



# OCHRANA OVZDUŠÍ

3 / 2011 | 75 Kč |

## Z OBSAHU:

- ➔ | Problematika inventarizace emisí z malých spalovacích zdrojů v domácnostech
- ➔ | Vliv dopravy na obsah vybraných rizikových prvků v půdě a vegetaci v blízkosti dálnice D1

# STANOVENÍ CHARAKTERU ZNEČIŠTĚNÍ Z TRANZITNÍ DOPRAVY

**Jan Velíšek**

Technické služby ochrany ovzduší Praha a.s., [velisek@teso.cz](mailto:velisek@teso.cz),  
projekt MŠMT 2B08040 – Výzkum původu znečištění

Lektoroval RNDr. Bohumil Kotlík, Ph.D.

## ABSTRAKT

Článek popisuje emisní šetření provedené v prostorách tunelu Panenská (dálnice D8) v rámci projektu MŠMT 2B08040 – Výzkum původu znečištění, které mělo za cíl stanovení charakteru znečištění pocházejícího z tranzitní dopravy. Prezentovány jsou vypočtené emisní faktory částice PM<sub>2,5</sub> a PM<sub>10</sub>, těžké kovy, polycyklické aromatické uhlovodíky, těkavé organické látky a organický/elementární uhlík vztažené na jednotku ujeté dráhy vozidla.

**Klíčová slova:** emise, doprava, emisní faktor, měrná výrobní emise, měření, znečištění z tranzitní dopravy

## ÚVOD

Tento příspěvek navazuje na článek prezentovaný v časopise Ochrana ovzduší [1] na téma Stanovení charakteru znečištění z (městské) dopravy. Tento článek prezentoval zjištění uskutečněná na základě dvou párových odběrů realizovaných v prostorách Štrahovského tunelu v Praze s cílem kvantifikovat emisní parametry znečištění pocházejícího z městské (rozuměno osobní) dopravy. V rámci řešení projektu Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy 2B08040 – Výzkum původu znečištění provedla společnost TESO Praha a. s. rovněž dva párové odběry v prostorách tunelu Panenská (nejdelší tunel dálniční sítě v České republice) zaměřené tentokrát na kvantifikaci emisních parametrů znečištění pocházejícího z tranzitní (rozuměno nákladní) dopravy. Stejně jako v případě zjištění platných pro osobní dopravu byla získaná data následně použita pro účely receptorového modelování pomocí Chemical Mass Balance 8.2 s cílem identifikace původců znečištění. Výsledkem jsou rovněž emisní faktory příspěvku tranzitní dopravy pro sledované skupiny znečišťujících látek.

Sledované znečišťující látky

- aerosolové částice PM<sub>10</sub> a PM<sub>2,5</sub>
- těžké kovy ve frakci PM<sub>2,5</sub>
- polycyklické aromatické uhlovodíky
- těkavé organické látky
- organický/elementární uhlík

## POUŽITÁ APARATURA

Pro realizaci sběru dat byl využit univerzální vzorkovač znečištění venkovního vzduchu – VAPS, který je sestaven ze součástí umožňujících současně odběry pro analytické stanovení různých parametrů znečištěného venkovního vzduchu.

Znečištěný vzduch v množství 32 l za minutu je nasáván hlavicí vybavenou dešťovým krytem potaženým teflonem. Tato hlavice je aerodynamicky upravena pro třídění čisticí PM<sub>10</sub> (částice,

## DETERMINATION OF TRUCK TRAFFIC POLLUTION

*This article describes emission inquiries which were done in Panenska tunnel (motorway D8) in terms of state project MŠMT 2B08040 – Research on the origin of pollution, whose target is determination the character of pollution produced from truck traffic. Presented calculated emission factors for particulate matter, heavy metals, polycyclic aromatic hydrocarbons, volatile organic compounds and organic/elemental carbon are relative to the unit vehicle path.*

**Keywords:** air pollution, truck traffic, emission factor, measurements

které projdou velikostně selektivním vstupním filtrem vykazujícím pro aerodynamický průměr 10 µm odlučovací účinnost 50 %). Vzduch dále prochází hlavní tělem vzorkovače, které je vyrobeno z hliníku a rovněž potaženo teflonem. Vzduch do něj vstupuje přes kónickou urychlovací trysku, kde jsou odděleny částice PM<sub>2,5</sub> (částice, které projdou velikostně selektivním vstupním filtrem vykazujícím pro aerodynamický průměr 2,5 µm odlučovací účinnost 50 %) a je rozdělen do tří dílčích proudů, každý proud je zpracováván odlišným systémem. Vstup odběrové hlavice PM<sub>10</sub> je konstruován tak, aby odděloval částice s aerodynamickým průměrem větším než 10 mikrometrů, zatímco částice menší kvantitativně vede do virtuálního impaktu, kde prochází druhou urychlovací tryskou umístěnou před expozitním prostorem filtrového držáku. Centrální proud je odebírána v množství 2 l/min., částice PM<sub>2,5</sub> – 10 procházejí bez změny směru proudění hlavním tělesem vzorkovače a jsou zachyceny na sklováknovém filtru. Tento virtuální impaktor je ověřený US EPA pro měření v kombinaci s použitou odběrovou hlavicí PM<sub>10</sub>.

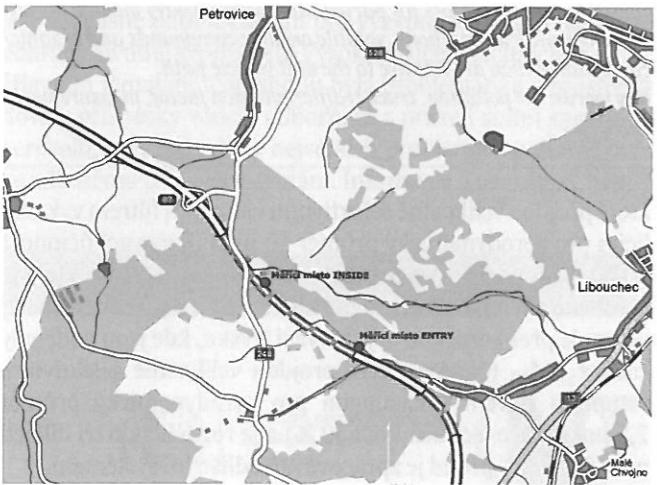
Zbývajících 30 l/min. je rozděleno na dva stejné proudy, které procházejí levým a pravým zachycovačem. Jemné částice PM<sub>2,5</sub> sledují dráhu obou dílčích proudů plynu (15 l/min.) a jsou podrobeny zpracování v těchto větvích. Všechny části vzorkovače přicházející do styku s odebíraným vzduchem jsou potaženy teflonem.

Pravá větev (15 l/min.) dílčího proudu vzduchu prochází křemenným filtrem podepřeným teflonem potaženým sítkem z nerezové oceli, kde jsou zachyceny jemné částice PM<sub>2,5</sub> s obsahem anorganických a semivolatilních organických sloučenin. Aerosolových častic zvaných vzdušina s obsahem organických par prochází patronou z polyuretanové pěny (PUF), která účinně zachycuje volatilní vícemolekulární organické látky. Křemenný filtr a PUF patrona musí být po expozici do doby analýzy uloženy za speciálních teplotních podmínek, PUF patrona musí být před expozicí vyčištěna. Zachycovač pro organické látky stejně jako PUF patrona jsou vyrobeny

## Tunel Panenská



## Tunel Panenská – situace



tak, aby je bylo možno spojit bezprostředně před odběrem párovými spojkami.

Jedna část filtru byla extrahována pro stanovení obsahu organického aerosolu a druhá část byla podrobena analytickému spalovacímu procesu pro stanovení podílu organického/elementárního uhlíku. Z filtru se nejprve vysekne vzorek o standardní velikosti (obdélník) a vloží se do křemíkové pece. Po propláchnutí heliem (99,9999 %) vyhřeje teplotní program pec na 870 °C. Produkty vzniklé termálním rozkladem se kvantitativně oxidují oxidem manganičitým ( $MnO_2$ ) v oxidační peci na  $CO_2$ . V proudu helia se pak oxid uhlíčitý mísí s vodíkem. Tato směs je pak vháněna na rozžhavený niklový katalyzátor, kde je kvantitativně konvertována na metan. Obsah metanu je posléze měřen plamenoionizačním detektorem (FID). Jakmile je ukončen teplotní program v křemíkové peci, je pec ochlazena na 600 °C a proud spalin je převeden do nosné oxidační směsi (kyslík/helium). Při tomto druhém teplotním programu se zoxiduje všechnen elementární uhlík (EC). Elementární uhlík je pak detekován stejným způsobem jako organický uhlík (OC).

PUF materiál byl extrahován pro stanovení polycylických aromatických uhlovodíků. Koncentrace polycylických aromatických uhlovodíků se stanoví plynovou chromatografií s hmotnostní detekcí. Výsledné množství analytu ve vzorku je při konečném výpočtu koncentrace v ovzduší vztaženo na množství prosoáteho vzduchu.

Frakce  $PM_{10}$  byla zachycována ve střední větví dílčího proudu vzduchu na sklováknovém filtru, který je podepřen teflonem potaženým sítkem z nerezové oceli. Sklováknový filtr byl před expozicí i po expozici zvážen.

Levá větev (15 l/min.) dílčího proudu vzduchu prochází celulózovým filtrem podepřeným teflonem potaženým sítkem z nerezové oceli. Celulózový filtr byl gravimetricky vyšetřován a podroben ICP-MS analýze pro stanovení obsahu kovů. Tato analýza byla provedena na hmotnostním spektrometru s iontově vázanou plazmou – Thermo Electron X-Series (X7). Automatickým dávkovačem nasáty vzorek je v koncentrickém zmlžovači převeden do aerosolové formy a při průchodu plazmovou hlavicí dochází postupně k desolvataci, odpaření, atomizaci a ionizaci komponent. Vzorek dále prochází tlakovým rozhraním do vakuové části, kde jsou odděleny nenabité atomy. Dále je svazek iontů pomocí iontové optiky zaostřen a v kvadrupólu jsou odděleny ionty o určitém poměru hmotnosti a náboje. Kvadrupól funguje v sékvenčním režimu, tedy postupně propouští na elektronový násobič coby detektor vybrané prvky. Tímto způsobem byly analyzovány vybrané prvky z celého hmotnostního spektra.

VAPS byl instalován v uzavřeném boxu, který je teplotně stabilizován s cirkulací vzduchu pro temperaci. Odběrový systém obsahuje tři samostatná čerpadla, každé z nich má vlastní rotační s regulačním ventilem pro kontrolu nastaveného průtoku a tlakoměr pro kontrolu expozice filtru. Výstup každého čerpadla je zaveden do vlastního suchého plynometru, který slouží pro stanovení celkového objemu odebraného vzduchu. Začátek a konec odběru může být řízen automatickým časovačem.

## TUNEL PANENSKÁ

Tunel Panenská je nejdelší český silniční tunel s délkou přes 2 km. Nachází se téměř na konci dálnice D8 na posledním úseku z Trmic na státní hranice s Německem. Stavba byla zahájena v září 2003 a do provozu uvedena v prosinci 2006.

Tunel je obousměrný se dvěma oddělenými tubusy, které jsou propojeny devíti bezpečnostními chodbami vždy po cca 200 metrech. Na jihu na tunel navazuje most Panenská (délka 264 m), na severu pokračuje dálnice po náspu ke křižovatce Petrovice a dále ke státní hranici [2].

Pro odběry vzorků znečištění byla na základě konzultací s provozovatelem – Ředitelství silnic a dálnic ČR a na základě místního šetření provedeného pracovníky společnosti TESO Praha a.s. přímo v prostorách tunelu Panenská vybrána místa:

- ENTRY – určení imisních hodnot na vstupu do tunelu, měřící místo je umístěno přímo na vstupu do busu tunelu Panenská z jeho jihovýchodní části, od tohoto místa dále směrem k městu INSIDE dochází díky směru proudu vzduchu k nárůstu koncentrací jednotlivých znečišťujících látek a to právě přispěvkem dopravy, která musí urazit dráhu mezi těmito dvěma měřicími místy (a při tom pochopitelně emituje výfukové plyny)
- INSIDE – zhodnocení přispěvku dopravy, měřící místo je umístěno přímo uvnitř tunelu Panenská, jedná se o poslední záliv s SOS budkou, před koncem tunelu Panenská, po směru jízdy pravým busem ke křižovatce Petrovice

Díky komínovému efektu a směru pohybu vozidel je směr proudění vzduchu v tunelu od místa ENTRY k městu INSIDE.

## Fotodokumentace odběru v místě ENTRY



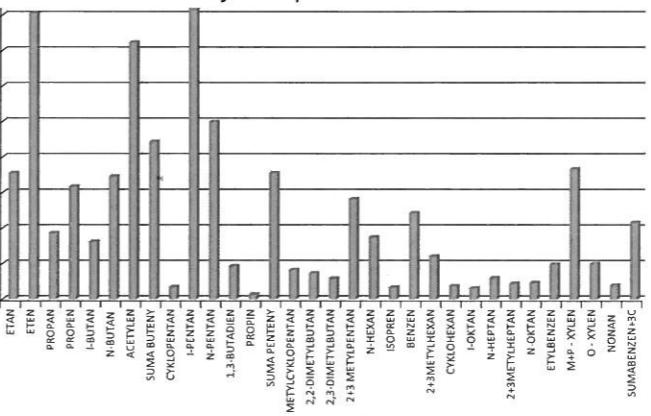
## Fotodokumentace odběru v místě INSIDE



## PARAMETRY ODBĚRŮ V TUNELU PANENSKÁ

Protože primárním výsledkem provedeného měření jsou imisní koncentrace na vstupu do tunelu Panenská (měřící místo ENTRY) a imisní koncentrace uvnitř tunelu Panenská (měřící

Obr. 1: Emisní faktory – skupina VOC



Tab. 1: Emisní faktory skupina VOC

etan	eten	propan	propen	i-butanol	n-butanol
(mg/km)	(mg/km)	(mg/km)	(mg/km)	(mg/km)	(mg/km)
3,5616	8,0467	1,8712	3,1816	1,6282	3,4617
acetilen	suma buteny	cyklopentan	i-pentan	n-pentan	1,3-butadien
(mg/km)	(mg/km)	(mg/km)	(mg/km)	(mg/km)	(mg/km)
7,2326	4,4407	0,3592	8,5857	4,9986	0,9433
propin	suma penteny	metylcyklopentan	2,2-dimetylbutan	2,3-dimetylbutan	2+3 metylpentan
(mg/km)	(mg/km)	(mg/km)	(mg/km)	(mg/km)	(mg/km)
0,1481	3,5631	0,8289	0,7413	0,6000	2,8284
n-hexan	isopren	benzen	2+3methylhexan	ciklohexan	i-oktan
(mg/km)	(mg/km)	(mg/km)	(mg/km)	(mg/km)	(mg/km)
1,7553	0,3443	2,4376	1,2197	0,3827	0,3280
n-heptan	2+3methylheptan	n-oktan	etylbenzen	m+p - xylen	o - xylen
(mg/km)	(mg/km)	(mg/km)	(mg/km)	(mg/km)	(mg/km)
0,6119	0,4552	0,4735	0,9977	3,6738	1,0091
nonan	sumabenzen+3c				
(mg/km)	(mg/km)				
0,4045	2,1708				

místo INSIDE), je pro další práci s těmito daty nutné je vyjádřit v emisních faktorech vztažených na jednotku vozidlem ujeté dráhy. Pro tyto účely, je nutné znát další proměnné, a sice:

- vzdálenost měřicích míst (ENTRY) a (INSIDE) 1 512 m
- průměrná intenzita dopravy 6,25 vozidel/1 min.
- průřez tubusu tunelu 57 m<sup>2</sup>
- průměrná rychlosť vozidel 78 km/h

Cílem výpočtu bylo stanovit emisní faktory pro průměrné vozidlo, jedoucí v průběhu odběru trasu od místa ENTRY do místa INSIDE. Vybrané emisní faktory byly následně porovnány s emisními faktory poskytnutými Centrem dopravního výzkumu v.v.i. a emisními faktory získanými z aplikace MEFA (program pro výpočet emisních faktorů pro motorová vozidla). Rozsah tohoto porovnání byl definován průnikem emisních faktorů pro znečišťující látky dostupných z jednotlivých zdrojů.

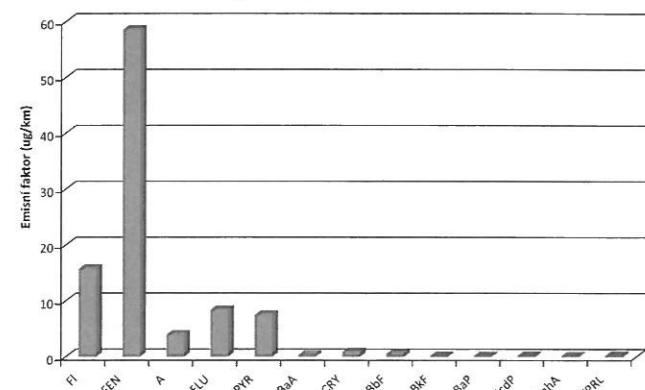
Byly realizovány dva odběry vzorků a to 28. 5. 2010 resp. 31. 5. 2010 vždy v době předpokládané dopravní špičky (i z toho důvodu byly pro šetření vybrány dny pátek a pondělí) v délce trvání 4 resp. 7,5 hodiny.

**MEFA**

Emisní faktory získané z aplikace MEFA byly stanoveny na základě těchto vstupních parametrů

- stupeň intenzity dopravy 1
- sklon vozovky 3 %
- rychlosť jízdy 78 km/h
- emisní úroveň EURO 2
- zastoupení jednotlivých druhů vozidel
  - LNA 6 %
  - TNA 67 %

Obr. 2: Emisní faktory – skupina PAU



Pozn.: Fl – fluoren, Fen – fenantran, A – antracen, Flu – fluoranten, Pyr – pyren, BaA – benzo[a]antracen, Cry – chrysen, BbF – benzo[b]fluoranten, BkF – benzo[k]fluoranten, BaP – benzo[a]pyren, I123cdP – indeno[1,2,3,c,d]pyren, DahA – dibenzo[a,h]antracen, BghiPRL – benzo[g,h,i]perylene

Tab. 2: Emisní faktory skupina PAU

Fl	FEN	A	FLU	PYR
µg/km	µg/km	µg/km	µg/km	µg/km
15,7715	58,5527	3,9898	8,4417	7,4927
BaA	CRY	BbF	BkF	BaP
µg/km	µg/km	µg/km	µg/km	µg/km
0,3545	0,8833	0,5817	0,2023	0,1710
I123cdP	DBahA	BghiPRL		
µg/km	µg/km	µg/km		
0,2428	0,1900	0,2313		

Tab. 3: Emisní faktory skupina TK

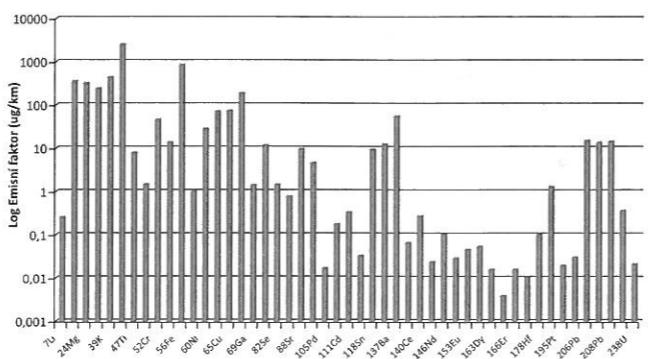
7Li	47Ti	51V	52Cr	55Mn	56Fe	59Co
µg/km	µg/km	µg/km	µg/km	µg/km	µg/km	µg/km
0,2548	7,8431	1,4760	46,1423	13,7207	853,0828	1,0026
60Ni	65Cu	66Zn	69Ga	75As	82Se	85Rb
µg/km	µg/km	µg/km	µg/km	µg/km	µg/km	µg/km
28,3247	74,1809	188,2077	1,4194	11,7636	1,4550	0,7764
88Sr	95Mo	105Pd	107Ag	111Cd	115In	118Sn
µg/km	µg/km	µg/km	µg/km	µg/km	µg/km	µg/km
9,6730	4,6143	0,0171	0,1773	0,3334	0,0329	9,4259
121Sb	137Ba	139La	140Ce	141Pr	146Nd	147Sm
µg/km	µg/km	µg/km	µg/km	µg/km	µg/km	µg/km
12,5220	54,9887	0,0659	0,2716	0,0237	0,1042	0,0291
153Eu	157Gd	163Dy	165Ho	166Er	172Yb	178Hf
µg/km	µg/km	µg/km	µg/km	µg/km	µg/km	µg/km
0,0461	0,0541	0,0158	0,0040	0,0158	0,0105	0,0999
182W	195Pt	205Tl	208Pb	209Bi	238U	*
µg/km	µg/km	µg/km	µg/km	µg/km	µg/km	*
1,2894	0,0197	0,0304	14,3673	0,3610	0,0211	*

- BUS 2 %
- OA diesel 10 %
- OA benzín 15 %

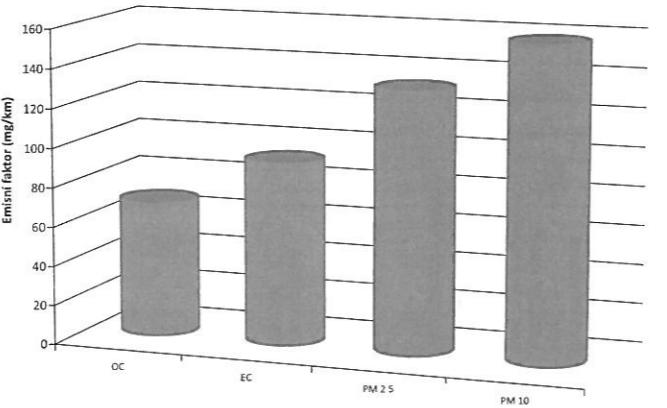
**PREZENTACE VÝSLEDKŮ**

Viz tabulky č. 1., 2., 3., 4. a obrázky č. 1., 2., 3., 4.

Obr. 3: Emisní faktory – skupina TK



Obr. 4: Emisní faktory – skupina PM a OC/EC



Tab. 4: Emisní faktory skupina PAU

OC	EC	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>
mg/km	mg/km	mg/km	mg/km
69,4475	93,7604	133,7016	159,4471

**Porovnání vybraných EF stanovených měřením s daty CDV a MEFA**

Znečišťující látka	CDV	MEFA	TESO 1	TESO 2	Jednotka
PM <sub>10</sub>	1804,1	388,0	169,6	149,3	mg/km
Fluoranthen	20,29	–	9,92	6,96	µg/km
Pyren	25,19	–	8,96	6,03	µg/km
Chrysen	12,50	–	0,91	0,86	µg/km
Benzo[b]fluoranthen	4,47	–	0,49	0,68	µg/km
Benzo[k]fluoranthen	4,89	–	0,15	0,25	µg/km
Benzo[a]pyren	1,01	–	0,23	0,11	µg/km
Chrom	9,94	–	59,80	32,49	µg/km
Kadmium	1,99	–	0,50	0,16	µg/km
Měď	339	–	82	66	µg/km
Zinek	200	–	177	199	µg/km
Benzen	1450 <sup>*)</sup>	12 120	2408	2 467	µg/km
Ethylbenzen	2220 <sup>*)</sup>	–	1077	918	µg/km
O-xylen	2990 <sup>*)</sup>	–	1194	825	µg/km
Propan	–	649	2024	1 718	µg/km
1,3-Butadien	–	156	1226	661	µg/km

Pozn.: TESO1 (párové měření TESO z 28. 5. 2010)

TESO2 (párové měření TESO z 31. 5. 2010)

MEFA (EF z aplikace MEFA)

CDV (EF stanovené Centrem dopravního výzkumu v.v.i. – Doc. Ing. Vladimír Adamec, CSc.)

\*) hodnoty platné pro OA diesel

**Porovnání vybraných EF pro městskou tranzitní dopravu**

Viz tabulku č. 6.

**ZÁVĚR**

Provedené šetření umožnilo vytvoření poměrně unikátní databáze emisních faktorů z dopravního zatížení tranzitní dopravy. Prezentované výsledky byly následně využity pro aplikaci v modelu Chemical Mass Balance 8.2 v rámci receptorového modelování pro identifikaci původců znečištění. Zajímavé je rovněž porovnání dat pro tranzitní dopravu s údaji platnými pro městskou dopravu viz [1]. K uvedenému porovnání je však potřeba přistupovat s vědomím, že skladba vozidel, která za dobu měření urazila dráhu mezi měřicími místy na vstupu do tunelu a uvnitř tunelu, není v případě tunelu Panenská složena absolutně z nákladních a v případě tunelu Strahovského absolutně z osobních vozidel. Vždy se jedná o směsný vzorek s převládající danou kategorií vozidel.

Protože pro měření v obou případech (tunel Panenská – tranzitní doprava a Strahovský tunel – městská doprava) byla využita shodná aparatura, stejně matrice, jejichž analýzy prováděla stejná akreditovaná laboratoř, jsou údaje mezi sebou i s vědomím příslušných nejistot porovnatelné.

**Poděkování:**

Výše popsané šetření zaměřené na stanovení emisních faktorů popisujících znečištění z dopravy bylo provedeno díky projektu

**Tab. 6: Porovnání vybraných EF pro městskou a tranzitní dopravu**

Znečišťující látka	Tranzitní doprava		Městská doprava		Jednotka
	TESO 1	TESO 2	TESO 1	TESO 2	
PM <sub>10</sub>	169,6	149,3	109,6	98,3	mg/km
Fluoranthen	9,92	6,96	1,93	0,28	µg/km
Pyren	8,96	6,03	3,47	0,78	µg/km
Chrysen	0,91	0,86	1,15	0,27	µg/km
Benzo[b]fluoranthen	0,49	0,68	0,17	0,23	µg/km
Benzo[k]fluoranthen	0,15	0,25	0,10	0,10	µg/km
Benzo[a]pyren	0,23	0,11	0,16	0,17	µg/km
Chrom	59,80	32,49	4,02	7,35	µg/km
Kadmium	0,50	0,16	0,04	0,13	µg/km
Měď	82	66			