

VÝFUKOVÉ EMISE ŽELEZNIČNÍHO MOTOROVÉHO VOZU ŘADY 854 BĚHEM REÁLNÉHO PROVOZU

Michal Vojtíšek^{1*}, Jonáš Jirků² a Martin Pechout¹

¹ Katedra vozidel a motorů, Fakulta strojní, Technická univerzita v Liberci

² Ústav ekonomiky a managementu dopravy a telekomunikací, Fakulta dopravní, ČVUT v Praze

*tel. +420/774 262 854, e-mail michal.vojtisek@tul.cz, michal.vojtisek@fs.cvut.cz

SUMMARY

Exhaust emissions of a diesel passenger rail car during regular operation

Exhaust emissions from a 854 series diesel-hydraulic passenger rail car, with up to three non-motorized cars, were measured using a portable, on-board monitoring system during its regular operation on scheduled passenger runs along the Prague-Turnov corridor. Preliminary results suggest that such measurement is feasible and that particle emissions divided by declared maximum occupancy are very low, on the order of 1 mg/km.

ÚVOD

Příspěvek se zabývá měřením emisí drážních vozidel poháněných spalovacími motory během reálného provozu na trati.

Spalovací motory jsou nejen hlavní hnací silou velké části pojízdných strojů, zařízení a dopravních prostředků, ale též jedním z nejvýznamnějších zdrojů velmi jemných částic v ovzduší, zejména pak uměle vytvořených nanočástic, tj. nanočástic vzniklých v důsledku lidské činnosti. Tyto částice mají schopnost se zachycovat s relativně vysokou účinností v plicních sklípcích, pronikat přes buněčné membrány do krevního oběhu a působit, přispívat ke vzniku, nebo zhoršovat průběh různých, zpravidla chronických onemocnění.

Zatímco výfukové emise silničních vozidel byly a jsou studovány, modelovány, měřeny, a zejména snižovány a stále přísněji limitovány, relativně menší úsilí je zaměřeno na spalovací motory v nesilničních aplikacích. Odhady emisí nesilničních motorů pocházejí zpravidla z hodnot získaných při homologačních zkouškách nových motorů v laboratoři. Menší množství dat je též k dispozici ze zahraničních zkoušek dieselelektrických lokomotiv během provozu v ustálených režimech na zvláštní zkušebně, kdy vyrobená elektrická energie, během normálního provozu odebíraná trakčními motory lokomotivy, je mařena v sadě vodou chlazených odporníků.

Je však známo, že výfukové emise částic se mohou během životnosti motoru postupně či skokově zhoršovat se zvyšujícím se opotřebením motoru a s přibývajícím výskytem poruch a anomálií. Je též známo, že výfukové emise během reálného provozu mohou být vyšší než během jeho zjednodušené simulace v laboratorních podmínkách.

Prakticky žádná data nejsou k dispozici pro motorové vozy s hydromechanickým nebo hydrodynamickým přenosem výkonu, neboť tyto prakticky nelze zkoušet stacionárně. Taková data jsou však potřebná pro podporu uvážených rozhodnutí o opatřeních týkajících se emisí z dopravy, například rozvahy zda podpořit nebo omezit určitý mód přepravy, jakým směrem směřovat prostředky na aplikaci pokročilých paliv a technologií pro snižování emisí, případně rozvahy o budoucích emisních limitech.

Cílem úsilí, jehož je tato práce součástí, bylo charakterizovat provozní podmínky drážních vozidel a jejich výfukové emise během reálného provozu. Tento příspěvek se zabývá metodikou měření výfukových emisí na motorových vozech s jiným než elektrickým přenosem výkonu a přináší předběžné výsledky z pilotní série měření na jednom osobním motorovém voze řady 854 [1].

MĚŘENÍ

K měření byl vybrán stroj 854 029-6, přezdívaný též „Kristýnka“, deponovaný v Depu kolejových vozidel Českých drah v Praze Vršovicích, využívaný pro provoz na regionálních tratích. Počet najetých km s tímto motorem byl odhadován na jeden milion. Vozy této řady jsou poháněny vznětovým motorem Caterpillar 3412 E DI-TA, vidlicovým dvanáctiválcem o zdvihovém objemu 29,2 litru a deklarovaném maximálním výkonu 588 kW. Měření bylo provedeno v sobotu 17.6.2012 během běžného provozu vozu s proměnným počtem přípojných (0 až 3) vlečných vozů řady 054 na trati 070 Praha-Vršovice – Mladá Boleslav hlavní nádraží – Turnov [2].

Měření byla provedena přenosným systémem pro měření emisí, vyvinutým prvním autorem. Tento systém byl instalován ve strojojně na opačné straně motoru, než se nacházela průchozí ulička do kabiny strojvedoucího.

Motor byl osazen optickým snímačem otáček, snímačem teploty nasávaného vzduchu a snímačem tlaku v sacím potrubí motoru. Z těchto veličin, ze zdvihového objemu motoru a z dopravní účinnosti zjištěné kvalifikovaným odhadem a ověřené experimentálně na obdobném motoru Caterpillar 3406, byl vypočten průtok nasávaného vzduchu. Z tohoto průtoku a z měřených koncentrací CO₂ byl následně vypočten tok výfukových plynů. Rychlost jízdy byla zařízením pro určení polohy (GPS), jehož anténa byla umístěna na střeše vozu.

Do výfukového potrubí byly zavedeny dvě sondy o průměru 6 mm a délce cca 1 m. Jednou sondou byly odebírány neředěné výfukové plyny, které byly přiváděny elektricky vodivou hadicí do kondenzační nádoby, kde byly odděleny větší částice a kondenzát. Vzorek byl poté nasát přes filtry do

- a) NDIR analyzátoru, který měřil koncentrace HC, CO a CO₂, a do elektrochemického článku, který měřil koncentrace NO,
- b) semikondenzačního integrujícího nefelometru, který měřil intenzitu dopředného rozptylu laserového paprsku částicemi ve vzorku a jehož výstup byl empiricky kalibrován tak, aby byl úměrný hmotnostní koncentraci, a
- c) měřicí ionizační komory, která měřila celkovou délku částic vztáženou na objem vzorku.

Částice byly také měřeny gravimetrickou metodou s využitím přenosného odběrového zařízení. Okolní vzduch filtrovaný HEPA filtrem byl přiváděn

membránovým čerpadlem přes první regulátor hmotnostního toku vzduchu do miniaturního tunelu připojenému ke konci druhé sondy zavedené do výfukového potrubí. Z tohoto tunelu byl vzorek ředených výfukových plynů nasáván přes vzorkovací filtry z borosilikátového skla povlakované fluorokarbonem o průměru 47 mm (T60A20, Pall Life Sciences) a druhý regulátor hmotnostního toku, který zajišťoval konstantní průtok 24 slpm (litrů za minutu vztažených na standardní podmínky 293 K a 101 kPa). První regulátor byl nastavován napěťovým signálem v závislosti na vypočteném toku nasávaného vzduchu tak, aby tok neředěných výfukových plynů, daný rozdílem průtoků ředicího vzduchu a ředěného vzorku, byl úměrný hmotnostnímu toku vzduchu nasávaného motorem, který je u vznětového motoru jen o jednotky procent odlišný od hmotnostního toku výfukových plynů.

VÝSLEDKY (PŘEDBĚŽNÉ)

Souhrnné výsledky pro celé měření a pro jeho vybrané úseky jsou uvedeny v Tab. 1 pro celou soupravu, která sestávala vždy z jednoho motorového vozu buď samostatného (1+0) nebo až s třemi přípojnými vozy (1+3). Jako údaj o emisích částic byly vybrány hodnoty získané měřením metodou rozptylu laserového paprsku. Tato měření byla korelována s gravimetrickou metodou v celkem devíti úsecích. Na pěti úsecích byla měření zatížena neodstranitelnými chybami (poškození nebo znečištění filtru při výměně během jízdy, chybné nastavení měřicího zařízení, absence kterýchkoli z potřebných dat, nízké napětí akumulátoru). Měření na zbylých čtyřech úsecích gravimetrickou metodou vykazují hodnoty emisí částic o 19 %, 87 %, 95 % a 143 % vyšší. Na dalších pěti úsecích byla gravimetrická měření zatížena neodstranitelnými chybami (poškození nebo znečištění filtru při výměně během jízdy, chybné nastavení měřicího zařízení).

V Tab. 2 jsou tyto hodnoty přepočteny na obsaditelné místo dle deklarované kapacity vozu (včetně míst pro stání). Skutečná obsazenost na dané trati nebyla zjišťována.

Tab. 1: Souhrnné výsledky měření pro vybrané úseky

Trať	vozy	km	Palivo l/100 km	PM* [g/km]	CO ₂ [g/km]	CO [g/km]	NO [g/km]	HC [g/km]
Celé měření		303.9	107	0.14	2835	8.2	43	2.0
Start, posunování Praha-Vršovice – Ml. Boleslav (os)	1+1	1.7	212	0.53	5625	22.4	77	3.2
Mladá Boleslav – Turnov (převoz)	1+0	71.6	94	0.15	2483	8.9	31	0.8
Turnov – Praha-Vršovice (rychlík)	1+0	32.8	85	0.11	2248	9.7	33	1.6
Praha-Vršovice – Ml. Boleslav (os)	1+3	103.6	125	0.14	3321	5.9	55	2.5
	1+2	74.9	107	0.14	2836	9.5	42	2.4

* Dle rozptylu laserového paprsku, dle gravimetrické metody jsou PM 1,2-2,4x vyšší

Tab. 2: Souhrnné výsledky měření přepočtené na obsaditelné místo

emise na deklarované místo	míst	Palivo l/100 km	PM* [g/km]	CO ₂ [g/km]	CO [g/km]	NO [g/km]	HC [g/km]
----------------------------	------	--------------------	---------------	---------------------------	--------------	--------------	--------------

Praha-Vršovice – Ml. Boleslav (Os 9504)	221	0.42	0.0007	11	0.04	0.14	0.00
Mladá Boleslav – Turnov (převoz)	98	0.87	0.0012	23	0.10	0.33	0.02
Turnov – Praha-Vršovice (rychlík R 1145)	467	0.27	0.0003	7	0.01	0.12	0.01
Praha-Vršovice – Ml. Boleslav (Os 9514)	344	0.31	0.0004	8	0.03	0.12	0.01

* Dle rozptylu laserového paprsku, dle gravimetrické metody jsou PM 1,2 až 2,4x vyšší

ROZPRAVA A ZÁVĚR

Je zřejmé, že uvedená data jsou orientační, neboť byla provedena pouze na jednom exempláři dané vozové řady, navíc se jedná o první sadu realizovaných měření, zatížených nejistotami. Nejistota měření hmotnostní koncentrace metodou laserového paprsku je odhadována faktorem 2 – 3, tj. skutečná hodnota může být poloviční až dvojnásobná, případně třetinová až trojnásobná. Nejistota výpočtu průtoku výfukových plynů může být v řádu jednotek procent, případně až 20 %.

Nejistota stanovení emisí gravimetrickou metodou s využitím částečného zředění je odhadována na 20 % v laboratorních podmínkách s použitím laboratorního zařízení. V podmínkách reálného provozu s použitím přenosného zařízení tato nejistota dosud nebyla spolehlivě kvantifikována, avšak lze předpokládat, že může dosahovat až faktoru 2. Porovnávací měření přenosného vzorkovacího zařízení v současné době probíhají a z tohoto důvodu, zároveň i vzhledem k různorodosti poměrů mezi gravimetrickým a optickým měřením, nebyla provedena korekce optického měření na gravimetrická data.

Nejistota generalizace na danou řadu sestává z nejistoty vyplývající z generalizace provozu v daný den na průměrný a obecný provoz a z nejistoty vyplývající z generalizace emisí daného vozu na všechny exempláře této řady.

I přes zmíněné nejistoty je však zřejmé, že emise částic přepočtené na obsaditelné místo jsou v řádu miligramu na km (0,3 – 1,2 mg/km dle rozptylu světla), v případě nashromáždění nejistot směrem k podhodnocení emisí pak maximálně v řádu jednotek mg/km. Takové hodnoty jsou srovnatelné s limitem 5 mg/km (tj. 1 mg/km na sedadlo) pro automobilové motory dosud nejpřísnější platné emisní kategorie Euro 5, přičemž průměrné emise starších automobilů se vznětovými motory jsou v řádu desetin g/km na automobil.

Z průzkumu motoru měřeného vozu před měřením a dotazů na historii jeho provozu nebylo zjištěno, že by byly provedeny nějaké významné úpravy na palivovém nebo vstříkovacím systému motoru, a nelze proto předpokládat, že by emise ostatních vozů byly výrazně jiné.

Rozložení emisí během jízdy, vliv provozních podmínek, stylu jízdy a hmotnosti soupravy je předmětem případných dalších studií, během kterých bude nutné shromáždit dostatečné množství dat z více strojů.

Poznatky z tohoto měření lze shrnout do závěrů, že **(a) měření výfukových emisí drážního motorového vozu během jeho reálného provozu je proveditelné a (b) emise částic v přepočtu na obsaditelné místo se zdají být, v porovnání s automobilovou dopravou, velmi malé.**

PODĚKOVÁNÍ

Provozní náklady měření byly financovány projektem MEDETOX – Inovativní metody měření toxicity výfukových plynů naftových motorů v podmínkách reálného městského provozu, který je spolufinancován evropským finančním nástrojem LIFE+ (LIFE10 ENV/CZ/651) a Ministerstvem životního prostředí ČR. Autoři děkují pracovníkům Českých drah, a. s., Depa kolejových vozidel Praha za laskavé umožnění měření a podporu a spolupráci při jeho realizaci.

LITERATURA

1. http://cs.wikipedia.org/wiki/Motorov%C3%BD_v%C5%AFz_854
2. <http://www.cd.cz/mapa/>