

VZÁJEMNÉ POROVNÁNÍ EMISÍ U ZÁŽEHOVÉHO MOTORU S PŘÍMOU A NEPŘÍMOU TVOROBU SMĚSI

Vít Beránek, Jitka Štolcpartová, Michal Vojtíšek-Lom

*Centrum vozidel udržitelné mobility, Fakulta strojní ČVUT v Praze
Přílepská 1920, 252 63 Roztoky u Prahy, vít.beranek@fs.cvut.cz*

ÚVOD

Individuální mobilita jedince je dnes nevyhnutelnou součástí života. Její značný podíl zastávají vozidla jezdící po pozemních komunikacích, která jsou z velké většiny poháněna spalovacími motory. Ty používají jako palivo ve stále převažujícím množství automobilový benzín. Jeho spalování ale přináší i svá negativa, zejména produkci látek ničících zdraví. Jde o produkty nedokonalého hoření, přičemž pozornost je v poslední době nejvíce zaměřena na částice.

Ultrajemné částice (PM 0,1 - aerodynamický průměr $< 0,1 \mu\text{m}$), jsou emitovány spolu s výfukovými plyny. Takto malé částice představují drtivou většinu počtu všech částic v ovzduší, avšak s nízkou celkovou hmotností. Hlavními zdroji těchto částic ve městech jsou spalovací procesy, motory automobilů. Množství a složení závisí na použitém palivu, mazacím oleji a technologii vozidla [1,2,3,4].

Ultrajemným částicím se připisují charakteristické vlastnosti. Jednou z nich je schopnost pohybu podél axonů, pomocí kterých se mohou dostat až mozku [5]. Nanočástice pravděpodobně ovlivňují chod celého organismu, jejich vliv byl potvrzen na dýchací funkci, kardiovaskulární systém, ale také na trávicí, nervovou a vylučovací soustavu, imunitní systém a obecně lidskou pohodu [6,7,8].

Druhou nejrizikovější látkou po částicích jsou oxidy dusíku (NO_x), a to především oxidu dusičitého (NO₂), který je pohlcován v dýchacích cestách až z 90 procent. Je to dráždivý plyn, který může způsobit záněty, zhoršenou funkci plic, plicní nedostatečnosti aj. [9].

Spalovací motory v osobních automobilech lze rozdělit do několika kategorií. V této práci se budeme zabývat pouze zážehovými, tedy spalujícími automobilový benzín.

Prvním typem jsou benzinové motory s nepřímou tvorbou směsi a třícestným katalyzátorem. Ty se podařilo doladit v rozmezí stechiometrické směsi tak, že pro nízká a střední zatížení nemají s emisemi problém. Bohužel pro vysoká zatížení musí používat obohacování směsi a tak vzrůstá jejich produkce uhlovodíků (HC), oxidu uhelnatého (CO) a částic nad akceptovatelné množství. To by nemuselo představovat zásadní problém, neboť takřka většinu svého života stráví motor v nízkých zatíženích a nízkých otáčkách. Avšak jejich účinnost pro nízká zatížení vykazuje rezervy z důvodu limitu chudosti směsi, která je ještě zapalitelná. V celkovém měřítku se tedy jedná případně o zbytečně vysokou spotřebu paliva. Jedním z technických řešení nízké účinnosti při malých zatíženích je typ benzinového motoru s přímou tvorbou směsi.

Hlavní přínos benzinového motoru s přímou tvorbou směsi (známý jako motor s přímým vstřikem, DISI) spočívá v možnosti tvorby přesněji vrstvené směsi pro částečná zatížení, která

přináší další úsporu paliva. Bohužel s tím ale přišla změna přípravy směsi, respektive její vliv na homogenost a rozprášení paliva. To spolu s možností variabilnějšího časování vstřiku paliva dle požadovaných podmínek v úplné charakteristice (v kterémkoli pracovním bodu motoru, tj. kombinaci otáček a zatížení) ale přináší i případnou změnu typu hoření z deflagračního na difúzní.

V důsledku toho byly u motorů s přímou tvorbou směsi zpravidla zaznamenány vyšší emise částic než u motorů s nepřímou tvorbou směsi. Dokonce jsou vyšší než u vznětových motorů vybavených filtrem pevných částic (DPF).

Jak u motorů s nepřímou tak i s přímou tvorbou směsi závisí emise částic na provozním režimu. Dle očekávání jsou problematičtější režimy vyšších zatížení. S tím je v rozporu většina testů pro typové schválení, protože ty předepisují zatížení motoru nízké, nejvíce však střední. Tudíž skutečné emise motoru plně neodpovídají reálným provozním podmínkám.

Tento příspěvek zaměřen na porovnání emisí částic přímé a nepřímé tvorby směsi během různých jízdních cyklů.

MĚŘENÍ

Měření probíhalo na válcové zkušebně MAHA AIP-ECDM 48L-4mot ve VTP v Roztokách.

Jako reprezentant automobilu s motorem s přímým vstřikem (DISI) byl použit 2013 Ford Focus kombi s řadovým, tříválcovým, kapalinou chlazeným zážehovým motorem s přímým vstřikem paliva o zdvihovém objemu 999 cm³, čtyřventilového rozvodu, s mezichladičem plnicího vzduchu typu vzduch vzduch, vrtání x zdvih 71,9 x 82 mm, kompresní poměr 10:1, maximální výkon 92kW@6000 1/min, maximální točivý moment 170 Nm@1400-4500 1/min 30s overboost 200 Nm, 6-ti stupňová ručně řazená převodovka, pohotovostní hmotnost 1242 kg, rozměr pneu 205/55 r16, Euro 6, normovaná spotřeba paliva 5,8/4,2/4,8 l/100 km, emise CO₂ 114 g/km, najeto 7962 km na počátku testů.

Automobilem reprezentujícím motor s nepřímým vstřikem byla 2011 Škoda Fabia s řadovým, čtyřválcovým, kapalinou chlazeným zážehovým motorem s vícebodovým nepřímým vstřikem paliva (MPI) o zdvihovém objemu 1390 cm³, čtyřventilového rozvodu, vrtání x zdvih 76,5 x 75,6 mm, kompresní poměr 10,5:1, maximální výkon 63 kW@5000 1/min, maximální točivý moment 132 Nm@3800 1/min, 5-ti stupňová ručně řazená převodovka, pohotovostní hmotnost 1104 kg, rozměr pneu 205/45 r16, normovaná spotřeba paliva 5,0/4,7/5,9 l/100 km, emise CO₂ 129 g/km, najeto 622 km na počátku testů.

Jako palivo byl použit benzin bez biosložky BA95 (RON, ČSN 228), benzinová stanice EuroOil, Hřebečská 695, Buštěhrad, 27343 (palivo „E0“), a směs tohoto benzínu s E85, benzinová stanice LPG-AUTO s.r.o., Michelská 4/11, Praha, 14000, s 70% obsahem etanolu; tato směs obsahovala 15% objemových etanolu (palivo „E15“).

Jako základní jízdní testy byly použity testy Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedures (WLTP) class 3 cyklus a Common Artemis Driving Cycle cyklus (pro dálniční část použita varianta s maximální rychlostí 130 km/h), jejichž rychlostní průběhy byly získány z DieselNet [10]. Měření sestávalo ze studeného WLTP, teplého WLTP a čtyř opakování Artemis cyklu. Poté bylo palivo vyčerpáno a zbytkové vyjeto do zastavení motoru. Bylo natankováno nové, motor nastartován a odjeto několik km v různých zatíženích pro provedení adaptace ECU na nové palivo a automobil nechán vytemperovat do druhého dne. Byly odjety

i doplňkové testy NEDC, US06, US EPA Highway Fuel Efficiency Test pro detailnější náhled vlivu jízdního cyklu na emise.

Výfukové zplodiny byly ředěny v plnoprůtočném ředicím tunelu s konstantním průtokem $10,8 \text{ m}^3/\text{min}$. Z tohoto tunelu byly odebírány vzorky pro následující měřicí zařízení:

- tradiční sada nástrojů na měření emisí z motorů (HC - ionizační detektor vyhřívaný plamenem (FID), CO a CO₂ - nedisperzivní infračervené spektrometry, oxidy dusíku (NO_x) - chemiluminiscenční analyzátor)
- dva FTIR analyzátoary pro měření plynných složek (tyto výsledky zde nejsou prezentovány)
- čítač netěkavých částic s průměrem větším než 23nm splňující požadavky Programu měření částic - PMP označované jako počet emitovaných částic (PN)
- EEPS (fast mobility particle sizer, Model 3090, TSI) s přidaným sekundárním ředěním zajištěným rotační ředičkou (MD-19, Matter Engineering) nastavenou na ředění 1:180; ředící hlava byla přehřátá na 150°C

Ředěné zplodiny byly dále vzorkovány (průtok $40 \text{ dm}^3/\text{min}$) na filtry o průměru 47 mm z boroskleněných vláken povlakovaných teflonem (Pall TX40HI20-WW); čisté křemenné filtry (Whatman QM-A); a membránové teflonové filtry (Pall Teflo); vzorkovací průtok přes všechny filtry byl $40 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$

VÝSLEDKY A DISKUZE

Grafy na obr. 1 až 6 zobrazují porovnání hodnot sledovaných emisí sestávající z cyklu WLTP studeného (s) a teplého (t), a z průměrných hodnot za čtyři opakování cyklu Artemis. Ten se dělí na městskou část (ur), mimoměstskou část (ru) a dálniční část (130). Použitá paliva byla E0 (benzin BA95 bez biosložky) a E15 (směs 15% etanolu a 85% benzínu). DISI označuje motor s přímým vstřikem (Ford Focus) a MPI s nepřímým vícebodovým vstřikem (Škoda Fabia).

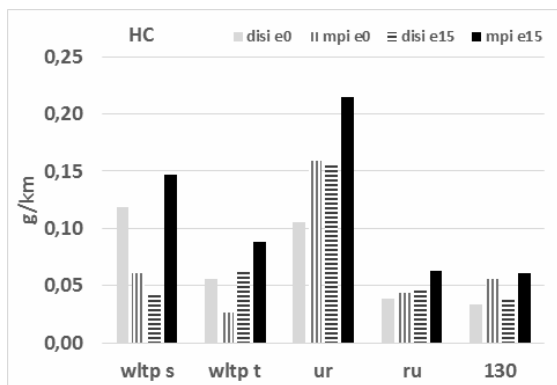
U HC (obr. 1) a CO (obr. 2) nejsou patrné výrazné rozdíly ani mezi motory, ani mezi palivy. V dálniční části (130) ovlivňuje obohacování u nepřímého vstřiku výsledné hodnoty snižováním teploty hoření, jež se obě odráží i v hodnotách CO. DISI motor měl zejména v městské části Artemis vyšší emise NO_x než motor MPI (obr. 3). U MPI byly NO_x vyšší při provozu na E15 oproti E0.

Z obr. 4 je zřejmé, že při provozu na čistý benzin má novější přímovstřikový motor nižší spotřebu než starší MPI motor, a to i přes výrazně vyšší hmotnost vozidla. Pro E15 se rozdíly mezi motory ve spotřebě paliva liší. Spotřebě jsou přímo úměrné emise CO₂. Tato práce se nezabývá tím, do jaké míry jsou uvolněné CO₂ odpovídající podílu etanolu v palivu součástí přirozeného koloběhu uhlíku v atmosféře (uvolněný CO₂ byl absorbován rostlinami při jejich růstu), a do jaké míry emise skleníkových plynů (uvolňování fosilního uhlíku do atmosféry).

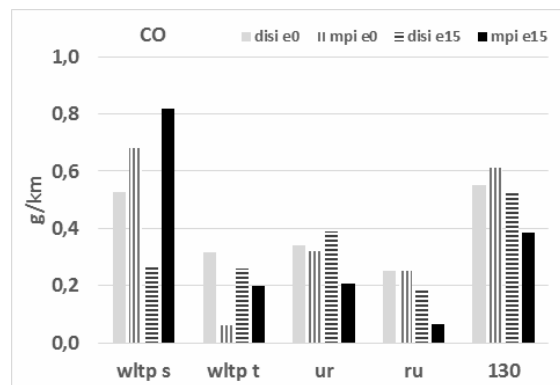
Emise částic (obr. 5 a 6) byly u DISI motoru výrazně vyšší než u motoru MPI, a to jak do hmotnosti, tak zejména do jejich počtu. Příčina takového množství částic je ukryta ve spalování paliva, které je u přímovstřikových motorů podobné jako u vznětových (naftových) motorů.

Výsledky jsou v souladu s dalšími studiemi, které poukazují na to, že benzinové motory s přímým vstřikem, ač mají nižší spotřebu paliva, mohou mít výrazně vyšší emise částic než „klasické“ benzinové motory s nepřímou tvorbou směsi.

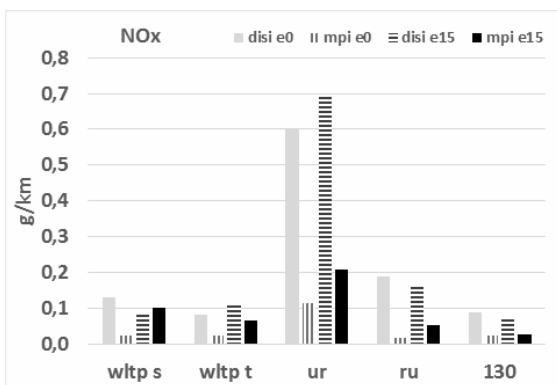
Prezentované výsledky jsou pouze pilotním náhledem do dané problematiky, jež bude následně dále rozpracována v navazujících analýzách vzorků a dalších jízdních testů.



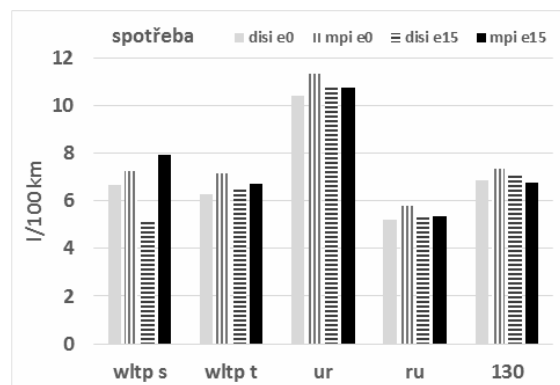
Obr. 1 Emise HC v závislosti na jízdním cyklu a palivech E0 a E15



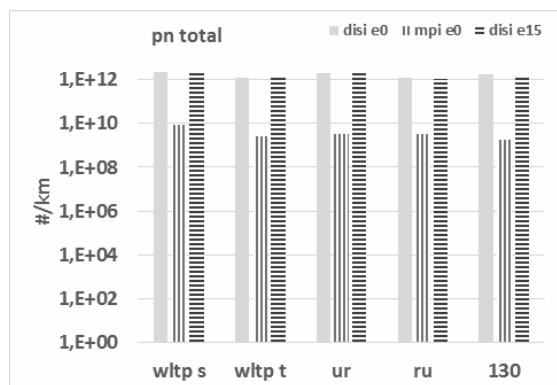
Obr. 2 Emise CO v závislosti na jízdním cyklu a palivech E0 a E15



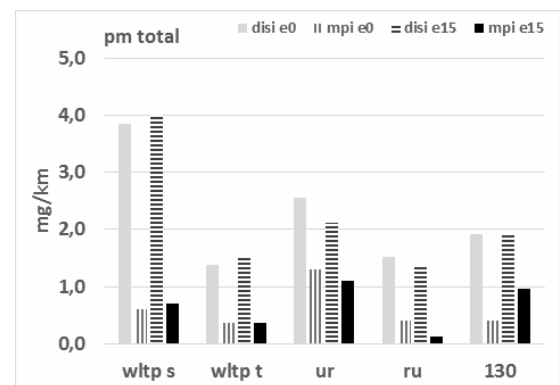
Obr. 3 Emise NOx v závislosti na jízdním cyklu a palivech E0 a E15



Obr. 4 Spotřeba paliva v závislosti na jízdním cyklu a palivech E0 a E15



Obr. 5 Emise počtu částic v závislosti na jízdním cyklu a palivech E0 a E15



Obr. 6 Emise hmotnosti částic v závislosti na jízdním cyklu a palivech E0 a E15

REFERENCE

- [1] Sodeman D.A, Toner S.M. et Prather K.A.,2005: Determination of Single Particle Mass Spectral Signatures from Light-Duty Vehicle Emissions.- Environmental Science and Technology, 39/12: 4569–4580.
- [2] Lee J.W., Jeong Y.I, Jung M.W., Cha K.O., Kwon S.I., Kim J.C. et Park S., 2008: Experimental investigation and comparison of nanoparticle emission characteristics in light-duty vehicles for two different fuels.- International Journal of Automotive Technology, 9/4: 397-403.
- [3] Spencer M.T, Shields G.L., Sodeman D.A., Toner S.M. et Prather K.A., 2006: Comparison of oil and fuel particle chemical signatures with particle emissions from heavy and light duty vehicles.- Atmospheric Environment, 40: 5224–5235.
- [4] Hoyer M., Bailey C., Baines T., Cleverly D., Ewald W., McCormick R., McDonald J., Somers J., Yanowitz J. et Zielinska B., 2002: Diesel Exhaust Emissions Characterization, Atmospheric Transformation, and Exposures. In: The National Center for Environmental Assessment (NCEA) - EPA's Office of Research and Development (ORD): Health Assessment Document for Diesel Engine Exhaust - National Center for Environmental Assessment Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC – USA: 31-173.
- [5] Oberdörster, G., Sharp, Z., Atudorei, V., Elder, A., Gelein, R., Kreyling, W. et Cox C. (2004), „Translocation of inhaled ultrafine particles to the brain“, Inhalation Toxicology, Vol. 16, No. 6-7, p. 437-445.
- [6] Politis, M., Pilinis, C. et Lekkas, T. D. (2008), „Ultrafine particles (UFP) and health effects: Dangerous like no other PM? Review and analysis“, Global NEST journal, Vol. 10, No, 3, p. 439-452.
- [7] Chang, C. (2010), „The immune effects of naturally occurring and synthetic nanoparticles“, Journal of Autoimmunity, Vol. 34, No. 3, p. J234-J246.
- [8] Franck, U., Herbarth, O., Röder, S., Schlink, U., Borte, M., Diez, U., Krämer, U. et Lehmann I (2011), „Respiratory effects of indoor particles in young children are size dependent“, Science of The Total Environment, Vol. 409, No. 9, p. 1621-1631.
- [9] US EPA (2015),“Nitrogen Dioxide: Health. “ available at:
<http://www.epa.gov/air/nitrogenoxides/health.html> (accessed: 8.4.2015)
- [10] Worldwide engine and vehicle test cycles available at:
<https://www.dieselnet.com/standards/cycles/> (accessed: 8.4.2015)

PODĚKOVÁNÍ

Měření byla provedena v rámci projektu BIOTOX – Mechanismy toxicity plynných emisí z biopaliv, financovaného Grantovou agenturou ČR (13-0148S).