Agroetanol TTD uvedl jako první český výrobce na trh vysokokoncentrovanou palivovou směs E85. *Listy cukrov. řepař.*, 125, 2009 (1), s. 21–22.
21. REINBERG O.: Dlouhodobý výhled výroby bioetanolu v ČR. *Listy cukrov. řepař.*, 124, 2008 (7/8), s. 200–202.

Miler P., Hromádka J., Hromádka J., Hönig V., Schwarzkopf M.: The ecological potential evaluation of fuel E-85

The article deals with the ecological benefit analysis of fuel E-85, where the virtual simulation of european homologation test NEDC was used for. The base of the simulation forms the motor characteristics measured on the test bed. In the first step the emission characteristics and characteristic of fuel consumption are measured, when using petrol Natural 95. In the second step the same characteristics are measured, when using fuel E-85. By reason that, the motor of Skoda Felicia is used as a test engine, so there is a need to use a special adjustment of control section for the motor burning of E-85. The special program, which was developed by the Department of Vehicles and Ground Transport at the Czech University of Live Sciences Prague, is able to determine the specific production of individual emission components and fuel consumption of one kilometre traveled (0.6214 mi.) on the motor characteristics and course of speed in the driving cycle NEDC.

Key words: fuel E-85, petrol Natural 95, fuel consumption, harmful emissions, bioethanol.

Kontaktní adresa – Contact address:

Ing. Petr Miler, Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta, Katedra vozidel a pozemní dopravy, Kamýčká 129, 165 21 Praha 6 Suchbátka, Česká republika, e-mail: miler@tf.czu.cz