Soudní znalec a otázky spotřeby paliva vozidlových motorů

Authorized Expert and Question about Fuel Consumption of Vehicle Engines

Pavel Šterba *

TÜV SÜD Czech s.r.o.

Abstrakt

Článek pojednává o požadavcích na měření spotřeby paliva silničních vozidel, formátech údajů a vlivu vnějších podmínek na její velikost. Upozorňuje na typická úskalí při jejím vyhodnocování. Příspěvek byl prezentován na konferenci ExFoS 2020.

Klíčová slova: spotřeba paliva, balance energie, jízdní odpory, pomocné pohony, předpisy EHK, hmotnostní měření, objemové měření, emisní přepočet, hybridní vozidla.

Abstract

This article deals with fuel consumption measurements at road vehicles, format of data and influence of external conditions onto results. Article extra highlight onto typical problems during its interpretation.

Keywords: fuel consumption, energy balance, vehicle road load, auxiliary devices, ECE Regulation, mass measurements, volumetric measurements, emission to fuel consumption conversion, hybrid vehicles.

1. ÚVOD

V odborné automobilové praxi, včetně znalecké, se dříve či později setkáme s požadavkem na ověření spotřeby paliva některého vozidla. Nejčastěji se bude jednat o nespokojenost uživatele osobního automobilu s hodnotou spotřeby, deklarovanou v technickém průkazu, ale ojediněle se můžeme setkat i s požadavkem hodnocení provozní spotřeby užitkového vozidla vůči nějaké hodnotě, deklarované výrobcem.

2. LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY

Mezinárodní předpisová základna standardizuje přístup ke zjišťování spotřeby paliva, coby srovnávacího kritéria ekonomiky provozu mezi jednotlivými vozidly, již od prvních okamžiků, co byla vytvořena počátkem 70 let. Nejprve byly požadavky stanoveny pouze pro osobní automobily, postupem doby se rozšiřovaly i na další druhy vozidel. Mimo požadavky mezinárodní předpisové základny existují též nejrůznější národní normy nebo oborové metodiky.

2.1 Uvádění spotřeby paliva podle kategorií vozidel

Termíny uvádění spotřeby paliva dle mezinárodních požadavků jsou přehledně uvedeny v tab. 1. Data uvádění nejsou zcela fixní, neboť

Tab. 1 Výžadování údajů spotřeby paliva.
Tab. 1 Requesting of fuel consumptions data.

Vozidlo	termín
M1	vždy (1970)
N1, provozní hmotnost do 1305 kg	1. 1. 2006
N1, provozní hmotnost přes 1305 kg	1. 1. 2008
L3e, L4e, L5e, L7e	1. 1. 2017
L1e, L2e, L6e	1. 1. 2018
N2, N3 (vybrané druhy)	1. 7. 2019, dále v půlročních intervalech

existují souběhy platnosti některých předpisů, instituty doprodejů vozidel a výjimky v aplikaci.

Vedle spotřeby paliva celých vozidel se uvádí rovněž křivka měrné spotřeby paliva samotného spalovacího motoru, udávající v podstatě míru jeho účinnosti při plném zatížení. Tato křivka je součástí pouze schvalovací nebo homologační dokumentace, do technického průkazu se neuvádí.

2.2 Mezinárodní předpisová základna

Mezinárodní předpisová základna, stanovující požadavky na způsob měření, je dnes již poměrně rozsáhlá a komplikovaná. Uvedme si pro orientaci alespoň její základní přehled:

Dodáno do redakce: 25. 2. 2020

Recenzní řízení: od 25. 2. 2020 do 28. 2. 2020

DOI: <http://dx.doi.org/10.13164/SI.2020.1.17>

*Korespondenční adresa: pavel.sterba@tuv-sud.cz

Obr. 1 Městská a mimoměstská fáze měřicího cyklu EHK 101.
Fig. 1 Urban and extra urban phase of ECE 101 testing cycle.

- EHK 15 – dnes již zrušený předpis, který souhrnně definoval požadavky na emise škodlivin ve výfukových plynech, způsoby měření výkonu motoru a způsob měření spotřeby paliva. Platil v letech 1970–1989. Údaj se uváděl ve tvaru 90/120/Město, tj. při ustálené jízdě rychlostmi 90 km.h⁻¹, 120 km.h⁻¹ a v městském provozu.
- EHK 84 – rovněž zrušený předpis, definující způsob měření spotřeby paliva. Platil v letech 1990 až cca 1996. Údaj se uváděl shodně ve tvaru 90/120/Město.
- EHK 85 – předpis, definující požadavky na měření výkonu, točivého momentu a měrné spotřeby paliva samotných motorů.
- EHK 101 – předpis platný dodnes, byť Evropská unie jej v posledních letech využívá pouze částečně. Údaj se uvádí ve tvaru Město/Mimoměsto/Kombinace. Umožňuje pouze měření v laboratoři.
- 134/2014/ES – prováděcí nařízení ES, stanovující požadavky na měření emisí a spotřeby paliva vozidel kategorie L (motocykly).
- 692/2008/ES – prováděcí nařízení ES, stanovující požadavky na měření emisí a spotřeby paliva vozidel kategorií M a N do provozní hmotnosti 2585 kg (extenze typu až do 2815 kg).

Obr. 2 Princip simulace spotřeby dle 2017/2400/ES.
Fig. 2 Simulation principle of fuel consumption according to 2017/2400/EC.

Obr. 3 Typické zapojení objemového průtokoměru do palivového okruhu.
Fig. 3 Typical installation of volumetric flow device in the fuel system with circulation.

- 2017/2400/ES – prováděcí nařízení ES, stanovující požadavky simulace spotřeby paliva vozidel kategorií M a N s provozní hmotností přes 2585 kg.

2.3 Požadavky mimo legislativu

Mimo oficiální legislativu se lze rovněž setkat s požadavky dle různých normativů a metodik, např. normy DIN, ČSN, CUNA, PLN či metodiky UITP SORT. Ty se používají v rámci deklarace provozních parametrů pro účely různých výběrových řízení

3. ZPŮSOBY ZJIŠŤOVÁNÍ SPOTŘEBY PALIVA

V dnešní době se používají 3 základní způsoby zjišťování spotřeby paliva:

- objemové měření,
- hmotnostní měření,
- výpočet z emisí.

Pro segment nákladních automobilů se nově zavádí zjišťování spotřeby pomocí simulací prostřednictvím centralizovaného software, vyvinutého na zakázku pro Evropskou komisi.

3.1 Objemové měření

Využívá se zejména při silničních zkouškách pro kapalná paliva a dále v laboratořích při zkouškách samotných motorů. Nese s sebou komplikovanější zástavbu u vozidel (motorů) s cirkulací paliva a je nutno dbát na pečlivé odvzdušnění palivového systému. Výsledky je nezbytné korigovat podle teploty paliva v místě měření (obr. 3).

3.2 Hmotnostní měření

Hlavní určení je pro přímé fyzické měření spotřeby u plynových motorů a rovněž v laboratořích při zkouškách samotných motorů. Pro motory s cirkulací paliva je nutné použít dva takové přístroje. Typickým představitelem používaných přístrojů je Coriolisův

hmotnostní průtokoměr, u jehož instalace se však musíme vyvarovat působení případných externích vibrací (obr. 4).

Obr. 4 Instalace Coriolisova hmotnostního průtokoměru na CNG autobusu.

Fig. 4 Installation of Coriolis mass flow device in the CNG bus.

3.3 Výpočet z emisí

V současnosti je vyhrazeno pro homologační zkoušky malých vozidel, případně pro kontroly shodnosti výroby. Hlavní výhodou je, že odpadají zásahy do palivové soustavy. Výpočet se provádí pomocí tzv. uhlíkové bilance, u které je nutné znát vlastnosti používaného paliva.

4. VLIVY NA SPOTŘEBU PALIVA

Ať již při standardizovaných zkouškách nebo v reálném provozu existuje řada faktorů, které mají na výsledek spotřeby paliva často podstatný vliv. Neuvědomění si těchto vlivů potom může vést k poukazování na odlišné provozní hodnoty, případně na výsledek kontrolního měření, oproti hodnotám uváděnými výrobcem.

4.1 Teplota paliva

Při objemovém měření je nezbytné provádět korekci na teplotu paliva, kterou musíme snímat v místě měření. Tu lze vyjádřit jako

$$V_{corr} = V_{meas}(1 - \alpha(T - 20)), \quad (1)$$

kde:

α	je součinitel objemové roztažnosti paliva ($0,001 \text{ K}^{-1}$),
V_{corr}	korigovaný objem spotřebovaného paliva,
V_{meas}	změřený objem spotřebovaného paliva,
T	teplota paliva v místě měření.

4.2 Výhřevnost paliva

Při shodných provozních podmínkách se nám bude výše spotřeby paliva měnit v závislosti na výhřevnosti paliva. To má význam zejména u lihobenzinových směsí (s rostoucím podílem lihu klesá výhřevnost směsného paliva) a plynových pohonů (podíl metanu v zemním plynu se může pohybovat mezi 85–100 %, rovněž v případě LPG mohou být jednotlivé různé výhřevné složky včetně povolených cizích příměsí v různých poměrech).

Homologační zkoušky, jejichž výsledky prezentuje výrobce, se provádějí s tzv. referenčním palivem přesně daného složení. Zde až do emisní úrovně Euro4 docházelo k paradoxu, že výrobci mohli prezentovat údaje naměřené s čistým benzínem, zatímco u čerpacích stanic se již distribuovala lihobenzinová směs, která obsahovala nominálních 5 % lihu a jejíž výhřevnost byla samozřejmě nižší. Složení referenčních plynů (LPG, CNG) je od norem platných pro čerpací stanice vzdáleno ještě více.

4.3 Princip uvádění hodnot výrobcem

Většina výrobců plně využívala znění předpisové základny, které umožňovalo deklarovat de facto libovolnou hodnotu, pokud hodnota naměřená při kontrolním testu nebude odlišná o více než 4 %. Tato tolerance byla původně zamýšlená jako tolerance rozptylu měření, avšak při dobré shodnosti výroby a rostoucí opakovatelnosti zkoušek v laboratorních podmínkách výrobci deklarovali do technických průkazů výsledky o 4 % nižší, než jaké prokazovali při reálných měřeních.

4.4 Hmotnost vozidla

V případě měření podle požadavků EHK 101, tj. cca do r. 2018, se vozidla pro třídila do hmotnostních tříd s rozestupem cca 100 kg. V některých případech tak situace přímo sváděla k tomu vozidlo odlehčit jen o několik kilogramů, které by se na výsledku prakticky neprojeví, což ovšem vedlo k přerazení vozidla do třídy o 100 kg lehčí a různé „zelené“ nebo „modré“ varianty modelových řad s mírně optimističtějšími výsledky byly na světě.

4.5 Jízdní odpor vozidla, počasi

Vliv jízdních odporů vozidla na spotřebu je do určité míry proporcionální. Jízdní odpory vozidla jsou obvykle konstrukčně dány, nicméně může dojít k jejich změně např. chybným seřazením podvozkových orgánů či závadou na vozidle. Dále dojde k jejich změně vlivem naložení (zatížení) vozidla, změnou čelní plochy (střešní nosiče, střešní boxy, spoilery), montáží různých doplňků, změnou pneumatik či připojením přívesu.

Poněkud opomíjeným, avšak logickým vlivem je působení počasi. Nejpodstatnější, zejména ve vyšších rychlostech, je působení větru, ovšem zcela bez vlivu nejsou ani okolní teplota

a barometrický tlak. Přibližně do r. 1996, kdy byly přípustné silniční zkoušky, se oficiálně aplikovaly speciální korekce ve tvaru

$$FC_{corr} = FC \left(\frac{O_{valeni}}{O_{celkovy}} (1 + 0,0036(T - 20)) - \frac{O_{aerodynamicky} \rho_0}{O_{celkovy} \rho} \right), \quad (2)$$

kde:

FC_{corr}	korigovaná hodnota spotřeby paliva,
FC	naměřená hodnota spotřeby paliva,
O	reprezentuje složky jízdního odporu vozidla,
T	teplota okolí,
ρ_0	hustota vzduchu při standardních podmínkách (1000 hPa, 20 °C),
ρ	hustota okolního vzduchu.

Tato korekce není stálá, je závislá na rychlosti jízdy vozidla a její aplikace na jiný, než ustálený režim jízdy je nutno řešit buďto kontinuální integrací korigovaného průtoku paliva nebo selektivně váženým průměrem. Rovněž tak je nutné znát křivku jízdního odporu vozidla, konkrétně poměr valivé a aerodynamické složky. Orientačně lze konstatovat, že u běžného osobního vozidla způsobí okolní teploty kolem 0 °C zvýšení spotřeby paliva dle charakteru provozu o cca 5–10 % oproti teplotám okolí 20 °C. Vliv změn barometrického tlaku činí potom při rychlostech jízdy do 90 km.h⁻¹ méně než 1 %.

4.6 Pomocné pohony

Vliv pomocných pohonů může být značný, zejména jedná-li se o pohony s velkým odběrem, např. klimatizaci či vzduchové kompresory. Předpisová základna stanovuje, že veškeré pohony, pokud nejsou nezbytné pro běh motoru či vozidla (např. chlazení, vzduchové kompresory), jsou při měření vypnuty. Předpisy však umožňují v určitých situacích i demontáž hnacích elementů (např. hnacích řemenů), což již nelze přirovnat k obvyklému užívání vozidla. Hlubší rozbor by byl již nad rámec tohoto příspěvku.

4.7 Styl jízdy a užívání vozidla

Způsob užívání vozidla představuje podstatný, ovšem obtížně odhadnutelný faktor. Nemá smysl na tomto místě připomínat zásady hospodárné jízdy, avšak existuje celá řada situací a jízdních režimů, kdy na výsledek, ať je jakkoli negativní nemá řidič podstatný vliv. Jedná se zejména o jízdy na krátké vzdálenosti, různé rozvážkové služby, jízdu v terénu či hustém městském provozu. V takových případech nelze srovnávat reálné provozní hodnoty s hodnotami deklarovanými výrobcem a nezbývá než např. pro stanovení provozních nákladů provést specifické měření v konkrétním provozu.

5. HYBRIDNÍ POZNÁMKA

V souvislosti s rostoucím podílem hybridních vozidel nemůžeme opomenout dvě zásadní připomínky. První připomínka se týká teploty okolí, potažmo přenesené na teplotu baterií. Po nastartování takového vozidla za nízkých teplot okolí nemůžeme od hybridního ústrojí čekat optimální vlastnosti, neboť schopnost trakčních baterií podávat odpovídající výkon a zejména rekuperovat je závislá na teplotě. Optimálních vlastností dosahuje hybridní ústrojí při

teplotách mezi cca 20–35 °C. Při vyšších teplotách se omezuje výkon baterií kvůli přehřívání, při nižších klesá přirozeným způsobem. Jako určitý mezník můžeme označit teplotu kolem 5 °C, pod kterou má již baterie omezenou schopnost nabíjení a tím i rekuperace energie. Provozem se baterie zahřeje, ale zlepšení vlastností nastává v zimních měsících až cca po 30–60 minutách jízdy.

Druhá, možná ještě zásadnější připomínka se týká tzv. plug-in hybridů. Zde se doposud udávala spotřeba ve 3 režimech a v každém z nich ve fázi městské, mimoměstské a kombinované:

- režim A – start měření s plně přednabitými trakčními bateriemi,
- režim B – start bez přednabití, tj. běžný hybridní režim,
- režim „váženého průměru“, který se posléze používá pro hodnocení vozidla v rámci různých daňových úlev apod.

Zavádějící je právě poslední údaj, tzv. váženého průměru, který se vypočítává tak, že se vezme podíl spotřeby v režimu A (obvykle je to nulová spotřeba) s váhovým kritériem maximálního možného dojezdu na elektřinu a k tomu podíl spotřeby v režimu B, ovšem s váhovým kritériem paušálních 25 km. Jinými slovy, vychází se z předpokladu, že vozidlo neustále jezdí na elektřinu a v případě, že se baterie vybijí, ujede řidič nejvýše 25 km, než vozidlo znovu nabije. To ovšem realitě skutečného provozu vůbec neodpovídá.

6. ZÁVĚR

Problematika měření a zejména vyhodnocování spotřeby paliva včetně srovnávání provozních hodnot s údaji výrobce je poměrně rozsáhlá a můžeme se i v dobré víře snadno dopustit špatného úsudku. Je tedy nezbytné pečlivě zvážit všechny provozní okolnosti měření a vlivy vnějšího okolí pro zachování maximální objektivity.

7. LITERATURA

- [1] ŠTĚRBA, P. *Problematika měření spotřeby paliva a vliv pomocných pohonů na její velikost v autobusech hromadné dopravy*. Disertační práce, Mendelova univerzita v Brně, Brno, 2014, 141 s.
- [2] PAPOUŠEK, M., ŠTĚRBA, P. *Diagnostika spalovacích motorů*. Computer Press, Brno, 2007, 223 s. ISBN 978-80-251-1697-5.
- [3] EHK OSN č. 84 *Jednotná ustanovení pro homologaci osobních automobilů se spalovacím motorem z hlediska spotřeby paliva*. Ženeva, Švýcarsko, 1995, 49 s.
- [4] EHK OSN č. 101 *Jednotná ustanovení pro homologaci osobních automobilů poháněných výhradně spalovacím motorem nebo poháněných hybridním elektrickým hnacím ústrojem z hlediska měření oxidu uhličitého a spotřeby paliva a/nebo měření spotřeby elektrické energie a jízdního dosahu na elektřinu, dále vozidel kategorií M1 a N1, poháněných výhradně elektrickým hnacím ústrojem z hlediska měření spotřeby elektrické energie a jízdního dosahu na elektřinu*. Ženeva, Švýcarsko, 2012, 101 s.
- [5] ŠTĚRBA, P. *Soudní znalec a otázky spotřeby paliva vozidlových motorů*. ExFoS 2020, ÚSI VUT v Brně, 2020, s. 210–217. ISBN 978-80-214-5829-1.

Správná citace:

ŠTĚRBA, P. Soudní znalec a otázky spotřeby paliva vozidlových motorů. *Soudní inženýrství*, 2020, 31(1), 17–21.
DOI: <http://dx.doi.org/10.13164/SI.2020.1.17>. ISSN 1211-443X.