

EMISE Z MOTOROVÝCH VOZIDEL – POROVNÁNÍ SOUČASNÝCH EVROPSKÝCH MODELŮ

František Skácel, Viktor Tekáč

Ústav plynárenství, koksochemie a ochrany ovzduší, VŠCHT Praha, Technická 5, 166 28 Praha 6, skacelf@vscht.cz

Vliv mobilních emisních zdrojů na kvalitu ovzduší se v současné době určuje s využitím matematických modelů založených na použití emisních faktorů jednotlivých znečišťujících látek, údajů o zastoupení jednotlivých typů vozidel a morfologických charakteristik dopravních komunikací. Aktuální emisní faktory vybraného souboru znečišťujících látek lze nahradit jejich odhady získanými z různých zdrojů. Jedním z nich jsou hodnoty evropských emisních standardů určených směrnici EU pro jednotlivé typy vozidel a časová období, které jsou známy pod označením EURO I a VI. Dalším jsou výsledky získané aplikací volně prodejných matematických modelů, kterými jsou například v Evropě používané MEFA 06 (CZ), HBEFA 3.1 (CH, D, A, N aj.) nebo MOBILE 6.2 (US). V příspěvku jsou diskutovány výsledky výpočtu emisních faktorů vybraného souboru znečišťujících látek s použitím dvojice matematických modelů MEFA 06 a HBEFA 3.1 pro hlavní druhy vozidel ve dvou extrémních dopravních situacích v rámci České republiky. Uvedené modely poskytují odlišné výsledky.

Klíčová slova: Emise motorových vozidel, emisní faktory, kvalita venkovního ovzduší, matematické modelování

Došlo 18. 12. 2013, přijato 11. 3. 2014

1. Úvod

Kvalita ovzduší je určována řadou faktorů, z nichž velmi významnou roli hrají mobilní zdroje znečišťování ovzduší. Podíl těchto zdrojů se v současné době určuje s využitím matematických modelů výpočtu hmotnostních toků jednotlivých znečišťujících látek založených na použití emisních faktorů jednotlivých znečišťujících látek, údajů o četnosti jednotlivých typů vozidel v dopravních situacích a morfologických charakteristik dopravních komunikací. Pro získání aktuálních emisních faktorů sledovaného souboru znečišťujících látek lze použít nejméně tři postupů.

Konzervativní přístup vychází z legislativy a je založen na emisních standardech určených směrnici EU pro jednotlivé typy vozidel a časová období, které jsou známy pod souhrnným označením Euro 1 (I) až 6 (VI). Současnou podobu těchto standardů uvádí nařízení evropského parlamentu a rady [1,2]. Jejich platnost je zajištěna technickými opatřeními, která přijmou výrobci vozidel tak, že emise z výfuku a emise způsobené vypařováním paliva budou účinně omezeny po celou běžnou životnost vozidla. Nově je zavedeno, že opatření pro shodnost v provozu budou kontrolována například po uplynutí 5 let nebo po 100 000 km pro lehká osobní a užitková vozidla [1] nebo po uplynutí 7 let nebo po 700 000 km pro těžká základní vozidla [2]. Příklad těchto legislativně daných emisních faktorů pro lehká osobní a užitková vozidla je uveden v tab. 1.

Pro získání reálnějších hodnot emisních faktorů se nabízí využití prodejných matematických modelů, kterými jsou například v Evropě používané MEFA (CZ), HBEFA 3.1 (CH, D, A, S, N aj.) nebo MOBILE6.2 (US). Matematické modely pro výpočet emisních faktorů znečišťujících látek spalovacích motorů vycházejí z legislativních podmínek a z výsledků měření emisí

Tab. 1 Mezní hodnoty emisí Euro 6 pro osobní automobily o hmotnosti menší než 2 610 kg závazná od 1. září 2014 vyjádřené v mg/km [1]

Znečišťující látka	Motory	
	zážehové	vznětové
CO	1000	500
uhlovodíky celkem (THC)	100	-
uhlovodíky bez methanu (NMHC)	68	-
NO _x	60	80
THC+NO _x	-	170
částice (PM)	5,0	5,0

znečišťujících látek v různých režimech provozu spalovacích motorů vozidel různých typů. Tato měření jsou prováděna zpravidla v laboratorních podmínkách, zřídka za skutečného provozu. Vyšší podíl výsledků terénních měření zahrnuje nový model pro výpočet emisních faktorů použitý US EPA nazvaný MOVES (Motor Vehicle Emission Simulator), který nahradil dosavadní model MOBILE 6.2. Tento model bohužel nelze použít pro evropské podmínky.

Reálné hodnoty emisních faktorů lze získat pouze přímým měřením emisí jednotlivých znečišťujících látek různých typů vozidel za provozu a v reálných podmínkách (stav vozovky, technický stav vozidla, provoz na komunikaci, meteorologické podmínky apod.).

2. Matematické modely pro výpočet emisních faktorů

V České republice lze pro výpočet emisních faktorů motorových vozidel použít dvou zmíněných matematických faktorů. Model MEFA 06/MEFA 13 (Mobilní

Emisní Faktory 2006/aktualizace 2013), je český výpočetní program, který byl vyvinut autorským kolektivem pracovníků VŠCHT Praha, ATEM, s.r.o. a DINPROJEKT. Program vychází ze středoevropských průměrných hodnot emisních faktorů motorových vozidel, emisních faktorů motorových vozidel (vydaných Ministerstvem životního prostředí ČR), programové databáze modelu HBEFA a dalších zahraničních metodik (např. CORINAIR, COPERT). Byl vytvořen především pro bilanční výpočty emisí v důsledku pohybu motorových vozidel po českých komunikacích a monitorování vlivu vozidel na kvalitu a stav ovzduší. Model MEFA 06 umožňuje výpočet emisních faktorů šestnácti znečišťujících látek nebo jejich skupin pro jednotlivé typy vozidel a řadu dalších funkcí, např. výpočet z databáze (pro hromadný výpočet celkového hmotnostního toku znečišťující látky v daném úseku komunikace) s využitím editoru vozového parku pro definování motorového mixu aj. Aktualizace modelu vydaná v roce 2013 rozšiřuje použití o celou řadu dalších situací a procesů, například zohlednění rozdílů emisí těžkých nákladních vozidel v souvislosti s vytižením vozidla.

Pro výpočet emisního faktoru motorového vozidla na konkrétním úseku silniční komunikace je třeba zadat následující vstupní parametry:

- rok, pro který se výpočet emisního faktoru provádí. Vročení ovlivňuje emisní faktor vzhledem k platnosti emisních předpisů, kvality distribuovaných paliv (např. pokles obsahu síry v motorové naftě, nárůst obsahu ethanolu v benzínu) a stárnutí katalytických konvertorů motorových vozidel,
- kategorie vozidla – model rozlišuje osobní automobily, lehká nákladní vozidla, těžká nákladní vozidla (celková hmotnost >3,5 t), autobusy,
- palivo – model rozlišuje automobilní benzin, naftu motorovou, LPG a CNG,
- emisní úroveň – model rozlišuje emisní normy Euro 1/I až 4/IV pro všechny typy vozidel a tzv. konvenční emisní úroveň (pro motory vyrobené před rokem 1992),
- charakteristiku definující plynulost provozu (ve stupnici od 1 do 10) – viz tab. 2;
- podélný sklon vozovky (od -10 % do +10 %),
- rychlost jízdy (max. 130 km/h).

Po zadání vstupních veličin model vypočte emisní faktory znečišťujících látek uvedených na obr. 1 a v tab. 2.

Tab. 2 Charakteristika definující plynulost provozu MEFA 06

Hodnota	Charakteristika provozu
1	plynulá jízda v nezastavených oblastech
2 - 3	plynulý provoz ve městě, kdy vozidla občas zastavují na křižovatkách
4-5	...
8 - 9	režim Stop & Go
10	stojící a popojíždějící kolony

The screenshot shows the MEFA software interface with the following details:

- Title Bar:** MEFA - emisní faktory pro motorová vozidla
- Menu:** Program, Editovat, Nápověda
- Inputs:**
 - Výpočetový rok: 2013
 - Kategorie vozidla: Osobní automobil
 - Palivo: Benzin
 - Emisní úroveň: Euro 4
 - Plynulost provozu: 1
 - Podélný sklon vozovky (%): 0
 - Rychlost jízdy (km/h): 90
- Output Table:**

Emitovaná škodlivina	Emisní faktor
NOx (g/km)	
CO (g/km)	
SO2 (g/km)	
PM (g/km)	
PM10 (g/km)	
NO2 (g/km)	
CxHy (g/km)	
methan (g/km)	
propan (g/km)	
1,3-butadien (g/km)	
benzen (g/km)	
toluen (g/km)	
styren (g/km)	
formaldehyd (g/km)	
acetaldehyd (g/km)	
- Buttons:** << Zpět, Výpočet faktoru
- Status:** Max. rychlost vozidla je 130 km/h.

Obr. 1 Přehled zadání modelu MEFA 06

Na rozdíl od českého modelu umožňuje program HBEFA 3.1 výpočet tří typů emisních faktorů, emisní faktory pro motory na provozní teplotě (hot emission factors) závislé na charakteristikách komunikace a dopravní situaci uvedené v tab. 2, emisní faktory rozběhu motoru (cold start excess emission factors) a emisní faktory zohledňující vypařování paliva (evaporation emission factors).

Při výpočtu emisních faktorů HBEFA 3.1 se postupuje způsobem zřejmým z obr. 2.

Výpočet emisních faktorů vychází z rozsáhlé databáze (189 MB) umožňující volbu států (A, D, CH, S, N - databáze složení tamního vozového parku a ověřených emisních dat), vročení, určení kategorie vozidel (řada typů osobních automobilů; lehkých nákladních vozidel; těžkých nákladních vozidel; autobusů MHD; autobusů dálkové dopravy; motocyklů), emisní úroveň (emisní normy Euro 1/I až 6/VI pro všechny typy vozidel, podélný sklon vozovky (konstantní od -6 % do +6 % nebo kolísavý) a charakteristik dopravní situace zahrnující 276 různých dopravních situací. Model navíc rozlišuje městské prostředí se sedmi typy komunikací a venkovské prostředí s osmi typovými druhy silnic. Po zadání vstupních veličin model vypočte emisní faktory znečišťujících látek uvedených v tab. 3.

Rakouský model a programová databáze HBEFA „Handbook Emission Factors for Road Transport“ jsou podobné modelu MEFA 06 [3]. První verze (HBEFA 1.1) byla vydána v prosinci roku 1995. Od té doby prošla HBEFA mnoha vývojovými změnami. Všechny verze této příručky byly vytvořeny za spolupráce společnosti INFRAS a vládních agentur pro ochranu životního prostředí zúčastněných zemí, tj. Rakouska, Spolkové republiky Německo a Švýcarska.

Obr. 2 Přehled zadání modelu HBEFA 3.1

Tab. 3 Znečišťující látky zahrnuté do výpočtu emisních faktorů modelu MEFA 06 a HBEFA 3.1

Znečišťující látka	MEFA 06	HBEFA 3.1
CO	■	■
CO ₂		■
NO _x	■	■
NO ₂	■	■
N ₂ O		■
NH ₃		■
SO ₂	■	■
PM ^{a)}	■	■
PM10 ^{b)}	■	
PN ^{c)}		■
Pb		■
HC ^{d)}	■	■
CH ₄	■	■
NMHC ^{e)}		■
C ₃ H ₈	■	
acetaldehyd	■	
1,3-butadien	■	
benzen	■	■
toluen	■	
xyleny		■
styren	■	
CH ₂ O	■	
aceton	■	

^{a)} aerosolové částice celkem, ^{b)} aerosolové částice o aerodynamickém průměru menším než 10 μm, ^{c)} početní koncentrace aerosolových částic, ^{d)} uhlovodíky celkem, ^{e)} uhlovodíky s výjimkou methanu.

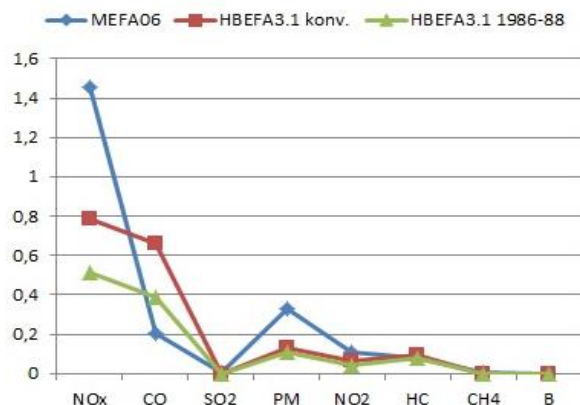
3. Porovnání konkrétní dopravní situace

Pro porovnání obou matematických modelů byl zvolen úsek silnice I/12 v délce 869 m v nadmořské výšce 219 m se sklonem 0°. Vstupní údaje vyplývají z tab. 4.

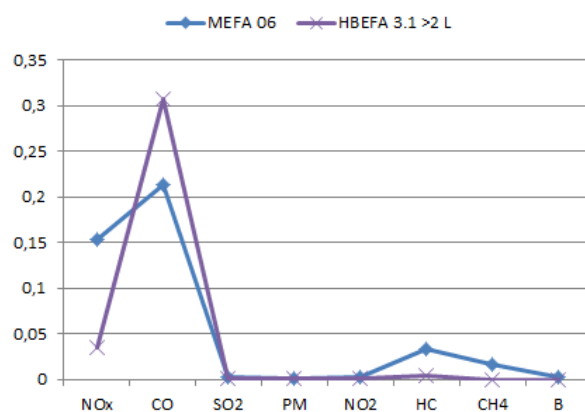
Z výsledků uvedených pro stručnost pouze na obr. 3 až 5 vyplývá, že oba modely poskytují rozdílné výsledky především pro vozidla, pro něž neplatí limitované emisní úrovně, tj. pro vozidla vyrobená do roku 1992, a zvláště pro emisní faktory sumy oxidů dusíku (NO_x) a oxid uhelnatý a do jisté míry i uhlovodíků. Údaje uvedené nad některými látkami v grafech na obrázcích 3 až 5 jsou limitní hodnoty předepsané pro dané kategorie vozidel. Hodnoty emisních faktorů vypočtených programem MEFA 06 jsou téměř vždy vyšší. Tento rozdíl bylo možné očekávat již na základě porovnání vstupních parametrů uvedených v tab. 4. Pro ověření spolehlivosti vypočtených hodnot emisních faktorů jsme provedli ve spolupráci s a.s. DEKRA Automobil v Praze 4 měření emisních faktorů vozidla AVIA A31 o celkové hmotnosti 5 950 kg jedoucího v ustáleném a plynulém režimu rychlosti 80 km/h. Výsledky uvádí tab. 5.

Tab. 4 Vstupní parametry pro porovnání modelů MEFA 06 a HBEFA 3.1

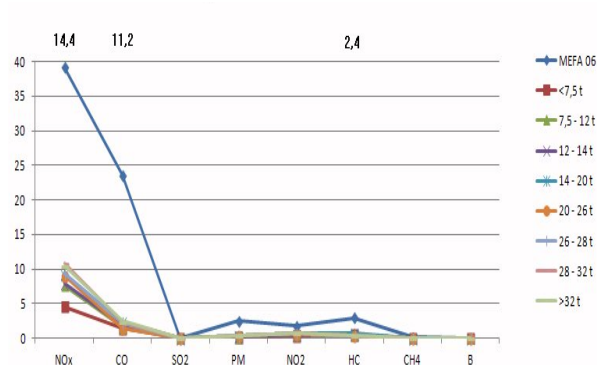
Vstupní parametr	MEFA 06		
Výpočtový rok	2013		
Kategorie vozidla	osobní automobil		HDV
	BA	NM	NM
Emisní úroveň	konvenční		
	Euro 1		Euro I
	Euro 2		Euro II
	Euro 3		Euro III
	Euro 4		Euro IV
Podélný sklon vozovky	0 °		
Rychlost jízdy	90 km/h		
Plynulost jízdy	1		
Oblast	-		
Typ emisního faktoru	-		
Scénář	jediné vozidlo		
Vstupní parametr	HBEFA 3.1		
Výpočtový rok	2013		
Kategorie vozidla	PC		HGV
	BA	NM	NM
Emisní úroveň			z 34 kategorií vybráno 8
			RT ≤7,5 t
			RT 7,5-12 t
			RT 12-14 t
			RT 14-20 t
Emisní úroveň			RT 20-26 t
			RT 26-28 t
			RT 28-32 t
Emisní úroveň			RT >32 t
	z 16	z 11	z 15
	vybráno		
Emisní úroveň	7	6	6
	conventional		
	<1987	1986-88	Euro I
	1987-90	Euro 1	Euro II
	Euro 1	Euro 2	Euro III
	Euro 2	Euro IV	Euro IV EGR
	Euro 3	Euro 4	Euro IV SCR
Euro 4			
Podélný sklon vozovky	0 °		
Rychlost jízdy	90 km/h		
Plynulost jízdy	freeflow (plynulý provoz)		
Oblast	rural (venkovská)		
Typ emisního faktoru	hot emissions (emise zahřátého motoru)		
Scénář	jediné vozidlo		



Obr. 3 Emisní faktory pro osobní automobily, pro něž nebyla určena emisní třída



Obr. 4 Emisní faktory pro osobní automobily emisní třídy Euro 4



Obr. 5 Emisní faktory pro nákladní automobily, pro něž nebyla určena emisní třída

Tab. 5 Emisní faktory nákladního automobilu Avia A31 naměřené a vypočtené modely MEFA 06 a HBEFA 3.1

Analyt	Stanoveno měřením	Vypočteno pomocí modelu	
		MEFA 06	HBEFA 3.1
CO	4,167	23,013	1,583
NO _x	15,907	34,960	4,516
SO ₂	0,0237	0,0122	0,002 4
HC	1,700	3,347	0,623

4. Závěr

Z uvedených výsledků vyplývá několik závěrů:

- a) programové soubory MEFA 06 a HBEFA 3.1 jsou nesouměřitelné, liší se svou koncepcí, výchozími parametry i databází naměřených hodnot emisních faktorů;
- b) hodnoty emisních faktorů získaných programovým souborem MEFA 06 jsou pro některé znečišťující látky (NO_x, CO, NO₂ a uhlovodíky) odlišné od výsledků získaných programovým souborem HBEFA 3.1 především pro vozidla vyrobená před rokem 1992. Hodnoty emisních faktorů získaných programovým souborem MEFA 06 téměř vždy převyšují obdobné výsledky získané programovým souborem HBEFA 3.1;
- c) při porovnání obou programových souborů v reálné situaci (viz tabulka 5) se jako realističtější projeví výsledky získané programovým souborem MEFA 06;
- d) pro reálné uplatnění v praxi, především při určování emisí znečišťujících látek z liniových zdrojů určených hmotnostním tokem dané látky ale i při posuzování zátěže mezní vrstvy atmosféry při územním plánování se použití programového souboru HBEFA 3.1 jeví jako nepraktické;
- e) při posuzování zátěže mezní vrstvy atmosféry při územním plánování je vhodnější použití programového souboru HBEFA 3.1.

K posouzení spolehlivosti obou predikčních modelů by přispěly experimentální studie různých situací založených na porovnání vypočtených hmotnostních toků a souběžném měření koncentrace alespoň některých sledovaných znečišťujících látek ve vybraných modelových situacích.

Literatura

1. Nařízení evropského parlamentu a rady (ES) č. 715/2007 ze dne 20. června 2007 o schvalování typu motorových vozidel z hlediska emisí z lehkých osobních vozidel a z užitkových vozidel (Euro 5 a Euro 6) a z hlediska přístupu k informacím o opravách a údržbě vozidla.
2. Nařízení evropského parlamentu a rady (ES) č. 595/2009 ze dne 18. června 2009 o schvalování typu motorových vozidel z hlediska emisí z těžkých nákladních vozidel (Euro VI) a o přístupu k informacím o opravách a údržbě vozidel, o změně nařízení (ES) č. 715/2007 a směrnice 2007/46/ES a o zrušení směrnice 80/1269/EHS, 2005/55/ES a 2005/78/ES.
3. Emission Factors from the Model PHEM for the HBEFA Version 3, Inst. Internal Combustion Engines and Thermodynamics, Graz University of Technology 2009.

Summary

František Skácel, Viktor Tekáč

Dept. Coke, Gas and Air Protection ICT Prague

Emissions from vehicles – comparison of current european models

Effect of mobile source of pollution onto the ambient air quality is currently estimated using mathematical models. Those models are based on the use of emission factors for various pollutants incidence of different types of vehicles and morphology of traffic routes. Actual emission factors are replaced by various estimates e.g. limit values given by European directives for different vehicles and years (standards EURO I to VI). Another source of those factors are results of simulation models used in Europe, e.g. MEFA 06 (CZ) or HBEFA 3.1 (CH, D, A, N), or in USA (MOVES, MOBILE6.2).

Result of those simulated emissions factors for extreme cases in Czech Republic using European models are discussed. Used models, i.e. MEFA 06 a HBEFA 3.1, provide different estimates.