

EMISE VÝFUKOVÝCH ŠKODLIVIN ZE STUDENÝCH STARTŮ OSOBNÍCH A LEHKÝCH NÁKLADNÍCH AUTOMOBILŮ

Jakub Šiška^a, Milan Pospíšil^b, Daniel Maxa^b, Pavel Šimáček^b, Petr Říha^c, Jiří Vavřina^c, Jan Karel^d

^aMomentive Specialty Chemicals, a.s., Tovární 2093, 356 01 Sokolov

^bÚstav technologie ropy a alternativních paliv, VŠCHT Praha, Technická 1905/5, 166 28 Praha 6

^cDEKRA Automobil a.s., Türkova 1001, 149 00 Praha 4

^dATEM - Ateliér ekologických modelů, s. r. o., Hvoždanská 2053/3, 148 01 Praha 4

e-mail: jakub.siska@momentive.com

Významným nástrojem pro hodnocení vlivu emisí z dopravy na životní prostředí jsou emisní modely. Podmínkou pro jejich účelné nasazení jsou odpovídající data popisující emise motorových vozidel vznikající v závislosti na použitém palivu, technickém stavu, technické úrovni a podmínkách provozu. V rámci práce byl naměřen a validován základní soubor emisních dat (CO, CH, NO_x) charakterizujících tzv. studené starty osobních automobilů se zážehovým motorem a byl navržen jednoduchý algoritmus pro predikci víceemisí ze studených startů osobních a lehkých nákladních vozidel, který by současnou metodiku pro výpočet emisí z dopravy vhodně doplnil a zpřesnil.

Klíčová slova: automobilová doprava, emise škodlivin, emisní modelování, studené starty

Došlo 12. 9. 2013, přijato 22. 11. 2013

1. Úvod

Automobilová doprava představuje v současné době pravděpodobně nejvýznamnější zdroj znečišťování ovzduší na území většiny sídel v České republice. Omezení celkové emisní a imisní zátěže z automobilové dopravy je možné dosáhnout pouze kombinací většího počtu dílčích opatření, aby bylo dosaženo potřebného zlepšení kvality ovzduší při zachování dopravy v území a také při únosných nákladech. Základním předpokladem správného rozhodování o těchto opatřeních jsou přesné informace o faktorech, které produkci znečišťujících látek z dopravy ovlivňují. Tyto informace není prakticky možné celoplošně získat imisním měřením, neboť by bylo nutné provozovat neúměrný počet měřicích stanic. Monitoring navíc neumožňuje získat všechny potřebné informace, jelikož měřit lze vždy jen ovzduší jako celek, bez další specifikace původců znečištění. Vhodným operativním a finančně dostupným zdrojem informací jsou v těchto situacích modelové výpočty, které vycházejí ze stanovení produkce emisí znečišťujících látek. Podmínkou je ovšem použití takových výpočetních metodik, které přesně vyjádří reálné podmínky modelované situace; významným prvkem spolehlivosti metodik je také jejich optimalizace na vozový park ČR. Z tohoto důvodu byla v uplynulých letech věnována vývoji metodik pro stanovení emisní a imisní zátěže z automobilové dopravy značná pozornost. V současné době lze konstatovat, že v ČR existuje verifikovaná a schválená metodika pro výpočet produkce výfukových emisí z dopravy za běžných podmínek ustáleného jízdního režimu. Tato metodika však plně nepokrývá nestandardní jízdní režimy, mezi které patří emise vznikající v důsledku studených startů zaparkovaných vozidel a emise z průjezdu vozidel křižovatkou. To neznamená, že by tyto případy nebyly dosud hodnoceny, avšak pro výpočty emisí nejsou využívány jednot-

né metodické podklady, což omezuje spolehlivost jejich výstupů.

Příspěvek k emisím ze studených startů (tzv. víceemise) vzniká ve chvíli, kdy vozidlo se zcela nebo částečně vychladlým motorem projíždí po startu dráhu, která je nutná pro zahřátí motoru a katalyzátoru na optimální pracovní teplotu. V této situaci motor emituje největší množství škodlivin, ale katalyzátor není ještě schopen pracovat v ustáleném režimu a produkované škodliviny účinně eliminovat [1].

Zejména na počátku jízdy (během 1 – 2 km od nastartování, resp. 5 – 6 min jízdy vozidla) víceemise řádově převyšuje běžné emise z optimálně fungujícího vozidla. S ujetou dráhou víceemise rapidně klesají, po ujetí cca 5 km má již motor i katalyzátor optimální teplotu a vliv víceemisí se prakticky neprojevuje. Zohlednění příspěvku ze studených startů je proto zvláště významné při hodnocení emisní bilance automobilové dopravy ve městech, kde jsou automobily často využívány k poměrně krátkým jízdám. Např. Joumard a kol. [2] uvádí na základě dopravních výzkumů prováděných v řadě zemí západní Evropy průměrnou ujetou vzdálenost celkově 5 – 8 km, avšak ve městech pouze 2 – 4 km. Lze rovněž očekávat, že význam víceemisí ze studených startů vozidel v rámci celkových koncentrací uhlovodíků se bude v různých částech města lišit podle rozložení komunikační sítě a charakteru území. Např. na kapacitních komunikacích s větší vzdáleností křižovatek bude podíl víceemisí pravděpodobně relativně nízký, zatímco v obytné zástavbě jejich podíl významně poroste.

Standardně zpracovávané emisní bilance v dostatečném časovém rozmezí představují poměrně objektivní kritérium, vypovídající o úrovni znečišťování ovzduší v jednotlivých zemích. V rámci evropského regionu byla snaha o sjednocení metodik emisních bilancí poprvé výrazněji promítnuta do metodiky CORINAIR, připravené v

rámci CLRTAP (Úmluva o dálkovém přenosu znečištění ovzduší přes hranice států), přijaté v gesci UN/ECE (EHK OSN)[3].

V průběhu devadesátých let až do dnes proběhla v Evropě řada testů, jejichž cílem bylo co nejpřesněji kvantifikovat víceemise ze studených startů. V těchto výzkumech byly na rozsáhlém vzorku osobních automobilů prověřovány veškeré faktory, které víceemise ovlivňují [4-8].

Cílem této práce bylo připravit a ověřit základní soubor emisních dat pro základní regulované látky znečišťující ovzduší (oxid uhelnatý - CO, suma organických sloučenin - CH, suma oxidů dusíku - NO_x) charakterizující tzv. studené starty osobních automobilů a navrhnout výpočetní algoritmus umožňující predikci víceemise ze studených startů osobních a lehkých nákladních vozidel.

2. Experimentální část

V motorové zkušebně vozidel DEKRA Automobil a.s. (bývalý Ústav silniční a městské dopravy) v Českých Budějovicích byla provedena série emisních testů s osobními automobily Škoda, různých typových řad

a různých emisních kategorií, s cílem experimentálně změřit emise základních složek výfukových plynů (CO, CH, NO_x) za podmínek tzv. studeného startu vozidla. Motorové zkoušky byly prováděny na válcovém dynamometru při teplotách odpovídajících provozu v zimním a přechodném období, tj. v rozmezí -9 až +15 °C [9].

2.1. Výběr osobních automobilů pro emisní testy

Plánovaným záměrem bylo provést sérii motorových zkoušek, resp. emisních testů pro soubor vhodně vybraných osobních automobilů různého stáří a proběhu km, vozidel s různou konstrukcí pohonné jednotky a katalytického systému pro odbourání škodlivin z výfukových plynů. Pro tento účel byla vybrána vozidla tuzemského výrobce Škoda Auto, a.s., Mladá Boleslav, která nejlépe charakterizují tuzemský vozový park nejen po stránce počtu provozovaných vozidel, ale i vybavení a výkonových parametrů (malé vozy a vozy střední třída). Do skupiny testovaných automobilů bylo zařazeno i vozidlo s alternativním pohonem na zemní plyn. Přehled základních parametrů osobních automobilů Škoda použitých pro měření emisí při tzv. „studených“ startů je uveden v tab. 1 [9].

Tab. 1: Přehled osobních automobilů Škoda použitých pro měření emisí ze studených startů a při simulaci průjezdu křižovatkou

Vozidlo, značka, typ	Š Favorit 136 L	Š Felicia 1.3 MPI	Š Fabia 1.2 HTP	Š Fabia 1.4 16V Bi POWER	Š Octavia 1.8 T
Rok výroby	1990	1999	2004	2000	2004
Proběh vozidla (km)	64 000	172 000	44 000	83 000	44 000
Zdvihový objem (cm ³)	1289	1289	1198	1390	1781
Max. výkon (kW) / max. točivý moment (Nm)	46 / 100	50 / 106	47 / 112	74 / 126 (BA) 58 / 103 (CNG)	110 / 210
Palivo	BA Natural 95	BA Natural 95	BA Natural 95	BA Natural 95 CNG	BA Natural 95
Lambda regulace	nemá	1 λ-sonda	2 λ-sondy	2 λ-sondy	2 λ-sondy
Úprava výfukových plynů	nemá	1 katalyzátor pod podlahou ve střední části vozu, regulace klepání	1 katalyzátor na sběrném výfuk. potrubí, EGR, regulace klepání	2 katalyzátory: - na sběrném výf. potrubí - pod podlahou ve stř. části vozu regulace klepání	1 katalyzátor pod podlahou ve střední části vozu, přepínání, systém sek. vzduchu, regulace klepání
Emisní limity:	EHK 83.00	EHK 83.03B (Euro 1)	ES 1999/102B (Euro 4) diagnostika EOBD	EHK 83.05A (BA – Euro 4) CNG – Euro 3) diagnostika EOBD	ES 1999/102B (Euro 4) diagnostika EOBD

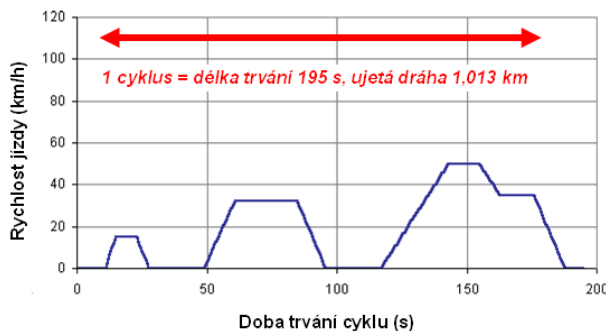
2.2. Simulace studených startů osobních automobilů

Pro simulaci jízdního režimu charakterizujícího jízdu vozidla v prvních kilometrech po nastartování delší dobu odstaveného vozidla se studeným motorem v městských podmínkách byly vybrány první 3 cykly městské části (EHK 15) standardního evropského emisního testu (viz obr. 1) EHK 83 ve válcovém dynamome-

tru (modifikovaná zkouška typu I dle Přílohy 4 Předpisu EHK č. 83 v posledním znění):

- 1. kilometr jízdy – studený start motoru včetně zahájení odběru spalin, jízda vozidla v režimu 1. cyklu městské části zkoušky (EHK 15) s ukončením této fáze v čase 195 s od spuštění motoru, výfukové plyny jímány samostatně;

- 2. kilometr jízdy – jízda vozidla v režimu 2. cyklu městské části zkoušky (EHK 15), s délkou trvání 195 – 390 s od spuštění motoru, výfukové plyny jímány samostatně;
- 3. kilometr jízdy – jízda vozidla v režimu 3. cyklu městské části zkoušky (EHK 15) v čase 390 – 585 s od spuštění motoru, ukončení odběru spalín a konec jízdni zkoušky.



Obr. 1: Průběh základního cyklu městské části (EHK 15) emisního testu EHK 83 (cyklus se 3x opakuje)

Při této modifikované emisní zkoušce vozidlo ujeде během tří opakovaných cyklů celkem 3,039 km, přičemž pro každý ujetý kilometr dráhy jsou k dispozici separátně změřené emise základních složek výfukových plynů. Analýzou dat z databáze INFRAS bylo zjištěno, že 0. až 3. km tvoří více než 95 % víceemisí při studeném startu, a to prakticky nezávisle na okolní teplotě, takže emise vyprodukované na 4. a 5. km ujeté vzdálenosti od nastartování celkovou sumu „studených“ víceemisí ovlivní již minimálně a lze je při výpočtech vynechat. Emisní testy při simulacích studených startů byly prováděny s vozidlem, které bylo na volném prostranství před zkušebnou, min. 6 hodin, vystaveno okolní teplotě. Snahou bylo emisní měření provést v zimním období a rovněž i přechodném (jarním) období tak, aby se získala data jak pro záporné teploty (okolo -10 °C), tak i teploty okolo bodu mrazu a kladné teploty okolo +15 °C. Bohužel klimatické podmínky v zimním období při dlouhodobě naplánovaných experimentálních měření nebyly z hlediska teplotních minim příliš příznivé, takže pouze v jediném případě se podařilo provést měření při teplotě okolo -10 °C. Studený start v zimních podmínkách byl proto charakterizován teplotou chladicí kapaliny v intervalu 0 až +3 °C, podmínky v přechodném období (jaro/léto) pak byly charakterizovány teplotou chladicí kapaliny 15 °C.

2.3. Postup provedení vlastních emisních měření

Na zkoušeném vozidle byl upraven tlak huštění kol hnací nápravy. Následně bylo vozidlo umístěno do válcového dynamometru se zařízením pro odběr a analýzu výfukových plynů umožňujícího navodit odpovídající režim zkoušky typu I dle EHK č. 83. Bylo nastaveno odpovídající zatížení dynamometru a provedena stabilizace vozidla. Během stabilizace vozidla byl prováděn

kontrolní odečet vybraných parametrů řídicího systému motoru na základní palivo včetně elektronického záznamu měřených veličin. Po stabilizaci vozidla byly odečteny výsledky diagnostikování dílčích systémů provedené palubní diagnostikou zkoušeného vozidla během stabilizace, byly zkontrolovány vybrané parametry řídicího systému motoru a statické emisní parametry. Vozidlo bylo odstaveno z provozu a temperováno na požadovanou teplotu. Po vytemperování vozidla byly zaznamenány provozní parametry (tlak, teplota, vlhkost vzduchu; teploty oleje a chladicí kapaliny motoru).

Během jízdy vozidla byl prováděn kontrolní odečet a elektronický záznam vybraných parametrů řídicího systému provozu motoru.

Po ukončení každé zkoušky byly zaznamenány související provozní parametry (tlak, teplota, vlhkost vzduchu, ujetá dráha). Bylo ověřeno, zda nedošlo k zápisu chybových stavů, byly zkontrolovány vybrané parametry řídicího systému provozu. Byly rovněž ověřeny statické emisní parametry (zkouška typu II – zkouška emisí při volnoběžných otáčkách).

Po ukončení jízdy bylo pomocí laboratorních analyzátorů typu NDIR (nedisperzní analyzátor s absorpcí v infračervené oblasti – analýza CO, CO₂), typu FID (plameno-ionizační detektor – analýza CH) a typu CLA (chemiluminiscenční analyzátor – analýza NO_x) provedeno v souladu s metodikou dle Dodatku 8 Přílohy 4 Předpisu EHK č. 83 stanovení hladin jednotlivých složek škodlivin v dílčích cyklech i za celou zkoušku s výše popsáním režimem (g/km).

2.4. Použité měřicí zařízení

Při provádění emisních měření úkolu byla použita následující měřicí a diagnostická zařízení:

- válcový dynamometr Schenck se zařízením pro odběr a analýzu výfukových plynů Pierburg 12.5/20 a se zařízením pro měření ujeté vzdálenosti (měření hladin standardních složek emisí);
- analyzátory výfukových plynů Brisk JT 283A s příslušenstvím včetně měření otáček motoru a teplot motorového oleje (měření statických emisních parametrů);
- sběrný modul AVL 490 DISPEED pro snímání otáček motoru na bázi vyhodnocení signálu zvuku a vibrací generovaných motorem (měření otáček motoru);
- servisní zařízení pro diagnostiku řídicích systémů vozidel Škoda, Grundig, typ VAG 1551, (odečet parametrů řídicích systémů motorů a systémů palubní diagnostiky, kontrola systémů při emisních měřeních);
- softwarové vybavení VAG-COM a VAG-SCOPE pro komunikaci a záznam parametrů řídicích systémů vozidel ŠKODA (odečet a záznam parametrů řídicích systémů motorů);
- kombinovaný měřicí přístroj COMMETER pro měření teploty a vlhkosti vzduchu, barometrického tlaku, digitální teploměr AHLBORN 2290 se sadou snímacích sond, tlakoměr WIKA pro měření tlaku vzduchu v pneumatikách, stopky (měření související s provozem vozidla ve válcovém dynamometru).

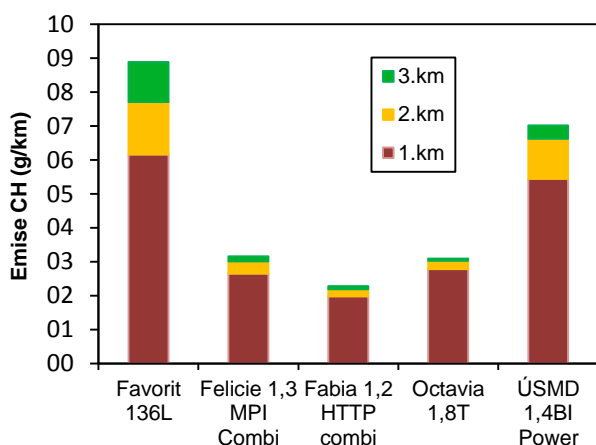
3. Výsledky a diskuse

Získaná data představují poměrně cenný soubor informací o emisních charakteristikách typických zástupců vozového parku osobních automobilů v České republice, pomocí kterých je možné ověřit možnost použitelnosti obdobných zahraničních emisních dat pro potřeby konstrukce emisního modelu.

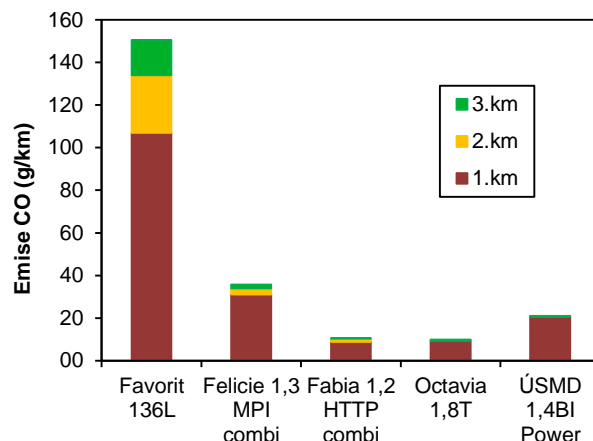
3.1. Výsledky měření simulujících studené starty osobních automobilů Škoda

Výsledky měření základních složek emisí (CO , CH , NO_x) při emisních zkouškách simulujících studený start vozidla při různých teplotách charakterizující zimní a přechodové podmínky (teplota cca 3°C) jsou pro všechna testovaná vozidla Škoda prezentovány na obr. 2 - 4 ve formě jednoduchých sloupcových grafů.

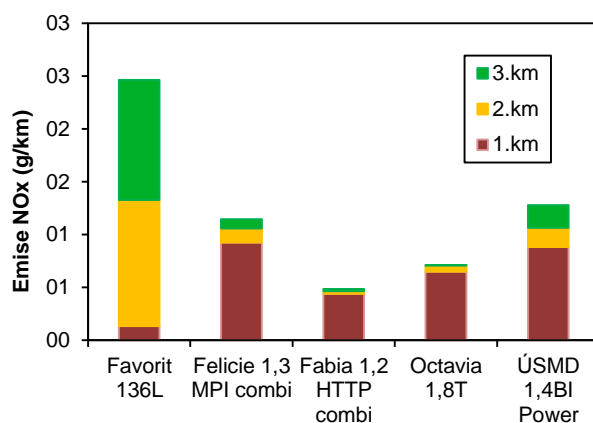
Z výsledků emisních měření simulujících studené starty je na první pohled patrný výrazný vliv kvality katalytického systému pro eliminaci škodlivin ve výfukových plynech. Zatímco vůz Š Favorit není vybaven žádným systémem, nejmodernější vozy Š Fabia 1.2 HTP a Š Octavia 1.8 T (emisní kategorie Euro 4) disponují velmi kvalitním katalytickým konvertorem včetně moderní elektronické regulace spalovacího procesu. Š Fabia 1.4 16V BiPowered sice při použití benzínu plní emisní limit Euro 4 (chová se stejně jako Š Fabia 1.2 HTP), ale při alternativním spalování zemního plynu plní pouze emisní limit Euro 3 a celý systém motor-managementu při provozu na CNG je méně dokonale než při provozu na motorový benzin. Zajímavá je situace v případě NO_x , kdy vozidla vybavená katalyzátorem se postupně, v 2. a 3. km, emisně zlepšují (katalytický konvertor se dostává na pracovní teplotu), zatímco vozidlo Š Favorit se postupně emisně výrazně zhoršuje. Tuto skutečnost je nutno reflektovat i při návrhu emisních faktorů.



Obr. 2: Porovnání emisí CH pro všechna testovaná vozidla v 1. až 3. km (cyklu) motorové zkoušky



Obr. 3: Porovnání emisí CO pro všechna testovaná vozidla v 1. až 3. km (cyklu) motorové zkoušky



Obr. 4: Porovnání emisí NO_x pro všechna testovaná vozidla v 1. až 3. km (cyklu) motorové zkoušky

Tab. 2 shrnuje změřené emisní faktory základních škodlivin ve výfukových plynech pro první 3 km ujeté vzdálenosti v rámci modifikované motorové zkoušky simulující jízdu po startu studeného vozidla při dvou různých teplotách chladicí kapaliny.

Z výsledků uvedených v tab. 2 vyplývá, že vozidla opatřená katalyzátory vykazují značný relativní pokles emisí bezprostředně po ujetí vzdálenosti prvního kilometru. U vozidel splňujících emisní limit Euro 1 byly naměřeny při obou teplotách již tak malé koncentrace, že výsledný podíl vyjádřený v procentech pro 2. a 3. kilometr jízdy vozidla není již věrohodný. V případě konstrukčně staršího vozidla Favorit 136L bez katalytického konvertoru lze naopak pozorovat nárůst emisí NO_x při postupném ohřívání pohonné jednotky a výfukového systému. Velmi názorně je zde demonstrován zásadní význam funkčního katalytického konvertoru pro výraznou redukci polutantů ve výfukových plynech jak v době studeného startu, tak i jízdy vozidla s pohonnou jednotkou vytemperovanou na provozní teplotu.

Tab. 2: Porovnání výfukových emisí studeného vozidla (mg/km) při různých teplotách chladicí kapaliny

Vozidlo	Teplota* (°C) /podíl	1. km			2. km			3. km		
		CO	CH	NO _x	CO	CH	NO _x	CO	CH	NO _x
Favorit 136L	prům. 3°C	106,9	6,16	0,13	27,1	1,54	1,19	16,5	1,19	1,14
	prům. 15°C	87,7	8,59	0,26	19,9	2,97	1,08	16,3	2,78	0,98
	podíl 15/3 (%)	82	139	193	74	192	90	99	235	87
Felicia LXI COMBI	prům. 3°C	31,2	2,65	0,93	2,6	0,36	0,13	1,9	0,15	0,09
	prům. 15°C	16,5	1,58	1,02	1,3	0,20	0,15	1,0	0,07	0,08
	podíl 15/3 (%)	53	60	109	51	55	118	51	49	93
Fabia COMBI	prům. 3°C	7,3	1,98	0,41	1,4	0,21	0,02	0,3	0,09	0,02
	prům. 15°C	2,9	0,81	0,39	0,5	0,09	0,02	0,2	0,04	0,01
	podíl 15/3 (%)	40	41	97	34	40	79	71	39	55
ÚSMD 1.4 BI POWER	prům. 3°C	20,8	5,44	0,88	0,022	1,181	0,179	0,033	0,40	0,22
	prům. 15°C	11,6	1,99	0,72	0,0	0,69	0,17	0,0	0,25	0,17
	podíl 15/3 (%)	56	37	82	73	58	94	55	63	78
Octavia 1.8 20V turbo	prům. 3°C	10,3	2,94	0,69	0,26	0,28	0,03	0,01	0,08	0,01
	prům. 15°C	3,9	0,57	0,25	0,05	0,03	0,00	0,01	0,01	0,01
	podíl 15/3 (%)	38	19	36	17	10	9	160	17	110

*teplota chladicí kapaliny před měřením

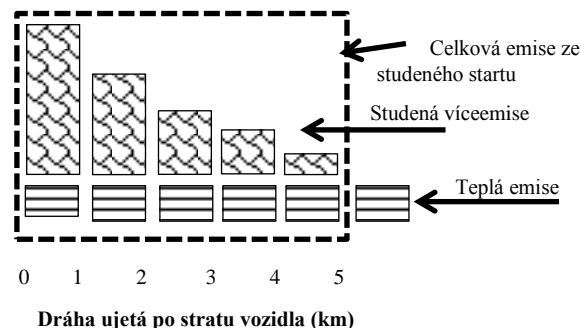
3.2. Metodika pro výpočet víceemisí ze studených startů

Jak již bylo naznačeno v úvodu, významnou část škodlivin motorová vozidla do ovzduší emitují v režimu jízdy po tzv. studeném startu. Jedná se o časový okamžik prvních zhruba 5 minut po nastartování vozidla, které bylo delší dobu odstaveno a jeho pohonná jednotka, včetně katalytického konvertoru a všech provozních kapalin, se teplotně srovnala s teplotou okolí. Vozidlo po dobu tzv. studeného startu ujede zpravidla dráhu 3 až 5 km rychlostí v intervalu 20 – 50 km/h (v městských podmínkách). V této době dochází k postupnému ohřívání pohonné jednotky na provozní teplotu, řídicí systém motoru pro dávkování paliva do spalovacího prostoru přechází z nestandardního režimu obohacování spalované směsi do standardního režimu řízení pomocí lambda sondy a co je nejdůležitější, svoji aktivitu získává katalytický konvertor, který se zahřívá na pracovní (light-off) teplotu. Množství jednotlivých škodlivin emitovaných při studeném startu do ovzduší záleží především:

- na okolní teplotě prostředí,
- době odstavení vozidla,
- konstrukční úrovni pohonné jednotky (především systému dávkování paliva),
- konstrukci katalyzátoru výfukových plynů (systém se dvěma katalyzátory, s elektricky vyhříváním katalyzátorem, s katalyzátorem umístěným v blízkosti hlavy motoru, systém s dodatečným přísáváním vzduchu a spalováním před katalyzátorem) a jeho opotřebením a technickém stavu.

Pro účely matematického modelování lze emisí produkovanou vozidlem při studeném startu považovat za součet tzv. „teplé emise“, kterou konstantně vozidlo

produkuje v běžném jízdním režimu (závisí zejména na rychlosti jízdního proudu, podélném stoupání vozovky, zatížení vozidla) a tzv. „studené víceemise“, kterou vozidlo produkuje krátce po startu a jejíž velikost je časově proměnná. Celá situace je schematicky znázorněná na obr. 5.



Obr. 5: Příspěvky k celkové hodnotě výfukových emisí škodlivin při studeném startu

3.3. Navržení algoritmu pro výpočet emisí ze studeného startu vozidel

Dalším cílem práce bylo navrhnout relativně jednoduchý matematický systém pro výpočet celkových víceemisí z jednoho studeného startu (SVE, g), který by vycházel ze známé hodnoty teplé emise (TE, g/km) jako základu výpočtu. Hodnota SVE by se následně rozpočítala na příspěvky odpovídající jednotlivým úsekům po startu ujeté dráhy (1. až 3. km). Výpočet SVE by měl reflektovat teplotu okolního prostředí, emisní kategorii vozidla a případně i jeho rychlost. Základním zdrojem emisních dat pro konstrukci systému výpočtu je databáze INFRAS, která shromažďuje podrobné údaje o německém, rakouském a švýcarském vozovém parku [10].

Tato podkladová data jsou doplněna emisními daty experimentálně změřenými na válcové zkušebně.

Na základě kombinace obou zdrojů dat byl navržen základní algoritmus pro výpočet emisí ze studených startů. Hodnotu tzv. studené víceemise na jeden studený start (SVE, g) lze vypočítat vynásobením faktoru SVE/TE známou hodnotou tzv. teplé emise (TE) (g/km), kterou lze získat pro jednotlivé kategorie vozidel např. z databáze MEFA 02 či z databáze INFRAS. Zmiňovaný faktor SVE/TE lze pro různé teploty vypočítat pomocí jednoduchého výpočetního vztahu:

$$SVE / TE_{(t)} = SVE / TE_{(-9^{\circ}C)} \cdot (A \cdot t^2 + B \cdot t + C)$$

kde

$SVE/TE_{(-9^{\circ}C)}$ je poměr studené víceemise a teplé emise při teplotě $-9^{\circ}C$,

A, B, C jsou konstanty jednoduché kvadratické pro výpočet teplotní závislosti,

$SVE/TE_{(t)}$ je teplota okolí (-9 až $+15^{\circ}C$).

Víceemise lze pak rozpočítat na dílčí příspěvky pro první až třetí km ujeté vzdálenosti po startu, a to vynásobením celkové studené víceemise SVE faktorem relativní distribuce SVE na jednotlivé úseky ujeté dráhy mezi 1. až 3. kilometrem.

Příklad koeficientů matematické rovnice $SVE/TE_{(t)}$ pro výpočet emisí CO, CH a NO_x pro osobní automobily se zážehovým motorem (OA BA) emisní kategorie Euro 4 se zdvihovým objemem 1,4-2,0 l uvádí tab. 3.

Tab. 3: Koeficienty rovnice $SVE/TE_{(t)}$ pro výpočet základních emisí OA BA kategorie Euro 4 1,4-2,0 l

SVE/TE (-9°C)	Relativní distribuce SVE			Kof. teplotní závislosti $A \cdot t^2 + B \cdot t + C$		
	1. km	2. km	3. km	A	B	C
Emise CH:						
430	0,86	0,11	0,03	$4,2 \cdot 10^{-4}$	-0,0364	0,64
Emise CO:						
88	0,86	0,11	0,03	0	-0,026	0,77
Emise NO _x :						
4,5	0,68	0,19	0,12	0	0	1

Obdobné koeficienty pro výpočet SVE/TE byly získány i pro ostatní emisní kategorie (bez katalyzátoru, Euro 1 až Euro 4) osobních vozidel a lehkých nákladních vozidel, se zážehovými i vznětovými motory.

3.4. Ověření funkčnosti navrženého algoritmu pro výpočet emisí ze studeného startu vozidla

Na základě zpracovaných dat z experimentálního měření emisí z vozidel na motorové zkušebně a výše uvedených získaných emisních dat byla ověřena funkčnost vytvořeného matematického algoritmu. Vstupními daty pro toto ověření byly tyto veličiny:

- hodnota okolní teploty při startu vozidla,

- výchozí hodnota TE pro počítanou emisní složku, která zohledňuje kategorii vozidla, rychlost a plynulost jízdy. Hodnotu TE lze získat z databáze MEFA nebo INFRAS (příklad viz tab. 3).

Jednoduchý vztah pro výpočet SVE je popsán v předchozí kapitole. Následně se k vypočtené hodnotě SVE rozpočítané na jednotlivé km ujeté dráhy musí připočítat příspěvek TE (g/km), takto se získá celková emise na studený start vozidla (viz obr. 5).

Příklad výpočtu emisí CH ze studeného startu vozidla emisní kat. Euro 4 1,4-2,0 l při teplotě okolí $15^{\circ}C$ a srovnání vypočtených hodnot s experimentálními daty získanými pro zkušební vozidlo Š Octavia 1.8T, které patří do uvedené emisní kategorie, uvádí tab. 4.

Tab. 4: Porovnání vypočtených a změřených hodnot studených emisí pro vozidlo Š Octavia 1.8T a vozidlo emisní kategorie Euro 4 1,4-2,0 l pro teplotu $15^{\circ}C$

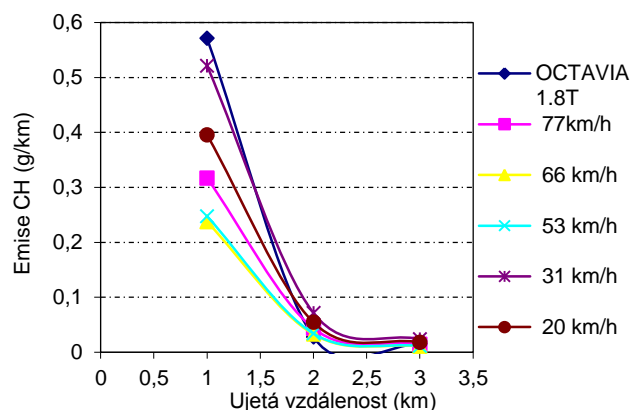
Vozidlo	TE, STE emise		Distribuce dle dráhy (g/km)			Celkem (g/start)
	Typ	Hodnota	1. km	2. km	3. km	
Euro 4 (výpočet)	STE*	0,600	0,516	0,066	0,018	0,62
	TE**	0,005	0,005	0,005	0,005	
Octavia 1.8T (experiment)	TE+STE***		0,570	0,030	0,010	0,61

*) Hodnota STE (g/start) vypočtená s využitím koeficientů z tab. 3 pro teplotu $15^{\circ}C$

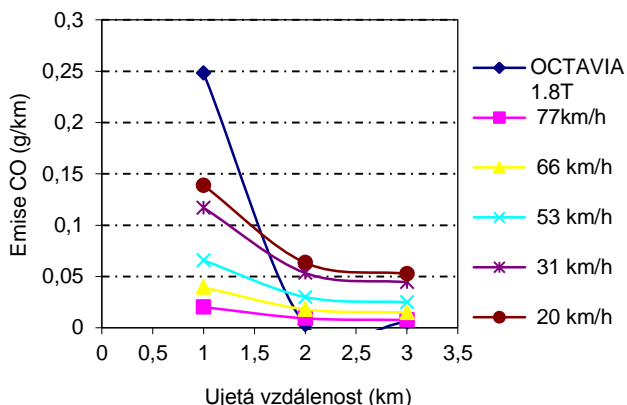
**) Hodnota TE (g/km) z tab. 3 (pro prům. rychlost 31 km/h)

***) Hodnota experimentálně změřená na motorové zkušebně

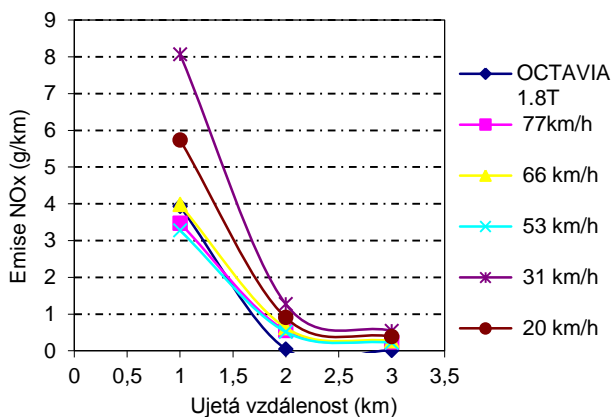
Podobným způsobem byly zpětně dopočítány emise CH, CO a NO_x jednak pro vozidla emisních kategorií (bez kat. ECE 15 <1,4 l; Euro 1 <1,4 l; Euro 2 1,4-2,0 l; Euro 3 1,4-2,0 l; Euro 4 1,4-2,0 l) a pro různé rychlosti jízdy charakterizované hodnotou TE. Vypočtená emisní data byla pak porovnána s výsledky experimentálního měření emisí pro vozidla Škoda. Výsledky ověření jsou shrnuty v sekvenci následujících grafů na obr. 6 – 8.



Obr. 6: Srovnání vypočtených hodnot studených emisí CH při $15^{\circ}C$ pro vozidlo kat. Euro 4 (1,4-2,0 l) s naměřenými hodnotami emisí vozidla Š Octavia 1.8T



Obr. 7: Srovnání vypočtených hodnot studených emisí CO při 15 °C pro vozidlo kat. Euro 4 (1.4-2.0 l) s naměřenými hodnotami emisí vozidla Š Octavia 1.8T



Obr. 8: Srovnání vypočtených hodnot studených emisí NO_x při 15 °C pro vozidlo kat. Euro 4 (1.4-2.0 l) s naměřenými hodnotami emisí vozidla Š Octavia 1.8T

V rámci verifikace byla nalezena vesměs dobrá shoda mezi vypočtenými a naměřenými emisními daty. V některých případech modelovaná emisní křivka sice přímo neodpovídá závislosti sestavené z naměřených hodnot, avšak v celkové sumě emisí na start vozidla jsou rozdíly mezi vypočtenými daty a naměřenými daty v dobré shodě. Na základě výsledků verifikace bylo dále zjištěno, že například vozidlo Š Fabia Combi spadající do kategorie Euro 4 se podle modelu pohybuje emisně spíše v kategorii Euro 3 (hlavně emise CH a NO_x), takže vozidlo Š Fabia 1.4 16V BiPowered spíše spadá dle modelu do kategorie Euro 2, ačkoliv dle homologace patří do kategorie Euro 3 (pokud je palivem CNG).

Obdobné výsledky byly nalezeny i pro ostatní vozidla a lze tedy konstatovat, že navržený emisní matematický algoritmus pro výpočet SVE a následně celkové sumy emisí vznikající při studeném startu vozidla, je funkční a použitelný pro konstrukci emisního modelu.

4. Závěr

Byl navržen systém výpočtu emisí základních škodlivin (CH, CO, NO_x) vznikajících při startu vozidla se studeným motorem zahrnující soustavu relativně

jednoduchých matematických vztahů pro výpočet celkových víceemisí ze studeného startu (SVE, g/start), který by vycházel ze známé hodnoty standardně tabulované teplé emise (TE, g/km) jako základu. Hodnotu SVE lze následně rozpočítat na příspěvky odpovídající jednotlivým úsekům po startu ujeté dráhy (1. až 3. km). Výpočet SVE reflektuje teplotu okolního prostředí, emisní kategorii vozidla a případně i jeho rychlost. Základním zdrojem emisních dat pro konstrukci systému výpočtu je databáze INFRAS [10], která shromažďuje podrobné údaje o německém, rakouském a švýcarském vozovém parku. Tato podkladová data jsou doplněna emisními daty experimentálně změřenými v rámci řešení projektu ve spolupráci s DEKRA Automobil a.s. Experimentálně bylo ověřeno, že údaje z databáze INFRAS lze využít pro český vozový park a pro konstrukci emisního modelu.

Poděkování

Práce byla realizována za podpory MD ČR v rámci projektu 1F54E/121/520 a dále v rámci výzkumného záměru MŠMT ČR č. 6046137304.

Literatura

1. Šiška J.: Výfukové emise při studených startech motorových vozidel a jejich průjezdu křižovatkou. Diplomová práce, VŠCHT Praha, 2013.
2. Joumard R.: Serie E - Modelling of cold start emissions for road vehicles. INRETS 1997.
3. European Environment Agency: Atmospheric Emission Inventory Guidebook. Road Transport. EEA, 3rd Edition, Copenhagen, 2002.
4. Lenschow P., Abraham H. J., Kutzner K., Lutz M., Preuß J.D., Reichenbacher W.: Some ideas about the sources of PM₁₀, Atmospheric Environment 35, 2001, 23.
5. Bachmann J. D. Caldwell, J. C., Damberg R. J., Edwards C., Koman T., Martin K., Polkowsky B., Richmond H. M., Smith E., Woodruff T.: Review of the National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter: Policy Assessment of Scientific and Technical Information - QAPS Staff Paper. US EPA Research Triangle Park, Washington D.C., 1996.
6. Hauck H.: Revision of Ambient Air Quality Standards for PM, Toxicology Letters 96, 1998, 269.
7. Calvert S., Englund H. M.: Handbook of Air Pollution Technology. John Wiley & sons New York, 1984.
8. EPA National Air Quality: Status and Trends. Six Principal Pollutants - Particulate Matter (PM). US EPA Washington D.C., 1996.
9. Šebor G., Pospíšil M., Šiška J., Karel H., Piša V.: Souhrnná metodika pro hodnocení emisí znečišťujících látek ze silniční dopravy. Souhrnná zpráva za rok 2006 projektu MD 1F54E/121/520, VŠCHT Praha, 2007.

10. INFRAS – HANDBOOK Emission Factors for Road Transport, ver. 2.1. UBA Berlin – FOEFL Bern – UBA Viena. INFRAS SA, Mühlemattstrasse 45, CH-3007 Berne, Switzerland.

Summary

Jakub Šiška^a, Milan Pospíšil^b, Daniel Maxa^b, Pavel Šimáček^b, Petr Říha^c, Jiří Vavřina^c, Jan Karel^d

^aMomentive Specialty Chemicals, a.s., Sokolov,

^bInstitute of Chemical Technology in Prague,

^cDEKRA Automobil a.s., Prague 4,

^dATEM - Ateliér ekologických modelů, s. r. o., Prague 4

Exhaust emissions from cold starts of passenger cars and light trucks

When driving vehicles with a cold engine, a large amount of exhaust pollution is released into the environment, which affects the total emission balance. The measurement of emissions from cold starts is experimentally quite expensive and time consuming, so look for a reliable and robust predictive mathematical model that would simplify the calculation of emissions. It was measured and validated core set of emission data (CO, CH, NO_x) characterizing a cold start passenger cars a light trucks and designed a simple algorithm for prediction of cold start emissions.