



VIII. česko-slovenská konference

# Doprava, zdraví a životní prostředí

sborník příspěvků

19. – 20. listopadu 2018  
Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., Brno

**Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.  
Univerzita Pardubice - Dopravní fakulta Jana Pernera  
České vysoké učení technické v Praze - Dopravní fakulta  
Žilinská univerzita v Žiline - Stavebná fakulta  
Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě  
Český hydrometeorologický ústav**

pod záštitou

**Ministerstva dopravy  
Ministerstva zdravotnictví ČR  
Ministerstva životního prostředí ČR**

VIII. česko-slovenská konference

# **Doprava, zdraví a životní prostředí**

19. – 20. listopadu 2018

Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., Brno



## **Vědecký výbor:**

Mgr. Roman Ličbinský (Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.) předseda vědecké rady

Ing. Jiří Jedlička (Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.)

Ing. Vítězslav Křivánek, Ph.D. (Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.)

Mgr. Robert Spáčil, Ph.D. (Ministerstvo dopravy ČR)

Ing. Magdalena Burešová (Ministerstvo životního prostředí ČR)

Ing. Dana Potužníková (Státní zdravotní ústav)

Doc. Ing. Daniela Ďurčanská, CSc. (Žilinská univerzita)

Doc. Ing. Kristýna Neubergová, Ph.D. (České vysoké učení technické)

Ing. Marie Sejkorová, Ph.D. (Univerzita Pardubice)

Ing. RNDr. Jaroslav Rožnovský, CSc. (Český hydrometeorologický ústav)

**Autoři příspěvků jsou odpovědní za vědecký obsah a lingvistickou úpravu textů. Všechny příspěvky prošly recenzním řízením.**

## **Organizační výbor CDV:**

Mgr. Ivo Dostál, Ing. Vilma Jandová, Ing. Vítězslav Křivánek, Ph.D., Ing. Denisa Frybertová,

Bc. Hana Bojanovská, Sabina Jánošíková

**Autoři mohou používat jakékoli části svých příspěvků pro budoucí použití bez omezení.**

**Editoři:** Ing. Vilma Jandová, Mgr. Roman Ličbinský

## **Citace:**

JANDOVÁ, V., LIČBINSKÝ, R., VIII. česko-slovenská konference „Doprava, zdraví a životní prostředí“. Brno, 19. - 20. 11., 2018. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2018, 142 s. ISBN 978-80-88074-62-5

Tento sborník byl vytvořen za finanční podpory Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy v rámci programu Národní program udržitelnosti I, projektu Dopravní VaV centrum (LO1610).

# Přístroje a technika Brüel & Kjær pro měření hluku a vibrací

SVMTech s.r.o. je výhradním zástupcem  
společnosti

**Brüel & Kjær** 

Brüel & Kjær  
Sound & Vibration Measurement A/S  
pro Českou republiku





## Obsah sborníku:

<b>ŠPERKA, J., K LAPETEK, P.</b> Metrologie pro měření kvality ovzduší .....	<b>7</b>
<b>LIČBINSKÝ, R., HUZLÍK, J.</b> Výhody a nevýhody měření kvality ovzduší s využitím senzorů .....	<b>9</b>
<b>CHALOUPECKÝ, P., LIČBINSKÝ, R.</b> Aplikace nízkonákladových senzorů pro měření kvality ovzduší v souvislosti s dopravními opatřeními .....	<b>15</b>
<b>JANDAČKA, D., ĎURČANSKÁ, D., KOVALOVÁ, D.</b> Faktory determinující kvalitu ovzdušia vo funkčných mestských územiach .....	<b>17</b>
<b>HUZLÍK, J., HEGROVÁ, J., LIČBINSKÝ, R.</b> Kvalita ovzduší v městském prostředí - Město Břeclav .....	<b>25</b>
<b>PELIKÁN, L., BRICH, M.</b> COPERT 5 - metodika modelování emisí ze silniční dopravy na národní úrovni v ČR .....	<b>33</b>
<b>JANATOVÁ, L., SLÁDEČEK, J., PALIČKOVÁ, L., ŠKOLOUDOVÁ, L., kolektiv ISKO</b> Šíření znečišťujících látek v ovzduší v okolí dopravních komunikací (projekt doprava) .....	<b>41</b>
<b>SKÁCEL, J., VOJTÍŠEK, M., BERÁNEK, V., PECHOUT, M.</b> Černé ovce – detekování vozidel, která nadměrně znečišťují emisemi tuhých částic za použití vzdáleného měření .....	<b>43</b>
<b>VOJTÍŠEK, M.</b> Nová motorová paliva a výfukové emise zdravotně rizikových látek: Relativní důležitost vlivů paliva, konstrukce, seřízení, údržby, obsluhy a provozních podmínek motoru .....	<b>51</b>
<b>HELLMUTH, T., POTUŽNÍKOVÁ, D., JUNEK, P.</b> 3. kolo strategického hlukového mapování v ČR.....	<b>59</b>
<b>POTUŽNÍKOVÁ, D., HELLMUTH, T.</b> Aplikace staré hlukové zátěže z dopravy v praxi ....	<b>67</b>
<b>BRET, O.</b> Aplikace inovativní protihlukové clony na tramvajové trati v Praze - Hloubětíně..	<b>73</b>
<b>KŘIVÁNEK, V.</b> Problematika obrusných vrstev se sníženou hlučností na pozemních komunikacích a jejich udržitelnost .....	<b>83</b>
<b>BENEŠ, J.</b> Do práce zdravě.....	<b>89</b>

<b>ŠPIČKA, L.</b> Místní akční plány pro rozvoj elektromobility.....	<b>91</b>
<b>BRŮHOVÁ-FOLTÝNOVÁ, H., VEJCHODSKÁ, E., RYBOVÁ, K.</b> Strategické dopravní plánování ve městech: role a postoje aktérů a bariéry udržitelnosti.....	<b>93</b>
<b>ROŽNOVSKÝ, J.</b> Teplota vzduchu v parkujícím autě.....	<b>103</b>
<b>DOSTÁL, I., HAVLÍČEK, M., HLAVÁČ, V., STRNAD, M., KUTAL, M., MEYER, H.</b> Projekt TRANSGREEN – přeshraniční spolupráce v oblasti harmonizace dopravní infrastruktury a biodiverzity v karpatské oblasti .....	<b>109</b>
<b>ANDĚL, P., HEGROVÁ, J., JANDOVÁ, V., EFFENBERGER, K.</b> Bioindikace vlivu dopravy na lesní ekosystém v blízkosti zatížených komunikací .....	<b>115</b>
<b>NEUBERGOVÁ, K.</b> Dopravně emisní modely .....	<b>119</b>
<b>PLACHÁ, H., BITTER, M., GOLL, P., KUFEL, J., RYCHLÍKOVÁ, E. a kol.</b> „OdCom“ je projekt i o měření UJČ a o dopadech vlivu vysokých početních koncentrací částic na zdraví.....	<b>127</b>
<b>BOŽEK, F., HUZLÍK, J., KONEČNÝ, J., LIČBINSKÝ, R.</b> Aplikace lineární regrese k analýze chemických markerů identifikace zdrojů rizik kontaminace ovzduší .....	<b>129</b>

# Metrologie pro měření kvality ovzduší

**Jiří Šperka, Petr Klapetek**  
*Český metrologický institut*  
Okružní 31, 638 00 Brno  
email: jsperka@cmi.cz

## Abstrakt

Tento příspěvek nejprve představí poutavou formou metrologii, vědu o měření, s využitím příkladů týkajících se dopravy, ochrany lidského zdraví a životního prostředí. Po tomto obecném úvodu se výklad zúží na měření kvality ovzduší. Bude stručně představen vývoj metod a současný stav dostupných prostředků pro měření různých veličin spojených s ovzduším. Z hlediska měřících metod bude největší prostor věnován metodám měření pevných částic ve vzduchu. Měření těchto částic bude rozděleno jednak na měření počtu větších souborů pevných částic, jednak na analýzu tvaru jednotlivých pevných částic, zejména pomocí mikroskopických metod. Dále budou ukázány možnosti kalibrace přístrojů pro měření počtu pevných částic a možnosti kalibrace referenčních etalonových částic, zejména pomocí rastrovací sondové mikroskopie. Bude také zmíněna legislativa a normy související s měřením kvality ovzduší. Na konci příspěvku budou představeny aktivity týkající se projektu Aeromet.

## Metrology for air quality measurements

**Jiří Šperka, Petr Klapetek**  
*Czech Metrology Institute*  
Okružní 31, 638 00 Brno  
e-mail: jsperka@cmi.cz

## Abstract

Firstly, this contribution will introduce metrology – science of measurement – in popular way including examples related to transport, human health and environment. Secondly, after general introduction, this contribution will focus on measurement of air quality. Current methods for measurement of different air quality related properties will be presented. The main focus will be on the measurement of solid atmospheric particles. The measurement of these particles will be described from perspective of (a) measurement of a large ensemble of particles and (b) measurement of shape of individual particles, particularly using microscopy techniques. Ways for calibration of instrument measuring particle number will be described together with calibration of reference standard particles using scanning probe microscopy techniques. Legislative norms and standards for measurement of air quality will be presented as well. At the end of the presentation, activities of project Aeromet will be described.





# Výhody a nevýhody měření kvality ovzduší s využitím senzorů

Ličbinský Roman, Huzlík Jiří

Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.

Líšeňská 33a, 636 00 Brno

e-mail: roman.lichbinsky@cdv.cz

## Abstrakt

V posledních letech se v souvislosti se snahou o co největší množství informací o kvalitě ovzduší objevuje celá řada levnějších přístrojů pro měření koncentrací škodlivin v ovzduší. Tyto přístroje jsou většinou složeny z jednoho či několika senzorů měřících na principu elektrochemických procesů. Bohužel nižší cena se velmi často projevuje na kvalitě naměřených dat. Příspěvek shrnuje výsledky měření srovnávající nízkonákladové senzory s přístrojem měřícím na principu referenčních metod měření. Z uvedeného hodnocení vyplývá, že použití testovaných senzorů je nevhodné pro měření koncentrací  $\text{NO}_x$  a  $\text{SO}_2$ . V případě  $\text{PM}_{10}$  a  $\text{O}_3$  je nutné pečlivě vybírat vhodné senzory a nenasazovat je bez patřičné validace porovnáním s referenčním měřidlem. Senzory byly schopny zaznamenat výskyt píků znamenajících skokové změny koncentrací měřených látek, ale nedokázaly vyjádřit s dostačující přesností jejich skutečné hodnoty ani po případné kalibraci. To znamená, že u testovaných senzorů používaných k měření koncentrací plyných škodlivin ( $\text{CO}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{SO}_2$ ) není možné s dostatečnou spolehlivostí detekovat překračování limitních hodnot znečištění ovzduší daných legislativou. Diskutabilní je to i u senzorů k měření  $\text{PM}_{10}$  a  $\text{O}_3$ .

## 1. Úvod

Znečištění ovzduší je velmi aktuální téma a vzhledem k jeho dopadům na zdraví člověka také velmi závažný problém. Neoddiskutovatelným faktem je nutnost kontinuálního měření kvality ovzduší za účelem sběru dat nutných k pochopení příčin tohoto stavu. Nicméně tato data musí být kvalitní a musí správně popisovat aktuální situaci. Na to však v současné době řada výrobců různých zařízení zapomíná, možná záměrně za účelem vlastního profitu, možná z nedostatku vědomostí o dané problematice, nicméně si neuvědomují, že pokud budou poskytovat špatné informace o aktuálním stavu a na základě těchto dat by byla přijímána nákladná opatření k jeho zlepšení, může se stát, že celá společnost bude doplácet na zcela scetná a neúčelná opatření.

K měření znečištění ovzduší jsou využívány nejrůznější typy přístrojů, čidel či analyzátorů v závislosti na charakteru měřené škodliviny. V případech, kdy jsou realizována dlouhodobá měření pro posuzování úrovně znečištění, resp. kvality ovzduší, ve smyslu zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, je nutné dodržet postupy pro odběr vzorků a provádění analýz stanovené v části A přílohy č. 6 k vyhlášce MŽP č. 330/2012 Sb. o způsobu posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění, rozsahu informování veřejnosti o úrovni znečištění a při smogových situacích (tzv. referenční metody sledování kvality ovzduší). Nicméně je možné k měření použít i jiný postup nebo metodu, jestliže lze prokázat testem ekvivalence jejich těsnou statistickou vazbu ke stanovené referenční metodě.

V posledních letech se v souvislosti se snahou o co největší množství informací o kvalitě ovzduší objevuje celá řada levnějších přístrojů pro měření koncentrací

škodlivin v ovzduší. Tyto přístroje jsou většinou složeny z jednoho či několika senzorů měřících na principu elektrochemických procesů. Bohužel nižší cena se velmi často projevuje na kvalitě naměřených dat.

Elektrochemické senzory jsou založeny na principu vazby měřené látky s materiálem senzoru. Ta však může vzniknout jen mezi určitými molekulami a za určitých podmínek. Elektrochemických principů je využíváno v membránových senzorech s kapalným nebo tuhým elektrolytem. Metaloxidové senzory a chemirezistory jsou založeny na měření změn elektrické vodivosti určitých materiálů v přítomnosti některých plynných látek. Pelistory či pyroelektrické senzory využívají změn teploty při chemických reakcích, především při katalytické oxidaci plynných látek. Na principu změn hmotnosti piezoelektrik způsobených absorpcí či adsorpcí stanovených plynů jsou založeny senzory hmotnostní [1].

Nespornou výhodou elektrochemických senzorů je jejich pořizovací cena a nízké provozní náklady. Nejjednodušší senzory resp. sensorové systémy stojí řádově první desetitisíce korun, složitější přístroje pro kontinuální měření koncentrací většího množství škodlivin pak cca. do 800 tis Kč, což je stále řádově níže, než je tomu v případě kompletně vybavené stacionární stanice nebo mobilní stanice pro měření kvality ovzduší osazené referenčními analyzátory. Provozní náklady jsou pak 3 až 5 krát nižší v porovnání s klasickými stanicemi monitoringu kvality ovzduší [2].

Bohužel senzory mají daleko více záporných vlastností negativně ovlivňujících jejich využití. Jedním z nich je krátká doba životnosti, která se pohybuje v rozmezí od 6 měsíců po několik málo let. Podstatným negativem ve vztahu k dlouhodobému měření kvality ovzduší je nízká reprodukovatelnost měření při různých meteorologických podmínkách a v některých případech je nedostatečná i jejich citlivost [2]. Platné zákony také přímo definují, jaké metody se musí k dlouhodobému měření kvality ovzduší použít a elektrochemické senzory mezi ně nepatří.

Existuje celá řada firem, zabývajících se integrací jednotlivých elektrochemických senzorů pro měření koncentrací plynů a PM do různých zařízení vč. přenosu dat do vzdálených zařízení, jako jsou chytré telefony. Bohužel tyto firmy se zabývají hlavně přenosem dat do dalších zařízení, ne však kvalitou dat naměřených. Přesto jsou poměrně úspěšné v prodeji těchto senzorů.

## 2. Metodika

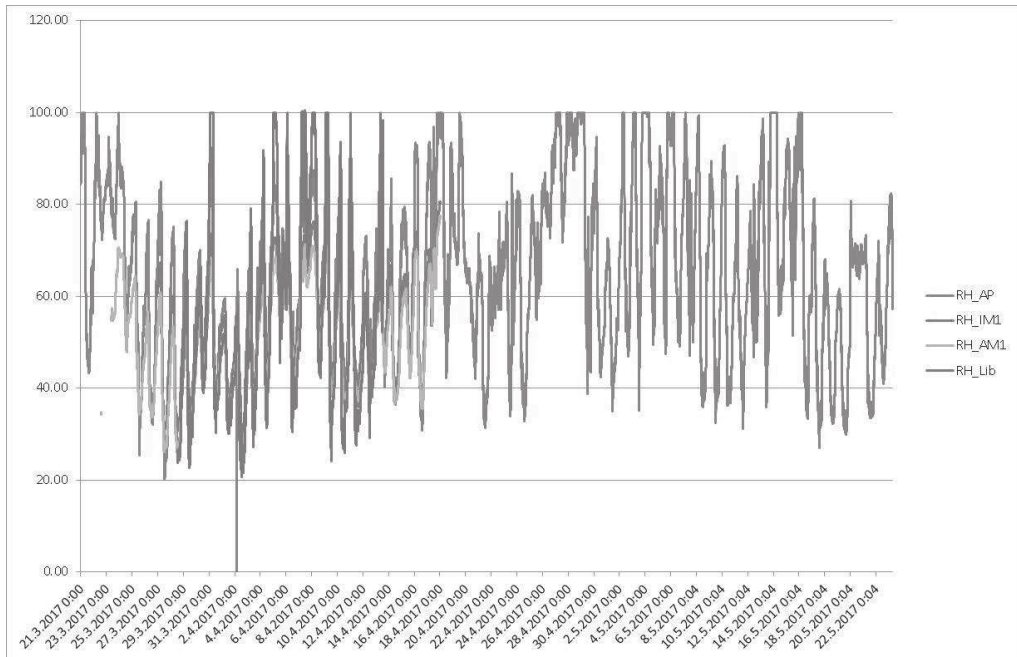
Provedli jsme testy 4 systémů senzorů označených zkratkami AM1, IM1, Lib a Env. Referenční měřidlo, systém Airpointer (Recordum Messtechnik GmbH, Rakousko), bylo označeno AP. Testované přístroje byly umístěny vždy co možná nejbližší referenčnímu měřidlu. Porovnávány byly mediány z pěti jednodominutových výsledků jdoucích po sobě, což eliminuje náhodné chyby.

Měření byla realizována na parkovišti v areálu Centra dopravního výzkumu v. v. i., kde dochází každý den k příjezdu a odjezdu automobilů zaměstnanců s výjimkou víkendů a prostředí tak lze označit za poměrně dynamické z hlediska měřících se koncentrací škodlivin produkovaných dopravou.

## 3. Výsledky a diskuze

Na obr. 1 jsou znázorněny výsledky porovnávacího měření nízkonákladových senzorů a referenční metody při měření relativní vlhkosti, které ukazují dobrou shodu výsledků senzorů s referenčním měřidlem. Obdobné výsledky dávají i měření teploty.

Obr. 1. Výsledky měření relativní vlhkosti



Pro kvantitativní hodnocení těsnosti výsledků porovnávaných senzorů s referenčními měřidly byla použita lineární regrese podle rovnice (1).

$$y = k \times x + q, \quad (1)$$

kde  $y$  hodnota naměřená testovaným senzorem,  
 $k$  směrnice regrese,  
 $x$  hodnota naměřená referenčním senzorem,  
 $q$  absolutní člen regrese.

Výsledky jsou uvedeny v tabulce 1.

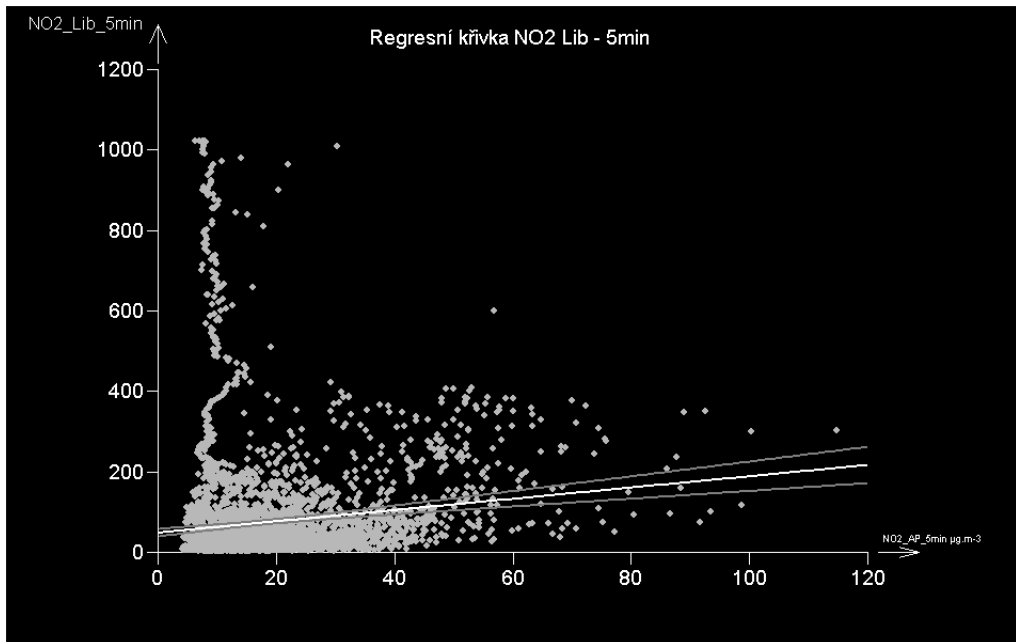
Tab. 1. Hodnocení regresního porovnání výsledků měření senzorů a referenčního měřidla.

Měřená veličina	Detektor	Absolutní člen $q$	Směrnice $k$	Koeficient determinace $R^2$
CO	AM1	498.67	0.0466	0.0080
	Env	714.35	-0.0201	0.0077
	IM1	604.66	0.0514	0.0233
NO	AM1	76.29	0.0549	0.0089
	Env	5.90	0.1362	0.0110
	IM1	17.50	0.5866	0.2090
NO <sub>2</sub>	AM1	27.32	-0.0677	0.0035
	Env	1.46	0.3965	0.2189
	IM1	26.33	0.2382	0.1059
	Lib	48.68	1.3998	0.0166
O <sub>3</sub>	AM1	42.04	0.1188	0.1432
	IM1	21.80	0.4923	0.6611
	Lib	379.17	-1.4028	0.5629
SO <sub>2</sub>	Env	18.68	3.2301	0.0055
PM <sub>10</sub>	AM1	-177.68	12.6948	0.6053
	Env	-5.46	1.3509	0.0964
	IM1	-75.53	7.6450	0.4535
Relativní vlhkost vzduchu	AM1	12.07	0.6376	0.9364
	IM1	14.72	0.6561	0.9211
	Lib	-16.90	1.2211	0.8503
Teplota vzduchu	AM1	2.93	0.9771	0.9239
	IM1	2.40	0.9695	0.8380
	Lib	-0.69	1.2141	0.8721

Lineární regrese indikuje uspokojivé výsledky pro teplotu a relativní vlhkost (tučně černě), méně uspokojivé výsledky pro jeden senzor k měření PM<sub>10</sub> a jeden senzor k měření ozónu (šedě podbarvení), neuspokojivé výsledky pro ostatní parametry a senzory (kurzíva). U některých parametrů a senzorů se dokonce vyskytují záporné hodnoty směrnice regrese (kurzíva, podbarveno), což znamená, že při zvyšování koncentrací měřené veličiny podle údajů referenčního měřidla ukazuje testované měřidlo snižování těchto koncentrací. Koeficient determinace ( $R^2$ ) je statistický parametr označující porovnání kvality výsledků testovaného senzoru s referenčními měřidly. Když se blíží hodnotě 1, vyjadřuje téměř dokonalou shodu měření obou přístrojů, zatímco hodnota 0 znamená neshodu výsledků.

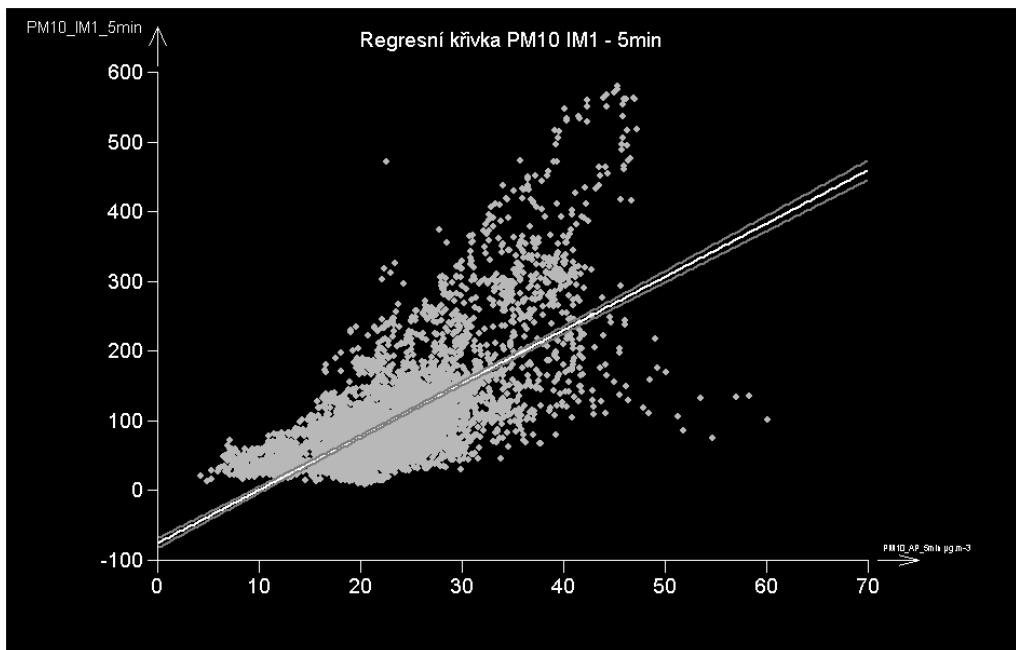
Testované senzory zvládají vcelku úspěšně měření teploty a relativní vlhkosti ovzduší, v případě měření koncentrací plyných škodlivin (NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO a O<sub>3</sub>) je situace mnohem horší. Příklad pro NO<sub>2</sub> je uveden na obr. 2.

Obr. 2. Porovnání koncentrací NO<sub>2</sub>



Příklad porovnání koncentrací PM<sub>10</sub> s referenčním měřidlem je znázorněn na obr. 3. Graf lineární regrese sice vyjadřuje lineární trend, ale porovnávané hodnoty mají značný rozptyl kolem regresní přímky.

Obr. 3. Porovnání koncentrací PM<sub>10</sub>



## 4. Závěr

Z uvedeného hodnocení vyplývá, že použití testovaných senzorů je nevhodné pro měření koncentrací  $\text{NO}_x$  a  $\text{SO}_2$ . V případě  $\text{PM}_{10}$  a  $\text{O}_3$  je nutné pečlivě vybírat vhodné senzory a nenasazovat je bez patřičné validace porovnáním s referenčním měřidlem. Senzory byly schopny zaznamenat výskyt píků znamenajících skokové změny koncentrací měřených látek, ale nedokázaly vyjádřit s dostačující přesností jejich skutečné hodnoty ani po případné kalibraci. To znamená, že u testovaných senzorů používaných k měření koncentrací plyných škodlivin ( $\text{CO}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{SO}_2$ ) není možné s dostatečnou spolehlivostí detekovat překračování limitních hodnot znečištění ovzduší daných legislativou. Diskutabilní je to i u senzorů k měření  $\text{PM}_{10}$  a  $\text{O}_3$ .

## Literatura

- [1] ŠTULÍK, BAREK (eds.) 2007. Senzory Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 223 s. ISBN 978-80-86238-20-3.
- [2] KUMAR, P. MORAWSKA, L., MARTANI, C., BISKOS, G., NEOPHYTOU, M., DI SABATINO, S., BELL, M., NORFORD, L., BRITTER, R., 2015. The rise of low cost sensing for managing air pollution in cities. Environment International 75, 199–205. Online link: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2014.11.019>.

## Poděkování

*Tento článek byl vytvořen za finanční podpory Technologické agentury ČR v rámci programu ALFA projektu TA04031418 a v rámci programu EPSILON projektu TH03030278, na výzkumné infrastruktuře pořízené z Operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace (CZ.1.05/2.1.00/03.0064).*

*Článek je publikován se souhlasem redakční rady časopisu City:one.*

## Advantages and disadvantages of air quality measurements by sensors

**Roman Ličbínský, Jiří Huzlík**

*Transport Research Centre*

*Líšeňská 33a, 636 0 Brno*

e-mail: roman.licbinsky@cdv.cz

## Abstract

A lot of cheaper devices are used at present for air quality measurements relating the demand of the society for air quality data. These devices are usually based on one or more low cost sensors based on electrochemical processes. Unfortunately, lower price results in measured data quality. Paper compares results of air quality measurements performed with low cost sensors based devices and reference methods based device. Based on evaluated results, low cost sensors cannot be used for  $\text{NO}_x$  and  $\text{SO}_2$  concentration measurements. In case of  $\text{PM}_{10}$  and  $\text{O}_3$  measurements, it is necessary to carefully select suitable sensors and to perform validation with reference method before measurement. These sensors were able to detect peaks resulting in big changes of pollutants concentrations, however, they were not able to detect with sufficient accuracy absolute values nor after calibration. It means that it is not able to detect with sufficient accuracy exceedance of air quality limits defined in legislation on the basis of air quality measurements using low cost sensors.

# **Aplikace nízkonákladových senzorů pro měření kvality ovzduší v souvislosti s dopravními opatřeními**

**Mgr. Pavel Chaloupecký<sup>1</sup>, Mgr. Roman Ličbinský<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*ENVITech Bohemia s.r.o., středisko BRNO*

*Polní 780/92, 639 00 Brno – Štýřice*

<sup>2</sup>*Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.*

*Líšeňská 33a, 636 00 Brno*

e-mail: chaloupecky@envitech-bohemia.cz

## **Abstrakt**

Projekt je zaměřený na výzkum a vývoj systému na bázi nízkonákladových senzorů, který bude možné využít k monitoringu kvality ovzduší s odpovídající kvalitou produkovaných dat, reprodukovatelností měření a robustností celého systému. V této oblasti bude výsledkem projektu funkční vzorek systému pro měření kvality ovzduší.

Systém bude využíván jako alternativa k nákladným měřením certifikovanými referenčními a ekvivalentními metodami. Předpokládá se využití vyvíjeného systému jako základního stavebního kamene v systémech ITS (Intelligent Transport System) s návazným přijímáním dopravních opatření ke zlepšení kvality ovzduší a rovněž např. v rámci konceptů Smart Cities, které kladou mj. důraz na bezprostřední dostupnost dat obyvatelům.

Cílem projektu je rovněž zpracování metodiky pro měření kvality ovzduší přístrojem na principu nízkonákladových senzorů za účelem definování jeho vhodného použití, a to jak v souvislosti s umístěním na příslušných lokalitách, tak praktického provozu systému. Součástí bude rovněž postup pro zpracování dat poskytovaných systémem.

## **Low-cost sensors application for air quality measurements relating to urban traffic measures**

**Mgr. Pavel Chaloupecký<sup>1</sup>, Mgr. Roman Ličbinský<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*ENVITech Bohemia, office BRNO*

*Polní 780/92, 639 00 Brno - Štýřice*

<sup>2</sup>*Transport Research Centre*

*Líšeňská 33a, 636 00 Brno*

e-mail: chaloupecky@envitech-bohemia.cz

## **Abstract**

The project is aimed on the research and development of a system based on low cost sensors, which will be used for air quality monitoring with adequate quality of produced data, reproducibility of measurement and robustness of the whole system as a basis in ITS systems with subsequent adoption of transport measures to improve air quality. In this area, the project will produce a functional sample of the air quality measurement system. The aim of the project is also to develop a methodology for air quality measurements by low-cost sensors in order to define their suitability for use, both in connection with location at the relevant sites and practical operation of the system. It will also include a procedure for data processing provided by the system.





# Faktory determinujúce kvalitu ovzdušia vo funkčných mestských územiach

Dušan Jandačka<sup>1</sup>, Daniela Ďurčanská<sup>1</sup> a Daša Kovalová<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Žilinská univerzita v Žiline, Stavebná fakulta, Katedra cestného staviteľstva

<sup>2</sup>Žilinská univerzita v Žiline, Výskumné centrum

Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina

e-mail: dusan.jandacka@fstav.uniza.sk

## Abstrakt

Mestá a ich funkčné územia (obytné zóny, priemyselné zóny, rekreačné zóny, dopravné uzly, ...) tvoria životné prostredie pre ich obyvateľov. Obyvatelia miest sa denne stretávajú so zhoršenou kvalitou ovzdušia v dôsledku pôsobenia rôznych zdrojov znečistenia (cestná doprava, priemysel, lokálne vykurovanie, ...). Problémom v mestách je produkcia tuhých častíc a škodlivých plynov z rôznych zdrojov. Intenzita dopravy výrazne rastie a cestná doprava má najväčší vplyv na kvalitu ovzdušia v blízkosti mestských komunikácií. Vzhľadom na dominantné používanie spaľovacích motorov obsahujú výfukové plyny veľké množstvo plyných znečisťujúcich látok, ako aj tuhé častice. Tuhé častice obsahujú najmä veľké množstvo jemnej frakcie, ktorá môže dlho zotrvať vo vzduchu, ľahko vstúpiť do dýchacích ciest a poškodiť ľudské zdravie. Ďalšia časť tuhých častíc zahŕňa častice vzniknuté obrusovaním rôznych častí ciest a automobilov, resuspendovaním cestného prachu, ktorý zahŕňa častice väčších aerodynamických priemerov. Kombináciou rôznych zdrojov a nepriaznivých meteorologických faktorov môže dochádzať k častému prekračovaniu limitných hodnôt pre znečisťujúce látky. V Žiline bol vytvorený návrh siete na monitorovanie kvality ovzdušia. Rozloženie meracích staníc bolo založené na základnej myšlienke pokrytia typických funkčných mestských oblastí (FUAs) v meste Žilina. Vybrané meracie miesta sú vždy kombináciou viacerých zdrojov znečistenia ovzdušia.

Kľúčové slová: znečistenie ovzdušia, tuhé častice, plyné emisie, intenzita dopravy, mestské územia

## 1. Úvod

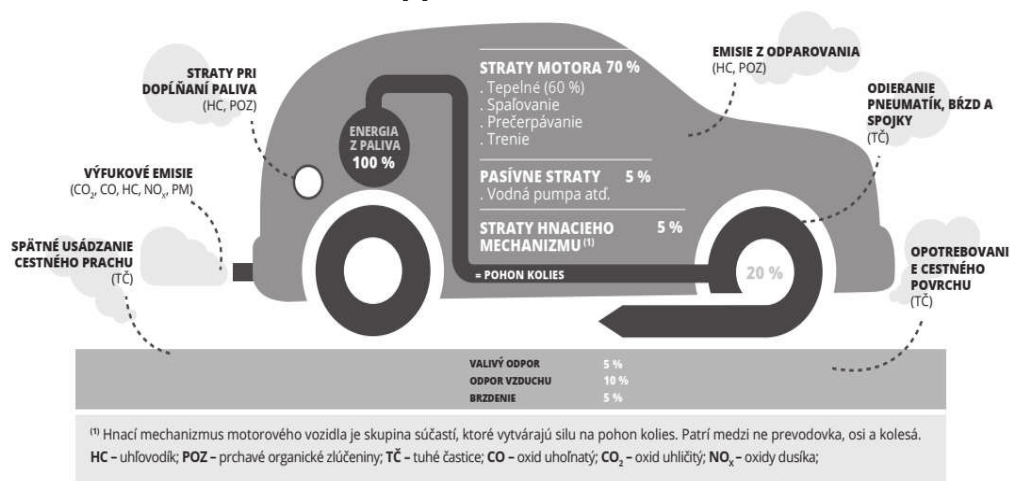
Medzi hlavné zdroje znečistenia ovzdušia v mestských oblastiach patria emisie výfukových plynov, resuspensia cestného prachu a vykurovanie domácností drevom a uhlím. Ide o zdroje, ktoré produkujú emisie do okolitého ovzdušia vo vertikálnej výške pod 20 m, čo vedie k významnému vplyvu na úroveň koncentrácií polutantov v dýchacej zóne ľudí [5, 6, 7, 8, 9].

Dve najdôležitejšie látky, ktorými cestná doprava znečisťuje ovzdušie, sú oxid dusičitý ( $\text{NO}_2$ ) a jemné tuhé častice ( $\text{PM}_{2,5}$ ) (Obr. 1). Sektor dopravy v EÚ v roku 2013 prispel 13 % k celkovým emisiám častíc  $\text{PM}_{10}$  a 15 % k emisiám tuhých častíc  $\text{PM}_{2,5}$ . Jemná frakcia  $\text{PM}_{2,5}$  tvorí 40 – 80 % hmotnostnej koncentrácie  $\text{PM}_{10}$  v okolitom ovzduší v Európe [2, 5]. Zatiaľ čo výfukové emisie z vozidiel od roku 1990 klesajú vďaka technologickým zdokonaleniam vozidiel, ako sú napríklad časticové filtre, zvyšujú sa nevýfukové emisie tuhých častíc vznikajúcich opotrebovaním bŕzd a pneumatík. Nevýfukové zdroje tvoria v súčasnosti veľkú časť celkových emisií tuhých častíc z vozidiel – približne polovicu častíc  $\text{PM}_{10}$  a tretinu tuhých častíc  $\text{PM}_{2,5}$ . Okrem toho ďalších 15 % k celkovému objemu emisií tuhých častíc  $\text{PM}_{2,5}$  v EÚ

pridáva medzinárodná lodná doprava v európskych moriach. Je to problém najmä vo veľkých prístavných mestách [3].

Európska únia prijala tzv. euronormy pre rôzne látky znečisťujúce ovzdušie, vrátane  $\text{NO}_x$  a PM, aby obmedzila výfukové emisie z osobných áut. V euronormách sú stanovené rôzne limity pre benzínové a naftové vozidlá podľa jednotlivých znečisťujúcich látok, ktoré sa v priebehu času sprísňujú. Napríklad naftové vozidlo testované podľa najnovšej technológie Euro 6 smie emitovať len 3 % množstva tuhých častíc, ktoré mohlo emitovať naftové vozidlo testované pred 20 rokmi podľa normy Euro 1. Od roku 2000 sa významne znížili emisie oxidov dusíka ( $\text{NO}_x$ ) z benzínových áut, naftové autá však podobný pokles nezaznamenali. Naftové motory bez účinného dočisťovania emitujú vysoké objemy oxidu dusičitého ( $\text{NO}_2$ ). Majoritnú časť emisií  $\text{NO}_x$  tvorí oxid dusnatý. Malá časť emisií  $\text{NO}_x$  je priamo emitovaná ako  $\text{NO}_2$ , zvyčajne 5 – 10 % pre väčšinu spaľovacích zdrojov. Vozidlá spaľujúce naftu sú výnimkou. Zvyčajne produkujú vyššie podiely  $\text{NO}_2$ , až 70 %  $\text{NO}_x$  je  $\text{NO}_2$  [4].  $\text{NO}_2$  predstavuje veľký problém na úrovni terénu v mestských oblastiach, pričom najväčším prispievateľom je sektor dopravy, na ktorý v roku 2013 pripadlo 46 % celkových emisií  $\text{NO}_x$  v Európskej únii. V ostatných rokoch sa zvýšil počet naftových vozidiel na cestách, čo ovplyvňuje kvalitu ovzdušia [3].

Obr. 1. Emisie a efektívnosť vozidiel [3]



Jednotlivé látky znečisťujúce ovzdušie z dopravy môžu mať rôzny vplyv na zdravie. Vo výfukových plynch vozidiel sa emitujú oxidy dusíka, tuhé častice ( $\text{PM}_{10}$  a  $\text{PM}_{2,5}$ ), oxidy síry, oxid uhoľnatý a rôzne ťažké kovy, napríklad kadmium, olovo a ortuť. Okrem toho prekursori chemických látok vo výfukových plynch môžu v ovzduší reagovať a vytvárať ozón. Napokon v dôsledku odierania pneumatík a bŕzd sa do ovzdušia uvoľňujú tuhé častice a ťažké kovy, ktoré sa ukladajú na vozovke a následne uvoľňujú do ovzdušia pôsobením jazdiacich áut [3]. Vystavenie týmto znečisťujúcim látkam môže mať veľmi špecifický vplyv na ľudské zdravie, všeobecne však postihuje vnútorné orgány, nervovú sústavu a krv, spôsobuje niektoré ochorenia, napríklad pľúcne choroby (a vedie k dýchacím ťažkostiam), ako aj infarkty, astmu, úzkosť, slabosť a únavu alebo ich zhoršuje [2, 3].

Z pohľadu informovanosti obyvateľstva je preto nevyhnuté sledovať kvalitu ovzdušia a monitorovať koncentrácie znečisťujúcich látok v ovzduší. Na druhej strane je nutná

vedomosť obyvateľstva o škodlivosti jednotlivých znečisťujúcich látok a o možnostiach, kedy a ako sa vyhnúť vystaveniu nadmerným koncentráciám polutantov.

## 2. Metodika meraní kvality ovzdušia

V Žiline bol vytvorený návrh siete na monitorovanie kvality ovzdušia. Rozloženie meracích staníc bolo zvolené na základe myšlienky pokrytia typických funkčných mestských oblastí. V rámci prvého hodnotenia boli vybrané tri meracie stanice v meste (Obr. 2). Vybrané meracie miesta sú vždy kombináciou viacerých zdrojov znečistenia ovzdušia.

Obr. 2. Vybrané 3 meracie stanovišťa v meste Žilina



Prvým meracím stanovišťom bolo Námestie A. Hlinku. Ide o typickú pešiu zónu bez cestnej premávky. V okolí sa nachádza len málo áut parkujúcich v miestnych prevádzkach. Pešia zóna je pokrytá dlažbovými kockami a tvorí spojnicu ôsmich ulíc. Najdôležitejšou ulicou je Národná ulica. Hneď vedľa námestia sa nachádza najstarší Žilinský mestský park Sad SNP s hudobným pavilónom a fontánou. Druhým meracím stanovišťom je Komenského ulica v blízkosti centra mesta. Ide o križovatku troch ulíc: Komenského ulica, Suvorovova ulica a ulica Juraja Fándlyho. V blízkosti meracieho stanovišťa sa nachádza budova Žilinského samosprávneho kraja. Okolie je tvorené obytnými budovami, školou a budovou verejnej správy. Tretím meracím stanovišťom je najväčšia križovatka mesta – Košická ulica. V blízkosti križovatky sa nachádza mestská tepláreň (Žilinská teplárenská, a.s.) a nákupné centrum.

Boli merané viaceré znečisťujúce látky:  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2,5}$  a  $\text{PM}_1$  a na meracej stanici boli použité nasledujúce meracie metódy:

- $\text{NO}_2$  - štandardná chemiluminiscenčná metóda na meranie koncentrácie oxidu dusičitého a oxidu dusnatého,
- $\text{SO}_2$  - štandardná UV fluorescenčná metóda na meranie koncentrácií oxidu siričitého,
- $\text{CO}$  - štandardná metóda merania koncentrácií oxidu uhoľnatého nedisperznou infračervenou spektroskopiou,

- PM<sub>10</sub> and PM<sub>2,5</sub> - optická metóda. Snímač aerosólov je optický aerosólový spektrometer, ktorý určuje veľkosť častíc pomocou analýzy rozptýleného svetla Lorenz-Mie jednotlivých častíc. Jednotlivé častice sa pohybujú cez opticky diferencovaný objem, ktorý je homogénne osvetlený bielym svetlom. Každá častica vytvára impulz rozptýleného svetla, ktorý je detegovaný pod uhlom 85° až 95°. Počet častíc sa stanovuje na základe počtu impulzov rozptýleného svetla. Úroveň impulzu rozptýleného svetla je mierou priemeru veľkosti častíc.

Počas monitorovania boli zaznamenané aj meteorologické parametre (teplota, vlhkosť, rýchlosť a smer vetra, tlak). Merania kvality ovzdušia boli realizované na každom meracom stanovišti 7 dní v nasledujúcich intervaloch:

- meracie stanovište Námestie A. Hlinku: 22. - 28. februára 2018,
- meracie stanovište Komenského ulica: 01. - 07. marca 2018 a
- meracie stanovište Košická ulica: 19 - 25. apríla 2018.

### 3. Výsledky meraní kvality ovzdušia

Merania znečistenia ovzdušia v meste Žilina boli zamerané na plynné znečisťujúce látky: oxid dusičitý NO<sub>2</sub>, oxid siričitý SO<sub>2</sub>, oxid uhoľnatý CO a tuhé znečisťujúce látky troch frakcií: PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> a PM<sub>1</sub>. Koncentrácie znečisťujúcich látok boli vyhodnotené ako 24-hodinové priemery, to znamená, že k dispozícii bolo 7 hodnôt koncentrácií pre každú znečisťujúcu látku na každom meracom stanovišti. Základnou úlohou meraní bolo porovnanie koncentrácií znečisťujúcich látok v rôznych funkčných oblastiach mesta Žilina a zistiť vplyv sekundárnych faktorov na koncentrácie znečisťujúcich látok v ovzduší. Meracie stanovištia majú rôzny charakter, ako už bolo uvedené v opise metodiky. Namerané znečistenie ovzdušia môže pochádzať z rôznych zdrojov, ktoré sa nachádzali v okolí meracích stanovišť. Meracie stanovište na Námestí A. Hlinku je pešia zóna a v jeho blízkosti nebol žiadny významný zdroj znečistenia ovzdušia. Miestne komunikácie končia na okraji námestia a cestná doprava nemá prístup do pešej zóny. Meracie stanovište na Komenského ulici je v blízkosti cestnej komunikácie, kde najvýznamnejším zdrojom znečistenia je cestná doprava. Meracie stanovište na Košickej ulici je v blízkosti dopravného uzla a významným zdrojom znečistenia ovzdušia je cestná doprava, veľké parkovacie plochy pri nákupných centrách a primyslená zóna mesta.

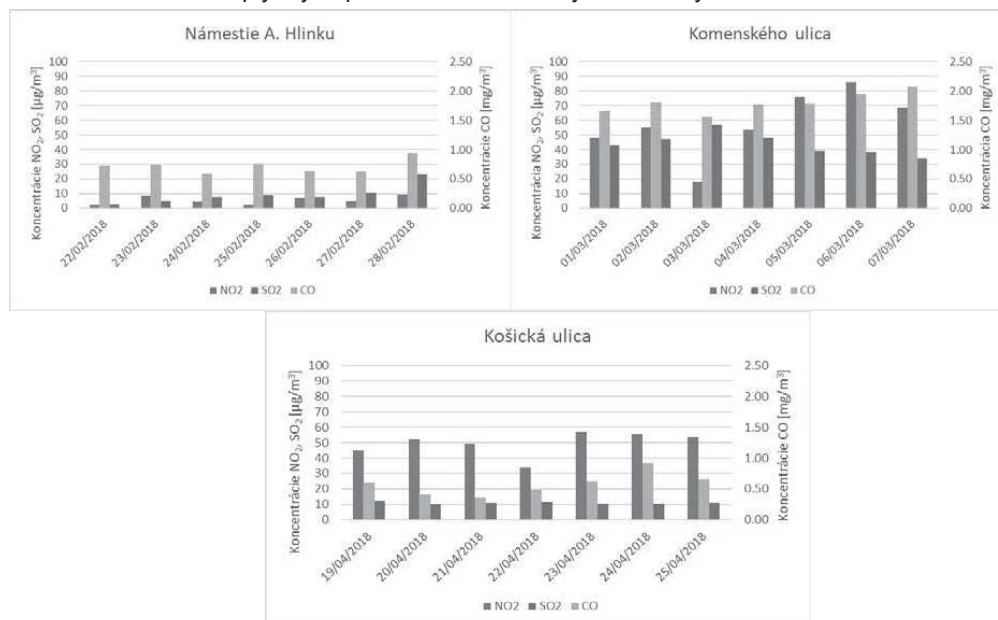
V rámci meraní boli sledované aj meteorologické parametre (Tab.1), ktoré významnou mierou prispievajú k aktuálnemu stavu koncentrácií znečisťujúcich látok v ovzduší (pozitívne alebo negatívne). Významná rýchlosť vetra bola na stanovišti na Námestí A. Hlinku a na Košickej ulici (Tab.1). Na Námestí A. Hlinku a na Komenského ulici boli počas meraní zaznamenané nízke teploty ovzdušia (Tab.1). Počas celého merania na Komenského ulici bol zaznamenaný výskyt miernej inverzie.

Tab. 1. Meteorologické parametre počas monitorovania znečistenia ovzdušia vo funkčných mestských oblastiach mesta Žilina

Lokalita	Priemerné týždenné hodnoty				
	Rýchlosť vetra [m/s]	Smer vetra [deg]	Tlak [hPa]	Teplota [°C]	Vlhkosť [%]
Námestie A. Hlinku	1,7	SSZ	979,4	-6,3	60,6
Komenského ulica	0,7	V	963,5	-2,2	69,1
Košická ulica	1,5	JV	979,7	16,4	57,8

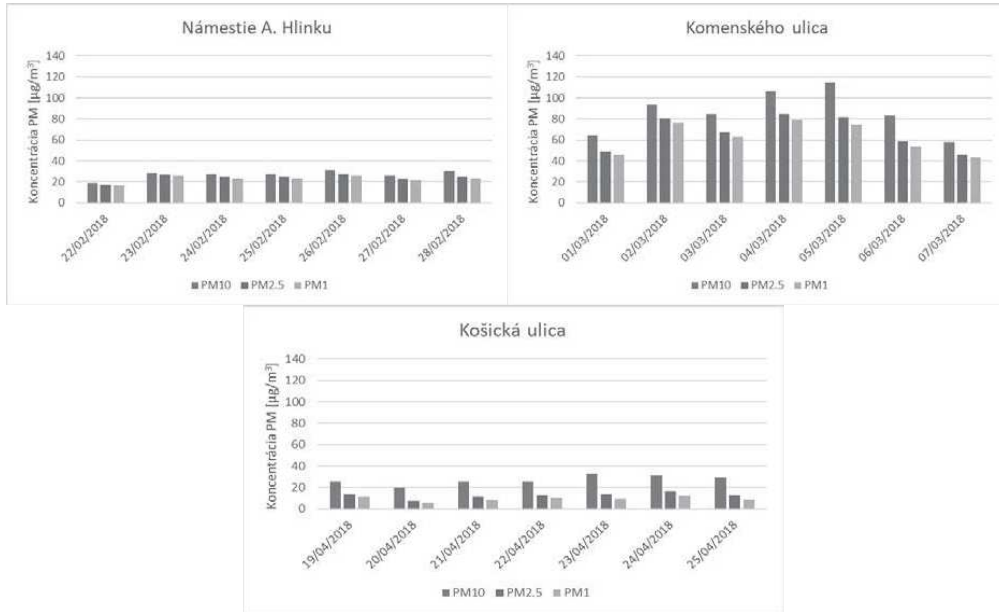
Vyššie koncentrácie NO<sub>2</sub> boli namerané na Komenského a Košickej ulici. Oxidy dusíka sú významným markerom cestnej dopravy. Práve tieto dve meracie stanovišťa sa nachádzajú v blízkosti ciest. Počas víkendov 03. - 04.03.2018 a 21. - 22.04.2018 je možné pozorovať pokles koncentrácií NO<sub>2</sub>. Priemerná koncentrácia NO<sub>2</sub> pre celé meracie obdobie bola 57,9 µg/m<sup>3</sup> na Komenského ulici a 49,5 µg/m<sup>3</sup> na monitorovacom stanovišti Košická ulica. Na námestí A. Hlinku bola priemerná koncentrácia NO<sub>2</sub> počas celého meracieho obdobia výrazne nižšia, a to 5,5 µg/m<sup>3</sup>. Koncentrácie SO<sub>2</sub> a CO boli podobné na monitorovacích stanovištiach na Námestí A. Hlinku a Košickej ulici. Na Komenského ulici boli zaznamenané vyššie koncentrácie SO<sub>2</sub> a CO (Obr. 3). Počas meraní na Komenského ulici bola pozorovaná mierna inverzia, čo spôsobilo nahromadenie všetkých znečisťujúcich látok v dýchacej zóne.

Obr. 3. Koncentrácie plynných polutantov vo funkčných mestských oblastiach mesta Žilina



Najvyššie koncentrácie tuhých častíc boli namerané na monitorovacom stanovišti na Komenského ulici. Priemerná koncentrácia PM<sub>10</sub> pre celé meracie obdobie bola 86,5 µg/m<sup>3</sup>, pre PM<sub>2,5</sub> bola 66,8 µg/m<sup>3</sup> a pre PM<sub>1</sub> bola 62,1 µg/m<sup>3</sup>. Vyššie koncentrácie tuhých častíc boli spôsobené spojením tak významného zdroja ako je cestná doprava s nízkymi teplotami a inverziou. Priemerná koncentrácia tuhých častíc namerané na Námestí A. Hlinku pre PM<sub>10</sub> bola 27,2 µg/m<sup>3</sup>, pre PM<sub>2,5</sub> 23,9 µg/m<sup>3</sup> a pre PM<sub>1</sub> 22,8 µg/m<sup>3</sup>. Počas týchto meraní bola zaznamenaná nízka teplota vzduchu, ale vyššia rýchlosť vetra (labilné zvrstvenie atmosféry). Priemerná koncentrácia tuhých častíc pre celé meranie na monitorovacom stanovišti Košická ulica pre PM<sub>10</sub> bola 27,0 µg/m<sup>3</sup>, pre PM<sub>2,5</sub> 12,6 µg/m<sup>3</sup> a pre PM<sub>1</sub> 9,2 µg/m<sup>3</sup> (Obr. 4). Počas meraní bola zaznamenaná vyššia teplota a vyššia rýchlosť vetra (labilné zvrstvenie atmosféry).

Obr. 4. Koncentrácie tuhých častíc vo funkčných mestských oblastiach mesta Žilina



Distribúcia tuhých častíc sa na vybraných meracích stanovištiach taktiež odlišovala. Hrubá frakcia  $PM_{2,5-10}$  bola najviac zastúpená na Košickej ulici, tvorila 54 % celkovej frakcie  $PM_{10}$ . Je to spôsobené intenzívnou cestnou dopravou a vhodnými podmienkami na rozptyl, kde dochádza k resuspenzii cestného prachu. Na Komenského ulici predstavovala hrubá frakcia  $PM_{2,5-10}$  23 % a na Námestí A. Hlinku len 12 % celkovej frakcie  $PM_{10}$ . Vysoký podiel jemnej frakcie  $PM_{2,5}$  na týchto dvoch monitorovacích stanovištiach je spôsobený najmä nízkymi teplotami. Za týchto podmienok môže dochádzať k sekundárnej tvorbe častíc, najmä jemnej frakcie, kedy plyné polutanty kondenzujú na tuhý aerosól.

Obr. 5. Distribúcia tuhých častíc vo funkčných mestských oblastiach mesta Žilina



## 4. Závěry

Úroveň koncentrací znečišťujících látek závisí predovšetkým od prítomnosti potenciálnych zdrojov znečistenia ovzdušia. Môže to byť množstvo stacionárnych zdrojov, ale v mestách a ich funkčných oblastiach najmä cestná doprava. Merania ukazujú, že znečistením ovzdušia sú postihnuté najmä oblasti, kde je sústredená cestná doprava - ulice Komenského a Košická. Sekundárne faktory - meteorologické podmienky - tiež prispievajú k vyšším koncentráciám znečišťujících látek. Môžeme to pozorovať na monitorovacom stanovišti na Komenského ulici, kde sa spojil významný zdroj znečistenia - cestná doprava a nepriaznivé meteorologické podmienky - inverzia, nízka rýchlosť vetra a nízka teplota vzduchu. Naopak, v blízkosti monitorovacieho stanovišta na Námestí A. Hlinku nie je významný zdroj znečistenia a meteorologické podmienky počas meraní boli priaznivé - vyššia rýchlosť vetra a labilné zvrstvenie atmosféry, napriek nízkym teplotám. Monitorovacie stanovište na Košickej ulici je charakteristické významným zdrojom znečistenia ovzdušia, cestnou dopravou, ale počas meraní boli zaznamenané veľmi priaznivé podmienky na rozptyl znečistenia ovzdušia - vyššia teplota vzduchu, labilné zvrstvenie atmosféry a vyššia rýchlosť vetra.

Kombináciou viacerých faktorov (primárne: zdroje znečistenia; sekundárne: meteorologické podmienky) môžu koncentrácie znečišťujících látek dosiahnuť vysokú úroveň a prekračovanie limitných hodnôt znečišťujících látek vo funkčných mestských oblastiach (Komenského ulica: maximálna hodnota PM<sub>10</sub> bola nameraná 5. marca 2018 - 114,9 µg/m<sup>3</sup>). Vysoké koncentrácie znečišťujících látek znižujú kvalitu života obyvateľstva.

## Literatúra

- [1] BREYSSE, P. N. et al., 2013. *US EPA particulate matter research centers: summary of research results for 2005-2011*. Air Quality, Atmosphere & Health, 6 (2), pp. 333-355
- [2] EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2013. *Air quality in Europe – 2013 report* [online]. Copenhagen (Denmark): EEA. 107 p.
- [3] EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2016. Signály EEA 2016: Smerom k čistej a inteligentnej mobilite. Doprava a životné prostredie v Európe. EEA, Kodaň, 2016. 72 p.
- [4] GRICE, S. et al., 2009. *Recent trends and projections of primary NO<sub>2</sub> emissions in Europe*. Atmospheric Environment. 43 (13), pp. 2154-2167
- [5] JANDACKA, D., DURCANSKA, D., & BUJDOS, M., 2017. *The contribution of road traffic to particulate matter and metals in air pollution in the vicinity of an urban road*. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 50, 397-408.
- [6] PANT, P., HARRISON, R. M., 2013. *Estimation of the contribution of road traffic emissions to particulate matter concentrations from field measurements: A review*. Atmospheric Environment. 77, pp. 78-97
- [7] THORPE, A., HARRISON, R. M., 2008. *Sources and properties of non-exhaust particulate matter from road traffic: A review*. Science of Total Environment. 400 (1-3), pp. 270-282
- [8] REMISOVA, E., DECKY, M., & KOVAC, M., 2014. *The influence of the asphalt mixture composition on the pavement surface texture and noise emissions production*. Paper presented at the International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 2014, 2(4), 583-590.
- [9] FULLOVA, D., DURCANSKA, D. & HEGROVA, J., 2017. *Particulate matter mass concentrations produced from pavement surface abrasion*. MATEC Web of Conferences 2017. Volume 117. 26th R-S-P Seminar 2017 Theoretical Foundation of Civil Engineering, RSP 2017; Warsaw; Poland.



## Pod'akovanie



*Autori príspevku d'akujú za podporu projektu AIR TRITIA CE1101 Jednotný prístup k systému riadenia ochrany znečistenia ovzdušia pre funkčné mestské oblasti v regióne TRITIA. Projekt je financovaný programom Interreg CENTRAL EUROPE.*

## Factors determining air quality in functional urban areas

**Dušan Jandaška<sup>1</sup>, Daniela Ďurčanská<sup>1</sup>, Daša Kovalová<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>University of Žilina, Faculty of Civil Engineering, Department of Highway Engineering*

*<sup>2</sup>University of Žilina, Research Centre  
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina*

*e-mail: [dusan.jandacka@fstav.uniza.sk](mailto:dusan.jandacka@fstav.uniza.sk)*

### Abstract

Cities and their functional areas (residential areas, industrial zones, recreational zones, transport hubs, ...) constitute the environment for their inhabitants. Urban residents face a deterioration in air quality due to different sources of pollution (road transport, industry, local heating, ...). The production of particulate matter and harmful gases from different sources is a problem in the cities. Traffic volume continues to grow and road transport has the greatest impact on the atmosphere in the vicinity of the urban roads. Due to the dominant use of combustion engines, exhaust gases contain large amounts of gaseous pollutants as well as particulate matter. They particularly include a large amount of the finest PM fractions, which can remain in the air for a long time, easily enter respiratory tracks, and damage human health. The other part includes particulate matter produced by the abrasion of different parts of roads and vehicle fleets, from resuspension road dust which concerns matter of larger aerodynamic diameters. By combining different sources and adverse meteorological factors, the limit values for pollutants can be exceeded frequently. A proposal for an air quality monitoring network was created in Žilina. The layout of the measuring stations was based on the basic idea of covering typical Functional Urban Areas (FUAs) in the city of Žilina. Selected measurement sites are always a combination of several sources of air pollution.

Keywords: air pollution, particulate matter, gas emissions, traffic volume, urban areas

# Kvalita ovzduší v městském prostředí - Město Břeclav

Jiří Huzlík, Jitka Hegrová, Roman Ličbinský

Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.

Líšeňská 33a, 636 00 Brno

e-mail: jiri.huzlik@cdv.cz

## Abstrakt

V době od 13. 4. 2018 8:00 do 26. 4. 2018 7:59 bylo provedeno měření koncentrací vybraných škodlivých látek, markerů a meteorologických parametrů na lokalitě Stará Břeclav, na zahradě domu č. p. 3079. Z analýzy výsledků vyplynulo, že v průběhu měření nebyl překročen žádný z imisních limitů dle zákona o ochraně ovzduší 201/2012 Sb. ve znění pozdějších předpisů a vyhlášky o způsobu posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění, rozsahu informování veřejnosti o úrovni znečištění a při smogových situacích 330/2012 Sb. ve znění pozdějších předpisů. Koncentrace 19 stanovených prvků ani 18 polycyklických aromatických uhlovodíků (PAU) nevykazovala žádnou významnou souvislost s meteorologickými parametry, a to včetně směru větru.

Z analýzy rychlosti a směru větru byly sestaveny větrné růžice, ze kterých vyplynulo, že na měřené lokalitě převažovalo proudění ze směru od nejbližší komunikace – 330° (I55), druhým nejfrekventovanějším směrem proudění byl směr opačný – 150°. Z polárních koncentračních grafů pro plynné škodliviny (oxidy dusíku, ozón, oxid uhelnatý, oxid siřičitý a těkavé organické látky) a pevné částice byly odhadnuty zdroje znečištění. Jako nejvýznamnější zdroj znečištění ovzduší na měřené lokalitě se jeví doprava, což potvrdily analýzy koncentrací oxidů dusíku, ozónu a pevných částic. Koncentrace oxidu siřičitého, oxidu uhelnatého a VOC byly na velmi nízké úrovni a měly malou variabilitu. Nicméně analýza dat ukázala, že možným zdrojem oxidu uhelnatého by mohlo být lokální vytápění, zdrojem VOC benzínová čerpací stanice a zdrojem oxidu siřičitého objekty obchodně průmyslové zóny v kombinaci s dopravou. Zdroji pevných částic by kromě dopravy mohly být kromě resuspenze i další objekty nebo činnosti nacházející se na opačné straně od komunikace, jako např. zemědělská činnost nebo pyl kvetoucí vegetace. Analýza složení VOC potvrdila předpoklady o benzínu jako zdroji těkavých látek. Analýza pevných částic na elektronovém mikroskopu upřesnila výsledky analýzy polárních grafů identifikujících zdroje po obou stranách komunikace v tom smyslu, že zdrojem částic v ovzduší mohou být částice půd, výfukové plyny z motorových vozidel i biologický materiál.

## 1. Popis lokality

Na základě provedené vizuální prohlídky ulice Jana Moláka (Stará Břeclav, severní část) a jejího nejbližšího okolí, zahrnutí všech podmínek stanovených v požadavcích na umístění bodů vzorkování pro stacionární měření ve Vyhlášce MŽP č. 330/2012 Sb., bezpečného umístění měřicí techniky, a to jak z pohledu zabezpečení přístrojů proti krádeži, tak bezpečného přístupu k přístrojům při provozu i vlastní instalaci a dostupnosti připojení k elektrické energii, byla vybrána jako měřicí lokalita plocha na zahradě domu č. p. 3079 (48.77706E, 16.89799N). Měřicí zařízení byla umístěna v zahradě domu cca 20 m od nejbližší zástavby, která byla od měřících zařízení orientována severovýchodně. Ve vzdálenosti 55 m od měřicí lokality se nachází směrem na severozápad příjezdová komunikace do Břeclavi od

dálnice D2 (I55), ve stejném směru pak ve vzdálenosti 90 m prodejna a servis osobních automobilů AGROTEC a.s. a ve vzdálenosti 1.5 km letiště Břeclav. Na severovýchod od lokality se ve vzdálenosti 50 m nachází čerpací stanice Benzina, ve vzdálenosti 200 – 750 m komplex budov obchodní a průmyslové zóny včetně podniků ARENS Oberflächenfullservice s.r.o., LINDE+WIEMANN CZ s.r.o. a Stavebniny DEK Břeclav. Celý tento komplex zaujímá kvadrant ve směru od severu k východu ve směru od měřicí lokality. V tomto směru se rovněž ve vzdálenosti 2,11 km nachází exit Břeclav na dálnici D2. 1 km jižně od lokality se nachází železniční depo. Vzhledem k umístění přístrojů v bezprostřední blízkosti komunikace s automobilovým provozem je možné označit měřicí místo za lokalitu dopravní, městskou, obytnou. Návrh měřicího místa byl vybrán v součinnosti se zástupcem zadavatele při místním šetření. Na obr. 1 je na mapovém podkladu vyznačeno měřicí a odběrové místo s vyznačením převládajících směrů větru v době měření.

Obr. 1. Umístění měřicích zařízení na lokalitě Stará Břeclav – celková situace vč. větrné růžice.



## 2. Metodika měření

K vlastním měřením bylo využito několik typů přístrojů v závislosti na charakteru sledované škodliviny a dva typy statistických softwarových balíčků.

### 2. 1. Přístroje a zařízení

Koncentrace plyných škodlivin byly měřeny kontinuálně přístrojem Airpointer (Recordum Messtechnik GmbH, Rakousko) v souladu s přílohou č. 6 k vyhlášce č. 330/2012 Sb. ve znění pozdějších předpisů Konkrétně oxid dusnatý (NO), oxid dusičitý (NO<sub>2</sub>) a jejich souhrn (NO<sub>x</sub>) referenční metodou podle české technické normy ČSN EN 14211: 2014 „Kvalita ovzduší – Normovaná metoda stanovení oxidu dusičitého a oxidu dusnatého na principu chemiluminiscence“. Koncentrace oxidu uhelnatého (CO) referenční metodou podle české technické normy ČSN EN 14626: 2013 „Kvalita ovzduší – Normovaná metoda stanovení koncentrací oxidu

uhelnatého nedisperzní infračervenou spektrometrií“, koncentrace ozónu ( $O_3$ ) referenční metodou podle české technické normy ČSN EN 14625: 2013 „Kvalita ovzduší – Normovaná metoda stanovení ozonu ultrafialovou spektrometrií“, koncentrace oxidu siřičitého ( $SO_2$ ) referenční metodou podle české technické normy ČSN EN 14212: 20013 „Kvalita ovzduší – Normovaná metoda stanovení oxidu siřičitého ultrafialovou fluorescencí“. Koncentrace těkavých organických látek (VOC) byly kontinuálně měřeny podle manuálu přístroje integrovaným senzorem.

Tímto přístrojem byly rovněž stanoveny kontinuálně koncentrace pevných částic  $PM_{10}$  nefelometrickou metodou, přičemž naměřená data byla validována na základě diskontinuálních 24hodinových odběrů na filtry s využitím sekvenčních vzorkovačů SVEN LECKEL SEQ 47/50-CD (Sven Leckel Ingenierbüro, Německo), s následnou gravimetrickou analýzou na mikrováhách MX5 (Mettler – Toledo GmbH, Švýcarsko). Gravimetrická metoda stanovení koncentrací PM je rovněž referenční metodou podle české technické normy ČSN EN 12341: 2000 „Kvalita ovzduší – Stanovení frakce  $PM_{10}$  aerosolových částic – Referenční metoda a postup při terénní zkoušce ověření těsnosti shody mezi výsledky hodnocené a referenční metody“.

Za účelem stanovení obsahů benzo[a]pyrenu (BaP) byly stejnou metodou, a s využitím stejných odběrových zařízení, odebrány vzorky  $PM_{10}$  s tím, že filtračním médiem byl filtr z křemenných vláken. Vlastní stanovení koncentrací BaP pak bylo realizováno v souladu s přílohou č. 6 k vyhlášce č. 330/2012 Sb. ve znění pozdějších předpisů referenční metodou podle české technické normy ČSN EN 15549: 2013 „Normovaná metoda stanovení benzo[a]pyrenu ve venkovním ovzduší“ na plynovém chromatografu s hmotnostní detekcí Triple Quadropole Agilent GC/QQQ 7000C (Agilent Technologies, Inc., Německo).

Stejným zařízením, jako v případě validace  $PM_{10}$ , byly odebrány i vzorky pro stanovení koncentrací kovů v ovzduší. Olovo (Pb), arsen (As), kadmium (Cd) a nikl (Ni) byly měřeny v souladu s přílohou č. 6 k vyhlášce č. 330/2012 Sb. ve znění pozdějších předpisů referenční metodou podle české technické normy ČSN EN 14902: 2014 „Kvalita ovzduší - Normovaná metoda stanovení Pb, Cd, As a Ni ve frakci  $PM_{10}$  aerosolových částic“. Zinek (Zn), hliník (Al), měď (Cu), molybden (Mo), chrom (Cr), draslík (K), sodík (Na), vápník (Ca), baryum (Ba), antimon (Sb) a vanad (V) byly stanoveny obdobným postupem s využitím hmotnostního spektrometru s indukčně vázaným plazmatem – Agilent 8800 ICP – MS Triple Quad (Agilent Technologies, Inc., Japonsko) po rozkladu filtrů mikrovlnným rozkladným zařízením Berghof SW-4 (Berghof Products + Instruments GmbH., Německo).

Měření souvisejících meteorologických prvků, tj. směru a rychlosti větru, teploty a relativní vzdušné vlhkosti byla realizována rovněž přístrojem Airpointer (Recordum Messtechnik GmbH, Rakousko), resp. meteorologickou stanicí WS500-UMB (G. Lufft Mess- und Regeltechnik GmbH, Německo), která je plně integrována do přístroje.

Morfologie pevných částic byla posouzena s využitím elektronového skenovacího mikroskopu. Vzorky  $PM_{10}$  byly odebrány na speciální filtry Millipore z polykarbonátové membrány (Isopore) s velikostí pórů 0,6  $\mu m$  speciálně určené pro elektronovou mikroskopii s dokonale hladkým povrchem s využitím středně objemového vzorkovače LECKEL MVS6 (Sven Leckel Ingenierbüro, Německo) vybavené vstupními hlavicemi pro odběr vzorků frakce  $PM_{10}$ . Polykarbonátové exponované filtry, resp. výseče z nich, byly umístěny na terčičky s oboustranně lepící uhlíkovou páskou a následně pokoveny cca. 25 nm vrstvou zlata (SCD 050, Bal-Tec, Lichtensteinsko). Takto připravené vzorky byly pozorovány a analyzovány skenovacím elektronovým mikroskopem VEGA TS 5136 LSU (Tescan, Česká republika) s energiově – disperzním rentgenovým detektorem (Quantax X – Flash

6/10, Bruker nano, Německo) ve vysokém vakuu (0.02 Pa) s vysokým napětím katody (30 kV). K obrazové analýze byly využívány nízkoenergetické sekundární elektrony emitované z k-orbitalů atomů prvků při interakci vzorku s proudem elektronů. Chemické složení bylo stanoveno na základě emitovaného charakteristického rentgenového záření.

Složení těkavých organických látek bylo měřeno na plynovém chromatografu s hmotnostní detekcí Triple Quadropole Agilent GC/QQQ 7010C s využitím termodesorbéru Agilent 7667A Mini TD (Agilent Technologies, Inc., Německo). Vzorky ovzduší pro tyto účely byly odebírány vždy 30 minut s průtokem 1000 ml za minutu na kovové termodesorpční trubičky Markes s náplní Carbograph 2TD (40/60 mesh) a v laboratoři desorbovány podle teplotního programu na kolonu plynového chromatografu.

## 2.2. Hodnocení výsledků

K základnímu vyhodnocení výsledků, jako je korelační a regresní analýza a analýza rozptylu, bylo použito statistického softwarového balíku QC.Expert (TriloByte, ČR) [1]. Korelací bylo využito při posouzení přítomnosti skupin prvků s podobným průběhem koncentrací v průběhu měření. Analýzou rozptylu (ANOVA) byly porovnány koncentrace prvků v pracovních dnech a o víkendech. Závislost koncentrací jednotlivých prvků a PAU na četnosti větru vanoucího od severu byla ověřena regresní analýzou.

K analýze a zobrazení závislosti znečištění ovzduší na meteorologických podmínkách sloužil OpenSource balík R (R Core Team, Rakousko) [2]. Bylo využito balíčku „openair“, jehož součástí jsou algoritmy pro použité polární grafy. Programového balíku R bylo využito i při clusterové analýze koncentrací prvků.

## 3. Výsledky měření a diskuse

### 3.1. Přehled výsledků

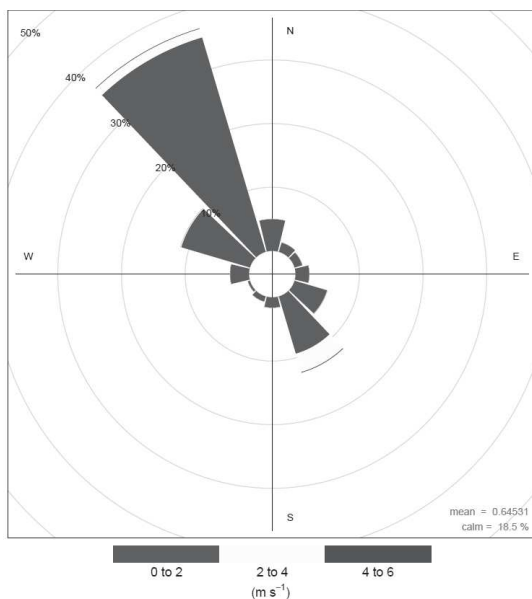
Měření proběhla v období od 13. 4. 2018, 8:00 h do 26. 4. 2018, 7:59 h. Koncentrace oxidů dusíku, CO, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, VOC, teploty, tlaku a relativní vlhkosti byly měřeny v minutových intervalech a byly z nich spočítány 24hodinové průměry vždy od 8:00 h do 7:59 h následujícího dne, aby byly výsledky v souladu s odběry vzorků pevných částic PM<sub>10</sub> pro stanovení prvků a BaP.

V průběhu měření nebyl překročen žádný z imisních limitů podle zákona o ochraně ovzduší 201/2012 Sb. ve znění pozdějších předpisů a vyhlášky o způsobu posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění, rozsahu informování veřejnosti o úrovni znečištění a při smogových situacích 330/2012 Sb. ve znění pozdějších předpisů.

### 3. 2. Analýza dosažených výsledků

Při sledování možných zdrojů znečištění je nutné lokalizovat směry, ze kterých znečištění může na měřenou lokalitu přicházet. Základní informací je větrná růžice pro měřenou lokalitu (obr. 2), kde úhel polárního grafu reprezentuje směr větru a poloměr četnost daného rozmezí rychlosti větru v zobrazené kruhové výseči.

Obr. 2: Větrná růžice pro měřenou lokalitu za celou dobu měření

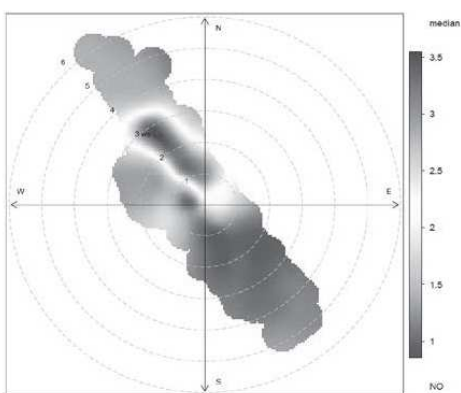


Zdroj: CDV

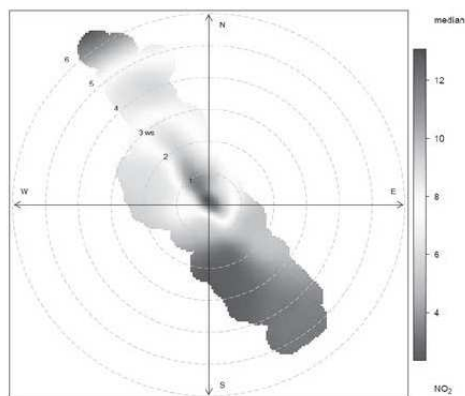
Z analýzy denních variací rychlostí a směrů větru větrných růžic vyplynulo, že během měření převládaly dny s přibližně severozápadním prouděním (přesněji ze směru 330°). Pouze ve dvou dnech, tj. 13. a 15. 4, vanul vítr převážně z opačné strany (150°). 14., 21. a částečně i 17. 4. lze považovat vzdušné proudění spíše za proměnlivé.

K zjištění závislosti znečištění ovzduší na rychlosti a směru větru byly zkonstruovány polární grafy (obr. 3 – 8), kde úhel v polárních souřadnicích reprezentuje stejně jako ve větrné růžici směr větru a poloměr kružnice rychlost větru. Intenzita zbarvení reprezentuje koncentraci škodliviny v  $[\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}]$ .

Obr. 3: Polární koncentrační graf pro NO

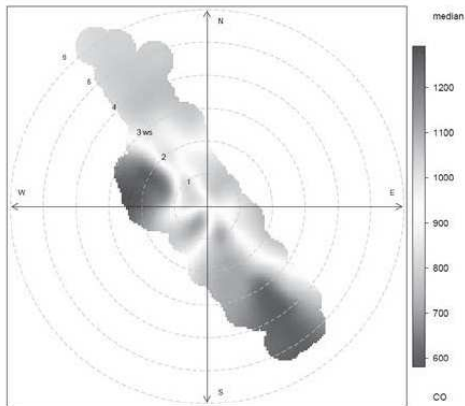
Obr. 4: Polární koncentrační graf pro NO<sub>2</sub>

Zdroj: CDV

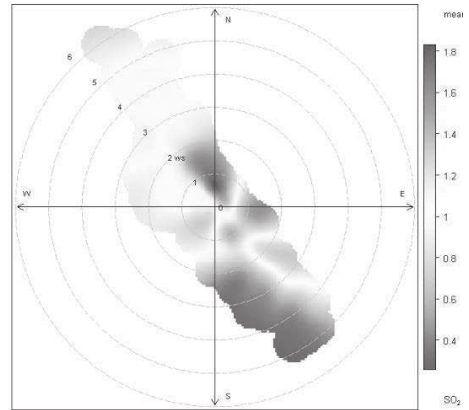


Zdroj: CDV

Obr. 5: Polární koncentrační graf pro CO

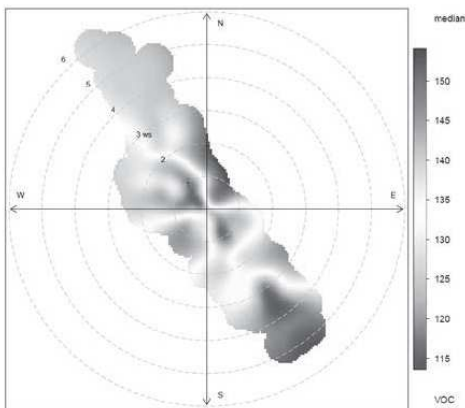


Zdroj: CDV

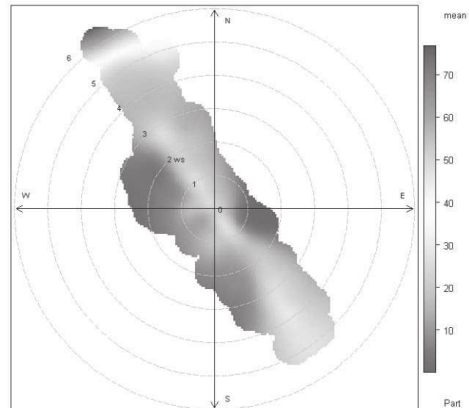
Obr. 6: Polární koncentrační graf pro SO<sub>2</sub>

Zdroj: CDV

Obr. 7: Polární koncentrační graf pro VOC



Zdroj: CDV

Obr. 8: Polární koncentrační graf pro PM<sub>10</sub>

Zdroj: CDV

Z časové analýzy koncentrací škodlivin vyplývá, že hlavním zdrojem oxidů dusíku na lokalitě je doprava. Jejich nejvyšší koncentrace přicházejí na lokalitu ze směru nejbližší komunikace (I55) a zejména v době ranní dopravní špičky mezi 5. až 7. hodinou. S vyššími koncentracemi oxidů dusíku korespondují nižší koncentrace ozónu ve stejných časových úsecích, což opět potvrzuje významný vliv dopravy na znečištění ovzduší na sledované lokalitě. Koncentrace CO nevykazovaly příliš velké rozdíly během měření, mírně vyšší byly v odpoledních hodinách. Jejich zdrojem bylo pravděpodobně lokální vytápění, protože nejvyšší koncentrace přicházejí na lokalitu ze směru od obytné zástavby. Koncentrace SO<sub>2</sub> jsou nejvyšší v době cca od 8 do 15 hodin a přicházejí na lokalitu ze severního směru, kde se nachází průmyslová zóna.

Obě tyto skutečnosti naznačují, že zdrojem by mohly být objekty z průmyslové zóny na sever od lokality. Rozdíly v koncentracích  $\text{SO}_2$  jsou ale minimální a koncentrace samotné jsou hluboko pod imisními limity. Těkavé látky jsou na hranici stanovitelnosti, rozdíly jejich koncentrací jsou minimální, nicméně jejich významnějším zdrojem se jeví s největší pravděpodobností benzinová čerpací stanice v blízkosti lokality. Jednotlivé VOC byly identifikovány pomocí knihovny hmotnostních spekter NIST 14, která je součástí vyhodnocovacího software pro plynový chromatograf s hmotnostním detektorem MassHunter.

Identifikované těkavé látky jsou většinou uhlovodíky (vzorec  $\text{C}_x\text{H}_y$ ), jejichž zdrojem je s největší pravděpodobností benzin. Nejvyšší koncentrace byly zaznamenány u toluenu, xylenu a trimethylbenzenů, ostatní látky jsou v nižších koncentracích. Tetrachlorethylen bývá používán jako průmyslové odmašťovadlo a objevoval se na lokalitě ve stopových koncentracích. Vzhledem ke své stálosti může být ve stopových koncentracích v ovzduší prakticky všudypřítomný. Benzaldehyd může vznikat oxidací toluenu v ovzduší, ale například je také složkou všech destilátů získaných kvašením ovoce a je obsažen v semenech meruněk, broskví, třešní atd.

Pevné částice se dostávají na lokalitu pravděpodobně z více zdrojů, jejich koncentrace byly nejvyšší při nejvyšších rychlostech větru, což nejpravděpodobněji způsobuje resuspenze. Směr a časová závislost naznačují nezanedbatelný podíl dopravy. Pro účely analýzy zdrojů pomocí polárních koncentračních grafů byly použity koncentrace pevných částic měřené nefelometricky přístrojem Airpointer v minutových intervalech. Klasicky měřené koncentrace  $\text{PM}_{10}$  gravimetrickou metodou není možné k tomuto účelu použít.

Další skupinou analyzovaných látek bylo 19 chemických prvků. Žádný z prvků nebo skupin prvků nevykazovaly statisticky významnou souvislost s prouděním vzduchu ze směru průmyslové zóny. K identifikaci možných průmyslových zdrojů byla provedena analýza rozptylu pro všechny prvky. Byla posuzována statistická významnost rozdílů jejich koncentrací v pracovní dny a o víkendech. Tato skutečnost během měření nenastala.

Polycyklické aromatické uhlovodíky se vyskytovaly na měřené lokalitě ve velmi nízkých koncentracích, maximální koncentrace BaP nepřekročila 17 % imisního limitu. Variabilita koncentrací PAU sorbovaných na částicích měla náhodný charakter, během měřeného období nebyla prokázána statisticky významná souvislost s dalšími měřenými parametry.

Důležité pro charakterizaci chování PM, určení jejich zdroje a k posouzení možných zdravotních rizik jsou poznatky o fyzikálních vlastnostech emitovaných částic. Morfologie pak může společně se znalostí složení velmi dobře pomoci při určování zdrojů znečištění ovzduší PM.

Na exponovaných filtrech převládaly ostrohranné částice tvořené převážně křemíkem, hliníkem, vápníkem, hořčíkem, sodíkem nebo i draslíkem, což jsou běžné prvky zemské kůry podílející se na stavbě celé řady horninotvorných minerálů i jílových minerálů obsažených dominantně v půdách. Z toho je možné usuzovat, že zdrojem těchto částic je okolní půda, která se resuspenzí dostává do ovzduší. Dále byly na exponovaných filtrech pozorovány částice pravděpodobně biologického původu v rozměrech blížících se  $10\ \mu\text{m}$  (pylová zrna, spóry) tvořená uhlíkem, fosforem, draslíkem a rovněž agregáty kulovitých částic tvořené výhradně uhlíkem, jejichž původ je pravděpodobně ve spalovacích procesech probíhajících v motorech automobilů.



## 4. Závěr

Výsledky je možné shrnout v tom smyslu, že v průběhu měření se neprokázal významný vliv objektů, nacházejících se v blízkosti měřené lokality, na překračování imisních limitů pro kvalitu ovzduší. Nejvýznamnějším zdrojem, podílejícím se na vyšší koncentrací škodlivin na měřené lokalitě, byla doprava. Významnost ostatních zdrojů byla zanedbatelná.

## Literatura

- [1] KUPKA, K. QC.Expert. Interaktivní statistická analýza dat. Uživatelský manuál. Pardubice, 2010, 310 s.
- [2] R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>

## Poděkování

*Tato práce vznikla jako součást řešení komerční zakázky „Měření kvality ovzduší pro město Břeclav“, financované městským úřadem v Břeclavi.*

## Air quality in the urban environment – Břeclav City

**Jiří Huzlík, Jitka Hegrová, Roman Ličbínský**

*Transport Research Centre*

*Líšeňská 33a, 636 00 Brno*

e-mail: [jiri.huzlik@cdv.cz](mailto:jiri.huzlik@cdv.cz)

## Abstract

From 13 April 2018 8:00 to 26 April 2018 7:59, measurements of the concentrations of selected harmful substances, markers and meteorological parameters were carried out at Stará Břeclav locality, in the garden of house no. 3079. The analysis of the results showed that no air pollution limit values pursuant to the Act on Air Protection 201/2012 Coll. As amended and the Decree on the Method of Assessment and Evaluation of the Level of Pollution, the Scope of Informing the Public about Pollution Level and Smog Situations 330/2012 Coll. as amended. The concentration of 19 specified elements or 18 polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) did not show any significant correlation with meteorological parameters, including the wind direction.

From wind speed and wind direction, rosettes were assembled to indicate that the measured area was out of the direction from the nearest road - 330 ° (I55), the second most frequent direction was the opposite direction - 150 °. From polar concentration graphs for gaseous pollutants (nitrogen oxides, ozone, carbon monoxide, sulfur dioxide and volatile organic compounds and solid particles) sources of pollution were estimated. Transport is the most significant source of air pollution on the measured site, as confirmed by the analyzes of the concentrations of nitrogen oxides. The analysis of the data showed that a possible source of carbon monoxide could be local heating, a VOC source of gasoline station and a source of sulfur dioxide, commercial-industrial objects. In addition to transport, in addition to transport, sources of solid particles could be other objects or activities located on the opposite side of the road, such as agricultural activity or pollen of flowering vegetation. The analysis of solid particles on the electron microscope specified the results of the analysis of polar graphs identifying the sources on both sides of the communication in that the source of particles in the air could be soil particles, exhaust gases from motor vehicles and biological material.

# COPERT 5 - metodika modelování emisí ze silniční dopravy na národní úrovni v ČR

Leoš Pelikán, Milan Brich  
Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.  
Líšeňská 33a, 636 00 Brno  
e-mail: leos.pelikan@cdv.cz

## Abstrakt

Příspěvek popisuje vstupní parametry emisního modelu COPERT 5, který je ve spolupráci s Evropskou agenturou životního prostředí a společností EMISIA vyvíjen pro účely národního reportingu emisí ze silniční dopravy. Jsou popsány možnosti výpočtu emisí a možné typy výstupů. Článek stručně srovnává metodiku i výsledky COPERT 5 s původním modelem CDV, který byl v ČR používán pro účely emisního reportingu ze silniční dopravy do roku 2018. Pro srovnání výsledků byly vybrány oxidy dusíku.

## 1. Úvod

Kontroly Evropské komise (EK) a Evropské agentury životního prostředí - EEA (2012, 2015 a 2017), kterým byla podrobena inventura emisí ze silniční dopravy za ČR v uplynulých letech, konstatovaly, že je nezbytné aktualizovat metodiku výpočtu emisí ze silniční dopravy. Povinnost výpočtu emisí vyplývá z Úmluvy EHK OSN o dálkovém znečišťování ovzduší přesahujícím hranice států (CLRTAP) a nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 525/2013/EU o mechanismu monitorování a vykazování emisí skleníkových plynů a podávání dalších informací na úrovni členských států Unie vztahujících se ke změně klimatu a o zrušení rozhodnutí č. 280/2004/ES. Pro výpočet emisí ze silniční dopravy na celostátní úrovni doporučil expertní tým EEA využití softwaru COPERT (COmputer Programme to calculate Emissions from Road Transport). Na základě dvou projektů placených ze zdrojů Ministerstva dopravy ČR (MD), bylo možné implementovat metodiku COPERT 5 pro výpočet emisí ze silniční dopravy do podmínek ČR. V roce 2017 byly nastaveny metodické postupy pro sběr a zpracování aktivitních dat o vozovém parku v ČR [1]. V roce 2018 pak probíhá nastavení a kalibrace samotného emisního modelu na základě srovnání výsledků s původním modelem Centra dopravního výzkumu, v. v. i. (CDV) a emisemi reportovanými v okolních státech [2].

## 2. Srovnání původního modelu CDV a COPERT 5

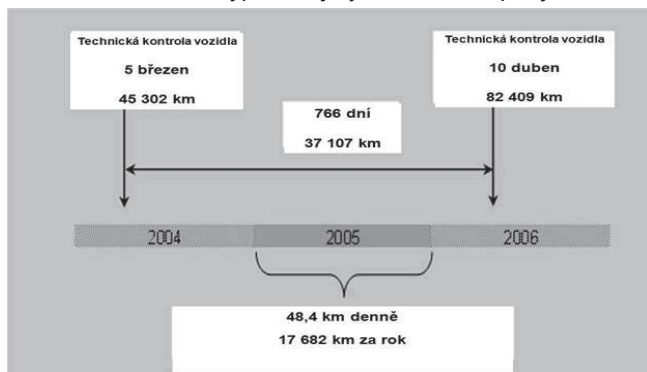
Základním rozdílem COPERT 5 oproti původnímu modelu CDV je, že emise jsou počítány z průměrných ročních proběhů (vozokm/rok) pro 373 kategorií vozidel, zatímco u původního modelu CDV se jednalo pouze o 21 kategorií a emise byly počítány ze spotřeby paliv v rámci jednotlivých kategorií. Hlavní nevýhodou Modelu CDV je, že emisní faktory (EF) ze spotřeby paliv nejsou v evropských ani národních metodikách podrobně propracované (úroveň Tier 1 – viz [3]) a jsou tudíž výrazně méně přesné než EF vázané na proběhy vozidel v COPERT (Tier 3 – viz [3]). Model CDV sdružuje EF pro osobní vozidla (OV) a lehká nákladní vozidla (LNV) a tedy i jejich emise, což je metodicky nedostatečné. Tento problém je implementací COPERT odstraněn. Další slabou stránkou Modelu CDV je výrazně nižší počet kategorií uvažovaných původním modelem a tudíž i menší přesnost výpočtu.

Původní model vychází ze starších databází a studií a tudíž zahrnuje pouze vozidla do emisní normy EURO 3, což rovněž snižuje přesnost výpočtu. COPERT navíc zahrnuje vliv studených startů, výparu z nádrže, více emise z použití klimatizace a spotřeby mazacích olejů atd. Závěrem se pak emise vypočtené v programu COPERT normují na statistickou spotřebu paliv udávanou Českým statistickým úřadem (ČSÚ), čímž je zajištěna logická provázanost emisí s daty o spotřebě předávaných ČSÚ evropským orgánům, a emisní inventura ze silniční dopravy za ČR je tedy jen těžko napadnutelná.

### 3. Vstupní data

Aktivitní data - 373 kategoriích vozidel definovaných podle kategorie vozidla, paliva, objemu motoru, hmotnosti vozu a euro standardu. Naplnění vstupní databáze aktivitních dat vozidel v ČR vstupujících do výpočtu emisí prostřednictvím COPERT 5 vychází z kombinace údajů o technických parametrech vozidla exportovaných z registru silničních vozidel (RSV) a údajů z Centrálního informačního systému stanic technické kontroly (CIS STK), které definují chování (roční proběhy jednotlivých vozidel). Po získání informací o každém jednotlivém vozidle jsou údaje o jejich ročním proběhu zprůměrovány do výše zmíněných 373 kategorií (definovány technickými parametry vozidla viz odrážky výše v této kapitole). Do výpočtu vstupuje jak údaj o počtu vozidel v dané kategorii, tak i průměrný roční proběh vozidla dané kategorie (km/rok).

Obrázek 1: Příklad výpočtu ujetých kilometrů pro jedno vozidlo v roce 2005



Způsob výpočtu ročního proběhu statistického vzorku silničních motorových vozidel ve sledovaném roce podrobně popisuje „Metodika výpočtu dopravního výkonu z údajů technických kontrol“, která vychází z projektu podpořeného Technologickou agenturou ČR [4]. Jestliže je provoz vozidla během roku neměnný, poskytuje výpočet ročního provozu vozidla na výše uvedeném obr. 1 správný odhad. Výsledky aktivitních dat lze považovat jako předběžné vždy 4 roky zpětně, tedy v roce 2018 jsou předběžné výsledky pro roky 2014 - 2017. Je to způsobeno tím, že nová vozidla v soukromém vlastnictví jdou na STK až po 4 letech (referentská po 2 letech a vybraná vozidla už po 1 roce) viz § 40 „Pravidelné technické prohlídky“ zákona 56/2001 Sb. Tento jev vede k tomu, že při rekalkulacích v následujících letech se průměrné proběhy v dané kategorii mírně snižují, protože k STK přistupují nová vozidla v soukromém vlastnictví, která nemají tak velký roční proběh jako referentská vozidla. Procento pokrytí vozového parku kontrolami STK čtyři roky zpětně s každými aktualizovanými údaji výrazně narůstá.

Klimatické ukazatele - průměrné měsíční údaje o minimální a maximální teplotě a relativní vlhkosti vzduchu.

Ukazatele charakteristického chování vozidel v dané kategorii – délka a trvání jízdy, rychlost a podíl jízdy ve městě, mimo město a na dálnici.

Technické parametry vozidel – velikost nádrže, podíl přímého a nepřímého vstřikování, u těžkých nákladních vozidel (TNV) počet náprav, zařízení pro snižování emisí (GDI, DPF, SCR....).

Vlastnosti paliv - podíl výparu z nádrže, průměrná těkavost benzínu, obsah kovů v palivech, hustota a poměr prvků H/C, O/C v palivech.

Další proměnné - průměrný sklon svahu, průměrné naložení vozidel, průměrný podíl použití klimatizace v průběhu jízdy, statistická spotřeba paliv v ČR.

#### 4. Nastavení modelu COPERT 5

V první fázi je v modelu definován kontinent a země, pro který je výpočet tvořen. Dále je třeba vybrat, jestli bude výpočet zaměřen na časovou řadu nebo na jednotlivé regiony hodnoceného státu. Posledním krokem je volba podrobnosti výpočtu. Pro rychlé výpočty, sloužící pouze pro rámcový přehled, je možné využít módu Tier 2 (podrobně viz [3]), který zaručuje operativní výpočet, ale s nižší podrobností. Mód Tier 3 je pak standardní pro finální přesné výpočty a obsahuje velmi podrobné emisní faktory, které zohledňují všechny dostupné proměnné. Před samotným výpočtem je v modelu nutné nastavit další parametry ovlivňující výpočet emisí ze vstupních dat:

Zohlednění technologií pro redukci NO<sub>x</sub> - tato problematika se týká především naftových motorů TNV ale částečně se uplatňuje i u LNV a OV s naftovým motorem. Zohledněnými technologiemi jsou - EGR (Exhaust Gas Recirculation), SCR (Selective Catalytic Reduction) a LNT (Lean NO<sub>x</sub> Trap). Tyto technologie sice snižují emise NO<sub>x</sub>, ale zároveň, v důsledku zvýšení spotřeby paliva (močoviny), zvyšují emise ostatních škodlivin.

Vliv použití klimatizace - v podmínkách ČR bylo uvažováno jednak procento vozidel s klimatizací a jednak její využívání. Hodnoty byly převzaty z hodnot, které uvádí výrobce softwaru EMISIA pro ČR. Používání klimatizace pak úměrně navyšuje spotřebu paliva a tedy i emise znečišťujících látek. Vliv použití klimatizace na spotřebu paliva pak model uvažuje u OV a LNV. U TNV a BUS se vzhledem k výkonu motoru a velikosti spotřeby paliva již vliv klimatizace zanedbává.

Použití Lubrikantů - spalování lubrikantů přimíchávaných do paliva má v COPERT dva zásadní efekty. Zvyšuje emise CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> a emise těžkých kovů. Vyšší hodnoty jsou obvykle typické pro vyšší rychlosti, větší objemy motoru a starší euro normy. Horší EF mají rovněž vozidla s nájezdem vyšším jak 150 000 km (viz [3]). Naftová OV a LNV mají obecně větší nárůst EF pro CO<sub>2</sub> než benzinová. U TNV je nárůst EF jednotný. Autobusy Euro V, EEV (Enhanced environmentally friendly vehicles) a VI pak mají výrazně příznivější EF v porovnání se staršími euro normami. Čtyřtákní motocykly a čtyřkolky s objemem nad 250 cm<sup>3</sup> rovněž minimálně navyšují

EF CO<sub>2</sub> v důsledku spalování lubrikantů v porovnání s motocykly s nižším objemem a počtem taktů.

Vliv kvality paliva - kvalita paliva zohledněná pro výpočet se odvíjí od průměru EU 15, který je uváděn tvůrcem softwaru. Hraničními roky jsou: 1996, 2000, 2005, 2009 a vycházejí ze změn v legislativě EU ohledně obsahu látek v palivech. Zohledněny jsou parametry pro benzín - % objemu benzínu predestilovaného při 100 °C, % objemu benzínu predestilovaného při 150 °C, objemové % aromátů v palivu, objemové % olefinů v palivu, objemové % benzenu v palivu. Pro naftu pak - objemové % síry v palivu, cetanové číslo tj. teplota, kdy se predestiluje 95 % objemu nafty.

Efekt celkového nájezdu vozidla - zohledňuje se jen u OV a LNV formou degračního faktoru a škodlivin NO<sub>x</sub>, CO a VOC. Degrační koeficient se přidává do výpočtu od 50 tis. km celkového nájezdu vozidla a zajišťuje zhoršené emisní chování vlivem postupného opotřebování vozidla. Před tímto nájezdem je naopak využíván faktor pro nová vozidla, který je  $\leq 1$  a s rostoucím nájezdem k 50 tis. km se jedné blíží. Od 50 tis. km je pak použit degrační koeficient  $> 1$ . Jako hranice zhoršování emisního chování je bráno 120 tis. km u vozidel Euro 1, Euro 2 a starších a 160 tis. km od Euro 3 a novějších [3].

Práce s nástrojem „Fuel balance“ - využití nástroje Fuel balance (FB), pro normalizaci celkové spotřeby paliva vypočtené na základě aktivních dat na statistickou spotřebu. V první fázi je vypočtena spotřeba paliv v silniční dopravě na základě reálných dopravních výkonů v daném roce. Následně se zhodnotí rozdíly mezi modelem vypočtenou spotřebou paliv ze silniční dopravy jako celku a statistickou spotřebou paliv udávanou ČSÚ. Pokud jsou rozdíly vyšší jak  $\pm 5\%$ , je dobrá spotřeba normalizována statistickou spotřebou dodanou ČSÚ. K tomu nabízí COPERT 5 samostatný nástroj FB, který přepočítá dopravní výkony ve všech kategoriích a díky tomu je upravena spotřeba tak, aby rámcově odpovídala spotřebě statistické. Dopravní výkony jsou přepočítány poměrově, aby byl zachován stejný podíl vozokilometrů v každé kategorii, jako byl před úpravou FB.

Nástroj FB sice vnáší určitou míru nepřesnosti do vypočtených emisí, ale zároveň zajišťuje souvztažnost k celkové spotřebě paliv udávané ČSÚ, což je důležité pro srovnání výsledků v rámci mezinárodních statistik. Tento úkon je nutné provést, protože spotřeba paliva za reálné jízdy je ovlivněna mnoha faktory, které model zahrnuje jen velmi okrajově a parametrizovaně. Jedná se především o sklon komunikace, plynulost jízdy, styl jízdy samotného řidiče, rychlost jízdy a povětrnostní podmínky. Oprava dopravních výkonů nástrojem FB je pak pouze přiblížením modelové spotřeby paliva k realitě a tím pádem eliminací nepřesností způsobených výše uvedenými faktory. Z pohledu modelování je to jediná možnost jak zajistit porovnatelnost národních statistik. Z výše uvedených důvodů je však pro interpretaci aktivních dat nutné vždy používat reálná data vypočtená na základě údajů z RSV a STK.

## 5. Výstupy z COPERT

Spotřeba paliva – závisí na typu provozu (městský, mimoměstský, dálnice), sklonu svahu, naložení vozidla, průměrné rychlosti a empirických koeficientech.

Emise ze zahřátých motorů – závisí na počtu vozidel v dané kategorii, celkovém proběhu dané kategorie, emisním faktoru (g/km), typ škodliviny.

Emise ze studených startů – závisí na podílu kilometrů najetých se studeným motorem, počtu vozidel v dané kategorii, celkovém proběhu dané kategorie, emisním faktoru pro zahřátý motor a poměru emisní ze studených startů vůči emisím ze zahřátého motoru.

Emise škodlivin z výparu – relevantní pro těkavé látky. Tyto emise závisí především na tlaku par v nádrži a obsahu etanolu v palivu. Dalším činitelem jsou pak konstrukční parametry vozidla jako velikost nádrže, množství a kvalita aktivního uhlíku v nádrže pohlcujícího výparu z nádrže a čistící strategie aplikovaná v daném vozidle. V neposlední řadě závisí výpar z nádrže na struktuře aktivity vozidla - tedy délce stání, ujeté vzdálenosti a také okolní teplotě.

Emise z použití klimatizace – relevantní po všechny škodliviny. Korekční faktor navyšuje spotřebu paliva tak, aby zohlednil navýšení emisí v důsledku použití klimatizace v automobilech.

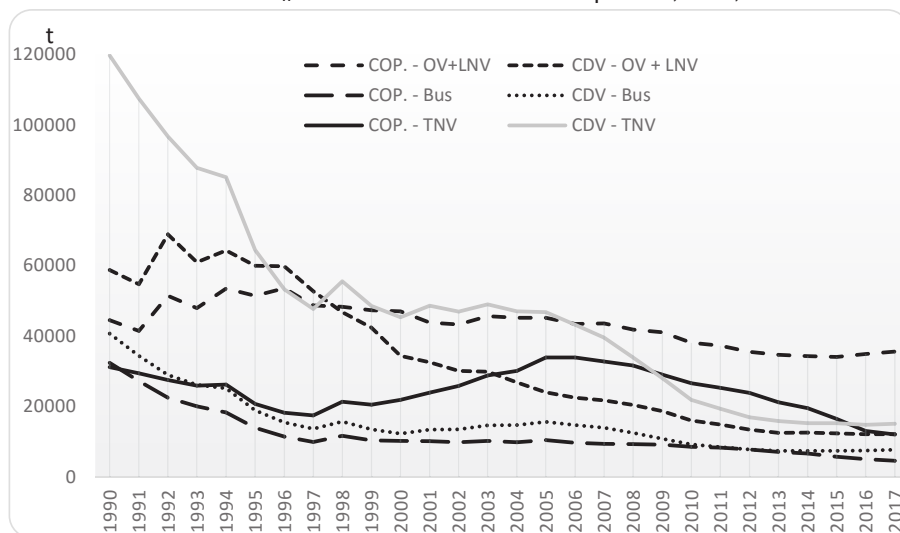
Efekt spotřeby mazacích olejů – při výpočtu lze zohlednit navýšení emisí CO<sub>2</sub> v důsledku spotřeby mazacích olejů. Je funkcí ujeté vzdálenosti. Procento spotřeby mazacího oleje.

Otěry brzd, pneumatik a vozovky.

## **6. Výsledky a jejich porovnání s původním modelem CDV**

V tomto článku byly pro porovnání výsledků mezi původním modelem CDV a modelem COPERT 5 vybrány oxidy dusíku (NO<sub>x</sub>), na jejichž celkových emisích se doprava v ČR, ve srovnání s ostatními sektory, podílela velmi významně a to cca 21 % v roce 2016 (viz [5]).

Emise NO<sub>x</sub> jsou ovlivněny především odlišnými EF obou modelů a rozdílnou modelovou skladbou VP. Ve srovnání jsou emise OV a LNV sloučeny, protože model CDV neumožňoval jejich rozlišení – na rozdíl od programu COPERT. Z obr. 2 je patrné, že model CDV vykazuje rychlejší poklesový trend u všech kategorií, s výjimkou BUS, kde je trend přibližně srovnatelný. Pokles je rychlejší i přes to, že COPERT počítá s technologiemi pro redukci NO<sub>x</sub> - viz výše. Na tomto je vidět jak velkou roli hrají v modelech rozdíly v EF a dynamické skladbě VP. U osobních vozidel jsou emise NO<sub>x</sub> podle COPERT zhruba o 20 % nižší v roce 1990 a v roce 2017 naopak cca o 90 % vyšší v porovnání s modelem CDV. TNV mají pak podle COPERT v roce 1990 emise NO<sub>x</sub> o 70 % nižší a v roce 2017 přibližně srovnatelné s modelem CDV. V letech 2010 – 2014 vykazuje model CDV nižší emise.

Obrázek 2 Srovnání emisí NO<sub>x</sub> z modelu COPERT a CDV pro OV, LNV, TNV a BUS

## 7. Závěr

Jak je vidět z porovnání výsledků a popisu metodiky, program COPERT je komplexním nástrojem pro modelování emisí na národní úrovni a zahrnuje všechny podstatné proměnné v tomto měřítku. Vychází z rozsáhlých databází shromážděných společností EMISIA za podpory EEA a částečně zohledňuje i vliv reálného provozu. Důležitým vstupem jsou dopravní výkony vozidel, které jen částečně postihují dopravní výkony zahraničních vozidel v ČR. Jinak se jedná o velmi komplexní databázi vzniklou kombinací RSV a CIS STK.

Emise NO<sub>x</sub> vykazují v modelu COPERT pomalejší poklesový trend a proto je časté, že v roce 1990 jsou emise nižší, v porovnání s model CDV, a v posledních letech pak ztlačně vyšší. Toto je způsobeno hodnotami EF. Tato změna trendu mezi modely je důležitá při vstupech do prognóz a národní strategických dokumentů.

Díky zavedení programu COPERT bude poprvé po několika letech zajištěno splnění požadavků vyplývajících z Úmluvy EHK OSN o dálkovém znečišťování ovzduší přesahujícím hranice států (CLRTAP) a nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 525/2013/EU o mechanismu monitorování a vykazování emisí skleníkových plynů a podávání dalších informací na úrovni členských států Unie vztahujících se ke změně klimatu a o zrušení rozhodnutí č. 280/2004/ES.

## Literatura

- [1] PELIKÁN L., BRICH M. et al. (2017): Nastavení metodických postupů pro sběr a zpracování aktivních dat o vozovém parku v ČR. CDV. Brno. 73 s.
- [2] PELIKÁN L., BRICH M. (2018): Zavedení programu COPERT 5 pro výpočet emisí ze silniční dopravy v České republice – průběžná zpráva. CDV. Brno. 71 s.
- [3] EEA (2016): EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016. European Environment Agency. Luxemburg.
- [4] BRICH M. et al. (2014): Metodika výpočtu dopravního výkonu z údajů technických. CDV. Brno.
- [5] PALIČKOVÁ et al. (2017): Ročenka „Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2016“. ČHMÚ. Praha.

## **COPERT 5 – methodology for emission modelling from road transport on national level in CZ**

**Leoš Pelikán, Milan Brich**

*Transport Research Centre*

*Líšeňská 33a, 636 00 Brno*

e-mail: leos.pelikan@cdv.cz

### **Abstract**

The paper describes the input parameters of the COPERT 5 emission model developed in cooperation with the European Environment Agency and EMISIA for the purposes of national reporting of road transport emissions. The options for calculating emissions and possible types of outputs are described. The article briefly compares the methodology and results of COPERT 5 with the original CDV model, which was used in the Czech Republic for the purpose of emission reporting from road transport until 2018. Nitrogen oxides were selected to compare the results.





# ŠÍŘENÍ ZNEČIŠŤUJÍCÍCH LÁTEK V OVZDUŠÍ V OKOLÍ DOPRAVNÍCH KOMUNIKACÍ (PROJEKT DOPRAVA)

Lenka Janatová, Jan Sládeček, Lea Paličková, Lucie Školoudová, kolektiv ISKO  
Český hydrometeorologický ústav  
Na Šabatce 17, 143 06 Praha  
e-mail: janatova@chmi.cz

## 1. Abstrakt

ČHMÚ, Odbor ochrany čistoty ovzduší zpracoval interní projekt, jehož cílem bylo proměřit gradient koncentrací znečišťujících látek v okolí dálnice/frekventované komunikace v otevřené krajině (tzn. žádné hlukové bariéry, minimum nebo lépe žádná vzrostlá vegetace a zástavba). Náplň a cíle projektu schválili odborní pracovníci Ministerstva životního prostředí ČR. Cílem bylo změřit a posoudit možný vliv pražského okruhu (SOKP) na kvalitu ovzduší v okolí komunikace a na pozadových lokalitách vybraných obcí.

V rámci čtyř čtrnáctidenních kampaní během jednotlivých ročních období byl proměřen gradient koncentrací látek, které jsou významně produkovány silniční dopravou. Sledované látky: NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> a benzo[a]pyren.

Časový harmonogram jednotlivých měřících kampaní:

1. jarní kampaň 30. 3. - 13. 4. 2016
2. letní kampaň 15. 6. - 29. 6. 2016
3. podzimní kampaň 11. 11. - 25. 11. 2016
4. zimní kampaň 12. 1. - 26. 1. 2017

V rámci projektu Doprava byly vybrány čtyři lokality u SOKP severně od obce Modletice. První měřící místo bylo zvoleno přímo u vozovky SOKP (označeno Modletice hot spot), druhé u příjezdu k podchodu ve vzdálenosti asi 30 m od SOKP (Modletice 30m), třetí a čtvrtá lokalita na vyvýšeném náspu přibližně 40 m a 60 m od SOKP (Modletice 40m a Modletice 60m). Měření v blízkosti komunikace bylo doplněno měřením znečišťujících látek na třech pozadových lokalitách v obcích Herink, Modletice a Dobřejovice.

Kontinuální měření znečišťujících látek PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NO a O<sub>3</sub> bylo zajištěno stacionárními automatizovanými stanicemi a měřícími vozy. Měření probíhalo kontinuálně současně na všech sedmi vytipovaných lokalitách. Na automatizovaných stanicích byl určitý přesah měření, začalo se měřit o několik dní dříve a končilo později. Manuální měření znečišťujících látek PM<sub>2,5</sub> (každý den) a PAH (jednou za tři dny) bylo zajištěno vzorkovači, které byly umístěny vedle stacionárních stanic a měřících vozů. Na manuálních stanicích proběhlo měření podle časového harmonogramu současně na všech sedmi vytipovaných místech.

Výsledné koncentrace znečišťujících látek naměřené během čtyř kampaní jsou porovnány s imisními limity pro ochranu zdraví lidí (v případě NO<sub>x</sub> i pro ochranu ekosystémů a vegetace) dle zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší. Vzhledem ke skutečnosti, že tyto limity jsou stanoveny k celému roku, bylo by pro přesné porovnání potřebné provést měření v každé lokalitě celoročně. Jelikož je však celoroční měření finančně nákladné, byla zvolena varianta indikativního měření v minimálním rozsahu, které ještě legislativa považuje za postačující. Průměrné koncentrace znečišťujících látek za všechna čtyři měřená období jsou porovnány s ročním imisním limitem.

Na čtyřech dopravních lokalitách u SOKP: Modletice hot spot, Modletice 30m, Modletice 40m a Modletice 60m došlo za období čtvrté měřící kampaně k překročení

hodnoty imisního limitu pro ochranu zdraví lidí u PM<sub>10</sub> a NO<sub>2</sub>. Na těchto lokalitách u SOKP byla v průběhu čtvrté kampaně vícenásobně překročena hodnota 24hod. imisního limitu PM<sub>10</sub>. Během první kampaně byla tato limitní hodnota PM<sub>10</sub> překročena pouze u třech stanic: Modletice hot spot, Modletice 40m a Modletice 60m. Na všech čtyřech lokalitách u SOKP nebyla překročena hodnota ročního imisního limitu PM<sub>10</sub> a NO<sub>2</sub> vztažená k průměru za všechna měřená období.

Nejvyšší hodnoty znečišťujících látek PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> a NO byly v průběhu všech čtyř kampaní naměřeny na lokalitě Modletice hot spot. Na tomto místě došlo k nejvyššímu počtu překročení hodnoty imisního limitu pro 24hod. koncentraci PM<sub>10</sub>, a to třináctkrát za období všech čtyř kampaní. Nejvyšší maximální 24hod. koncentrace PM<sub>10</sub> (147,3 µg·m<sup>-3</sup>) byla zaznamenána na lokalitě Modletice hot spot dne 20. 1. 2017. V tomto dni byla naměřena 24hod. maxima PM<sub>10</sub> na všech lokalitách.

Maximální hodinová koncentrace NO<sub>2</sub> dosáhla na lokalitě Modletice hot spot hodnoty 141,9 µg·m<sup>-3</sup>, tj. téměř tři čtvrtiny hodnoty imisního limitu 200 µg·m<sup>-3</sup>.

Vysoké koncentrace NO<sub>x</sub> a NO na lokalitě Modletice hot spot odpovídají dopravnímu zatížení. Koncentrace NO<sub>x</sub> přesahovaly na této stanici hodnotu imisního limitu pro ochranu ekosystémů a vegetace ve všech čtyřech kampaních. Na ostatních třech lokalitách u SOKP došlo k překročení této limitní hodnoty NO<sub>x</sub> v první, třetí a čtvrté kampani.

Dvěma mobilními měřicími vozy byla během čtyř kampaní měřena také doprovodná meteorologická data. Teplota dosahovala od 34 °C (24. června 2016) až do -14 °C (19. ledna 2017). Během všech kampaní převažoval mírný vítr, s maximálními nárazy v lednu 2017 až 11 m·s<sup>-1</sup>. Průměrná rychlost větru byla 3 m·s<sup>-1</sup>. Směr proudění byl proměnlivý, převažovaly spíše západní směry větru.

Zhoršené meteorologické a rozptylové podmínky byly příčinou vysokých koncentrací PM<sub>10</sub> v druhé polovině ledna, během čtvrté kampaně, a vedly až k vyhlášení smogové situace a regulace.

Průměrné koncentrace PM<sub>2,5</sub> za všechny čtyři měřicí kampaně nepřesáhly roční imisní limit na všech sledovaných lokalitách, nejvyšší hodnota 20,3 µg·m<sup>-3</sup> byla naměřena na stanici Modletice hot spot. Koncentrace benzo[a]pyrenu v průměru za čtyři kampaně překročily roční imisní limit na všech těchto lokalitách.

Naměřené hodnoty mají velký potenciál využití a výsledky zde prezentované nejsou zdaleka jediné. Výsledky byly zpracovány v dalších odborných zprávách, na nichž se podíleli i další odborní pracovníci ČHMÚ OČO.

# Černé ovce – detekování vozidel, která nadměrně znečišťují emisemi tuhých částic za použití vzdáleného měření

Jan Skácel<sup>1</sup>, Michal Vojtišek<sup>1</sup>, Vít Beránek<sup>1</sup>, Martin Pechout<sup>2</sup>

<sup>1</sup>České vysoké učení technické Praha

Centrum vozidel udržitelné mobility Josefa Božka

Technická 4, 166 07 Praha 6

<sup>2</sup>Česká zemědělská univerzita v Praze

Katedra vozidel a pozemní dopravy, technická fakulta

Kamýcká 129, 165 00 Praha 6

e-mail: jan.skacel@fs.cvut.cz, pechout@tf.czu.cz

## Abstrakt

Emise výfukových plynů, především emise jemných prachových částic ( $PM_{2.5}$ ), patří mezi největší environmentální rizikové faktory pro lidské zdraví. Každoročně v Evropě zemře předčasně 428 000 lidí, právě na následky znečištění  $PM_{2.5}$ . Přitom doprava je hlavní zdroj znečištění  $PM_{2.5}$  v městských lokalitách, největší podíl mají dieselové motory. Navzdory přísné legislativě, která již v roce 2011 s emisní normou EURO 5B, jejíž splnění vyžadovalo filtry pevných částic pro všechna nová dieselová vozidla, emise  $PM_{2.5}$  nevykazují znatelné snížení.

Pravidelné technické kontroly na stanici měření emisí (SME) jsou do značné míry neefektivní – díky zastaralé metodice, benevolentním limitům a řadou možností jak kontrolu obejít.

Špatný stav ovzduší vede některá města k přijímání krajních opatření, včetně omezení vjezdu vozidel.

Cílem této studie bylo pokusit se nalézt vozidla s nadměrnými emisemi částic bez nutnosti je zastavit. Během října 2017 byly na dvou místech v Praze provedeny odběry výfukových plynů projíždějících vozidel. Zároveň byla zaznamenána registrační značka vozidla. Změřená emisní data byla vyhodnocena a porovnána s technickými údaji z registru vozidel. Z výsledků vyplývá, že pouze malé procento vozidel má velký podíl na celkových emisích částic- 5 % vozidel ~ 50 % emisí částic (10 % ~ 75 %). V Praze jezdí velký podíl dieselových vozidel – 2 ze 3, polovina dieselů (tj. třetina všech vozidel) má být vybavena filtrem pevných částic DPF. Jen asi 9 % vozidel má vadný DPF, podstatným zdrojem emisí částic jsou také starší vozy, zejména ty ve špatném technickém stavu.

Doplňující měření proběhlo v květnu 2018 v Trutnově za účasti Policie ČR. Při tomto měření byly emise projíždějících vozidel zpracovány online a byla předvybrána podezřelá vozidla, která byla následně podrobena silniční technické kontrole za účasti Policie. Ze 700 vozidel bylo vybráno 28, 12 z nich neprošlo silniční kontrolou a byly odeslány na SME, kde 9 vozidel bylo shledáno nevyhovujícími s vysokým překročením limitu kouřivosti v řádu 3 - 10 krát.

Výsledky studie ukazují, že účinným a rychlým opatřením k okamžitému zlepšení ovzduší měst by mohlo být odstranění malého procenta emisně nejhorších vozidel – těch ve velmi špatném technickém stavu. Taková vozidla by měla být opravena nebo trvale vyřazena.

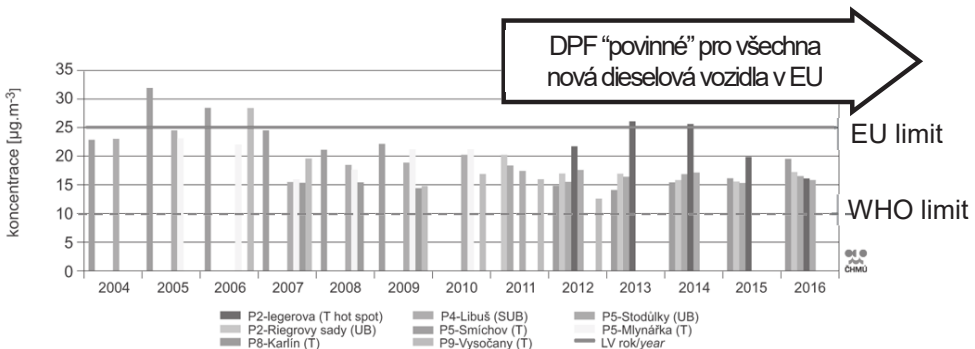
## 1. Úvod a motivace

Emise jemných prachových částic do velikosti  $2,5 \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2,5}$ ), patří mezi největší environmentální rizikové faktory pro lidské zdraví. Podle nejnovější zprávy Světové zdravotnické organizace (WHO) zemře ve světě ročně 4.2 milionu lidí na následky znečištění venkovního vzduchu částicemi [1].

Evropa není v tomto ohledu výjimkou – podle Evropské agentury pro životní prostředí zemře předčasně v Evropě na následky znečištění  $\text{PM}_{2,5}$  každý rok 428 000 lidí, zdaleka největší počet způsobený znečištěním vzduchu [2].

Hlavní zdroj znečištění  $\text{PM}_{2,5}$  v městských lokalitách je doprava, největší podíl mají dieselové motory. ČHMU uvádí, že doprava se v Praze podílí 60 % na emisích tuhých látek [3]. Bohužel se ukazuje, že navzdory přísné legislativě, která již v roce 2011 s emisní normou EURO 5B, jejíž splnění vyžadovalo filtry pevných částic pro všechna nová dieselová vozidla, emise  $\text{PM}_{2,5}$  nevykazují znatelné snížení. To vyplývá například z dlouhodobého měření Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMU) v Praze [3], viz obr. 1. Špatný stav ovzduší vede některá města k přijímání krajních opatření, včetně omezení vjezdu vozidel.

Obr. 1. Měřené hodnoty průměrných ročních koncentrací  $\text{PM}_{2,5}$ , aglomerace Praha, 2004 - 2016



Zdroj ČHMU [3]

Pravidelné technické kontroly na stanici měření emisí (SME) jsou do značné míry neefektivní – díky zastaralé metodice, benevolentním limitům a řadou možností jak kontrolu obejít [4].

Cílem této práce je zjistit stav emisí pevných částic přímo v městském provozu, stanovení příspěvků jednotlivých vozidel bez nutnosti jejich zastavení a nalezení nadměrně znečišťujících vozidel. Emisní stopu dále porovnat s technickými parametry vozidel, zejména pak se stářím vozidla a jeho emisní normou, přítomností filtru pevných částic (DPF) a posoudit technický stav vozidla.

## 2. Postup měření a výsledky

### 2.1. Pilotní studie měření za provozu v Praze

Hlavním požadavkem studie bylo vyhodnocení emisí vozidel v reálném provozu bez nutnosti jejich zastavení. K tomu bylo potřeba najít způsob vzdáleně změřit koncentrace emisí částic. Pro výpočet měrných emisí na litr paliva bylo také třeba změřit koncentraci plyných emisí, zejména  $\text{CO}_2$ . K posouzení technického stavu bylo též třeba zjistit technické parametry vozidel. K tomu bylo třeba zaznamenat registrační značky vozidel a na jejich základě získat technická data z registru vozidel.

Pro tento experiment byla sestavena měřící aparatura, založená na odběru vzorku výfukového oblaku projíždějících vozidel vzorkovací sondou umístěnou u okraje vozovky, co nejbližže projíždějícím vozidlům, viz obr. 2. Odebraný vzorek výfukových plynů byl analyzován rychlými laboratorními přístroji a byla vyhodnocena koncentrace pevných částic dle počtu (PN) i hmotnosti (PM), plynné emise  $\text{NO}_x$ , CO a  $\text{CO}_2$ .

Obr. 2. Měření emisí částic projíždějících vozidel vzdáleným odběrem vzorku výfukového oblaku



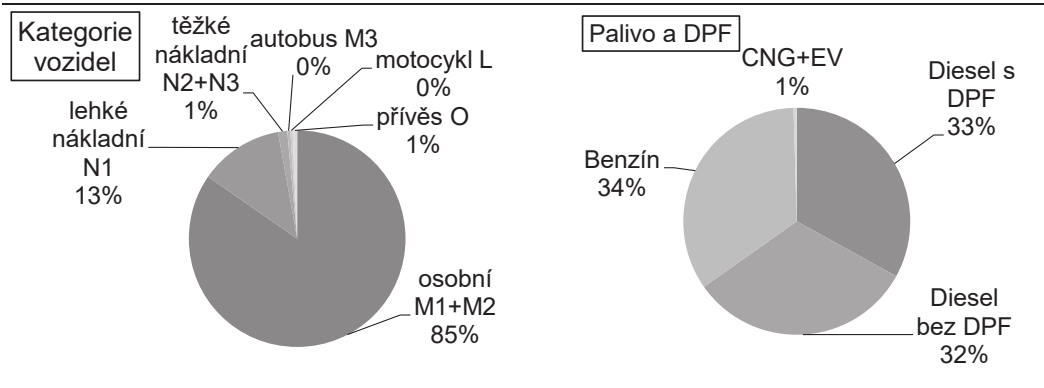
Měření emisí bylo doplněno sadou kamer k zaznamenání registračních značek a radarem pro záznam rychlosti vozidel.

Během října 2017 byly v Praze provedeny odběry výfukových plynů projíždějících vozidel na dvou místech – nájezd na Hlávkův most od nábř. Kpt. Jaroše ve směru k Muzeu a nájezd z Povltavské ulice na ulici V Holešovičkách ve směru z centra. Změřená emisní data byla vyhodnocena a porovnána s technickými údaji z registru vozidel. Bylo zaznamenáno celkem 26,000 vozidel, téměř 25,000 bylo vyčteno z registru s technickými daty k vozidlu.

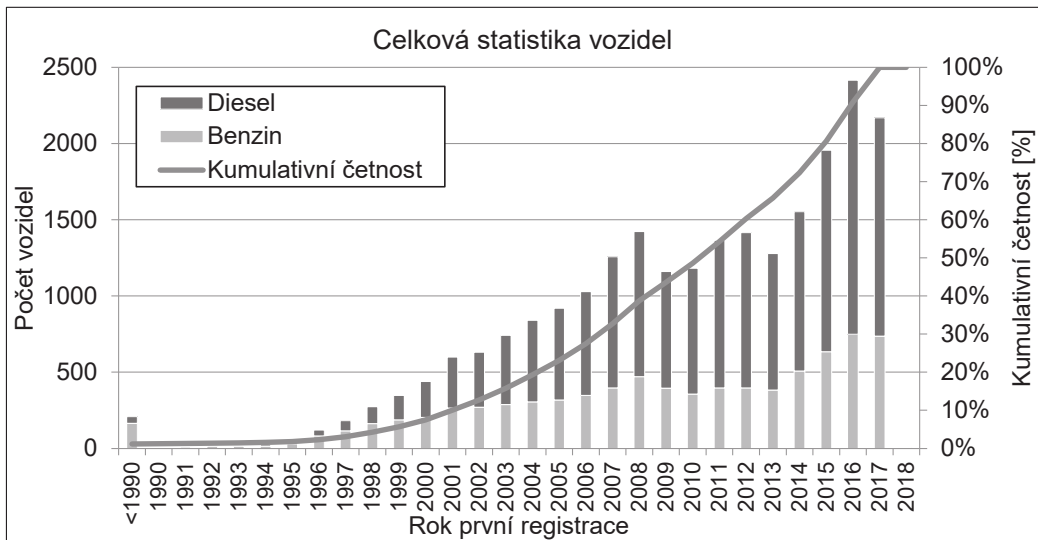
Z technických dat zaznamenaných vozidel vyplývají tato zjištění: drtivá většina vozidel (98 %) jsou osobní (M1) nebo lehká užitková (N1), třetina vozidel jsou zážehová, dvě třetiny vznětové, z nichž polovina je vybavena filtrem částic DPF – viz obr. 3. Z data první registrace vyplývá, že vozový park je velmi mladý – 30 % vozidel je mladší než 3 roky, 50 % vozidel je mladší než 7 let – viz obr. 4. Je patrný pokles prodeje vlivem finanční krize v r. 2008 i pokles podílů dieselů po roce 2016.

Rozdělení stáří vozidel odpovídá i emisní třída vozidel – téměř 60% vozidel splňuje normu Euro 5 nebo Euro 6 – viz obr. 5.

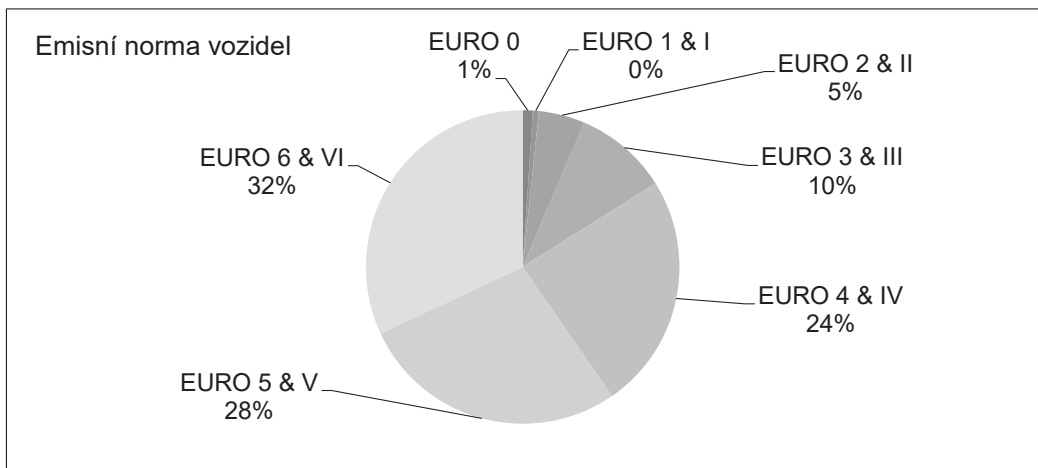
Obr. 3. Dynamické složení vozidel v Praze – kategorie vozidel a palivo



Obr. 4. Četnost vozidel podle roku první registrace a paliva, kumulativní četnost



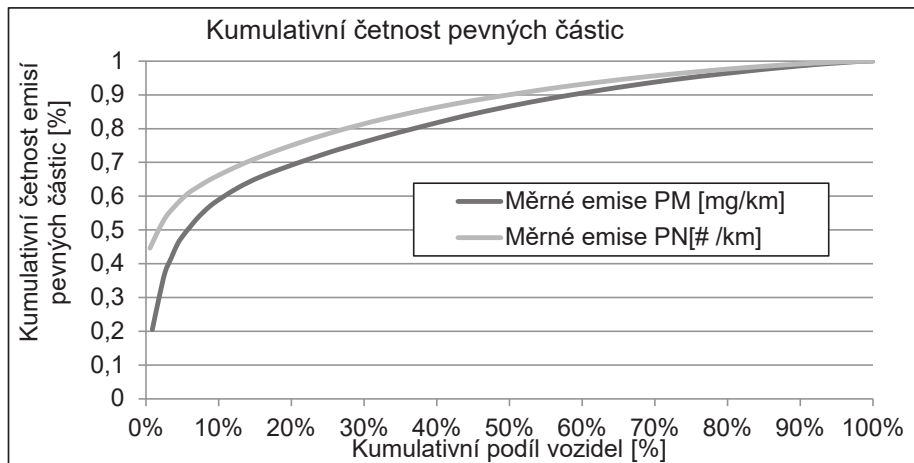
Obr. 5. Rozdělení vozidel podle jejich emisní normy



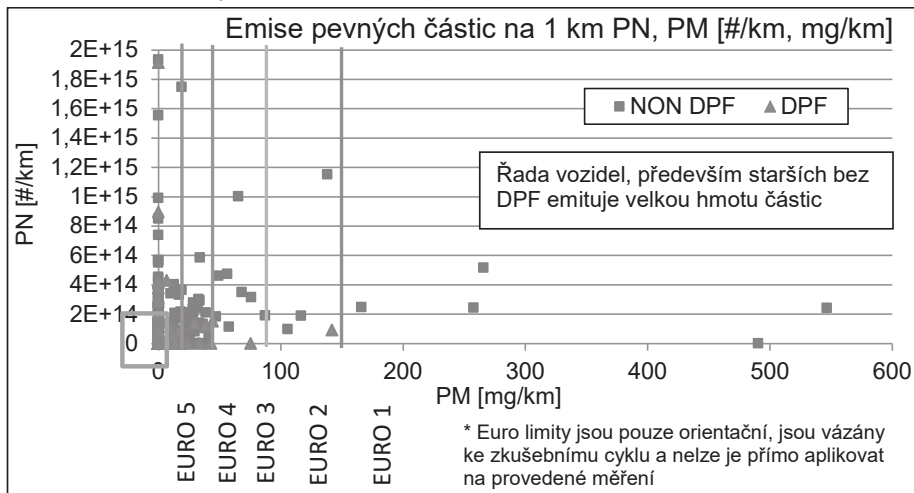
Při analýze dat se ukázalo, že největší úskalí popsané metody je jednoznačné přiřazení vozidla a jeho emisní stopy, zejména v hustém provozu. Problém vytváří proměnlivá prodleva mezi průjezdem vozidla a detekcí jeho emisí na měřicí sondě – způsobená polohou výfuku na vozidle, vzdáleností vozidla od sondy, uspořádání vozidel – sólo nebo kolona apod. Soubor vozidel s možností přiřazení změřených dat byl tak menší, okolo 2,000. Z těchto vozidel mělo měřitelnou emisní stopu pouze 496 vozidel (25 %) – zbytek byl příliš naředěn nebo pod detekčním limitem analyzátorů.

Klíčové zjištění z naměřených dat je velká nerovnoměrnost emisí – 5 % největších znečišťovatelů generuje 50 % emisí pevných částic (co do počtu PN i hmotnosti PM), viz obr. 6. Podobný závěr plyne i z emisí částic na 1 km, vypočtený ze spotřeby paliva daného vozidla a jeho změřené měrné emise částic na 1 litr paliva, viz obr. 7. Je zřejmé, že několik extrémně znečišťujících vozidel významně zhoršují výsledek a že jde převážně o starší vozidla bez DPF. Jen asi 9 % vozidel vybavených DPF jej má nefunkční.

Obr. 6. Kumulativní četnost emisí pevných částic od nejvíce po nejméně emitující voz.



Obr. 7. Emise pevných částic na 1 km podle počtu PN a hmotnosti PM



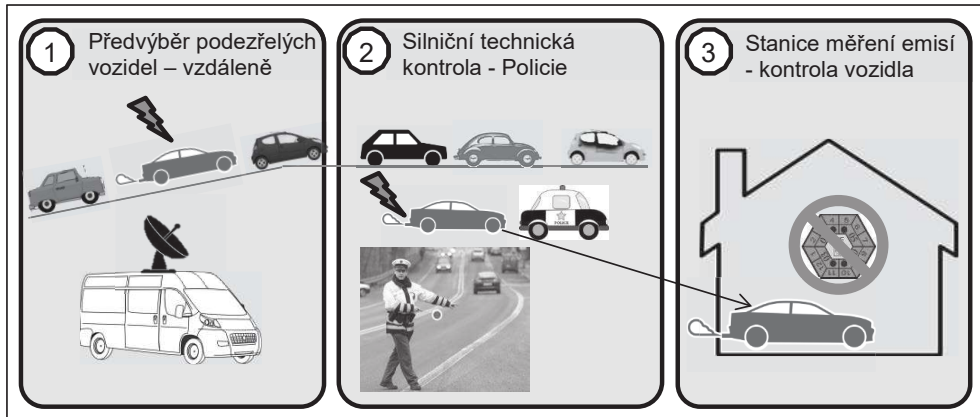


## 2.2. Vzdálené měření při silniční kontrole – Trutnov

Možnosti vzdáleného měření emisí pevných částic přímo v provozu bylo využito také při pokusu identifikovat, usvědčit a postihnout nadměrně znečišťující vozidla přímo na silnici, který se uskutečnil v květnu 2018 ve spolupráci s Ministerstvem životního prostředí, Ministerstvem dopravy a Policií České republiky v Trutnově.

Při pokusu byl použit třífázový výběr nadměrně znečišťujících vozidel s předvýběrem podezřelých vozidel, policejní hlídkou a Stanicí měření emisí (SME), viz obr. 8. Podezřelá projíždějící vozidla, kterých je jen malé procento, byly identifikovány pomocí vzdáleného odběru vzorku výfukových plynů. O těchto vozidlech byla informována policejní hlídka na blízkém stanovišti, která podezřelá vozidla zastavila, identifikovala, zjistila technické údaje a změnila kouřivost staničním opacimetrem metodou volné akcelerace – stejný postup a přístroj jako na SME. Při zřejmém překročení povoleného limitu bylo vozidlo odesláno na blízko SME, kde byla provedena nařízená kontrola emisí.

Obr. 8. Třífázový výběr vozidel s nadměrně znečišťujícími emisemi pevných částic



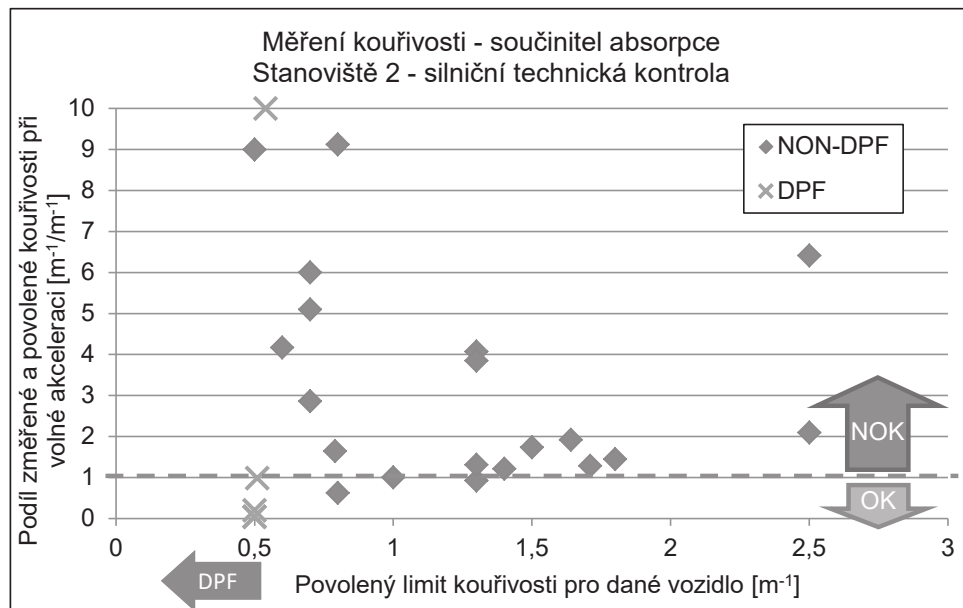
Díky efektivnímu předvýběru na stanovišti 1 se policie mohla soustředit pouze na důvodně podezřelá vozidla a využít tak účelně kapacitu stanoviště silniční kontroly.

Ze 700 vozidel, která projela stanovištěm 1, bylo vybráno 28 pro následnou silniční kontrolu. 12 z těchto 28 vozidel vykázalo opakované významné překročení limitu kouřivosti (součinitel absorpce) pro dané vozidlo a byla odeslána na nedalekou stanici měření emisí. Zde byla vozidla podrobena měření emisí a 9 vozidel bylo shledáno nevyhovujícími s vysokým překročením limitu kouřivosti v řádu 3 - 10 krát. Tato vozidla pozbyla technické způsobilosti s možností opravy a přeměření do 1 měsíce.

Výsledky měření kouřivosti při policejní silniční technické kontrole jsou zobrazeny na obr. 9. Na vodorovné ose jsou povolené hodnoty kouřivosti pro měřené vozidlo, na svislé ose potom podíl změřené a povolené hodnoty kouřivosti. Hodnoty podílu menší než 1 jsou vyhovující, větší než 1 naopak nevyhovující. Je zřejmé, že přestože většina vozidel byla nevyhovující, pouze výrazně překračující vozidla (více než 3 x) byla zaslána na SME. Je také patrné, že většina měřených vozidel byla starší, nevybavená filtrem částic DPF a ve špatném technickém stavu.

Nejvyšší naměřená kouřivost byla  $16 \text{ m}^{-1}$  – u vozidla s povoleným limitem  $2,5 \text{ m}^{-1}$ .

Obr. 9. Výsledky měření kouřivosti na stanovišti 2 – silniční technická kontrola. Poměr změřené a povolené kouřivosti pro dané vozidlo.



### 3. Závěr a hodnocení

Výsledky studie ukazují, že účinným a rychlým opatřením k okamžitému zlepšení ovzduší měst by mohlo být odstranění malého procenta emisně nejhorších vozidel – těch ve velmi špatném technickém stavu. Taková vozidla by měla být opravena nebo trvale vyřazena.

Samotné měření ukázalo možný přístup k efektivní detekci znečišťujících vozidel. Přesto se ukázalo několik omezení. Klíčovou podmínkou k úspěšnému měření je správné přiřazení projíždějícího vozidla dle záznamu kamery a jeho emisní stopy. K tomu je třeba dostatečný odstup jednotlivých vozidel, ideálně 5 s a více.

Vzdálené měření může sloužit i pro předvýběr podezřelých vozidel s on-line vyhodnocením pro následnou silniční technickou kontrolu s měřením kouřivosti.

#### Literatura

- [1] WHO: Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease, ISBN 978 92 4 1511353, 2016
- [2] European Environment Agency. Air quality in Europe — 2017 report, Report No 13/2017, ISSN 1977-8449
- [3] Český hydrometeorologický ústav, grafická ročenka 2016, sekce V.1.1 „Kvalita ovzduší v aglomeraci Praha“, obr. V1.3.
- [4] G. Kadijk, M. Elstgeest, N.E. Ligterink, P.J. van der Mark, Investigation into a Periodic Technical Inspection (PTI) test method to check for presence and proper functioning of Diesel Particulate Filters in light-duty diesel vehicles, zpráva TNO R10530, květen 2017

### **Poděkování**

*Tato práce vznikla jako součást řešení projektu Ministerstva školství ČR - NPU LO1311 a nákup přístrojů z projektu CZ.1.05/2.1.00/19.04.08. Pilotní studie v Praze byla financována Magistrátem hl. m. Prahy. Zapojení autorů do pilotní studie v Trutnově bylo spolufinancováno Ministerstvem životního prostředí.*

## **Black sheep – detecting polluting vehicles on the road using roadside particle measurement**

**Jan Skácel, Michal Vojtíšek, Vít Beránek,**

*Czech Technical University in Prague*

*Technická 4, 166 07 Praha 6*

e-mail: jan.skacel@fs.cvut.cz

**Martin Pechout**

*Czech University of Life Sciences, Prague*

*Kamýcká 129, 165 00 Praha 6*

e-mail: pechout@tf.czu.cz

### **Abstract**

Fine particle air pollution (PM<sub>2.5</sub>) is the most harmful pollutant for human health - every year 428 000 people die prematurely in Europe because of PM<sub>2.5</sub>. Traffic is the main contributor to PM<sub>2.5</sub> pollution in urban areas with diesel engine as main source.

Despite strict regulation since 2011 - EURO 5b - that induced use of diesel particulate filters (DPF) for all new diesel vehicles, PM<sub>2.5</sub> levels do not show notable reduction.

Periodic technical inspection (PTI) proves to be largely ineffective - mild test procedures, obsolete instrumentation, relaxed limits and ways to circumvent it.

Poor air quality leads some cities to extreme measures like limiting or banning vehicles entering them.

Goal of this study is to find highly polluting vehicles from real life traffic and contribution of individual vehicles to particulate matter pollution, and to assess vehicle compliance by comparing measured emission trace with technical data for a given vehicle. For that vehicle number plate is recorded and technical data retrieved from the registry. Study was realized in Prague in two separate locations during October 2017.

A key finding from the analyzed data is the very uneven distribution of emission contribution: 5% highest polluters generate 50% of particulate emissions. There is high percentage of diesel vehicles – 2 out of 3; however half of the diesels are fitted with DPF i.e. 1 out of 3 total. It is also noticeable that most of the extreme polluters are older vehicles in bad technical condition. Only about 9% of the newer, DPF fitted diesels have DPF that is defective.

Additional study was conducted in May 2018 in cooperation with Police and Ministry of Transportation. In this second study the roadside measurement described above was used to pre-select high emitting vehicles for further police roadside technical inspection with the State Police to confirm the suspicion. From 700 passing vehicles, 28 were selected for roadside inspection by Police. 12 of them failed and were sent to local periodic technical inspection station, where 9 of them failed the emission test by exceeding their allowed smoke limit 3 to 10-times.

Our results demonstrate that efficient air pollution improvement measure would affect small percentage of vehicles that would have to be fixed or kept off the road. Most of these extreme polluters are older vehicles in bad technical condition.

# Nová motorová paliva a výfukové emise zdravotně rizikových látek: Relativní důležitost vlivů paliva, konstrukce, seřízení, údržby, obsluhy a provozních podmínek motoru.

**Michal Vojtíšek**

*Centrum vozidel udržitelné mobility, FS ČVUT*

*Technická 4, 160 00 Praha 6*

*e-mail:michal.vojtisek@fs.cvut.cz*

## **Abstrakt**

Příspěvek se zabývá kritickou úvahou o relativní důležitosti vlastností paliva v porovnání s mírou využití nejlepší dostupné technologie a technologickou kázní výrobců i provozovatelů vozidel, provozními podmínkami, a dalšími vlivy. Lze vyslovit úvahu, že se snižující se hladinou emisí odpovídající kompetentnímu a odpovědnému využívání nejlepších dostupných technologií mohou u nově vyrobených motorů být emise přijatelně nízké prakticky u libovolného paliva, a proto snižování emisí látek rizikových pro lidské zdraví by mělo být primárně založeno na vyžadování technologické kázně u výrobců a uživatelů a potlačování emisně nepříznivých podmínek. Tato úvaha nečiní zbytečným, ale naopak velmi významným, sledování a ošetření případných nežádoucích dopadů nových paliv na běžné i legislativou dosud nesledované znečišťující látky, a to včetně výskytu režimů a vozidel s vysokými emisemi.

## **1. Úvod**

Spalovací motory pohánějící většinu silničních dopravních prostředků a pojezdných strojů jsou jedním z hlavních zdrojů jak skleníkových plynů, tak znečišťujících látek rizikových pro životní prostředí a zejména lidské zdraví. Jedním z cílů národní i evropské politiky je náhrada klasických pohonů a paliv alternativními palivy a pohony (zemní plyn, plynná a kapalná biopaliva různých vlastností a původu, elektrické pohony), přičemž snížení emisí zdravotně rizikových látek je deklarováno, ať již explicitně nebo implicitně (např. Národní akční plán čisté mobility [1]), jako jeden z hlavních přínosů. Příspěvek se zabývá otázkou, do jaké míry jsou emise zdravotně rizikových látek ovlivněny palivem, a do jaké míry dalšími faktory, mezi které patří konstrukční parametry motoru, provozní a atmosférické podmínky, a kvalita seřízení, údržby a obsluhy motoru, a zabývá se úvahou, nakolik důležitá je otázka emisí zdravotně rizikových látek při výběru paliv, a zdrojů energie obecně, pro udržitelnou mobilitu.

## **2. Doprava a výfukové emise**

Znečištění ovzduší je považováno za jedno z největších environmentálních rizik pro lidské zdraví, zejména v městských aglomeracích. Za nejvíce rizikové jsou považovány částice a na ně navázané semivolatilní sloučeniny. Z nich je velká část toxického potenciálu připisována polycyklickým aromatickým uhlovodíkům (PAU), z nichž některé, například benzo[a]pyren, jsou karcinogenní. Dle studie Světové zdravotnické organizace (WHO) je znečištění ovzduší částicemi šestou nejčastější

příčinou předčasného úmrtí [1]. Dalšími dvěma významnými znečišťujícími látkami jsou oxidy dusíku (oxid dusnatý a dusičitý, jejichž suma je označována  $\text{NO}_x$ ), vznikající při spalovacích procesech za vysokých teplot, a troposférický (přízemní) ozon, pro jehož tvorbu jsou  $\text{NO}_x$  jedinou z nezbytných ingrediencí, která pochází prakticky výhradně z antropogenních zdrojů. Dle Evropské agentury pro životní prostředí byly částice odpovědné za 428 tisíc, a oxidy dusíku za 78 tisíc, předčasných úmrtí ročně v Evropě [2].

Ve většině městských aglomerací jsou spalovací motory a motorová doprava podstatným zdrojem částic i  $\text{NO}_x$  co se týče celkové emisní bilance. Vzhledem k tomu, že své zplodiny vypouštějí přímo uprostřed ulic, má vyšší vypovídací hodnotu spíše příspěvek k imisním koncentracím v dýchacelné výšce v obydlených oblastech; u toho jsou spalovací motory a doprava povětšinou zdrojem hlavním.

Zvláště velké riziko představují velmi jemné částice o typické velikosti jednotek až stovek nanometrů [3] a složitého fraktálního tvaru [4], které mají vysokou pravděpodobnost zachytu v plicních sklípcích [5] a vysokou schopnost procházet buněčnou membránou do krve, a jsou výrazně rizikovější pro lidské zdraví než částice z jiných zdrojů [6]. Tyto částice jsou komplexní směsí látek, o které je známo, že jako celek způsobuje a přispívá k výskytu nádorových onemocnění [7]. Snížení koncentrací velmi jemných částic elementárního uhlíku, dominantní součásti výfukových plynů vznětových motorů, má 4 až 9krát vyšší přínos pro lidské zdraví než stejné snížení koncentrací  $\text{PM}_{2.5}$  [8]. U výfukových emisí ze vznětových motorů byl prokázán karcinogenní účinek [9], [10], a byly proto deklarovány jako karcinogenní Kalifornským úřadem pro ochranu ovzduší (CARB), Úřadem pro nemoci z povolání a ochranu zdraví USA (OSHA), Světovou zdravotnickou organizací (WHO) a Mezinárodní agenturou pro výzkum rakoviny [11].

Vystavení oxidu dusičitému, nahnědlému dráždivému plynu, bylo spojeno s vyšší úmrtností a vyšším počtem hospitalizací pro řadu onemocnění dýchací a kardiovaskulární soustavy [12], [13], [14]. Poněkud opomíjeny jsou kyslíkaté a dusíkaté deriváty PAU, z nichž například 3-nitrobenzantron a 1-nitropyren patří mezi nejvíce mutagenní známé látky [15].

Dlouhodobá expozice výfukovým plynům spalovacích motorů byla historicky spojena se zvýšeným rizikem různých chronických zdravotních problémů [16], [17], [18], včetně infarktu myokardu [19], chronického kašle [20], zánětlivých onemocnění [21], neurobehaviorálních problémů [22] a zvýšeného krevního tlaku [23]. Vystavení výfukovým plynům naftových motorů bylo spojeno se sníženou kvalitou spermatu [24], expozice nenarozeného plodu pak s předčasným porodem, nízkou porodní váhou, vznikem vrozených vad, a zvýšením kojenecké úmrtnosti [25].

Zatímco ve spalovacím procesu je produkován povětšinou  $\text{NO}$  a  $\text{NO}_2$  vzniká jeho pomalou oxidací v atmosféře, nasazení oxidačních katalyzátorů napomohlo relativně vysokým primárním emisím  $\text{NO}_2$ . Nasazením redukčních katalyzátorů pro redukci  $\text{NO}_x$  pak byly navýšeny dříve zanedbatelné emise amoniaku, jehož jsou v USA a v Číně motory hlavním zdrojem ve městech [26]. Dopady nových technologií na další reaktivní sloučeniny dusíku, například kyanovodíku a kyseliny isokyanovodíkové, jsou předmětem probíhajícího výzkumu [27], [28].

### 3. Vlivy technologie

Nejúčinnějším nástrojem snižování emisí zdravotně rizikových látek byl doposud pokrok v technologii, zejména spalovacích motorů a zařízení pro úpravu výfukových plynů. Alespoň ve vyspělejších zemích, a alespoň u větších užitkových motorů pro

silniční použití, tj. použití, kde lze očekávat největší dopady emisí na zdraví, se nejlepší dostupná technologie vyvíjela postupně do několika variant.

Zážehové motory, provozované na benzín, ale i alternativní paliva, jsou, či by alespoň měly být, provozovány striktně ve stechiometrickém režimu, dosaženém pečlivou regulací dávkování paliva, a vybavené třícestným katalyzátorem, který využívá vodíku, organických plynných látek a oxidu uhelnatého (CO) k redukci  $\text{NO}_x$ , a zároveň využívá zbytkového kyslíku k oxidaci vodíku, organických látek a CO [29], [30]. Účinnost katalyzátoru, po dosažení jeho provozní teploty, může být jeden i více řádů, což například již na přelomu tisíciletí potvrdila měření uvádějící nižší koncentrace CO, NO a organických látek ve výfukových plynech než v okolním ovzduší [31]. I u větších automobilů tak lze dosahovat emisí organických látek a  $\text{NO}_x$  pod 10 mg/km [32]. Obdobných hodnot dosahují i během homologačních zkoušek alespoň některá sériová vozidla v USA (Honda – součet organických plynných látek a  $\text{NO}_x$  cca 14 mg/km [33]).

U vznětových (naftových) motorů nové generace se ustálilo využití sestavy skládající se z oxidačního katalyzátoru, filtru částic, selektivně redukčního katalyzátoru (SCR) využívajícího redukční činidlo vstříkované do výfukového potrubí, a oxidačního katalyzátoru zejména pro oxidaci amoniaku, který nezreagoval v SCR [34], [35]. Touto kombinací bylo dosaženo, mimo jiné, výrazného snížení emisí rakovinotvorných PAU a, alespoň dle prováděných testů, relativní toxicity výfukových plynů [36]. Emise nákladní vozů vybavených DOC, DPF a SCR, testovaných v Kalifornii, byly v řádu jednotek mg částic na km; emise  $\text{NO}_x$  byly řádově desetiny gramu na km při mimoměstském a dálničním provozu, a vyšší – řádově gram – v městském provozu, a až jednotky g/km při pojezdu v kolonách a manipulačních pojezdech [37], [38].

#### 4. Nejlepší dostupné technologie vs. provozní realita

Přínosy nejlepších dostupných technologií jsou ale podmíněny jejich plnohodnotným využitím. Například při pomalém pojezdu (při manipulaci nebo v koloně) výrazně klesá, až na nulové hodnoty, účinnost SCR katalyzátorů [39], a u vozidel nevybavených DPF výrazně narůstají emise částic a zejména karcinogenních PAU [40]. Účinnost SCR katalyzátorů je však také snižována záměrně jak některými výrobci osobních automobilů, tak některými provozovateli nákladních vozů (v pilotní studii bylo zjištěno, že každý čtvrtý nákladní vůz registrovaný ve východní Evropě má vyšší emise  $\text{NO}_x$ , než odpovídá správné funkci SCR [41]). V případě filtrů částic jejich poškození, ať již samovolné nebo záměrné, či jejich (výhradně záměrná) absence způsobí navýšení emisí. Takto navýšené emise mohou být v případě například netěsnosti nižší než u vozidla bez filtru, avšak u vozidel, kde je filtr záměrně odstraněn, mohou být emise částic násobně až řádově vyšší než u vozidla bez filtru v dobrém stavu [42]. Důvodem je to, že zanášení filtru je zpravidla způsobeno podstatným navýšením emisí částic vlivem závady nebo nadměrného opotřebení motoru, nebo jeho nevhodného seřízení (například tzv. chiptuning, kdy je motor přeprogramován za účelem dosažení vyššího výkonu). Z vozidel vybavených z výroby DPF tento není funkční u řádově jednotek procent vozidel, která ovšem představují většinu celkových emisí částic ze zkoumaného vozového parku [43], [44]. U zážehových motorů pak v důsledku závad nebo nadměrného opotřebení částí motoru dochází ke snížení účinnosti třícestného katalyzátoru jeho degradací a/nebo v důsledku odchylek od stechiometrického poměru paliva a vzduchu v důsledku závad nebo nadměrného opotřebení částí motoru. Emise některých motorů výrazně závisí na způsobu jízdy, a jsou zpravidla

vyšší při vysoce dynamické, agresivní jízdě. U malých motorů, například pro malé motocykly, sněžné skútry, rekreační plavidla, zahradní techniku a další aplikace, nízkoemisní technologie nejsou použity vůbec. U stávajícího vozového parku jsou pak emise, a to i při optimistickém předpokladu pečlivé údržby, přinejlepším odpovídající stáří vozidla.

## 5. Vlivy paliv

U zážehových motorů kyslíkatá paliva (alkoholy a étery, běžně se používá etanol a ETBE, je možné spalovat n-butanol a isobutanol, za nevhodné byly naopak označeny metanol a MTBE z důvodu jejich zdravotních rizik) zpravidla zvyšují chemickou účinnost a snižují koncentrace produktů neúplného spalování (organické látky, částice, CO), paliva s nižším obsahem aromatických sloučenin (syntetické a reformulované benzíny) snižují emise aromatických látek (benzen, toluen, xyleny, PAU), paliva s kratšími řetězci (metan, propan, butan) snižují emise produktů neúplného spalování. Dopad na emise zejména  $\text{NO}_x$ , ale i dalších látek, přitom závisí mimo jiné na kvalitě adaptace motoru na dané palivo, zejména na dodržení stechiometrické směsi. Běžné motory prodávané v USA, a z technického hlediska pravděpodobně i jinde, mají schopnost přizpůsobit se až přibližně 15 % etanolu (5 % kyslíku, 25 % butanolu); již v počátcích nasazení třicestných katalyzátorů bylo doloženo přizpůsobení se až 30% etanolu [45].

U vznětových motorů kyslíkatá paliva a jednodušší molekuly snižují emise částic, v případě čisté bionafty (směsi n-alkylesterů mastných kyselin) a éterů (dimetyléter [46], dietyléter [47], oxymetylenétery souhrnně označované OME [48]) o desítky procent, přičemž dopady na emise  $\text{NO}_x$  jsou zpravidla nízké a různorodé. Dvojpalivový provoz vznětových motorů ve spojení s pokročilými metodami spalování nabízejí výhody ve výrazném snížení emisí částic i  $\text{NO}_x$  v oblasti částečných zatížení, avšak za cenu vyšší spotřeby paliva. Náhrada vznětových motorů zážehovými motory na zemní plyn (CNG) u starších motorů vedla ke snížení emisí částic a  $\text{NO}_x$ , ale u moderních motorů těžkých užitkových vozidel, vybavených na úrovni nejlepších dostupných technologií, jsou emise CNG a naftových motorů prakticky srovnatelné [49]. U lehkých užitkových vozidel testovaných v běžném provozu v Praze byly emise částic srovnatelné, avšak pouze po vyřazení exempláře zkušebního naftového vozu s chybějícím DPF, a emise  $\text{NO}_x$  u CNG přibližně desetinové oproti naftě díky eticky spornému seřízení naftových motorů, jejichž emise  $\text{NO}_x$  byly v provozu několikanásobně až řádově vyšší, než odpovídá číselným hodnotám limitů pro homologační testy [50]. Rovněž zajímavé jsou výsledky dřívější studie autora, zaměřené na sledování vlivu biopaliv na emise částic, do které byly zahrnuty čtyři vznětové motory různých konstrukcí: emise karcinogenních PAU, přepočtené na toxický ekvivalent benzo[a]pyrenu, byly ve většině případů u čisté bionafty přibližně o 70 % nižší oproti naftě, avšak mezi motory a provozními podmínkami se lišily v rozsahu necelých čtyř řádů [51].

## 6. Diskuze

Soudobá technologie motorů a zařízení pro úpravu výfukových plynů umožňuje provoz silničních motorů s relativně velmi nízkými výfukovými emisemi. Při nasazení nejlepších dostupných technologií v nově vyráběných motorech jsou ve většině případů emise relativně nízké, a absolutní rozdíly mezi palivy jsou proto ve většině případů rovněž nízké. Vlivy paliva jsou tak důležité převážně u speciálních případů (například studené starty v uzavřených prostorách), a u náhrady paliv ve stávajícím

vozovém parku. Lze vyslovit úvahu, že se snižující se hladinou emisí odpovídající kompetentnímu a odpovědnému využívání nejlepších dostupných technologií mohou u nově vyrobených motorů být emise přijatelně nízké prakticky u libovolného paliva, a proto snižování emisí látek rizikových pro lidské zdraví by mělo být primárně založeno na vyžadování technologické kázně u výrobců (neobcházení legislativy) i u uživatelů (odpovídající údržba, absence nepatřičných zásahů do vozidel) a potlačování emisně nepříznivých podmínek (například omezování emisně nepříznivých pojezdů v koloně regulací intenzity provozu na přijatelné úrovni). Tato úvaha nečiní zbytečným, ale naopak velmi významným, sledování a ošetření případných nežádoucích dopadů nových paliv na běžné i legislativou dosud nesledované znečišťující látky, a to včetně výskytu režimů a vozidel s vysokými emisemi. Rovněž otázka emisí zůstává důležitá při posuzování náhradních paliv pro stávající vozový park („drop-in fuels“). Mají-li být veřejné statky (surovinové zdroje, dopravní infrastruktura, ovzduší, apod.) spravovány odpovědně a zdroje vynakládány co nejúčelněji, otázka dopadů nových paliv na emise by měla být řešena komplexně a koordinovaně, společně spolu s dalšími otázkami souvisejícími jak s uvažovaným palivem (dostupnost zdrojů, udržitelnost, dopady získávání surovin a výroby paliva, energetická bezpečnost a soběstačnost), tak s výše zmíněnými a na palivu nezávislými cestami snižování emisí.

## Literatura

- [1] Health Effect Institute, 2018: State of Global Air. <https://www.stateofglobalair.org/sites/default/files/soga-2018-report.pdf>
- [2] EEA (European Environment Agency): Air quality in Europe - 2017 report. EEA, Copenhagen, 2017.
- [3] KITTELSON, D. B.: Engines and nanoparticles: a review. *J. Aerosol Sci.* 29, 1998, s. 575 – 588.
- [4] LIATI A., DIMOPOULOS-EGGENSCHWILER P., 2010: Characterization of particulate matter deposited in diesel particulate filters: Visual and analytical approach in macro-, micro- and nano-scales. *Combustion and Flame*, 157, 9, 1658-1670.
- [5] GERDE, P., MUGGENBURG, B., A., LUNDBORG, M., DAHL, A., R., 2001. The rapid alveolar absorption of diesel soot-adsorbed benzo[a]pyrene: bioavailability, metabolism and dosimetry of an inhaled particle-borne carcinogen, *Carcinogenesis* 22, 741-749.
- [6] KRZYZANOWSKI M, KUNA-DIBBERT B, SCHNEIDER J, eds. Copenhagen: World Health Organization; 2005. Health Effects of Transport-Related Air Pollution.
- [7] KÜNZLI, N., et al.: Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment, *The Lancet* 356, 895-901, 2000.
- [8] JANSSEN, N., A., H., et al., 2011. Black Carbon as an Additional Indicator of the Adverse Health Effects of Airborne Particles Compared with PM10 and PM2.5. *Environ Health Perspect.* 2011 December; 119(12): 1691–1699.
- [9] ATTFIELD M., D., et al., 2012: The Diesel Exhaust in Miners Study: A Cohort Mortality Study With Emphasis on Lung Cancer. *J Natl Cancer Inst* 104(11): 869-883.
- [10] SILVERMAN, D., T., et al., 2012: The Diesel Exhaust in Miners Study: A Nested Case-Control Study of Lung Cancer and Diesel Exhaust. *J Natl Cancer Inst*, 104, 855-868.
- [11] IARC – International Agency for Research on Cancer and World Health Organization, 2010. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 92: Some Non heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Some Related Exposures. Online at <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol92/mono92.pdf>



- [12] FAUSTINI, A., RAPP, R., FORASTIERE, F., 2014. Nitrogen dioxide and mortality: review and meta-analysis of long-term studies. *Eur. Respir. J.* 44, 744-753.
- [13] US EPA, 2015. Integrated Science Assessment for Oxides of Nitrogen - Health Criteria (Second External Review Draft), EPA/600/R-14/006. United States Environmental Protection Agency, Washington DC.
- [14] BRAND, Christian. Beyond 'Dieselgate': Implications of unaccounted and future air pollutant emissions and energy use for cars in the United Kingdom. *Energy Policy*, 2016, 97: 1-12.
- [15] ENYA T., et al., 1997: 3-Nitrobenzanthrone, a Powerful Bacterial Mutagen and Suspected Human Carcinogen Found in Diesel Exhaust and Airborne Particulates. *Environmental Science and Technology*, 31, 2772-2776.
- [16] LEWTAS, J., 2007. Air pollution combustion emissions: Characterization of causative agents and mechanisms associated with cancer, reproductive, and cardiovascular effects. *Mutat. Res. - Rev. Mutat. Res.* 636. doi:10.1016/j.mrrev.2007.08.003
- [17] MCENTEE, J., C., OGNEVA-HIMMELBERGER, Y., 2008. Diesel particulate matter, lung cancer, and asthma incidences along major traffic corridors in MA, USA: A GIS analysis. *Heal. & place* 14. doi:10.1016/j.healthplace.2008.01.002
- [18] BALMES, J., R., et al., 2009. Exposure to traffic: Lung function and health status in adults with asthma. *J. Allergy Clin. Immunol.* 123. doi:10.1016/j.jaci.2008.10.062
- [19] BARD, D., et al., 2014. Traffic-related air pollution and the onset of myocardial infarction: Disclosing benzene as a trigger? A small-area case-crossover study. *PLoS One* 9. doi:10.1371/journal.pone.0100307
- [20] GRONEBERG-KLOFT, B., et al., 2006. Analyzing the causes of chronic cough: Relation to diesel exhaust, ozone, nitrogen oxides, sulphur oxides and other environmental factors. *J. Occup. Med. Toxicol.* 1. doi:10.1186/1745-6673-1-6.
- [21] DOORNAERT, B., et al., 2003. Negative impact of DEP exposure on human airway epithelial cell adhesion, stiffness, and repair. *Am. J. Physiol. - Lung Cell. Mol. Physiol.* 284.
- [22] KILBURN, K., H., 2000. Effects of diesel exhaust on neurobehavioral and pulmonary functions. *Arch. Environ. Health* 55.
- [23] FUKS, K., B., et al., 2016. Association of long-term exposure to local industry- and traffic-specific particulate matter with arterial blood pressure and incident hypertension. *Int. J. Hyg. Environ. Health.* doi:10.1016/j.ijheh.2016.05.008.
- [24] ŠRÁM, R., J., et al., 1999. Adverse reproductive outcomes from exposure to environmental mutagens. *Mutat. Res. - Fundam. Mol. Mech. Mutagen.* 428. doi:10.1016/S1383-5742(99)00048-4
- [25] GHOSH, J., K., C., et al., 2012. Assessing the influence of traffic-related air pollution on risk of term low birth weight on the basis of land-use-based regression models and measures of air toxics. *Am. J. Epidemiol.* 175. doi:10.1093/aje/kwr469
- [26] SUN, K., et al. Vehicle emissions as an important urban ammonia source in the United States and China. *Environ. Sci. Technol.*, 2017, 51.4: 2472-2481.
- [27] JATHAR, S., J., et al.: Investigating diesel engines as an atmospheric source of isocyanic acid in urban areas. *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 8959-8970, 2017.
- [28] LINK M., F., et al.: Photochemical processing of diesel fuel emissions as a large secondary source of isocyanic acid. *Geophysical Research Letters*, 43, 8, 4033-4041, 2016.
- [29] MOONEY, J. J., THOMPSON, C. E., & DETTLING, J. C. (1977). Three-Way Conversion Catalysts Part of the New Emission Control System. *SAE Transactions*, 1553-1562.

- [30] FALK, C. D., & MOONEY, J. J. (1980). Three—Way Conversion Catalysts: Effect of Closed—Loop Feed—Back Control and Other Parameters on Catalyst Efficiency. SAE Transactions, 1822-1832.
- [31] JETTER, J., MAESHIRO, S., HATCHO, S., AND KLEBBA, R., "Development of an On-Board Analyzer for Use on Advanced Low Emission Vehicles," SAE Technical Paper 2000-01-1140, 2000, doi:10.4271/2000-01-1140.
- [32] ANTHONY, J. AND KUBSH, J., "The Potential for Achieving Low Hydrocarbon and NO<sub>x</sub> Exhaust Emissions from Large Light-Duty Gasoline Vehicles," SAE Technical Paper 2007-01-1261, 2007, <https://doi.org/10.4271/2007-01-1261>.
- [33] California Air Resources Board: Executive Order no. A-023-0683, 2018, [https://www.arb.ca.gov/msprog/onroad/cert/pcltdmndv/2018/honda\\_pc\\_a0230683\\_1d5\\_s3-30.pdf](https://www.arb.ca.gov/msprog/onroad/cert/pcltdmndv/2018/honda_pc_a0230683_1d5_s3-30.pdf)
- [34] JOHNSON, T., "Diesel Emissions in Review," SAE Int. J. Engines 4(1):143-157, 2011, <https://doi.org/10.4271/2011-01-0304>.
- [35] JOHNSON, T., "Review of Vehicular Emissions Trends," SAE Int. J. Engines 8(3):2015, doi: 10.4271/2015-01-0993.
- [36] HESTERBERG, T., W., et al. "Particulate matter in new technology diesel exhaust (NTDE) is quantitatively and qualitatively very different from that found in traditional diesel exhaust (TDE)." Journal of the Air & Waste Management Association 61.9 (2011): 894-913.
- [37] QUIROS, D. C., et al. (2016). Real-world emissions from modern heavy-duty diesel, natural gas, and hybrid diesel trucks operating along major California freight corridors. Emission Control Science and Technology, 2(3), 156-172.
- [38] JIANG, Y., et al. (2018). Characterizing emission rates of regulated pollutants from model year 2012+ heavy-duty diesel vehicles equipped with DPF and SCR systems. Science of the Total Environment, 619, 765-771.
- [39] DIXIT, P., et al. (2017). Differences between emissions measured in urban driving and certification testing of heavy-duty diesel engines. Atmospheric Environment, 166, 276-285.
- [40] VOJTÍŠEK-LOM M., et al.: Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and their genotoxicity in exhaust emissions from a diesel engine during extended low-load operation on diesel and biodiesel fuels. Atmospheric Environment 109 (2015) 9-18.
- [41] PÖHLER, D., et al.: Real Driving NO<sub>x</sub> Emissions of European Trucks and Detection of Manipulated Emission Systems. 19th EGU General Assembly, EGU2017, proceedings from the conference held 23-28 April, 2017 in Vienna, Austria., p. 13991
- [42] SKÁCEL J., et al.: Black Sheep - Detecting Vehicles on the Road that are too Black to be there Using Roadside Particle Measurement. Proceedings of the 22th ETH Conference on Combustion Generated Nanoparticles, Zurich, Švýcarsko, červen 2018.
- [43] PREBLE, C. V., CADOS, T. E., HARLEY, R. A., & KIRCHSTETTER, T. W. (2018). In-Use Performance and Durability of Particle Filters on Heavy-Duty Diesel Trucks. Environmental science & technology. In press.
- [44] LIGTERINK, N. E., KADIJK, G., VAN MENSCH, P., HAUSBERGER, S., & REXEIS, M. (2013). Investigations and real world emission performance of Euro 6 light-duty vehicles. Delft: TNO.
- [45] MOONEY, J. J., HANSEL, J. G., & BURNS, K. R. (1979). Three-Way Conversion Catalysts on Vehicles Fueled with Ethanol-Gasoline Mixtures (No. 790428). SAE Technical Paper.
- [46] FLEISCH, T., et al.: A New Clean Diesel Technology: Demonstration of ULEV Emissions on a Navistar Diesel Engine Fueled with Dimethyl Ether. SAE Journal of Fuels and Lubricants, 104, 4, 42-53, 1995.

- [47] BAILEY, B., EBERHARDT, J., GOGUEN, S., AND ERWIN, J., "Diethyl Ether (DEE) as a Renewable Diesel Fuel," SAE Technical Paper 972978, 1997.
- [48] DEUTZ, Sarah, et al. Cleaner production of cleaner fuels: wind-to-wheel–environmental assessment of CO<sub>2</sub>-based oxymethylene ether as a drop-in fuel. *Energy & Environmental Science*, 2018, 11.2: 331-343.
- [49] HESTERBERG T., W., LAPIN C., A., BUNN W., B.: A Comparison of Emissions from Vehicles Fueled with Diesel or Compressed Natural Gas. *Environmental Science & Technology* 2008 42 (17), 6437-6445 DOI: 10.1021/es071718i
- [50] VOJTÍŠEK-LOM, M., et al. On-road and laboratory emissions of NO, NO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> from late-model EU light utility vehicles: Comparison of diesel and CNG. *Science of The Total Environment*, 2018, 616: 774-784.
- [51] VOJTÍŠEK-LOM M., et al.: Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in exhaust emissions from diesel engines powered by rapeseed oil methylester and heated non-esterified rapeseed oil. *Atmospheric Environment*, 60, 2012, 253-261.

### **Poděkování**

*Tato práce vznikla jako součást řešení projektu LO1311 - Rozvoj Centra vozidel udržitelné mobility, financovaného z programu NPU MŠMT ČR.*

## **Importance of the effects of new motor fuels on health-relevant emissions relative to the effects of engine technology, design, calibration, tampering, maintenance, and operating and ambient conditions.**

**Michal Vojtíšek**

*Center for sustainable mobility, Faculty of Mechanical Engineering*

*Czech Technical University in Prague*

*Technická 4, 160 00 Praha 6*

*e-mail:michal.vojtiesek@fs.cvut.cz*

### **Abstract**

The work addresses a question of the relative importance of health-relevant emissions when considering political and economic support for new motor fuels. State of the art technology of both spark and compression ignition engines, when competently and responsibly calibrated, not tampered with by manufacturers or users, well maintained, and professionally operated, offers a realistic potential for relatively very low emissions of particulate matter and nitrogen oxides, the two groups of pollutants most relevant to human health. The overall quality of the technology and its use therefore has potentially higher effects on the final (tailpipe) emissions than the effects of the fuel. It might be therefore more efficient to assign more weight to other criteria (overall sustainability, land use, climate, economical, national security, societal, political and other effects) when choosing new fuels, and to address exhaust emissions induced health damages by forcing appropriate and responsible use of best available technologies. Still, unwanted side effects of new fuels on regulated and non-regulated pollutants during normal everyday use remain of high importance and should be carefully and competently evaluated, a task getting more difficult with increasing complexity of engine and exhaust after treatment systems.

# 3. kolo strategického hlukového mapování v ČR

**Tomáš Hellmuth, Dana Potužníková, Pavel Junek**

*Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě*

*Partyzánské nám. 7, 702 00 Ostrava*

e-mail: tomas.hellmuth@zuova.cz

## Abstrakt

Strategické hlukové mapování se provádí na základě směrnice 2002/49/EC o hodnocení a řízení hluku ve venkovním prostředí (Environmental Noise Directive, END), která byla implementována do české legislativy v roce 2006. Výpočtové hlukové mapy jsou pořizovány pro okolí tzv. hlavních silnic, hlavních železnic, hlavních letišť a pro vybrané aglomerace. Kriteria pro výběr hlavních komunikací a aglomerací stanovuje směrnice END. Mapování probíhá v pětiletých cyklech, 1. kolo proběhlo v letech 2004 - 2008, 2. kolo v letech 2009 - 2013 a 3. kolo v letech 2014 - 2017 a bylo dokončeno v roce 2018.

Pro hluk ze silniční dopravy v ČR jsou uvedeny přehledové tabulky a graf vyjadřující rozložení hlukové zátěže v krocích 5 dB, včetně uvedení počtu exponovaných obyvatel, u nichž dochází k překračování stanovených mezních hodnot ukazatelů hluku.

Výsledky hlukového mapování jsou podkladem pro tvorbu akčních plánů protihlukových opatření, které pořizují provozovatelé zdrojů hluku a slouží také vládním orgánům jako jeden z podkladů pro formulování národní dopravní politiky a ochrany obyvatel před hlukem v životním prostředí. Přímě srovnávat výsledky 2. a 3. kola není úplně možné, protože pro 3. kolo byly upraveny a sjednoceny některé vstupní parametry výpočtu.

## 1. Úvod

Strategické hlukové mapování (dále i „SHM“) se provádí na základě směrnice 2002/49/EC o hodnocení a řízení hluku ve venkovním prostředí (Environmental Noise Directive, END), která byla implementována do zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů (dále jen „Zákon“) a vyhlášky Ministerstva zdravotnictví č. 523/2006 Sb., o hlukovém mapování (dále jen „Vyhláška“). Garantem agendy směrnice a pořizovatelem strategických hlukových map je Ministerstvo zdravotnictví ČR. Výpočtové hlukové mapy jsou pořizovány pro okolí tzv. hlavních silnic, hlavních železnic, hlavních letišť a pro vybrané aglomerace. Kriteria pro výběr hlavních komunikací a aglomerací stanoví směrnice END. Výsledky jsou ve stanovených termínech reportovány elektronicky Evropské komisi.

Mapování probíhá v pětiletých cyklech, 1. kolo proběhlo v letech 2004-2008, 2. kolo v letech 2009-2013 a 3. kolo v letech 2014-2017. Vlivem určitých problémů však bylo dokončeno až v roce 2018.

3. kolo SHM vychází z údajů o provozu zdrojů hluku, počtu a poloze sledovaných objektů a počtu obyvatel z roku 2016. Z celkového počtu obyvatel ČR 10 565 284 v roce 2016 (dle údajů ČSÚ) žijících v 6 258 obcích zahrnuje 3. kolo SHM 1 545 obcí (24,7 %) s 8 323 141 obyvateli (78,8 %). V zahrnutých obcích pak bylo v úsecích spadajících pod SHM posouzeno 6 240 554 obyvatel (59,1 % obyvatel ČR a 75,0 % obyvatel zahrnutých obcí).

Ve 3. kole bylo zmapováno okolí hlavních silnic o celkové délce cca 3.900 km, hlavních železnic o celkové délce cca 1.096 km, okolí letiště Praha-Ruzyně a aglomerace Praha, Brno, Ostrava, Olomouc, Plzeň, Liberec, Ústí nad Labem –

Teplice s celkově 6.241 tis. obyvateli exponovanými silničním hlukem a 4.555 tis. obyvateli exponovanými železničním hlukem. Podrobněji je rozsah SHM ve 3. kole uveden v tab. 1.

Tab. 1 Rozsah 3.kola SHM

Strategické hlukové mapování – ČR		3.kolo		
Zdroje	Název	Rozloha/Délka	Počet ovlivněných obyvatel	
			Silnice	Železnice
Aglomerace [km <sup>2</sup> ]	Praha	772	1 244 061	836 709
	Brno	328	414 777	225 895
	Ostrava	248	471 956	196 075
	Plzeň	184	177 901	136 428
	Ústí nad Labem- Teplice	171	170 030	13 178
	Liberec	160	147 237	101 803
	Olomouc	105	100 331	8 341
	SUM	1 968	2 726 293	1 518 429
Hlavní silnice [km]		3 909	3 514 261	x
Hlavní železnice [km]		1 096	x	3 036 858

Pro hluk ze silniční dopravy v ČR jsou v textu uvedeny přehledové tabulky a graf vyjadřující rozložení hlukové zátěže v krocích 5 dB, včetně uvedení počtu exponovaných obyvatel, u nichž dochází k překračování stanovených mezních hodnot ukazatelů hluku.

Výsledky hlukového mapování jsou podkladem pro tvorbu akčních plánů protihlukových opatření, které pořizují provozovatelé zdrojů hluku a také slouží vládním orgánům jako jeden z podkladů pro formulování národní dopravní politiky a ochrany obyvatel před hlukem v životním prostředí.

Podrobné výsledky hlukového mapování lze najít na [www.mzcr.cz/hlukovemapy](http://www.mzcr.cz/hlukovemapy).

## 2. Hlukové ukazatele dle směrnice END

Hlukovým ukazatelem pro den-večer-noc ( $L_{dvn}$ ) se rozumí hlukový ukazatel pro celodenní obtěžování hlukem. Hlukovým ukazatelem pro noc ( $L_n$ ) se rozumí hlukový ukazatel pro rušení spánku.

Hodnota hlukového ukazatele pro den-večer-noc ( $L_{dvn}$ ) v decibelech (dB) je definována rovnicí:

$$L_{dvn} = 10 \times \lg \left[ \frac{1}{24} \left( 12 \times 10^{\frac{L_d}{10}} + 4 \times 10^{\frac{L_v+5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right) \right]$$

kde,

$L_d$  je dlouhodobý průměr hladiny zvuku podle české technické normy s frekvenční charakteristikou A určený za všechna denní období jednoho roku,

$L_v$  je dlouhodobý průměr hladiny zvuku podle české technické normy<sup>1)</sup> s frekvenční charakteristikou A určený za všechna večerní období jednoho roku,

$L_n$  je dlouhodobý průměr hladiny zvuku podle české technické normy<sup>1)</sup> s frekvenční charakteristikou A určený za všechna noční období jednoho roku,

kde,

den je 12 hodin, v rozmezí od 6:00 hodin do 18:00 hodin; večer jsou 4 hodiny, v rozmezí od 18:00 hodin do 22:00 hodin a noc je 8 hodin, v rozmezí od 22:00 hodin do 6:00 hodin,

rokem je míněn příslušný rok vzhledem k hlukovým emisím a dále průměrný rok vzhledem k meteorologickým podmínkám.

### 3. Mezní hodnoty hlukových ukazatelů

Mezní hodnotou (MH) hlukových ukazatelů se rozumí dle §80, odst. 1, písm. q) Zákona, hodnota hlukových ukazatelů, při jejímž překročení dochází ke škodlivému zatížení životního prostředí. Mezní hodnoty nejsou hygienickými limity hluku ve smyslu nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací ve znění pozdějších předpisů (dále jen „NV“). Jsou administrativním limitem, při jehož překročení dochází ke škodlivému zatížení životního prostředí a k jehož odstranění nebo snížení jsou vypracovávány akční plány. Mezní hodnoty hlukových ukazatelů, stanovené v §2, odst. 3 vyhlášky o hlukovém mapování, jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 2. Mezní hodnoty hlukových ukazatelů

Zdroj hluku	$L_{dvn}$ [dB]	$L_n$ [dB]
Silniční doprava	70	60
Železniční doprava	70	65
Letecká doprava	60	50
Integrovaná zařízení	50	40

### 4. Vstupy pro 3. kolo SHM

3. kolo SHM se podle zadání směrnice END zpracovávalo pro aglomerace s více než 100 tis. obyvateli, pro okolí hlavních silnic s intenzitou dopravy vyšší než 3 mil. vozidel za rok, hlavní železniční tratě s intenzitou dopravy větší než 30 tis. vlaků za rok a hlavních letišť s více než 50 tis. pohyby za rok. V případě silnic jde cca o 10 % silniční sítě, pro niž se provádí celostátní sčítání dopravy, jde však o nejzatíženější úseky. Toto zadání je stejné jako u 2. kola.

### 5. Souhrnné výsledky SHM – silnice

Souhrnné výsledky pro ČR jsou uvedeny v tab. 3 a 4. Počty osob uvedených v těchto tabulkách jsou znázorněny v grafu na obr. 1. Jedná se o horní odhad počtu exponovaných osob a objektů. Hodnoty expozice jsou vypočítávány pro venkovní prostor staveb ve výšce 4 m nad terénem bez odrazu od posuzované fasády.

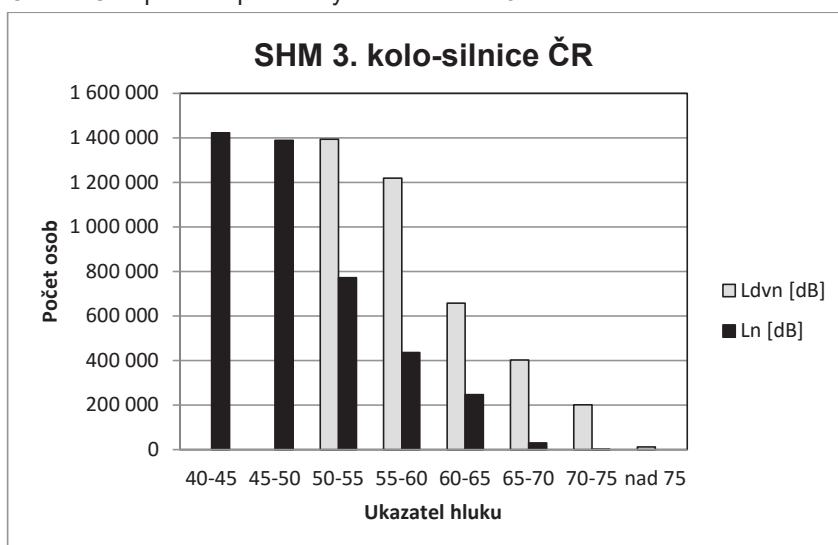
Tab. 3. Souhrnné výsledky ČR pro hlukový ukazatel L<sub>dvn</sub> - silnice

L <sub>dvn</sub> [dB]	Počet exponovaných			
	Osob	Staveb pro bydlení	Školských zařízení	Lůžkových zdravotnických zařízení
50-55	1 393 439	201 307	1 714	185
55-60	1 218 716	136 332	1 285	120
60-65	657 984	60 581	749	67
65-70	402 698	38 115	541	46
70-75	201 723	20 818	256	7
nad 75	11 900	1 356	19	2
SUM	3 886 460	458 509	4 564	427
nad MH	213 623	22 174	275	9

Tab. 4. Souhrnné výsledky ČR pro hlukový ukazatel L<sub>n</sub> - silnice

L <sub>n</sub> [dB]	Počet exponovaných			
	Osob	Staveb pro bydlení	Školských zařízení	Lůžkových zdravotnických zařízení
40-45	1 422 442	207 608	1 860	221
45-50	1 389 284	168 765	1 510	152
50-55	772 055	79 926	903	89
55-60	436 436	41 423	577	49
60-65	247 775	25 583	306	11
65-70	31 132	3 614	46	3
nad 70	684	89	2	0
SUM	4 299 808	527 008	5 204	525
nad MH	279 591	29 286	354	14

Obr. 1. Graf počtu exponovaných osob z tab. 3 a 4.



## 6. Porovnání výsledků 2. a 3. kola

Tab. 5 Změna ve 3. kole

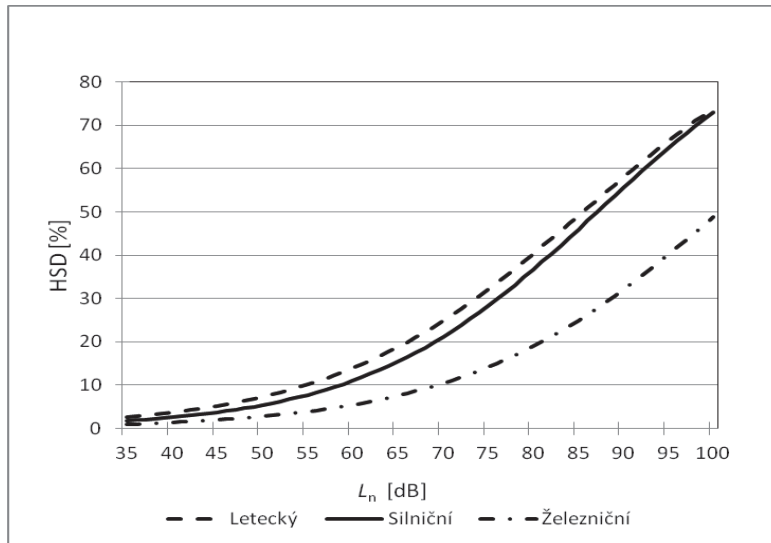
Interval [dB]	Počet exponovaných osob	
	$L_{dvn}$	$L_n$
50-55	391 444	-38 337
55-60	-82 672	-90 479
60-65	-85 438	-41 494
65-70	-26 204	-13 403
70-75	-35 269	-19 171
nad 75	-15 900	-2 293
<b>SUM</b>	<b>145 961</b>	<b>-205 177</b>

Z hodnot uvedených v tab. 5 vyplývá, že u ukazatele pro celodenní obtěžování hlukem ( $L_{dvn}$ ) došlo k mírnému nárůstu exponovaných osob, avšak pouze v nejnižším intervalu sledované expozice. U ukazatele pro rušení spánku hlukem ( $L_n$ ) došlo k poklesu exponovaných osob v celém sledovaném rozsahu expozice. Tento slibný trend je však třeba přijímat opatrně, protože při zpracování výpočtů pro 3. kolo došlo k určitým změnám v metodice výpočtu, zejména sjednocení vstupních dat pro pohltivost terénu i objektů, takže část poklesu je třeba přičíst na vrub této úpravy. Nicméně, tyto úpravy se projeví především u vzdálenějších objektů, tedy pro nižší intervaly hlukových ukazatelů, takže trend snížení počtu exponovaných osob s nejvyšší zátěží lze mít za prokázaný.

## 7. Zdravotní rizika expozice hluku

Přímé zdravotní účinky jsou prokázány u dlouhodobé (mnohaleté) expozice hluku působené zejména definovanými technickými zdroji hluku, jakými jsou např. doprava, průmyslová činnost (stroje a zařízení), u nichž existuje kauzální vztah závislosti expozice-odezva odvozené pro některé subjektivní nebo objektivní účinky. Světová zdravotnická organizace (WHO) dosud stanovila, že za prokázané zdravotní účinky je považováno vysoké rušení spánku (High Sleep Disturbance-HSD) a kardiovaskulární choroby (KVO), zejména infarkt myokardu a v některých případech i hypertenze [1,2]. Zatím co vysoké rušení spánku je založeno na subjektivním hodnocení pomocí dotazníkových šetření, kardiovaskulární choroby představují objektivní účinek stanovený na základě lékařských diagnóz. Příslušné závislosti expozice-odezva (Exposure-Response-Functions- ERF) jsou odvozeny na základě rozsáhlých epidemiologických studií a jsou vyjádřeny analyticky, takže je lze využít pro kvantitativní hodnocení zdravotních rizik expozice hluku uvedených zdrojů. Na obr. 3 je uvedený graf ERF vyjadřující závislost procenta osob s vysokým rušením spánku v populaci exponované ekvivalentními hladinami akustického tlaku  $L_n$ , pro různé kategorie zdrojů hluku.



Obr. 3. Graf závislosti % vysokého rušení spánku (HSD) na hlukovém ukazateli  $L_n$  podle [3]

Za mez společensky přijatelného zdravotního rizika se považuje hodnota  $L_n$  rovná cca 60 dB. Z grafu je patrné, že této hodnotě pro zdroje silničního hluku odpovídá podíl osob, které subjektivně pociťují vysoké rušení spánku, ve výši cca 10 % z celkového počtu exponovaných.

Aplikací analytických vztahů pro ERF na počty exponovaných osob uvedených v tab. 3 a 4 lze získat pravděpodobný počet osob, které v důsledku expozice hlukem ze silničního provozu budou vystaveni vysokému rušení spánku a u kterých se může vyskytnout infarkt myokardu, včetně možného úmrtí na tuto chorobu. Tyto pravděpodobné počty osob jsou uvedeny v následujících tab. 6, 7 a 8.

Tab. 6 Vysoké rušení spánku (HSD) silničním hlukem

Počet osob		
Sledováno celkem	HSD	
	Počet	%
4 387 531	342 561	7,8

Tab. 7 Vysoké obtěžování (HA) silničním hlukem

Počet osob		
Sledováno celkem	HA	
	Počet	%
3 905 347	389 990	10,0

Tab. 8 Infarkt myokardu - počet osob (PAF) a související úmrtnost, kterou lze přisoudit expozici silničním hlukem

Počet osob			
Sledováno celkem	Prevalence IM	HLUK PAF- IM	HLUK Mortalita- IM
6 240 554	46 769	350	22

Pozn. k tabulkám 6 -8:

1. Sledováno celkem – počet osob, které vstupovaly do hodnocení pro daný faktor. Pro IM byly zahrnuty i osoby pod spodním intervalem hodnot hlukových ukazatelů sledovaných v rámci SHM.
2. Prevalence IM – počet osob z celkového počtu sledovaných osob, u kterých se může vyskytnout IM (dle údajů ÚZIS pro rok 2016) ze všech rizikových faktorů včetně hluku ze silničního provozu.
3. PAF – populační atributivní frakce - počet osob s možným výskytem IM, které lze připsat na vrub expozice silničním hlukem.
4. Mortalita – počet osob s IM, které pravděpodobně mohou zemřít v důsledku expozice silničním hlukem.
5. Hodnoty prevalence a mortality na IM byly převzaty z údajů ÚZIS pro rok 2016.

## 8. Hygienické limity hluku

Z hlediska hygienických limitů hluku stanovených NV, lze ukazatel  $L_n$  dle END ztotožnit s určujícím ukazatelem hluku pro hluk z dopravy  $L_{Aeq,8h}$ . Hygienický limit v chráněném venkovním prostoru staveb pro silniční hluk a noční dobu v případě dálnic a silnic I. a II. třídy, což jsou především silnice vstupující do strategického hlukového mapování, má hodnotu 50 dB a v případě silnic uvedených do provozu před 1. 1. 2001, u kterých byl přiznán režim tzv. staré hlukové zátěže (SHZ), maximálně 60 dB.

I když určující ukazatel hluku  $L_{Aeq,16h}$  stanovený nařízením vlády pro hluk z dopravy a denní dobu není zcela totožný s ukazatelem  $L_{dvn}$ , lze hygienický limit, který pro dálnice a silnice I. a II. třídy má hodnotu 60 dB a v případě silnic se SHZ maximálně 70 dB, přibližně vztáhnout i na výsledné hodnoty  $L_{dvn}$  ze strategického hlukového mapování obsažené ve výše uvedených tabulkách. Rozdíl mezi oběma ukazateli závisí na velikosti odstupe hladiny hluku v noční době od hladiny hluku v denní době a bývá 1,3 - 2,0 dB.

## 9. Závěr

Z výše uvedených výsledků 3. kola SHM lze vyvodit, že hluk z dopravy, zejména silniční, zůstává výrazným negativním faktorem ovlivňujícím zdraví a pohodu velkého počtu obyvatel. Strategické hlukové mapování, i když nezahrnuje celou dopravní síť, je významným nástrojem pro formulování národní politiky snižování a řízení hluku v životním prostředí. Díky němu získáváme plošné informace o zatížení obyvatelstva hlukem a o jeho zdravotních důsledcích. Strategické hlukové mapování se sice dotýká pouze cca čtvrtiny obcí ČR, v nichž však žije téměř 80 % veškeré populace. Údaje o expozici a jejích zdravotních důsledcích tak můžeme považovat za reprezentativní pro celou ČR. S mírným optimismem můžeme očekávat snížení počtu osob exponovaných nejvyššími hladinami hluku.

## Literatura

- [1] Good practice guide on noise exposure and potential health effects, EEA –TR No. 11/2010
- [2] Burden of disease from environmental noise, WHO, JRC 2011
- [3] Report „The „Genlyd“ Noise Annoyance Model“, Dose – Response Relationships Modelled by Logistic Functions, Delta AV 1102/07, 20.March 2007

## **3<sup>rd</sup> round of strategic noise mapping in the Czech Republic**

**Tomáš Hellmuth, Dana Potužníková, Pavel Junek**

*Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě,*

*Partyzánské nám. 7, 702 00 Ostrava*

e-mail:tomas.hellmuth@zuova.cz

### **Abstract**

Strategic noise mapping is based on the EU Directive No. 2002/49 EC, relating to the assessment and management of environmental noise. This directive was implemented to the Czech legislation in 2006. The computed noise maps are provided for inhabited neighbourhood of so called major roads, major railways, major airports and agglomerations stated. Mapping is provided in regular five - year cycles. In this report the summarized results of the 3<sup>rd</sup> round of strategic noise mapping for road traffic noise are given in tables and graphic form. These results are fundamental information for providing the action plans of noise regulation measures and policy formulation concerning noise regulation and management by the responsible statutory authorities.

# Aplikace staré hlukové zátěže z dopravy v praxi

Dana Potužníková, Tomáš Hellmuth  
Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě,  
Partyzánské nám. 7, 702 00 Ostrava  
e-mail: dana.potuznikova@zuova.cz

## Abstrakt

Dne 30. 7. 2016 nabyla účinnosti novela nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. Novela v § 12 stále obsahuje možnost přiznání korekce na tzv. „starou hlukovou zátěž“ a upravuje podmínky, za kterých je možné korekci +20 dB k základní ekvivalentní hladině akustického tlaku  $A L_{Aeq,T}$  50 dB přiznat. Korekce na starou hlukovou zátěž byla zavedena v roce 2000 jako analogie snižování starých ekologických zátěží v životním prostředí. Příspěvek se zabývá analýzou problémů, které institut „staré hlukové zátěže“ přináší v praxi 18 let po jeho zavedení do právního systému v ochraně veřejného zdraví před hlukem.

## 1. Smysl zavedení korekce na starou hlukovou zátěž

Korekce na starou hlukovou zátěž (dále jen „SHZ“) byla zavedena v roce 2000 nařízením vlády č. 502/2000 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací [1]. Institut SHZ byl zaveden v analogii s jinými starými ekologickými zátěžemi životního prostředí proto, aby bylo možno *dočasně a za stanovených podmínek právně legalizovat určitý omezený nadlimitní stav hlučnosti*, který vznikl v podstatě historicky, a na jehož řešení ve smyslu nových právních předpisů nemá společnost v daný moment dostatečné technické možnosti a finanční prostředky.

## 2. Stávající právní úprava

Následnými legislativními procesy došlo postupně ke změně původního smyslu zavedení SHZ. Podle nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, ve znění pozdějších předpisů (dále jen „NV č. 272/2011 Sb.“) [2] se SZH rozumí hluk v chráněném venkovním prostoru a chráněných venkovních prostorech staveb, který existoval již před 1. lednem 2001 (rozhodné datum), je působený dopravou na pozemních komunikacích nebo drahách, a překračoval hodnoty hygienických limitů (dále i „HL“) stanovené k tomuto datu pro chráněný venkovní prostor a chráněný venkovní prostor stavby.

Pokud tedy hluk existující v chráněných venkovních prostorech k rozhodnému datu překračoval hodnotu HL stanovených k tomuto datu, ale nepřekročil HL pro (tolerovatelnou) SHZ, pak je tento stav tolerován, a to do té doby, než se prokazatelně zvýší o více než 2,0 dB.

Korekci na SHZ lze pro chráněné venkovní prostory uplatnit pouze tehdy, jsou-li *současně splněny tři podmínky*:

- Komunikace *existovala* před 1. 1. 2001.
- V roce 2000 *byl překročen HL* (prokazuje se v posuzovaném chráněném venkovním prostoru, resp. ve venkovním chráněném prostoru staveb).
- V době posuzování (tj. např. v roce 2018) *nedošlo ke zvýšení hluku* v chráněném venkovním prostoru o více než 2,0 dB oproti stavu v roce 2000 (prokazuje se buď v referenční vzdálenosti, nebo přímo v posuzovaném

chráněném venkovním prostoru, resp. ve venkovním chráněném prostoru staveb).

*SHZ lze aplikovat pouze pro chráněné venkovní prostory, které se nacházejí v území v okolí komunikace do vzdálenosti ohraničené průběhem kritické izofony, tj. izofony odpovídající příslušnému HL v roce 2000.* Při navýšení hluku k datu posouzení až do výše 2 dB dojde k posunu kritických izofon směrem od komunikace hlouběji do chráněné zástavby, takže v nadlimitně zatíženém území mohou být nově chráněné objekty, které v roce 2000 ležely v území podlimitním. SHZ podle definice pro tyto objekty nemůže být vůbec uvažována. Na tomto postupu nemění nic ustanovení o tzv. uceleném úseku [2]. Vlivem změn původního textu v průběhu legislativního procesu došlo ke změně smyslu SHZ, což s sebou přineslo v aplikační praxi nepříjemné důsledky, které jsou v praxi velkou komplikací.

### 3. Důsledek

Důsledkem přetrvávání původně dočasněho institutu SHZ, formulace pojmu SHZ a její nesprávné aplikaci v praxi je několik absurdit.

#### 3.1. Absurdita aplikace pojmu „ucelený úsek“

Pojem ucelený úsek je provozovateli aplikován i tam, kde to je proti dikci zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů (dále i „zákon č. 258/2000“ Sb.) [3]. Podle NV č. 272/2011 Sb. §2 písm. o) je uceleným úsekem úsek pozemní komunikace nebo dráhy vymezený podle jiných právních předpisů staničením, a není-li takto ucelený úsek vymezen, považuje se za něj úsek homogenní z hlediska hodnocení hluku [2]. V § 12 odst. 4 NV č. 272/2011 Sb. je pak uvedeno, že hygienický limit stanovený pro starou hlukovou zátěž se vztahuje na ucelené úseky pozemní komunikace nebo dráhy. [2]. Zákon č. 258/2000 Sb. v § 30 odst. 1 jasně stanoví, že hygienické limity stanoví prováděcí právní předpis, kterým je NV č. 272/2011 Sb., pro chráněný venkovní prostor, chráněné vnitřní prostory staveb a chráněné venkovní prostory staveb. Žádný „ucelený úsek“ v zákoně uveden není.

Z výše uvedeného tedy vyplývá, že *korekci na SHZ nelze přiznat pro „ucelený úsek“* vymezený staničením, ale pouze pro celý *homogenní úsek*, tj. úsek, ve kterém je stejná doprava (složení a intenzita dopravního proudu), komunikace má z hlediska vlivu na hlučnost stejné parametry (šířka, sklon, povrch) a zástavba je takového typu, kdy není nutné posuzovat jednotlivé chráněné prostory, resp. stavbu (souvislá zástavba). Jedná se tedy převážně o městský typ zástavby.

Z výše uvedeného tedy vyplývá, že *korekci na SHZ nelze přiznat v případě rozptýlené zástavby*, kde je třeba zkoumat každý jednotlivý objekt a jeho chráněné prostory (objekty nejsou umístěny na stejné stavební čáře, zástavba je částečně oboustranná, objekty mají různé výšky apod.), tj. kde se nejedná o homogenní úsek z hlediska umístění a typu zástavby.

#### 3.2. Absurdita dvou různých způsobů řešení nadlimitní zátěže SHZ

Absurdita spočívá v rozdílném postupu posuzování nadlimitní zátěže v případě aplikace korekce na SHZ, tj. v případě, že hodnota ekvivalentní hladiny akustického tlaku A pro denní dobu  $L_{Aeq,16h}$  překračuje 70 dB, pro noční dobu  $L_{Aeq,8h}$  překračuje 60 dB. Podle autorského výkladu Ministerstva zdravotnictví ČR je nutné stanovit hygienický limit v tomto případě podle toho, zda v době posuzování došlo od roku 2000 k navýšení hlučnosti o méně jak 2 dB či více.

*Došlo-li k navýšení hlučnosti o více jak 2 dB, je provozovatel zdroje hluku povinen provést taková protihluková opatření, aby po jejich realizaci nepřekračoval hodnoty hygienických limitů stanovených podle NV č. 272/2011 Sb. bez korekce na SHZ. [2]. Což znamená, že dojde-li od roku 2000 k navýšení hlučnosti o více než 2 dB, nelze již korekci na starou hlukovou zátěž přiznat.*

*Nedošlo-li k navýšení hlučnosti většímu než 2 dB, postačí provozovateli provést taková protihluková opatření, aby došlo ke snížení hlučnosti na hodnotu hygienického limitu pro SHZ, tj. pro denní dobu  $L_{Aeq,16h} = 70$  dB, pro noční dobu  $L_{Aeq,8h} = 60$  dB. Což znamená, že korekci na starou hlukovou zátěž lze stále přiznat. Takovouto aplikací uplatňování korekce na SHZ je však popřen její původní smysl, a to dočasnost této „staré“, historicky vzniklé ekologické zátěže s cílem postupně snižovat tuto historicky vzniklou hlukovou zátěž obyvatel hlukem z pozemní dopravy. Výsledkem je prakticky zavedení hygienického limitu  $L_{Aeq,16h} = 70$  dB, který nemá v Evropě obdoby.*

## 4. Problémy

Aplikace korekce na SHZ v praxi s sebou přináší několik zásadních problémů, které vycházejí z toho, že původní záměr dočasného institutu SHZ dnes již přetrvává 18 let a je tedy přežitý, sama konstrukce uplatnění korekce je složitá, problematická a netransparentní.

### 4.1. Identifikace všech chráněných venkovních prostor (staveb)

Zákon č. 258/2000 Sb. v § 30 odst. 1 jasně stanovuje, že hygienické limity se stanoví pro chráněný venkovní prostor, chráněné vnitřní prostory stavby a chráněné venkovní prostory staveb. [3]. Z dikce zákona je tedy jasné, že i v případě SHZ je nutné posoudit odpovídající chráněné prostory, resp. stanovit hodnoty hygienických limitů k chráněným prostorům.

V případě chráněného venkovního prostoru je nutné v katastru nemovitostí u všech pozemků kolem posuzované stavby zjistit, zda se jedná o chráněný venkovní prostor v souladu s požadavky Zákon č. 258/2000 Sb. § 30 odst. 3.

V případě chráněného venkovního prostoru staveb je nutné zjistit buď přímo v terénu, nebo v archivu stavebního úřadu z projektové dokumentace stavby, zda se za fasádou objektu nachází chráněný vnitřní prostor staveb a jak je tento chráněný vnitřní prostor větrán, tj. zda se v souladu s požadavky Zákona č. 258/2000 Sb. § 30 odst. 3. skutečně jedná o chráněný venkovní prostor staveb.

*V praxi to znamená identifikaci všech staveb v okolí posuzované pozemní komunikace (silnice nebo dráhy) a všech chráněných venkovních prostor kolem posuzované stavby.*

### 4.2. Stanovení hodnot určujících ukazatelů hluku ke každému chráněnému venkovnímu prostoru staveb

Jak je výše uvedeno, hygienické limity se stanovují pro chráněné venkovní prostory, což v souladu s § 30 odst. 3. Zákona č. 258/2000 Sb. v praxi znamená, že v případě chráněného venkovního prostoru staveb je *nutné posoudit všechny fasády posuzovaných objektů včetně střech* v případě, že jsou v objektu pod střechou chráněné vnitřní prostory. *V případě vícepodlažního objektu je pak nutné posoudit všechna podlaží.* Ke každému takto identifikovanému chráněnému prostoru staveb je nutné stanovit v souladu s §12 odst. 4 NV č. 272/2011 Sb. hodnotu určujícího ukazatele hluku ( $L_{Aeq,16h}$  a  $L_{Aeq,8h}$ ) pro rok 2000, aby bylo možné posoudit, zda v roce

2000 byl hygienický limit překračován. [2]. Dále pak pro rok, kdy je posuzována možnost přiznání korekce na SHZ, tj. např. rok 2018. Z porovnání rozdílů těchto hodnot (v roce 2000 a v roce posouzení) je pak buďto korekce na SHZ přiznána či nikoliv. Pokud korekci na SHZ již přiznat nelze (rozdíl hodnot určujících ukazatelů hluku v roce 2000 a např. v roce 2018 je větší než 2 dB), stanoví se hygienický limit postupem podle § 12 odst. 6 NV č. 272/2011 Sb., příloha č. 3. [2]

Z výše uvedeného vyplývá, že *postup posouzení, zda korekci na SHZ lze přiznat je komplikovaný a zdlouhavý a v praxi vede například k tomu, že na jednom objektu je na jedné straně domu (fasádě) korekce na SHZ přiznána a na dalších stranách ne. Dochází i k situacím, že u vícepodlažních domů je na jedné straně domu (fasádě) korekce na SHZ přiznána pouze v některých podlažích.*

### 4.3. Vstupní data pro rok 2000

Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. v §12 odst. 4 stanovuje, že: „Stará hluková zátěž  $L_{Aeq,16h}$  pro denní dobu a  $L_{Aeq,8h}$  pro noční dobu se zjišťuje měřením nebo výpočtem z údajů o roční průměrné denní intenzitě a skladbě dopravy v roce 2000 poskytnutých správcem popřípadě vlastníkem pozemní komunikace nebo dráhy.“ [2].

U silniční dopravy se standardně vychází z Celostátního sčítání dopravy 2000, které probíhá v pětiletých cyklech na všech dálnicích, silnicích I. a II. třídy a na vybraných úsecích silnic III. třídy České republiky a jsou veřejně dostupné na webových stránkách Ředitelství silnic a dálnic ČR (ŘSD). [4]. Úkolem Celostátního sčítání dopravy je zjištění aktuálních informací o intenzitách na dálniční a silniční síti v České republice s ohledem na zisk základních dopravních a inženýrských podkladů pro projektovou činnost pozemních komunikací. Získaná data se využívají i pro prognózování vývoje zatížení silniční sítě. [5,6]. *Problémem je však nedostupnost sčítání dopravy pro celou síť komunikací III. tříd, které jsou v majetku krajů či obcí.*

U železniční dopravy je situace jednodušší, tam údaje o složení a intenzitě poskytuje Správa železniční a dopravní cesty (ŠZDC).

U obou typů dopravy se prakticky vychází pouze z vypočtených hodnot určujících ukazatelů hluku, protože *měření z roku 2000 již po téměř dvaceti letech nejsou dostupná* a pokud jsou, tak jsou v jednom místě měření, resp. jednom chráněném venkovním prostoru (stavby) nikoliv u všech. *Problémem však je, že data mnohdy nejsou transparentní a prakticky není možné je zkontrolovat.*

### 4.4. Přepočítání vstupních dat

Problém vstupních dat pro rok 2000 je ve změně metodiky pro sčítání dopravy, ke které došlo po roce 2000. Následkem toho se data z Celostátního sčítání dopravy 2000 přepočítávají koeficienty, aby bylo možné jejich porovnání s roky následujícími. *Použitím přepočítávacích koeficientů se obecně vždy vnáší do výstupů velká nejistota.*

### 4.5. Výpočet hodnot určujících ukazatelů hluku

Jak je výše uvedeno, pro vytvoření podkladů, na jejichž základě se rozhoduje o možnosti přiznání korekce na SHZ, se prakticky vychází pouze z vypočtených hodnot určujících ukazatelů hluku. *Problémem jsou nejistoty, které vstupují do celého procesu výpočtu:*

- nejistota geografických podkladů polohopisu a výškopisu,
- nejistota parametrů objektů a prvků modelu (vlastnost fasád objektů a povrchu clon, odrazivost terénu, výška objektů a akustických clon),

- nejistota vstupních podkladů o emisi hluku modelovaných zdrojů hluku,
- nejistota vyplývající z vlastností výpočtového standardu,
- nejistota vyplývající z použitých meteorologických dat,
- nejistota způsobenou zpracovatelem modelu procesem uživatel / nástroj,
- nejistota způsobenou použitým predikčním softwarem,
- nejistota vyplývající ze zjednodušení modelů hlukové situace pro urychlení výpočtu,

a v neposlední řadě skutečnost, že v ČR není dosud zavedena jednotná výpočtová metodika pro výpočet hluku z dopravy, což je úkol pro Ministerstvo zdravotnictví, v jehož gesci je ochrana zdraví před hlukem.

## 5. Závěr

Institut staré hlukové zátěže je již po 18 letech existence překonán, protože ztratil svůj původní smysl (dočasnost).

Jeho aplikace v praxi je novelami legislativních předpisů komplikovaná a tím dochází i k častým dezinterpretacím [1,2,3], kdy některé důsledky vedou k odborně nezdůvodnitelným absurditám.

Celý proces posouzení možnosti přiznání korekce na SHZ provázejí velké nejistoty vycházející zejména z dostupnosti a kvality dat roku 2000.

Uplatnění tohoto institutu začíná být problematické v mezích zákona č. 258/2000 Sb., který je založen na právně závazných hygienických limitech, tj. důsledkem je, že hodnoty určujících ukazatelů hluku, jejichž nejistoty výpočtu jsou v tomto případě minimálně jednotky dB, jsou používány ke stanovení hodnot právně závazných hygienických limitů, jejichž překročení o desetinu dB znamená porušení zákonné povinnosti. [3].

Výše popsané skutečnosti vedou jednoznačně k závěru, že je nutné překonány institut staré hlukové zátěže nahradit jednoznačným, transparentním a právně dobře uchopitelným systémem. Jako východisko se nabízí přístup „à la Evropa“, tj. rozdělení silnic a železnic na „staré“ a „nové“ pozemní komunikace, bez ohledu na jejich zatřídění...

... a to bude skutečně „běh na dlouhou trať“.

## Literatura

- [1] Nařízení vlády č. 502/2000 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. Sbírka zákonů ČR, 2000 listopad 27; částka 146.
- [2] Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, ve znění nařízení vlády č. 217/2016 Sb. Sbírka zákonů ČR, 2016 červenec 15; částka 84.
- [3] Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů. Sbírka zákonů ČR, 2005 prosinec 5; částka 165.
- [4] <https://www.rsd.cz/wps/portal/web/Silnice-a-dalnice/Scitani-dopravy>
- [5] Celostátní sčítání dopravy 2010 [online]. Praha: Ředitelství silnic a dálnic České republiky, 2012. <https://www.rsd.cz/doc/Silnicni-a-dalnicni-sit/Intenzita-dopravy/celostatni-scitani-dopravy-2010>
- [6] Intenzity dopravy [online]. České dálnice.cz, 2009-05-06. <http://www.ceskedalnice.cz/odborne-info/intenzity-dopravy/>



## Application of old noise load from traffic in practice

**Dana Potužníková, Tomáš Hellmuth**

*Public Health Institut, Ostrava,*

*Partyzánské nám. 7, 702 00 Ostrava*

e-mail: dana.potuznikova@zuova.cz

### **Abstract**

On 30 July 2016, the Government Decree No. 272/2011 Coll., on health protection against adverse effects of noise and vibrations, became effective. The amendment in § 12 still includes the possibility of granting a correction to the so-called "old noise load" and adjusts the conditions under which a +20 dB correction can be admitted to the baseline sound pressure level A  $L_{Aeq,T}$  50 dB. Correction to the old noise load was introduced in 2000 as an analogy to the reduction of old ecological burdens in the environment. This paper deals with the analysis of problems that the "old noise burdens" institute brings in practice 18 years after its introduction into the legal system in the field of public health protection against noise.

# Aplikace inovativní protihlukové clony na tramvajové trati v Praze - Hloubětíně

Ondřej Bret

Fakulta stavební ČVUT v Praze

Thákurova 7/2077, 166 29, Praha 6 - Dejvice

e-mail: [ondrej.bret@fsv.cvut.cz](mailto:ondrej.bret@fsv.cvut.cz)

## Abstrakt

Příspěvek se zabývá výstavbou a ověřovacím provozem inovativního protihlukového opatření pro kolejovou dopravu, tzv. Městské protihlukové clony, a zřízením zkušebního úseku na tramvajové trati u nově vznikající zástavby v Praze - Hloubětíně v roce 2018. Městská protihluková clona je nový akustický prvek, který vznikl ve spolupráci univerzity - ČVUT v Praze, Fakulty stavební a průmyslového partnera - firmy Montstav CZ s.r.o. Clona se vyznačuje jednak velmi malými rozměry, kdy výška je jen cca 0,3 m nad úroveň temene kolejnice, a jednak specifickým materiálovým řešením využívajícím pojený gumový recyklát, který je získaný z vyřazených pneumatik. Celkové řešení prvku Městské protihlukové clony již prošlo rešeršním řízením a jako vynálezu mu byl Úřadem průmyslového vlastnictví v roce 2017 udělen patent. Prvek slouží k útlumu hluku od kolejové dopravy vznikajícího na kontaktu kolo - kolejnice. Podle měření provedených na prvním zkušebním úseku dosahuje útlum u tramvajových tratí (v závislosti na konkrétním typu tramvaji) hodnot v rozmezí 3 - 5 dB. Článek se zabývá omezujícími podmínkami pro umístění a provedení Městské protihlukové clony. Dále je zde popsána samotná výstavba, její okolnosti i její technologie, a to na souvislém zkušebním úseku zřízeném během opravy tramvajové trati v úseku Nový Hloubětín - Vozovna Hloubětín.

Klíčová slova: hluk; protihluková clona; tramvajová doprava; recyklace; gumový granulát

## 1. Úvod

V současné době dochází k neustálému zvyšování nároků na přípustnou hladinu hluku v zastavěných obydlených oblastech a to nejen od dopravy silniční ale i od dopravy kolejové. Tento problém je diskutován dlouhodobě nejen v odborných kruzích, ale čím dál častěji proniká i do veřejného mediálního prostoru. Příkladem může být problém při kolaudaci rekonstruovaných tramvajových tratí z roku 2017 [1].

Hluk z dopravy lze obecně snižovat aktivními nebo pasivními protihlukovými opatřeními. Mezi aktivní protihluková opatření na kolejových tratích z pohledu stavebního patří zejména kvalitní a udržovaná jízdní dráha, volba konstrukce tratí, upevnění kolejnic, aplikace kolejnicových absorbérů nebo odstraňování vlnkovitosti. Mezi aktivní protihluková opatření patří i opatření prováděná na vozidlech. Jedná se zejména o údržbu profilu kol, zaplentování a jiné úpravy podvozků. I při aplikaci vhodné kombinace narazí aktivní opatření na strop svých možností a pro další snížení hluku je zapotřebí opatření pasivní. Mezi pasivní protihluková opatření patří například klasické protihlukové stěny, aplikované nejen u kolejové dopravy, ale také u dopravy silniční, dále protihlukové valy, povrchové protihlukové tunely atp. V poslední době se rozšiřuje snaha vyvíjet a aplikovat prvky menší velikosti, které by v terénu netvářely neprostupnou bariéru, nerušily výhled (z vozidel ani v okolí),

netvořili překážku při zásahu IZS a eliminovaly i další nevýhody klasických protihlukových stěn. [2]

Nízké protihlukové clony jsou prvky nebo stavební dílce ukládané podél tramvajové trati, železniční trati nebo jiné kolejové dráhy, jejichž aplikací dochází ke snížení nežádoucích účinků hluku vznikajících během průjezdu vozidel. Nízké clony eliminují především hluk vznikající v úrovni podvozků, zejména na kontaktu kolo-kolejnice. Díky svým rozměrům mohou být oproti klasickým protihlukovým stěnám umístěny mnohem blíže ke zdroji hluku. [2] Umístěné jsou tak často na hranici průjezdného průřezu nebo obrysu pro vozidla, aby byly co blíže ke zdroji hluku. S ohledem na materiál, ze kterého jsou vyrobeny, mohou mít pohltivé či odrazivé vlastnosti.

## 2. Městská protihluková clona

Městská protihluková clona (dále v textu také jen zkráceně „MPHC“) je protihlukový prvek vyvinutý ve spolupráci Katedry železničních staveb, Fakulty stavební ČVUT v Praze a firmy Montstav CZ s.r.o. sídlící v Dolním Rychnově, která se zabývá recyklací a výrobou prvků z recyklované gumy.

MPHC je určena pro útlum hluku z kolejové dopravy, který vzniká na kontaktu kolo-kolejnice. Charakteristická výška clony je cca 30 cm nad temeny kolejnic (TK). Clona je umístěna v bezprostřední blízkosti obrysu vozidel, čímž efektivně tlumí vznikající hluk. Městská protihluková clona je charakteristická použitým materiálem – jedná se o kompozit na bázi granulátu z recyklované pryže, který je pojený polyuretanovým pojivem. Gumový granulát je druhotnou surovinou, jež může být použita v různých aplikacích v pojeném, nebo i v nepojeném stavu [3]. Oproti jiným obdobným prvkům může být MPHC rychle demontovatelná, což je velkou výhodou například při nutném zásahu integrovaného záchranného systému, pro který jsou například betonové protihlukové stěny významnou překážkou pro rychlý a bezproblémový zásah.

### 2.1. Možnosti využití MPHC

Využití městské protihlukové clony je pro její charakteristiky výhodné zejména u kolejových staveb v zastavěných oblastech, kde použití konvenčních protihlukových opatření není z různých důvodů vhodné nebo vůbec možné. Zejména se jedná o začlenění protihlukových opatření do uličního prostoru, nenarušování pohledových vazeb a již zmíněná možnost zásahu záchranných složek například při povalení a zaklínění osob.

S ohledem na princip útlumu hluku obdobných opatření, konstrukčního řešení a umístění MPHC lze definovat základní omezující faktory pro její využití:

- *umístění v přímých úsecích, nebo v obloucích o dostatečném poloměru;*  
(V obloucích o malých poloměrech je kvůli vybočování skříňně nutné umístit clonu ve větší vzdálenosti od koleje, což snižuje její účinnost. Aplikace clony je tak vhodná od poloměru oblouku cca 200 m a více.)
- *umístění v úsecích bez provozu silniční dopravy;*  
(Umístění clony velmi blízko k definovaným prostorům pro průjezd kolejových vozidel klade vysoké nároky na dodržení definované jízdní dráhy, která u silničních vozidel není zaručena.)
- *umístění v oblastech, kde se nepředpokládá zvýšený pohyb osob přes trať*  
(Centra měst, pěší zóny a podobně)

Z výše uvedeného vyplývá, že typickým místem, kde lze MPHC aplikovat, je tramvajová trať v širším centru nebo na okraji měst, vedená na samostatném tělese nebo zcela mimo prostor pozemní komunikace s konstrukcí s otevřeným kolejovým ložem nebo s travním zákrytem. Pro tyto tratě může aplikace MPHC představovat důležitou možnost snížení hluku emitovaného z provozu do okolní zástavby.

Mimo výše uvedených obecně platných omezení je nutné při každé aplikaci zohledňovat další specifika konkrétního provozu. Pro tramvajový provoz v Praze se jednalo například o zachování možnosti otevření vně výklopných dveří tramvají typu T6A5 pro případ evakuace, nebo zajištění průjezdu podvozkového sněhového pluhu PSP-01 [4]. Dodržení takovýchto specifických podmínek a omezení však řešení MPHC bez obtíží umožňuje.

## **2.2. Pilotní aplikace MPHC**

První provozní zkoušky s cílem zjištění akustické účinnosti prvku Městské protihlukové clony probíhají od roku 2016. Zkušební umístění prvku do kolejového lože pro ověření založení a konstrukce proběhlo v březnu u ústředních dílen DPP. Na základě místního šetření byl zpracován definitivní návrh umístění, tvaru a bylo optimalizováno spojení dílců MPHC. Ještě v roce 2016 pak byl realizován zkušební úsek v Praze – Braníku o délce cca 25 metrů. Tento úsek je umístěn zcela mimo zástavbu a jeho účelem bylo potvrdit akustickou účinnost, konstrukční možnosti a materiálovou trvanlivost MPHC při dlouhodobém vystavení povětrnosti. [4]

Na základě dlouhodobého sledování s příznivými výsledky (snížení hluku od průjezdu tramvají o cca 4 – 5 dB [5], stálost materiálu a konstrukce i po proběhlých zimních obdobích, ...) bylo přistoupeno k hledání dalších možností aplikace prvku MPHC, a to včetně konstrukčních a designových vylepšení.

## **3. Aplikace inovativní protihlukové clony v Praze - Hloubětíně**

Na základě pozitivních výsledků a zkušeností z prvního zkušebního úseku bylo rozhodnuto na konceptu Městské protihlukové clony dále pracovat s cílem ověřit navržené konstrukční úpravy, zajistit rozvoj a možnost uplatnění prvku na dalších tramvajových tratích. Tzv. 2. generace Městské protihlukové clony tak byla zařazena do projektu Koncepty Fakulty Stavební pro Prahu řešeného v rámci Operačního programu Praha – Pól růstu s provádění prací od roku 2018.

### **3.1. Zvolená trať a lokalita**

Ve spolupráci s Dopravním podnikem hlavního města Prahy byla pro výstavbu souvislého úseku protihlukové clony vytipována tramvajová trať mezi ulicemi Kolbenova a Poděbradská v mezistaničním úseku Vozovna Hloubětín – Nový Hloubětín, nacházející se na Praze 9. Tato tramvajová trať byla zvolena z několika důvodů:

- trať je vedena na vlastním tělese mimo pozemní komunikaci a bez souběžného provozu silniční dopravy, což mimo jiné výrazně usnadňuje měření a vyhodnocování měření hluku;
- zvolený úsek je v přímé resp. oblouku o poloměru 400 m, konstrukce trati je na pražcích v otevřeném kolejovém loži,
- v blízkosti tratě vzniká bytová zástavba, kterou clona pomůže chránit od hluku;
- trať je umístěna na okraji Prahy mimo historickou zástavbu, umístění clony tak nenarušuje vzhled místa, památkovou ochranu, atp.
- rekonstrukce (resp. oprava) tratě byla naplánována na rok 2018.

Zvolená trať je tak pro umístění obdobných protihlukových opatření zcela ideální. Na tramvajové trati je v denním provozu linka číslo 16 (interval ve špičce 8 minut), v nočním provozu linka 94 (interval 20 / 30 minut). Průměrná rychlost souprav se s ohledem na krátkou mezistaniční vzdálenost a přilehlý oblouku a kolejovou křižovatce pohybuje okolo 30 km/h.

Celková délka zřízené protihlukové clony je 55 metrů, z toho 45 metrů u koleje směrem do centra a cca 10 metrů v blízkosti přechodu a zastávky Vozovna Hloubětín směrem z centra.

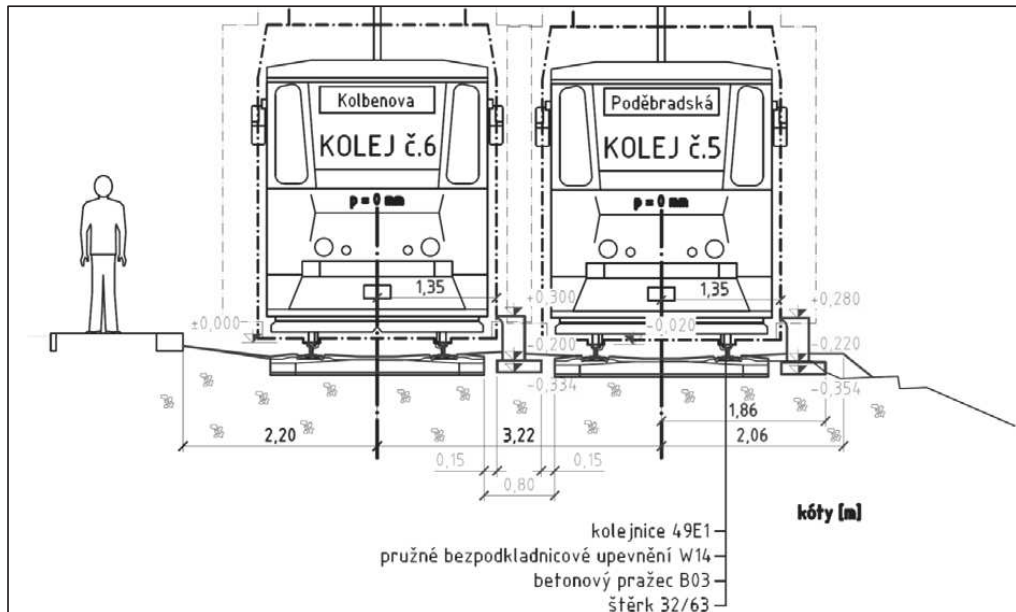
### 3.2. Konstrukce a umístění protihlukové clony

Protihluková clona sestává ze dvou částí – základu a gumových segmentů.

Základ je tvořen betonovým pasem vyztuženým kompozitní sklolaminátovou prefabrikovanou mříží. Vyztužení je provedeno kompozitním materiálem z důvodu eliminace šíření bludných proudů podél koleje. Do roštu jsou v požadovaných roztečích (300 mm) zasazeny ocelové trubky o průměru 30 mm pro usazení dílců.

Gumový segment se skládá ze dvou částí: spodní a horní. Obě části jsou vyrobeny z pojeného SBR granulátu definované zrnitosti. Spodní část má tvar kvádrů o délce 600 mm, výšce 400 mm a šířce 250 mm. Boční strana přilehlá ke koleji má pro zvýšení akustické pohltivosti povrchovou úpravu v podobě vlny, ostatní stěny segmentu jsou provedeny jako hladké. Na vrchní straně je provedena středová drážka pro vsunutí latě zajišťující spolupůsobení dílců a zvyšující jejich stabilitu. Na bočních stranách je provedeno zazubení eliminující prostup hluku mezi sousedními dílci. Horní část má tvar kvádrů s výstupkem směrem ke koleji. Výška horní části je 100 mm, šířka na horním líci je 330 mm.

Obr. 1. Příčný řez tramvajovou tratí v místě protihlukové clony



Zdroj: autor

Tato zvolená konstrukce umožňuje, po zřízení základu, velmi rychlou a jednoduchou montáž (v případě potřeby i demontáž) celé clony. Nutností pro

správnou funkci i dodržení polohy je však precizní provedení základu (jak dodržení vzdálenosti trubek pro usazení dílců, tak usazení základu v trati).

Projektovaná poloha líce protihlukové clony vůči koleji je ve vzdálenosti 1450 mm od osy koleje, akustický výstupek v horní části se přibližuje do vzdálenosti 1370 mm od osy koleje. Výška clony nad temenem kolejnice je 300 mm.

### 3.3. Výstavba protihlukové clony

Výstavba protihlukové clony probíhala v koordinaci s prováděnou opravou a rekonstrukcí tratě a celkové obnovy přilehlé ulice Kolbenova. Výluka provozu byla zahájena po ukončení denního provozu 2. března 2018.

V dotčeném úseku proběhla v prvních fázích samotná oprava tratě Dopravního podniku hlavního města Prahy – bylo sneseno kolejové lože, proběhly práce na sanaci spodku a následně byly znovu v definitivní poloze zřízeny obě koleje. Konstrukce tratě se zde nově skládá z bezžlábkových kolejnic 49E1 upevněných pomocí bezpodkladnicového upevnění W14 k betonovým pražcům B03 ve šterkovém loži frakce 32/63.

Výstavba protihlukové clony se rozběhla po dokončení hlavních prací na kolejovém svršku na přelomu května a června. Podél koleje byla pomocí dvoucestného bagru vyhloubena ve šterkovém loži rýha pro zřízení základového pásu. Po ztuhnutí základové spáry umístěné přibližně na úrovni ložné plochy pražců již byl prováděn samotný základ. Zvolená konstrukce klade poměrně vysoké nároky na přesné umístění základu, neboť ten definuje jak konečnou výšku, tak směrovou polohu clony.

Obr. 2. Kontrola správné polohy základu vůči koleji



Zdroj: autor

Rychlost výstavby základu pro čtyřčlennou pracovní četvu byla cca 10 m za den. Je však nutné zdůraznit, že výstavba probíhala (s výjimkou hloubení rýhy dvoucestným bagrem) bez mechanizačních prostředků a v případě nasazení dalších pracovníků nebo techniky by se zvýšila.

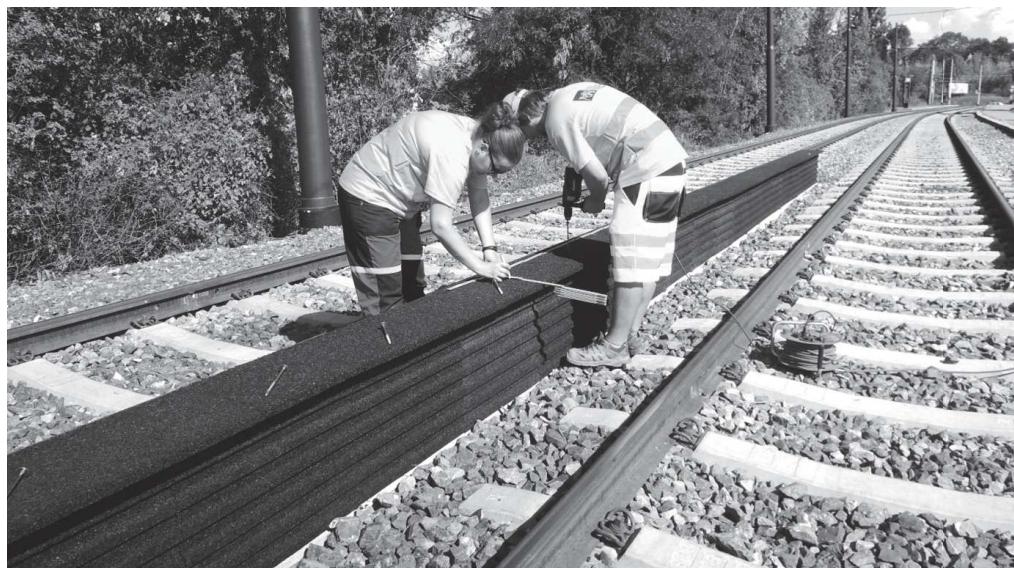
V další fázi se na zhotovený základ nasouvají gumové segmenty, přičemž každý segment je nasazen na dvě trubky (viz obr. 3). Hmotnost dílců umožňuje pohodlnou manipulaci dvěma pracovníky – hmotnost segmentu je  $33 \text{ kg} \pm 5\%$ . Dílce se fixují pomocí dřevěných klínů umístěných do vůle mezi trubku a otvor v dílci. Podélné ztužení celé clony je zajištěno pomocí dřevěné či kompozitní latě umístěné v drážce.

Obr. 3. Umísťování segmentů 2. generace MPHČ na dokončený základový pás



Zdroj: autor

Obr. 4. Dokončovací práce



Zdroj: autor

Takto sestavená konstrukce je překryta přišroubovanými horními dílci (viz obr. 4), což zajišťuje spolupůsobení celé clony a zvyšuje tak její stabilitu. Při správném provedení základu probíhají dokončovací práce velmi rychle, celá délka clony (cca 100 dílců) byla osazena za jeden pracovní den.

Dne 28. června proběhlo ověření průjezdnosti, a předprovozní měření hluku tratě po opravě. Běžný provoz byl v úseku zahájen v plánovaném termínu 30. 6. 2018.

Obr. 5. Celkový pohled na protihlukovou clonu v běžném provozu



Zdroj: autor

### 3.4. Akustická měření

Na úseku tramvajové tratě, kde byla vystavěna protihluková clona, je prováděna i komplexní měřicí kampaň za účelem potvrzení předpokládaných hodnot útlumu hluku. Zřízeny byly celkem tři měřicí profily umožňující vyhodnotit jak přínos opravy svršku, tak samotného zřízení protihlukové clony. První měření proběhlo na původní konstrukci tratě před opravou 5. 3. 2018, další po opravě před zahájením provozu 28. 6. a zatím poslední měření proběhlo 10. 9. 2018, tedy po 3 měsících běžného provozu.

Měřicí kampaň prováděná v úzké spolupráci s DP Praha využívá unikátní možnosti srovnání průjezdu shodného referenčního vozu typu T3SU za shodných podmínek (rychlost, stav kol a podvozku, ...). Dosažené výsledky potvrzují snížení hluku při technickém měření hluku od cca 3 dB (tramvaje využívající skříně typu T3) po téměř 5 dB (např. tramvaje typu 14T s kapotáží podvozku a příznivějším tvarem skříně ve spodní části). Podrobné výsledky přesahují možnosti tohoto příspěvku a budou představeny po dalším vyhodnocení na odborných konferencích příp. v periodících.

## 4. Závěr

Městská protihluková clona se jeví jako efektivní a účinné protihlukové opatření pro útlum hluku z tramvajové dopravy. Použití MPHC je vhodné zejména v oblastech, kde aplikace konvenčních protihlukových opatření (například stěn) není z různých důvodů vhodná – jedná se zejména o úseky tramvajových tratí v zastavěných oblastech.

Zkušenosti z realizace souvislého úsek 2. generace clony s délkou více než 50 m, potvrzují, že pozměněná konstrukce umožňuje rychlejší a přesnější výstavbu i zlepšením designu. Po dokončení výstavby lze konstatovat, že díky provedeným úpravám je clona bez problémů aplikovatelná i v souvislých úsecích a je možné ji



využívat jako jedno z možných protihlukových opatření vedoucí k celkové redukci hlukové zátěže. Technickým měřením bylo opakovaně prokázáno snížení hluku vlivem aplikace clony v rozmezí minimálně 3 – 4 dB podle konkrétního typu tramvaje.

### Literatura

- [1] FROUZOVÁ, K. Praha musí řešit hlučné tramvaje na opravených tratích. Hrozí omezení nebo zrušení desítky spojů. In: [www.ihned.cz](http://www.ihned.cz): Hospodářské noviny [online] 27. 12. 2016.
- [2] ČÍŽKOVÁ (VÁŇOVÁ), P.; LOMOZ, L. Comparison of efficacy of low and high acoustic screens. In: *Acustica*. 2014, 22(22), 28-36. ISSN 1801-9064.
- [3] LIDMILA, M.: Nové perspektivy využití recyklovaných materiálů v železničním stavitelství. In: *Udržitelná výstavba*, ČVUT v Praze, Praha 2011, s. 25-31. ISBN 978-80-01-04961-7.
- [4] BRET O.; VÁŇOVÁ P. Development of the Municipal Noise-absorbing Screen and test section construction technology In: Student Scientific Conference Modernization of Railway IRICoN 2017. Praha: Czech Technical University in Prague, 2017. pp. 6-11. ISSN 2336-5382. ISBN 978-80-01-06297-5.
- [5] VÁŇOVÁ, P.; BRET O. The Municipal Noise Absorbing Screen in Praha Modřany *Akustika*. 2017, 28(28), 3-12. ISSN 1801-9064.

### Poděkování

*Tento příspěvek a práce na zkušebním úseku Městské protihlukové clony 2. generace byly realizovány s podporou projektu Koncepty Fakulty Stavební pro Prahu 2017 řešeného v rámci Operačního programu Praha – Pól růstu ČR, reg. č. projektu CZ.07.1.02/0.0/0.0/16\_040/0000377.*

*Další informace o projektu Městské protihlukové clony naleznete na <http://mphc.cz>.*

## Application of the innovative noise barrier within the Prague - Hloubětín tramway track section

**Ondřej Bret**

*Faculty of Civil Engineering CTU in Prague*

*Thákurova 7/2077, 166 29, Prague 6, Czech Republic*

e-mail: [ondrej.bret@fsv.cvut.cz](mailto:ondrej.bret@fsv.cvut.cz)

### **Abstract**

The article deals with the construction and the verification operation of the innovative noise protection measures for the rail traffic, so called *Urban noise barrier*, and the construction of the trial section on the tramway track near the new housing development in Prague - Hloubětín in 2018. The urban noise barrier is a new acoustic element that was created in CTU in Prague, Faculty of Civil Engineering in cooperation with Montstav CZ s.r.o. - the business partner. The barrier is significant for its small dimensions - its height is only about 0.3 m above the running table, as well as for its specific material solution. Used material is based on cemented recycled rubber yielded from eliminated tyres. The whole concept of the Urban noise barrier element has already passed the state of the art search and for its invention it was granted a patent by the Industrial Property Office. The barrier's purpose is the attenuation of the rail traffic noise coming from the wheel - rail contact. According to the measurements on the first trial section (Prague - Braník) the attenuation of the tram traffic noise (depending on the particular type of tram) reaches to 3 - 5 dB. The article is concerned with the restrictive conditions of the implementation of the *Urban noise barrier*. Furthermore there is described the whole construction, as well as its circumstances and its technology, all of it on the continuous trial section established within the reconstruction of the tramway track Nový Hloubětín - Vozovna Hloubětín.

Keywords: noise pollution, noise barrier, tram traffic, recycling, rubber granulate.



# Problematika obrusných vrstev se sníženou hlučností na pozemních komunikacích a jejich udržitelnost

Ing. Vítězslav Křivánek, Ph.D.

Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.

Líšeňská 33a, 636 00 Brno

e-mail: vitezslav.krivanek@cdv.cz

## Abstrakt

Dle místních podmínek délka akustické životnosti obrusné vrstvy může být velmi rozdílná a lze ji zásadně ovlivnit vhodnou údržbou. Akustická životnost obrusné vrstvy se sníženou hlučností je charakterizována jako období, během kterého sledovaný typ obrusné vrstvy dosahuje oproti stanovené referenční hodnotě zlepšení akustického útlumu. V současné době existuje jednoznačný postup, definovaný v TP 259, jak tyto rozvíjející se technologie nových obrusných vrstev se sníženou hlučností hodnotit, monitorovat i dlouhodobě nezávisle posuzovat z hlediska vývoje akustické charakterizace a to včetně posouzení prováděné údržby.

## 1. Úvod

I s ohledem na požadavek výpočtu strategických hlukových map dle metodiky CNOSSOS-EU z hlediska ochrany životního prostředí před hlukem ze silniční dopravy se jako velmi důležitá jeví podrobná znalost akustických charakteristik obrusných vrstev nových vozovek pozemních komunikací a jejich změna v průběhu následného užívání takových vozovek. Hluk šířící se z pozemní komunikace do okolí je ovlivněn intenzitou dopravního provozu, rychlostí vozidel a velmi významně i vlastním stavem pozemní komunikace (vrchní obrusné vrstvy). Změny akustických charakteristik povrchů vozovek pozemních komunikací v průběhu jejich užívání mají bezprostřední vliv na celkovou generovanou úroveň hluku ze silničního provozu to již od rychlosti přibližně 40-50 km/h v závislosti na podílu nákladních vozidel. Proto hodnocení a posuzování hlučnosti obrusných vrstev pozemních komunikací představuje potencionálně zásadní význam pro zmenšení negativních dopadů na životní prostředí [3], potažmo zdraví člověka [2].

## 2. Technické podmínky 259

Pracovníci Centra dopravního výzkumu, v. v. i. (dále CDV), kteří jsou členy CEN TC227/WG5 se v rámci svých výzkumných aktivit na národní úrovni od roku 2011 systematicky zabývají měřením hlučnosti jednotlivých typů komunikací v terénu na území ČR metodou CPX (Close-ProXimity) [4], [5], [6] – např. výzkumné projekty TA01030459, TE01020168, TA04021486. Do roku 2017 pracovníky CDV bylo změřeno a vyhodnoceno i v rámci opakovaných periodických měření na celkovou délku přes 4 000 km. Tato rozsáhlá datová základna byla využita při tvorbě příloh národního předpisu technických podmínek Ministerstva dopravy ČR – TP 259: *Asfaltové směsi pro obrusné vrstvy se sníženou hlučností* [11], které platí od prosince 2017 a jsou plně integrovány do Systému jakosti v oboru pozemních komunikací.

Tyto technické podmínky vymezují typy asfaltových směsí, které lze považovat za kompozity, s jejichž pomocí mohou být realizovány obrusné vrstvy se sníženou hlučností. Definují požadavky na použité materiály a stanovují způsob značení asfaltových směsí, které jsou pro dané obrusné vrstvy vhodné. Samozřejmostí je uvedení technických požadavků na jednotlivé typy asfaltové směsi z hlediska přípustného oboru zrnitosti, intervalu požadované mezerovitosti či minimálního obsahu rozpustného asfaltového pojiva. Pro fázi provádění obrusných vrstev se sníženou hlučností udávají některá specifika, jež je důležité dodržet. To se týká například množství spojovacího postřiku, podmínky podkladu, na který je přípustné obrusnou vrstvou se sníženou hlučností realizovat či podmínky, které je třeba dodržet navíc při hutnění. Přílohy upravují principy dobré praxe při údržbě a popisují vymezení akustické životnosti asfaltové obrusné vrstvy se sníženou hlučností, metodiku stanovení snížení hlučnosti v porovnání s referenční hodnotou a zhoršení charakteristik emise hluku v čase po provedení monitorovacích měření. Cílem nového předpisu mimo jiné je i z dlouhodobého hlediska získávat informace o případných technických omezeních vyplývajících z vlastní technologie asfaltových směsí pro obrusné vrstvy se sníženou hlučností, včetně jejich dosažitelné životnosti – technické i akustické – a to především pro účely dlouhodobého plánování, projektování a realizace jejich použití na pozemních komunikacích.

### 3. Hodnocení dle technických podmínek 259

Pro hodnocení byla stanovena národní srovnávací základna hlučnosti běžné pozemní komunikace při měření metodou CPX pro rychlost 50 km/h a 80 km/h, kdy bylo postupováno v souladu s doplňkovými doporučeními normy ISO 11819-2 i na základě doporučení CEN TC 227/WG5 [1]. Jednotlivé země za tuto základnu používají asfaltovou obrusnou vrstvu, která je nejčastěji pokládána na pozemních komunikacích daného státu podle národních specifik, jejíž stáří je dva roky. V případě České republiky se bavíme o obrusných vrstvách typu SMA 11 +/S či ACO 11 +/S. Kvalitně provedené běžné asfaltové směsi ACO 11+, ACO 11S nebo SMA 11S dosahují po pokládce maximální hlučnosti v úrovni cca 89 dB, kdy po zajetí do dvou let se jejich hlučnost pohybuje na úrovni 90 dB. Pro rychlost 80 km/h je obdobně stanovena hodnota 98 dB při použití metody CPX dle ISO 11819-2.

Tyto stanovené hodnoty mají zásadní význam při porovnávání jednotlivých technologií či srovnání různých míst navzájem mezi sebou, jelikož při posuzování změny hlukové emise obrusných vrstev vozovek je velmi důležité, jaký byl pro toto posuzování zvolen výchozí stav [7]. Budeme-li porovnávat hlukovou emisi několik let starého zdegradovaného a na řadě míst porušeného krytového souvrství vozovky pozemní komunikace a technicky správně provedené nové obrusné vrstvy se sníženou hlučností ihned po provedení pokládky novostavby nebo rekonstrukce krytu vozovky, je možné dosahovat snížení hlukové emise přesahující hodnotu 10 dB [8]. Na první pohled se takový pokles jeví jako úžasný úspěch, o to důležitější však je se vždy dobře podívat, co mezi sebou porovnáváme a zda jsou použítá data smysluplně porovnatelná nebo naopak ukazují skutečnost, kterou by dobře napravila i prostá oprava obrusné vrstvy zcela standardním typem asfaltové směsi.

Z hlediska vlastního hodnocení obrusných směsí se sníženou hlučností dle TP 259 se vychází z analogie a navázání na NV č. 272/2011 Sb. ve znění pozdějších předpisů, kdy se zde pracuje s pojmem prokazatelné navýšení hluku, které představuje navýšení hlukové zátěže o 2 dB. Tuto skutečnost využívá i TP 259 a zavádí formulaci: „*Za obrusnou vrstvou pozemní komunikace se sníženou hlučností lze považovat libovolnou asfaltovou směs, jejíž hlučnost (korigovaná ekvivalentní*

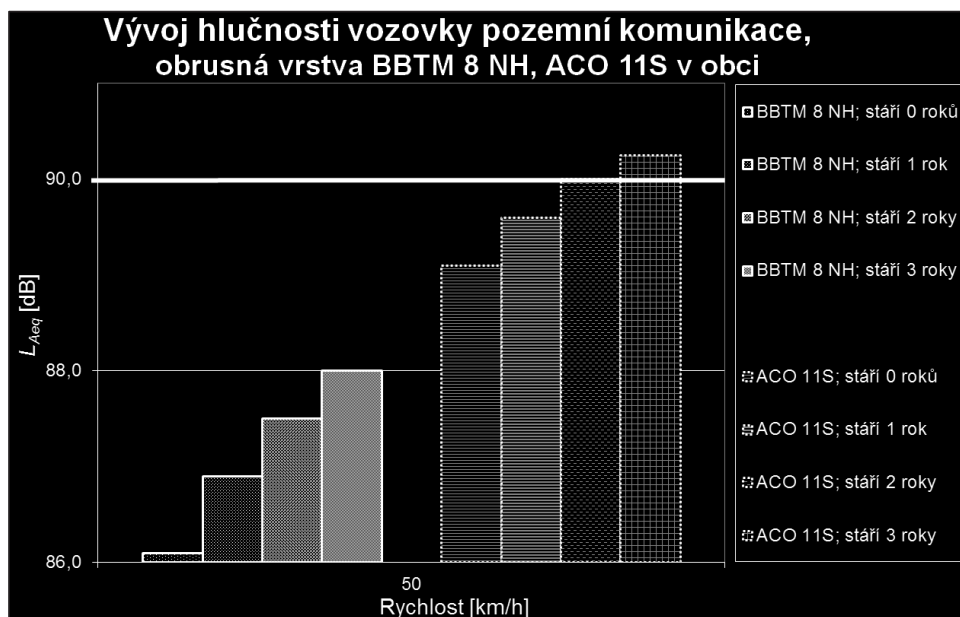
*hladina akustického tlaku styku pneumatika/vozovka na referenční rychlost, teplotu a tvrdost při použití SRTT pneumatiky P1) po pokládce je minimálně o 2,0 dB nižší než stanovená referenční hodnota.“*

Hlučnost povrchu pozemní komunikace se v čase vyvíjí a to jak pro směsi se sníženou hlučností, tak i pro běžné asfaltové směsi použité na pozemních komunikacích, proto je v TP 259 uvedeno, do kdy lze považovat obrusnou vrstvu se sníženou hlučností za funkční z hlediska jejího akustického benefitu v porovnání s běžným novým povrchem pozemní komunikace: „*Po dvou a více letech od uvedení do provozu lze za obrusnou vrstvu pozemní komunikace se sníženou hlučností považovat libovolnou asfaltovou směs, jejíž hlučnost (korigovaná ekvivalentní hladina akustického tlaku styku pneumatika/vozovka na referenční rychlost, teplotu a tvrdost při použití SRTT pneumatiky P1) nedosáhne stanovené referenční hodnoty.“*

#### 4. Hodnocení dle technických podmínek 259

Za posledních cca 5 let byla v ČR realizována celá řada úseků s uplatněním asfaltových směsí vhodných pro obrusné vrstvy se sníženou hlučností a některé z výsledků byly prezentovány již dříve. V ČR dnes existují některé lokality, kde bezprostředně za sebou je položena asfaltová směs pro obrusnou vrstvu se sníženou hlučností a běžný typ asfaltové směsi (zpravidla ACO 11+/S nebo SMA 11S). Ukázka výsledků měření z místní komunikace v obci, kde je možné maximální rychlost 50 km/h je uvedena na Obr. 1. Praktické výsledky z terénu potvrzují, že naměřená hlučnost běžné asfaltové směsi ACO 11S v druhém roce od její pokládky přesně odpovídá stanovené srovnávací národní referenční hladině. Souběžně s tím provedená asfaltová směs pro obrusnou vrstvu se sníženou hlučností v souladu s TP 259 po pokládce snížila hlučnost přibližně o 4 dB a po třech letech provozu na této pozemní komunikaci tato obrusná vrstva stále dle TP 259 vykazuje akusticky příznivé vlastnosti (útlum hluku) a to v úrovni přibližně 2 dB.

Obr. 1. Srovnání hlučnosti běžné (ACO 11S) a nízkohlučné asfaltové směsi (BBTM 8 NH) v obci s vyznačenou stanovenou referenční hodnotou dle TP 259.



Poznámka: Označení číslice za zkratkou asfaltové směsi vždy udává nejvyšší zrno v dané asfaltové směsi uvedené v milimetrech. Označení „+“ či „S“ se použije pro odlišení typů, které jsou určeny pro pozemní komunikace, kde se předpokládá vyšší dopravní zatížení nebo se požaduje vyšší odolnost proti vzniku poruch. BBTM je označení pro tenký asfaltový beton pro obrusné vrstvy, SMA je asfaltový koberec mastixový, ACO je asfaltový beton. Zkratka „NH“ se uplatní pro vymezení asfaltové směsi pro obrusné vrstvy se sníženou hlučností.

Důležitá je i další skutečnost zřejmá z Obr. 1. – narůstá nejenom hlučnost asfaltové obrusné vrstvy se sníženou hlučností, nýbrž v čase po akustické stránce degraduje i běžná obrusná vrstva (zde ACO 11S). Z akustického hlediska přitom dochází k nejvýraznějšímu nárůstu hlučnosti povrchu vozovky (nejvýraznější ztráta potenciálu útlumu hluku) první tři roky od pokládky. Následně dochází k postupnému zpomalování rychlosti nárůstu hlučnosti za předpokladu, že nedochází ke vzniku poruch konstrukce vozovky [9]. Tento poznatek je víceméně logický, především pokud nedochází k pravidelnému vysokotlakému čištění obrusné vrstvy se sníženou hlučností [10]. Důvodem je skutečnost, že se postupně zanášejí vzájemně propojené mezery, přičemž počáteční mezerovitost asfaltových směsí dle TP 259 by se měla z hlediska kontrolních zkoušek pohybovat v rozmezí 8-15 %-obj. Postupným ulpíváním jemných prachových částic, mastnoty a dalších nečistot, které při provozu na pozemních komunikacích běžně vznikají, se tato hodnota snižuje, až se asfaltová vrstva přiblíží mezerovitostí běžné asfaltové směsi s mezerovitostí <4 %-obj. Technicky taková asfaltová vrstva nadále funguje další roky jako kvalitní obrusná vrstva, z akustického hlediska však dojde k postupnému dosažení její akustické životnosti.

## 5. Závěr

Obrusné vrstvy se sníženou hlučností mají v porovnání s běžnými směsi typu AC nebo SMA díky upravené čáře zrnitosti vždy vyšší mezerovitost. Tato skutečnost má přímý vliv na potenciál dosažitelného útlumu hluku, současně však činí takto zvolené obrusné vrstvy choulostivější z pohledu zanášení vzduchových mezer drobnými nečistotami (jíl, prach, hlína, oleje a maziva, posypový materiál apod.). V důsledku tohoto zanášení vzduchových mezer se snižuje akustická životnost. Pro zachování co nejlepších vlastností je přitom nutné, aby v průběhu výstavby nedošlo k mechanickému poškození obrusné vrstvy těžkými stavebními či zemědělskými stroji a mechanismy nebo nedošlo k nevhodnému skladování materiálů a je nutné zajistit i kvalitní a zejména trvale funkční odvodnění pozemní komunikace. V rámci zimní údržby se u obrusných vrstev se sníženou hlučností nesmí používat inertní posypový materiál, v jehož důsledku by docházelo k rychlému zanášení vzduchových mezer. Je vhodné zanášení těchto typů obrusných vrstev předcházet pravidelnou (a dostatečně častou) údržbou – čištěním, byť se do jisté míry uplatňuje „samočisticí“ efekt zejména při vyšších rychlostech na pozemní komunikaci. Zvýšenou údržbou se sice zanášejí vzduchové mezery, ale rychleji degraduje asfaltové pojivo, čemuž nelze předejít, tento proces lze jen použitím vhodně modifikovaných asfaltových pojiv zpomalit.

Nové progresivní technologie, které vyhovují předpisu TP 259 zde máme jen velmi krátkou dobu (jelikož ne všechny obrusné směsi splňují podmínky TP 259) a dlouhodobé hodnocení, respektive posouzení po dobu celé očekávané životnosti není dosud možné provést, i proto TP 259 v současné době nepředepisují hodnoty stanovené po víceletém období od vlastní pokládky asfaltové směsi pro obrusnou vrstvu se sníženou hlučností. Ovšem v současné době již máme jednoznačný postup,

definovaný v TP 259, jak tyto rozvíjející se technologie nových obrusných vrstev se sníženou hlučností hodnotit, monitorovat i dlouhodobě nezávisle posuzovat z hlediska vývoje akustické charakterizace a to včetně posouzení prováděné údržby.

#### **Literatura:**

- [1] HAIDER, M. et al., *Status of the EU-Project ROSANNE*. Transportation Research Procedia, vol. 14, pp. 2946-2955, ISSN: 2352-1465, DOI: 10.1016/j.trpro.2016.05.415.
- [2] Hellmuth, T., Potužníková, D., Junek, P., Fiala, Z., *Obtěžování hlukem: zdravotní problém nebo akustický komfort?* Hygiena, roč. 61, č. 1, 2016, s. 33 - 35, ISSN 1802-6281.
- [3] Hellmuth, T., Potužníková, D., Bednarčík, P., Fiala, Z., *Návrh metodiky Stanovení rozumně dosažitelné míry protihlukových opatření*, Hygiena, roč. 59, č. 1, 2014, s. 27 - 31, ISSN 1802-6281.
- [4] *ISO/CD 11819-2:2017, Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 2: The close-proximity method.*
- [5] *ISO/TS 11819-3:2017, Acoustics – Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise – Part 3: Reference Tyres.*
- [6] *ISO/TS 13471-1:2017, Acoustics - Temperature influence on tyre/road noise measurement - Part 1: Correction for temperature when testing with the CPX method.*
- [7] KŘIVÁNEK, V., *Nízkohlučné povrchy v ČR - sledování účinku snížené hlučnosti*. In 95. akustický seminář. Horní Cerekev, 10. - 12. 10. 2017, Česká akustická společnost, 2017, s. 5 - 12. ISBN 978-80-01-06320-0.
- [8] KŘIVÁNEK, Vítězslav et al. *Dlouhodobé hodnocení hlučnosti povrchů vozovek. Certifikovaná metodika*. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2017. 52 s. ISBN 978-80-88074-53-3. Tato metodika vznikla za finanční podpory TA ČR.
- [9] KŘIVÁNEK, V., JEDLIČKA, J., ŠPIČKA, L., *Prostorový a dlouhodobý časový monitoring hlučnosti povrchů komunikace D1. Silniční obzor*, 2015, roč. 76, č. 5, s. 145-148. ISSN 0322-7154.
- [10] KŘIVÁNEK, V., PÁVKOVÁ, A., TÖGEL, M., JEDLIČKA, J., CHOLOVA, R., *Cleaning Low-Noise Surfaces as a Basic Condition for Improving Pavement's Acoustic Absorption Capability*. *Arabian Journal for Science and Engineering*, no. 41, iss. 2, pp. 425-431, 2016. ISSN 1319-8025, DOI: 10.1007/s13369-015-1713-y.
- [11] VALENTIN, J., MONDSCHHEIN, P., BUREŠ, P., KŘIVÁNEK, V., *Technické podmínky 259 Asfaltové směsi pro obrusné vrstvy se sníženou hlučností*, schváleno Ministerstvem dopravy čj. 121/2017-120-TN ze dne 21. listopadu 2017 s účinností od 1. prosince 2017, 26 s.

#### **Poděkování**

*Tento příspěvek vznikl na základě dat získaných v rámci projektu Technologické agentury ČR č. TA04021486 – „Nástroje pro analýzu a hodnocení environmentálních dopadů hluku vozovek“ a finanční podpory MŠMT v rámci programu NPU I, projektu Dopravní VaV centrum (LO1610) na výzkumné infrastruktuře pořízené z operačního programu výzkum a vývoj pro inovace (CZ.1.05/2.1.00/03.0064).*



## **Issues pavement wearing courses for reducing noise levels on road traffic and their sustainability**

**Ing. Vítězslav Křivánek, Ph.D.**

*Transport Research Centre*

*Líšeňská 33a, 636 00 Brno*

e-mail: [vitezslav.krivanek@cdv.cz](mailto:vitezslav.krivanek@cdv.cz)

### **Abstract**

Depending on local conditions, the length of wearing course acoustic life span can be very different and can be significantly influenced by suitable maintenance. Acoustic life span of a low-noise wearing course is characterized as a period during which the monitored type of wearing course reaches acoustic reduction in comparison to the reference value. There is currently a clear procedure, defined in TP 259, how to assess, monitor, regularly maintain, and perform long-term independent evaluation of these emerging technologies of new wearing courses in terms of the acoustic characterization trends.

# Do práce zdravě

**Mgr. Jan Beneš**

*Krajská hygienická stanice Moravskoslezského kraje se sídlem v Ostravě*

*Odbor hygieny obecné a komunální*

*Na Bělidle 724/7, 702 00 Ostrava*

e-mail: jan.benes@khssova.cz

## **Abstrakt**

V posledních letech dochází ve vyspělých zemích k významným změnám v oblasti skladby a využití dopravy, v souvislosti s důrazem na zlepšování kvality životního prostředí, snižování emisí z dopravy, posilování lidského zdraví a zdravého životního stylu jak vhodnější stravou, tak pravidelným pohybem. Nejedná se tedy pouze o provoz vozidel s nižšími emisemi či carsharing, důležitým prvkem je také rozvoj bezemisní dopravy, konkrétně cyklistické dopravy či chůze. Krajská hygienická stanice Moravskoslezského kraje se sídlem v Ostravě (dále „KHS MSK“) dlouhodobě podporuje aktivity vedoucí jak ke zlepšování životního prostředí, tak lidského zdraví. Na základě výše uvedeného vznikla v rámci KHS MSK nová iniciativa, jejímž hlavním principem je podpora zdravého způsobu dopravy do zaměstnání, čili cyklistické dopravy či chůze. Zaměstnanci, kteří se do tohoto projektu zapojili, zapisují své cesty do zaměstnání v období od června do prosince roku 2018. Jedná se o zápis počtu vykonaných cest a absolvovaných kilometrů jak formou cyklistické dopravy, tak formou pěší, v týdenních intervalech. Na konci projektu bude provedeno dotazníkové šetření mezi jednotlivými účastníky, které vyhodnotí konkrétní přínosy, a rovněž budou zpracována data získaná průběžnými zápisy výše uvedených hodnot. Jedním z hlavních cílů je zjistit, jaké množství emisí bylo touto iniciativou ušetřeno. Mezi benefity iniciativy patří také zlepšení fyzické kondice zúčastněných zaměstnanců či zvýšení produktivity práce v zaměstnání. V návaznosti na tento projekt bylo také zlepšeno vybavení územních pracovišť KHS MSK potřebnou infrastrukturou.

## The Healthy Way to Work

**Mgr. Jan Beneš**

*Regional Public Health Authority of Moravian - Silesian Region*

*Department of General and Municipal Hygiene*

*Na Bělidle 724/7, 702 00 Ostrava*

e-mail: [jan.benes@khsova.cz](mailto:jan.benes@khsova.cz)

### **Abstract**

Recent years have seen significant changes in the composition and use of transport in developed countries, with emphasis on improving the quality of the environment, reducing transport emissions, enhancing human health and healthy lifestyle, both a more appropriate diet and a regular movement. This is not just about the lower emission vehicles or carsharing, the important element is also the development of non-emission transport, namely cycling and walking. Regional Public Health Authority of Moravian - Silesian Region („RPHA“) has long been supporting activities to improve both the environment and human health. On the basis of the above, a new initiative has been developed within the framework of the RPHA, whose main principle is the promotion of a healthy way of transport to work, ie cycling or walking. Employees who have joined the project register their journeys to work from June to December 2018. This is a record of the number of journeys made and mileage completed both in the form of cycling and pedestrian, at weekly intervals. At the end of the project, a questionnaire survey will be carried out between the individual participants evaluating the specific benefits, as well as the data obtained from the interim entries of the above values. One of the main objectives is to find out how much emissions have been spared by this initiative. Benefits include improving the physical condition of the employees involved, or increasing labour productivity at work. In relation with this project, RPHA's regional facilities were also improved by the necessary infrastructure.

# Místní akční plány pro rozvoj elektromobility

**Libor Špička**

*Centrum dopravního výzkumu*

*Líšeňská 33a, 636 00 Brno*

e-mail: [libor.spicka@cdv.cz](mailto:libor.spicka@cdv.cz)

## **Abstrakt**

Příspěvek je zaměřený na problematiku tvorby místních akčních plánů (LAP) pro rozvoj elektromobility. Na úrovni municipalit jsou zpracovány různé strategické dokumenty související s udržitelnou mobilitou, udržitelnou energetikou, územním plánováním, zlepšením kvality ovzduší apod. Návrhové části těchto dokumentů velmi často zmiňují obecná opatření v oblasti elektromobility. Úkolem místního akčního plánu je sloučit tato opatření do jednoho dokumentu, případně je doplnit dalšími vhodnými opatřeními a detailně je rozpracovat. Na základě zpracovaných studií a dalších výstupů mezinárodního projektu Electric, Electronic and Green Urban Transport Systems (Interreg, The Danube Transnational Programme) byla vytvořena sada podpůrných a školicích materiálů, s jejichž pomocí budou obce schopny, pokud se tak rozhodnou, zpracovávat místní akční plány pro rozvoj elektromobility vlastními silami. Podpůrné materiály jsou tvořeny příručkou pro místní akční plán. Přílohami příručky jsou referenční rámec a šablona pro tvorbu LAP. Školicí materiály jsou v elektronické podobě dostupné online a jsou sestaveny ze šesti výukových modulů.

## **Poděkování**

*Tato práce vznikla jako součást řešení projektu „Electric, Electronic and Green Urban Transport Systems“ č. DTP1-1-454-3.1, spolufinancovaného fondy Evropské unie (ERDF, IPA, ENI).*

## Local action plans for electromobility development

**Libor Špička**

*Transport Research Centre*

*Líšeňská 33a, 636 00 Brno*

e-mail: [libor.spicka@cdv.cz](mailto:libor.spicka@cdv.cz)

### **Abstract**

Paper is focused on issue of creation of the local action plans (LAP) for electromobility development. At municipal level, various strategic documents are elaborated, related to sustainable mobility, sustainable energy, spatial planning, air quality improvement, etc. The planning parts of these documents very often refer to general electromobility measures. The task of the Local Action Plan is to merge these measures into one document, supplement them with other appropriate measures and work up them in detail. Based on the studies and other outputs of the international project Electric, Electronic and Green Urban Transport Systems (Interreg, the Danube Transnational Program), a set of support and training materials has been created to help municipalities, if they choose so, to prepare local action plans for the development of electromobility by its own forces. Support materials consist of guidebook for the local action plan. The annexes to this guide are a reference framework and template for LAP creation. The training materials are available online in electronic form and are compiled of six learning modules.

# Strategické dopravní plánování ve městech: role a postoje aktérů a bariéry udržitelnosti

Hana Brúhová Foltýnová, Eliška Vejchodská, Kristýna Rybová  
Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem  
Fakulta sociálně ekonomická  
Pasteurova 3544/1, 400 96 Ústí nad Labem  
e-mail: hana.bruhova-foltynova@ujep.cz

## Abstrakt

Předkládaný příspěvek shrnuje první výsledky výzkumu věnovaného problematice strategického rozhodování o udržitelném rozvoji měst a městské mobility v ČR. Analyzuje role a postoje vybraných klíčových aktérů, jejich pohled na udržitelnou městskou mobilitu, podmínky pro strategické dopravní plánování a hlavní bariéry zavádění dopravních opatření.

Kvalitativní analýzy vycházejí z dat posbíraných během strukturovaných rozhovorů s experty z různých oblastí spojených s městskou mobilitou.

## 1. Úvod

Jedno ze základních aktuálních témat týkajících se udržitelného rozvoje měst je jejich charakter dopravy. Doprava v kontextu České republiky je především pro větší města jedním z hlavních zdrojů polutantů majících často významný vliv na lokální kvalitu ovzduší. V širším pohledu doprava ovlivňuje místní kvalitu života hlukem, dopravními kongescemi či zvýšenou morbiditou a mortalitou následkem dopravních nehod a znečištěním ovzduší. Využíváním fosilních paliv ve spalovacích motorech vozidel negativní dopady přesahují daleko za hranice města příspěvkem ke globální změně klimatu.

V souvislosti s charakterem dopravy a udržitelným rozvojem se hovoří o udržitelné mobilitě. Existují různá pojetí udržitelné mobility a velká řada definic tohoto konceptu i toho, jak jej dosáhnout. Nejčastěji koncept udržitelné mobility vychází z definice udržitelného rozvoje, jak ji formulovala Komise OSN G.H. Brundtlandové (1987), tj. *udržitelná mobilita je taková, která naplňuje potřeby přítomných generací, aniž by ohrozila schopnost budoucích generací naplňovat potřeby své*. Vychází ze tří pilířů – ekonomického, environmentálního a sociálního. Sociální pilíř reflektuje poptávku po intragenerační a mezigenerační spravedlnosti, tj. všichni ze stávajících i budoucích generací by měli mít stejné šance. Environmentální pilíř odráží ochranu životního prostředí. Ekonomický pilíř vyjadřuje materiální bohatství a příspěvek dopravy k HDP.

Pro náš výzkum jsme si definovali vlastní vizi města směřujícího k udržitelné mobilitě, a to jako *město, které motivuje obyvatele ke změně dopravního chování, aby co nejméně zatěžovali životní prostředí emisemi a hlukem*. Při formulaci této vize jsme vycházeli z dalších definic udržitelné mobility, které dále rozvíjí výše uvedený koncept Brundtlandové, viz např. [3], [6], [7], [8], [11] nebo [12]. Důležitý je v tomto pojetí aktivní přístup, který spočívá ve změně dopravního chování, ne pouze v technických a organizačních vylepšeních.

K naplnění vize udržitelné mobility slouží městům strategické dopravní plánování. Jedním ze stěžejních dokumentů měst pro tento účel je Plán udržitelné městské

mobility (Sustainable Urban Mobility Plan, SUMP). Podle národní metodiky tvorby SUMP [9] přináší SUMP možnost systematického plánování místní dopravní politiky od vize k opatřením, které tuto vizi podporují. Základem je dlouhodobá vize mobility a kontinuální směřování k ní, nikoli přístup zakládající se čistě na opatřeních reagujících na nastalé problémy.

Důležitou součástí celého plánovacího procesu je také zapojení veřejnosti a soustavná práce s ní – ať už formou vzdělávání a předávání závěrů analýz a studií, tak také zjišťováním preferencí, potřeb a zájmů jednotlivých skupin uživatelů dopravy. SUMP vyžaduje zájem a aktivní zapojení politické reprezentace měst. Jaké jsou však priority těchto aktérů? Ztotožňují se tito aktéři s vizemi vycházejícími z definice udržitelné mobility, nebo jsou zastánci jiného směřování dopravní politiky? Jak jsou mezi klíčovými aktéry rozloženy názory na udržitelnou městskou mobilitu (neboli jak jednotliví hráči vnímají své názorové soupeřníky a naopak oponenty)? Právě na těchto aktérech bude záležet, zda budou města k vizi udržitelné mobility nasměrována.

Cílem článku je představit první výsledky výzkumu věnovaného problematice strategického rozhodování o udržitelném rozvoji měst a městské mobility v ČR, které se týkají analýzy role a postojů vybraných klíčových aktérů, jejich pohledu na udržitelnou městskou mobilitu, na podmínky pro strategické dopravní plánování a na hlavní bariéry zavádění dopravních opatření.

Kvalitativní analýzy vycházejí z dat posbíraných během strukturovaných rozhovorů s klíčovými aktéry dopravní politiky měst. Výzkum se zaměřuje na největší města ČR, u nichž je povinnost zpracovávat dlouhodobé strategické dokumenty v oblasti mobility (především SUMP), ale částečně pokrývá také menší města (nad zhruba 20 tis. obyvatel), ve kterých má stále smysl připravovat dlouhodobou dopravní strategii založenou na hlavních principech SUMP.

V části 2 představujeme podrobněji metodologii výzkumu a teorie, o které se výzkum opírá. Část 3 shrnuje výsledky výzkumu z oblasti analýzy role jednotlivých aktérů. Část 4 shrnuje výsledky výzkumu z oblasti bariér, které aktéři vnímají jako zásadní pro naplňování jejich vlastní vize dopravní politiky. V závěru práce shrnujeme nejvýznamnější výsledky výzkumu a nastolujeme témata pro další výzkumné kroky.

## 2. Metodologie

### 2.1 Analýza aktérů a jejich role a výběr klíčových aktérů pro analýzy

Analýza aktérů/stakeholderů (stakeholder analysis) může nabývat mnoha forem. V kontextu politického výzkumu je chápána analýza aktérů jako nástroj sloužící k porozumění postojů relevantních aktérů a k odkrytí jejich možností ovlivnit konkrétní oblast politiky [2].

Kdo všechno je v analýzách stakeholderů chápán jako stakeholder či relevantní aktér, je velmi různorodé. Freeman [5] definoval stakeholdery jako ty, kteří mohou ovlivňovat konkrétní rozhodnutí či jím být ovlivněni, což je ve svém důsledku velmi široké pojetí. V kontextu dopravní politiky jsou její podobou přímo ovlivnění všichni občané města, nepřímou pak kdokoli jiný z důvodu globálních dopadů využívání fosilních paliv. Pro naši analýzu jsou relevantní aktéři / stakeholdeři definováni jako ti, kteří mohou ze své pracovní pozice přímo ovlivňovat rozhodnutí týkající se dopravní politiky na městské úrovni. Mezi tyto aktéry patří osoby z různých institucí ovlivňujících městskou mobilitu, kterými jsou kromě místních politiků, vrcholných

zaměstnanců městských úřadů (z odborů územního rozvoje, dopravy, životního prostředí atd.) a zástupců dopravních podniků dále také výzkumníci, zaměstnanci relevantních ministerstev, pracovníci z privátní sféry (především firem nabízejících nové služby v rámci městské mobility) a zaměstnanci nevládních neziskových organizací aktivních v dané oblasti.

Reed et al. [13] přináší přehled metodických přístupů k analýze stakeholderů, které dělí podle fází analýzy stakeholderů na metody identifikující relevantní aktéry, kategorizující tyto aktéry a popisující vztahy mezi jednotlivými aktéry.

Pro účely našeho výzkumu jsme jako metody identifikující relevantní aktéry zvolili focus groups ve spojitosti s metodou sněhové koule (snowball sampling). Cílem focus group (ve složení dopravní ekonom, politik, geograf, demograf) bylo definovat možné relevantní stakeholdery. Tito stakeholderi byli následně požádáni o rozhovor, který měl strukturovaný charakter a jehož otázky směřovaly mj. ke kategorizaci aktérů a popisu vztahů mezi aktéry. Díky uskutečněným rozhovorům s těmito aktéry byli metodou sněhové koule identifikováni další relevantní aktéři, kteří byli do výzkumu také zahrnuti.

## 2.2 Sběr dat

Hlavním zdrojem dat pro naše analýzy byly strukturované rozhovory s klíčovými aktéry. Data ze strukturovaných rozhovorů byla následně přepsána do odpovědních formulářů k jejich kvalitativnímu vyhodnocení. Rozhovor byl rozdělen do pěti částí. V první části byli respondenti seznámeni s cílem výzkumu a jeho průběhem. Ve druhé části byly zjišťovány názory respondentů na stav dopravního plánování v jejich městě či městech, jejichž dopravní politiku mohou ovlivnit, hlavní dopravní problémy měst a jejich názorové souputníky a odpůrce. Následovala část věnující se postojům respondentů k dlouhodobému rozvoji městské mobility, konkrétně byli vyzváni k formulaci vlastní vize mobility pro město a k vyjádření svého postoje k naší definované vizi mobility popsané v úvodu tohoto článku.

Čtvrtá část rozhovoru byla věnována identifikaci hlavních bariér plánování a realizace opatření k udržitelné mobilitě během celého plánovacího cyklu (tj. plánování a příprava opatření, realizace opatření a evaluace realizovaných opatření). V poslední části byly zaznamenány základní údaje o respondentovi a průběhu rozhovoru (vzdělání, pohlaví, věk, pracovní pozice, délka rozhovoru).

Celkem jsme v období červenec – září 2018 uskutečnili 32 rozhovorů.

Struktura respondentů je stručně popsána v následujících tabulkách. Z hlediska základních sociodemografických charakteristik převažovali ve vzorku muži, většina respondentů měla vysokoškolské vzdělání a poměrně dlouhou praxi v oboru i působení na v současnosti zastávané pracovní pozici. Převaha rozhovorů byla realizována s respondenty, kteří měli vztah k Praze, oslovení zástupci ministerstev hovořili o situaci v českých městech obecně.

Tab. 1. Struktura respondentů

Pohlaví	Muži: 28      Ženy: 4
Věk	Průměrně 45 let
Vzdělání	SŠ: 6      VŠ: 26
Délka praxe v oboru	Průměrně 14 let
Doba působení na dané pozici a instituci	9 let
Velikost města, kde působí	25 hl. město Praha, 3 okresní město, 4 národní instituce

Zdroj: Vlastní výzkum



Cílem dotazování bylo postihnout studovanou problematiku z co nejširšího spektra pohledů či hledisek. Proto byli do vzorku oslovených expertů zařazeni zástupci všech oblastí, které souvisí s městskou mobilitou (viz. tab. 2).

Tab. 2. Rozdělení respondentů dle oblasti jejich působení

Městský politik	9
Zástupce městského úřadu	7
Zástupce dopravní společnosti zřizované městem	2
Zástupce ministerstva	4
Konzultant, dopravní expert, akademik	3
Zástupce nevládní organizace	4
Zástupce firmy nabízející služby mobility pro města	2
Novinář	1
CELKEM	32

Zdroj: Vlastní výzkum

### 3. Analýza role jednotlivých aktérů

Pro odhalení postavení oslovených aktérů byla pro nás důležitá otázka, jak respondenti vnímají sami sebe coby aktéra ovlivňujícího konkrétní politiku a za jak důležité považují další aktéry dopravní politiky. Abychom hlouběji porozuměli jejich vlastní představě o rozvoji dopravní politiky měst a případnému odklonu od vize udržitelné mobility, tázali jsme se aktérů, jaké dopravní problémy považují za významné a jaká je jejich vlastní představa o vizi dopravní politiky města. Otázky zaměřující se na hlavní názorové souputníky a názorové odpůrce dokreslovaly celkový obrázek o vztazích mezi jednotlivými aktéry.

#### 3.1 Možnosti aktérů aktivně ovlivnit dopravní politiku měst

Respondenti se sami hodnotili na škále od 0 do 5 dle toho, jak výrazně mohou ovlivnit dopravní politiku města, ve kterém působí, případně jak mohou ze své pozice mimo struktury městské správy ovlivnit dopravní politiku měst.

Nejčastější odpovědí byla hodnota 1, tj. „ovlivnit ji můžu jen mírně“. Respondenti, kteří odpověděli 0 (tj. dopravní politiku města nemohou ovlivnit vůbec) nebo 1, pracují buď v institucích národních, tj. dopravní politiku ovlivňují pouze nepřímo přes národní strategie či nastavení dotačních titulů, nebo považují svoji pozici za velmi slabou (např. ze strany politiků zazněla kritika dopravní komise, ve které působí, jako zcela neúčinná a čistě formální, či se jim podařilo prosadit pouze dílčí, málo významná opatření). Překvapivě často takto hodnotili svoje možnosti i vedoucí pracovníci městských úřadů. Sebehodnocení stupněm 1 může souviset i s omezenými možnostmi jednotlivců v rámci komplexního rozhodovacího procesu, do kterého je zapojena spousta osob. I někteří vrcholní politici považují svůj vliv za velmi omezený.

Naopak výrazný vliv na dopravní politiku svého města deklarovali někteří radní měst, vedoucí pracovníci organizátora dopravy či orgánu podílejícím se na plánování a rozvoji města. Opět je nutno zdůraznit, že při zvolení této odpovědi (vysoká míra možnosti ovlivnit dopravní politiku) si nemuseli tito aktéři uvědomovat celou škálu rozhodnutí týkající se dopravy, na která vliv nemají.

Tab. 3. Jak mohu ovlivnit dopravní politiku města

Odpověď	0	1	2	3	4	5
Městský politik	1	2	1	1	1	3
Zástupce městského úřadu		4	1		2	
Zástupce dopravní společnosti zřizované městem		1				1
Zástupce ministerstva		3	1			
Konzultant, dopravní expert, akademik		1	1	1		
Zástupce nevládní organizace			1	1	2	
Zástupce firmy nabízející služby mobility pro města	1		1			
Novinář		1				
CELKEM	2	13	6	4	3	4

Zdroj: Vlastní výzkum

## Hlavní aktéři

Mezi českými městy má specifické postavení Hlavní město Praha, které zastává v podstatě úlohu kraje, i proto mu v rámci výzkumu byla věnována zvýšená pozornost. Většina respondentů vnímá jako nejdůležitější aktéry vládnoucí politickou reprezentaci města, která má v rámci mantinelů nastavených ministerstvy dopravy a průmyslu a obchodu, případně spádového kraje, pravomoci pro nastavení směřování dopravní politiky. Na úrovni Prahy mezi aktéry nedošlo k jednoznačnému souladu odpovědí ohledně vlivu aktérů z jednotlivých městských částí na směřování místní dopravní politiky.

Kromě politiků efektivně ovlivňují formování dopravní politiky také vrcholoví úředníci především z odborů dopravy, a v případě velkých měst také zástupci institucí zřizovaných městem pro rozvoj dopravy. Formálně tyto orgány v rámci samostatné působnosti plní převážně podpůrnou roli pro politickou reprezentaci a pracují na základě politického zadání. Pokud mají politickou podporu, mohou do dopravní politiky aktivně vnášet také vlastní doporučení. Významným způsobem však také mohou ovlivnit podobu dopravní politiky dlouhodobou přípravou materiálů, ze kterých následně politik vychází. Větší dopravní projekty jsou plánovány mnoho let, politik proto aspoň z části musí vycházet ze studií svých předchůdců a z materiálů předložených úředníky. Tímto způsobem podle některých aktérů ovlivňují podobu dopravní politiky více, než si mnozí politici připouštějí. Skutečně spíše poradní roli pak mohou mít odborníci z vysokých škol, které mohou města i politici v určitých fázích diskuse či přípravy záměrů přizvat jako nezávislé konzultanty.

## Názoroví souputníci a oponenti

Respondenti byli dále dotazováni, zda mohou jimi vytipované klíčové instituce formující dopravní politiku města rozdělit na tzv. „souputníky“, tj. osoby nebo instituce, se kterými se názorově shodují, a tzv. „oponenty“, tedy osoby nebo instituce, které dopravní politiku směřují jiným směrem, než je názor dotázaného.

Několik respondentů označilo toto rozdělení za obtížné, protože problematika dopravních koncepcí a podpory různých dopravních opatření je značně komplexní a s různými institucemi nacházejí shodu u různých témat. Zároveň i v rámci jednotlivých institucí, které dopravní koncepce prosazují a realizují, figurují lidé s různými názory, často názorově velmi odlišní. Upozorněno bylo i na to, že městské příspěvkové nebo akciové společnosti často jen plní zadání politiků, které sami nedokáží ovlivnit.

Za soupeřníky aktérů, kteří se ztotožňovali s vizí udržitelné mobility, byly zmiňovány neziskové organizace, plánovací instituce (v Praze např. Institut plánování a rozvoje) a akademická sféra. Zařazení institucí či osob do kategorie tzv. „oponentů“ bylo také významně závislé na preferencích jednotlivých respondentů. Respondenti podporující alternativy k individuální automobilové dopravě (IAD) označují za oponenty hlavně developerské firmy, některé městské organizace a také politiky. Naopak ti, kdo považují za klíčovou výstavbu velkých infrastrukturních staveb, mezi oponenty řadí environmentálně orientované politické strany a neziskové organizace.

### 3.2 Spokojenost s dopravní politikou měst

Nejčastější odpovědí na otázku, jak jste spokojen/a se stávající dopravní politikou města, ve kterém působíte, byla střední hodnota 3. Většina respondentů uváděla, že byla realizována dílčí pozitivní opatření v dopravě či vidí posun žádoucím směrem v některých aktivitách, ovšem na druhou stranu řada problémů v dopravě není dostatečně či dokonce vůbec reflektována nebo je třeba pro jejich řešení podniknout podstatně více. Nejvyšší spokojenost s dopravní politikou vyjádřili pouze dva respondenti, naopak nespokojenost šest z nich.

Jako nedostatek viděla řada aktérů špatné koncepční plánování města. Někteří připustili, že je již připravený kvalitní plán rozvoje, který však není v praxi naplňován a reflektován. Právě rozdíl mezi politikou / strategií na papíře a v praxi (její naplňování) byl často zmiňován. Někteří aktéři mluvili o nedostatečné pozornosti nemotorovým druhům dopravy či dokonce preferenci IAD oproti udržitelnějším druhům dopravy v praxi. Za problém byla na druhou stranu uváděna také nedostatečná infrastruktura pro motorovou dopravu (aktéři z Prahy většinou uváděli nedostavěný pražský okruh).

Tab. 4. Jak jsem spokojen(a) s dopravní politikou města

Odpověď	1	2	3	4	5
Městský politik	3		3	1	1
Zástupce městského úřadu			3	2	1
Zástupce dopravní společnosti zřizované městem			2		
Zástupce ministerstva	1		1		
Konzultant, dopravní expert, akademik	1	1	1		
Zástupce nevládní organizace	1	2	1		
Zástupce firmy nabízející služby mobility pro města		1	1		
Novinář			1		
CELKEM	6	4	13	3	2

Zdroj: Vlastní výzkum

Respondenti dále uváděli konkrétní problémy měst, které považují za nejvýznamnější v souvislosti s dopravou. Jsou jimi především:

- chybějící dlouhodobá koncepce, na které se politici bez ohledu na politickou příslušnost shodnou a budou ji prosazovat,
- chybějící komplexní přístup, neexistující multimodální pohled a přístup ke zvyšování kvality života,
- absence parkovišť obecně + odstavných parkovišť (P+R),
- podfinancování údržby infrastruktury,
- zastaralá legislativa,
- špatná komunikace Prahy a Středočeského kraje,
- dopravní zácpy, emise z dopravy, především prachové znečištění,
- nutnost rozšířit MHD a posílit železnici,

- chybějící represivní opatření vůči IAD; přílišná podpora IAD; chybějící plán pro omezení IAD v centru města,
- neochota změnit své dopravní chování, preference IAD veřejností,
- technologická zaostalost českých měst za ostatními.

### 3.3 Vize městské mobility

Každý z oslovených aktérů nabídl svoji vizi rozvoje městské mobility, ty se však výrazně lišily. Pouze malá část vizí byla postavena na snižování negativních dopadů dopravy („příznivé město z hlediska zdraví“, „město, kde nejsou emise z dopravy“ atd.), většina vizí přinášela vlastní řešení vnímaných dopravních problémů – těmi byly především lepší propojení územního plánování a dopravy, „město krátkých vzdáleností“, přísnější pravidla pro developery, dokončení chybějící dopravní infrastruktury či její zkvalitnění, řešení městské logistiky, ale i konkrétní řešení typu podpory a rozvoje alternativních pohonů vozidel.

Poté, co respondenti formulovali svoji vlastní vizi mobility, jim byla představena naše definice vize mobility jako „*taková, která motivuje obyvatele ke změně dopravního chování, aby co nejméně zatěžovali životní prostředí emisemi a hlukem*“. Přestože o aktivním přístupu – změně dopravního chování obyvatel – většinou sami při formulaci vlastní vize nemluvili, s touto definicí se s výjimkou pouze čtyř respondentů ztotožnili všichni.

## 4. Analýza bariér

V rámci řízených rozhovorů u jednotlivých stakeholderů byly zjišťovány hlavní bariéry rozvoje města v oblasti dopravy směrem k žádoucímu stavu. V literatuře jsou často analyzovány bariéry, které znemožňují rychlejší změnu ve městech pro snížení environmentálních dopadů. Jako bariéry v souvislosti s přechodem na alternativní paliva a moderní modely motorů jsou zmiňovány bariéry na straně technologického vývoje, nedostatečné infrastruktury dobíjecích stanic a čerpacích stanic pro alternativní paliva, z institucionálních bariér jsou zdůrazňovány např. nejistota ohledně environmentálních dopadů alternativních pohonů, nedostatečně podpůrná politika z hlediska prosazování nových technologií [4]. [1] zmiňuje jako významný faktor úspěšné implementace udržitelné mobility ve městech širokou a aktivní podporu veřejnosti a nastavení správné komunikace mezi dopravními experty a veřejností pro nastolení této podpory.

Na politické bariéry se zaměřily Jordoová a Brůhová Foltýnová [10], které analýzou projektů CIVITAS identifikovaly jako hlavní nízkou podporu politiků, obtížnou koordinaci rozdílných dotčených skupin, nízké povědomí a znalost uživatelů i dopravních expertů o nových dopravních opatřeních, nebo to, že si jejich potenciální uživatelé neuvědomují přínosy či dokonce ani možnou existenci opatření.

Smyslem našeho výzkumu bylo postihnout konkrétní překážky vnímané stěžejními aktéry, které brání rychlejšímu zavádění nástrojů dopravní politiky. Hlavní pozornost byla proto zaměřena na bariéry jednotlivých etap dopravní politiky – bariéry znesnadňující plánování a přípravu dopravních opatření, bariéry znesnadňující realizaci jednotlivých opatření a bariéry znesnadňující vyhodnocování dopadů zavedených opatření.

Ve fázi přípravy a plánování opatření pro rozvoj města v oblasti dopravy lze identifikovat několik typů vnímaných bariér. Nejvýznamnějším problémem je nedostatečná komunikace mezi klíčovými aktéry, kteří jsou zapojeni v přípravné fázi (územní samospráva, jimi zřizované instituce, neziskový sektor, plánovací instituce

i jednotliví občané). Mezi těmito aktéry obvykle existuje nízká míra důvěry a shody (tj. představy aktérů na nalezení řešení a implementaci vhodného opatření se podstatně liší), a s tím jsou spojena následná záměrná i nezáměrná zdržení projektů. Vyjednávací a schvalovací proces včetně nalezení politické shody je mimořádně obtížný. To je navíc umocněno čtyřletým volebním cyklem, který často není dostatečně dlouhý pro uskutečnění všech nezbytných kroků v přípravné fázi. Byly zaznamenány nespočetné případy rozpracovaných projektů, které byly po volbách novou politickou reprezentací na úrovni města zastaveny. Velmi různorodé jsou podle aktérů také kvalifikační předpoklady lidských zdrojů v jednotlivých institucích (zejména ve veřejné správě). Bariéry vyplývající z nesourodých komunikačních, ideologických a kvalifikačních aspektů na úrovni jednotlivců lze doplnit o bariéry legislativní. V tomto případě se jedná zejména o zdouhavé územní a stavební řízení, které znesnadňuje proces přípravy a plánování rozsáhlých opatření v oblasti dopravy ve městech.

Etapa realizace projektů je podle aktérů nejčastěji limitována faktory a bariérami na úrovni legislativy, ale částečně také institucí a jednotlivců. Z pohledu stakeholderů je významným limitem zákon o zadávání veřejných zakázek, v jehož důsledku je více zohledňována cena nabídek a méně kvalita nabízených řešení. Cílem by však mělo být zohlednění i dalších parametrů. Vícepráce u dodavatelů s nejnižší cenovou nabídkou podle některých aktérů způsobují v realitě celkové předražení projektu. Druhým nejčastějším limitem, identifikovaným v rámci rozhovorů, byly překážky spojené s výkupem pozemků potřebných pro realizaci dopravních staveb. Existují případy účelového nakoupení pozemků třetí stranou, která následně způsobila zdržení nebo celkové znemožnění investice. I ve fázi realizace jsou často patrné přetrvávající problémy v komunikaci mezi zainteresovanými aktéry (viz fáze plánování a přípravy opatření). Rozdílné představy, názory a omezená vůle nalézt shodu mohou způsobit i podstatné prodloužení realizační fáze. Obecně lze shrnout, že etapa realizace opatření je limitována zejména procesní a formální zdouhavostí (částečně ovlivněnou legislativně), omezenou komunikací a s tím spojenými účelovými obstrukcemi institucí či jednotlivců.

Nepříliš přívětivé jsou výsledky výzkumu spojené s bariérami znesnadňujícími vyhodnocování dopadů zavedených opatření. Napříč institucemi i jednotlivými typy stakeholderů převažuje shoda, že tento typ hodnocení (tj. ex-post) není v Česku a jeho městech příliš rozvinut. Po zavedení a implementaci opatření v oblasti dopravy následné evaluace zpětně často neprobíhají z objektivních důvodů, jako je nedostatek vhodných dat či financí na kvalitní vyhodnocení. Důvody jsou však tak i zcela pragmatické a tendenční. Stakeholdeři se shodují, že často není vůle a zájem zpětně vyhodnotit nově zavedená opatření. Zejména političtí reprezentanti územních samospráv nemají zájem odhalit reálné efekty opatření. Navíc se ukazuje, že na trhu není dostatek kvalifikovaných firem či expertů, kteří by byli schopni metodicky správně a objektivně podobné hodnocení realizovat. Zpětné hodnocení tak probíhá na úrovni elementárních indikátorů, které jsou veřejně dostupné (např. data o sčítání intenzity dopravy ve městech, přepravní výkony VD či MHD – pokud jsou dopravci předávány). Obecně se potvrdilo, že v Česku není rozvinuta základní evaluační kultura spojená s financováním z veřejných zdrojů.

## 5. Závěry

Rozhovory s klíčovými aktéry ovlivňujícími dopravní politiku měst odkryly jejich značně rozdílný přístup k vnímaným problémům, prioritám a vizím dalšího rozvoje dopravy. Přestože většina aktérů souhlasí s tím, že dlouhodobě udržitelný rozvoj

dopravy musí být postaven na změně dopravního chování obyvatel a podpoře aktivní dopravy (chůze a cyklistiky), při formulaci vlastních vizí se ukázalo, že je velký rozdíl v tom, co si pod tím jednotliví aktéři představují.

Menší část aktérů (respondentů našeho výzkumu) s touto definicí v různé míře nesouhlasí, a to především proto, že nevidí změnu dopravního chování jako realistickou, nejsou příznivci omezování chování obyvatel nebo tento přístup dokonce považují za „opačný extrém oproti stávající situaci“. Více než pětina respondentů se při formulaci vlastní vize zaměřila pouze na infrastrukturní opatření (především pro automobilovou dopravu, ale byly zmiňovány i cyklostezky či infrastruktura pro veřejnou hromadnou dopravu). Setkali jsme se také s vizí „techno-optimistickou“, popisující vizi mobility postavené na individualizaci dopravy a sdílení vozidel, přičemž páteřní dopravou by měla být rychlá a spolehlivá kolejová doprava. Převažovaly však názory zdůrazňující nutnost i restriktivních opatření vůči IAD a zároveň podporu jejích alternativ.

Plánování a realizaci dopravních opatření ve městech znesnadňují složité vztahy mezi aktéry, nedostatek kvalifikovaných odborníků ve státní správě, kteří sledují trendy a novinky ve světě, a složitá legislativa. Ta hraje hlavní roli v komplikované realizaci opatření. Ex-post hodnocení dopravních opatření ve městech pak dle názoru našich respondentů zcela chybí nebo je výrazně omezeno na základní indikátory.

Výsledky představeného výzkumu budou využity v dalším výzkumu zaměřeném na podporu a zefektivnění procesu strategického dopravního plánování na úrovni municipalit a podpoře evaluace dopravních opatření i dopravních koncepcí. Vznikne mimo jiné elektronický nástroj, který usnadní místním samosprávám rozhodování při plánování opatření na podporu udržitelné mobility a zvyšování kvality života ve městech.

## Literatura

- [1] BANISTER, D., The sustainable mobility paradigm, *Transport Policy* 15, 2008, s. 73–80.
- [2] BRUGHA, R., VARVASOVSKY, Z., Stakeholder analysis: a review. *Health Policy and Planning*, 15, 2000, s. 239–246.
- [3] BRŮHOVÁ FOLTÝNOVÁ, H., MÁCA, V., *MOBIDAYS. Evropský výzkum socioekonomických překážek udržitelné mobility*. Praha, Centrum pro otázky životního prostředí, 2007.
- [4] FARLA, J., ALKEMADE, F., SUURS, R.A.A., Analysis of barriers in the transition toward sustainable mobility in the Netherlands, *Technological Forecasting & Social Change*, 77, 2010, s. 1260–1269.
- [5] FREEMAN, R.E., *Strategic Management: a Stakeholder Approach*. Basic Books, New York, 1984.
- [6] GERIKE, R., *How to make sustainable transportation development a reality?*, oekom, München, 2007.
- [7] JANIC, M., Sustainable Transport in the European Union: A Review of the Past Research and Future Ideas, *Transport Reviews*, Vol. 26, No. 1, 2006.
- [8] JEON, C.M., AMEKUDZI, A., Addressing Sustainability in Transportation Systems: Definitions, Indicators, and Metrics. *Journal of Infrastructure Systems*, 3, 2005, s. 31–60.
- [9] JORDOVÁ, R., SPERAT, Z., BRŮHOVÁ FOLTÝNOVÁ, H., MARTÍNEK, J., *Metodika pro přípravu plánů udržitelné mobility měst České republiky*, CDV, 2015.

- [10] JORDOVÁ, R., BRŮHOVÁ FOLTÝNOVÁ, H., *Inovativní nástroje udržitelné mobility v evropských městských oblastech: zkušenosti s evaluací a role politických bariér*. In: Jandová, V., Ličbinský, R.: VII. česko-slovenská konference „Doprava, zdraví a životní prostředí“, 7. – 8. 11. 2016, Brno: CDV, 2016, s. 116–117.
- [11] JOUMARD, R., GUDMUNDSSON, H., *Indicators of environmental sustainability in transport: an interdisciplinary approach to methods*. INRETS report No. 282, 2010.
- [12] MARSDEN, G., KIMBLE, M., NELLTHORP, J., KELLY, C., *Sustainability Assessment: The Definition Deficit*. *International Journal of Sustainable Transportation*, 4, 4, 2010, s. 189–211.
- [13] REED, M.S. et al., *Who's in and why? A typology of stakeholder analysis methods for natural resource management*. *Journal of Environmental Management*, 90, 2009, s. 1933–1949.

### **Poděkování**

*Tento článek vznikl díky podpoře z grantu TA ČR č. TL01000462 „Strategické nástroje na podporu rozhodování municipalit v oblasti udržitelné mobility“.*

## **Strategic transport planning in cities: roles and attitudes of key stakeholders and barriers of sustainable mobility**

**Hana Brůhová Foltýnová, Eliška Vejchodská, Kristýna Rybová**

*Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem*

*Fakulta sociálně ekonomická*

*Pasteurova 3544/1, 400 96 Ústí nad Labem*

e-mail: hana.bruhova-foltynova@ujep.cz

### **Abstract**

This paper summarizes first results of research focused on strategic decision-making process in the field of sustainable mobility and development of municipalities in the Czech Republic. It analyses roles, attitudes and subjective perception of sustainable mobility by chosen key stakeholders, conditions for strategic transport planning in cities, and main barriers of sustainable mobility measures implementation.

Qualitative analyses use data collected during structured interviews with key stakeholders from different fields connected to urban mobility.

# Teplota vzduchu v parkujícím autě

Jaroslav Rožnovský

Zahradnická fakulta Mendelovy univerzity v Brně,

Valtická 337, 691 44 Lednice

Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno

Kroftova 43, 616 67 Brno

e-mail: roznovsky@chmi.cz

## Abstrakt

Stále rostoucí počet obyvatel měst s sebou přináší mimo jiné i změnu meteorologických podmínek ve městech. Dokladem je výskyt tepelného ostrova, který se hlavně v letním období projevuje v městských částech takřka bez zeleně. Je to dáno ovlivněním radiální bilance ploch ve městě. K těm největším patří parkoviště. Každým rokem dochází k tomu, že řidiči zapomínají, že i uvnitř se jejich auto na parkovišti za jasných letních dnů ohřeje na teploty nebezpečné lidskému zdraví. Provedená měření dokládají, že při více hodinovém stání na parkovišti bude řidič vstupovat do auta, ve kterém se teplota vzduchu může blížit až 70 °C. Z analýzy naměřených teplot vzduchu uvnitř zaparkovaných aut byla stanovena dynamika teplot v závislosti na průběhu počasí.

Klíčová slova: tepelný ostrov, kryptoklima, parkoviště, lidské zdraví

## 1. Úvod

V posledních letech jsou se změnami klimatu diskutovány i změny mezo a mikroklimatu ve městech. Náhrada původních porostů plochami střech, parkovišť, vozovek apod. ovlivňuje hodnoty radiální bilance, a tím i velikosti a dynamiky meteorologických prvků. Jde o specifické klima, tedy klima městské [7], jako klima velkých měst a průmyslových aglomerací, které se vytváří za spolupůsobení specifického *aktivního povrchu* měst, antropogenní produkce tepelné energie a průmyslové, dopravní i jiné činnosti ve městech. Aktivní povrch měst je tvořen střechami a stěnami budov, vozovkami s umělým povrchem, malou plochou zeleně a jeho vlastnosti závisí i na typu zástavby, šířce ulic apod. Od klimatu přilehlého venkovského okolí se městské klima zpravidla liší nižší průměrnou rychlostí větru, vytvářením *tepelného ostrova* města (projevuje se vyššími denními i roč. průměry teploty vzduchu), nižší *relativní vlhkostí vzduchu*, sníženou dohledností a podstatně vyššími *emisemi* znečišťujících látek, které unikají do atmosféry z různých zdrojů znečištění (tepelné elektrárny, teplárny, továrny, domácí topeniště, spalovací motory aj.). Větší *znečištění ovzduší* ve městech se projevuje snížením slunečního záření. Městským klimatem se zabývá *klimatologie měst*.

Pojem „tepelný ostrov města“ (urban heat island, UHI) dokládá, že dominantním projevem „ostrova“ je zvýšení teploty vzduchu. Citované poznatky dokládají, že se teplota vzduchu směrem k centru měst zvyšuje v závislosti na narůstající hustotě zástavby [9].

Výsledky velmi podrobného plošného monitoringu v lokalitě Barrow na Aljašce během zimní sezóny 2001/2002 uvádějí [3]. Jejich výsledky vycházejí z měření registrátory HOBO rozmístěných na 54 stanovištích.

Problematika městského klimatu je předmětem zájmu také našich klimatologů. Jedna z prvních podrobných studií klimatu města byla zpracována pro Bratislavu [8].



Klimatické podmínky Brna byly předmětem několika výzkumných projektů a následně mnohých publikací. Vztah mezi výskytem tepelného ostrova a synoptickými situacemi analyzovali [1]. K nejrozsáhlejším patří komplexní monografie redigovaná [2], ve které bylo využito údajů ze standardních měření v síti Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) a také účelových měření, mobilních měření a metod dálkové detekce. Monitoring městského prostředí Brněnska je tak oproti ostatním oblastem v současné době podrobný, nicméně stále je aktuální otázka detailního hodnocení reprezentativnosti měření na jednotlivých stanicích, které je vždy ovlivněno lokálními podmínkami a využitím dat. Se zřetelem na cíl monitoringu, by vždy mělo předcházet vyhodnocení míry „lokálních projevů“ ve specifických situacích.

Na základě účelových měření na území města Brna [6] uvádějí, že odchylka teploty vzduchu mezi centrem Brna (Mendlovo nám.) a jeho okolím (letiště Tuřany) u minimálních teplot vzduchu během vegetačního období v roce 2005 činila 0,9 °C, u průměrných teplot 1,3 °C, u maximálních teplot 2,5 °C.

Z analýzy teplot vzduchu na třech klimatologických stanicích v síti ČHMÚ na území města Brna za období 1988–2017 [4] uvádějí, že absolutní maximální teplota vzduchu byla naměřena na stanici Brno-Žabovřesky dne 3. 8. 2013 a dosáhla 38,5 °C. Stejný den bylo absolutní maximum zaznamenáno také na stanici Brno-Tuřany a činilo 37,8 °C. V Troubsku bylo tento den jen nepatrně chladněji, absolutní maximální teplota vzduchu se však v Troubsku vyskytla 13. 8. 2003, kdy dosáhla 37,8 °C. I tento výsledek dokládá, že zastavěné části města Brna jsou teplejší než jejich okolí nebo menší satelitní obce.

Při hodnocení městského prostředí se musíme také věnovat vlivům na občany. Vhodnost teplotních a vlhkostních poměrů ve městě s ohledem na pobyt lidí vyjadřujeme pocitovými kategoriemi. Uváděny jsou například hodnoty indexu HUMIDEX stanovené na základě hodinových hodnot teploty a vlhkosti vzduchu [5] Tito autoři uvádějí, že právě v letním období jsou v centrálních částech Brna podmínky pro obyvatele nepříznivé, typické diskomfortem, za zvláště tropických teplot vzduchu až extrémním diskomfortem.

Ovšem zvyšování teploty v městském prostředí se netýká jen atmosféry, ale také prostředí, ve které se pohybují lidé, tedy i automobilů. U nich se projevuje vliv kryptoklimatu, tedy uzavřeného prostoru, kde není zchlazování dané pohybem vzduchu a naopak se uplatňuje ohřívání dané skleníkovým efektem, pokud je auto zaparkované na volné ploše a ozařováno slunečním zářením.

Vliv na teplotní poměry má i doprava. Města jsou doslova zahlcena osobními auty, které jsou ale často nepostradatelnou potřebou pro mnoho občanů v jejich zaměstnání. Jízda autem však s sebou nese i negativní stránky, výskyt dopravních nehod, kdy dochází nejen ke škodám materiálním, ale i k tragickým následkům pro účastníky dopravy. Mimo vlastní selhání řidičů je to i výskyt nepříznivých meteorologických podmínek, zvláště jejich náhlá změna, jako je výskyt námrazy, silného deště apod. Je určitým paradoxem, že v podstatě zcela opomíjeným nebezpečím je i na venkovním parkovišti odstavené auto, které při jasném počasí v létě může být příčinou ohrožení života.

Ukázka dvou takovýchto případů z médií. Ve slovenském městě Trenčín šli v sobotu (16. června 2018) rodiče nakupovat a 18měsíční dítě nechali zamčené v autě před nákupním střediskem. Náhodní svědci několik minut čekali, zda se rodiče neobjeví. Když se tak nestalo, přivolali záchranku. Ta už přijela s hasiči a policisty. Hasiči rozbili okno na automobilu a chlapce vytáhli [10].

V pondělí (11. června 2018) nechala matka své dítě v rozpáleném automobilu zaparkovaném před nemocnicí ve slovenském městě Trstená na severu země. Tricetiletá matka šla na vyšetření a nechala dítě v autě na přímém slunci. Když se matka k vozu vrátila, 2,5letá dívka už byla v bezvědomí. S dcerou v náručí běžela za lékaři, kteří se dítě snažili zachránit [11].

Uvedené dva případy svědčí o tom, že u části řidičů chybí znalost o možnostech zvyšování teploty jejich zaparkovaného auta. Je to i tím, že na tuto skutečnost nejsou v podstatě upozorňováni.

## 2. Metodika

Předložené výsledky vycházejí z údajů o teplotě a vlhkosti vzduchu měřených na dvou klasických klimatologických stanicích v Brně, a to v Brně – Tuřanech a Brně – Žabovřeskách. Výchozí databázi ke zpracování byly jejich desetiminutové záznamy. Dalším zdrojem byla účelová měření, kdy v autech byly naistalovány automatické registrátory teploty (°C) a relativní vlhkosti vzduchu (%). Registrátory byly umístěné v radiačních krytech (řada PRO V2), aby nedocházelo k jejich ozáření slunečním zářením. Ve shodě se záznamy na klimatologických stanicích byly i zde záznamy v desetiminutových intervalech. Auta byla zaparkována na parkovištích v Brně ve vybraných dnech s vysokými teplotami v průběhu léta 2018. S ohledem na to, že ve většině aut v provozu není možnost dálkového ovládní klimatizace, nebyla tato po zaparkování zapnuta. Ohřívání uvnitř auta tak bylo dáno slunečním zářením a vyzařováním povrchu parkoviště. Z takto naměřených hodnot byly po kontrole dat vypočteny statistické charakteristiky a sestaveny grafy.

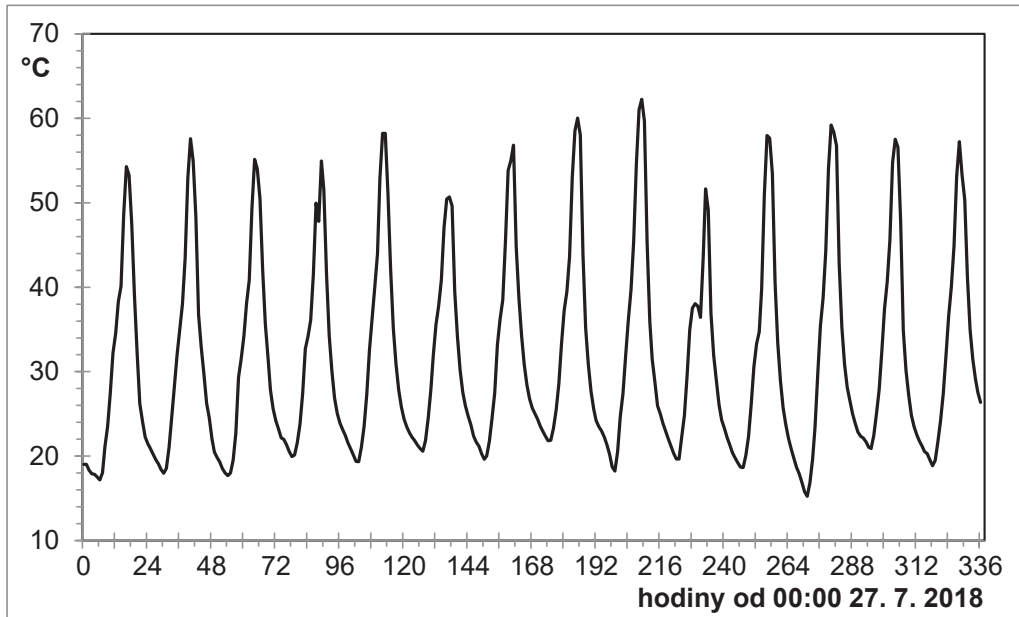
## 3. Výsledky

Z provedených měření uvádíme vyhodnocení jednoho z měřených období. Octavie byla zaparkována na parkovišti na ulici Kroftově, Brno – Žabovřesky, v blízkosti klimatologické stanice. Průběh průměrných hodinových teplot vzduchu z jednoho období měření vidíme na Obr. 1. V tomto období dosahovaly nejvyšší průměrné hodinové teploty vzduchu v zaparkovaném autě minimálně 50 °C. To bylo ve dnech se zvýšenou oblačností, ovšem ve dnech jasných jsou to teploty přes šedesát °C. Je nutné si uvědomit, že teploty vzduchu v autě mají vysokou amplitudu. V průběhu noci dochází k relativně vysokému ochlazení. Jak vidíme na průběhu teploty vzduchu, noční nejnižší hodinové teploty se ve dnech měření významně neliší, klesají na hodnoty kolem dvaceti °C. Denní amplituda teploty vzduchu se tak v autě pohybuje kolem 40 °C. Je to dáno tím, že v podstatě velmi rychle po zaparkování se teplota vzduchu v autě zvyšuje. V podstatě během hodiny se teplota vzduchu zvyšuje o několik stupňů.

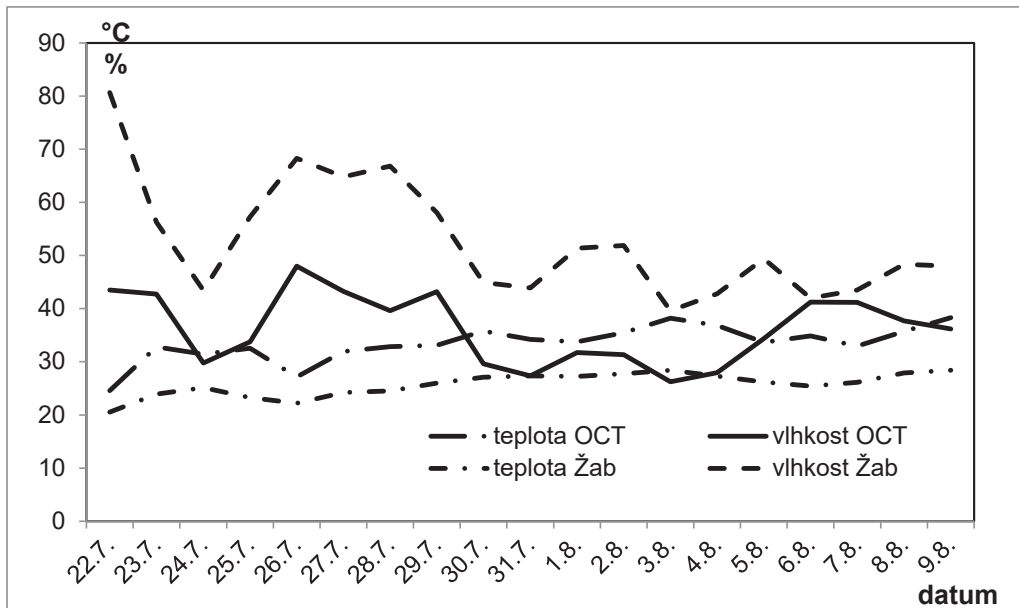
Jak již bylo uvedeno, hodnoceny jsou dny, kdy byly běžné vysoké teploty vzduchu. Srovnání průměrných denních teplot a vlhkostí vzduchu v parkujícím autě a na klimatologické stanici vidíme na Obr. 2. Na klimatologické stanici denní průměrné teploty vzduchu se postupně zvyšují a v závěru srovnávacího období dosahují či přesahují 28 °C. V autě jsou denní průměrné teploty o 8 až 10 °C vyšší. Přitom jejich průběh není zcela shodný s průběhem průměrných teplot na stanici. Je to dáno tím, že vnitřní prostor auta je pro pohyb vzduchu takřka uzavřený, takže teploty zde mají vyšší setrvačnost. Ochlazování neprobíhá tak rychle, jak ve volném

prostoru na stanici. V zaparkovaném autě jsou vyšší teploty vzduchu déle než na stanici.

Obr. 1 Průběh hodinových teplot vzduchu (°C) v zaparkovaném autě ve dnech 27. 7. až 9. 8. 2018



Obr. 2 Průběh průměrných denních teplot vzduchu (°C) a vlhkosti vzduchu (%) v parkujícím autě a na klimatologické stanici Brno – Žabovřesky ve dnech 22. 7. až 9. 8. 2018



Tento fakt je nutné brát v úvahu i s ohledem na to, že uvnitř auta dochází k ohřátí nejen vzduchu, ale celého prostředí, tedy sedadel, ale také např. volantů. Proto je vhodné, či spíše nutné, aby řidič před odjezdem nechal chvíli spuštěnou klimatizaci, aby se ochladilo celé prostředí interiéru auta.

Vysoké teploty vzduchu mají vliv i na vlhkost vzduchu, jak vidíme na příslušném grafu. Vzhledem k tomu, že relativní vlhkost vzduchu je závislá na teplotě, jsou její hodnoty v autě nižší. Poklesy jsou sice až na méně příznivé hodnoty k 30 či méně procentům, ale po otevření auta se velmi rychle zvyšují a nemají tak negativní vliv na reakce řidiče či osádky auta.

#### 4. Závěr

Městské prostředí má svá specifika, daná hlavně tím, že místo původní krajiny s porosty tvoří jeho povrch převážně stavební materiály. Tímto se mění jeho radiální a energetická bilance a hovoříme o tzv. tepelném ostrovu města. Jeho dopady se projevují v různé podobě, nejen v tom, že máme v tzv. městském klimatu hlavně v letním období vyšší teploty vzduchu, ale také vyšší teploty aktivního povrchu. Obecně platí, že teploty vzduchu nad 30 °C představují zátěž pro lidský organizmus.

Naše pozornost byla zaměřena na teploty vzduchu uvnitř zaparkovaného auta, měření byla prováděna automatickými registrátory (řada PRO V2) teploty (°C) a relativní vlhkosti vzduchu (%) v radiálních krytech. Interval záznamu dat deset minut, tedy ve shodě se záznamy na klimatologických stanicích.

Z vyhodnoceného období 22. 7. až 9. 8. 2018 vyplývá, že nejvyšší průměrné hodinové teploty vzduchu v zaparkovaném autě dosahují minimálně 50 °C, za jasných dnů přes šedesát °C. Přitom teploty vzduchu v autě mají vysokou amplitudu. Musíme si uvědomovat, že po zaparkování se teplota vzduchu v autě se během hodiny zvyšuje o několik stupňů. V autě jsou denní průměrné teploty o 8 až 10 °C vyšší než měřené na klimatologické stanici. Přitom jejich průběh není zcela shodný s průběhem průměrných teplot na stanici. V zaparkovaném autě jsou vyšší teploty vzduchu déle než na stanici.

Z dosažených výsledků vyplývá, že v zaparkovaném autě nesmí v letním období, zvláště při vyšších teplotách vzduchu a za jasného počasí zůstat žádný živý organizmus. Tato skutečnost musí být neustále zdůrazňována a měla by se stát součástí informací pro řidiče.

#### Literatura

- [1] BERANOVÁ, R., HUTH, R. (2003): Pražský tepelný ostrov za různých synoptických podmínek. Meteorologické zprávy, č. 5, s. 137 - 142
- [2] DOBROVOLNÝ, P., ŘEZNIČKOVÁ, L., BRÁZDIL, R., KRAHULA, L., ZAHRADNÍČEK, P., HRADIL, M., DOLEŽELOVÁ, M., ŠÁLEK, M., ŠTĚPÁNEK, P., ROŽNOVSKÝ, J., VALÁŠEK, H., KIRCHNER, K., KOLEJKA, J. (2012) Klima Brna. Víceúrovňová analýza městského klimatu. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2012. 200s. ISBN 978-80-210-6029-6.
- [3] HINKEL, K. M. et al. (2003): The urban heat island in winter at Barrow, Alaska. Int. Journal of Climatology, 23, s. 1889-1905
- [4] KNOZOVÁ, G., ROŽNOVSKÝ, J. Vliv prostředí na dynamiku srážek a teploty vzduchu. In: *Monitorování přírodních procesů, Lednice 12. - 13. 9. 2018*. Brno, Praha: Mendelova univerzita v Brně, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. ISBN 978-80-7509-570-1, 978-80-87361-86-3.

- [5] LITSCHMANN, T. a ROŽNOVSKÝ, J. (2012). Zhodnocení indexu HUMIDEX na území města Brna. In: ČELKOVÁ, Anežka eds. *Transport vody, chemikálií a energie v systéme pŕoda-rastlina-atmosféra Zborník recenzovaných príspevkov 20. Posterový deň s medzinárodnou účasťou a Deň otvorených dverí na ÚH SAV, 15. 11. 2012, Bratislava [ CD/ROM ] Bratislava: Ústav hydrológie SAV, 2012, s. 431-442, ISBN 978-80-89139-28-6.*
- [6] LITSCHMANN, T., ROŽNOVSKÝ, J., 2009. The incidence of heat index levels in urban areas of Brno. In: Sustainable development and bioclimate: Reviewed Conference Proceedings, Eds. Pribullová and Bičarová. Geophysical Institute of the Slovak Academy of Science and Slovak Bioclimatological Society of the Slovak Academy of Science, Stará Lesná, pp. 205–206. ISBN 978-80900450-1-9.
- [7] Meteorologický slovník výkladový a terminologický (eMS), ČMeS, dostupný na: <http://slovník.cmes.cz>
- [8] PETROVIČ, Š., 1979. Klíma a bioklíma Bratislavy. VEDA, Bratislava, 272 s.
- [9] VOOGT, J. A. (2002): Urban heat island. In.: Encyclopedia of global environmental change, s. 660-666, ISBN 0-471-97796-9
- [10] Dostupné z: <http://tn.nova.cz/clanek/maleho-pavlika-1-5-nechali-v-aute-pul-hodiny-uz-sotva-dychal.html>
- [11] Dostupné z: [https://www.irozhlas.cz/zpravy-svet/dite-v-aute-letlo-slovensko\\_1806111623\\_ako](https://www.irozhlas.cz/zpravy-svet/dite-v-aute-letlo-slovensko_1806111623_ako)

### **Poděkování**

*Tato práce vznikla jako součást řešení projektu Interní grantové agentury Zahradnické fakulty Mendelovy univerzity v Brně č. IGA-ZF/2018-AP009.*

## **Air Temperature in Parked Vehicle**

### **Jaroslav Rožnovský**

*Department of Breeding and Propagation of Horticultural Plants,  
Faculty of Horticulture, Mendel University in Brno,  
Valtická 337, 691 44 Lednice, Czech Republic  
Czech Hydrometeorological Institute,  
Brno, Kroftova 43, Brno 616 67, Czech Republic  
e-mail: roznovsky@chmi.cz*

### **Abstract**

The ever increasing urban population brings about changes in meteorological conditions in cities. One evidence is the occurrence of the so-called urban heat island, which is quite apparent especially during summer in locations with practically no green areas, as a result of changes in radiation balance of surfaces in urban locations. Parking lot is one of the most significant of such places. Every year drivers forget that their car parked outside during very warm and clear days will heat up to dangerously high temperatures presenting a health risk. The measurements prove that after several hours the temperature inside a car parked outside on the sun can reach close to 70°C. Analysis of the measured air temperature data inside cars parked outside resulted in the determination of the dependence between temperature dynamics and the course of the weather.

# Projekt TRANSGREEN – přeshraniční spolupráce v oblasti harmonizace dopravní infrastruktury a biodiverzity v karpatské oblasti

Ivo Dostál<sup>1</sup>, Marek Havlíček<sup>1</sup>, Václav Hlaváč<sup>2</sup>, Martin Strnad<sup>2</sup>,  
Miroslav Kutal<sup>3</sup>, Hildegard Meyer<sup>4</sup>

<sup>1</sup> *Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.*

*Líšeňská 33a, 636 00 Brno*

e-mail: marek.havlicek@cdv.cz, ivo.dostal@cdv.cz

<sup>2</sup> *Agentura ochrany přírody a krajiny*

*Kaplanova 1931/1, 148 00 Praha 11 - Chodov*

e-mail: martin.strnad@nature.cz, vaclav.hlavac@nature.cz

<sup>3</sup> *Hnutí DUHA*

*Údolní 33, 602 00 Brno*

e-mail: miroslav.kutal@hnutiduha.cz

<sup>4</sup> *WWF International, Danube-Carpathian Programme*

*Ottakringer Strasse 114 – 116, 1160 Vienna, Austria*

e-mail: hmeyer@wwfdcp.org

## Abstrakt

V rámci Evropy představují Karpaty oblast s mimořádně zachovalou krajinou a unikátní přírodou. Rostoucí dopravní infrastruktura a intenzity na ní však s sebou nesou riziko nadměrné fragmentace krajiny a ohrožení přírodního bohatství Karpat. To si uvědomují země zapojené do Rámcové úmluvy o ochraně a udržitelném rozvoji Karpat, v rámci které byl sjednán Protokol o udržitelné dopravě. Jako jedna z implementačních aktivit směřujících k naplňování cílů protokolu probíhá mezinárodní projekt TRANSGREEN - Integrované plánování dopravní infrastruktury v Dunajsko-karpatském regionu ve prospěch obyvatel a přírody probíhající v pěti zemích regionu. V rámci ČR má projekt jednu ze svých modelových oblastí v přeshraničním regionu Beskydy-Kysuce. V rámci terénních činností je v této modelové oblasti realizováno několik druhů monitoringu s cílem identifikace a analýzy dopadů již existující dopravní infrastruktury na ekosystémy. Z celoprojektových aktivit je třeba zmínit zejména Metodickou příručku k harmonizaci zelené a dopravní infrastruktury v Karpatech založenou na celoevropském Handbooku zpracovaném v rámci COST 341 a návrh Strategického akčního plánu k Protokolu o udržitelné dopravě v Karpatech.

## 1. Úvod

Rozvoj dopravy přináší rozsáhlé dopady na přírodu a krajinu. Na první pohled nejvíce zřejmá je nepochybně mortalita živočichů při střetech s vozidly. Doprava ale přináší i jiné, na první pohled méně viditelné problémy. Volná krajina s množstvím přírodních nebo přírodě blízkých biotopů, která původně automaticky plnila funkci spojovacího článku mezi různými populacemi jednotlivých druhů, tuto schopnost v současnosti ztrácí v důsledku intenzivní antropogenní činnosti. Výstavbou průmyslové a sídelní infrastruktury a intenzivní zemědělskou činností se vytvářejí v krajině rozsáhlé plochy, jež nejsou vhodným habitatem pro volně žijící živočichy. Jednotlivá sídla propojuje dopravní liniová infrastruktura, která zbylé biotopy vhodné pro volně žijící živočichy štěpí díky bariérovému efektu na stále menší části. V krajině tak vznikají izolované oblasti bez možnosti živočichů

dostatečné komunikovat s okolím, které již nemohou zajistit dostatečné podmínky pro dlouhodobou existenci populací [1]. Tyto procesy označované jako fragmentace krajiny a fragmentace populací, patří k aktuálně nejvýznamnějším negativním vlivům lidské činnosti na živou přírodu [2].

Tomu odpovídá i začlenění tohoto tématu do řady koncepčních dokumentů včetně Politiky územního rozvoje ČR. Problematika fragmentace krajiny byla prezentována již v Usnesení vlády ČR č. 929 o Politice územního rozvoje (bod IV.7 – systémové řešení propustnosti krajiny) a dále rozpracována v republikových prioritách, kdy v rámci Aktualizace č. 1 byl doplněn nový článek č. 20a: „*Vytvářet územní podmínky pro zajištění migrační propustnosti krajiny pro volně žijící živočichy a pro člověka, zejména při umísťování dopravní a technické infrastruktury. V rámci územně plánovací činnosti omezovat nežádoucí srůstání sídel s ohledem na zajištění přístupnosti a propustnosti krajiny.*“ [3]

## 2. Karpatská oblast

V rámci Evropy představují Karpaty oblast s mimořádně zachovalou krajinou a unikátní přírodou. Je to dáno jednak pestrými přírodními podmínkami, ale také dosud tradičním využíváním krajiny. Zejména pastva ovcí, probíhající zde po staletí, zde přispěla ke vzniku specifických stanovišť s velkým bohatstvím druhů. Komplikovaná orografie území předurčila nevhodnější trasy pro dopravu, které nejčastěji sledují hluboká údolí hlavních řek. V těchto příhodných polohách se kumulují další lidské aktivity, čímž dochází k vytváření nepropustných bariér. I přesto, že přes Karpaty probíhaly od pradávna významné obchodní trasy a doprava vždy hrála významnou roli v ekonomice, byla dopravní síť v regionu ve srovnání se zeměmi západní Evropy donedávna málo rozvinutá, a proto patří Karpaty dosud k nejméně fragmentovaným oblastem Evropy. Nízká míra fragmentace je také jedním z důvodů jedinečnosti přírody Karpat s výskytem vzácných druhů živočichů s velkými teritoriálními nároky, jako jsou medvěd hnědý (*Ursus arctos*), vlk obecný (*Canis lupus*), rys ostrovid (*Lynx lynx*) a kočka divoká (*Felis silvestris*). Vedle těchto „deštníkových“ druhů představují Karpaty domov také pro menší druhy živočichů – drobné savce, ptáky, plazy i bezobratlé [4]. V posledních letech, zejména v souvislosti se vstupem většiny karpatských zemí do EU, je však viditelný rychlý rozvoj dopravní infrastruktury a tento rozvoj je očekáván i v následujících letech. Vedle dopravy je obrovským rizikem také růst lineární zástavby v údolních polohách, který může způsobit uzavření dříve průchozích koridorů. Situace rostoucí fragmentace krajiny představuje vážnou hrozbu pro karpatskou přírodu. Zároveň je to ale také velká příležitost vybudovat dopravní síť v dotčených zemích tak, aby nepoškodila citlivé horské ekosystémy a unikátní příroda zůstala ochráněna.

## 3. Projekt Transgreen

Otázky propojení regionů zemí v oblasti Karpat prostřednictvím dopravní infrastruktury řešené s ohledem na zájmy a ochranu přírody je předmětem protokolu k mnohostranné mezinárodní dohodě o udržitelném rozvoji dopravní infrastruktury v karpatské oblasti [5]. Tento protokol ratifikovaly do konce roku 2017 tři země, v průběhu roku 2018 přibyl podpis České republiky, díky čemuž brzy vstoupí v platnost (tj. proces je zahájen ve chvíli, kdy je ratifikován více než polovinou zemí spadajících pod Karpatskou konvenci). Jako implementační aktivita směřující k zachování karpatské biodiverzity je v současnosti realizován

projekt TRANSGREEN - Integrované plánování dopravní infrastruktury v Dunajsko-karpatském regionu ve prospěch obyvatel a přírody spolufinancovaný ERDF, jehož snahou je hledat taková řešení rozvoje infrastruktury v karpatském regionu, která budou mít co nejmenší dopad na místní přírodu. Projekt pod vedením WWF spojuje odborníky z různých oborů (výzkum, státní správa, ochrana přírody, správci infrastruktury, územní plánování) a různých států na podporu dialogu a začlenění různých úhlů pohledu do procesu plánování a rozhodování o nových dopravních stavbách a poskytnout doporučení pro rozvoj bezpečnějšího a ekologičtějšího dopravního systému. Celkem se projektu účastní 10 projektových a 9 asociovaných partnerů z celkem 6 zemí.

#### 4. Modelové oblasti projektu

Podrobná analýza aktuálního stavu a návrhy konkrétních opatření jsou realizovány ve čtveřici modelových území, obr. 1:

- 1 - CZ/SK Beskydy / Kysuce
- 2 - HU/SK/UA trojmezí Miskolc-Košice-Užhorod
- 3 - RO Deva – Arad
- 4 - RO Târgu Mureș

Obr. 1. Modelová oblast



Shodným znakem všech modelových území je předpokládaný rychlý vývoj dopravní infrastruktury v blízké budoucnosti zejména v rámci sítě TEN-T a tím i velké ovlivnění dopravou doposud nezasažených oblastí. V každém z modelových území budou definována kritická místa na stávající infrastruktuře i identifikovány potenciální možné problémy v budoucnosti ve vazbě na známé údaje o již připravovaných stavbách. Pro každé konkrétní kritické místo budou navržena opatření k realizaci, aby mohla být zachována průchodnost i v budoucnosti.



## 5. Výstupy projektu

V současné době probíhá intenzivní činnost na hlavních výstupech projektu, mezi které se řadí:

- a) metodická příručka o harmonizaci zelené a dopravní infrastruktury v Karpatech – řešení konfliktů mezi dopravou a volně žijícími živočichy včetně speciální kapitoly zaměřené na doporučení k provádění monitoringu účinnosti prováděných opatření. Jde o aktualizovanou a lokálně modifikovanou verzi celoevropského Handbooku zpracovaného v rámci akce COST 341 [6].
- b) Katalogy opatření obsahující konkrétní řešení pro zlepšení infrastruktury realizované ve 4 výše uvedených pilotních oblastech Karpat – ty jsou doplněny o monitoring aktuálního stavu a hloubkovou analýzu ekologických i infrastrukturních problémů v každé oblasti
- c) praktické nástroje, mezi něž patří připravená metodika pro větší zapojení širšího spektra stakeholderů do procesů plánování a přípravy staveb, vzdělávací modul pro posuzování vlivů na životní prostředí se zaměřením na ekologické koridory nebo aplikace pro zaznamenávání a analýzu míst srážek volně žijících živočichů se zvěří
- d) návrh Strategického akčního plánu k Protokolu o udržitelné dopravě v Karpatech
- e) komunikační aktivity, workshopy a konference na regionální i nadnárodní úrovni – velká závěrečná konference se odehraje v červnu 2019 v Bukurešti, vyjednává se o záštitě rumunského předsednictví EU. Předcházet jí budou menší akce organizované v jednotlivých zemích zapojených do projektu.

Hlavními cílovými skupinami jsou: státní správa na národní i regionální úrovni, sektorové organizační složky státu, správci infrastruktury a veřejné služby, místní obyvatelé, zájmové skupiny včetně neziskových spolků (např. myslivci, lesníci aj.)

## 6. Pilotní oblast Beskydy – Kysuce

Jedna pilotních oblastí projektu se nachází na hranicích mezi Českou a Slovenskou republikou. Jde o oblast nejzápadnějšího výskytu karpatských populací velkých šelem [7]. Primárním zaměřením terénních prací v této modelové oblasti je na identifikaci a analýzu dopadů již existující dopravní infrastruktury. Postupně je realizováno pět druhů monitoringu:

- a) *Vyhodnocení migrační průchodnosti existující dopravní infrastruktury pro živočichy* - detailní fyzická kontrola a inventarizace všech existujících propustků, nadchodů a podchodů od šíře 5 m na dálnicích a silnicích I. třídy a vybraných silnicích druhé třídy a hlavních železničních koridorech.  
Výstupy: Stanovení migračního potenciálu daných úseků silnic/železnic a kategorizace průchodnosti objektů pro různé kategorie živočichů; Prostorová databáze/mapa průchodnosti silnic a železnic v pilotní oblasti
- b) *Hodnocení propustnosti silniční sítě pro na migraci volně žijících živočichů na vybraných konfliktních bodech mezi zelenou a dopravní infrastrukturou* – bylo provedeno měření a analýza intenzit dopravy pro různé části dne v týdenních kampaních na 38 úsecích silnic v celém zájmovém území Beskydy-Kysuce s cílem vyhodnotit charakteristické vlastnosti dopravního proudu s ohledem na jejich propustnost pro migraci živočichů.  
Výstupy: propustnost jednotlivých lokalit, typologie kritických míst

- c) *Sledování využívání podchodů a nadchodů živočichy* - instalace a kontrola fotopastí na vybraných nadchodech a podchodech  
Výstupy: statistika průchodů živočichů vybranými objekty ve vztahu k parametrům objektu
- d) *Sledování populace velkých šelem* – se zaměřením na rysa ostrovida (možnost individuálního rozpoznání jedince na základě vzoru skvrn na srsti), instalace fotopastí v kvadrátové síti, sběr vzorků srsti a trusu pro genetické rozbor  
Výstupy: stanovení velikosti populace v zájmovém území, informace o pohybu jedinců a jejich teritoriálních nárocích
- e) *Monitoring mortality živočichů na silnicích/železnicích* - sledování mortality živočichů (obratlovci) na vybraných úsecích dopravní infrastruktury, - extenzivní sledování (pracovníci CHKO, stráž přírody, v rámci ostatních prací v terénu, odborná veřejnost) i intenzivní monitoring vybraných úseků (opakované procházení silnice v intervalu nejméně 2x měsíčně) a s doplněním záznamů z policejních statistik o nehodách  
Výstupy: prostorová databáze s nálezy mortalit živočichů v pilotní oblasti a identifikace kritických úseků s častými případy střetu živočichů s vozidly

## 7. Závěr

Karpatská oblast stojí v oblasti rozvoje dopravní infrastruktury před bouřlivým rozvojem, bez kterého by nešlo zajistit fungující systém dopravy, který je nezbytným předpokladem pro kvalitu života občanů a umožňuje ekonomický růst a vytváření pracovních míst. Rostoucí infrastruktura a intenzity dopravy však s sebou nesou také riziko nadměrné fragmentace krajiny a ohrožení citlivých unikátních ekosystémů Karpat. Při plánování dopravních staveb i při modernizaci stávajících je proto třeba brát dostatečné ohledy na podporu udržitelného rozvoje i s ohledem na konektivitu krajiny a minimalizaci mortality na komunikacích i ostatních negativních vlivů (znečištění ovzduší, hluk, světelné emise aj.).

## Literatura

- [1] ANDĚL, P. Landscape Fragmentation Caused by Traffic and its Impact on Wildlife Migration. *Životné prostredie*, vol. 47, is. 2, p. 90-94. ISSN 0044-4863.
- [2] DOSTÁL, I., ANDĚL, P., HAVLÍČEK, M. New Maps of the Transport Infrastructure's Impact on Biodiversity. In Lněnička, L. *led./ Proceedings of 25th Central European Conference Useful Geography: Transfer from Research to Practice*. Brno, Oct 12-13, 2017. Brno: Masaryk univerzity, 2018, p. 259-269. ISBN 978-80-210-8908-2.
- [3] Politika územního rozvoje České republiky ve znění Aktualizace č. 1. Dostupné z < <https://www.uur.cz/?id=4758> > (cit. 2018-09-19).
- [4] ALBERTON, M., ANDRESEN, M., CITADINO, F., EGERER, H., FRITSCH, U., GÖTSCH, H., HOFFMANN, C., KLEMM, J., MITROFANENKO, A., MUSCO, E., NOELLENBURG, N., PETTITA, M., RENNER, K., ZEBISCH, M. *Outlook on climate change adaptation in the Carpathian mountains*. Nairobi, Vienna, Arendal and Bolzano: United Nations Environment Programme, GRID-Arendal and Eurac Research, 2017, 56 pp. ISBN: 978-82-7701-167-7
- [5] Protocol on Sustainable Transport to the Framework Convention on the Protection and Sustainable Development of the Carpathians. Dostupné z < <http://www.carpathianconvention.org/protocol-on-sustainable-transport.html> > (cit. 2018-09-19)

- [6] IUELL, B., BEKKER, G. J., CUPERUS, R. et al, 2003. *Wildlife and Traffic: A European Handbook for Identifying Conflicts and Designing Solutions*. KNNV Publishers, 2003, Brusel. ISBN 978-90-5011-186-7.
- [7] CHAPRON, G., KACZENSKY, P., LINNELL, J.D.C. et al. Recovery of large carnivores in Europe's modern human-dominated landscapes. *Science*, 346, 1517-1520. DOI: 10.1126/science.1257553.

### **Poděkování**

*Projekt TRANSGREEN (DTP1-187-3.1-TRANSGREEN) je spolufinancován z fondů Evropské unie (ERDF, IPA) prostřednictvím Programu nadnárodní spolupráce Interreg Danube (DTP) – prioritní osa 3: Lépe propojený a energeticky zodpovědný Dunajský region – specifický cíl: Rozvoj bezpečných dopravních systémů šetrných k životnímu prostředí a vyvážená dostupnost městských a venkovských oblastí.*

## **TRANSGREEN project – cross-border cooperation in the field of harmonisation of transport infrastructure and biodiversity in Carpathian region**

**Ivo Dostál<sup>1</sup>, Marek Havlíček<sup>1</sup>, Václav Hlaváč<sup>2</sup>, Martin Strnad<sup>2</sup>, Miroslav Kutal<sup>3</sup>, Hildegard Meyer<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> *Transport Research Centre*

*Líšeňská 33a, 636 00 Brno*

e-mail: marek.havlicek@cdv.cz, ivo.dostal@cdv.cz

<sup>2</sup> *Nature Conservation Agency*

*Kaplanova 1931/1, 148 00 Praha 11-Chodov*

e-mail: martin.strnad@nature.cz, vaclav.hlavac@nature.cz

<sup>3</sup> *Friends of Earth*

*Údolní 33, 602 00 Brno*

e-mail: miroslav.kutal@hnutiduha.cz

<sup>4</sup> *WWF International, Danube-Carpathian Programme*

*Ottakringer Strasse 114 – 116, 1160 Vienna, Austria*

e-mail: hmeyer@wwfcdp.org

### **Abstract**

Within Europe, the Carpathians represent an area of exceptionally well-preserved landscape and unique nature. However, the growing transport infrastructure and the traffic intensities bring the immediate risk of landscape fragmentation and threat to the natural wealth of the Carpathians. The countries involved in the Convention on the Protection and Sustainable Development of the Carpathians are aware of these facts, so the Protocol on Sustainable Transport was agreed. One of the implementation activities aimed to meet the objectives of the Protocol is the ongoing international project TRANSGREEN - Integrated Transport and Green Infrastructure Planning in the Danube-Carpathian Region for the Benefit of People and Nature in five countries of the region. Within the Czech Republic, the project has one of its model areas in the cross-border region of Beskydy-Kysuce. Several field activities are ongoing in this area namely several various types of monitoring to identify and analyse impacts of existing transport infrastructure on ecosystems. Among the other project activities, the Methodological Guide to Harmonization of Green and Transport Infrastructure in the Carpathians, based on the European Handbook from COST 341 is worth mentioning or the draft of Strategic Action Plan for the Sustainable Transport Protocol in the Carpathians.

# Bioindikace vlivu dopravy na lesní ekosystém v blízkosti zatížených komunikací

Petr Anděl<sup>1</sup>, Jitka Hegrová<sup>2</sup>, Vilma Jandová<sup>2</sup>, Karel Effenberger<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Technická univerzita Liberec, Fakulta přírodovědně - humanitní a pedagogická,  
Univerzitní náměstí 1410/1, 461 17 Liberec

<sup>2</sup>Centrum dopravního výzkumu v. v. i.,

Líšeňská 33a, 636 00 Brno

e-mail: andel@evernia.cz

## Abstrakt

Při hodnocení vlivu dopravy na okolní přírodní prostředí je třeba vycházet z ekosystémového přístupu a analyzovat složky, které poskytnou informace nejen o rozložení koncentrací sledovaných kontaminantů, ale umožní i odhad dynamiky pohybu a osudu těchto látek v prostředí. Jako modelový ekosystém byl zvolen smrkový hospodářský les ve stádiu kmenoviny s rozvolněnou strukturou a travním a mechových podrostem, nacházející se v oblasti Českomoravské vysočiny, tedy v prostředí, které je pro daný typ lesa vhodné. Zvolená lokalita se nachází v bezprostřední blízkosti dálnice D1 Praha – Brno v dálničním kilometru 103, před exitem na Větrný Jeníkov (ve směru od Prahy). Jedná se tedy o lokalitu dlouhodobě vystavenou kontaminaci látek z dopravy.

## 1. Vzorkování

V rámci tohoto průzkumu byly proto analyzovány následující matrice:

- a) půda – půda je základním místem kumulace toxických látek v ekosystému, a má proto při hodnocení klíčový význam. Analyzovány byly vzorky surového opadu jehličí smrku, humusového horizontu a prvního minerálního horizontu, aby bylo možné hodnotit stratigrafii rozložení koncentrací s hloubkou a dynamiku pohybu toxikantů v půdním profilu;
- b) jehličí smrku ztepilého (*Picea abies*) – odebírány byly samostatně 4 vzorky jehličí, lišící se stářím a tedy délkou expozice k toxickým látkám z dopravy. Jednalo se o letorosty (stáří cca 2 měsíce) a dále jednoleté, dvouleté a směsné 3 – 4 leté jehličí. Význam jehličí smrků jako bioindikátorů spočívá ve schopnosti zachycovat toxikanty v povrchové voskové vrstvě a současně i kumulovat látky prostřednictvím kořenového systému. Ověřena je jejich schopnost záchytu persistentních organických látek i složek posypových solí;
- c) tráva metlička křivolaká (*Avenella flexuosa*) jako model primárního producenta typického pro daný ekosystém, prostřednictvím kterého mohou toxikanty vstupovat do potravních řetězců;
- d) mech trávník Schreberův (*Pleurozium schreberi*) – jako akumulací indikátor, především těžkých kovů;

Pro možnost hodnocení dosahu kontaminace byly vzorky odebírány v transektu kolmém na osu dálnice ve vzdálenostech 5 m od okraje zpevněné vozovky (první okrajová řada stromů), 20 m a 100 m (jako lokální pozadí).

## 2. Chemická analýza

Všechny vzorky bioty byly vysušeny, rozstříhány, pomlety a rozloženy při teplotě 230°C a tlaku 30 bar v koncentrované kyselině dusičné (ultračistě) v mikrovlnném rozkladném zařízení SW-4 Berghof (Německo). Různě staré vzorky jehličí byly analyzovány jednotlivě. Vzorky zemin byly přesáty a pomlety a extrahovány lučavkou královskou ve stejném zařízení při teplotě 200°C a tlaku 30 bar. Před analýzou byly vzorky zředěny. Obsah vybraných prvků byl stanoven s využitím hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICPMS/MS, Agilent Technologies, Japonsko).

## 3. Závěr

Stanovené množství prvků ve vzorcích jehličí zahrnuje obsah těchto prvků v adsorbovaných pevných částicích na povrchu jehličí a současně i množství, které se dostane do jehličí přes kořenový systém [1, 2]. Pro bioindikaci potenciálu poškození chemickou zimní údržbou je jehličí smrku ztepilého vhodné z důvodu své zvýšené citlivosti k zasolení. Zároveň byl hodnocen i potenciál kontaminace lokality a zdravotní stav jedinců zájmového jehličnanu. Získané výsledky koncentrací prvků byly vyhodnoceny v závislosti na čtyřech faktorech: na potenciálu kontaminace, zdravotním stavu stromu, vzdálenosti od komunikace a na stáří jehličí. Na základě vyhodnocení výsledků byla navržena stupnice s rámcovými hodnotami koncentrací, kterou je možné využít pro praktické hodnocení stupně kontaminace. Množství sodíku stanovené ve vzorcích jehličí koresponduje s množstvím nalezeným ve vzorcích zemin na stejné lokalitě. Hodnocení vlivu zimní údržby se řeší i z pohledu zdravotního stavu stromu a také stáří jehlic. Ostatní prvky spojené s dopravou vykazují o 40 % - 60 % vyšší koncentrace v místech krajnice než v místě pozadovém (100 m). Obsah platinových kovů je nevýznamný a to i v případě vzorků mechů a lišejníků, které jsou přirozeně považovány za biokumulátory.

## Literatura

- [1] FOSTAD, O. et PEDERSON P. A. Container-grown tree seedling responses to sodium chloride applications in different substrates. *Environmental Pollution*, 2000, 109(2): 203-210.
- [2] KAYAMA, M. et al. *Effects of deicing salt on the vitality and health of two spruce species, Picea abies Karst., and Picea glehnii Masters planted along roadsides in northern Japan*. *Environmental Pollution*, 2003, 124: 127-137.

## Poděkování

*Tento příspěvek vznikl na základě aktivit finančně podpořených v rámci projektu Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy – operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace č. CZ.1.05/2.1.00/03.00 a Technologické agentury programu Centra kompetence TA ČR, projekt č. TE01020168 (CESTI – Centre for Effective and Sustainable Transport Infrastructure).*

## **Bioindication of transport impacts on the forest ecosystem near the main roads**

**Petr Anděl<sup>1</sup>, Jitka Hegrová<sup>2</sup>, Vilma Jandová<sup>2</sup>, Karel Effenberger<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Technical University Liberec, Faculty of Sciences, Humanities and Pedagogy,  
Univerzitní náměstí 1410/1, 461 17 Liberec*

*<sup>2</sup>Transport research centre,  
Líšeňská 33a, 636 00 Brno*

e-mail: andel@evernia.cz

### **Abstract**

Evaluation of the impact of transport on the surrounding environment requires an ecosystem approach and analysing components that provide information about the distribution of the monitored contaminants, and also an estimate of the dynamics of movement and the accumulation of these substances in the environment. As a model ecosystem, a spruce forest with a specific grass and moss undergrowth, located in the area of Bohemian-Moravian Highlands - in an environment which is suitable for a given type of forest, has been chosen. The selected location is located in the immediate vicinity of the highway D1 Prague - Brno in the 103 km highway, before the exposition to Větrný Jeníkov (in the direction from Prague). This is a locality which is exposed to transport contaminants for a long time.



# Dopravně emisní modely

Kristýna Nebergová  
ČVUT v Praze Fakulta dopravní  
Ústav dopravních systémů  
Konviktská 20, 110 00 Praha 1

e-mail: nebergova@fd.cvut.cz

## Abstrakt

Příspěvek se zabývá problematikou znečištění ovzduší z dopravy a jeho hodnocením prostřednictvím dopravně emisních modelů. Jsou zde diskutovány jednotlivé polutanty z dopravy a s nimi související emisní faktory. Dále je v textu věnován prostor nejužívanějším emisním modelům, jejich typům a rozdělení.

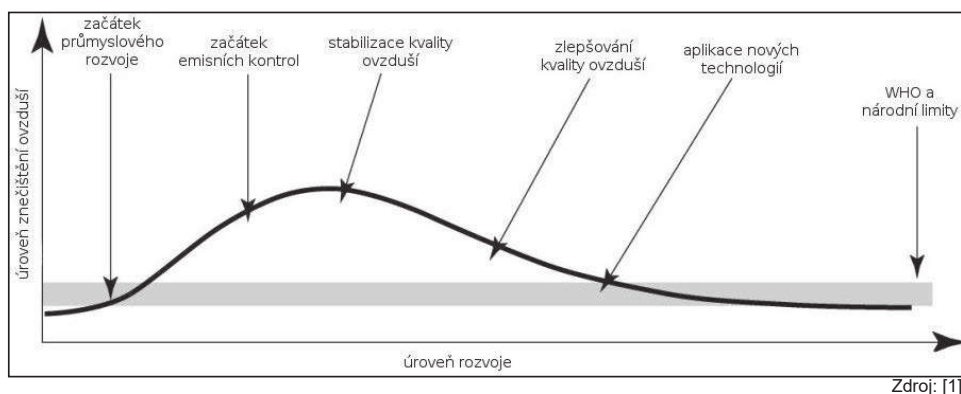
Dopravně emisní modely se běžně používají k predikci emisí z dopravy, a to v různém měřítku – od situace v měřítku lokálním, až po řešení městské dopravní sítě. Problémem je, že se dopravní emise značně mění, a to jak v závislosti na skladbě dopravního proudu, tak také v závislosti na počasí a mnoha dalších faktorech. Důležitou roli pak hraje skladba vozového parku a také dopravní infrastruktura.

V příspěvku je také věnován prostor otázce kongescí, respektive vztahu rychlosti a spotřeby pohonných hmot. V samém závěru jsou pak shrnuty možnosti budoucího vývoje.

## 1. Úvod

Znečištěné ovzduší, především ve městech, a jeho vliv na zdraví obyvatel se stává globálním problémem. Zatímco dříve byly hlavními zdroji škodlivin zdroje stacionární – lokální topeniště a průmyslové zdroje, dnes se stále více do popředí dostává doprava. Na následujícím obrázku je zobrazeno schéma rozvoje městské úrovně znečištění.

Obr. 1. Schéma rozvoje městské úrovně znečištění



Emise z dopravy velkou měrou ovlivňují kvalitu života ve městech, a také zdraví obyvatel. Podle Evropské agentury pro životní prostředí [2] žije značná část evropského obyvatelstva v oblastech, ve kterých jsou normy kvality ovzduší soustavně překračovány, a to především u znečištění ozonem, oxidem dusičitým



a jemnými prachovými částicemi (PM). Vysoká úroveň znečištění tak představuje závažné zdravotní riziko.

Jednou z možností, jak snižovat negativní vlivy dopravy jsou právě dopravně emisní modely, které umožňují predikovat dopady změn na dopravní síti nejen z hlediska dopravního, ale v potaz berou také hledisko emisí a s nimi související zdravotní rizika.

## 2. Polutanty z dopravy a emisní faktory

Mezi základní polutanty z dopravy patří především oxidy dusíku  $\text{NO}_x$ , polycyklické aromatické uhlovodíky, oxidy uhlíku (oxid uhelnatý CO a významný skleníkový plyn  $\text{CO}_2$ ), prachové částice, oxid siřičitý  $\text{SO}_2$ , dále pak aldehydy, fenoly, kovy (olovo, cadmium, nikl, ..), těkavé organické látky, benzen a další.

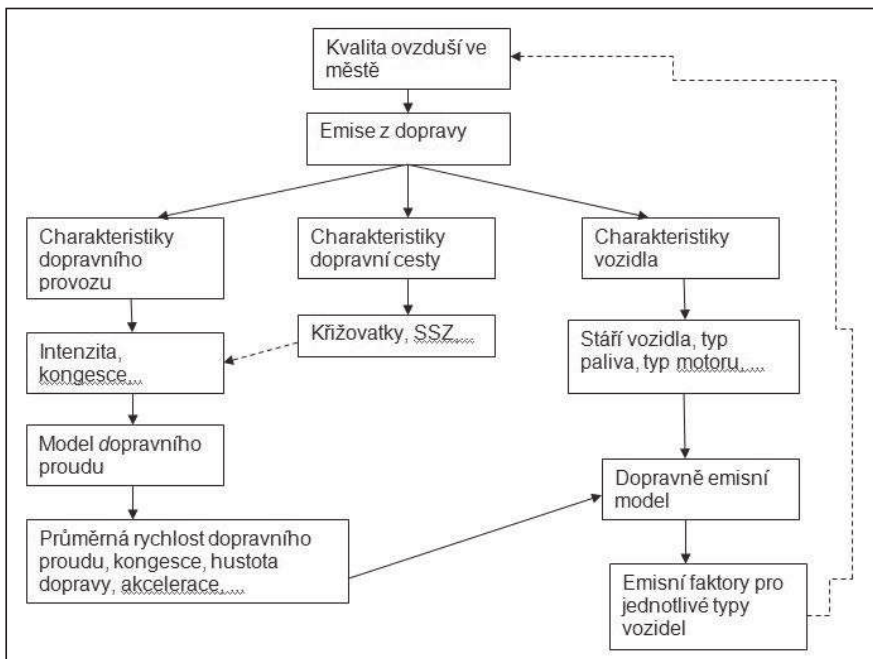
Sekundárně pak reakcí molekulárního kyslíku, oxidů dusíku a těkavých látek za přítomnosti slunečního záření vzniká ozon. Reakcí vzdušného kyslíku se vzdušným dusíkem vzniká další skleníkový plyn - oxid dusný ( $\text{N}_2\text{O}$ ).

Důležitými vstupními daty pro dopravně emisní modely jsou emisní faktory, které se zpravidla stanoví jako množství emisí vyprodukované vozidlem za jednotku délky (g/km) nebo jako množství spotřebovaného paliva (g/kg).

## 3. Dopravně emisní modely

Pro dopravní plánování se dnes běžně využívají výpočetní modely, které slouží k navrhování nové infrastruktury i k hodnocení infrastruktury stávající. Vzhledem k nárůstu znečištění ovzduší, které stálý nárůst dopravy přináší, bylo potřeba najít cestu, jak toto znečištění nejen snižovat, ale také predikovat. V následujícím obrázku je znázorněn postup modelování emisí z dopravy v grafické podobě.

Obr. 2 Grafické vyjádření postupu modelování emisí z dopravy



Zdroj: [3]

### 3.1. Typy dopravně emisních modelů

Dopravně emisní modely lze dělit z celé řady hledisek. V závislosti na jejich komplexnosti je pak lze rozdělit do pěti skupin [4].

1) „Average – speed“ models – modely průměrné rychlosti (např. COPERT, MOBILE, EMFAC), kde jsou emisní faktory (vyjádřené v g/vozokm) funkcí střední hodnoty cestovní rychlosti. Informace o vozokilometrech a průměrné rychlosti je relativně snadné získat z dopravních modelů nebo terénních měření.

2) „Traffic-situation“ models – modely vycházející z dopravní situace (např. HBEFA, ARTEMIS), kde jsou emisní faktory (vyjádřené v g/vozokm) určovány z popisu konkrétní dopravní situace (např. jízda v kongescích, na dálnici apod.). Tyto modely vyžadují údaje o vozokilometrech z konkrétní dopravní situace, které lze získat z dopravních modelů.

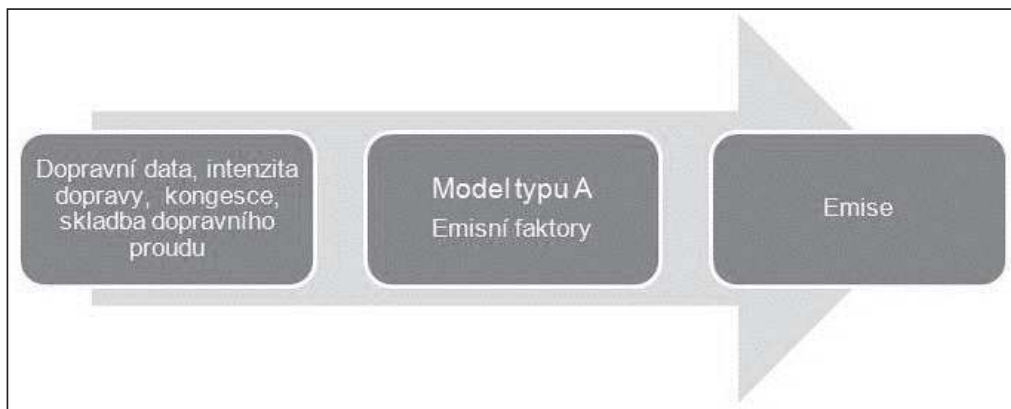
3) „Traffic-variable“ models – modely, kde proměnnou je provoz (např. TEE, Matzoros model), emisní faktory (vyjádřené v g/vozokm) jsou zde definovány proměnnými provozu, jako je průměrná rychlost, hustota provozu, délka fronty a nastavený signál. Tyto proměnné jsou získávány jak z makrosimulačních, tak také mikrosimulačních dopravních modelů.

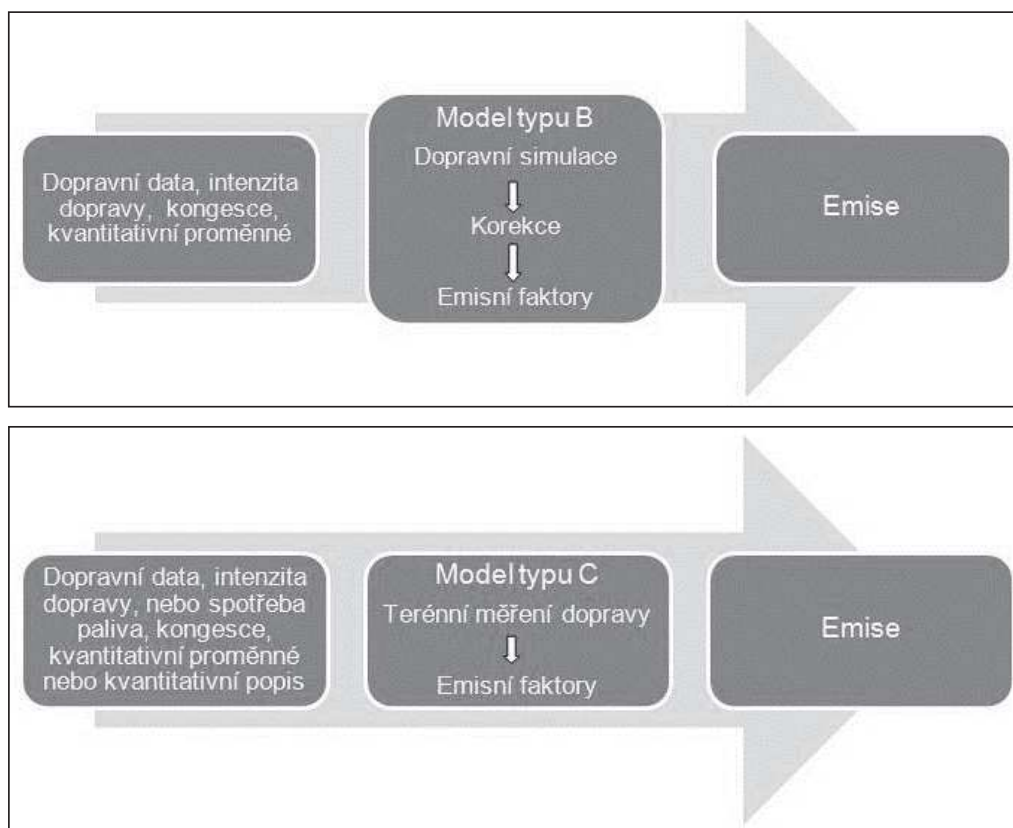
4) „Cycle-variable“ models – modely v nichž je proměnnou cyklus (např.: MEASURE, VERSIT+), emisní faktory (vyjádřené v g/ozokm nebo g/s) jsou zde funkcí proměnných dopravního cyklu (doba čekání, průměrná rychlost, kinetická energie, apod.). Tyto modely vyžadují podrobné informace o vozidle, jako jsou například údaje o okamžité rychlosti nebo zrychlení. Tyto údaje lze získat z mikrosimulačních modelů dopravy nebo pomocí GPS.

5) „Modal models“ – jedná se o modely nejvyššího rozlišení (např.: PHEM, CMEM), kde jsou emisní faktory (vyjádřené v g/s) funkcí motoru vozidla. Tyto modely vyžadují podobné vstupy jako modely předchozí 4. skupiny.

Dopravně emisní modely lze v závislosti na stanovení emisních faktorů rozdělit do tří skupin - viz grafické znázornění na obrázku číslo 3.

Obr. 3 Typy dopravně emisních modelů





Zdroj: vlastní, [5]

Modely typu A (např. MEASURE nebo VERSIT+) a modely typu B (např. TEE model) slouží především pro analýzu změny emisní situace na lokální úrovni, například na křižovatkách nebo sítích malého rozsahu.

Modely typu C (např. MOBILE, EMFAC, COPERT) jsou naopak vhodné pro měřítka většího rozsahu, ať už se jedná o celá města nebo příměstské regiony.

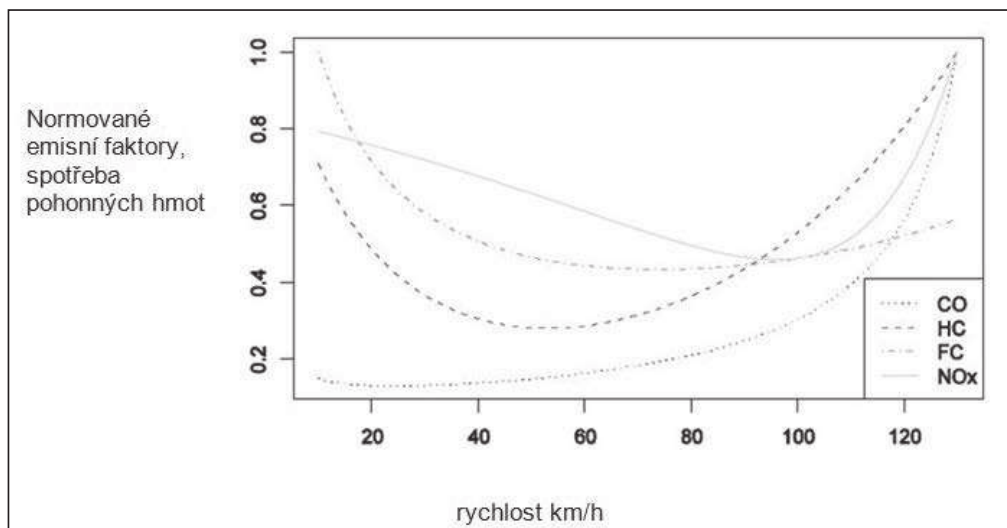
Z hlediska rozšíření a používání v praxi udává rozbor 58 mezinárodních studií [9], že z 81 % jsou používány právě modely typu C, modely typu A tvoří 16 % a modely typu B jsou zastoupeny zhruba 3 % aplikací [5].

### 3.2. Dopravně emisní modely a kongesce

Významným faktorem ovlivňujícím znečištění ovzduší z dopravy jsou kongesce. Jedním ze základních faktorů, které tento dopravní jev popisují, je rychlost. Je zřejmé, že s nárůstem kongescí rychlost klesá, přičemž s poklesem rychlosti dochází k nárůstu znečištění ovzduší. Spolu s poklesem rychlosti pak také stoupá spotřeba paliva. Závislost mezi spotřebou paliva a rychlostí je v jednotlivých typech modelů definována různě, ale v zásadě se jedná o křivku tvaru U, kde nejnižší spotřeba pohonných hmot je dosahována u rychlostí kolem 50 km/h.

Na následujících obrázcích jsou zobrazeny dané křivky pro jeden z nejrozšířenějších modelů COPERT 4, dále pak pro softwarový program TRANSYT a poslední křivka ukazuje vztah mezi rychlostí a spotřebou získaným z vlastního výpočtu, vycházejícího z výpočtu množství spotřebované energie.

Obr. 4 Emisní faktory a spotřeba pohonných hmot osobních vozidel, kde FC představuje křivku spotřeby paliva v závislosti na rychlosti



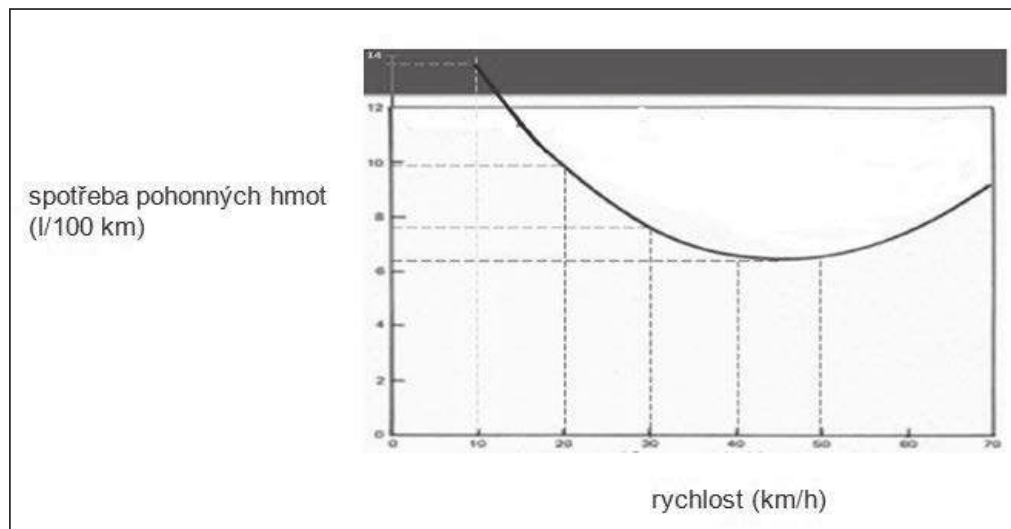
Zdroj: [6]

V běžně užívaném softwarovém programu TRANSYT, který je široce využíván pro navrhování, vyhodnocování a modelování dopravy, je vztah mezi spotřebou paliva a rychlostí dán vztahem:

$$S = 17 - 0,455 \cdot v + 0,0049 \cdot v^2 \quad (1.1) [7]$$

Grafické vyjádření tohoto vztahu je v obrázku 5.

Obr. 5 Grafické vyjádření závislosti spotřeby pohonných hmot na rychlosti v programu TRANSYT



Zdroj: [7]

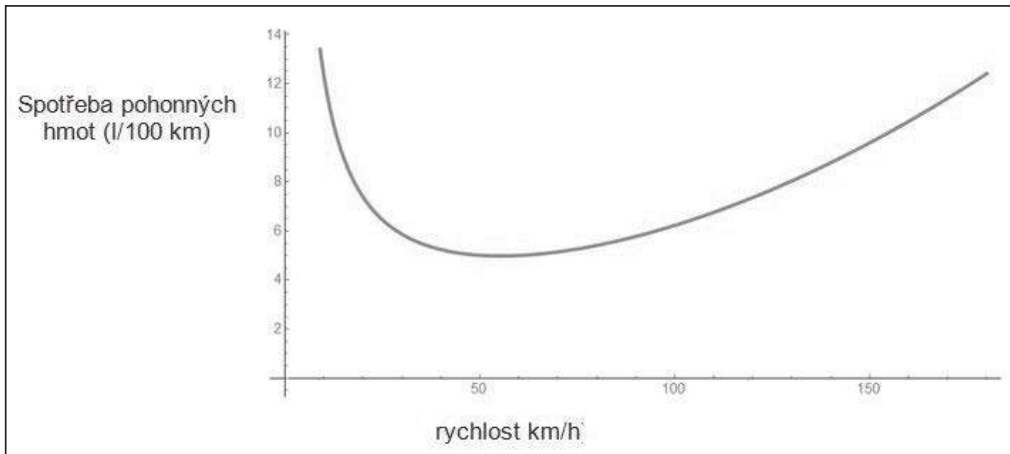
Podobně „U-křivku“ získáme také výpočtem množství energie využitě pro pohyb vozidla při daném průběhu rychlostí [8], kdy vycházíme ze vztahu:

$$\frac{dV_p}{ds} = \frac{1}{\eta H_V} \cdot \left( ma\vartheta + \frac{1}{2} \rho c_x S_x v^2 + fmg \right) + \frac{V_0}{v} \quad (1.2) [7]$$

Kde:

- f* ... součinitel valivého odporu pneumatik
- m* ... hmotnost vozidla
- g* ... tíhové zrychlení
- ρ* ... hustota vzduchu
- c<sub>x</sub>* ... součinitel aerodynamického odporu
- S<sub>x</sub>* ... čelní plocha vozidla
- v* ... rychlost vozidla
- a* ... zrychlení vozidla
- ξ* ... součinitel odporu zrychlení rotujících částí vozidla
- μ* ... součinitel adheze pneumatik
- x* ... intenzita brzdění vyjádřená hodnotou z intervalu (0,1)
- η* ... účinnost motoru
- H<sub>V</sub>* ... výhřevnost použitého paliva přepočítaná na jednotky objemu.

Obr. 6 Závislost spotřeby paliva na rychlosti

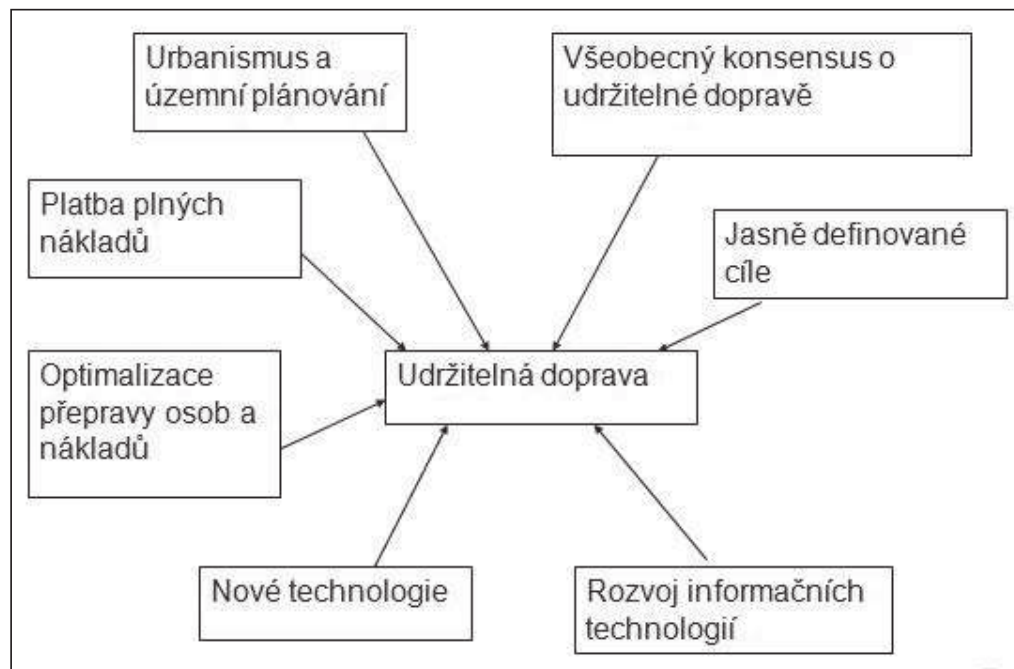


Zdroj : [8]

#### 4. Závěr

Cesta ke snížení znečištění ovzduší vede přes systémový přístup a zahrnuje celý komplex opatření (viz grafické znázornění na obr. 7). Důležitá jsou nejen opatření technická, ale také organizační a především pak jejich důsledné prosazování.

Obr. 7 Udržitelná doprava v kontextu jednotlivých vlivů



Zdroj: vlastní

Cestou ke snižování znečištění ovzduší z dopravy tak mohou být plány udržitelné mobility nebo Smart Cities - koncept chytrých měst.

## Literatura

- [1] Affum, J.,K., Brown,A.,L., Chan, Y., C. Integrating air pollution modelling with scenario testing in road transport planning: the TRAEMS approach. *The Science of the Total Environment* 312 (2003) 1–14.
- [2] Evropská agentura pro životní prostředí <https://www.eea.europa.eu/cs/themes/air/intro>
- [3] Pandian, S., Gokhale, S., Ghoshal, A., K. Evaluating effects of traffic and vehicle characteristics on vehicular emissions near traffic intersections. *Transportation Research Part D* 14 (2009) 180–196
- [4] Smit, R., Ntziachristos, L., Boulter, P., 2010. Validation of road vehicle and traffic emission models – A review and meta – analysis. *Atmospheric Environment* 44 (2010) 2943 – 2953.
- [5] Smit, R., Brown, A.,L., Chan, Y., C. Do air pollution emissions and fuel consumption models for roadways include the effects of congestion in the roadway traffic flow? *Environmental Modelling & Software* 23 (2008) 1262–1270
- [6] Aguilera, V., Tordeux, A. Integration of a speed-dependent emission model in dynamic traffic assignment: a large scale application to the Paris metropolitan area. *Procedia Social and Behavioral Sciences* 20 (2011) 475—484.
- [7] Systémové modelování přínosů Městského okruhu Závěrečná zpráva, ČVUT FD, 2017
- [8] Hykš, O.; Nebergová, K.; Příbyl, P. Vliv plynulosti jízdy na ekonomické a ekologické aspekty dopravy. In: *Dopravná infrastruktúra v městách*. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2017. pp. 1-238. ISBN 978-80-554-1370-9.

## Transport Emission Models

**Kristýna Neubergová**

*Department of Transportation Systems*

*CTU in Prague Faculty of Transportation Sciences*

*Konviktská 20, 110 00 Praha 1*

e-mail: neubergova@fd.cvut.cz

### **Abstract**

This paper focuses on issues of transport emissions and their assessment through transport emission models. The article discusses transport pollutants and related emission factors. The paper also deals with transport emissions models, their types and their distribution.

Transport emission models are commonly used to predict emissions from transport on a different scale - from the local scale to the urban transport network. The issue is that transport emissions are changing considerably. Emissions depend on traffic patterns, weather conditions, and many other factors. An important role is played by the fleet structure as well as the transport infrastructure.

The contribution is also devoted to the question of congestion, respectively the relationship between speed and consumption of fuel. In the end, the possibilities for future development are summarized.

# „OdCom“ je projekt i o měření UJČ a o dopadech vlivu vysokých početních koncentrací částic na zdraví.

Helena Plachá<sup>1</sup>, Miroslav Bitter<sup>1</sup>, Petr Goll<sup>1</sup>, Jan Kufel<sup>1</sup>, Eva Rychlíková<sup>2</sup> a kol.

<sup>1</sup>Český hydrometeorologický ústav, pobočka Ústí nad Labem

Kočkovská 2699/18, 400 11 Ústí nad Labem

e-mail:placha@chmi.cz

<sup>2</sup>Zdravotní ústav se sídlem v Ústí nad Labem

Moskevská 15, 400 01 Ústí nad Labem

e-mail:eva.rychlikova@zuusti.cz

## Abstrakt

Projekt přeshraniční spolupráce Cíl 2 SN-CZ 2014-2020 Hallo Nachbar. Ahoy sousede. s názvem „ODCOM – Objektivizace stížností na zápach v Erzgebirgskreis a v Ústeckém kraji“ je jedním z mnoha projektů řešených v ČHMÚ. Zároveň je součástí řady výzkumných úkolů v projektu ACTRIS-CZ, který získal finanční prostředky z programu Evropské unie pro výzkum a inovace Horizont 2020 na základě grantové dohody č. 654109 a je podporován ministerstvem Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky v rámci projektu podpory národní výzkumné infrastruktury ACTRIS - účast České republiky (ACTRIS-CZ - LM2015037).

Projekt má poměrně široký záběr. Skládá se z několika dílčích činností, jejichž plnění zajišťuje sedm organizací z obou stran hranice se Saskem. ČHMÚ společně s kolegy z Tropos Lipsko a LfULG Drážďany měří početní koncentrace ultrajemných částic (UJČ), hmotnostní koncentrace sazí (PM<sub>10</sub>) a další polutanty na dvou českých a dvou německých stanicích. Zároveň se snaží zjistit, jaký je podíl těkavých látek v UJČ. Ty mohou být potenciálními zdroji zápachu, proto se prověřuje i souvislost mezi jejich množstvím a zápachovými epizodami v Krušných horách.

Dalšími sledovanými oblastmi jsou zjištění objektivnosti stížností na zápach (např. dotazníkovou metodou), identifikace vlastních zápachových látek v laboratořích Zdravotního ústavu se sídlem v Ústí nad Labem (ZÚ), zjištění toxicity odebraných látek a zjišťování možných dopadů na zdraví obyvatelstva v česko-saské příhraniční oblasti. V této oblasti je kromě ZÚ aktivní i hlavní partner projektu Technická univerzita Drážďany. Dalšími partnery jsou Ústecký kraj a Saské ministerstvo propagace sociálních věcí a ochrany spotřebitelů. Jejich úlohou je zjištění skutečného stavu možných zápachových epizod v příhraniční oblasti a seznámení laické a odborné veřejnosti a hlavně politiků s touto skutečností. Na nich potom budou další příslušné kroky k zajištění spokojeného života v Krušnohoří.

Při měření na stanicích v Lomu a v Ústí nad Labem jsme zjistili, jaké je složení UJČ na těchto lokalitách v porovnání s národní atmosférickou observatoří v Košetících. Tyto stanice se tak staly zárodkem budoucí sítě měření UJČ. Ta bude zahrnovat typově odlišné lokality od těch současných a poskytne tak lepší představu o složení částic v těchto lokalitách. Rozšířil se náš pohled na to, jaký vliv mají tyto částice na lidský organismus. Objevují se již i první výsledky analýz vzorků venkovního ovzduší, odebraného do kanystrů a jsou zjištěny i některé vlastnosti látek z pohledu toxicity a možného vlivu zápachu na zdravotní stav obyvatel. Projekt ještě nekončí, čeká nás rozsáhlé zpracování naměřených výsledků. Náš poster vás seznámí alespoň s některými výsledky měření.





# Aplikace lineární regrese k analýze chemických markerů identifikace zdrojů rizik kontaminace ovzduší

František Božek <sup>1)</sup>, Jiří Huzlík <sup>2)</sup>, Jiří Konečný <sup>1)</sup>, Roman Ličbinský <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> *Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta logistiky a krizového řízení, Studentské náměstí 1532, 686 01 Uherské Hradiště*

<sup>2)</sup> *Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., Líšeňská 33a, 636 00 Brno*  
email: bozek@utb.cz

## Abstrakt

Článek je zaměřen na užití metody nejmenších čtverců při analýze markerů chemického složení kontaminantů s cílem identifikace zdrojů rizik znečištění ovzduší. Tímto způsobem lze obvykle získat řadu dalších informací oproti pouhému stanovení hodnoty markeru. Ve dvou brněnských lokalitách byl sledován poměr koncentrací benzo[ghi]peryenu a benzo[a]pyrenu. Pomocí metody nejmenších čtverců bylo prokázáno, že v teplejším období se podílí na kontaminaci ovzduší výhradně doprava, zatímco v chladnějším období přispívá relevantně ke kontaminaci též spalování organických paliv v domácích topeništích. Navržený postup má obecné využití i pro jiné markery vybraných kontaminantů sorbovaných na pevné částice.

## 1. Úvod

Bází efektivní ochrany obyvatelstva je vyhodnocení rizik, které je východiskem rozhodování v relaci k návrhu adekvátních protiopatření. Je-li riziko vysoké, nebo neakceptovatelné, je třeba užitím nejlépe některé z invenčních metod navrhnout množinu nápravných opatření a následně pomocí metod operační analýzy, např. multikriteriálního hodnocení, a odtud zvolit optimální variantu s akcentem na její účinnost, náklady, proveditelnost, případně další kritéria. Jelikož riziko je dáno součinem pravděpodobnosti aktivace zdroje rizika a odpovídajících následků v konkrétním čase  $\tau$ , předpokládá spolehlivá analýza rizik nezbytně identifikaci příspěvků různých zdrojů rizik. Jen tak lze dosáhnout efektivní strategii kontroly [1].

Mezi závažné zdroje rizik se aktuálně řadí znečištěné ovzduší, na jehož kontaminaci se podílí přírodní, ale v posledních desetiletích obzvláště antropogenní zdroje [2]. V ovzduší se tak vyskytuje řada polutantů představujících značné zdravotní riziko pro lidskou populaci a ohrožení ekosystémů, zejména v okolí frekventovaných komunikací a městech s vysokou koncentrací obyvatelstva a průmyslu [3].

Prioritním předpokladem úspěšné minimalizace rizik z kontaminovaného ovzduší v silně zatížených lokalitách je tedy identifikace relevantních zdrojů znečištění, kterou lze realizovat různými způsoby.

## 2. Analýza současného stavu

K základním přístupům stanovení původu zdrojů emisí ovzduší náleží:

- a) morfologické a rozměrové stanovení komplexní směsi zachycených pevných částic [4];
- b) vyšetření fyzikálních vlastností a chemického složení pevných částic [4, 5];
- c) receptorové modelování [6];

d) stanovení hodnot charakteristických markerů v podobě chemického složení vybraných kontaminantů vázaných na prachové částice.

Při identifikaci zdrojů emisí na základě chemického složení aerosolů se lze nejčastěji setkat s využitím poměru různých polycyklických aromatických uhlovodíků (PAHs), neboť ty jsou všudypřítomné, tvoří širokou skupinu sloučenin a řada z nich vykazuje toxické, mutagenní, teratogenní, karcinogenní nebo embryotoxické vlastnosti [7]. Vhodným PAH pro daný účel se jeví zejména benzo[a]pyren (BaP), protože je stabilní a vykazuje relativně stálý a vysoký příspěvek ke karcinogenní aktivitě PAHs [8]. K identifikaci zdroje znečištění slouží frekventovaně jako marker především poměr jeho koncentrace k benzo[ghi]perylenu (BghiPe) [9] a benzo[e]pyrenu [10]. Registrovat lze též aplikaci poměru indeno[1,2,3-cd]pyrenu (IPy) k sumě koncentrací IPy a BghiPe [10] a fluoranthenu k pyrenu, či fenanthrenu k anthracenu [11]. Široký přehled organických markerů využitelných k identifikaci zdrojů atmosférických aerosolů zkompletoval Genualdi [12].

Pouhým sledováním poměru koncentrací polutantů v atmosféře však může dojít ke ztrátě řady cenných informací v relaci ke specifikaci zdroje znečištění. Příkladně Chuesaard et al. [13] prokázali podrobným zkoumáním kolísání poměru BghiPe/BaP v intervalu (1,07; 3,29) jako funkci vlhkosti ovzduší. Pokles hodnoty BghiPe/BaP v suchém období vysvětlují příspěvkem emisí ze spalování biomasy. Jako indikátor k posouzení přínosu spalování biomasy navrhli poměr 9-nitroanthracenu a 1-nitropyrenu. Paralelně lze v literatuře objevit závislosti organických markerů na jiných proměnných než vlhkosti vzduchu, stejně jako nesrovnalosti při prezentaci jejich hodnot pro tentýž zdroj znečišťování [12].

Jednou z možností jak řešit rozšířit poznatky z markerů a precizovat identifikaci zdrojů kontaminace ovzduší za různých podmínek, představuje aplikace statistických metod při zpracování naměřených dat. V předkládaném příspěvku je k vyhodnocení vztahů mezi koncentracemi BaP a BghiPe v okolí frekventovaných městských silničních komunikací představena aplikace metody nejmenších čtverců (OLS regrese), již lze výhodně uplatnit i pro jiné markery tohoto typu.

### 3. Použité metody a přístroje

Identifikace zdrojů znečištění byla realizována porovnáním regresních přímek BghiPe versus BaP. K vyhodnocení výsledků klasickou metodou nejmenších čtverců (OLS regrese) byl použit statistický programový balík QC. Expert, modul lineární regrese [14]. Argumentem k volbě modelu ve tvaru rovnice (1), v níž  $c_{BghiPe}$ , resp.  $c_{BaP}$  představují koncentraci BghiPe, resp. BaP,  $b_1$  koeficient lineárního a  $b_0$  absolutní člen, byla skutečnost, že koncentrace BaP jsou zatíženy menší chybou stanovení, než koncentrace BghiPe.

$$c_{BghiPe} = b_0 + b_1 \times c_{BaP} \quad (1)$$

Odhad parametrů regrese byl verifikován pomocí vícenásobného korelačního koeficientu  $R$ , koeficientu determinace  $R^2$ , predikovaného korelačního koeficientu  $R_p$ , střední kvadratické chyby predikce  $MEP$  a Akaikeho informačního kritéria. Spolehlivost lineárního modelu byla dále testována Fisher-Snedecorovým testem významnosti, Scottovým kritériem multikolinearity, Cook-Weisbergovým testem heteroskedasticity, Jarque-Berrovým testem normality, znaménkovým testem reziduí Waldovým a Durbin-Watsonovým testem autokorelace a [15].

Odběry vzorků ovzduší byly realizovány po dobu 24 hodin středně-objemovým vzorkovačem Leckel MVS6 a analogicky jako stanovení PAHs standardním operačním postupem prezentovaným v naší dřívější publikaci [16].

#### 4. Výsledky a diskuze

Koncentrace PAHs vázané na pevné částice  $PM_{2,5}$  v ovzduší byly sledovány v období 2007 až 2008 v osmi týdenních odběrových kampaních na brněnských lokalitách  $L_1$  a  $L_2$ . Intenzita dopravy  $TI_1 = 3.6 \times 10^4$  vozidel  $den^{-1}$  na lokalitě  $L_1$  a  $TI_2 = 8 \times 10^3$  vozidel  $den^{-1}$  na lokalitě  $L_2$ . Ke specifikaci zdroje znečištění byly vybrány koncentrace BghiPe a BaP, protože jejich naměřené koncentrace se pohybovaly na relativně vysoké úrovni. Na každé lokalitě bylo stanoveno sumárně 56 párů hodnot koncentrací těchto látek, jež jsou spolu s týdenní mediánovou maximální  $t_{med}Max$  a minimální  $t_{med}Min$  teplotou ovzduší uvedeny v tab. 1.

Tab. 1. Koncentrace BghiPe a BaP na lokalitách  $L_1$  a  $L_2$ , včetně týdenních mediánů maximálních a minimálních teplot ovzduší

LOD = Limit detekce

Datum odběru	Číslo kampaně	Týdenní medián teploty ovzduší		Lokalita $L_1$			Lokalita $L_2$		
		$t_{med}Max$ [°C]	$t_{med}Min$ [°C]	Číslo místa	PAHs [ng m <sup>-3</sup> ]		Číslo místa	PAHs [ng m <sup>-3</sup> ]	
					BaP	BghiPe		BaP	BghiPe
2007-04-16	1	17,09	3,17	1	0,77	1,75	57	1,62	2,67
2007-04-17				2	0,94	1,26	58	0,20	1,24
2007-04-18				3	0,23	1,09	59	0,36	0,68
2007-04-19				4	0,45	1,29	60	0,80	1,75
2007-04-20				5	0,29	1,31	61	0,59	1,00
2007-04-21				6	0,71	1,53	62	0,77	1,71
2007-04-22				7	0,75	2,81	63	0,52	1,51
2007-05-28	2	19,56	10,60	8	0,24	0,68	64	>LOD	0,77
2007-05-29				9	0,23	0,76	65	>LOD	0,21
2007-05-30				10	0,30	1,07	66	0,16	0,69
2007-05-31				11	0,35	1,46	67	0,25	0,57
2007-06-01				12	0,21	1,36	68	0,16	0,66
2007-06-02				13	0,21	0,93	69	>LOD	0,64
2007-06-03				14	0,27	1,03	70	>LOD	0,29
2007-07-09	3	24,33	11,30	15	>LOD	0,20	71	>LOD	0,18
2007-07-10				16	0,25	0,59	72	0,18	0,22
2007-07-11				17	0,28	0,32	73	0,20	0,26
2007-07-12				18	0,34	0,45	74	0,28	0,65
2007-07-13				19	0,27	0,85	75	0,21	0,36
2007-07-14				20	>LOD	0,59	76	0,16	0,40
2007-07-15				21	>LOD	0,67	77	0,15	0,51
2007-08-21	4	28,16	16,30	22	>LOD	0,13	78	0,18	0,17
2007-08-22				23	0,12	0,14	79	>LOD	0,24
2007-08-23				24	>LOD	>LOD	80	>LOD	0,07
2007-08-24				25	>LOD	0,28	81	>LOD	>LOD
2007-08-25				26	>LOD	0,11	82	>LOD	>LOD
2007-08-26				27	0,17	0,16	83	>LOD	>LOD
2007-08-27				28	>LOD	0,11	84	>LOD	0,11

Datum odběru	Číslo kampaně	Týdenní medián teploty ovzduší		Lokalita $L_1$			Lokalita $L_2$		
		$t_{med}Max$ [°C]	$t_{med}Min$ [°C]	Číslo místa	PAHs [ng m <sup>-3</sup> ]		Číslo místa	PAHs [ng m <sup>-3</sup> ]	
					BaP	BghiPe		BaP	BghiPe
2007-10-01	5	17,67	9,17	29	0,16	0,08	85	>LOD	0,33
2007-10-02				30	0,37	0,73	86	0,14	0,64
2007-10-03				31	0,22	0,90	87	0,25	0,77
2007-10-04				32	0,22	0,86	88	0,24	1,07
2007-10-05				33	0,24	0,54	89	>LOD	0,52
2007-10-06				34	0,21	0,99	90	0,37	1,30
2007-10-07				35	0,27	1,16	91	0,29	1,06
2007-11-19	6	5,96	1,46	36	0,51	1,00	92	1,41	2,76
2007-11-20				37	0,63	1,53	93	1,00	2,20
2007-11-21				38	0,90	2,54	94	1,73	2,60
2007-11-22				39	1,42	2,53	95	2,36	4,05
2007-11-23				40	3,07	4,44	96	6,12	6,20
2007-11-24				41	3,13	6,44	97	1,87	5,29
2007-11-25				42	0,74	4,56	98	0,37	1,78
2008-01-14	7	7,20	2,43	43	>LOD	2,21	99	0,79	2,38
2008-01-15				44	0,21	0,75	100	0,15	1,66
2008-01-16				45	0,23	1,72	101	0,73	1,88
2008-01-17				46	0,63	3,77	102	0,48	4,40
2008-01-18				47	0,83	3,38	103	1,94	5,11
2008-01-19				48	0,14	3,09	104	0,31	3,10
2008-01-20				49	>LOD	2,19	105	>LOD	1,04
2008-02-25	8	12,19	1,04	50	4,26	4,65	106	3,82	3,07
2008-02-26				51	2,63	6,98	107	2,67	6,40
2008-02-27				52	1,58	1,04	108	1,21	2,15
2008-02-28				53	2,06	2,10	109	2,14	4,62
2008-02-29				54	2,88	8,18	110	1,24	3,15
2008-03-01				55	0,47	2,66	111	>LOD	2,29
2008-03-02				56	0,51	2,91	112	0,21	1,69

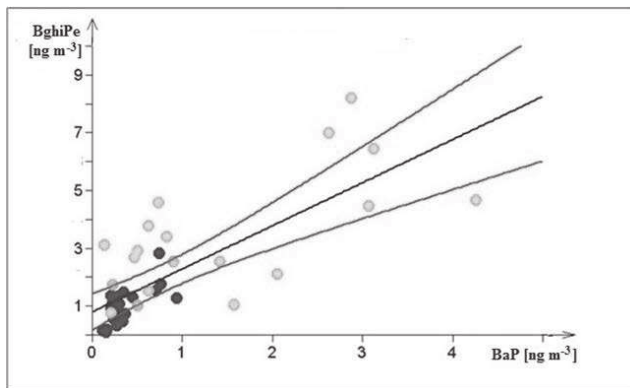
V první fázi byly provedeny výpočty lineární regrese mezi BghiPe a BaP metodou OLS regrese a stanoveny parametry  $b_0$  a  $b_1$  pro každou lokalitu zvlášť. Ve výpočtech nebyly zvažovány případy, kdy aspoň jedna z měřených koncentrací byla pod limitem detekce  $LOD < 0.05 \text{ ng m}^{-3}$ . V datech se však projevovала heteroskedascita, kterou nebylo možné odstranit ani vypuštěním odlehlých dat, ani zavedením vážené regrese. Z analýzy reziduí vyplynulo, že se oba systémy chovají odlišně v teplejším období roku  $W$ , kdy  $t_{med}Min > 5^\circ\text{C}$  a v chladnějším období  $C$  s  $t_{med}Min < 5^\circ\text{C}$ . Proto byla data z každé lokality rozdělena do dvou skupin podle  $t_{med}Min$  a regrese počítána zvlášť. Regresní přímky jsou znázorněny na obr. 1 a 2. Predikovaná rezidua byla v teplejším období pro obě lokality převážně záporná, v chladnějším období naopak převážně kladná, jak je patrné z obr. 3 a obr. 4.

Regresní diagnostika mezi koncentracemi BghiPe a BaP pro soubor dat z teplejšího období na lokalitě  $L_1$  ukázala, že rezidua vykazují heteroskedasticitu ( $p = 1,91 \times 10^{-2}$ ). Naměřené koncentrace v místech odběru 2 a 7 uvedených v tab. 1, jsou pravděpodobně odlehlé, a proto byly z další analýzy dat vyloučeny a realizovány nové výpočty. Výsledky jsou prezentovány v tab. 2 ve sloupci označeném  $L_1W$ .

Tímto postupem byla z dat odstraněna heteroskedascita. Další regresní statistiky byly vyhovující, vyjma pozitivní autokorelace dat.

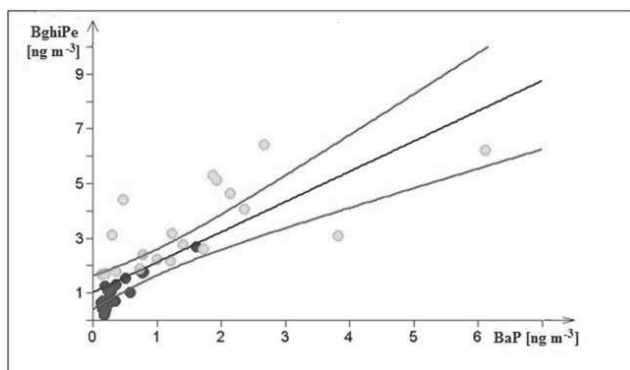
Obr. 1. Regresní přímka mezi koncentracemi BaP a BghiPe pro lokalitu  $L_1$

● - chladnější období; ● - teplejší období; — - 95% interval spolehlivosti.



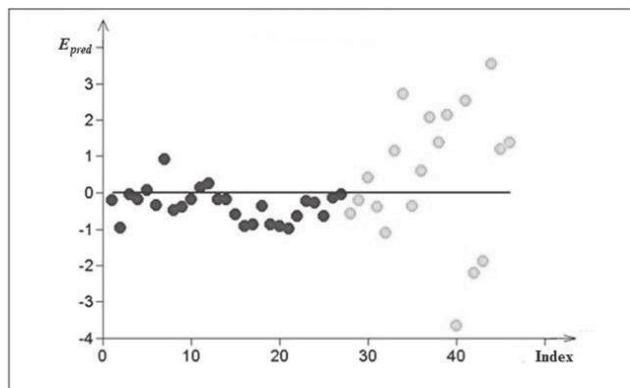
Obr. 2. Regresní přímka mezi koncentracemi BaP a BghiPe pro lokalitu  $L_2$

● - chladnější období; ● - teplejší období; — - 95% interval spolehlivosti.



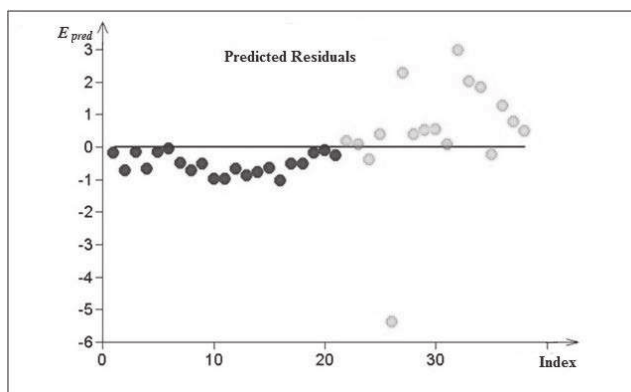
Obr. 3. Predikovaná hodnota rezidua  $E_{pred}$  pro lokalitu  $L_1$

● - chladnější období; ● - teplejší období.



Obr. 4. Predikovaná hodnota rezidua  $E_{pred}$  pro lokalitu  $L_2$ 

● - chladnější období; ● - teplejší období.



Analogicky byly provedeny výpočty u lokality  $L_1$  a chladnější období. Na základě diagnostických grafů byl vyřazen jako odlehlý bod v místě odběru 54 (tab. 1) a výpočty reprodukovány s eliminací odpovídajících koncentrací. Získané hodnoty jsou zaznamenány v tab. 2 ve sloupci označeném  $L_1C$ . Po této úpravě všechny testy splnily kritéria regrese.

Tab. 2. Souhrnný přehled výsledků testování regresních modelů

Parametr	$L_1W$	$L_2W$	$L_1C$	$L_2C$	$L_1$	$L_2$	$W$	$C$	$L_1L_2WC$
Absolutní člen regrese: $b_0$	0,314	0,283	1,890	2,157	0,858	0,969	0,343	2,031	0,793
Směrnice regresních přímek: $b_1$	1,923	1,614	0,921	0,763	1,315	1,154	1,633	0,833	1,326
Počet bodů v regresi: $n$	25	21	18	17	43	38	46	35	81
Počet regresních parametrů: $Q$	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Počet stupňů volnosti: $\nu$	23	19	16	15	41	36	44	33	79
Reziduální rozptyl $\sigma^2$	0,120	0,0718	2,022	0,974	1,150	0,936	0,0985	1,435	1,112
Reziduální součet čtverců $RSC$	2,749	1,365	32,36	14,61	47,14	33,69	4,336	47,34	122,30
Váhy k výpočtu společného úseku $w_0$	47,90	27,28	9,96	9,62	26,49	23,61	17,21	16,15	67,85
Váhy k výpočtu společné směrnice $w_1$	2,736	5,361	56,74	65,65	59,48	71,01	8,10	122,39	130,49

Testování regrese po vyřazení odlehlých bodů na lokalitě  $L_2$  proběhlo shodně jako u lokality  $L_1$ . Výsledky pro teplejší období indikovaly vyřazení místa odběru označeného v tab. 1 číslem 58 a pro chladnější období čísla 106 a 107. Získané výstupy splnily po eliminaci odlehlých koncentrací kritéria regrese pro všechny testy a jsou zachyceny v tab. 2, sloupce  $L_2W$  pro teplejší, resp.  $L_2C$  pro chladnější období.

K porovnání všech čtyř regresních přímek byl proveden výpočet společné regrese souhrnu všech testovaných souborů s výsledky uvedenými v tab. 2 ve sloupci s označením  $L_1L_2WC$ . V tomto případě se v datech projevila heteroskedascita ( $p = 2,8 \times 10^{-5}$ ), rezidua neměla normální rozdělení ( $p = 5,73 \times 10^{-5}$ )

a znaménkový test prokázal stoupající trend ( $p = 2,59 \times 10^{-4}$ ). Heteroskedascita se ve výsledcích vyskytovala i po eliminaci odlehlých bodů.

Posléze byly vypočteny parametry lineárního modelu, jejichž hodnoty jsou pro teplejší, resp. chladnější období prezentovány v tab. 2 ve sloupci označeném  $W$ , resp.  $C$ . Pro teplejší období se v datech projevila pouze významná pozitivní autokorelace, zatímco pro chladnější období všechny testy splnily kritéria regrese.

Aby bylo možné posoudit, zda znečištění pochází ze stejného zdroje, bylo třeba ověřit shodnost přímků regrese, jejichž počet pro jednotlivá srovnání reprezentoval symbol  $M$ . Nejprve se zjistilo, zda reziduální rozptyly pro všechny regresní přímky jsou shodné, což bylo realizováno Bartlettovým testem heteroskedascity. Test byl zpracován pro  $M$  nezávislých odhadů rozptylů s  $v_j = n_j - M$  stupni volnosti, kde  $n_j$  je počet prvků  $j$ -tého souboru v příslušném sloupci, jak je patrné z tab. 2, resp. 3.

Tab. 3. Souhrnný přehled výsledků Bartlettova testu pro vzájemná porovnávání rozptylů

Porovnávané přímky	$L_1W$	$L_1W$	$L_2W$	$L_1W$	$L_1C$	$L_1$	$W$
	$L_2W$	$L_1C$	$L_2C$	$L_2W$	$L_2C$	$L_2$	$C$
	$L_1C$						
	$L_2C$						
Počet bodů porovnávaných přímků: $n$	81	43	38	46	35	81	81
Počet porovnávaných regresních přímků: $M$	4	2	2	2	2	2	2
Celkový počet stupňů volnosti: $V$	73	39	34	42	31	77	77
Parametr: $D$	1,024	1,027	1,030	1,024	1,032	1,013	1,013
Reziduální součet čtverců porovnávaných přímků: $RSC$	51,08	35,10	15,98	4,114	46,97	80,83	51,68
Sdružený odhad rozptylu: $\hat{\sigma}_C^2$	0,700	0,900	0,470	0,0979	1,515	1,050	0,671
Bartlettovo kritérium: $B$	<b>60,53*</b>	<b>32,62*</b>	<b>24,03*</b>	1,282	1,943	0,399	<b>58,56*</b>
Kritická hodnota Bartlettova kritéria: $\chi_{0,95}^2(M-1)$	9,49	5,99	5,99	5,99	5,99	5,99	5,99

Za tím účelem byla stanovena nulová hypotéza  $H_0: \sigma^2 = \sigma_j^2; j \in \langle 1, M \rangle \cap j, M \in N$ , při jejíž platnosti jsou všechny reziduální rozptyly shodné a alternativní hypotéza  $H_1: \sigma^2 \neq \sigma_j^2; j \in \langle 1, M \rangle \cap j, M \in N$ , že aspoň jeden z rozptylů je od ostatních odlišný. Symbol  $N$  značí množinu přirozených čísel. Jako Bartlettovo testační kritérium  $B$  sloužil vztah (2), v němž celkový počet stupňů volnosti  $V$  se kalkuluje dle výrazu (3), sdružený odhad rozptylu  $\hat{\sigma}_C^2$  podle vztahu (4) a parametr  $D$  v souladu s rovnicí (5). Hodnoty  $n$  jsou uvedeny v tab. 2 a vypočtou se užitím formule (6), přičemž  $j \in N$ .

$$B = \left[ V \times \ln \{ \hat{\sigma}_C^2 \} - \sum_{j=1}^M (v_j \times \ln \{ \hat{\sigma}_C^2 \}) \right] \times D^{-1} \quad (2)$$

$$V = \sum_{j=1}^M v_j \quad (3)$$

$$\hat{\sigma}_C^2 = \sum_{j=1}^M (v_j \times \hat{\sigma}_j^2 \times V^{-1}) \quad (4)$$

$$D = 1 + \left[ \sum_{j=1}^M (v_j^{-1} - V^{-1}) \right] \times [3 \times (M-1)]^{-1} \quad (5)$$



$$n = \sum_{j=1}^M n_j \quad (6)$$

Při platnosti hypotézy  $H_0$  je rozdělení  $B$  asymptoticky Pearsonovo  $\chi^2$  s  $M - 1$  stupni volnosti a  $H_0$  se považuje za přijatou na hladině významnosti  $\alpha$ , jestliže  $B < \chi_{1-\alpha}^2(M-1)$ . Odhadem rozptylu  $\sigma^2$  je sdružený odhad rozptylu  $\hat{\sigma}_c^2$ . Bartlettův test je citlivý na odchylky reziduí od normality. Skupiny porovnávaných regresních přímk, u kterých byl zamítnut předpoklad, že mají společný sdružený rozptyl  $\hat{\sigma}_c^2$  jsou v tab. 3 označeny tučně s hvězdičkou.

Bází porovnávání shodnosti přímk se stal test homogenity úseků. Byla formulována nulová hypotéza  $H_0: b_0^j = b_0^k; j, k \in \langle 1, M \rangle \cap j, k, M \in \mathbb{N}$ , že úseky jsou shodné a alternativní hypotéza  $H_1: b_0^j \neq b_0^k; j, k \in \langle 1, M \rangle \cap j, k, M \in \mathbb{N}$ , že aspoň jeden z úseků se od ostatních liší. Symboly  $b_0^j, b_0^k$  reprezentují absolutní členy  $j$ -té, resp.  $k$ -té regresní přímky. Testační rovnice  $E$  úseků přímk měla tvar (7), v němž  $w_0^j$  značí váhu absolutního členu úseku  $j$ -té regresní přímky vypočtené ve shodě se vztahem (8),  $b_0^c$  sdružený odhad absolutních členů porovnávaných regresních přímk vypočtený využitím vztahu (9) a  $RSC_j$  reziduální součet čtverců  $j$ -té přímky.

$$E = \left\{ (n-2 \times M) \times \sum_{j=1}^M [w_0^j \times (b_0^j - b_0^c)^2] \right\} \times \left[ (M-1) \times \sum_{j=1}^M RSC_j \right]^{-1} \quad (7)$$

$$w_0^j = \left[ n_j \times \sum_{i=1}^{n_j} (x_{i,j} - \bar{x}_j)^2 \right] \times \left[ \sum_{i=1}^{n_j} (x_{i,j})^2 \right]^{-1} \quad (8)$$

$$b_0^c = \left[ \sum_{j=1}^M (w_0^j \times b_0^j) \right] \times \left[ \sum_{j=1}^M w_0^j \right]^{-1} \quad (9)$$

Platí-li nulová hypotéza  $H_0$ , má testační statistika  $E$  Fischer-Snedecorovo rozdělení s  $\nu_1 = M - 1$  a  $\nu_2 = n - 2 \times M$  stupni volnosti. Když  $E < F_{1-\alpha}(M-1, n-2 \times M)$ , lze tvrdit, že všechny přímky vykazují na hladině významnosti  $\alpha$  stejný úsek s hodnotou absolutního členu  $b_0^c$ . Výsledky výpočtů jsou zaznamenány v tab. 4. Tučně s hvězdičkou jsou označeny skupiny regresních přímk, u nichž byla zamítnuta hypotéza  $H_0$  o shodnosti úseků.

Tab. 4. Souhrnný přehled výsledků F-testů pro vzájemná porovnávání absolutních členů

Porovnávané přímky	$L_1W$	$L_1W$	$L_2W$	$L_1W$	$L_1C$	$L_1$	$W$
	$L_2W$						
	$L_1C$	$L_1C$	$L_2C$	$L_2W$	$L_2C$	$L_2$	$C$
	$L_2C$						
Sdružený odhad absolutních členů regrese: $b_0^c$	0,658	0,585	0,771	0,302	2,021	0,910	1,160
Počet regresních přímk: $M$	4	2	2	2	2	2	2
Počet bodů porovnávaných přímk: $n$	81	43	38	46	35	81	81
Testační statistika absolutních členů přímk: $E$	<b>22,04*</b>	<b>22,77*</b>	<b>53,19*</b>	0,170	0,230	0,145	<b>35,40*</b>
Kritická hodnota testu: $E < F_{0,95}(M-1, n-2 \times M)$	2,730	4,091	4,130	4,073	4,160	3,965	3,965

Jak je zřejmé z tab. 3 a 4 test homogenity úseků s aplikací Bartlettova testu homoskedascity prokázal na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  shodu regresních přímk funkce BghiPe a BaP pro teplejší ( $L_1W - L_2W$ ) a chladnější ( $L_1C - L_2C$ ) období, včetně sumárních dat pro zkoumaná období na obou sledovaných lokalitách ( $L_1 - L_2$ ).

Následovala komparace shodnosti přímk testem homogenity směrnic. Byla stanovena nulová hypotéza  $H_0: b_1^j = b_1^k; j, k \in \langle 1, M \rangle \cap j, k, M \in N$ , že směrnice regresních přímk jsou shodné a alternativní hypotéza  $H_1: b_1^j \neq b_1^k; j, k \in \langle 1, M \rangle \cap j, k, M \in N$ , že aspoň jedna směrnice je od ostatních odlišná. Symboly  $b_1^j, b_1^k$  značí směrnice  $j$ -té, resp.  $k$ -té regresní přímky. Jako testační kritérium  $G$  byl použit vztah (10), v němž  $w_1^j$  značí váhu směrnice  $j$ -té regresní přímky kalkulované dle rovnice (11),  $b_1^c$  sdružený odhad směrnic vypočtený jako vážená kombinace odhadů jednotlivých směrnic  $b_1^j$  pomocí vztahu (12), přičemž ostatní symboly mají stejný význam jako v rovnici (7).

$$G = (n - 2 \times M) \times \sum_{j=1}^M [w_1^j \times (b_1^j - b_1^c)^2] \times \left[ (M - 1) \times \sum_{j=1}^M RSC_j \right]^{-1} \quad (10)$$

$$w_1^j = \sum_{i=1}^{n_j} (x_{i,j} - \bar{x}_j)^2 \quad (11)$$

$$b_1^c = \left[ \sum_{j=1}^M (w_1^j \times b_1^j) \right] \times \left( \sum_{j=1}^M w_1^j \right)^{-1} \quad (12)$$

Za předpokladu validity nulové hypotézy  $H_0$ , má testační charakteristika  $G$  Fischer-Snedecorovo rozdělení s  $\nu_1 = M - 1$  a  $\nu_2 = n - 2 \times M$  stupni volnosti. Jestliže  $G < F_{1-\alpha}(M - 1, n - 2 \times M)$ , mají na hladině významnosti  $\alpha$  všechny regresní přímky identickou směrnici  $b_1^c$  s odhadem daným výrazem (12). Výsledky výpočtů jsou evidentní z tab. 5, v níž jsou tučně s hvězdičkou označeny skupiny regresních přímk, u kterých byla zamítnuta hypotéza o shodnosti směrnic.

Tab. 5. Souhrnný přehled výsledků F-testů pro vzájemná porovnávání směrnic

Porovnávané přímky	$L_1W$	$L_1W$	$L_2W$	$L_1W$	$L_1C$	$L_1$	$W$
	$L_2W$						
	$L_1C$	$L_1C$	$L_2C$	$L_2W$	$L_2C$	$L_2$	$C$
	$L_2C$						
Sdružený odhad směrnic regrese: $b_1^c$	0,891	0,968	0,827	1,718	0,836	1,227	0,883
Počet regresních přímk: $M$	4	2	2	2	2	2	2
Počet bodů porovnávaných přímk: $n$	81	43	38	46	35	81	81
Testační charakteristika směrnic přímk: $G$	<b>3,261*</b>	2,909	<b>7,637*</b>	1,770	0,506	0,801	2,285
Kritická hodnota testu: $G < F_{0,95}(M - 1, n - 2 \times M)$	2,730	4,091	4,130	4,073	4,160	3,965	3,965

Všechny přímky závislosti BghiPe a BaP, jež byly shledány totožnými testem úseků regresního modelu (1), lze považovat za shodné i z aspektu rovnosti směrnic. Z údajů v tab. 5 by se sice zdálo, že za totožné lze pokládat též směrnice přímk pro teplejší a chladné období na lokalitě  $L_1$  a přímky všech dat pro teplejší

a chladnější období, což však není možné považovat za průkazné v relaci k heteroskedascitě reziduí, jak rezultuje z tab. 3.

Finální částí porovnávání shodnosti přímek se stal test celkové shody, jenž je kombinací testů homogenity úseků a směrnic. Spočívá v porovnání reziduálního součtu čtverců  $RSC_k$ , získaného po proložení všech  $M$ -skupin dat jednou společnou přímkou s odhady parametrů  $b_0^k$ ,  $b_1^k$  a sumy reziduálního součtu vypočteného pro každou skupinu zvlášť. Byla stanovena nulová hypotéza  $H_0$  daná vztahem (13), že všechny přímky jsou shodné a alternativní hypotéza  $H_1$ , vyjádřená výrazem (14), že aspoň jedna z přímek je od ostatních odlišná.

$$H_0 : b_0^j = b_0^k \cap b_1^j = b_1^k \cap j, k \in \langle 1; M \rangle \cap j, k, M \in N \quad (13)$$

$$H_1 : b_0^j \neq b_0^k \cap b_1^j = b_1^k \cup b_0^j = b_0^k \cap b_1^j \neq b_1^k \cup \quad (14)$$

$$b_0^j \neq b_0^k \cap b_1^j \neq b_1^k \cap j, k \in \langle 1; M \rangle \cap j, k, M \in N$$

Testační kritérium  $R$  má tvar (15):

$$R = \left[ \left( RSC_k - \sum_{j=1}^M RSC_j \right) \times (n - 2 \times M) \right] \times \left[ 2 \times \sum_{j=1}^M RSC_j \times (M - 1) \right]^{-1} \quad (15)$$

Platí-li  $H_0$ , vykazuje testační kritérium  $R$  Fischer-Snedecorovo rozdělení s  $\nu_1 = 2 \times (M - 1)$  a  $\nu_2 = n - 2 \times M$  stupni volnosti. Pakliže  $R < F_{1-\alpha} [2 \times (M - 1), n - 2 \times M]$ , lze konstatovat, že na hladině významnosti  $\alpha$  jsou všechny regresní přímky totožné se společným odhadem úseku  $b_0^k$  a směrnice  $b_1^k$ . Výsledky výpočtů jsou zaznamenány v tab. 6. Tučně s hvězdičkou jsou zvýrazněny kombinace regresních přímek, pro něž byla zamítnuta hypotéza  $H_0$  o jejich shodnosti.

Tab. 6. Souhrnný přehled výsledků F-testů pro vzájemná porovnávání regresních přímek

Porovnávané přímky	$L_1W$	$L_1W$	$L_2W$	$L_1W$	$L_1C$	$L_1$	$W$
	$L_2W$						
	$L_1C$	$L_1C$	$L_2C$	$L_2W$	$L_2C$	$L_2$	$C$
	$L_2C$						
Sdružený odhad absolutních členů regrese: $b_0^k$	0.793	0.858	0.969	0.343	2.031	0.793	0.793
Sdružený odhad směrnic regrese: $b_1^k$	1.326	1.315	1.154	1.633	0.833	1.326	1.326
Reziduální součet čtverců všech skupin porovnávaných dat: $RSC_k$	122.296	47.144	33.690	4.336	47.340	122.296	122.296
Sdružený reziduální součet čtverců porovnávaných přímek: $RSC_c$	51.082	35.105	15.977	4.114	46.969	80.833	51.676
Počet regresních přímek: $M$	4	2	2	2	2	2	2
Počet bodů porovnávaných přímek: $n$	81	43	38	46	35	81	81
Testační charakteristika shody přímek: $R$	<b>5.654*</b>	1.672	<b>4.712*</b>	0.283	0.0306	<b>4.937*</b>	<b>13.153*</b>
Kritická hodnota testu: $R < F_{0,95}(M - 1, n - 2 \times M)$	2.226	3.238	3.276	3.220	3.305	3.115	3.115

Z testu celkové shody a zároveň přijetí výsledků Bartlettova testu homoskedascity vyplývá, že za shodné lze považovat výhradně dvojice přímek pro teplejší ( $L_1W - L_2W$ ) a chladnější ( $L_1C - L_2C$ ) období na obou zkoumaných lokalitách. Pro ostatní seskupení přímek není možné považovat výsledky za průkazné.

## 5. Závěr

Metodou nejmenších čtverců byla prokázána statisticky významná shoda směrnic závislostí koncentrací BghiPe na BaP v teplejším období (kampaň 1 - 5 v tab. 1) pro obě sledované lokality  $L_1$  i  $L_2$ , analogicky jako pro chladnější období (kampaň 6-8 v tab. 1). Shoda souhrnných regresních přímků za celý rok pro lokality  $L_1$  a  $L_2$  nebyla statisticky významná. Porovnávání dalších kombinací lokalit a období touto metodou se ukázalo nekorektní kvůli porušení předpokladu homoskedasticity reziduí.

To znamená, že poměr koncentrací BghiPe/BaP charakterizovaný směrnicí regresní přímků není odlišný pro měřené lokality, nýbrž pro různá období roku. Protože ve sledovaných lokalitách nebyly nalezeny jiné zdroje PAHs vyjma dopravy a lokálních topenišť, bylo možné učinit závěr, že v teplejším období je zdrojem PAHs výhradně doprava. V chladnějším období přisívá výrazně k obsahu PAHs v ovzduší také spalování fosilních paliv.

## Literatura

- [1] Božek, F., Urban, R. 2008. *Management rizika*. 1. vyd. Brno: Univerzita obrany, 2008. 145 s. ISBN 978-80-7231-259-7.
- [2] Villar-Vidal, M., et al. 2014. Air polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) associated with PM<sub>2,5</sub> in a north Cantabric coast urban environment. *Chemosphere* **99**, 233-238.
- [3] Božek, F., et al., 2011. Emissions of selected pollutants while applying of specific additive Envirox™. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, **7**, (8), 233-243.
- [4] Leal, R. R., Martinez, M. V., Campas, M. C. 2014. Morphology and chemical composition of PM<sub>10</sub> by SEM-EDS. *Microscopy and Microanalysis*, **20** (S3), 1982-1983.
- [5] Winifred, U. A. et al. 2016. Study of surface morphology, elemental composition and sources of airborne fine particulate matter in Agbara industrial estate, Nigeria. *International Journal of Applied Environmental Sciences*, **11**, (4), 881-890.
- [6] Dutton, S. J. et al. 2010. Source apportionment using positive matrix factorization on daily measurements of inorganic and organic speciated PM<sub>2,5</sub>. *Atmospheric Environment*, **44**, (23), 2731-2741.
- [7] Haritash, A. K., Kaushik, C. P. 2009. Biodegradation aspects of polycyclic aromatic hydrocarbons: A review. *Journal of Hazardous Materials*, **169**, 1-15.
- [8] Hailwood, M. et al. 2001. *Ambient air pollution by polycyclic aromatic hydrocarbons*. [Position Paper]. Prepared by the Working group on polycyclic aromatic hydrocarbons. ISBN 92-894-2057-X. [online]. [2018-10-26]. URL: <[http://ec.europa.eu/environment/archives/air/pdf/pp\\_pah.pdf](http://ec.europa.eu/environment/archives/air/pdf/pp_pah.pdf)>.
- [9] Gustafsson, O., Gschwend, P. M. Soot as a strong partition medium for polycyclic aromatic hydrocarbons in aquatic systems. In: Eganhouse, R. P. *Molecular markers in environmental geochemistry*, Washington: American Chemical Society, Chapter 24, pp. 365–381. eISBN 9780841216358.
- [10] Yang, H. H. et al. 2006. Source identification and size distribution of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons during rice straw burning period. *Atmospheric Environment*, **40**, (7), 1266-1274.
- [11] Kocourek, V., Hajšlová, J., Tomaniová, M., 2003. *Přehled imisní zátěže agrárního ekosystému vybranými prioritními organickými polutanty*. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby. [online]. [2018-10-27]. URL: <<http://www.phytopsanitary.org/projekty/2002/vvf-10-02.pdf>>.
- [12] Genualdi, S. 2008. *Semi-volatile organic compounds as molecular markers for atmospheric and ecosystem transport*. [Dissertation]. Corvallis: Oregon State University. 133 pp.

- [13] Chuesaard, T. et al. 2014, A. Influence of biomass burning on the levels of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons and their nitro derivatives in Chiang Mai, Thailand. *Aerosol and Air Quality Research*, **14**, (4), 1247-1257.
- [14] Kupka K., 2013. *QC Expert User's Manual - TriloByte Statistical Software*, [Czech Version]. Pardubice: TriloByte, Ltd. 266 pp.
- [15] Meloun, M., Militký, J. (2004). *Statistická analýza experimentálních dat*. 1<sup>st</sup> Ed. Praha: Academia. 953 pp.
- [16] Božek, F. et al. 2016. Polycyclic aromatic hydrocarbon adsorption on selected solid particulate matter fractions. *Atmospheric Environment*, **126**, 128-135.

### **Poděkování**

Článek byl vytvořen s finanční podporou Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy v rámci programu dlouhodobého koncepčního vývoje výzkumných institucí v oblasti výzkumné infrastruktury a v rámci Národního programu udržitelnosti I, projektu Dopravního výzkumu a vývoje (LO1610) o výzkumné infrastruktuře získané z Operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace (CZ.1.05 / 2.1.00 / 03.0064).

## **Use of linear regression for analyzing chemical markers to identification of air contamination risk sources**

**František Božek<sup>1)</sup>, Jiří Huzlík<sup>2)</sup>, Jiří Konečný<sup>1)</sup>, Roman Ličbínský<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup>*Tomas Bata University in Zlín, Faculty of Logistics and Crisis Management  
Studentské náměstí 1532, 686 01 Uherské Hradiště*

<sup>2)</sup>*Transport Research Centre*

*Líšeňská 33a, 636 00 Brno*

*e-mail:bozek@utb.cz*

### **Abstract**

The paper deals with the use of the linear regression method for analysing chemical contaminants markers to identify risk sources of air pollution. In this way, it is possible to obtain a number of other important information in comparison with mere determination of the marker value. The ratio of benzo[ghi]perylene and benzo [a] pyrene concentrations was monitored in two Brno sites. Usage of the statistical method of the least squares, it has been shown that air pollution is exclusively caused by transport during warmer period. Conversely, combustion of organic fuels in domestic furnaces contributes to the contamination in the colder season, as well. The proposed procedure can be generally used for other markers of selected pollutants bound to solid particles.

# Technologické trendy v silniční dopravě

**Jiří Jedlička, Václav Fencí**  
*Technologická platforma silniční dopravy*  
Líšeňská 33a, 636 00 Brno  
kancelář: Olomoucká 174, 627 00 Brn  
e-mail: jiri.jedlicka@cdv.cz

## Abstrakt

Pro dosažení cílů lisabonské deklarace je nutný rozvoj evropského výzkumného prostoru, jedním z jeho prvků jsou evropské technologické platformy. V současné době pracuje 38 evropských technologických platform, v oblasti dopravy vzniklo pět odvětvově orientovaných platform. Jednou z nich je ERTRAC (European Road Transport Research Advisory Council). Na tuto evropskou platformu navázaly národní technologické platformy, které již existují v Polsku, Maďarsku, Slovinsku, Rakousku a chystají se v dalších zemích. V ČR v současné době v dopravě působí čtyři národní technologické platformy: TP interoperabilita železniční infrastruktury, TP letectví a kosmonautika, TP vozidla pro udržitelnou dopravu a TP silniční dopravy. Příspěvek se věnuje jednak představení odborných aktivit platformy a blíže přiblížit nové trendy v silniční dopravě.

## 1. Technologická platforma silniční dopravy

Technologická platforma silniční doprava (TPSD) byla založena na ustavujícím zasedání konaném dne 11. září 2009 v Brně. Zakládajících členů bylo celkem 15. O založení národní platformy byli informováni členové ERTRAC, kteří tuto českou aktivitu ocenili a přivítali. Následně byla TPSD představena na National Technology Platforms Meeting konaném dne 28. října 2009 v Göteborgu v rámci setkání členských států pořádaného v souvislosti se švédským předsednictvím EU v druhé polovině roku 2009. V současné době má sdružení 13 členů.

Současné složení sdružení zahrnuje prestižní výzkumnou organizaci – Centrum dopravního výzkumu v.v.i. a čtyři vysoké školy, které mají dopravu ve svých učebních plánech a výzkumných aktivitách. Tyto subjekty mají vysoký potenciál přispět k technickému a inovačnímu rozvoji oboru silniční dopravy.

Vedle těchto subjektů, které jsou garantem vysoké úrovně všech činností v oblasti výzkumu, vývoje a inovací, je členem sdružení projekční organizace HBH Projekt, která vedle své hlavní činnosti je rovněž velmi aktivní v oblasti výzkumu, vývoje a inovací a v normalizační činnosti. Skupina malých a středních podniků je vhodně zastoupena podniky KYBERTEC, IDIADA CZ, Velmi důležité je členství firem VARS BRNO a OLTIS GROUP.

Z dalších subjektů je významným členem sdružení Ředitelství silnic a dálnic ČR, které jako státní příspěvková organizace vykonává výkon vlastnických práv státu k nemovitostem tvořícím dálnice a silnice I. třídy a zabezpečuje správu, údržbu, opravy a výstavbu a modernizace těchto pozemních komunikací.

Velký potenciál pro práci sdružení představují dvě sdružení a to Česká asociace petrolejářského průmyslu a obchodu a Asociace elektromobilového průmyslu, která ve svých řadách sdružují řadu dalších organizací a odborníků.

## 1.2. Odborné zaměření TPSD

Technologická platforma silniční doprava (TPSD) se od svého založení v roce 2009 stala uznávaným partnerem v oboru silniční dopravy. Je zaměřena na obor silniční dopravy, čemuž odpovídá složení členské základny a členění do osmi pracovních skupin. V současné době v TPSD pracuje 8 pracovních skupin.

1. Mobilita
2. Silniční infrastruktura
3. Inteligentní dopravní systémy
4. Bezpečnost silničního provozu
5. Alternativní pohonné hmoty pro silniční dopravu
6. Silniční doprava a životní prostředí
7. Elektromobilita
8. Autonomní vozidla

Náplň těchto pracovních skupin blíže určuje i odborné zaměření činnosti platformy. V platformě není zastoupen tradiční automobilový průmysl a tudíž ani příslušná odborná oblast, protože ta je pokryta jinou technologickou platformou.

## 2. Technologické trendy v silniční dopravě

Projekt Technologické trendy v silniční dopravě byl navržen a schválen v OP PIK – spolupráce - technologické platformy II a navazuje na dva dříve úspěšně řešené projekty podpořené v rámci OP PI – spolupráce – technologické platformy. Tyto projekty byly řešeny v období 2010-2014. V tomto období byly vypracovány strategické dokumenty v oboru silniční dopravy včetně aktualizace. Velkou podporou při všech činnostech platformy je velmi úzká spolupráce s evropskou technologickou platformou ERTRAC.

Ve své činnosti se platforma při řešení projektu zaměřuje na :

- vypracování technologického foresightu oboru silniční doprava s názvem Technologické trendy v silniční dopravě,
- aktualizaci strategických dokumentů (strategická výzkumná agenda a implementační akční plán),
- zapojení členů platformy do činnosti evropské technologické platformy ERTRAC,
- zapojení členů do evropských a národních výzkumných programů.

Při zpracování technologického foresightu byly zpracovány odborné studie v osmi pracovních skupinách. 18 měsíců od zahájení projektu bude zpracován první návrh dokumentu Technologické trendy v silniční dopravě, v závěrečné etapě projektu bude zpracována aktualizovaná verze dokumentu Technologické trendy v silniční dopravě. Spolupráce s evropskou technologickou platformou ERTRAC navazuje na dosavadní úspěšnou spolupráci, která byla zahájena již v roce 2009. Spolupráce je realizována účastí zástupců platformy na plenárních zasedáních a setkáních zástupců národních technologických platforem a aktivní účastí v pracovních skupinách ERTRAC.

## 2.2 Etapy projektu a jejich náplň

Projekt je navržen v trvání 36 měsíců s datem zahájení řešení dne 30.6.2017 a ukončení dne 30.6.2020. Projekt je rozdělen do 6 etap.

### 1. etapa: 30.6.2017 – 31.3.2018

V této etapě byl projekt zahájen a došlo k aktivaci všech navržených osmi pracovních skupin. Byly zahájeny a ukončeny práce ve všech pracovních skupinách na vypracování technologického foresightu oboru silniční doprava. Všechny pracovní skupiny vypracovaly v oblasti svého odborného zaměření hloubkovou analýzu současného stavu, ve které byl uveden popis problémů současného stavu, byly charakterizovány průmyslové a společenské změny a identifikovány bariéry, které v důsledku těchto změn rozvoji oboru silniční doprava mohou bránit.

### 2.etapa: 1.4.2018 – 31.8.2018

V této etapě pokračovalo zpracování foresightové studie oboru silniční doprava. Pracovní skupiny se v oblasti svého odborného zájmu zaměřovali na popis variant možného technologického vývoje a na identifikaci vhodných cest pro uplatnění nových technologií a myšlenek. Podkladem pro práce skupin byly zahraniční foresightové studie, materiály Transport Advisory Group předložené programovému výboru doprava H2020 a všechny dokumenty zpracované evropskou technologickou platformou pro silniční doprava ERTRAC.

Ve dnech 14.-15.6. 2018 se konalo setkání zástupců národních technologických platforem ve Slovinsku. Toto setkání bylo důležité proto, že zde byly upevněny kontakty s již existujícími národními technologickými platformami a byly navázány kontakty nové s platformami nově vzniklými.

### 3. etapa: 1.9.2018 – 31.12.2018

Práce v této etapě budou soustředěny na ukončení foresightové studie oboru silniční doprava, protože vypracování této studie musí být ukončeno do 18 měsíců od zahájení řešení projektu. Studie zpracované v jednotlivých pracovních skupinách v předchozích dvou etapách budou zkompletovány a doplněny tak, aby byl vytvořen souhrnný materiál podávající celistvý přehled o strategiích rozvoje a inovačních příležitostech i bariérách souvisejících s průmyslovými a společenskými výzvami v silniční dopravě. Studie bude obsahovat varianty možného technologického vývoje a bude identifikovat vhodné způsoby pro komerční uplatnění nových technologií na trhu.

Po zpracování dokumentu Technologické trendy v silniční dopravě bude uspořádán sdružením seminář za účasti všech zpracovatelů, kteří naší odborné veřejnosti představí výsledky své práce za první tři etapy řešení projektu. Získané poznatky z tohoto semináře budou využity při aktualizaci dokumentu Technologické trendy v silniční dopravě v poslední 6. etapě řešení projektu.

### 4. etapa : 1.1.2019 – 30.6.2019

Hlavním úkolem této 4. etapy projektu bude aktualizace strategické výzkumné agendy oboru silniční doprava. Zpracování strategické výzkumné agendy bude probíhat v osmi pracovních skupinách a při aktualizaci se bude vycházet technologického foresightu zpracovaného v předchozích třech etapách.

Dojde k prohloubení spolupráce s evropskou technologickou platformou ERTRAC a to zapojením našich členů do nově vzniklých pracovních skupin ERTRAC. Dojde k výměně zkušeností a strategických dokumentů partnerských technologických



platformem v zemích EU. Zároveň je plánováno setkání zástupců národních technologických platform, které by se uskutečnilo v České republice. Tato akce byla již druhou velkou akcí ERTRAC v České republice, první bylo plenární zasedání ERTRAC v roce 2009 uspořádané v rámci předsednictví České republiky v EU. Tato akce byla velmi kladně všemi účastníky hodnocena a stala se vzorem po pořádání všech dalších setkání, které jsou každoročně pravidelně pořádány.

#### 5. etapa : 1.7.2019 – 31.12.2019

Hlavním úkolem 5. etapy projektu bude aktualizace implementačního akčního plánu oboru silniční dopravy. Obdobně jako v předchozích etapách zpracovávání implementačního akčního plánu bude zajišťovat 8 pracovních skupin vedených organizací, která je členem našeho sdružení. Implementační akční plán bude obsahovat podrobnější rozpracování zaměření hlavních výzkumných témat definovaných ve výzkumné strategické agendě. Součástí implementačního akčního plánu bude též návrh na změnu prostředí a podmínek pro podporu výzkumu, vývoje a inovací na národní úrovni v oboru silniční dopravy.

#### 6. etapa : 1.1.2020 - 30.6. 2020

V poslední etapě projektu bude probíhat příprava a realizace aktualizace technologického foresightu oboru silniční dopravy. Vybrané části aktualizované strategické výzkumné agendy a implementačního akčního plánu budou součástí aktualizovaného dokumentu s názvem Technologické trendy v silniční dopravě. Při aktualizaci budou využity všechny dostupné dokumenty zpracované na evropské úrovni, zejména všechny studie, které se budou zaměřovat na obsah společenské výzvy doprava v 9. rámcovém programu výzkumu a inovací EU, který bude hlavním výzkumným evropským programem v období 2021 – 2028.

## **Závěr**

Sdružení zahrnuje důležité hráče veřejného sektoru (Ředitelství silnic a dálnic ČR), soukromého sektoru (HBH Projekt, KYBERTEC, IDIADA, VARS Brno, OLTIS GROUP, Česká asociace petrolejářského průmyslu a obchodu, Asociace elektromobilového průmyslu), výzkumného sektoru (Centrum dopravního výzkumu) a vzdělávacího sektoru (České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní, Vysoké učení technické v Brně, Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích), což je zárukou úspěšného řešení projektu Technologické trendy v silniční dopravě.

Složení pracovních skupin vytváří výborné předpoklady pro úzkou spolupráci jejich členů a následně i jejich mateřských organizací. Tato spolupráce se výborně uplatnila v předcházejících dvou projektech při plnění všech hlavních výstupů, kterými bylo zpracování strategických dokumentů včetně jejich aktualizace a podání vysokého počtu návrhů projektů do programů evropského a národního dopravního výzkumu. Tato spolupráce pokračuje nejen při naplňování současného projektu, ale i po jeho ukončení. Je tedy možné oprávněně předpokládat, že cíle výzvy OP PIK – spolupráce - technologické platformy budou činnostmi TPSD dosaženy.

### **Poděkování**

*Tento příspěvek vznikl jako součást řešení projektu „Technologické trendy v silniční dopravě“, č. CZ.011.02/0.0/0.0/16\_057/0010669, financovaného Operačním programem Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost.*

### **Jiří Jedlička, Václav Fencel**

*Technologická platforma silniční dopravy*

*Líšeňská 33a, 636 00 Brno*

*kancelář: Olomoucká 174, 627 00 Brn*

*e-mail: jiri.jedlicka@cdv.cz*

### **Abstrakt (v anglickém jazyce)**

To meet the goals of Lisbon Declaration, it is necessary to develop the European research area; and one of its elements are European technological platforms. Nowadays, there are 38 European technological platforms, five of which were established focusing on transport. ERTRAC (European Road Transport Research Advisory Council) is one of these. This European technological platform was followed by national technological platforms, which are in operation in Poland, Hungary, Slovenia, Austria, and others are to be established in other countries. At the moment, four national technological platforms in the field of transport are in operation in the Czech Republic: TP Rail Infrastructure Interoperability, TP Aviation and Astronautics, TP Vehicles for Sustainable Transport and our platform. The article focuses on current activities and new trends in road transport.

**VIII. česko-slovenská konference „Doprava, zdraví a životní prostředí“**

Organizátor: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., Líšeňská 33a, 636 00 Brno

Editoři: Vilma Jandová, Roman Ličbinský

Počet stran: 142

Náklad: 60 ks

© Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2018

ISBN 978-80-88074-62-5

