

VI. česko-slovenská konference

# Doprava, zdraví a životní prostředí

sborník příspěvků

editoři:

Vilma Jandová, Irena Mikulová, Roman Ličbinský

10. - 11. 11. 2014

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  
Český hydrometeorologický ústav  
Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě**

pod záštitou

**Ministerstva dopravy  
Ministerstva zdravotnictví  
Ministerstva životního prostředí**

VI. česko-slovenská konference

# **Doprava, zdraví a životní prostředí**

10. - 11. 11. 2014

Brno



## **Vědecký výbor:**

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)

RNDr. Jiří Bendl, CSc. (Ministerstvo životního prostředí ČR)

Ing. Dana Potužníková (Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě)

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

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

Doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc. (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., Mgr. Roman Ličbinský,  
Mgr. Jana Mazálková, Mgr. Irena Mikulová

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

## **Citace:**

JANDOVÁ, V., MIKULOVÁ, I., LIČBINSKÝ, R., VI. česko-slovenská konference „Doprava, zdraví a životní prostředí“. Brno, 10. - 11. 11., 2014. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2014, 202 s. ISBN 978-80-86502-85-4

---

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

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

Editoři: Vilma Jandová, Irena Mikulová, Roman Ličbinský

Počet stran: 202

Náklad: 100 ks

© Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2014

ISBN 978-80-86502-85-4

## Obsah sborníku:

### DOPRAVA A OVZDUŠÍ

<b>TÖGEL, M.</b> Problematika hodnocení dopadů nízkoemisních zón v českém a evropském kontextu .....	5
<b>JANDAČKA, D.</b> Znečištění ovzdušia plynnými látkami a tuhými částicami mimo zastavaného územia .....	15
<b>MERTEL, A.</b> GIS aplikace pro emisní modelování: analýza a vizualizace .....	25
<b>POSPÍŠIL, J.</b> Rozptyl znečišťujících látek z liniových zdrojů v malých sídlech .....	31
<b>HUZLÍK, J.</b> Metodika kvantifikace emisí statistickými metodami .....	39
<b>TICHÝ, J.</b> Emisní bilance z dopravy v ČR .....	47

### DOPRAVA A JEJÍ OKOLÍ

<b>MARTOLOS, J.</b> Optimalizace opatření k omezení střetu živočichů a dopravy na pozemních komunikacích .....	55
<b>ROZKOŠNÝ, M.</b> Vývoj a změny charakteristik vsakovacích a retenčních objektů pro čištění smyvvů z dopravní infrastruktury a zpevněných ploch .....	63
<b>BUCKOVÁ, M.</b> Detekce toxických látek pomocí biosenzoru .....	73
<b>HAVLÍČEK, M.</b> Antropogenní bariéry pro volně žijící živočichy v Chřibech .....	81
<b>ANDĚL, P.</b> Vliv chemické zimní údržby silnic na terestrické ekosystémy .....	89

### HLUKOVÁ ZÁTĚŽ DOPRAVOU

<b>HELLMUTH, T.</b> Obtěžování hlukem: zdravotní problém nebo akustický komfort? .....	91
<b>KŘIVÁNEK, V.</b> Srovnání hlučnosti povrchů vozovek (metoda CPX) .....	95
<b>POTUŽNÍKOVÁ, D.</b> Možnosti využití výsledků strategického hlukového mapování v praxi .....	101

## **ČISTÁ DOPRAVA**

<b>HÁSL, T.</b> Srovnání organických PCM z hlediska jejich ceny a výkonu .....	<b>109</b>
<b>ŠIMEK, J.</b> Perspektiva a využití CNG v dopravě .....	<b>119</b>
<b>PEJŠOVÁ, M.</b> MHD, která neškodí .....	<b>125</b>
<b>TROJAN, X.</b> Využití marketingových nástrojů k propagaci MHD .....	<b>133</b>

## **UDRŽITELNÁ DOPRAVA**

<b>DOSTÁL, I.</b> Doprava v Programu zlepšování kvality ovzduší .....	<b>139</b>
<b>MARTÍNEK, J.</b> Všechno co jste chtěli vědět o udržitelné dopravě a báli jste se zeptat - Krátká rekapitulace toho, co jsme dva dny slyšeli a jak naložit s danými informacemi .....	<b>147</b>
<b>HAMŘÍK, Z.</b> Na jeden aspekt problému s dopravou jsme zapomněli. Přestáváme se pohybovat, zapomínáme chodit a jezdit na kole .....	<b>157</b>
<b>ŠMÍD, M.</b> Nepopsaný list papíru - příležitost .....	<b>159</b>
<b>JORDOVÁ, R.</b> Inovativní nástroje udržitelné mobility v evropských městských oblastech: zkušenosti s evaluací a role politických bariér .....	<b>167</b>

## **POSTERY**

<b>HELLEBRANDOVÁ, L. MITUROVÁ, H., HANÁK, M.</b> Výsledky dvoubodového monitoringu ovzduší v Ostravě Radvanicích v roce 2013 .....	<b>175</b>
<b>HYKŠ, O., NEUBERGOVÁ, K.</b> Vzrostlá zeleň podél dopravních cest .....	<b>177</b>
<b>KALIČÁKOVÁ, Z., DANIHELKA, P., KUKUTSCHOVÁ, J., DRASTICHOVÁ, V., MIČKA, V., BERNATÍKOVÁ, Š.</b> Uvolňování ultrajemných částic při brzdných procesech za kontrolovaných laboratorních podmínek .....	<b>185</b>
<b>NEUBERGOVÁ, K., ŠTURMOVÁ, I., MICHEK, J., FALTUS, V.</b> Problémová místa vybraných protihlukových clon .....	<b>193</b>
<b>JANČÍK, P., BITTA, J., PAVLÍKOVÁ, I., ĎURČANSKÁ, D., JANDAČKA, D., DRILIČIAK, M.</b> AIR PROGRES - Společná studie pro zachování životního prostředí zaměřená na zkoumání příčin zhoršené kvality ovzduší v československém příhraničí Moravskoslezského a Žilinského kraje .....	<b>201</b>

# Problematika hodnocení dopadů nízkoemisních zón v českém a evropském kontextu

Marek Tögel, Libor Špička

Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.

Líšeňská 33a, 636 00 Brno

e-mail:marek.togel@cdv.cz, libor.spicka@cdv.cz

## Abstrakt

V posledních deseti letech vzniká v evropských městech velké množství tzv. nízkoemisních zón, pomocí kterých se lokální vlády snaží snížit jeden z hlavních negativních dopadů silniční dopravy – emise znečišťujících látek ze spalovacích motorů. Ex ante hodnocení dopadů nízkoemisních zón je standardní součástí studií proveditelnosti. Problémy spojené s hodnocením dopadů nízkoemisních zón jsou dvojího typu. Zaprvé je hodnocení dopadů NEZ stále předmětem odborné diskuze, a proto v současné době nelze formulovat jednoznačné závěry, které by určily, zda jsou NEZ pozitivní ve všech dopadech či nikoliv. Zadruhé efektivita opatření závisí na lokální specifické situaci daného města a z těchto důvodů je srovnávání dopadů NEZ mezi dvěma a více městy téměř vyloučeno. Cílem tohoto příspěvku je odhalit možnosti hodnocení dopadů (ex ante) nízkoemisních zón a ukázat na problémy, které souvisí s tímto hodnocením. Pozornost je věnována především dopadům na kvalitu ovzduší. Následně jsou diskutovány i aspekty, které zamezují srovnávací analýze NEZ mezi dvěma a více městy. Nakonec jsou v závěru diskutovány zkušenosti, které si lze odnést z této situace, a formulována doporučení, jak se do budoucna postavit k využívání NEZ jako opatření.

## 1. Úvod

Cílem tohoto příspěvku je čtenářům přiblížit podstatné aspekty problematiky nízkoemisních zón (NEZ). Naše motivace směřuje k osvětlení dvou zásadních problematických aspektů. Zaprvé, v současném českém prostředí, kde se obce a města pomalu začínají zajímat o zavádění NEZ, existuje málo propracovaných metodických postupů, které by poskytovaly doporučení pro úspěšné řízení projektu NEZ. Jedním z existujících podkladů je metodický pokyn MŽP, který poskytuje informace o obsahu studie proveditelnosti a procesním postupu zavádění NEZ [1]. Problematika NEZ je však tématem velmi živým a stále v procesu vývoje. Až teprve v průběhu posledních 3 let se začínají objevovat první studie, které hodnotí efektivitu NEZ [2, 3] či první metodika doporučující postup a praxi při zřizování NEZ [4]. Naši snahou v tomto příspěvku není revidovat obsah existující metodiky, ale spíše přiblížit běžnou praxi, jež vychází ze zkušeností se zpracováním dalších studií proveditelnosti a analýz v dané oblasti [5, 6, 7, 8] odborné komunitě řešící problematiku ochrany ovzduší. Zadruhé, stále nevyřešenou otázkou je efektivita NEZ, tedy zda opatření funguje a má smysl jej zavádět či nikoliv. Tento příspěvek danou otázku nezodpoví, ale ozřejmí podmínky, které je nutné splnit, aby vyhodnocení efektivit NEZ mohlo být v budoucnu uskutečněno.

Oba popsané problematické aspekty spolu souvisejí, jelikož pouze propracovaný metodický postup může být nástrojem, který umožní zpracování takové studie, která objektivně zodpoví otázku efektivit či neefektivit NEZ. Část projektového řízení NEZ, která se zabývá hodnocením dopadů opatření lze obecně rozdělit na **predikci** dopadů (*ex ante*) a **monitoring** dopadů po zavedení NEZ (*ex post*).

V tomto příspěvku se zaměřujeme na osvětlení běžné praxe, která předchází zavedení NEZ, tedy predikce dopadů, které vedou k hodnocení *ex ante*.

Kromě výše dvou uvedených cílů příspěvku lze zmínit ještě jednu dílčí motivaci. Problematika NEZ je velmi často spjata s porovnáváním NEZ v různých městech a různých státech. Naší snahou je poukázat na situace, kdy srovnávání NEZ v různých městech je nevhodné, a naopak kdy poznatky o NEZ v jiných městech jsou pro řízení projektu NEZ užitečné.

Příspěvek je rozdělen na 3 části. V první části popisujeme širší dané problematiky. Snahou je ukázat, jaké všechny dopady mohou souviset s NEZ, a které z nich jsou zatím spíše opomíjeny. V druhé části představujeme současnou praxi modelování dopadů na kvalitu ovzduší. Používání dopravních, emisních a rozptylových modelů je jedinou metodou *ex ante* hodnocení dopadů NEZ. V této části je diskutována celá řada problematických aspektů modelování, jejichž řešení je diskutováno v části třetí. Závěrem jsou formulována doporučení, jak by se měli ke zpracování studie proveditelnosti přistoupit zadavatelé projektu i jeho zpracovatelé.

## 2. Kontext modelování dopadů NEZ

Pokud budeme chápat zavedení nízkoemisní zóny jako projekt, lze na celý postup uplatnit zásady projektového řízení. Postup plánování NEZ lze rozdělit na část „plánování projektu“ a na část „dopady projektu“. Obsahem první části by měla být analýza zainteresovaných subjektů (*stakeholder analysis*), vymezení samotného schématu NEZ (pravidel fungování NEZ) a analýza rizik. Obsahem druhé části by měla být identifikace dopadů v různých oblastech sociálně-ekonomické sféry a životního prostředí a následné hodnocení dopadů pomocí nástrojů modelování a metod analýz nákladů a přínosů (*cost-benefit analysis*).

Všech pět daných aktivit je v tomto pořadí zcela nepostradatelných, jelikož pozdější aktivity navazují na předchozí. Analýza zainteresovaných subjektů je klíčová pro pozdější identifikaci dopadů. Vymezení schématu NEZ spočívá ve stanovení **základních charakteristik NEZ<sup>1</sup>**, kterými jsou: datum zavedení NEZ nebo jejich fází, územní vymezení NEZ, velikostní kategorie postihnutých vozidel, emisní kategorie postihnutých vozidel, časový režim platnosti NEZ, vztah k jiným existujícím nebo plánovaným opatřením, výjimky pro osoby nebo vozidla a systém kontroly opatření. Tyto základní charakteristiky NEZ zároveň představují vstupní parametry navazujících modelů při hodnocení dopadů opatření. Z výše uvedených aktivit pouze analýza rizik slouží jako zpětná vazba managementu projektu a není využívána v následném hodnocení dopadů. Nastíněné části projektového řízení NEZ jsou velmi obecné a jsou zde uvedeny pouze pro dokreslení kontextu hodnocení dopadů NEZ, které je podrobně diskutováno v následujícím textu.

Prvním krokem při hodnocení dopadů NEZ je samotná identifikace všech možných dopadů. S touto identifikací napomáhá již zmíněná analýza zainteresovaných subjektů. Nicméně skutečná identifikace dopadů spočívá v odborné analýze problému (viz kap. 3). Lze konstatovat, že struktura dopadů NEZ je ve státech EU již relativně ustálena. Základní kostra dopadů NEZ (obr. 1) je dále formulována například v hodnocení ekonomických dopadů k NEZ v Londýně [9] nebo v průvodci

---

<sup>1</sup> Stanovení základních charakteristik NEZ upravuje vždy legislativa místní nebo národní legislativa. V ČR například není možné volit velikostní kategorie vozidel, které budou NEZ omezeny, nebo vymežit časový režim platnosti. V textu tohoto příspěvku jsou popisovány všeobecné základní charakteristiky tzv. urban access restrictions, mezi které patří i NEZ.



pro NEZ, jež byl vydán evropskou komisí [4]. Na základě těchto studií a z dalších zkušeností s problematikou, jsme navrhli grafické schéma, které identifikuje škálu dopadů z obecného hlediska. Na obr. 1 je prezentováno navržené schéma dopadů NEZ, které vychází z možných reakcí uživatelů na zřízení NEZ.

Obr. 1: Možné reakce uživatelů silniční dopravy na zavedení NEZ (behaviorální model) a související dopady



Některé z těchto dopadů jsou významnější a některé méně. Významnost dopadů se běžně stanovuje prostřednictvím citlivostní analýzy, která analyzuje charakteristiky návrhu NEZ a územní specifika daného města. Citlivostní analýza by měla ozřejmit, které z identifikovaných dopadů jsou relevantní pro další podrobnou analýzu, a které dopady jsou marginální. Citlivostní analýza není v oblasti posuzování dopadů NEZ standardizovaná a do značné míry čerpá z rešerší o dané problematice z jiných výzkumných projektů, zvláště pak z monitorovacích studií. Na druhou stranu, vzhledem k možné unikátní kombinaci charakteristik navržené NEZ a lokálních specifík území, může být citlivostní analýza pro každé město téměř unikátní.

Prezentovaný behaviorální model na obr. 1 je platný pro všechny cílové skupiny uživatelů silniční dopravy, kteří jsou postihnuti zřízením NEZ. Zpravidla jsou jimi: rezidenti bydlící uvnitř NEZ, samozásobitelští obchodníci a živnostníci poskytující služby, dopravci, dojíždějící obyvatelé širšího zázemí města, návštěvníci města a projíždějící. Nastavením základních charakteristik NEZ jsou vymezeny skupiny uživatelů, kteří budou opatřením NEZ postiženi. Změny chování daných uživatelů jsou modelovány **behaviorálním modelem reakce na NEZ**, který poskytuje uživateli 4 alternativy chování. Volba první alternativy (obměna či modernizace vozidla) je primárním cílem zřizovatele NEZ. Ostatní alternativy jsou vedlejší, což však nesnižuje jejich potenciální význam. Důsledkem volby jedné z alternativ je skupina přímých a zprostředkovaných dopadů, které je pro zjednodušení vhodné sumarizovat do dvou tematických oblastí: dopravně-environmentálně-zdravotní dopady a sociálně-ekonomické dopady. Vzhledem k povaze NEZ, představuje větve dopravně-environmentálně-zdravotních dopadů oblast dopadů přinášejících benefity. Naopak u větve sociálně-ekonomických dopadů lze očekávat zastoupení dopadů představujících hlavně náklady. Nicméně není tomu vždy pravidlem a celkovou bilanci dopadů umožňuje stanovit až závěrečná *cost-benefit* analýza.

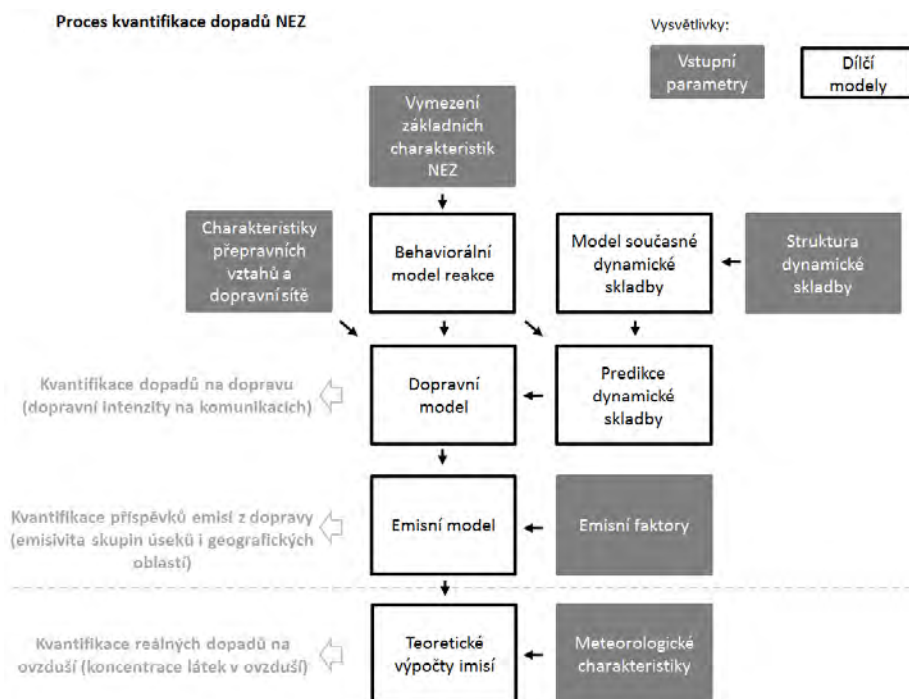
Po identifikaci dopadů a odhadu jejich významnosti citlivostní analýzou, je nutné dané dopady kvantifikovat. V *ex ante* analýze jsou jedinou možností metody modelování a simulací. V *ex post* analýze se naopak uplatňují ve větší míře i výsledky empirických měření. Cíle obou metod jsou však identické tj. kvantifikace dopadů NEZ, která umožňuje další posuzování v následných *cost-benefit* analýzách. Podrobněji se metodám *cost-benefit* analýz věnuje jiná literatura [10, 11]. V tomto

příspěvku je dále rozpracovávána především problematika kvantifikace dopadů dopravně-environmentální větve. Otázka hodnocení dopadů na zdraví obyvatel není součástí tohoto příspěvku, nicméně logicky navazuje na danou větev. Současná praxe v této oblasti je zakotvena například ve studiích US EPA [12, 13]. V oblasti socio-ekonomických dopadů lze identifikovat různé dopady na specifické trhy související především s automobilovou dopravou. Opatření NEZ může mít dopady zvláště na prodejce nových a ojetých vozidel, společnosti nabízející modernizace motorů vozidel, dopravce, ale i maloobchodní prodejce uvnitř navrhované NEZ a jejich zákazníky. Situace v konkrétním městě může být značně specifická, z tohoto důvodu lze odkázat na příklady ze zahraničí [podrobněji např. 9].

### 3. Dopravně-environmentální dopady NEZ

Mezi dopravně-environmentální dopady NEZ jsou řazeny změny v dopravních výkonech, změny v dynamické skladbě vozového parku, změny v emisivitě silniční dopravy a změny v příspěvcích silniční dopravy k celkovým imisním zátěžím ovzduší. Všechny tyto změny jsou při ex ante hodnocení modelovány prostřednictvím teoreticky odvozených modelů. Jedná se celkem o 4 základní modely: dopravní model, který se dále člení na model dopravních intenzit a model dynamické skladby, emisní model a teoretický výpočet imisí. Schéma návaznosti jednotlivých modelů mezi sebou je prezentováno na obr. 2.

Obr. 2: Proces kvantifikace dopadů NEZ pomocí řetězce navazujících matematických modelů



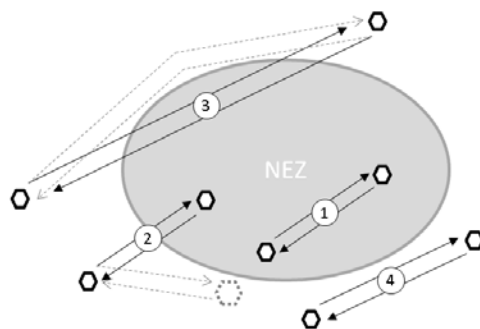
Jádro tohoto příspěvku spočívá v diskuzi metod, které jsou v současné době využívány pro konstrukci těchto modelů. Použité metody mohou totiž významným způsobem ovlivnit výsledky modelu, které jsou následně využívány při hodnocení dopadů NEZ. Pokud jsou výsledky zkreslené či nepřesné v důsledku zjednodušujících modelů, budou i konečná rozhodnutí založena na nepřesných předpokladech. Na druhou stranu, v oblasti dopravy a životního prostředí nikdy nelze

vytvořit zcela přesný model, a proto je v běžné praxi nutné vždy volit kompromis a identifikovat nebo i odhadnout možné nejistoty modelu.

Při hodnocení dopravně-environmentálních dopadů NEZ se zpracovávají vždy minimálně 2 scénáře vývoje: „*baseline scenario*“ neboli nulový scénář, ve kterém je uvažován původní stav bez zavedení NEZ a scénář s NEZ, kdy je uvažován vývoj po zavedení zóny v určitém návrhu NEZ. Všechny výše popisované modely se zpracovávají vždy pro všechny uvažované scénáře.

Prvními modely (kromě již popisovaného behaviorálního modelu) z celého řetězce používaných modelů jsou **modely současné a předpokládané dynamické skladby vozového parku**. Současná dynamická skladba vozového parku je obvykle měřena na vybraných úsecích komunikací a výsledky jsou agregovány na celou řešenou komunikační síť. Kromě empirického měření lze opět využít i metod modelování, kdy se využívá analýzy statické skladby vozového parku, která je známa z Centrálního registru vozidel ČR a dalších empirických studií uskutečněných v ČR [14]. Nicméně při využití metody modelování je odhad současné dynamické skladby vždy méně přesný. Předpokládaná dynamická skladba vozového parku po zavedení NEZ závisí na změně chování cílových skupin opatření a současné struktury dynamické skladby vozového parku v daném městě. Změna chování cílových skupin je modelována již zmíněným **behaviorálním modelem reakce na NEZ** vždy pro příslušný scénář. V současné době model dopravního chování tvoří již zmíněné čtyři základní diskrétní volby (viz obr. 1). Tvorba behaviorálních modelů reakce ve specifickém případě NEZ je relativně málo frekventované téma ve vědeckém výzkumu a nejsou nám známy žádné další studie, které by se tímto tématem podrobně zabývaly.

Obr. 3: Schéma přepravních vztahů a možné změny u různých uživatelů silniční dopravy před a po zavedení NEZ



Výstupy předchozích modelů slouží jako podklady pro **dopravní model**. Obvykle se využívá tzv. čtyř fázový multimodální model, kdy je vytvořeno několik matic přepravních vztahů různého typu (dojíždka do zaměstnání, dojíždka za službami apod.). Tyto matice (obr. 4) jsou upraveny podle modelu behaviorální reakce na NEZ a současné či předpokládané dynamické skladby (závisí na typu scénáře). Úprava matic spočívá hlavně v oslabení přepravních vztahů směřujících do NEZ o ty, kteří začnou cestovat MHD, a v navýšení přepravních vztahů v oblastech mimo NEZ o ty, kteří zvolí relokaci cílů (situace 2). K úpravám matic dochází také v situaci 1, kdy část obyvatel volí jiný mód dopravy a přepravní vztahy se oslabují. Zbývá část dopravních vztahů zůstane zachována, jelikož je předpokládána obměna vozového parku u daných vztahů. Matice nejsou upravovány v případě objíždění NEZ (situace 3), kdy se jedná o tranzitní přepravní vztahy a dochází ke změně trasy.

Stejně tak nejsou upravovány matice v situaci 4, kdy se přepravní proudy zcela vyhýbají území NEZ.

Z dosavadní diskuze vyplývá, že změny v přepravních vztazích po zavedení NEZ jsou ve skutečnosti „nezamýšleným“ důsledkem zřízení NEZ, jelikož primárním účelem tohoto opatření, je přimět všechny uživatele silniční dopravy, aby obměnili či zmodernizovali své vozidlo. Toto je podstatný fakt hned ze dvou důvodů. Prvním je, že hodnocení dopadů NEZ by mělo být rozšířeno z tohoto důvodu i na hodnocení hluku z dopravy a komplexní hodnocení emisí z resuspencí a otěrů, jakožto důsledků zvýšených intenzit na komunikacích mimo NEZ. Zadruhé zavedení NEZ nemusí vždy nutně znamenat pouze snížení nepříznivých dopadů dopravy v environmentální oblasti. Z teoretického hlediska může totiž v konečném důsledku docházet pouze k relokaci nepříznivých dopadů, což může zapříčinit zhoršení situace v jiné části města. Významnost nezamýšlených efektů závisí na charakteristikách navrhované NEZ. Jejich dobrý odhad pak závisí již na kvalitě výpočtu hlukových dopadů [15] a výpočtů emisí ze silniční dopravy [16].

Výstupem dopravního modelu jsou intenzity silniční dopravy na úsecích řešené komunikační sítě. Tyto hodnoty jsou prvním vstupem pro **emisní model**. Druhým vstupem jsou emisní faktory. Z obecného hlediska by emisní model silniční dopravy měl být tvořen několika dílčími výpočty různých emisních procesů. Pro potřeby hodnocení primárních dopadů NEZ, tedy obměny vozového parku, jsou ovšem klíčové pouze emise ze spalování paliva v motorech. Tento emisní proces lze v praxi modelovat pomocí metodiky stanovující emise látek znečišťujících ovzduší z dopravy [17], která modeluje emisní tok a emisní produkci ze silniční dopravy na úseky komunikační sítě pro jednotlivé škodliviny. Výpočet pracuje s intenzitou dopravního toku na úsek rozděleného podle kategorií vozidel, kterým lze přiřadit emisní faktor a s průměrnou rychlostí dopravního toku. Doporučenou databázi emisních faktorů pro mobilní zdroje znečištění kužití na lokální úrovni je MEFA 06 schválená Ministerstvem životního prostředí (MŽP), resp. její aktualizace MEFA 13. Databáze emisních faktorů MEFA 06 resp. MEFA 13 vypočítává emisní faktory znečišťujících látek<sup>2</sup> z dopravních proudů podle charakteristik úseku komunikace<sup>3</sup> a charakteru dopravního toku<sup>4</sup> [18]. Mimo to existují i jiné databáze emisních faktorů, jako například HBEFA, jejichž výhodou je fakt, že jsou založené na rozsáhlém souboru empirických měření provedených v rámci celoevropského projektu ARTEMIS, zaměřeného na modelování emisí z dopravy [19].

**Emisní faktory** jsou zcela klíčový parametr v celém popisovaném procesu modelování dopadů NEZ. Účel NEZ totiž cílí na urychlení přirozené obměny vozového parku. Důležitý je však předpoklad, že novější vozidla splňují vyšší emisní standardy a mají tedy nižší emisivitu. Tento předpoklad může být klíčový a může souviset s rozporem mezi výsledky modelování a empirického měření dopadů NEZ, na který upozorňuje Boogard et al. [3]. Emisní faktory jsou proto klíčovým parametrem emisního modelu.

Naznačená přerušovaná čára mezi emisním modelem a teoretickými výpočty emisí naznačuje zásadní předěl při interpretaci výsledků obou modelů. Výsledky emisního modelu, ukazují dopad NEZ na emisivitu, na jejíž míru mají vliv pouze faktory související s dopravním sektorem. Teoreticky jsou tedy výsledky emisního modelu nejreprezentativnější ukázkou skutečného vlivu NEZ. Následující rozptylový model vnáší do celého procesu modelování faktory, které souvisí s meteorologickou situací

<sup>2</sup> Celkem 22 škodlivin, jako např. NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, atd.

<sup>3</sup> Délka a sklon.

<sup>4</sup> Rychlost, plynulost, intenzita vozidel dle typů vozidel.

a reliéfem, a které nelze opatřením NEZ žádným způsobem ovlivnit. Paradoxně tak může dojít k situaci, kdy kvůli převládajícím špatným rozptylovým podmínkám v určitém městě, se koncentrace látek v ovzduší může zhoršit i přesto, že díky NEZ se emisivita sníží. Stejně tak může dojít k situaci, kdy by návrh NEZ neměl žádný vliv na snížení emisí, ale dobré rozptylové podmínky by zapříčinily pokles ve znečištění ovzduší. Právě z těchto důvodů ukazuje emisní model nejméně skutečný efekt NEZ.

Vstupy posledního modelu – **teoretických výpočtů imisí** (rozptylové studie) – tvoří vypočítané emisní toky na úsecích komunikační sítě a meteorologické charakteristiky atmosféry v řešené oblasti. Pro teoretické výpočty imisí MŽP doporučuje rozptylový model SYMOS'97, ATEM nebo AEOLIUS. Modely SYMOS a ATEM jsou určeny spíše pro modelování v regionálním měřítku, jelikož při výpočtu nezohledňují obtékání budov a jiných překážek proudění [20]. Model AEOLIUS určený naopak přesně pro modelování imisí v uličním kaňonu, není v současné době již aktuální. V tomto ohledu lze uvažovat o používání jiných existujících modelů, jako je například OSPM (*Operational Street Pollution Model*). Nevýhodou těchto detailních modelů je vysoká výpočetní náročnost, což při výpočtech celých měst v několika scénářích NEZ prakticky znemožňuje využití v praxi. V současné době, proto v českém prostředí chybí adekvátní nástroj pro modelování rozptylu znečišťujících látek v podrobném rozlišení v městské zástavbě. Běžná praxe se z tohoto důvodu musí zatím spokojit s méně přesnými výsledky modelů SYMOS'97 a ATEM a případnou nejistotu zohlednit při interpretacích rozptylové studie.

Výsledky rozptylové studie jsou konečnou kvantifikací dopadů NEZ na kvalitu ovzduší. Z širšího pohledu jsou koncentrace rozptýlených látek v ovzduší vstupem pro následující hodnocení zdravotních rizik, které slouží ke kvantifikaci dopadů na zdraví obyvatel. Tyto dopady se oceňují v jednotkách srovnatelných v socio-ekonomických hodnoceních, a tím dochází k uzavření celé kvantifikace dopadů NEZ. Následná *cost-benefit* analýza umožňuje porovnat posuzované scénáře NEZ mezi sebou a poskytuje dostatečné podklady pro rozhodnutí, zda zavést či nezavádět NEZ.

#### 4. Závěr a doporučení

Výše diskutovaný postup *ex ante* hodnocení dopadů NEZ jasně ukazuje značnou náročnost celého procesu i komplexnost samotné problematiky. Hodnocení NEZ není jednoduchou záležitostí, a zpracování podkladů pro konečné rozhodnutí vyžaduje dostatek dat, prostředků a času. Z našich zkušeností vyplývá, že často zadavatelé studií proveditelnosti NEZ nemají přesnou představu o náročnosti celého procesu z finančního i časového hlediska. To bohužel může vyvolávat tlak na zpracovatele a vzniká riziko zjednodušení procesu modelování tak, aby bylo naplněno zadání zpracovatele. Jiným rizikem je situace, kdy nejsou zcela standardizovány jednotlivé kroky procesu modelování, což také může vést zpracovatele k zjednodušování tohoto procesu, zvláště pak v případě behaviorálního modelu či dopravního modelu, pro které neexistuje žádný schválený metodický pokyn, ale pouze běžná praxe založená na odborných studiích z výzkumné sféry. Z této situace lze vyvodit následující doporučení pro řízení studie proveditelnosti NEZ v části hodnocení dopadů.

Zprvým zadavatel studie by měl před začátkem hodnocení dopadů NEZ jasně stanovit základní charakteristiky návrhu NEZ a různé scénáře. Pokud je součástí studie návrh takových scénářů, zadavatel si musí být vždy vědom plného znění

daného schématu scénáře NEZ ve všech charakteristikách. Takto stanovené charakteristiky jsou podmínkami modelu, a jakákoliv jejich pozdější změna buď vyžaduje přemodelování celého hodnocení dopadů, nebo neuvažování výsledků studie. Z druhé strany zadavatel by měl být seznámen se vstupními údaji modelů a jejich kvalitou. Mezi základní vstupní údaje v rámci celého procesu patří: behaviorální model reakce na NEZ zkonstruovaný na základě specifických charakteristik návrhů NEZ, struktura současné dynamické skladby vozového parku v řešeném území, emisní faktory a meteorologické charakteristiky. Vzhledem k dosud neprovedeným průzkumům dopravního chování specificky zaměřených na reakci uživatelů silniční dopravy na NEZ, které by napomohly k formulaci behaviorálního modelu, lze pouze doporučit takové šetření provést v rámci studie proveditelnosti. Šetření provedené vždy v rámci studie proveditelnosti je logické i z toho důvodu, že jeho výsledky budou reflektovat již stanovená schémata scénářů dané NEZ a lokální specifika řešeného území. Velmi specifickou částí celého procesu modelování, je dopravní multimodální model, jehož tvorba by neměla být součástí hodnocení dopadů NEZ, ale měl by být předzpracován v rámci jiné studie a během procesu hodnocení by měl být pouze upraven dle stanovených návrhů NEZ pomocí behaviorálního modelu. Předzpracování dopravního modelu je doporučeno zvláště kvůli vysoké náročnosti na zpracování, která mnohonásobně překračuje zpracování hodnocení dopadů i celkové zpracování studie proveditelnosti NEZ. Na základě prezentované posloupnosti jednotlivých modelů, lze zpracování dopravního modelu doporučit například do územního generelu dopravy či plánu trvale udržitelné mobility (*Sustainable Urban Mobility Plan - SUMP*). Vzhledem k nezamýšleným vedlejším dopadům NEZ v oblasti emisí a hluku z dopravy, ale i změnám v samotném prostorovém chování uživatelů dopravního systému ve městě, je totiž zavádění NEZ vhodné uvažovat v kontextu dalších dopravních opatření a koncepcí. Integraci s plány trvale udržitelné mobility ostatně doporučuje v metodickém pokynu i evropská komise [4].

Zmíněné rozdělení dopadů NEZ na sociálně-ekonomické a dopravně-environmentálně-zdravotní naznačuje ještě jeden důležitý závěr. Vzhledem k šíři celé problematiky a existujícím metodikám, zaměřeným na konkrétní tematické okruhy hodnocení dopadů při návrhu politik a projektů (*Impact Assessment*), se jako adekvátní řešení z výzkumného hlediska jeví pořizování studií typu *Economic Impact Assessment* (EclA), *Social Impact Assessment* nebo *Equalities Impact Assessment* (SIA, EqIA), *Transport Impact Assessment* (TIA), *Environmental Impact Assessment* (EIA) a *Health Impact Assessment* (HIA). Příkladem dobré praxe může být soubor studií proveditelnosti zpracovaných pro návrh NEZ v Londýně v roce 2006, kde bylo vypracováno ekonomické hodnocení, environmentální hodnocení, hodnocení dopadů na zdraví a hodnocení dopadů na slabší sociální skupiny [21]. Právě cesta implementace těchto typů studií může být jedním z řešení zpracování studie proveditelnosti NEZ. Na druhé straně je otázkou, zda náročnost tohoto procesu hodnocení dopadů NEZ nepřekračuje financovatelnou mez. Dle principů evropského systému hodnocení dopadů (*EU Impact Assessment System*), by zpracování studie hodnocení dopadů nemělo být nákladnější, než samotné zřízení a případné dopady daného opatření [22]. Tento princip nás staví do poněkud nelogické situace, jelikož by to znamenalo porovnávat predikované náklady opatření s náklady na zpracování této predikce.

Z praktického hlediska lze doporučit především zpracování hodnocení ekonomických dopadů (EclA), dopadů na dopravu (TIA), které lze hodnotit například podle metodiky zpracované pro Ministerstvo dopravy [23] a dopadů na životní

prostředí (EIA). Zpracování těchto hodnocení nemusí být v plném rozsahu, jak vyžaduje platná legislativa, ale mělo by zahrnout podstatné tematické oblasti, které vyplynou ze zpracování identifikace dopadů na začátku řešení projektu. Dle naší zkušenosti do těchto oblastí patří především dopady na zainteresované subjekty (uživatelé silniční dopravy, rezidenti v lokalitě, zřizovatel opatření, atd.) a dopady na ovzduší. Dopady na zdraví obyvatel se v případě opatření NEZ projevují až v dlouhodobém horizontu [24], jelikož se jedná o dopady zprostředkované. Z tohoto důvodu se nejeví užitečné zpracovávat studie dopadů na sociální (SIA) či zdravotní oblast (HIA) v ex ante hodnocení dopadů NEZ, ale je vhodné tyto studie zpracovat až ve studii, která monitoruje a vyhodnocuje reálné dopady NEZ.

## Literatura

- [1] *Metodický pokyn odboru ochrany ovzduší k vyhledávání nízkoemisních zón a o stanovení podmínek vydávání emisních plaket podle zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší v platném znění*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2014, 25 s.
- [2] QADIR, R. M., et al. *Concentrations and source contributions of particulate organic matter before and after implementation of a low emission zone in Munich, Germany*. Environmental Pollution, Volume 175, p. 158-167, 2013.
- [3] BOOGAARD, H., et al. *Impact of low emission zones and local traffic policies on ambient air pollution concentrations*. Science of the Total Environment, Volume 435-436, p. 132-140, 2012.
- [4] CLARK, D., et al. *Standards and Guidance for European Low Emission Zones. Feasibility Study*. Ecorys, 2013, 120 p.
- [5] ŠPIČKA, L., et al. *Studie proveditelnosti nízkoemisních zón v podmínkách hlavního města Prahy*. Brno: Centrum dopravního výzkumu, 2013, 92 s.
- [6] ŠPIČKA, L., et al. *Studie proveditelnosti nízkoemisních zón s vyhodnocením dopadů na kvalitu ovzduší pomocí dopravně-emisního modelu ve městě Olomouci*. Brno: Centrum dopravního výzkumu, 2013, 40 s.
- [7] ŠPIČKA, L., et al. *Případová studie k zavedení nízkoemisních zón ve čtyřech vybraných lázeňských městech*. Brno: Centrum dopravního výzkumu, 2013, 98 s.
- [8] JEDLIČKA, J. et al. *Benchmarking – Situace nízkoemisních zón v Praze a ve srovnatelných městech Evropy*. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., 2014, 57 s.
- [9] *Proposed London low emission zone – economic and business impact assessment. Report*. London: Steer Davies Gleave, 2006, 105 p.
- [10] RENDA, A., et al. *Assessing the costs and benefits of regulation*. Brussels: CEPS, 2013, 221 p.
- [11] HRDÝ, M. *Hodnocení ekonomické efektivity investičních projektů EU*. Praha: ASPI, a.s., 2006, 204 s. ISBN 80-7357-137-4.
- [12] *Risk Assessment Guidance for Superfund Volum I: Human Health Evaluation Manual, Part F, Supplemental Guidance for Inhalation Risk Assessment* [online], United States Environmental Protection Agency, 2009, dostupné na WWW: <http://www.epa.gov/oswer/riskassessment/ragsf/index.htm> [cit. 21. 7. 2014]
- [13] *Supplemental Guidance for Assessing Susceptibility from Early-Life Exposure to Carcinogens* [online], United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/630/R-03/003F, 2005, dostupné na WWW: <http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recordisplay.cfm?deid=160003> [cit. 21. 7. 2014]
- [14] PÍŠA, V. *Zjištění aktuální dynamické skladby vozového parku na silniční síti v ČR a jeho emisních parametrů v roce 2010*. Praha: Atelier ekologických modelů, 2010, 135 s.

- [15] LIBERKO, M., LÁDYŠ, L. Výpočet hluku z automobilové dopravy. Manuál. Praha: ENVICONSULT Praha, EKOLA group, s.r.o., 2011, 78 s.
- [16] BOULTER, P. G. (ed.) *Assessment and reliability of transport emission models and inventory systems*. Final report. Wokingham: TRL Ltd., 2007, 337 p.
- [17] DUFEK, J., HUZLÍK, J., ADAMEC, V.: *Stanovení emisí látek znečišťujících ovzduší z dopravy*. Metodika. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., 2006, 26 s. CE 801/210/109.
- [18] MEFA 13. Uživatelská příručka. Praha: Atelier ekologických modelů, 2013, 51 s.
- [19] HAUSBERGER, S., et al. *Emission Factors from the Model PHEM for the HBEFA Version 3*. Report. Graz: Graz University of Technology, 2009, 76 p.
- [20] *Metodický pokyn odboru ochrany ovzduší pro vypracování rozptylových studií podle § 32 odst. 1 písm. e) zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2013, 11 s.
- [21] *Low Emission Zone*. [online] 2014. <http://www.tfl.gov.uk/corporate/publications-and-reports/low-emission-zone> [cit. 21. 7. 2014]
- [22] *Impact Assessment Guidelines*. European Commission, 2009, 50 p.
- [23] JEDLIČKA, J., et al. *Návrh postupu implementace procesu TIA do strategického plánování a do systému přípravy dopravních staveb*. Brno: Centrum dopravního výzkumu, 2013, 93 s.
- [24] *London Low Emission Zone. Baseline Report*. London: Transport for London, 2008, 221 p.

#### **Poděkování**

*Tato práce vznikla jako součást řešení projektu VaV CG912-083-190 „Environmentální a ekonomické posouzení podpory čistých vozidel“, financovaného Ministerstvem dopravy ČR a projektu Dopravní VaV Centrum (CZ.1.05/2.1.00/03.0064).*

## **Difficulties with the impact evaluation of low emission zones in Czech and European context**

**Marek Tögel, Libor Špička**  
*Transport Research Centre*  
*Líšeňská 33a, 636 00 Brno*

e-mail:marek.togel@cdv.cz, libor.spicka@cdv.cz

#### **Abstract**

For the last decade a great number of low emission zones (LEZ) have been introduced in many European cities. LEZ as a tool is used to reduce car engines emissions by local government. The ex ante impact evaluation of LEZ is a standard part of feasibility and monitoring studies. But there are two main issues related with the impact evaluation. Firstly, the effectivity low emission zones is still a hot topic in the academic field and for this reason there is a great uncertainty about the positive effects of LEZ. Secondly, the effectivity of LEZ depends on the local specific situation of the city and therefore the comparison between two and more LEZs is almost impossible. The aim of this paper is to describe the process of the impact evaluation before the LEZ is introduced (ex ante) and reveal the problematic aspects of the evaluation process. The description of the impact evaluation is focused on impacts related with air quality. Afterwards the problematic aspects which make comparison between two and more LEZs impossible are discussed. Finally, the experiences with the issue are presented and the formulation of the main recommendations how to use the LEZ as a tool is done.



# Znečistenie ovzdušia plynými látkami a tuhými časticami mimo zastavaného územia

Dušan Jandačka, Daniela Ďurčanská

Žilinská univerzita v Žiline, Stavebná fakulta, Katedra cestného staviteľstva

Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina

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

daniela.durcanska@fstav.uniza.sk

## Abstrakt

Znečistenie ovzdušia plynými látkami (oxid dusnatý, oxid dusičitý, oxidy dusíku) a tuhými časticami je súčasťou každodenného života. Tuhé častice (PM) sú jednou z markantných škodlivín zapríčiňujúcich nezanedbateľné zhoršovanie životného prostredia a teda aj kvality života obyvateľstva. Taktiež dlhodobé pôsobenie zvýšených koncentrácií plyných škodlivín môže byť príčinou zhoršenia životného prostredia a zdravia. Obzvlášť pre veľké mestá je problémom tvorba tuhých častíc a plynov z cestnej dopravy. Znečisťovanie ovzdušia prebieha aj mimo mestského prostredia (mimo zastavaného územia) z rôznych zdrojov (cestná doprava) čo primárne pôsobí na vegetáciu a živočíchov v danej oblasti. Sekundárne môže byť ovplyvnené diaľkovým prenosom životné prostredie priamo v mestách. Vzhľadom k dominantnému používaniu spaľovacích motorov sú vo výfukových plynch obsiahnuté veľké množstvá plyných i pevných škodlivín. Tie zahŕňajú najmä veľké množstvo častíc najjemnejších frakcií, ktoré môžu dlhú dobu zotrvať v ovzduší, ľahko vstupovať do respiračného traktu a poškodzovať ľudské zdravie. Druhú časť tvoria tuhé častice pochádzajúce z obrusov rôznych súčastí cestných komunikácií a vozového parku, ktoré zahŕňajú skôr častice väčších aerodynamických priemerov. Cieľom prezentovanej časti práce je sledovanie tvorby tuhých častíc a plyných znečisťujúcich látok pozdĺž cestnej komunikácie v mimo mestskom prostredí a vyhodnotenie ich vzájomného správania s prihliadnutím na sledované meteorologické charakteristiky a intenzitu dopravy.

## 1. Negatívne vplyvy vybraných znečisťujúcich látok na životné prostredie

Tuhé častice (PM) môžu pochádzať z prírodných zdrojov alebo antropogénnych zdrojov. Medzi prírodné zdroje patria morská soľ, prach zemskej kôry, peľ a sopečný popol. K antropogénnym zdrojom patria prevažne spaľovanie paliva v tepelných elektrárnach, lokálne vykurovanie domácností a spaľovanie paliva vo vozidlách. Medzi významné zdroje v mestách patria výfukové emisie vozidiel, resuspenzia cestného prachu a vykurovanie domácností drevom alebo uhlím. Toto sú zdroje s nízkym vstupom emisií do ovzdušia, pod 20 metrov, čo vedie k významnému vplyvu na úroveň koncentrácie v dýchacej zóne človeka.

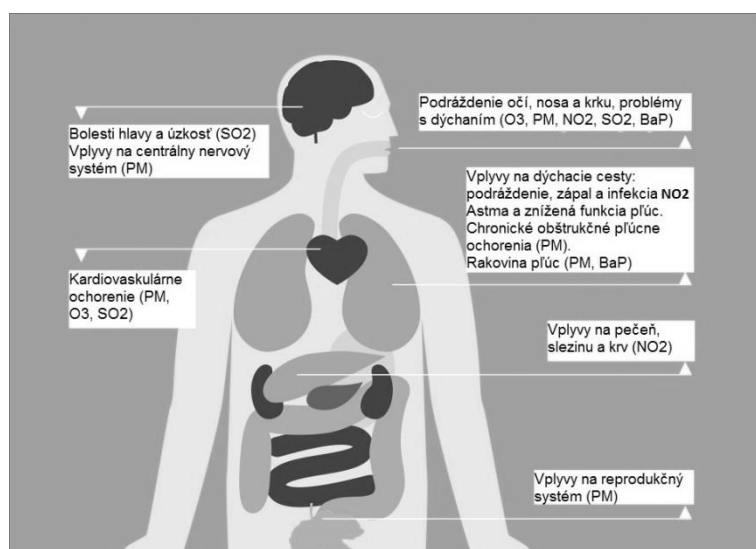
Účinky PM na zdravie človeka sú spôsobené po ich inhalácii a preniknutí do pľúc a krvného obehu, čo vedie k nepriaznivým účinkom v respiračnom, kardiovaskulárnom, imunitnom a neurálnom systéme. Ultrajemné častice (s priemerom <0,1 mikrometra), môžu preniknúť aj do mozgu nosom [1]. Chemické a fyzikálne interakcie medzi PM a pľúcnym tkanivom môžu vyvolať podráždenie alebo poškodenie. Čím menšie častice, tým hlbšie prenikajú do pľúc. Dopad PM na úmrtnosť je jasne spojený s frakciou PM<sub>2,5</sub>, ktorá v Európe predstavuje 40 - 80% hmotnostnej koncentrácie PM<sub>10</sub> v okolitom ovzduší [2, 3]. Avšak, "hrubšia" frakcia 2,5-10 μm frakcie PM<sub>10</sub> má tiež vplyv na zdravie a ovplyvňuje úmrtnosť.

Väčšina mestských a vidieckych obyvateľov má skúsenosti s každodennou expozíciou zvýšených koncentrácií PM, čo môže mať škodlivé účinky na ľudské zdravie. Chronická expozícia PM prispieva k riziku vzniku kardiovaskulárnych ochorení a ochorení dýchacích ciest ako aj rakoviny pľúc. Úmrtnosť súvisiaca so znečistením ovzdušia je o 15 - 20% vyššia v mestách s vysokou úrovňou znečistenia v porovnaní s relatívne čistejšími mestami. Odhaduje sa, že v Európskej únii je priemerná dĺžka života o 8,6 mesiaca kratšia v dôsledku vystavenia PM<sub>2,5</sub>. Okrem účinkov na ľudské zdravie PM môžu mať tiež negatívny vplyv na zmenu klímy a ekosystémov. PM tiež prispievajú k znečisteniu budov a môžu dokonca mať korozívne účinky na budovy a konštrukcie v závislosti na ich zložení [2].

Oxid dusičitý je reaktívny plyn, ktorý prevažne vzniká oxidáciou oxidu dusnatého (NO). Vysoká teplota pri spaľovacích procesoch (napr. tie vyskytujúce sa v automobilových motoroch a elektrárňach) sú hlavné zdroje NO a NO<sub>2</sub>. Tieto dva plyny sú kolektívne známe ako NO<sub>x</sub>. Oxid dusnatý zodpovedá za väčšinu emisií NO<sub>x</sub>. Malá časť emisií NO<sub>x</sub> je priamo emitované ako NO<sub>2</sub>, obvykle 5 - 10% pre väčšinu spaľovacích zdrojov. Vozidlá spaľujúce motorovú naftu sú výnimkou, obvykle produkujú väčší podiel NO<sub>2</sub>, až 70% NO<sub>x</sub> je NO<sub>2</sub>, pretože ich systémami dodatočnej úpravy výfukových plynov sa zvýši priama emisia NO<sub>2</sub> [4]. Existujú jasné náznaky, že priame dopravné emisie NO<sub>2</sub> zložky sa výrazne zvyšujú v dôsledku zvýšeného prenikania naftových vozidiel, najmä novšie vozidlá s naftovým motorom (Euro 4 a 5). To môže viesť k častému nabúraniu limitnej hodnoty NO<sub>2</sub> v dopravných špičkách.

Tak ako ozón, aj NO<sub>2</sub> je znečisťovateľom ovzdušia, ktorý v prvom rade postihuje dýchací systém. Krátkodobá expozícia NO<sub>2</sub> môže mať za následok nepriaznivé účinky na zdravie, ako sú zmeny funkcie pľúc u citlivej skupiny obyvateľstva, zatiaľ čo dlhodobá expozícia môže viesť k závažne nežiaducim účinkom, ako je zvýšená náchylnosť k infekciám dýchacích ciest (Obr. 1.).

Obr. 1: Dopad znečistenia ovzdušia na zdravie človeka [1]



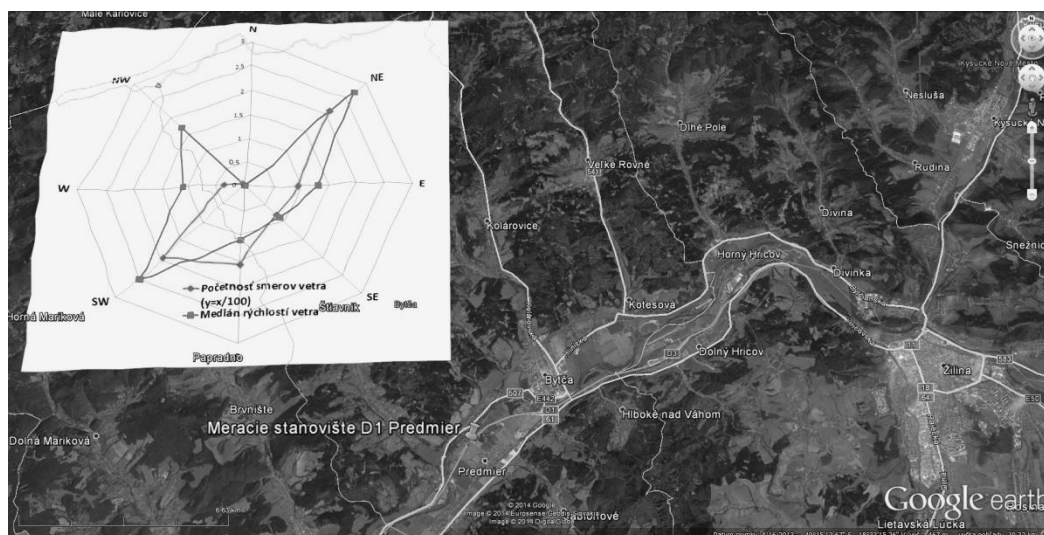
NO<sub>2</sub> je jednou z reaktívnych zlúčenín dusíka, ktoré môžu mať aj nežiaduce účinky na ekosystémy ako napr. okysľujúci účinok, ale sú tiež dôležitými živinami. Prebytok depozície reaktívneho dusíka môže viesť k prebytku živín dusíkatých látok v suchozemských a vodných ekosystémoch, čo spôsobuje eutrofizáciu (nadbytok

živín). Nadbytok dusíka môže viesť k zmenám v unikátnych suchozemských, vodných spoločenstvách zvierat a rastlín, vrátane straty biodiverzity. Oxidy dusíka (NO<sub>x</sub>) hrajú významnú úlohu pri tvorbe O<sub>3</sub>. Prispievajú tiež k tvorbe sekundárnych anorganických aerosólov (SIAs) cez tvorbu dusičnanov, čím prispievajú ku koncentráciám PM<sub>10</sub> a PM<sub>2,5</sub> [2, 3].

## 2. Merania vybraných znečisťujúcich látok

Merania vybraných znečisťujúcich látok (NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>) boli realizované pri diaľnici D1 na úseku medzi Považskou Bystricou a Žilinou pri obci Predmier. Meracie zariadenia boli umiestnené v areáli bývalého Strediska správy a údržby diaľnic (SSÚD). Meracie stanovište na bývalom SSÚD sa nachádza asi 500 m od obce Predmier, ktorá leží na ľavom brehu Váhu v strede Bytčianskej kotliny. Na severozápade ju ohraničujú Javorníky a na juhovýchode Strážovská hornatina. Diaľnica D1 prechádza údolím rieky Váh a je orientovaná v smere juhozápad ↔ severovýchod. Z orientácie údolia vyplývajú smery prevládajúcich vetrov, ktoré sú predovšetkým v smere z juhozápadu alebo severovýchodu (Obr. 2).

Obr. 2: Meracie stanovište a veterná ružica prevládajúcich vetrov z nameraných údajov



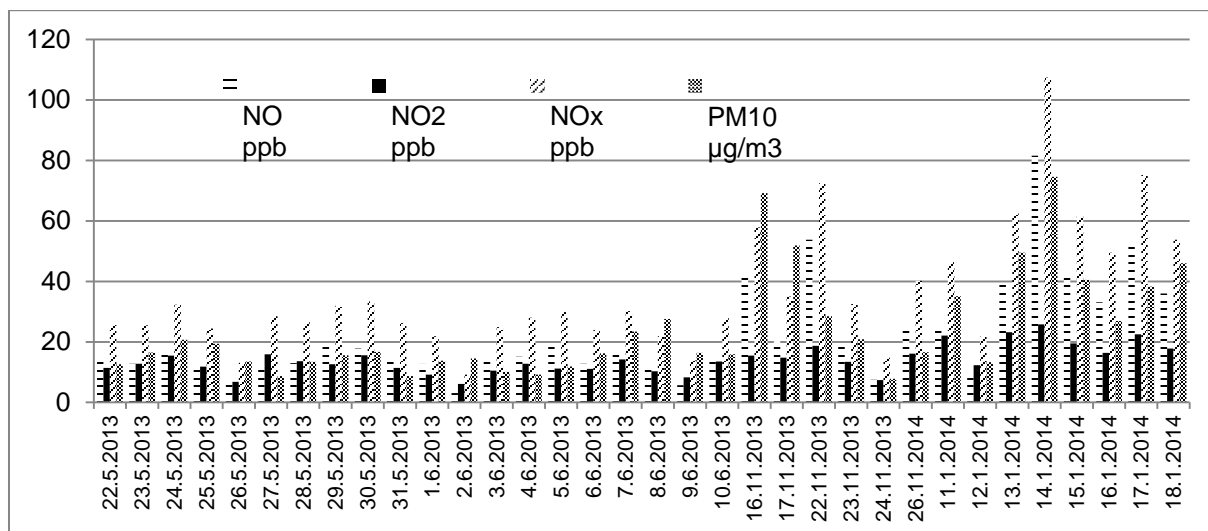
Meracie prístroje boli umiestnené asi 7 m od okraja spevnenej časti cestnej komunikácie. V rámci meraní boli používané viaceré prístroje (Obr. 3.). V tomto príspevku sú hodnotené dáta z mobilnej monitorovacej stanice kvality ovzdušia (MMSKO) Žilinskej univerzity. Merané znečisťujúce látky prostredníctvom MMSKO boli NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM, CO, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>. V nasledujúcom sú vyhodnocované predovšetkým znečisťujúce látky NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, vzhľadom na ich možný pôvod z cestnej dopravy. Hodnoty týchto znečisťujúcich látok boli namerané v obdobiach máj 2013, november 2013 a január 2014 (Obr. 4.).

Obr. 3: Rozmiestnenie meracích prístrojov počas meraní znečistenia ovzdušia

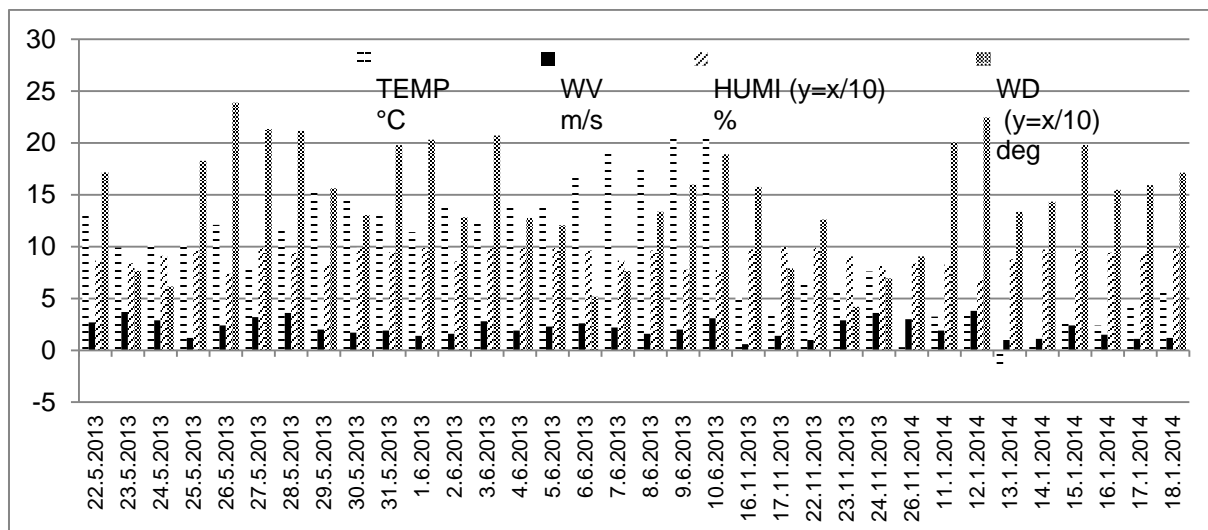


Súbežne s monitorovaním znečistenia ovzdušia boli zaznamenávané aj meteorologické parametre (teplota, vlhkosť, rýchlosť a smer vetra) (Obr. 5.) a intenzita cestnej dopravy na diaľnici D1 (Obr. 6.).

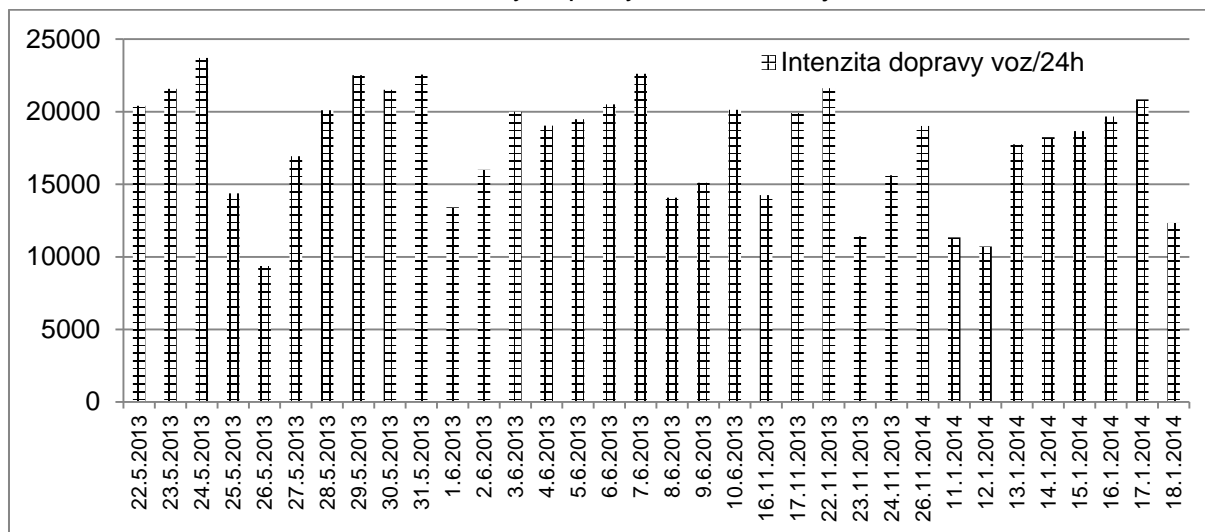
Obr. 4: Priemerné 24-hodinové koncentrácie vybraných znečisťujúcich látok uskutočnených meraní



Obr. 5: Priemerné 24-hodinové hodnoty meteorologických parametrov z uskutočnených meraní



Obr. 6. Priemerné 24-hodinové intenzity dopravy z uskutočnených meraní



Vzhľadom na tvar okolitého terénu (rovinatý terén obklopený pahorkovitým reliéfom tvoriaci údolie rieky Váh v smere juhozápad ↔ severovýchod) sa prejavuje aj prúdenie vetra v danom území (Obr. 2.). Prevládajúce vetry sú v smere orientácie údolia rieky Váh a zároveň je v tomto smere orientovaná aj diaľnica D1. Tejto skutočnosti je podriadené aj prúdenie masy znečistenia, ktorú produkuje cestná doprava na D1, a to v smere orientácie diaľnice. Úroveň znečistenia ovzdušia cestnou dopravou po stranách diaľnice môže byť ovplyvňovaná práve vzhľadom na predpokladané šírenie imisíí v smere diaľnice. Ale i napriek tomu sme sa pokúsili zostaviť model závislosti vybraných znečisťujúcich látok na okolitých podmienkach.

### 3. Hodnotenie znečistenia ovzdušia vybranými znečisťujúcimi látkami

Pre hodnotenie závislostí medzi vybranými zložkami znečistenia ovzdušia ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{PM}_{10}$ ) a okolitými podmienkami (meteorologické parametre) bola zostavená matica hodinových koncentrácií znečisťujúcich látok, meteorologických parametrov a intenzity dopravy. Pozostávala zo separátne vybraných závislých premenných ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{PM}_{10}$ ) a nezávislých premenných (teplota, vlhkosť, rýchlosť vetra, intenzita dopravy) a obsahovala 775 objektov (meraných hodnôt). Na hodnotenie bol použitá viacrozmerná lineárna regresná analýza – MRA. V ďalšom sa hodnotila vzájomná korelácia závislých premenných  $\text{PM}_{10}$  a  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$  a  $\text{NO}_x$ .

MRA sa týka skupiny techník slúžiacich k štúdiu lineárnej závislosti medzi dvoma či viacerými premennými. Určuje odhady parametrov  $\beta$  v regresnom modeli

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i,1} + \beta_2 x_{i,2} + \dots + \beta_m x_{i,m} + \varepsilon_i, \quad (1)$$

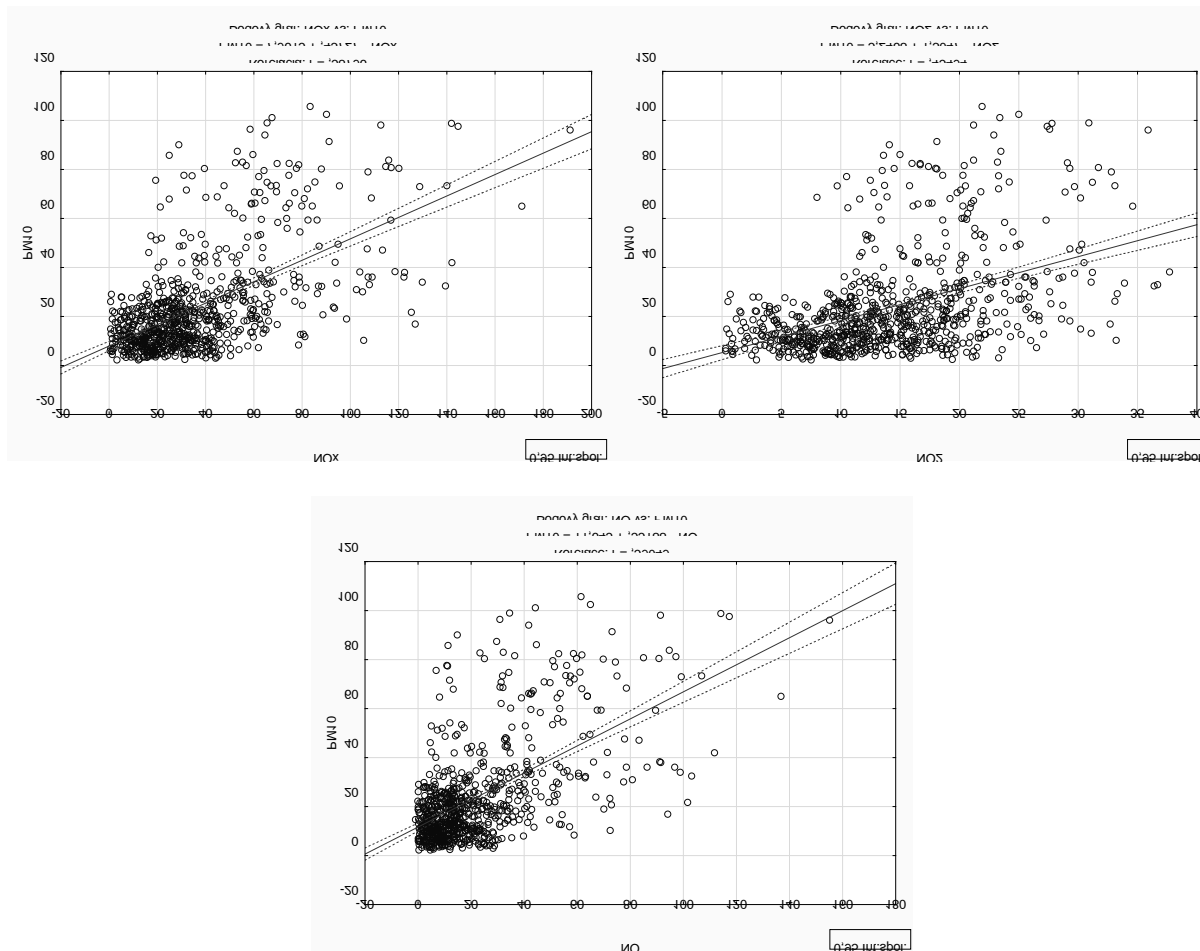
kde  $x$  sú nezávislé premenné a  $y$  je závislá premenná. Index  $i$  označuje poradové číslo merania a  $\beta$  sú neznáme regresné parametre a  $b$  ich odhady o počte  $m$  (Tab. 1.). Absolútny člen  $\beta_0$  je priesečník regresnej nadroviny s osou  $y$ .  $\varepsilon_i$  sú náhodné chyby. Odhady parametrov  $b_i$  sú smernice regresnej nadroviny zo smeru  $x_i$  a sú nazývané parciálne regresné parametre (alebo parciálne regresné koeficienty pre štandardizované premenné) [5].

Tab. 1: Významné zahrnuté premenné pre modely PM<sub>10</sub>, NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>, NO a výsledky MRA

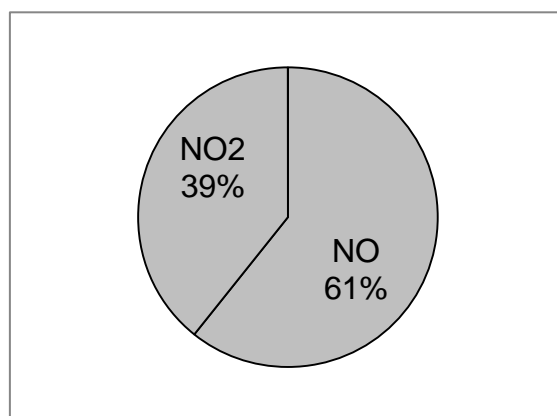
Závislá premenná	Zahrnutá nezávislá premenná	Odhad parametra "b"	Významnosť "p"	Korelačný koeficient	Koeficient determinácie viacnásobný R <sup>2</sup>
PM <sub>10</sub>	Abs. člen	42,89	0,000000	-	0,32
	TEMP	-1,32	0,000000	-0,49	
	WV	-4,41	0,000104	-0,40	
	ID	0,005	0,002683	-0,14	
NO <sub>x</sub>	Abs. člen	51,71	0,000000	-	0,48
	TEMP	-2,14	0,000000	-0,48	
	WV	-7,53	0,000000	-0,40	
	ID	0,03	0,000000	0,17	
NO <sub>2</sub>	Abs. člen	16,68	0,000000	-	0,38
	TEMP	-0,50	0,000000	-0,40	
	WV	-1,52	0,000000	-0,30	
	ID	0,008	0,000000	0,22	
NO	Abs. člen	35,03	0,000000	-	0,45
	TEMP	-1,64	0,000000	-0,47	
	WV	-6,01	0,000000	-0,41	
	ID	0,02	0,000000	0,14	

Ako významné premenné z meteorologických parametrov a intenzity dopravy pre všetky závislé premenné PM<sub>10</sub>, NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub> a NO vyšli teplota, rýchlosť vetra a intenzita dopravy (Tab. 1.). Vlhkosť nebola zahrnutá ani do jedného modelu. Pri PM<sub>10</sub> sa potvrdila jej vysoká senzitivita na okolitú teplotu ovzdušia. Teplota ovzdušia markantne vplyva na procesy tvorby, zmien a stavu tuhých častíc v ovzduší. Rýchlosť vetra má vplyv predovšetkým na rozptyl tuhých častíc a diaľkový prenos znečistenia tuhými časticami. Obidva faktory teplota aj rýchlosť vetra vykazujú negatívnu koreláciu s koncentraciami PM<sub>10</sub>, čo znamená, že pri nižšej teplote a nižších rýchlostiach prúdenia vetra sú vyššie koncentrácie PM<sub>10</sub>. Korelačné koeficienty PM<sub>10</sub> vs. teplota -0,49 a PM<sub>10</sub> vs. rýchlosť vetra -0,40 nie sú relatívne vysoké, čo môže byť spôsobené práve prevládajúcim prúdením vetra v danej oblasti a umiestnené monitorovacie stanovište je zasiahnuté prúdiacou masou znečistenia okrajovo. PM<sub>10</sub> negatívne koreluje s intenzitou dopravy, čo je trochu metúce, keďže cestná doprava sa na danom mieste považuje za dominantný zdroj znečistenia. Koncentrácie PM<sub>10</sub> sú však natoľko ovplyvnené meteorologickými parametrami, že preukázanie previazanosti cestnej dopravy a znečistenia ovzdušia tuhými časticami je veľmi obtiažne. Koeficient determinácie pre model so závislou premennou PM<sub>10</sub> a nezávislými premennými teplota, rýchlosť vetra a intenzita dopravy je len 0,32. Charakterizuje teda len 32 % pôvodného rozptylu dát, čo môže byť spôsobené práve absentujúcim hlavným prúdom znečistenia od cestnej dopravy.

Pri závislých premenných NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>, NO model charakterizoval 48 %, 38 %, 45 % pôvodného rozptylu dát. Pri týchto plynných zložkách znečistenia ovzdušia to je o niečo viac ako pri tuhých časticách. Korelácia medzi NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>, NO a intenzitou dopravy bola nízka (0,17, 0,22, 0,14) a kladná, čo znamená pozitívnu previazanosť týchto plynných škodlív a intenzity dopravy a možno slabšiu citlivosť na meteorologické parametre ako tuhé častice. Taktiež tieto plyny môžu pravdepodobne ľahšie prenikať do okolitého prostredia mimo prevládajúceho prúdenia vzduchu.

Obr. 7: Korelácie PM<sub>10</sub> a NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>, NO a ich vzájomný vzťah

Vzájomná korelácia PM<sub>10</sub> vyjadrená korelačnými koeficientmi a významných markerov cestnej dopravy oxidov dusíka NO<sub>x</sub>  $r = 0,58$ , NO<sub>2</sub>  $r = 0,45$ , NO  $r = 0,59$  je relatívne vysoká (Obr. 7.). Z analýzy vzájomného vzťahu PM<sub>10</sub> a NO vyplýva, že skoro 35 % variability oboch premenných je determinovaných spoločne, a teda pravdepodobne sú previazané s cestnou dopravou.

Obr. 8: Podiel zložiek NO<sub>2</sub> a NO v NO<sub>x</sub>

Čo sa týka podielu jednotlivých zložiek NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub> vykazuje nadpriemerné zastúpenie na celkovom znečistení ovzdušia oxidmi dusíka (Obr. 8.). Dané zistenie môže viesť k teórii o veľkom počte dieselových automobilov v dopravnom prúde,

a teda aj priamej produkcii NO<sub>2</sub> do ovzdušia [4]. Taktiež môže k tomu prispievať samotná oxidácia NO vzniknutom pri spaľovaní paliva v motoroch automobilov na NO<sub>2</sub> vo vonkajšom ovzduší.

#### 4. Závěry

Skúmanie znečistenia ovzdušia od cestnej dopravy je zložitý proces hlavne čo sa týka priamej súvislosti zisteného znečistenia s cestnou dopravou. Na emisie vyprodukované cestnou dopravou vplyva mnoho faktorov, ktoré zasahujú do ich šírenia a sekundárnej tvorby. Rozptýlené emisie v ovzduší (imisie) sú podriadené hlavne aktuálnym meteorologickým podmienkam. Z daných meraní uskutočnených mimo zastavaného územia pri diaľnici D1 sa potvrdilo niekoľko skutočností ohľadom závislostí kontaminujúcich látok ovzdušia a meteorologickými parametrami. Ako najviac ovplyvňujúci parameter koncentrácií PM<sub>10</sub>, NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>, NO sa prejavila teplota (TEMP). Pri všetkých štyroch vybraných znečisťujúcich látkach bola korelácia s teplotou negatívna, tzn. čím nižšia teplota, tým vyššia koncentrácia. Ďalšie významné premenné pre model koncentrácií vybraných znečisťujúcich látok boli rýchlosť vetra (WV) a intenzita dopravy (ID). Bola zistená vysoká korelácia PM<sub>10</sub> a oxidov dusíka, pričom ich spoločne vysvetlený rozptyl je 35 %. Ich vzájomne vysvetľovaný podiel môže indikovať pôvod v cestnej doprave, keďže práve tá je významným pôvodcom oxidov dusíka. Podiel jednotlivých zložiek NO<sub>x</sub> predstavuje 39 % NO<sub>2</sub> a 61 % NO. Vysoké zastúpenie NO<sub>2</sub> v NO<sub>x</sub> môže byť dôsledkom vysokého podielu dieselových automobilov na diaľnici D1, ale do istej miery môže súvisieť aj s oxidáciou NO na NO<sub>2</sub> v okolitom ovzduší.

Správanie a rozptyl znečisťujúcich látok v ovzduší je do veľkej miery ovplyvnené charakterom územia, meteorologickými parametrami a samozrejme samotným zdrojom znečistenia. Dané meracie stanovište bolo na rovinnom území mimo zastavaného územia (bez akýchkoľvek umelých prekážok). Prevládajúce prúdenie vetra bolo v smere orientácie diaľnice D1. Samotné emisie produkované cestnou dopravou sú ovplyvnené týmito faktormi a ich „putovanie“ v ovzduší je výsledkom súčinnosti jednotlivých dielčích článkov životného prostredia, ktoré je znečistením ovzdušia atakované.

#### Literatúra

- [1] BREYSSE, P. N. et al. 2013. US EPA particulate matter research centers: summary of research results for 2005 – 2011. In *Air Quality, Atmosphere & Health* [online]. 2013, vol. 6, issue 2, [cit. 2014.07.29.]. Dostupné na internete: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11869-012-0181-8>>. ISSN 1873-9326.
- [2] EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2009. *Air quality in Europe – 2013 report*. [online]. Copenhagen, Denmark: EEA, 2013. 112 p. [cit. 2014.07.29.] Dostupné na internete: <[file:///C:/Users/Du%C5%A1an/Downloads/EEA-Report\\_9-2013\\_Air-quality\\_in\\_Europe%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/Du%C5%A1an/Downloads/EEA-Report_9-2013_Air-quality_in_Europe%20(3).pdf)>. ISSN 1725-9177.
- [3] JANDAČKA, D. 2013. *Vplyv cestnej dopravy na výskyt tuhých častíc*: dizertačná práca. Žilina: ŽUŽ, 2013. 134 s.
- [4] GRICE, S. et al. 2009. Recent trends and projections of primary NO<sub>2</sub> emissions in Europe. In *Atmospheric Environment* [online]. 2009, vol. 43, issue 13, [cit. 2014.07.29.]. Dostupné na internete: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231009000508>>. ISSN 1352-2310.



- [5] MELOUN, M. - MILITKY, J. 2006. *Kompendium statistického zpracování dat*. Praha: ACADEMIA, 2006. 982 s. ISBN 80-200-1396-2.

### Pod'akovanie



Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci OP Výskum a vývoj pre projekt „Podpora a rozšírenie Centra výskumu v doprave „CVD-PLUS“ (ITMS: 26220220160) ktorý je spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## Gaseous pollutants and particulate matter air pollution in rural area

**Dušan Jandačka, Daniela Ďurčanská**

*University of Zilina, Faculty of Civil Engineering, Department of Highway Engineering  
Univerzitna 8215/1, 010 26 Zilina*

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

### Abstract

Gaseous pollutants air pollution (nitrogen oxides, carbon monoxide, sulphur dioxide) and particle pollution are a part of everyday life. Particulate matter (PM) is one of the striking pollutants and causes appreciable degradation of the environment and therefore the quality of life of the population. Also, long-term exposure of increased concentrations of gaseous pollutants may cause degradation of environmental and health. Formation of particulate matter and gaseous pollutants resulting from vehicular traffic is a problem especially within large cities. Air pollution from various sources (vehicular traffic) also takes place in non-urban environment (rural area) what operates primarily on vegetation and fauna in this area. Environment in the cities may be affected secondary by long-range transport of pollutants. Exhaust gases contain large amounts of gaseous and solid pollutants when considering the use of internal combustion engines. These include in particular the presence of large numbers of extremely fine particle fractions, which can remain in the air for a long period of time, easily penetrate and attack the respiratory tract and damage, impact on the health of humans. Particulate matter with a greater aerodynamic diameter originates previously from different parts of cloths road and vehicles. The subject of this presentation is monitoring particulate matter and gaseous pollutants along the cycle of its creation alongside non-urban road and an evaluation of their mutual behaviour with regard to meteorological conditions and traffic volume.



# GIS aplikace pro emisní modelování: analýza a vizualizace

Adam Mertel<sup>1</sup>, Marek Tögel<sup>2</sup>

Masarykova univerzita<sup>1</sup>, Žerotínovo nám. 617/9, 601 77 Brno

Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.<sup>2</sup>, Líšeňská 33a, 636 00 Brno

e-mail: mertel.adam@mail.muni.cz, marek.togel@cdv.cz

## Abstrakt

Současné pokroky softwarového inženýrství nabízejí efektivní možnosti pro práci s daty, jejich analýzu, vyhodnocování a prezentaci. V našem příspěvku bychom rádi představili námi vytvořenou GIS aplikaci, která nabízí možnosti takovéto manipulace s daty dopravních intenzit a modelování emisí ze silniční dopravy. Tato aplikace poskytuje prostředí pro samotný výpočet emisních charakteristik dopravního proudu a dále nástroje pro vizuální analýzu pomocí tabulek, grafů a map. Klade si za cíl poukázat na možnosti automatizovaného zpracování a vizualizace dat pro potřeby jejich opakovaného efektivního a rychlého použití.

## 1. Úvod

Význam modelování emisí ze silniční dopravy v poslední době velmi narůstá. Oproti modelování emisí ze stacionárních bodových zdrojů, které je možné v plném rozsahu ověřit empirickým měřením na daných zdrojích, představuje proces modelování emisí z liniových zdrojů prakticky jedinou možnou metodu stanovení emisí ze silniční dopravy. Silniční doprava je v současné době považována za jeden z významných zdrojů znečištění ovzduší ve velkých aglomeracích měst [1]. Softwarová řešení automatizující proces modelování, podpořená navíc analytickými nástroji, umožňují komunitě odborníků zaměřených na problematiku znečišťování ovzduší urychlit rutinní a pracný proces předzpracování dat a výpočtu emisí, čímž vzniká více času pro samotnou analýzu výsledků modelování. Tento příspěvek představuje softwarovou aplikaci, která reaguje na tyto potřeby. Představená aplikace usnadňuje samotný výpočet emisí ze silniční dopravy a poskytuje vizualizační nástroje pro analýzu a prezentaci výsledků.

V současné době existuje několik softwarových řešení pro modelování emisí ze silniční dopravy. Jako první lze zmínit nástroje emisního modelování v makroskopických a mikroskopických simulačních nástrojích určených primárně pro modelování dopravy<sup>1</sup>. Tyto nástroje lze také využít pro analýzy v regionálním a lokálním měřítku. Další možností je aplikace COPERT IV, která umožňuje modelování emisí pro územní jednotky a využívá se spíše pro analýzy v regionálním a globálním měřítku.

Námi vytvořená webová aplikace (GIS) slouží k modelování emisí v regionálním a lokálním měřítku. Oproti zmíněným nástrojům pro dopravní modelování se odlišuje tím, že neintegruje dopravní modelování a emisní modelování, ale umožňuje pouze modelování emisí s využitím prostorových dat o dopravních intenzitách. Představená aplikace zjednodušuje ovládání pro uživatele, a to také díky příjemnému grafickému uživatelskému rozhraní. To umožňuje zpřístupnit aplikaci širšímu okruhu uživatelů působících i mimo dopravní inženýrství.

---

<sup>1</sup> Například software VISSIM, PARAMICS, AIMSUN a EMME.

Následující části příspěvku se zaměřují na popis použité metodiky výpočtu emisí (kap. 2.) a strukturu potřebných vstupních údajů a procesu zpracování dat v aplikaci (kap. 3.). Vizualizační nástroje, které aplikace poskytuje pro analýzu dat, jsou popsány v kap. 4. a možnosti tvorby výstupů pro prezentaci výsledků emisního modelování jsou představeny v kap. 5. Závěrem jsou vyhodnoceny přínosy daného nástroje a jsou navrženy další možnosti rozvoje aplikace.

## 2. Metoda výpočtu emisí

V první řadě je nutné definovat proces produkce emisí, který je v této aplikaci modelován. Existuje několik procesů, kterými mohou vznikat emise ze silniční dopravy. Jsou jimi emise ze spalování paliva, emise vznikající odpařováním nemetanových těkavých organických látek (NMVOCs), z paliva v motorech vozidel, emise vznikající v důsledku otěrů z brzd, pneumatik a otěrů vozovky a sekundární emise označované též jako tzv. resuspenze. Představená aplikace se zaměřuje na první proces vzniku emisí, tedy na emise ze spalování paliva.

Softwarová aplikace v současné verzi používá upravenou metodiku výpočtu emisí ze silniční dopravy [2]. Úprava spočívá v tom, že je navíc do výpočtu zakomponována informace o průměrné rychlosti dopravního proudu, což dále zpřesňuje výpočet. Způsob výpočtu je patrný ze vzorců (1) a (2):

$$ET_{p,u} = \sum_{k=1}^{n=4} ET_{p,u,k} = \sum_{k=1}^{n=4} (RPDI_k \cdot EF_{p,k,(r)})$$

(1)

(2)

$$EP_{p,u} = ET_{p,u} \cdot l_u$$

kde  $EF_{p,k,(r)}$  představuje emisní faktor škodliviny  $p$  vozidla kategorie  $k$ , při rychlosti  $r$  v  $\text{g}\cdot\text{m}^{-1}$ .  $RPDI_k$  představuje roční průměr denních intenzit vozidel kategorie  $k$  a  $ET_{p,u}$  označuje celkový emisní tok škodliviny  $p$  na úsek komunikační sítě  $u$  v  $\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ . Veličina  $l_u$  představuje délku daného úseku v metrech a  $EP_{p,u}$  je celková emisní produkce škodliviny  $p$  na úseku  $u$ .

Výsledkem tohoto výpočtu jsou tedy dva typy hodnot. Prvním je **emisní tok** na daném úseku komunikační sítě, který lze využít jako vstupní hodnotu při teoretických výpočtech emisí neboli v rozptylových studiích. Druhým typem je **emisní produkce**, jejíž sumací za určitou skupinu komunikací či geografickou oblast, lze zjistit celkové množství emisí za zvolený výběr. Tímto způsobem lze vytvářet statistiky emisí v regionálním měřítku, které lze využívat pro hodnocení určitých typů dopravních opatření, jako jsou nízkoemisní zóny, zóny selektivního zákazu vjezdu, zprovoznění nových komunikací apod.

## 3. Vstupní hodnoty a proces zpracování dat

Softwarová aplikace z obecného hlediska umožňuje vkládání, zpracování, prohlížení a editaci datového souboru, který je tvořen obecně dvěma částmi: geografickými daty a tabulkovými daty. Vzájemným propojením obou částí se modelují hodnoty emisí na jednotlivých úsecích. Pro prohlížení dat a jejich editaci jsou v aplikaci připraveny tabulkové nástroje a mapy.

Jako vstupní data vyžaduje aplikace předpřipravený soubor ve formátu *ESRI Shapefile*, obsahující geometrie jednotlivých úseků a příslušnou atributovou tabulku. V ní jsou k jednotlivým liniím uvedeny rychlosti a intenzity vozidel v rámci jejich základního funkčního dělení (tj. kategorie osobních aut, lehkých užitkových, těžkých užitkových a autobusů). Kromě geometrie je třeba do aplikace vložit i informace o relevantní dynamické struktuře a hodnotách emisních faktorů pro kombinace vybraných rychlostí a emisních kategorií vozidel (rychlosti jsou v této chvíli rozlišovány s přesností na  $5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ). Definici vstupních hodnot je možné provést importem nebo jednoduchým kopírováním z jiných tabulkových nástrojů. Aplikace také umožňuje pracovat s pěti alternativními scénáři, přičemž každý scénář může pracovat s rozdílnou dynamickou skladbou vozového parku, geometrií komunikační sítě nebo intenzitou silniční dopravy na daných úsecích komunikační sítě.

V prvním bodě procesu výpočtu jsou, po importu komunikační sítě, dopočítány délky pro každý úsek pomocí jejich souřadnic. Následně jsou vypočteny hodnoty emisního toku a emisní produkce podle výše představené metodiky. Tyto hodnoty za daný úsek lze pak zobrazit jak pro každou kategorii vozidel, tak v celkové sumě.

Pro potřebu nahlížení na jednotlivé hodnoty je v aplikaci pomocí knihovny *handsontable.js*<sup>2</sup> implementován interaktivní tabulkový nástroj. Aplikace umožňuje zobrazit celkem 7 tabulek: jedna pro zobrazení emisních faktorů, jedna pro zobrazení hodnot dynamické skladby vozového parku a dalších pět pro atributové tabulky komunikační sítě s informací o vypočtených hodnotách emisního toku a emisní produkce v různých alternativních scénářích. Nástroj dovoluje data uspořádat podle vybraného atributu, dovoluje kopírování a vkládání hodnot, jejich editaci a další funkce typické pro tabulkové nástroje. V případě editace hodnot se tabulka automaticky nepřepočítává, ale je potřeba tento přepočet inicializovat příslušným tlačítkem. Tento postup je nutný pro plynulost aplikace v případě velkých datových souborů.

#### 4. Vizualizační nástroje

V rámci teorie datové explorace [3] bylo definováno množství mechanismů, nástrojů a metod, které nabízejí uživateli možnost práce s daty a jejich následnou analýzu. V našem případě se budeme věnovat především popisu jednotlivých funkčních celků aplikace, při kterých vysvětlíme některé podporované mechanismy explorace.

Základem každé aplikace pro exploratorní prostorovou datovou analýzu (*ESDA – Exploratory spatial data analysis*) je mapa. Mapa plní několik základních funkcí. První funkcí je identifikace absolutní nebo relativní polohy hledaného objektu uživatelem. Tímto je pak následně umožněno hodnotit distribuci nebo hustotu jevu pro celý datový soubor, což představuje druhou funkci mapy. Prostorovou distribuci dat i z hlediska hodnoty jevu (uvedené zpravidla v atributové tabulce datového souboru) dále umožňují studovat metody tematické kartografie.

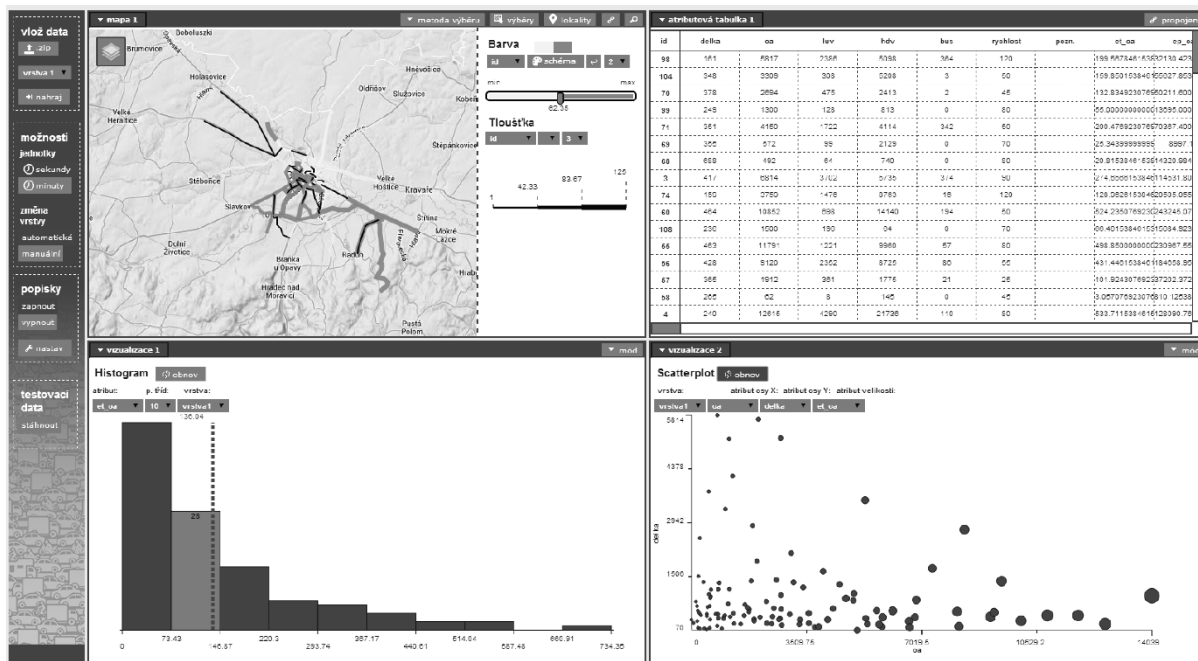
Aplikace využívá nástrojů a metod *ESDA* prostřednictvím dvou mapových oken. Pomocí těchto oken je možné zobrazovat dva rozdílné soubory dat (např. různé scénáře) nebo rozdílné vizuální reprezentace stejného datového souboru, což umožňuje jejich komparaci a exploraci. Mapy byly vytvořeny pomocí knihovny *leaflet.js*<sup>3</sup>, která slouží jako podpora pro tvorbu interaktivní webové mapy. Knihovna poskytuje předdefinované objekty, události a metody. Před samotným

<sup>2</sup> <http://handsontable.com/>

<sup>3</sup> <http://leafletjs.com/>

načtením geometrie, aplikace automaticky konvertuje vstupní data z formátu *ESRI Shapefile* (v komprimované formě *ZIP*) do formátu *GeoJSON*, jehož zápis je pro jazyk *javascript* nativní. Pro tento účel byla použita knihovna *shapefile-js*<sup>4</sup>. Jako podkladové vrstvy map je možné zobrazit například fyzicko-geografické a satelitní mapy od společnosti *Google* nebo analytické mapy ze služby *Mapbox*<sup>5</sup>. Pomocí nástrojů mapy je možné vytvářet prostorové výběry úseků komunikační sítě, které můžeme následně analyzovat vizualizačními nástroji. Metody výběru umožňují selekci prvků buď cíleným označením kurzorem myši, pravouhelníkem nebo jednoduchým atributovým dotazem.

Obr. 1: Grafické uživatelské rozhraní webové GIS aplikace



Pro podporu tematického základu mapové vizualizace jsme na základě analýzy stávajících řešení a studia relevantní literatury [4, 5, 6, 7] vybrali z nabídky možných grafických metod, vizualizaci využívající barvu a šířku linie. Vizualizace liniových prvků se mění, pokud jsou některé z prvků „vybrány“. Nastavení barvy a šířky linie umožňuje uživateli interaktivní legenda. U barvy je možné změnit variantu barevné škály, vizualizovaný atribut, počet tříd nebo jednotlivé hranice těchto tříd. Pro šířku linie pak fungují obdobné možnosti. Tyto legendy byly vytvořeny pomocí metagrafického jazyku *svg* (*Scalable Vector Graphics*) a knihovny *colResizable.js*<sup>6</sup>.

Nedílnou součástí analytických programů (také u ESDA) jsou různé grafické nástroje, jako například liniové grafy, histogramy nebo *scatterploty*. Ty umožňují uspořádat nebo seskupit soubor dat na základě hodnot vybraných atributů do ustálené grafické reprezentace, která může být dále ještě podpořena interaktivitou. Uživatel tak může odhalovat některé spojitosti a vzorce v datech, které by byly v rámci mapy nebo tabulky skryty. Vedle mapy jsou tak v aplikaci implementovány grafické nástroje jako je histogram, *boxplot* a *scatterplot*. Prostředí umožňuje přidávat formou modulů pak i další nástroje. Ve všech případech

<sup>4</sup> <https://github.com/wavded/js-shapefile-to-geojson>

<sup>5</sup> <https://www.mapbox.com/>

<sup>6</sup> <http://quocity.com/colresizable/>

byla použita knihovna *d3.js*<sup>7</sup>, která slouží k usnadnění využívání jazyka *svg* v prostředí *javascriptu*.

Pro potřeby základního náhledu na charakter dat slouží základní statistická tabulka. Ta pro požadovaný výběr úseků a zvoleného atributu zobrazuje medián, aritmetický průměr, modus, počet prvků v souboru, maximum, minimum, celkovou sumu, směrodatnou odchylku, variační koeficient a dolní a horní kvartil. Dalším mechanismem ESDA je také *linking*. Ten umožňuje uživateli vizuálně propojit jednotlivé funkční celky. Při výběru jednotlivých řádků v atributových tabulkách je tak možno pozorovat zvýrazněnou vizualizaci odpovídajících prvků na mapě.

## 5. Datové a grafické výstupy

Pro potřeby použití výsledků výpočtu nebo grafických a mapových reprezentací mimo aplikaci byly implementovány možnosti výstupu těchto dat v obvyklých formátech. Samotný tabulkový nástroj použitý v aplikaci není vhodný pro velmi velké množství dat, proto plný rozsah atributových tabulek uživatel zobrazí na dotaz a pouze ve statické podobě. Vedle toho má možnost exportu do formátů *.csv* (*Comma-separated values*) nebo *.xml* (*Extensible Markup Language*), které jsou standardní pro většinu existujících tabulkových editorů. Další možností je export těchto dat i s geometrií ve formátu *.shp* s přiloženým datovým *.dbf* souborem (oba jsou součástí vektorového formátu *ESRI Shapefile*). Mapy a grafy lze exportovat do běžně používaných grafických formátů rastrového a vektorového charakteru. Podle potřeby je k daným grafickým výstupům možné doplnit základní prvky mapy definované podle kartografických pravidel [8] (legendu, nadpis, tiráž a měřítko).

## 6. Závěr

Prezentovaná aplikace je typickým příkladem geografického informačního systému (GIS), který poskytuje nástroj explorační, analýzy, syntézy a prezentace, tak jak byly definovány Kraakem a MacEachrenem v roce 1997 [9]. Existující vizualizační nástroje spolu s mechanismem *linking* umožňují vyhledávání chyb v datovém souboru, úvahy nad vztahy mezi jednotlivými veličinami a analýzu vztahů mezi emisemi ze silniční dopravy a geografickým prostorem. Různé možnosti atributových a prostorových výběrů a jejich komparace pomocí grafů a map poskytuje uživateli nástroj pro vysvětlování vztahů v datovém souboru. Výpočty lze generovat až nad pět různých silničních sítí, tudíž už v současné době aplikace poskytuje nástroj pro komparaci několika scénářů. Praktické nástroje exportující datový soubor do dalších formátů, umožňují využití aplikace v širších pracovních projektech, kdy emisní modelování je součástí širšího procesu modelování a získává vstupní hodnoty z dopravních modelů a poskytuje podklady pro rozptylové studie. Nakonec předpřipravené mapové šablony umožňují i uživateli bez znalosti kartografických pravidel tvorbu vyhovujících mapových výstupů pro prezentaci výsledků.

Struktura aplikace umožňuje další rozšiřování nástroje. Jedním z užitečných rozšíření může být implementace dalších metod výpočtu emisí. Daný výpočet pak může být výrazně komplexnější, čímž jsou zpřesňovány modelované výsledky. Zároveň lze doplnit i moduly pro výpočet emisí, které vznikají dalšími procesy, jako jsou emise z odpařování nemetanových těkavých organických látek z paliva, emise

<sup>7</sup> <http://d3js.org/>

z otěrů brzd, pneumatik a vozovek či tzv. resuspenze. Z hlediska analytických nástrojů je možné implementovat nástroje pro sumaci hodnot za úseky a přepočít modelovaných emisí na územní jednotky, což by usnadnilo využívání aplikace pro hodnocení v regionálním měřítku. Jinou formou rozšíření je také možnost implementace dalších grafických nástrojů, pomocí kterých lze odhalovat místa problematická z pohledu emisní produkce (tzv. *hotspots*). Prezentovaná webová aplikace obsahuje potenciál pro další rozšiřování a zároveň již v současné době usnadňuje a urychluje modelování emisí ze silniční dopravy. Pro uživatele to znamená méně práce v procesu přípravy dat a více času na exploraci dat a analýzu výsledků modelování.

## Literatura

- [1] EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY (EEA): *Air quality in Europe – report 2013*. EEA: Copenhagen, 2013, p. 109. ISBN 978-92-9213-406-8.
- [2] DUFEK, J., HUZLÍK, J., ADAMEC, V.: *Stanovení emisí látek znečišťujících ovzduší z dopravy*. Metodika. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., 2006, 26 s. CE 801/210/109.
- [3] ANDRIENKO, N., ANDRIENKO, G.: *Exploratory Analysis of Spatial and Temporal Data. A Systematic Approach*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006, p. 704. ISBN 978-3-540-31190-4
- [4] CHIU, Yi-Chang and Eric J. NAVA. Dynust [online]. 2012. <http://dynust.net/>.
- [5] TSS-TRANSPORT SIMULATION SYSTEMS, S. L. Aimsun [online]. 2013. <http://www.aimsun.com/>.
- [6] AKCELIK AND ASSOCIATES PTY LTD (TRADING AS SIDRA SOLUTIONS). Sidra Intersection [online]. 2013. <http://www.sidrasolutions.com/>.
- [7] INRO. Emme [online]. 2014. <http://www.inro.ca/en/products/emme/index.php>
- [8] KAŇOK, J.: *Tematická Kartografie*. Ostrava, 1999.
- [9] MacEACHREN, A. M., KRAAK, M. J.: *Exploratory cartographic visualization: Advancing the agenda*. Computers & Geosciences, Volume 23, Issue 4, p. 335-343, 1997.

## GIS application for emission modelling: analysis and visualization

Adam Mertel<sup>1</sup>, Marek Tögel<sup>2</sup>

Masarykova univerzita<sup>1</sup>, Žerotínovo nám. 617/9, 601 77 Brno

Transport Research Centre<sup>2</sup>, Líšeňská 33a, 636 00 Brno

e-mail: mertel.adam@mail.muni.cz, marek.togel@cdv.cz

## Abstract

New possibilities of software engineering offer effective approaches to data management, analysis, evaluation and visual presentation. In this paper we would like to present our GIS application that enables manipulation of traffic flow data and modelling of traffic emissions. The analytical environment of the application facilitates calculation of produced emissions and also visual analysis through tables, graphs and maps. The aim of the paper is to demonstrate possibilities of automated repetitive processing and visualization of specific data in the effective and short way.



# Rozptyl znečišťujících látek z liniových zdrojů v malých sídlech

Jiří Pospíšil<sup>1</sup>, Jiří Huzlík<sup>2</sup>, Roman Ličbinský<sup>2</sup>, Pavel Chaloupecký<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Vysoké učení technické v Brně,

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

<sup>3</sup> ENVltech Bohemia, s.r.o.

e-mail: pospasil.j@fme.vutbr.cz

## Abstrakt

Příspěvek je věnován problematice rozptylu a šíření znečišťujících látek v malých sídlech. Hlavní pozornost je zaměřena na šíření znečištění z liniových zdrojů reprezentujících dopravní komunikace. Pro objasnění zákonitostí disperze znečišťujících látek je využito numerické modelování na zvolených lokalitách, doplněné místním měřením. Sledován je vliv konkrétní konfigurace zástavby na rozptyl znečišťujících látek. Liniový zdroj reprezentující v numerických modelech dopravní komunikaci je popsán produkcí znečišťující látky a příslušným aerodynamickým působením pohybujících se automobilů na okolní vzduch. Velké množství vypočtených koncentračních map je zpracováno do podoby přehledné databáze, která umožňuje rychlé hodnocení obdobných situací bez nároku na nová okamžitá řešení či náročné SW nástroje.

## 1. Úvod

Výstupy prezentované v tomto příspěvku jsou dílčím výstupem projektu s názvem „Kvantifikace znečištění ovzduší a z něj vyplývajících zdravotních rizik v malých sídlech České Republiky a systém řízení“. Projekt je zaměřen na vytvoření operativního systému pro hodnocení expozice obyvatel imisní zátěži v malých sídlech. Jako vhodný přístup umožňující rychlé hodnocení imisní zátěže bylo navrženo vytvoření katalogu koncentračních map vybraných modelových oblastí malých sídel. Pozornost tohoto příspěvku je omezena na imisní příspěvek silniční dopravy.

Při volbě vhodného modelového nástroje pro detailní výpočet disperze znečišťujících látek v malých sídlech bylo vybráno modelování metodou CFD (computational flow dynamics), které umožňuje na základě zadané geometrie řešit věrná 3D koncentrační pole znečišťujících látek.

Obr. 1: Ilustrativní ukázka malého sídla Okříšky, letecký snímek



## 2. Použitá strategie členění modelových malých sídel

Volba modelových oblastí malých sídel byla realizována s cílem připravit numerické modely vybraných oblastí, které z pohledu šíření znečišťujících látek reprezentují charakteristické konfigurace budov a emisních zdrojů v malých sídlech. Zvolené modelové oblasti slouží pro výpočtové stanovení koncentračních map imisního zatížení. Získané výsledky mají být reprezentativní a využitelné pro hodnocení velkého počtu malých sídel obdobné konfigurace.

V prvním kroku výběru modelových oblastí byla pozornost věnována charakteru rozložení zástavby vůči hlavní komunikaci. Malá sídla byla v tomto kroku rozčleněna na:

- hraničící s tranzitní komunikací,
- procházená tranzitní komunikací.

Rozsáhlým studiem leteckých snímků malých sídel byly vybrány pro řešení dva charakteristické tvary tranzitních komunikací vyskytující se v malých sídlech s velkou četností:

- přímá komunikace,
- komunikace se změnou směru o 90 °.

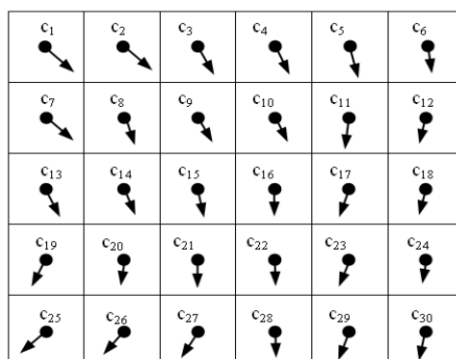
Další charakteristikou volených modelových oblastí byl tvar zástavby. Z tohoto pohledu byly charakteristické modelové oblasti malých sídel členěny do tří skupin:

- samostatně stojící rodinné domy tvořící malé sídlo,
- souvislá řada budov obklopující hlavní komunikaci a samostatně stojící další objekty,
- městský charakter malého sídla s uličními kaňony v centrální části.

## 3. Model disperze znečišťujících látek a související okrajové podmínky

Pro tvorbu koncentračních map znečišťujících látek bylo využito detailní modelování metodou CFD (computational flow dynamics). Tato metoda umožňuje zahrnout detailní popis geometrie oblasti a řešení rozptylu znečišťujících látek na věrném 3D rychlostním poli vzduchu. Jako vhodný přístup pro řešení disperze znečišťujících látek byl využit Eulerovský přístup. Tento přístup řešení je založen na numerickém řešení soustav diferenciálních rovnic popisujících věrně proudění vzduchu a transport plynných znečišťujících látek nebo drobných suspendovaných částic. Řešení může být stacionární i nestacionární. Korektnost vyřešeného rychlostního pole vzduchu záleží na věrnosti zadané geometrie území a zadaných okrajových podmínkách. Neexistuje v tomto případě žádné principiální omezení, a při řešení obydlených oblastí může být do výpočtu zahrnuta detailně geometrie jednotlivých budov. Informace o koncentraci znečišťujících látek je získávána v uzlových bodech modelové sítě na základě řešení bilančních rovnic hmoty, energie a hybnosti, popisujících přenos mezi jednotlivými objemovými elementy numerického modelu. Zmenšování velikosti použitých objemových elementů zvyšuje přesnost dosažených výsledků, ale podstatně zvětšuje výpočetní náročnost řešení. Tato skutečnost vede k nutnosti uvážlivé volby velikosti řešeného území a velikosti použitých objemových elementů.

Obr. 2: Naznačení podstaty popisu Eulerovskou metodou – vypočtené koncentrace jsou známy ve středech zvolených kontrolních objemů



Rozptyl znečišťujících látek je rozhodujícím způsobem ovlivněn aktuálním rychlostním polem vzduchu. Rychlostní pole v řešené oblasti je utvářeno vlivem působení zadaného větru, geometrií budov a v blízkosti komunikací se přidává vliv pohybujících se automobilů. Vliv automobilů je pro řešení prostoru nad vozovkou a v těsném okolí komunikace ve většině případů dominantní. Obzvláště v situaci, kdy je přirozené vymývání oblasti nedostatečné (například v období bezvětří), rozhoduje pohyb automobilů o rychlosti šíření znečišťujících látek. Zahrnutí vlivu pohybujících se automobilů do řešení je realizováno ve dvou krocích:

- zahrnutí silového působení automobilů na vzduch,
- zahrnutí produkce kinetické energie turbulence.

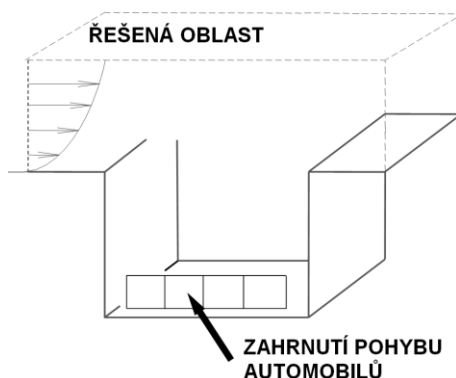
Silové působení vzduchu na jedoucí automobil je popsáno odporovou silou

$$\vec{F}_D = \frac{1}{2} \rho C_D A_p |\vec{U}_\infty - \vec{U}_{car}| (\vec{U}_\infty - \vec{U}_{car}), \quad (1)$$

kde  $\rho$  ... hustota vzduchu,  
 $U_{car}$  .. rychlost jízdy automobilu,  
 $U_\infty$  ... rychlost vzduchu v místě pohybu automobilu,  
 $Q_{car}$  ... intenzita provozu,  
 $C_D$  ... aerodynamická odporová konstanta.

Reakcí k odporové síle je síla, kterou automobil působí na tekutinu. Toto působení zahrneme do výpočtu formou objemové síly působící v místech, kterými automobily projíždí, viz obr. 3.

Obr. 3: Ukázka polohy zahrnutí vlivu pohybujících se automobilů na čtyřproudé komunikaci uzavřené z obou stran budovami.



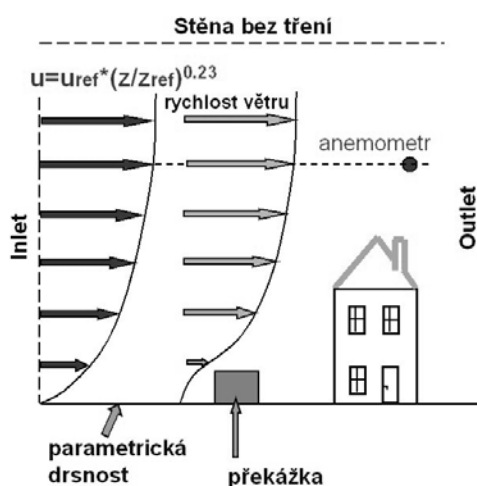
Vytvořený detailní matematický model reprezentuje vždy pouze část skutečné oblasti. Velikost vlastního modelu je omezena množstvím času na zpracování a možnostmi použitého hardware. Omezení plynoucí z omezené velikosti modelu vedou k nutnosti používat na hranicích oblasti odpovídající okrajové podmínky, které věrně vystihují vliv okolí. Na horní hranici řešené oblasti je použita okrajová podmínka „neprostupná stěna“. Okrajové podmínky na bočních stěnách modelu musí umožnit předepsání rychlostního profilu nad terénem odpovídajícího skutečným podmínkám v přízemní vrstvě atmosféry. Předepsán je známý rychlostní profil větru na stěny modelu, kterými vstupuje vzduch do modelové oblasti. Tento přístup umožňuje zahrnout vliv okolního terénu v místě hranice oblasti. Matematický zápis rychlostního profilu větru je

$$u = u_{ref} \left( \frac{z}{z_{ref}} \right)^a, \quad (4)$$

kde,  $u$  ... rychlost větru ve výšce  $z$ ,  
 $u_{ref}$  ... rychlost větru v referenční výšce,  
 $z$  ... výšková souřadnice,  
 $z_{ref}$  ... referenční výška,  
 $a$  ... součinitel rychlostního profilu.

Vzdušná masa se potom v modelu pohybuje nad terénem popsáným odpovídající parametrickou drsností. Vliv terénu ovlivňuje původní rychlostní profil v závislosti na konkrétních místních podmínkách, viz obr. 4.

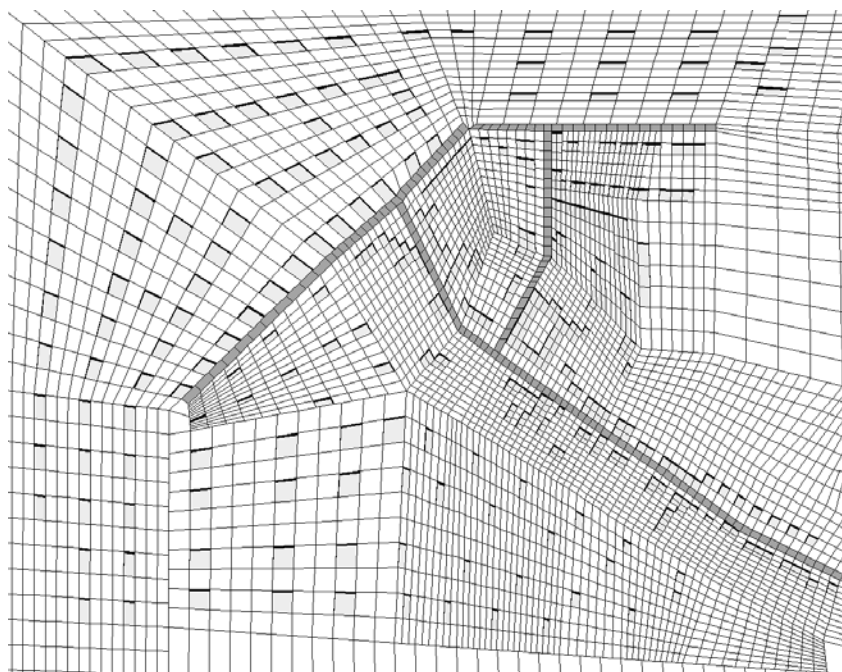
Obr. 4: Zadání větru na okraji řešené oblasti pomocí „rychlostního profilu“



#### 4. Ukázka dosažených výsledků

Pro potřeby výpočtu koncentračních map byla oblast o rozměrech 2000 × 2000 m, s obcí Okříšky, zpracována do podoby numerického modelu, viz obr. 5.

Obr. 5: Komunikace a budovy zobrazené ve vytvořené numerické síti – půdorysný pohled

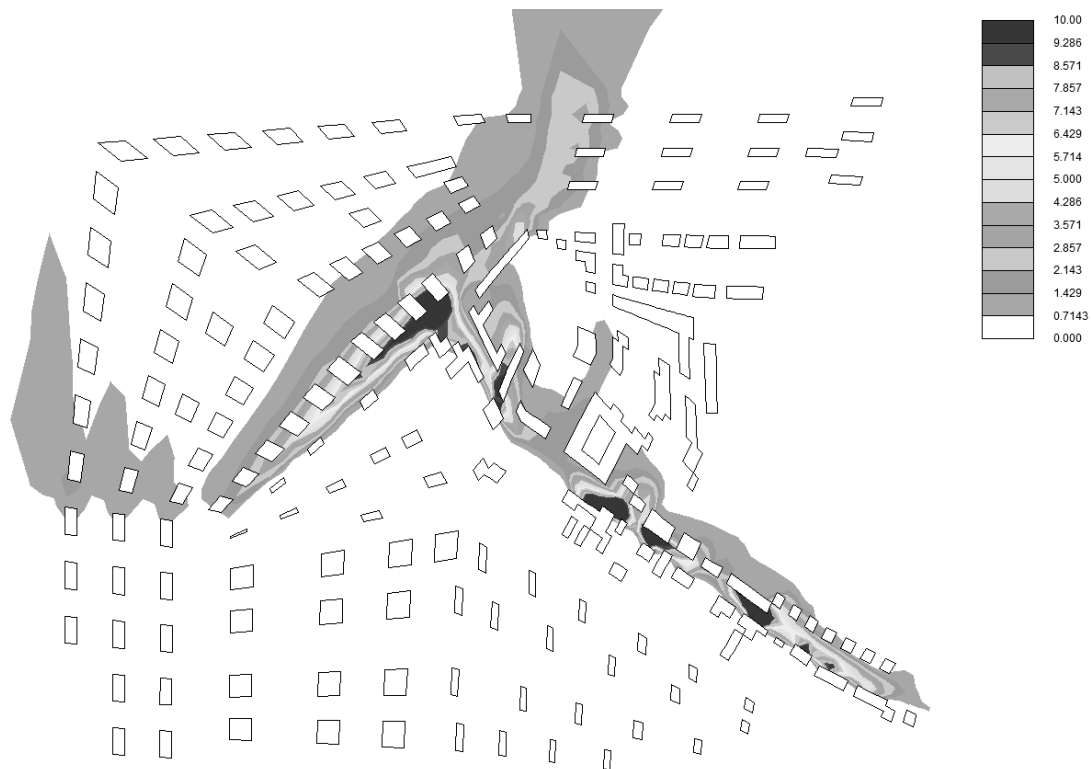


Uvažované liniové zdroje reprezentující významné dopravní komunikace byly popsány intenzitou provozu a příslušejícím emisním faktorem. V modelové oblasti byly zadány liniové emisní zdroje příslušné komunikacím procházejícím ulicemi Masarykova, Nádražní a Jihlavská. Liniové zdroje byly v modelu zahrnuty v délce průchodu sledovaných komunikací zástavbou obce. K těmto komunikacím byly přiřazeny parametry produkce sledovaných znečišťujících látek.

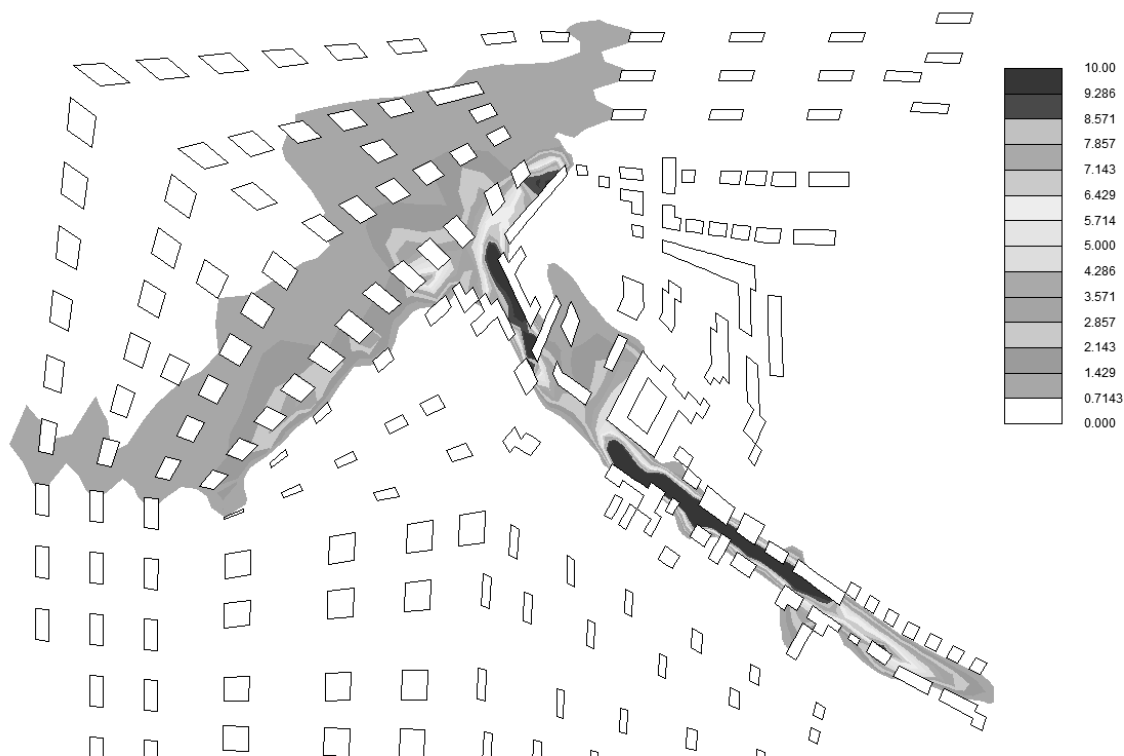
Řešení počítá s advektivním a difúzním způsobem přenosu látek ve vypočteném proudovém poli vzduchu. Difúze je uvažována jak molekulární, tak turbulentní vlivem komplexní vírové struktury unášejícího proudu. Použité zjednodušení řešení spočívá v zanedbání depozičních mechanismů (s výjimkou šíření PM10), které se na krátkých vzdálenostech projevují velice omezeně. Řešení bylo realizováno s nulovou koncentrací pozadí. Výsledky znázorňují příspěvek liniových zdrojů na celkové imisní koncentraci v oblasti.

Ukázka vypočtených koncentračních polí měrné emise na modelové oblasti Okříšky je vyobrazena na obr. 6 a obr. 7. Vyjádřené imisní zatížení je uvedeno ve formě měrné imise, která poskytuje kvalitativní přehled o tvarech koncentračních polí. Skutečnou koncentraci znečišťující látky získáme vynásobením měrné imise poměrem skutečné a měrné emise produkované automobily na komunikaci.

Obr. 6: Vypočtené koncentrační pole měrné emise pro jižní vítr o rychlosti 2 m/s



Obr. 7: Vypočtené koncentrační pole měrné emise pro JV vítr 2 m/s



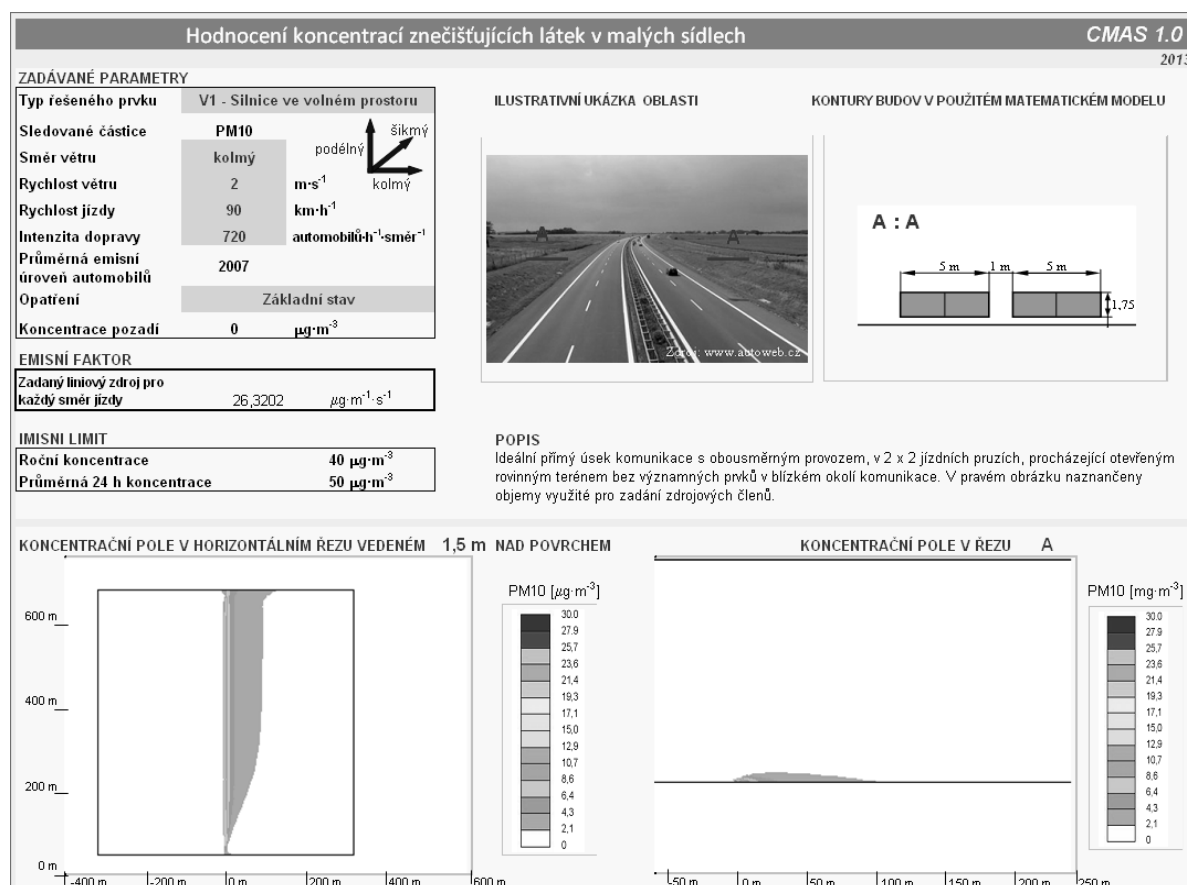
## 5. Tvorba databáze koncentračních polí

Aby vypočtená koncentrační pole nezůstala pouze obsahem průběžných zpráv projektu, byla zpracována do podoby databáze koncentračních map. Tato databáze představuje nástroj pro rychlou orientaci ve výsledcích a praktický nástroj pro hodnocení podobných oblastí.

Databáze vytváří interaktivní pomůcku umožňující rychlé vyhledání odpovídající řešené situace a zobrazení dosažených výsledků, které pomohou budoucím uživatelům při hodnocení imisní zátěže obdobných sídel. Vzhledem ke skutečnosti, že v těsné blízkosti zdrojů emisí a v prostředí městské zástavby „pod střechami budov“ není možno použít běžné doporučené rozptylové modely, představuje tvořená databáze jedinou možnost, jak rychle hodnotit lokální oblasti podél dopravních komunikací se zohledněním konkrétní geometrie budov a charakteristik provozu.

Do databáze jsou vkládány výstupy výpočtů, u kterých je očekáváno jejich další využití. Každé vložené koncentrační pole je identifikováno popisem geometrie řešeného prvku, popisem odpovídajících meteorologických podmínek (rychlost a směr větru), parametrů dopravy (rychlost jízdy, intenzita provozu), základní průměrnou emisní úrovní automobilů a koncentrací pozadí.

Obr. 8. Ukázka grafického rozhraní databáze koncentračních map



Pro volbu příslušných parametrů jsou využita roletová menu, která slouží pro zobrazení aktuální nabídky parametrů, pro které jsou v databázi dostupné

výsledky. Roletová menu jsou v současné verzi databáze dostupná u všech hodnot veličin podbarvených pozadím cihlové barvy.

### **Poděkování**

*Tato práce vznikla jako součást řešení projektu VaV „Kvantifikace znečištění ovzduší a z něj vyplývajících zdravotních rizik v malých sídlech České Republiky a systém řešení“ č. TA02021267, financovaného Technologickou agenturou ČR.*

*Výsledky, které zde byly publikovány jsou výstupem spolupráce společností Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., ENVltech Bohemia, s.r.o. a NETME Centre, regionálního výzkumného a vývojového centra vybudovaného z finančních prostředků Operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace v rámci projektu NETME Centre (Nové technologie pro strojírenství), Reg. č.: CZ.1.05/2.1.00/01.0002 a podporovaného v navazující fázi udržitelnosti prostřednictvím projektu NETME CENTRE PLUS (LO1202) za finančního přispění Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy v rámci účelové podpory programu “Národní program udržitelnosti I.”*

## **Air pollution dispersion from line sources in small settlements**

**Jiří Pospíšil<sup>1</sup>, Jiří Huzlík<sup>2</sup>, Roman Ličbinský<sup>2</sup>, Pavel Chaloupecký<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Brno University of Technology*

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

<sup>3</sup> *ENVltech Bohemia, s.r.o.*

e-mail:pospasil.j@fme.vutbr.cz

### **Abstract**

This paper discusses the dispersion of pollutants in small settlements. The main attention is focused on the spread of air pollutants from line sources representing roads. The numerical modeling is used for identification of the imission concentration fields in selected locations, supplemented by local measurements. The aim of the work is identification of the impact of a particular configuration of buildings on the dispersion of pollutants. A large number of calculated concentration maps are processed into database that allows quick evaluation of similar situations not requiring immediate solutions of new situations.



# Metodika kvantifikace emisí statistickými metodami

Jiří Huzlík

Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.

Líšeňská 33a, 613 00 Brno

e-mail: jiri.huzlik@cdv.cz

## Abstrakt

Metodika je určena pro zpracování dat pokročilými statistickými metodami, k využívání a interpretaci osobami, které mají dostatečné znalosti a zkušenosti s využíváním metod vícerozměrné analýzy dat, lineární algebry a orientují se v problematice znečištění ovzduší. Slouží k objasnění nejvhodnějších postupů pro odhad podílů jednotlivých zdrojů na základě měření chemického znečištění ovzduší včetně příspěvku dopravy. V článku jsou stručně popsány její principy, postup výpočtů a interpretace výsledků.

## 1. Úvod

Ve výfukových plynech je obsaženo značné množství látek, které působí toxicky a genotoxicky, některé mají i karcinogenní účinky. Další, jako např. oxid uhličitý, oxid dusný nebo methan, přispívají k dlouhodobému oteplování atmosféry, k tzv. "skleníkovému efektu". Nejvýznamnější škodlivé látky z dopravy znečišťující ovzduší jsou:

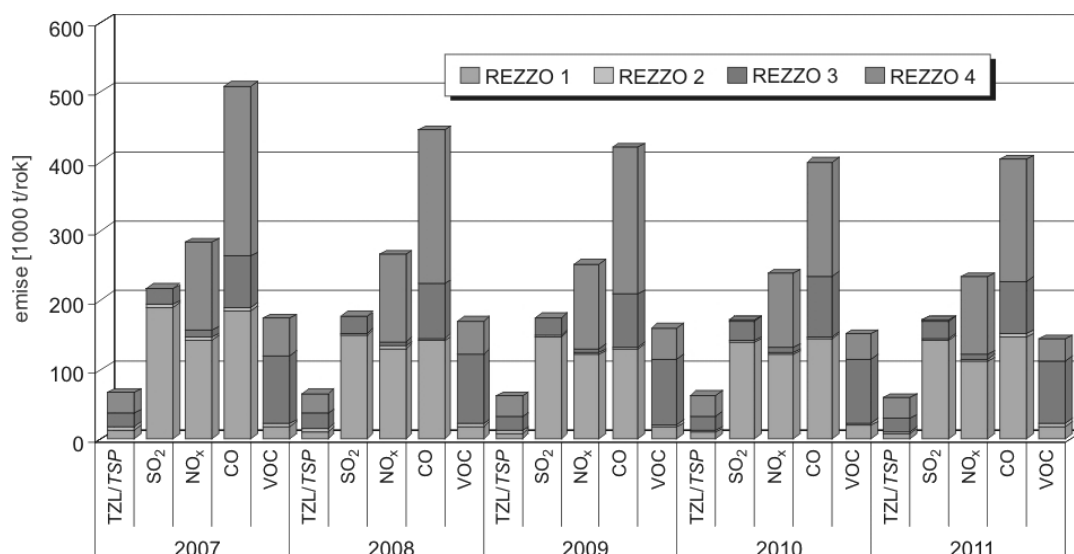
- *Skleníkové plyny* - oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ), methan ( $\text{CH}_4$ ), oxid dusný ( $\text{N}_2\text{O}$ ).
- *Látky, na které se vztahují emisní limity* - oxid uhelnatý (CO), oxidy dusíku ( $\text{NO}_x$ ), těkavé organické látky s výjimkou methanu (NMVOC, HC), pevné částice suspendované v ovzduší (PM).
- *Látky nelimitované, s toxickými účinky na lidské zdraví* - olovo (Pb), oxid siřičitý ( $\text{SO}_2$ ), polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH), ozón ( $\text{O}_3$ ) a řada dalších látek.

Problematika znečištění ovzduší škodlivými plynnými i tuhými látkami je velmi aktuální a je jednou z priorit výzkumu nejen u nás, ale i ve světě. Stále je však řada nejasností ve vztahu k identifikaci jednotlivých zdrojů přispívajících k celkovému znečištění. Proto byla vytvořena metodika [1], která popisuje postup pro kvantifikaci jednotlivých zdrojů znečištění ovzduší na základě měření chemického složení škodlivin obsažených ve vzduchu s využitím statistických metod a receptorového modelování. Jedná se tedy o kvantifikaci příspěvků emisních zdrojů k imisím.

Z obr. 1. je zřejmé, že podíl dopravy na produkci emisí tuhých znečišťujících látek (TZL),  $\text{NO}_x$  a CO je zhruba 50 %. Podíl VOC z dopravy činí cca 25 % a podíl  $\text{SO}_2$  je zanedbatelný, protože od roku 2003 byly zavedeny nižší limity pro obsah síry v benzínu i v motorové naftě. Tabulkové vyjádření emisí produkovaných jednotlivými druhy dopravy lze nalézt v Ročence dopravy [2].

Ačkoli výfukové plyny představují směsi skládající se z více než 100 látek [3], limitují předpisy pro výfukové emise pouze CO,  $\text{NO}_x$ , HC a PM. PM jsou limitovány pouze u vznětových motorů neboť jejich množství i velikost je oproti benzínovým motorům řádově vyšší. Emise uhlovodíků a oxidů dusíku jsou v případě některých legislativních předpisů vyjádřeny jako součet HC a  $\text{NO}_x$  [4]. Z hlediska vlivu na zdraví člověka jsou nejvýznamnější emise pevných částic u automobilů se vznětovými motory, které představují vysoké karcinogenní riziko [5].

Obr. 1: Časové porovnání podílů emisí jednotlivých kategorií



Zdroj: ČHMÚ

## 2. Matematicko – statistické postupy

Používání metodiky předpokládá znalosti vícerozměrných statistických metod analýzy dat, jako jsou např. metoda hlavních komponent (PCA), faktorová analýza (FA), vícerozměrná regrese (MRA) [5]. Dále je výhodné, když uživatel metodiky disponuje základními znalostmi vektorové algebry. K aplikaci metodiky je rovněž nutné vybavení programem QC.Expert, verze 3.3 nebo vyšší, která má implementován jazyk DARWin.

V metodice byla zvolena ke kvantifikaci příspěvků jednotlivých zdrojů znečištění ovzduší a receptorového modelování faktorová analýza ve spojení s metodou absolutních komponentních skóre a vícerozměrné regrese. Faktorová analýza je vícerozměrná technika k vyšetření vnitřních vztahů a souvislostí a odhalení základní struktury zdrojové matice dat. Základní princip FA spočívá v tom, že každá z měřených veličin může být vyjádřena jako součet lineární kombinace menšího počtu nepozorovatelných (skrytých) náhodných veličin - tzv. společných faktorů a dalšího zdroje variability - tzv. specifické (reziduální) složky. Každý společný faktor pak představuje jeden nebo skupinu podobných zdrojů znečištění ovzduší. Jako vstup pro výpočty slouží datová matice, jejíž řádky odpovídají jednotlivým měřením (vzorkům) a sloupce proměnným, tj. měřeným polutantům. Za proměnné je nutné zvolit ty polutanty, které charakterizují předpokládané zdroje znečištění. Pro faktorovou analýzu se doporučuje minimálně 5, optimálně až 20 vzorků na jednu proměnnou [6].

K posouzení, zda má smysl provádět faktorovou analýzu (tj. zda korelace mezi pozorovanými veličinami jsou vysvětlitelné pomocí skrytých veličin) slouží Kaiserova – Meierova – Olkinova statistika (KMO statistika), která nabývá hodnot mezi 0 a 1. Pokud je KMO menší než 0,50, je faktorová analýza nepřijatelná. Existuje řada postupů pro FA. V metodice byla použita metoda hlavních faktorů, která spočívá v aplikaci metody hlavních komponent (PCA), která se provádí iteračním postupem.

V explorativní faktorové analýze se vyskytují různá doporučení, jak počet společných faktorů zvolit. Pokud nelze předpokládat vícerozměrné normální

rozdělení dat, nemůžeme pro volbu počtu faktorů použít běžné statistické testy. V metodice byla použita metoda Hornovy paralelní analýzy, která na základě simulačních výpočtů umožňuje vypočíst počet skrytých proměnných. Z faktorového modelu se vyloučí tzv. triviální faktory, tj. faktory, které korelují pouze s jednou z naměřených veličin. Tyto faktory reprezentují samostatné zdroje znečištění.

Pro odhad příspěvku jednotlivých zdrojů PM se používá metody absolutních komponentních skóre (Absolute Principal Component Scores – APCS) ve spojení s MRA. APCS jsou transformovaným výstupem z FA a jsou v úzkém vztahu k průběhu znečištění příslušným polutantem z daného zdroje. Použitím lineární regresní analýzy APCS proti jednotlivým polutantům, které jsou v tomto případě závisle proměnnou a APCS jsou nezávisle proměnnou, se získají jejich příspěvky ke znečištění ovzduší od jednotlivých identifikovaných zdrojů. Ty se spočtou z vypočtených regresních koeficientů jejich vynásobením průměrnou hodnotou APCS pro každý společný faktor jako absolutní příspěvek, který se z celkové koncentrace polutantu přepočte na procentuální příspěvky zdrojů. Podobným způsobem lze získat vynásobením regresních koeficientů průměrnou hodnotou pro příslušnou lokalitu a sledované období, případně přímo vynásobením vypočtených jednotlivých APCS regresními koeficienty příspěvky faktorů pro jednotlivá měření.

### 3. Praktický postup

K výpočtu v prostředí QC.Expert se použije skriptu, nazvaného APCS\_1.0.qcf. K fungování tohoto skriptu je třeba mít uložen tento soubor na harddisku ve vhodné složce.

Tab. 1: Tabulka dat – příklad (část)

Date	ace	flu	bap	bghipe	bzn	tol	oxy	TEX
01/01/2011	89	26	3.2	1.6	1.61	6.48	1.82	14.09
04/01/2011	140	34	5.1	3	4.08	6.98	2.24	15.97
...	...	...	...	...	...	...	...	...
03/02/2011	120	24	4.6	2.4	1.85	7.07	3.32	20.34
06/02/2011	34	11	4.8	3.5	1.45	7.11	2.69	18.11
09/02/2011	290	50	18	8.8	3.49	11.98	6.64	37.9
12/02/2011	210	35	13	6.5	-9999	-9999	-9999	-9999
15/02/2011	300	69	22	9.4	-9999	-9999	-9999	-9999
18/02/2011	260	71	11	6.5	-9999	-9999	-9999	-9999
21/02/2011	98	37	7.7	3.5	-9999	-9999	-9999	-9999
24/02/2011	180	73	14	5.9	-9999	-9999	-9999	-9999
27/02/2011	290	55	17	9.8	-9999	-9999	-9999	-9999
02/03/2011	27	19	12	6.7	1.74	4.91	1.84	12.65
05/03/2011	59	22	4	2	2.24	6.25	2.83	17.32
08/03/2011	88	20	7.7	4	1.38	4.47	1.59	10.89
11/03/2011	57	16	4.2	2.4	0.95	5.63	1.96	13.94
14/03/2011	93	23	3	2.1	0.94	6.19	2.36	16.22
...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...
24/12/2011	88	16	2.2	1.2	2.56	5.98	1.34	12.39
27/12/2011	160	29	6.5	3.3	0.8	7.03	1.77	15.23
30/12/2011	76	39	2.5	1.2	0.86	5.28	1.1	10.54

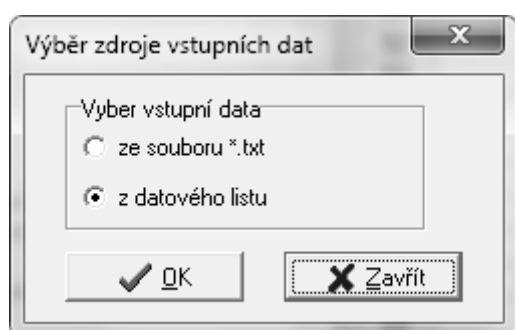
Zdroj: autor

Vstupní datová matice obsahuje výsledky měření imisí v jednotlivých řádcích v závislosti na době měření a ve sloupcích jednotlivé škodliviny (Tab. 1.). Matice se zkopíruje z MS Excel do datového listu programového prostředí QC.Expert.

Tato matice musí mít na prvním řádku názvy proměnných. Místo nedefinovaných hodnot proměnných se do příslušných buněk uvede hodnota „-9999“ (bez uvozovek). V prvním sloupci jsou názvy vzorků nebo měření, obvykle se jedná o časový údaj. Pokud je v datové matici více než 65 536 řádků, uloží se data do textového souboru.

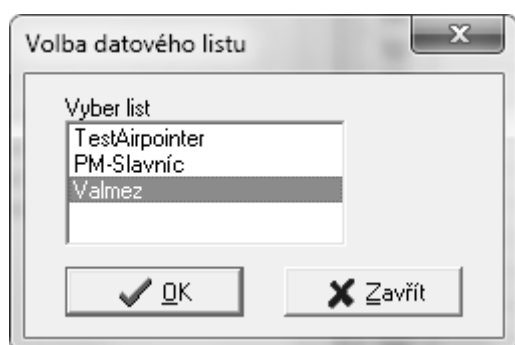
Výpočet se spouští v QC.Expert z prostředí DARWin po načtení souboru APCS\_1.0.qcf z menu DARWin, příkazem APCS. V prvním dialogovém okně (obr. 2) se vybere zdroj dat.

Obr. 2: Dialogové okno k volbě datového zdroje (zdroj: autor)

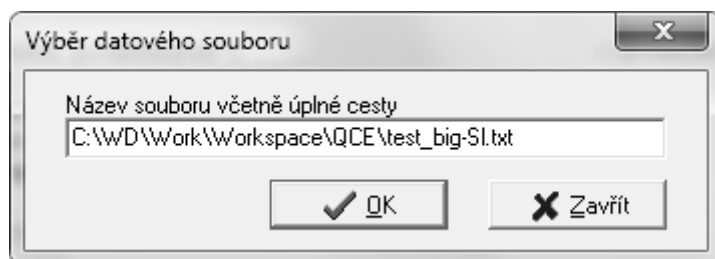


Po potvrzení volby se v závislosti na zvoleném datovém zdroji objeví další dialogové okno podobné buď obr. 3., nebo obr. 4. Ve druhém dialogovém okně se zvolí datový list určený pro výpočty podle jeho názvu nebo zadáním názvu a úplné cesty k textovému souboru.

Obr. 3: Dialogové okno k volbě datového listu (zdroj: autor)

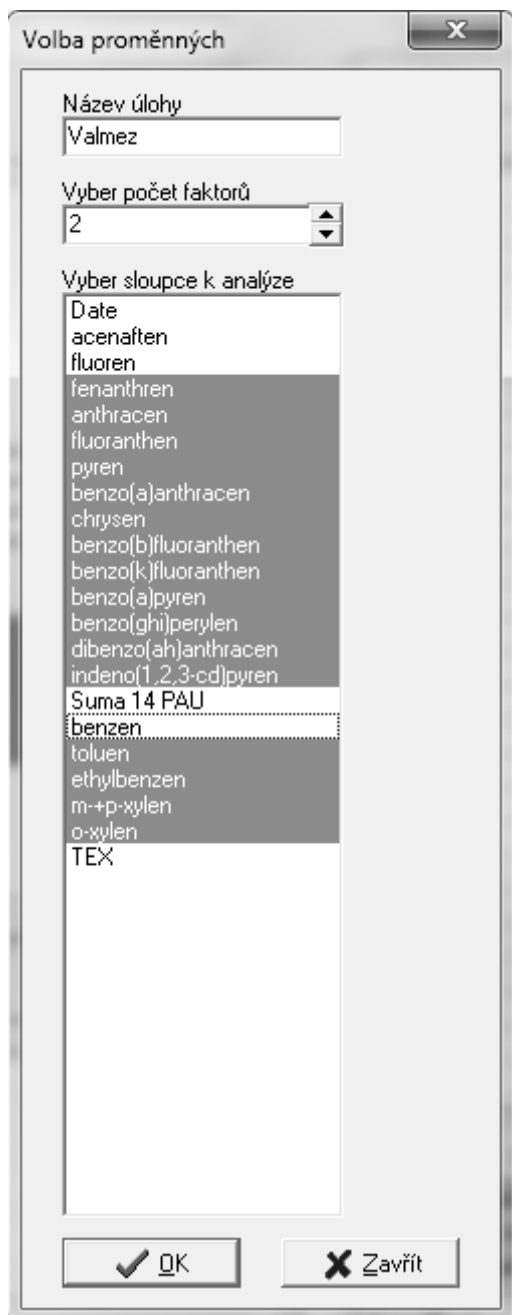


Obr. 4: Dialogové okno k volbě datového souboru (zdroj: autor)



Po zadání datového listu nebo datového souboru se objeví dialogové okno znázorněné na obr. 5. Zde se vyberou sloupce použité k výpočtům, zvolí se předběžně odhadovaný počet faktorů a název úlohy, který se objeví ve výsledcích a jako název listu výstupního protokolu.

Obr. 5: Dialogové okno k volbě proměnných, počtu faktorů a názvu úlohy (zdroj: autor)



Tlačítkem OK se spustí výpočet. Z analýzy vypočtených výsledků a grafů se odhadne zpřesnění modelu při dalších výpočtech:

Vynechají se triviální faktory, tj. proměnné, které mají vysokou hodnotu zátěže pouze v jednom faktoru, podle grafu úpatí vlastních čísel se zpřesní počet faktorů a provede se nový výpočet. Pokud se objeví po dalším výpočtu nové triviální faktory, popsany postup se opakuje.

- Pokud jsou ve výsledcích výpočtů faktorových zátěží přítomny proměnné se zátěží menšími než 0,5, vynechá se proměnná s nejmenší hodnotou MSA a případně se zpřesní počet faktorů. Postup se opakuje, pokud není uvedené kritérium splněno.

- Pokud je hodnota KMO kritéria menší než 0,5, vynechá se proměnná s nejmenší hodnotou MSA a případně se zpřesní počet faktorů. Postup se opakuje, pokud není uvedené kritérium splněno.
- Pokud klesne ve kterékoli fázi počet proměnných na 3 nebo počet faktorů na jeden, data nejsou vhodná pro faktorovou analýzu.
- Při popsaném postupu je třeba postupovat uvážlivě a nevyřazovat proměnné, jejichž výpočet původu je prioritní. Je vždy nutné posuzovat komplexně celý hodnocený soubor dat.

Výstup ze skriptu se ukládá v prostředí QC.Expert do modulu Protokol. Odsud se ukládá jako soubor MS Excel 97 (\*.xls). Hlavní výsledky z výstupu skriptu po prvním kroku vypadají např. takto:

Název úlohy Valmez APCS 1  
 Čas zpracování: 20/11/2013 18:22:45.914  
*Hodnoty MSA ve sloupci s návrhem na vyřazení proměnné s nejmenší hodnotou:*

Výsledky testů

MSA:

Látka	MSA
acenaften	0.3061805252
fluoren	0.311709256
fenanthren	0.3247024944
anthracen	0.3088799116
fluoranten	0.3053493676
pyren	0.2761757072
benzo(a)anthracen	0.2804773815
chrysen	0.2792290286
benzo(b)fluoranten	0.265243568
benzo(k)fluoranten	0.2609078623
benzo(a)pyren	0.281903623
benzo(ghi)perylen	0.2923076549
dibenzo(ah)anthracen	0.4166135411
indeno(1,2,3-cd)pyren	0.286151196
benzen	0.6241155543
toluen	0.6433093147
ethylbenzen	0.641059002
m-+p-xylen	0.6509174202
o-xylen	0.6434849739
Vyřadit:	
benzo(k)fluoranten	0.2609078623 ?

Podle výsledku výpočtu je kandidátem na případné odstranění benzo(k)fluoranthen.

*Hodnoty statistických kritérií:*

KMO=	0.8977709504
Bartlettův test:	
chí-kvadrát=	5712.615978
chí-kvadrát krit.=	201.6937631
p=	0

Z uvedených testů vyplývá přijatelnost FA s vynikající vhodností pro analýzu dat.

*Faktorová analýza (slovní hodnocení výsledků výpočtů):*

Z vypočtených komunalit je patrné, že benzen a do jisté míry i toluen mají zdroj, který není společný s ostatními zdroji. Podle vypočtených faktorových zátěží data reprezentují dva zdroje. První přispívá ke znečištění ovzduší PAH, druhý těkavými aromáty s výjimkou benzenu. Ten má pravděpodobně samostatný zdroj, částečně

ke znečištění přispívá stejný zdroj, jako je zdroj PAH. Zdroj ostatních těkavých aromátů ke znečištění ovzduší benzenem nepřispívá.

#### Výsledky příspěvků faktorů k produkci emisí:

Příspěvky zdrojů ke znečištění jednotlivými škodlivinami - relativně %

Látka	Unresolved	F1	F2Abs.	Odch. modelu %
acenaften	0	81.2	12.3	6.43
fluoren	0	57.6	14.2	28.18
fenanthren	0	49.5	11.0	39.47
anthracen	0	71.4	10.8	17.86
fluoranten	0	66.5	22.0	11.54
pyren	0	71.6	18.9	9.47
benzo(a)anthracen	-30.3	98.1	32.2	0.02
chrysen	0	96.4	12.8	9.21
benzo(b)fluoranten	-8.0	90.3	17.6	0.09
benzo(k)fluoranten	-6.5	90	16.6	0.10
benzo(a)pyren	0	92.3	16.7	9.04
benzo(ghi)perylen	0	80.7	16.9	2.38
dibenzo(ah)anthracen	38.4	69.6	-7.2	0.84
indeno(1,2,3-cd)pyren	0	86.2	14.2	0.42
benzen	0	39.6	20.8	39.55
toluen	37.0	5.6	57.3	0.13
ethylbenzen	10.5	3.3	85.8	0.42
m-+p-xylen	0	0.8	101.6	2.44
o-xylen	-4.9	1.8	102.9	0.24

Výsledky výpočtů APCS ukazují relativní příspěvky jednotlivých zdrojů ke znečištění ovzduší jednotlivými škodlivinami. Unresolved (U) znamená modelem nerozlišené zdroje. První faktor odpovídá vzhledem ke svému charakteristickému průběhu (vysoké koncentrace v chladných obdobích, nízké v teplých obdobích) lokálním topeništím, druhý dopravě. Pozornost zasluhuje vysoký záporný příspěvek ke znečištění ovzduší benzo[a]anthracenem. Příspěvky zdrojů ke znečištění acenaftenem a fenanthrenem byly po prvním kroku výpočtů statisticky nevýznamné, byly v dalším postupu vynechány z výpočtů. Vzhledem k tomu, že komunity benzenu byly i po druhém kroku stále nízké stejně jako hodnoty faktorových zátěží, byl v dalším kroku benzen z výpočtů vynechán. Ve výsledcích se po třetím kroku neprojeví žádné další zvláštnosti a výpočet může být považován za ukončený. Porovnání výsledků výpočtů v jednotlivých krocích pro benzo[a]pyren a toluen jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 2: Výsledky výpočtů v závislosti na pořadí výpočtu (krok) – příklad (zdroj: autor)

Polutant	Zdroj	Krok	1	2	3
BaP	U	rel %	0.0	0.0	0.0
		abs ng.m <sup>-3</sup>	0.00	0.00	0.00
	1.	rel %	92.3	88.4	86.9
		abs ng.m <sup>-3</sup>	3.26	3.12	3.07
	2.	rel %	16.7	16.4	16.7
		abs ng.m <sup>-3</sup>	0.59	0.58	0.59
Tol	U	rel %	37.0	37.3	37.3
		abs ng.m <sup>-3</sup>	2.44	2.46	2.46
	1.	rel %	5.6	5.3	5.2
		abs ng.m <sup>-3</sup>	0.37	0.35	0.34
	2.	rel %	57.3	57.4	57.6
		abs ng.m <sup>-3</sup>	3.78	3.79	3.8

## 4. Závěr

V práci byl ukázán postup při hodnocení příspěvků jednotlivých zdrojů znečištění jednotlivými aromatickými uhlovodíky. Byly identifikovány dva zdroje znečištění aromatickými uhlovodíky, lokální spalování a doprava. Kromě toho v dané lokalitě působí další samostatný zdroj znečištění ovzduší benzenem, pravděpodobně jde o průmysl. U některých látek bylo zjištěno, že jejich část pochází z blíže nespecifikovaných a nerozlišených zdrojů.

Při hodnocení výsledků z výstupu je třeba vycházet ze znalostí postupů FA [6] a dbát na to, aby byly splněny podmínky statistických testů implementovaných ve skriptu. Rovněž je nutné vzít v úvahu konkrétní situaci na lokalitě, tj. relevantnost přítomných emisních zdrojů.

## Literatura

- [1] HUZLÍK, J., KUPKA, K. *Kvantifikace emisí*. Metodika uplatnění výsledků výzkumu. Brno 2013. 48 s.
- [2] *Ročenka dopravy 2012*. MD ČR 2013. Dostupné z: <[https://www.sydos.cz/cs/rocenka-2012/rocenka/htm\\_cz/index.html](https://www.sydos.cz/cs/rocenka-2012/rocenka/htm_cz/index.html)>.
- [3] ŠEBOR, G. *Emise ze spalování motorových paliv*. Praha: VŠCHT a ÚVMV, 1996.
- [4] DUFEK, J. a kol. *Stabilizace a postupné snižování zátěže životního prostředí z dopravy v České republice*. Brno: Centrum dopravního výzkumu, 2000.
- [5] ADAMEC, V. et al. *Kompendium ochrany kvality ovzduší (část 5). Znečištění ovzduší z dopravy*. Ochrana ovzduší. č. 2 2005. Příloha časopisu, 28 stran.
- [6] Meloun, M, Militký, J. *Statistická analýza experimentálních dat*. ACADEMIA 2004. 953 s. ISBN 80-200-1254-0.

## Poděkování

*Tato práce vznikla jako součást řešení projektu VaV „Nové postupy při kvantifikaci emisních zdrojů ve vztahu k dopravě“ č. TA01030548, financovaného Technologickou agenturou ČR.*

## New methods for quantifying of the emission sources in relation to transport

Jiří Huzlík

*Transport Research Centre*

*Líšeňská 33a, 636 00 Brno*

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

## Abstract

The methodology is intended for advanced data processing by statistical methods, for the use and interpretation by persons who have sufficient knowledge and experience in the use of methods of multivariate data analysis, linear algebra and who are oriented in the issue of air pollution. It serves to clarify of best practices for estimate of individual pollution sources based on measurements of chemical air pollution, including the contribution of the transport. The article briefly describes the principles, processes of calculations and interpretation of results.



# Emisní bilance z dopravy v ČR

**Jakub Tichý, Jiří Jedlička**

*Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.*

*Líšeňská 33a, 636 00 Brno*

e-mail: jakub.tichy@cdv.cz, jiri.jedlicka@cdv.cz

## Abstrakt

Česká republika, stejně jako ostatní státy Evropské Unie, je zavázána k reportingové činnosti v oblasti emisí skleníkových plynů a látek znečišťujících ovzduší, a to jak za stacionární, tak mobilní zdroje. Zodpovědnou organizací za reporting je Český hydrometeorologický ústav spolupracující v této věci s jinými odbornými organizacemi. Emisní bilanci z dopravy spravuje v ČR Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., které má pro účely stanovení emisí látek znečišťujících ovzduší zpracovanou schválenou metodiku. Metodika není na rozdíl od evropských nástrojů (COPERT 4, HBEFA) tolik náročná na vstupní data a navíc umožňuje spočítat i emise produkované nesilniční dopravou (železniční, lodní, letecká). Vývojové trendy vybraných ukazatelů z dopravy jsou každoročně prezentovány a komentovány nejen v rámci mezinárodních úmluv orgánům EU a OSN, ale také v řadě dokumentů na národní úrovni zpracovaných pro příslušná ministerstva (zejména Ministerstvo životního prostředí a Ministerstvo dopravy).

## 1. Úvod

V oblasti emisí látek znečišťujících ovzduší musí Česká republika stejně jako ostatní země Evropské Unie podávat reporting o množství emisí produkovaných jednotlivými zdroji znečištění, jež se dále dělí na zdroje stacionární a mobilní. Zpracování emisního reportingu za stacionární i mobilní zdroje jsou v kompetenci MŽP ČR resp. její příspěvkové organizace ČHMÚ (Český hydrometeorologický ústav), přičemž emisní produkci za mobilní zdroje zpracovává Centrum dopravního výzkumu, v. v. i. Výstupy emisní bilance skleníkových plynů slouží jako podklady pro zpracování reportingu v rámci Národního inventarizačního systému (National Inventory System, NIS) [1] mezinárodnímu vědeckému orgánu, kterým je Mezivládní panel pro změnu klimatu (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC). NIS podléhá Rámcové úmluvě OSN o změně klimatu (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) a jejímu Kjótskému protokolu [2] přijaté za účelem regulace emisí skleníkových plynů. Velmi významným faktorem je i provázanost na systém obchodování s emisemi (Emission Trading System, ETS), kde ETS představuje důležitý nástroj pro dosažení závazků jednotlivých členských zemí zapojených do tohoto systému k redukci emisí skleníkových plynů. Výstupy emisní bilance ostatních látek znečišťujících ovzduší jsou reportovány v rámci Úmluvy o dálkovém znečišťování ovzduší přesahujícím hranice států (Convention on Long-range Transboundary Air Pollution, CLRTAP) [3] orgánu Evropské hospodářské komise OSN (United Nations Economic Commission for Europe, UNECE). V neposlední řadě jsou emisní bilance z dopravy uplatněny v oblasti statistiky vývoje dopravy z hlediska životního prostředí v ČR na národní úrovni jako součást dokumentů:

- Ročenka dopravy ČR,
- Statistická ročenka životního prostředí ČR,

- Studie o vývoji dopravy z hlediska životního prostředí v ČR,
- Zpráva o životním prostředí ČR.

Závěrem je třeba zdůraznit i fakt, že se údaje z emisní bilance dostávají do pravidelných, avšak ne každoročních reportů ČR vůči nadnárodním orgánům EU.

## **2. Zdroje znečišťování v ČR**

Zdroje emitující do ovzduší znečišťující látky jsou celostátně sledovány v rámci tzv. Registru emisí a zdrojů znečišťování ovzduší (REZZO) [4]. Stacionární zdroje jsou dále členěny podle tepelného výkonu, míry vlivu technologického procesu na znečišťování ovzduší nebo rozsahu znečišťování do třech skupin, a to na velké, střední a malé zdroje znečišťování (REZZO 1-3). Co se týká velkých a středních zdrojů znečišťování, tak existuje celá řada přísných legislativních omezení pro filtraci škodlivin související s provozním řádem každého konkrétního bodového zdroje. Poměrně komplikovanější je situace ve vztahu s výpočtem emisní bilance zdrojů složitěji kontrolovatelného charakteru, kterými jsou domácnosti (nejistá znalost zařízení ke spalování paliv) spadající do REZZO 3 a zejména mobilní zdroje znečišťování (REZZO 4). Skupinu mobilních zdrojů tvoří veškerá pohyblivá zařízení se spalovacími nebo jinými motory převážně z kategorie silniční, železniční, lodní a letecké dopravy. Mimo jiné však do skupiny mobilních zdrojů patří také mobilní stroje užívané např. v sektoru zemědělství, lesnictví, stavebnictví či armádě. Nejistota produkce emisí mobilních zdrojů je největší v případě klíčové kategorie silniční dopravy a spočívá zejména ve velkém množství vozidel a jejich vybaveností různými typy moderních účinných katalyzátorů, které musí zajistit pro konkrétní škodliviny plnění příslušného emisního limitu.

## **3. Metodika výpočtu emisní bilance v Evropě**

V rámci EU se pro výpočet emisní bilance z dopravy používá několik modelů, přičemž k nejznámějším patří v první řadě program COPERT 4 (vycházející z metodiky CORINAIR) [5], který vznikl a je dále vyvíjen ve spolupráci s Evropskou agenturou pro životní prostředí (European Environment Agency, EEA) a Společným výzkumným střediskem Evropské komise (Joint Research Centre, JRC). Téměř polovina evropských států užívá pro své výpočty program COPERT nebo alespoň ty, jež nějakým způsobem vychází z této metodiky. Druhým nejrozšířenějším nástrojem v této oblasti v Evropě je příručka emisních faktorů pro silniční dopravu (The Handbook Emission Factors for Road Transport, HBEFA) [6] vyvinutá agenturami pro ochranu životního prostředí Německa, Rakouska a Švýcarska. Časem získala stejně jako COPERT podporu ze strany Evropské Komise a dalších států, které jej dnes rovněž používají pro výpočty emisní bilance ze silniční dopravy. Poslední nejmenší skupinou, do které spadá např. Česká republika nebo Finsko, je skupina využívající svůj vlastní model pro výpočet produkce emisí vybraných škodlivin z dopravy (v ČR vypracováno CDV).

## **4. Metodika výpočtu emisní bilance v ČR**

Model pro výpočet produkce emisí z dopravy v ČR vychází z „Metodiky stanovení emisí látek znečišťujících ovzduší z dopravy“ [7], která vznikla jako jeden z realizačních výstupů projektu VaV „Stabilizace a postupné snižování zátěže životního prostředí z dopravy v České republice“. Metodika byla schválena

v oponentním řízení za účasti zástupců MŽP ČR (odbor ochrany ovzduší), MD ČR (odbor dopravní politiky, mezinárodních vztahů a životního prostředí, odbor civilního letectví a odbor vodní dopravy) a řešitelů předkládané metodiky. Na rozdíl od evropských metodik zahrnuje metodika CDV nejen emise ze silniční, ale také, již od svého počátku, emise z nesilniční dopravy (železniční, lodní, letecká). S pomocí dat z projektu Celostátního sčítání dopravy (2000, 2005 a 2010) [8] a pravidelných reportů Řízení letového provozu (2000-2013) [9] stanovuje produkci emisí i na krajské úrovni. Nedílnou součástí metodiky je databáze emisních faktorů (aplikace MS Access), která obsahuje a statisticky vyhodnocuje hodnoty emisí naměřené jak v ČR, tak i v zahraničí, v závislosti na druhu a stáří vozidla, používaném palivu, rychlosti a režimu jízdy atd. Databáze zajišťuje, že vypočtené hodnoty emisí jsou funkcí hodnot zjištěných přímým měřením. Existují ovšem i kategorie, a to jak v silniční, tak v nesilniční dopravě, ve kterých CDV nedisponuje naměřenými hodnotami. V těchto případech jsou emisní faktory převzaty z evropské databáze emisních faktorů pro účely inventarizace (EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook) [10]. Metodika je neustále kontrolována a aktualizována v souvislosti s požadavky národních či mezinárodních expertních týmů, jejichž zástupci vyžadují příslušně agregované výstupy. V důsledku těchto požadavků byla mimo jiné rozšířena proti původní verzi o výpočet produkce emisí z motorů nedopravních strojů a prostředků používaných v zemědělství, stavebnictví nebo domácnostech pro účely reportingu orgánům CLRTAP.

Aktuální verze počítá produkci emisí pro 20 kategorií silniční dopravy dle typu vozidla, paliva a vybavení vozidel účinnými katalyzátory, 6 kategorií nesilniční dopravy (železniční, lodní, letecká) a již zmíněné nedopravní stroje. Za nejkomplicovanější výpočetní kategorii je považována silniční doprava, neboť pro výrobce silničních vozidel existuje velké množství legislativních omezení, které vytváří relativně složitou distribuci vozového parku s rozmanitě odstupňovanou vybaveností účinnými katalyzátory redukcími škodlivé emise. Při samotném výpočtu se vychází z množství spotřebovaného paliva, přičemž údaje o spotřebách všech pohonných hmot zajišťuje ČSÚ v souladu s metodikami IEA [11]. Údaje jsou využívány také pro metodiky UNFCCC. Data o spotřebách pohonných hmot za celou Českou republiku jsou na základě aktivitních dat o vozovém parku (statická a dynamická skladba) kategorizovány pro přesnější výpočet emisí jednotlivých škodlivin. Dynamická skladba provozu vozidel je ověřována výběrovým šetřením skladby vozidel podle jejich stáří na jednotlivých typech komunikací tak, aby odpovídala kategorizaci, jak je uvažována v emisním modelu. Metodika pak umožňuje výpočet emisí jakékoliv škodliviny za předpokladu znalosti emisních faktorů vyjádřených v  $\text{g.kg}^{-1}$  paliva za předpokladu, že bude odpovídat kategorizaci vozidel.

Metodika počítá s těmito škodlivinami:

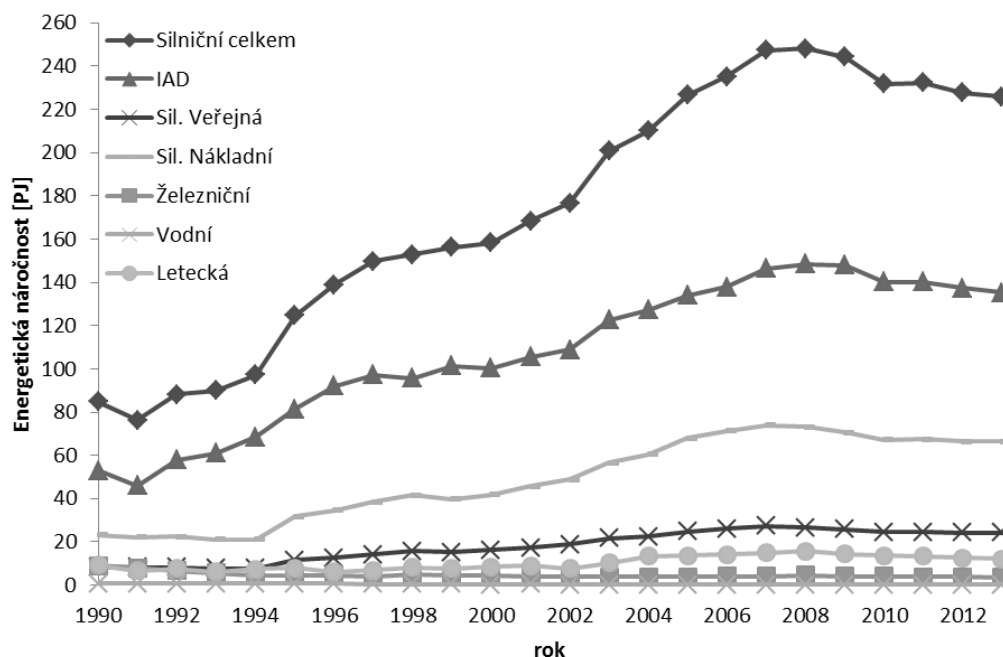
- látky přispívající k dlouhodobému oteplování atmosféry: oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ), metan ( $\text{CH}_4$ ), oxid dusný ( $\text{N}_2\text{O}$ );
- látky s emisními limity danými legislativou: oxid uhelnatý ( $\text{CO}$ ), oxidy dusíku ( $\text{NO}_x$ ), uhlovodíky ( $\text{C}_x\text{H}_y$ ) a pevné částice ( $\text{PM}_{10}$ );
- látky nelimitované s nepříznivými zdravotními účinky: oxid siřičitý ( $\text{SO}_2$ ), olovo ( $\text{Pb}$ ), polyaromatické uhlovodíky (PAH) a polychlorované dibenzodioxiny (PCDD) a dibenzofurany (PCDF), a další.

## 5. Vývojové trendy v ČR

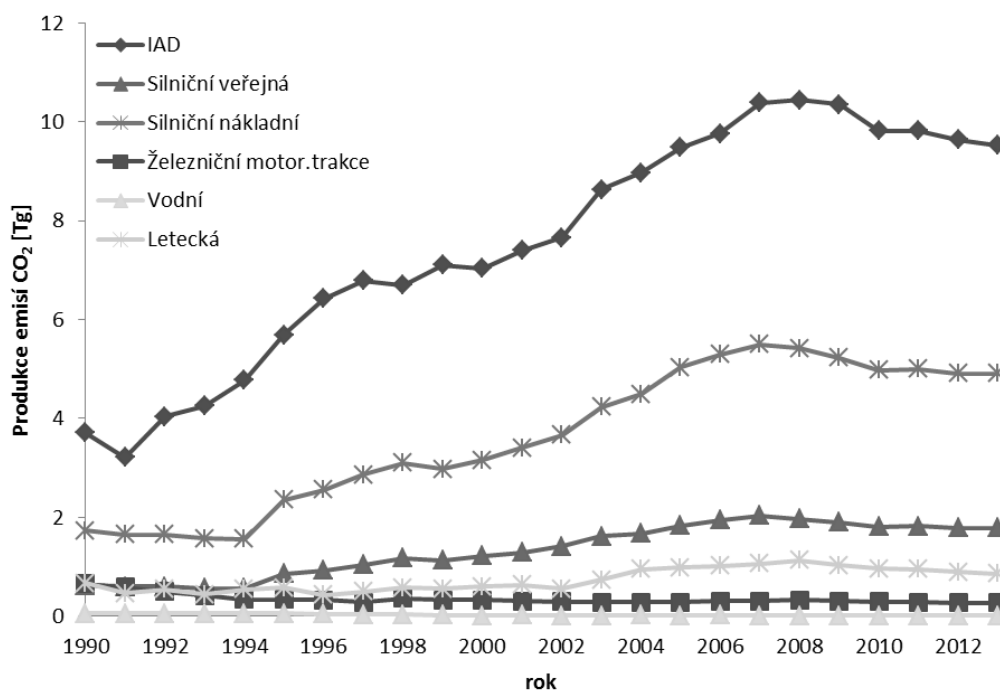
Produkce emisí jednotlivých škodlivin přímo-úměrně závisí na energetické náročnosti, tzn. čím více energie je spotřebováno, tím více emisí je vyprodukováno (míra úměry se liší dle škodliviny). Energetická náročnost jednotlivých kategorií dopravy vychází z množství spotřebovaného paliva příslušnou skupinou mobilních zdrojů pohybujících se prostřednictvím spalovací nebo jiné pohonné jednotky. Do výpočtů energetické náročnosti v ČR jsou zahrnuty pouze mobilní zdroje produkující emisní zatížení in-situ, nikoliv elektrickou energii spotřebovanou elektromobily.

Z grafu energetické náročnosti dopravy na obr. 1 [12] je zřetelné, že silniční doprava je v ČR, vzhledem k hojnému zastoupení vozidel na silniční síti, energeticky nejnáročnějším módem dopravy. S mírnými výkyvy narůstající trend spotřeby energie se dostává do stavu saturace až v roce 2008, přičemž po tomto roce dochází dokonce k postupnému klesání ve spotřebě, do čehož může vstupovat více aspektů. Mezi hlavní příčiny této zásadní změny vývoje trendu spotřeby patří jednoznačně celosvětová ekonomická krize, ale také výroba energeticky méně náročných vozidel nebo v neposlední řadě rozdíly v cenách pohonných hmot v ČR a zahraničí. Do emisní bilance se pak hodnoty energetické náročnosti promítnou následovně.

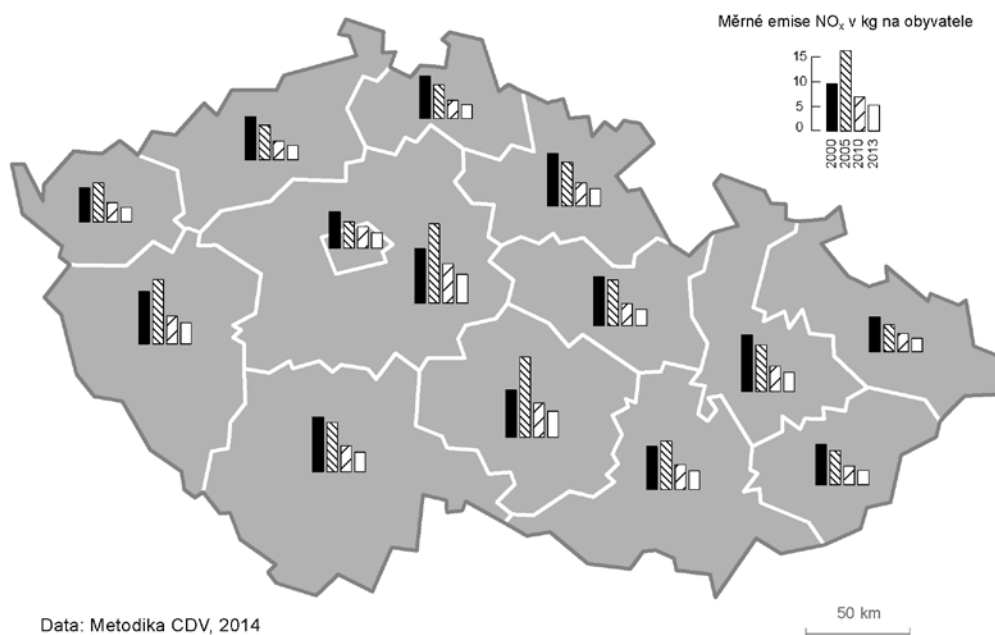
Obr. 1: Vývojový trend energetické náročnosti dopravy v ČR dle módu dopravy



Na grafu produkce emise oxidu uhličitého (obr. 2), jakožto nejvíce sledovaného zástupce skleníkových plynů, je zřetelný trend z velké části kopírující spotřebu energie, neboť do výpočtu jeho produkce nevstupuje rozmanitost distribuce vozového parku vyplývajících z emisních norem (pre-EURO, EURO VI). Z hlediska životního prostředí je jako pozitivní vnímán pokles produkce CO<sub>2</sub> po roce 2008, jež pokračuje až do současnosti. Tento pokles je důsledkem zejména celosvětové ekonomické krize a jejím dopadem na prodej pohonných hmot v České republice.

Obr. 2: Vývojový trend produkce emisí CO<sub>2</sub> z dopravy v ČR dle módu dopravy

Emisní bilance NO<sub>x</sub> je neméně důležitá než CO<sub>2</sub>, avšak produkce a výskyt této škodliviny je obvykle řešena více na lokální úrovni (regionální nebo místní), kde se hodnotí její negativní dopad, případně dopad některé z jejích frakcí na obyvatele (rozptylová studie). CDV ve svém modelu na základě dat ze Sčítání dopravy počítá produkci emisí a měrné emise z každého kraje, přičemž jsou národní emise na základě dopravního výkonu v jednotlivých krajích desagregována, případně vztažena na obyvatele. Mapa na obr. 3 vyobrazuje vývoj měrných emisí NO<sub>x</sub> z dopravy v jednotlivých krajích v pětiletých intervalech (2000, 2005, 2010) a pro aktuálně poslední výpočetní rok 2013.

Obr. 3: Měrné emise NO<sub>x</sub> [kg/obyvatele] v jednotlivých krajích v letech 2000-2013

## 6. Závěr

Česká republika stejně jako ostatní státy Evropské Unie musí podávat reporting o produkci emisí nejen ze stacionárních, ale i mobilních zdrojů, jejichž počet neustále každoročně narůstá. Také v důsledku tohoto nárůstu se až do roku 2008 zvyšovala i energetická náročnost sektoru dopravy a s tím související produkce člověku a ekosystému škodlivých emisí. Aby mohlo dojít ke změně vývoje tohoto trendu z globálního hlediska, vznikly mezinárodní orgány, které pomocí pravidelného reportingu ze strany jednotlivých států monitorují situaci a podnikají nezbytné kroky. Pro výpočet produkce emisí ze silniční dopravy, která je mimochodem jedním z největších znečišťovatelů ovzduší (zejména ve větších městech), se v Evropě používá například program COPERT 4 nebo HBEFA. V ČR spravuje emisní bilanci z dopravy Centrum dopravního výzkumu, v. v. i. s metodikou schválenou v oponentním řízení jako jeden z výstupů projektu výzkumu a vývoje za účasti zástupců MŽP ČR a MD ČR. Výstupy metodiky jsou pravidelně kontrolovány a její aktivní data v souvislosti s požadavky národních či mezinárodních expertních týmů aktualizována. Nejvíce sledovanou látkou je skleníkový plyn CO<sub>2</sub>, jehož trend byl v celé časové řadě až do roku 2008, s mírnými výkyvy, narůstající. Po roce 2008 i s přispěním celosvětové ekonomické krize a snižující se energetické náročnosti silničních vozidel nastává historická změna projevující se dosažením saturace a následnou klesající tendencí. Vzhledem k emisním limitům škodlivin NO<sub>x</sub>, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>, CO a pevných částic vycházejících z evropské legislativy je klesající trend v případě těchto látek produkovaných silniční dopravou ještě intenzivnější.

## Literatura

- [1] ČHMÚ *National Greenhouse Gas Inventory Report, NIR (reported inventory 2012)*. ČHMÚ, Praha, 2014, 294 s.
- [2] *Rámcová úmluva OSN o změně klimatu a její Kjótský protokol* ze dne 21. 3. 1994. Sbírka mezinárodních smluv č. 80/2005 Sb. m. s.
- [3] *Úmluva o dálkovém znečišťování ovzduší přesahujícím hranice států* ze dne 13. 11. 1979.
- [4] *Registr emisí a zdrojů znečišťování ovzduší (REZZO)* podle zákona č. 309/91 Sb. ve znění zákona č. 211/94 Sb. o ochraně ovzduší před znečišťujícími látkami.
- [5] *Software COPERT 4* [online] Dostupné na www: <http://www.emisia.com>
- [6] *Software HBEFA* [online] Dostupné na www: <http://www.hbefa.net/e/index.html>
- [7] DUFEK, J., HUZLÍK, J., ADAMEC, V. *Metodika stanovení emisí látek znečišťujících ovzduší z dopravy*. Brno: CDV, 2006, 26 s.
- [8] ŘEDITELSTVÍ SILNIC A DÁLNIC ČR *Celostátní sčítání dopravy 2010* [online] Dostupné na www: <http://scitani2010.rsd.cz>
- [9] ŘLP *Výroční zpráva 2013 Řízení letového provozu České republiky*. ŘLP, Praha, 2014, 110 s.
- [10] EEA *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013*. EEA, Copenhagen, 2013.
- [11] ČSÚ *Energy Questionnaire – IEA – Eurostat – UNECE (CZECH\_OIL)*. Praha, 2013.

- [12] JANDOVÁ, V., JEDLIČKA, J., DOSTÁL, I., ŠPIČKA, L., TICHÝ, J. *Studie o vývoji dopravy z hlediska životního prostředí v České republice za rok 2013*. CDV, Brno, 2014. 115 s.

## **Transport emission inventory in Czech Republic**

**Jakub Tichy, Jiri Jedlicka**

*Transport Research Centre*

*Lisenska 33a, 636 00 Brno*

e-mail: jakub.tichyk@cdv.cz, jiri.jedlicka@cdv.cz

### **Abstract**

The Czech Republic as well as other countries in the European Union is obliged to report in the field of greenhouse gas and air pollutant emissions, both for stationary and mobile sources. The Czech Hydrometeorological Institute is organization responsible for reporting in cooperation with other professional organizations. The transport emission inventory in the Czech Republic is administrated by Transport Research Centre, which has an approved methodology for the purpose of determining emissions from transport. The CDV methodology is not so demanding to activity data as European software (COPERT 4, HBEFA) and in addition it is possible to calculate emissions produced by non-road transport (railway, waterborne, aviation). Development of selected indicators from transport are annually described and presented not only under international conventions to EU and UN authorities, but it is also processed in many documents at national level for relevant ministries (particularly the Ministry of Environment and Ministry of Transport).





# Optimalizace opatření k omezení střetu živočichů a dopravy na pozemních komunikacích

Jan Martolos<sup>1</sup>, Tomáš Šikula<sup>2</sup>, Tomáš Libosvár<sup>2</sup>, Petr Anděl<sup>3</sup>

<sup>1</sup>EDIP s.r.o.

Pařížská 1, 301 00 Plzeň

<sup>2</sup>HBH projekt spol. s r.o.

Kabátnickova 216/5, 602 00 Brno

<sup>3</sup>EVERNIA s.r.o.

tř. 1. máje 97, 460 01 Liberec

e-mail:martolos@edip.cz

## Abstrakt

Pohyb zvěře na pozemních komunikacích vede k jejich kolizím s vozidly. Důsledkem je nejen úbytek populace zvěře, ale často společenské ztráty - následky dopravních nehod na pozemních komunikacích. Tento problém lze vyřešit tím, že se omezí pohyb zvěře přes komunikace – nejčastěji souvislým oplocením podél komunikace v kombinaci s výstavbou přechodů pro bezpečné překonání komunikace. I toto opatření má však svá negativa – fragmentace krajiny, náklady na výstavbu a údržbu. Návrh těchto opatření by měl být proveden na základě analýzy migračních tras živočichů, migračního potenciálu území (a tím zvýšeného pohybu zvěře přes komunikaci), a také na základě charakteristik dopravního proudu na komunikaci. V letech 2011-2014 firma EDIP spolu s firmou HBH Projekt řeší výzkumný projekt zaměřený na metodiku pro optimalizaci návrhu opatření, která mají usměrnit/regulovat pohyb zvěře přes pozemní komunikace. Na projektu se také podílí společnost EVERNIA. Projekt je finančně podpořen Technologickou agenturou České republiky. Výstupem projektu bude metodika, která se stane součástí předpisů pro projektování pozemních komunikací.

## 1. Úvod

Migrace živočichů lokálního, regionálního, či nadregionálního charakteru zachovávají rovnováhu mezi populacemi živočichů, umožňují výměnu genetické informace, rovnoměrné využití potravních zdrojů a na neposledním místě také umožňují reakci živočichů na změny prostředí nebo klimatu. Přerušení migrační trasy stavbou pozemní komunikace a následnou dopravou na ní vyvolává u zvěře stres z nemožnosti volného pohybu, což může ústít ve dvě různé situace. Za prvé, zvěř přestane migrovat a místní populace ztrácí mezi sebou kontakt. Druhá situace nastává v případě, kdy jsou migrační zvyky zvěře natolik silné, že pud překoná stres z přeběhnutí komunikace. Úspěšnost přeběhnutí závisí na druhu živočicha, kategorii komunikace a intenzitě provozu.

Při překonávání pozemních komunikací živočichy dochází k jejich srážkám s vozidly, a z nich vyplývajícím ztrátám na populaci migrujících živočichů, ale mnohdy i celospolečenským ztrátám v důsledku následků nehod na pozemních komunikacích. Tento problém je možno řešit omezením pohybu živočichů přes komunikaci – nejčastěji oplocením celých úseků podél komunikace v kombinaci s vybudováním koridorů pro bezpečný přechod komunikace (ekodukty přes komunikace, kapacitní mostní objekty, naváděcí pásy). Každoročně

se vynakládají velké finanční prostředky na zajištění různých opatření pro umožnění migrace živočichů přes pozemní komunikace nejrůznějšího druhu.

Návrh těchto opatření by měl být realizován na základě rozboru migračních tras živočichů a analýzou migračního potenciálu území.

Dosud není vyvinuta komplexní metodika, která by zohlednila:

- skutečný vliv těchto opatření na jednotlivé populace živočichů,
- ekonomickou efektivitu těchto opatření,
- potřebnost těchto opatření – oplocení, ekoduktů („kdy již realizovat, kdy ještě ne“), ve vztahu k intenzitě dopravy na komunikacích.

Všechny tři výše uvedené body úzce souvisí i s pravděpodobností vzniku případného konfliktu, která je kromě četnosti výskytu různých živočichů bezprostředně ovlivněna i druhým faktorem, kterým je charakter dopravního proudu (zejména rozložení velikosti odstupů mezi vozidly) v místech možného střetu projíždějících vozidel s migrujícími živočichy.

## 2. Princip metodiky

Metodika je založena na odborném posouzení faktorů, které ovlivňují počty srážek vozidel se zvěří. Tyto vlivy jsou jak na straně pozemní komunikace, tak na straně živočichů.

Na straně komunikace se jedná zejména o technické parametry komunikace:

- návrhová kategorie komunikace, šířkové uspořádání (počet pruhů, jejich rozdělení),
- směrové a výškové vedení komunikace (podélný profil nivelety komunikace),
- parametry a rozestupy mostních objektů,
- způsob úpravy podmostí mostních objektů,
- způsob úpravy přeložek vodních toků,
- další technické parametry (oplocení komunikace, rozsah protihlukových stěn, vegetační úpravy, náhradní výsadby vegetace apod.).

A z hlediska provozu na komunikaci o intenzitě dopravy (obvykle vyjádřenou jako roční průměr denních intenzit RPD1 [voz/den]).

Na straně živočichů pak o faktory:

- Polygony nefragmentovaného území UAT (unfragmented area by traffic),
- Kategorizace území ČR z hlediska výskytu a migrací velkých savců,
- Dálkové migrační koridory (DMK) pro velké savce v České republice,
- Migračně významná území (MVÚ),
- Územní systém ekologické stability,
- Biotopy CORINE,
- Bonita dotčených honiteb,
- Migrační aktivita živočichů,
- Kategorie živočichů (dle TP180).

Metodika všechny tyto faktory zohledňuje a snaží se je kvantifikovat. Protože na straně živočichů je kvantifikace ve většině případů obtížná, metodika pracuje s bodovými škálami.

## 3. Základní údaje o nehodovosti se zvěří

Nehody se zvěří (nebo obecně živočichy, v dalším textu používáme oba termíny v ekvivalentním významu) tvoří cca 5% všech nehod na komunikační síti ČR.

Ročně při 3 900 dopravních nehodách zahyne 1 člověk, dalších 9 je zraněno těžce a 85 lehce. Hmotná škoda při těchto nehodách je vyčíslena na 155 mil. Kč / rok.

Byly vyhodnoceny dopravní nehody evidované Policií ČR v letech 2009-2012, u kterých se ve statistickém formuláři v položce „Druh nehody“ objevilo „srážka s lesní zvěří“. Další skupinou jsou nehody, u kterých řidič udává, že jeho chování bylo ovlivněno výskytem zvěře na komunikaci. Takovýchto nehod je ročně cca 300.

Tab. 1: Nehodovost se zvěří, základní statistika

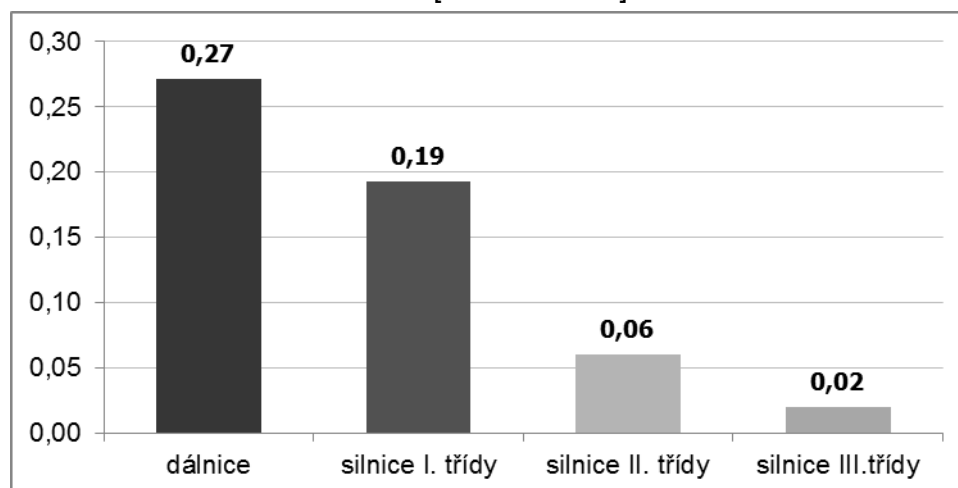
Rok	Počet nehod	Počet osob			Hmotná škoda v mil. CZK
		usmrceno	těžce zraněno	lehce zraněno	
2009	2 804	0	9	61	112
2010	3 219	1	3	56	127
2011	3 693	3	11	63	145
2012	5 953	0	13	157	234
Průměr	3 918	1	9	84,3	154,5

Pro objektivnější srovnání vyčíslíme relativní nehodovost se zvěří na jednotlivých kategoriích (a třídách) komunikací vztaženou k délkám komunikací a dopravnímu výkonu na nich.

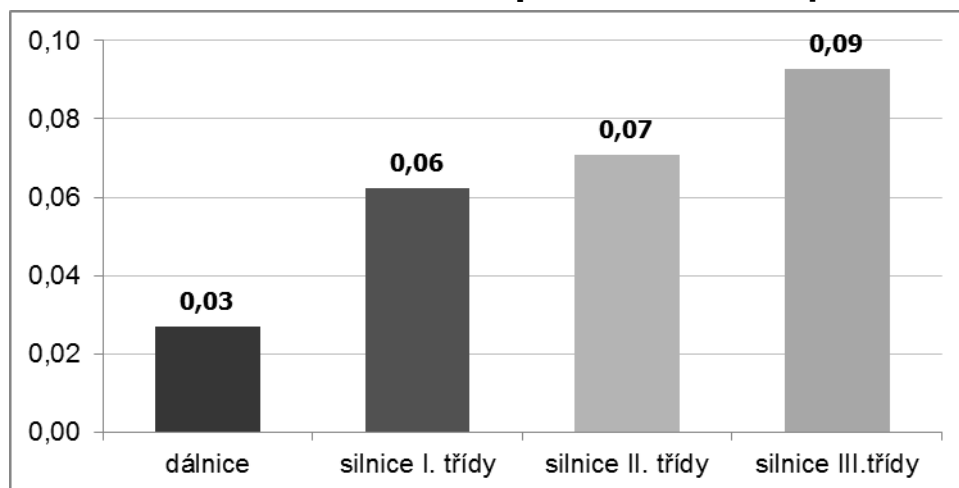
Tab. 2: Dopravní nehody se zvěří, relativní nehodovost

	dálnice	silnice I. třídy	silnice II. třídy	silnice III. třídy
Průměrný počet nehod se zvěří [nehod/rok]	199	1 205	876	692
Délka sítě (2010) [km]	734	6 255	14 635	34 129
Dopravní výkon (2010) [mil. vozkm/rok]	7 381	19 337	12 351	7 447
Hustota nehod se zvěří [nehod / km/rok]	0,27	0,19	0,06	0,02
Relativní nehodovost se zvěří [nehod / mil. vozkm/rok]	0,03	0,06	0,07	0,09

Obr. 1: Hustota nehod se zvěří [nehod/km/rok]



Obr. 2: Relativní nehodovost se zvířít [nehod/mil.vozokm/rok]



Pokud počet dopravních nehod se zvířít vztáhneme k dopravnímu výkonu (což je objektivní ukazatel relativní nehodovosti), jsou dálnice nejbezpečnější a s klesající třídou silnic roste ukazatel relativní nehodovosti.

#### 4. Migrační tlak

Hodnocení místní migrace, resp. modelování migračního tlaku je založena na hodnocení ekologického migračního potenciálu (MPE), který je podrobně řešen v „TP 180: Migrační objekty pro zajištění průchodnosti dálnic a silnic pro volně žijící živočichy“. Tyto technické podmínky vytvářejí základní rámce pro navrhování migračních objektů na silnicích a dálnicích v ČR. Jsou zde definovány vstupní pojmy, je provedena kategorizace živočichů z hlediska požadavků na migrační objekty, uvedena jsou doporučení k technickému řešení a rozměrům migračních objektů. Technické podmínky zavádí povinnost zpracovávat při investiční přípravě pozemních komunikací tzv. migrační studie – hodnocení migračních tras volně žijících živočichů a návrh opatření pro snížení bariérového efektu komunikace. Migrační studie je nezbytným podkladem pro ekologickou, technickou a ekonomickou optimalizaci řešení.

MPE se v první fázi definuje na základě analýzy území a vyjadřuje pravděpodobnost s jakou je území pro migraci využíváno (migrační tlak před výstavbou). Při jeho hodnocení se vychází z aktuálního i výhledového stavu krajiny. Nezbytnou součástí je také dlouhodobý terénní průzkum posuzovaného území.

Hodnota MPE může být určena jednotně pro celý úsek posuzované komunikace a všechny skupiny živočichů nebo může být stanovena zvlášť pro jednotlivé segmenty a kategorie živočichů posuzovaného úseku komunikace dle měnících se podmínek okolního prostředí.

Vyhodnocení celkového ekologického migračního potenciálu je provedeno odborným odhadem – syntézou dílčích faktorů, kterou se zvažuje poměr mezi pozitivními a negativními vlastnostmi pro migraci.

Následující tabulka uvádí souhrn možných stupňů, které jsou vymezeny pro jednotlivé dílčí faktory migračního tlaku. Šedě zbarvené pole značí, že stupeň není pro daný faktor vymezen.

Tab. 3: Souhrnná tabulka možných stupňů dílčích faktorů

Dílčí faktor	Stupeň faktoru				
	Faktor výrazně zvyšuje migrační tlak	Faktor zvyšuje migrační tlak	Faktor nemá vliv na migrační tlak	Faktor snižuje migrační tlak	Faktor výrazně snižuje migrační tlak
1. Polygony nefragmentovaného území UAT (unfragmented area by traffic)	++	+	0		
2. Kategorizace území ČR z hlediska výskytu a migrací velkých savců	++	+	0	-	--
3. Dálkové migrační koridory (DMK) pro velké savce v České republice		+	0		
4. Migračně významná území (MVÚ)		+	0		
5. Územní systém ekologické stability	++	+	0		
6. Biotopy CORINE	++	+	0	-	--
7. Bonita dotčených honiteb	++	+	0		
8. Migrační aktivita živočichů		+	0		
9. Podélný profil posuzovaného úseku komunikace		+	0	-	--

Syntéza dílčích faktorů může být také provedena součtem jejich stupňů. Výsledná hodnota celkového ekologického migračního potenciálu je dána v rozmezí 0,0 – 1,0 podle následující tabulky.

Tab. 4: Vyhodnocení MPE

Součet dílčích faktorů	Hodnota MPE	Ekologický migrační potenciál	Charakteristika
10 – 14	1,0 – 0,8	Velmi vysoký	Migračně velmi významné území s celoročním nebo sezónním pohybem živočichů,
5 – 9	0,8 – 0,6	Nadprůměrný	migračně významné území s celoročním nebo sezónním pohybem živočichů
0 – 4	0,6 – 0,4	Průměrný	Území s převažujícími pozměněnými biotopy s volně rozptýlenou (nesoustředěnou) migrací živočichů, která je ovlivňována především druhem polní plodiny
-1 – -3	0,4 – 0,2	Podprůměrný	Území málo významné z hlediska migrace živočichů, s nízkou kvalitou biotopů nebo území s překážkami komplikujícími migraci
-4 – -6	0,2 – 0,0	Žádný	Nevýznamné území v blízkosti zástavby, kde z hlediska volně žijících živočichů nelze předpokládat jejich výskyt

## 5. Intenzita dopravy, pravděpodobnost srážky

Abychom mohli určit pravděpodobnost srážky vozidla se zvířím, musíme znát jak model odstupů vozidel na komunikaci, tak model chování zvíře při překonávání komunikace. Dopravní proud tvoří jednotlivá vozidla, mezi kterými vznikají mezery. Tyto mezery pak živočich může využít pro překonání komunikace. Četnost odstupů určité doby trvání závisí především na intenzitě dopravy. Jednoduché exponenciální rozdělení se odvozuje z Poissonova rozdělení počtu vozidel, která projedou daným místem na komunikaci za časový interval  $t$ , za předpokladu, že pohyb vozidel na komunikaci je náhodný (tzn. není ovlivněn dalšími faktory jako např. blízkost křižovatky, dopravní omezení apod.).

Hustota pravděpodobnosti jednoduchého neposunutého exponenciálního rozdělení časových odstupů má tvar:

$$f(t) = \frac{I}{3600} e^{-\frac{I}{3600}t} = i e^{-it} = \frac{1}{T} e^{-\frac{t}{T}}$$

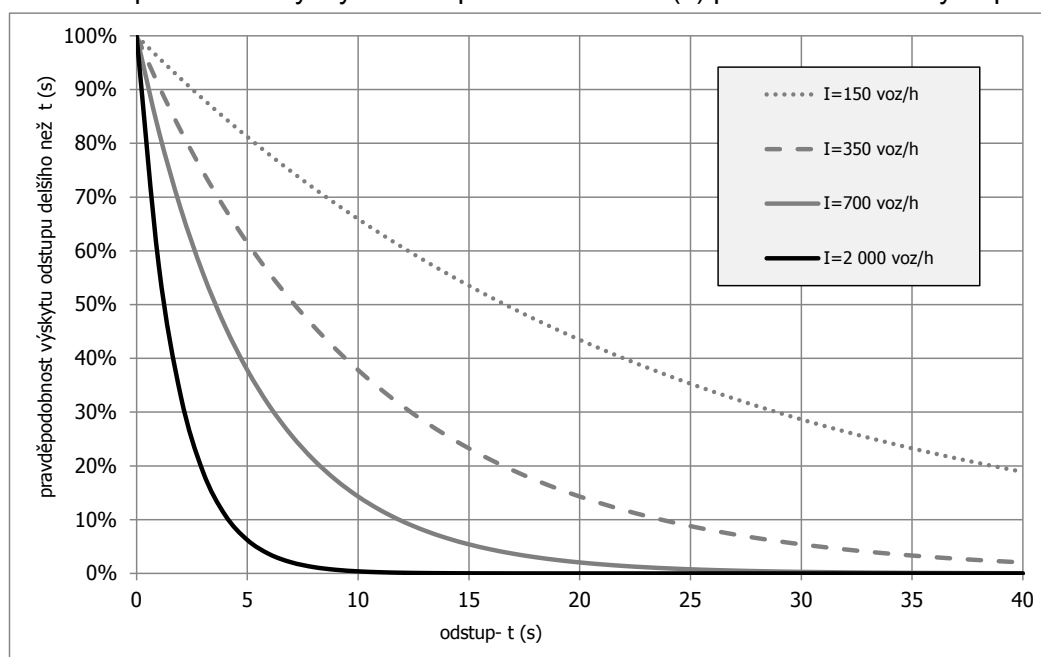
kde  $I$  představuje průměrnou hodinovou intenzitu dopravy,  $i$  průměrnou sekundovou intenzitu dopravy, resp.  $T$  průměrný časový odstup vyjádřený v sekundách.

Pro určení pravděpodobnosti, že časový odstup  $W$  je větší než  $t$  [s], se užívá součtová funkce (součtová čára). Ta je pro jednoduché neposunuté exponenciální rozdělení dána předpisem:

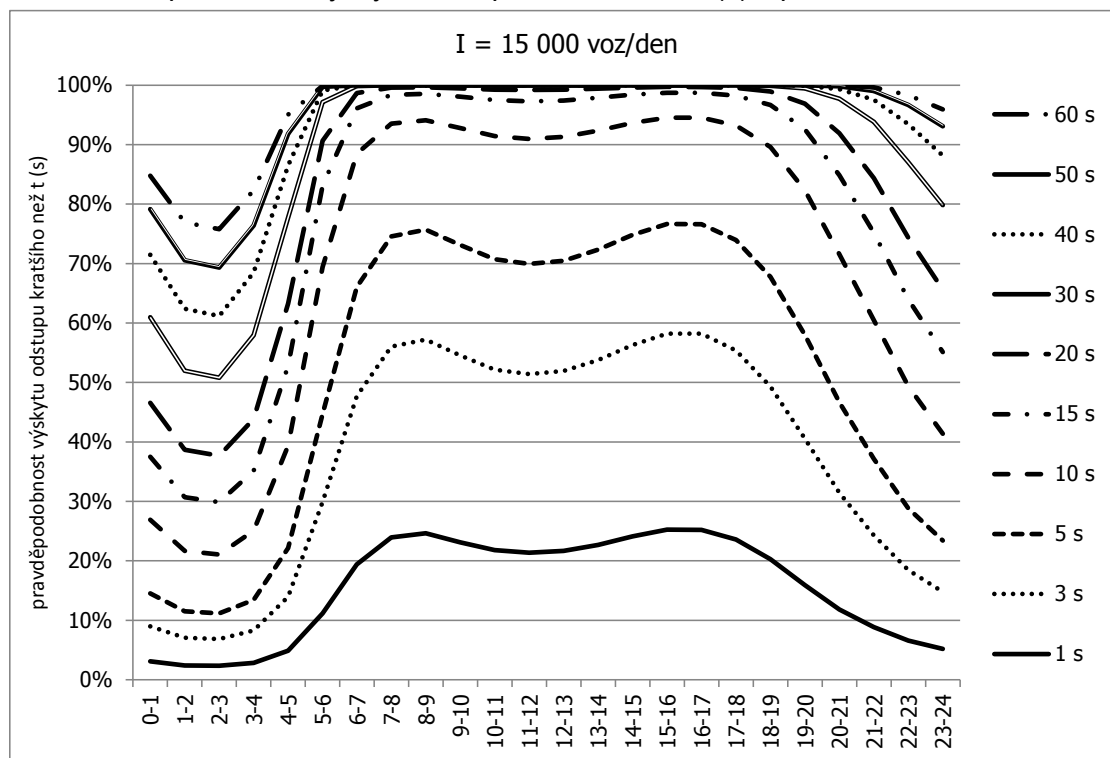
$$P(W > t) = e^{-\frac{I}{3600}t}$$

Na obrázku 3 jsou vyneseny tzv. součtové čáry výskytů odstupů (tj. pravděpodobnosti výskytu odstupu delšího než daný čas) pro různé intenzity dopravy.

Obr. 3: Pravděpodobnost výskytu odstupů delších než  $t$  (s) pro různé intenzity dopravy



Protože intenzita dopravy kolísá během dne (tzv. denní variace intenzit dopravy), byly vytvořeny grafy, vyjadřující pravděpodobnost výskytu odstupů kratšího než  $t$  (s) pro různé hodinové intenzity dopravy – viz obrázek 4.

Obr. 4: Pravděpodobnost výskytu odstupů kratších než  $t$  (s) v průběhu dne

Pokud známe dobu, po kterou se živočich bude pohybovat na komunikaci (což není triviální úloha), můžeme vypočítat pravděpodobnost srážky s daným živočichem. Pokud navíc známe rozdělení pravděpodobnosti výskytu živočicha na komunikaci během dne (což lze odhadnout z chování jednotlivých druhů a z provedených průzkumů fotopastmi), můžeme vypočítat pravděpodobnost počtu srážek za určité časové období.

Pokud známe migrační tlak a pravděpodobnost srážky, lze odhadnout počet sražených jedinců na daném úseku komunikace a posoudit účelnost a charakter opatření k omezení srážek vozidel a zvěře.

## 6. Závěr

Odpověď na otázku, jestli komunikaci oplotit či neoplotit, případně jaká jiná opatření použít, závisí na mnoha faktorech. Některé lze poměrně přesně podchytit a specifikovat, některé (jak už to v otázkách ekologie bývá) lze exaktně stanovit jen obtížně. Vždy tak zůstane prostor pro odbornou úvahu a posouzení expertů na migraci, kteří po zvážení všech vlivů navrhnou řešení.

## Literatura

- [1] Medelská, M. a kol., Dopravné inženýrstvo, Alfa Bratislava, 1991.
- [2] Karlický, K., Slabý, P.: Teorie dopravního proudu (Výběrový předmět 1), ČVUT Praha, 1983.
- [3] Způsoby a výsledky analýzy rozdělení časových intervalů dopravního proudu, Ing. Bohumil Pistulka, in: ČVT silniční společnost, seminář Havířov 1970, „Modernizace a rozvoj silnic, dálnic a místních komunikací“.
- [4] Martolos, J., Anděl, P., Odstupy mezi vozidly v dopravním proudu a pravděpodobnost srážky se zvěří, Silniční obzor, 12/2009

- [5] Projekt VaV č. 1F55A/065/120 Využití dopravně inženýrských dat a metod pro kvantifikaci vlivů dopravy na životní prostředí – roční zpráva 2007, EDIP s.r.o.
- [6] Projekt TA01030107 - Metodika optimalizace návrhu opatření k usměrnění pohybu živočichů přes pozemní komunikace, Odborná zpráva o postupu jednotlivých prací a dosažených výsledcích 2011, EDIP s.r.o., leden 2012
- [7] Anděl, P., Belková, H., Gorčicová, I., Hlaváč, V., Libosvár, T., Rozínek, R., Šíkula, T. at Vojar, J. (2011): Průchodnost silnic a dálnic pro volně žijící živočichy. – Evernia, Liberec, 154 s
- [8] Martolos, J., TP 189 Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích, 2. Vydání, EDIP, Plzeň, 2012
- [9] Anděl, P. TP 180: Migrační objekty pro zajištění průchodnosti dálnic a silnic pro volně žijící živočichy, Evernia, Liberec
- [10] Martolos, J., Anděl, P.: Distances between Vehicles in traffic Flow and the Probability of Collision with Animals, Transactions on transport Sciences, vol. 6, No 2 (2013)

### **Poděkování**

*Tato práce vznikla jako součást řešení projektu VaV „Metodika optimalizace návrhu opatření k usměrnění pohybu živočichů přes pozemní komunikace“ č. TA01030107 financovaného Technologickou agenturou ČR.*

## **Optimization of Designed Measures for Wildlife Migration across the Road Network**

**Jan Martolos, Tomáš Šíkula, Tomáš Libosvár, Petr Anděl**

*EDIP s.r.o.*

*Pařížská 1, 301 00 Plzeň*

*e-mail: martolos@edip.cz*

### **Abstract**

Crossing roads by animals leads to their collisions with vehicles, and the resulting loss of population migrating animals, but often societal losses due to the consequences of accidents on the roads. This problem can be solved by restricting the movement of animals through traffic - the most complete sections of fencing along the road, combined with the construction of wildlife crossing for safe road passing. This measure, however, has its negatives - the fragmentation of the landscape, the cost of construction and maintenance. The design of these measures should be implemented on the basis of an analysis of migration routes of animals and analysis of the estimated migration routes and thus the increased movement through roads. In 2011-2014 the company EDIP solves the research project focused on methodology for design optimization measures to guide the movement of animals across the road. Other project participants are the companies HBH Projekt and EVERNIA. The project is designed with the financial support of the Technology Agency of the Czech Republic. The project's output will be methodology, which becomes part of the regulations for road design.



# Vývoj a změny charakteristik vsakovacích a retenčních objektů pro čištění smyvů z dopravní infrastruktury a zpevněných ploch

Miloš Rozkošný<sup>1</sup>, Michal Kriška<sup>2</sup>, Tereza Hudcová<sup>3</sup>,  
Radek Novotný<sup>1</sup>, Danuše Beránková<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Výzkumný ústav vodohospodářský TGM, v.v.i., Mojmírovo nám. 16, 612 00, Brno

<sup>2</sup>Vysoké učení technické v Brně, Žižkova 17, 602 00, Brno

<sup>3</sup>Dekonta, a.s., Dřetovice 109, 273 42, Stehelčevy

e-mail:milos\_rozkosny@vuv.cz, kriska.m@fce.vutbr.cz,  
hudcova@dekonta.cz

## Abstrakt

Článek uvádí výsledky výzkumu zaměřeného na sledování retence, čištění a vsakování povrchového smyvu z komunikací, parkovacích ploch a dalších zpevněných ploch na území města Brna v letech 2008 až 2014. Na první etapu sledování v letech 2008 a 2009, kdy byly měřeny infiltrační schopnosti náplní vsakovacích objektů (průlehů) a jejich čistící účinek pro odstranění polutantů ze skupiny PAU, ropných látek a kovů (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) pocházejících z atmosférických depozic a dopravy, včetně obsahu těchto látek v náplni objektů, navázalo sledování v letech 2013 a 2014. Zjištěné výsledky analýz a terénních měření umožňují porovnat vývoj a změny filtračních charakteristik náplní objektů, jejich zatížení sledovanými látkami a čistící účinek oproti období, kdy byly objekty zprovozněny. Obdobná šetření v těchto dvou obdobích byla prováděna také pro retenční nádrž určenou k zachycení a čištění smyvů z dopravní infrastruktury a zpevněných ploch v areálu brněnského obchodního centra. Cílem práce a hodnocení je poskytnutí informací pro vhodnou údržbu retenčních, čistících a vsakovacích objektů určených pro tento zdroj znečištění povrchových vod.

## 1. Úvod

Článek uvádí výsledky výzkumu zaměřeného na sledování retence, čištění a vsakování povrchového smyvu z komunikací, parkovacích ploch a dalších zpevněných ploch na území města Brna v letech 2008 až 2014. Souhrnně jsou prezentovány výsledky z analýzy čistícího účinku vybraných vsakovacích a retenčních objektů pro polutanty ze skupiny polyaromatických uhlovodíků (PAU), ropné látky a kovy (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) a změny infiltračních charakteristik sledovaných vsakovacích a retenčních průlehů v letech 2008 až 2014. Cílem hodnocení je poskytnutí informací pro vhodnou údržbu retenčních, čistících a vsakovacích objektů určených pro nakládání s povrchovými smyvy z komunikací, parkovacích ploch a v případě obchodního centra i ze střech. Vlivem automobilového provozu dochází k uvolňování řady škodlivin, které mohou ovlivňovat složky životního prostředí i lidské zdraví [11]; [20]. Původ jednotlivých polutantů v povrchovém smyvu z komunikací a odstavných ploch podrobně shrnují [16] a [2]. S dešťovou vodou odtéká z vozovky část škodlivých látek rozpuštěných ve vodě a další část škodlivých látek je vázána na suspendované částice [18]. V období 2005 až 2009 probíhal v rámci dvou navazujících výzkumných projektů VaV pro Ministerstvo dopravy ČR [5] monitoring povrchového smyvu na kontrolní síti profilů dálnic a rychlostních silnic a povrchového smyvu z ostatních zpevněných ploch, zejména parkovacích. V prvních letech byly práce zaměřeny na množství a jakost odtékající vody.

Byla provedena identifikace látek, které se vyskytují v odtékající vodě v měřitelných koncentracích, a byly sestaveny tabulky charakteristických koncentrací vybraných PAU a kovů ([3], [4] a [5]). Byla prováděna nejen kontrola a hodnocení výskytu polyaromatických uhlovodíků a toxických kovů v povrchovém smyvu a zjišťován jejich toxický účinek na vodní prostředí, ale byly sledovány i možnosti nápravy, jako je např. jejich záchyt ve filtračních pásech při zasakování. V letech 2008 a 2009 byly sledovány vybrané objekty vybudované pro retenci a infiltraci povrchového smyvu z dopravní infrastruktury (komunikace, parkoviště) a dalších zpevněných ploch (zejména střešní konstrukce), a to jak z pohledu hodnocení infiltrační kapacity vsakování smyvů, tak i z pohledu čištění vod, tedy posouzení míry odstranění, nebo zadržení vybraných polutantů, které byly identifikovány v povrchových smyvech z dopravní infrastruktury ([3], [4] a [5]).

V projektu TA03030400, řešeném ve spolupráci Dekonta, VÚV TGM, ČZU a VUT od roku 2013, který je zaměřen na vývoj technologií pro čištění smyvů z komunikací a jiných zpevněných ploch, s využitím umělých mokřadů, byly tyto výsledky využity jako podklad pro návrh monitoringu realizovaných objektů a přípravu návrhových parametrů nově vyvíjených objektů. V příspěvku jsou prezentovány výsledky monitoringu znečištění povrchových smyvů na stejných lokalitách a výsledky měření a modelování infiltračních charakteristik objektů a jejich srovnání mezi obdobími 2008 - 2009 a 2013 - 2014.

Využití filtračního prostředí uměle budovaných mokřadů v kombinaci se sedimentačním prostorem popisují např. [7]. Směrnice [9] a publikace [10] uvádějí zásady návrhů dalších zařízení pro retenci a zasakování dešťových vod a povrchových smyvů. Studie [1] shrnuje výsledky dlouhodobého dvacetiletého, sledování čistícího účinku retenčních a vsakovacích objektů, v nichž probíhalo čištění povrchového smyvu z komunikací ve filtračním prostředí definované náplně. Význam organické hmoty pro zvýšení účinnosti eliminace kovů z povrchového smyvu uvádějí [1] a Seelsaen et al. (2006). Nejlepší fyzikálně-chemické vlastnosti pro sorpci iontů kovů (Cu, Zn a Pb) byly autory zjištěny pro kompost. Avšak zároveň bylo zjištěno uvolňování vyšších koncentrací rozpuštěného organického uhlíku (DOC). Kombinace písku, kompostu a popř. také zeolitu vedla ke snížení vyplavování DOC a zachování vysoké účinnosti zadržení kovů (75–96% účinnost pro zinek; 90–93% účinnost pro měď), zatímco u čistého písku byla zjištěna účinnost odstranění zinku 16 % a mědi 29 %.

## 2. Použité metody

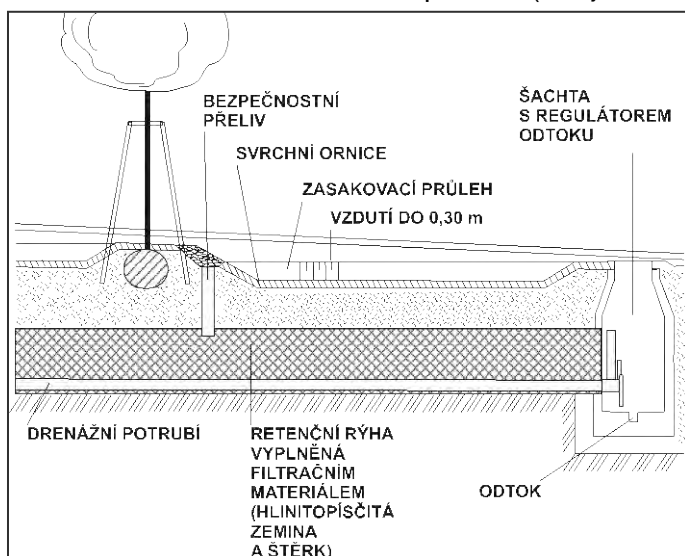
Jako pilotní lokalita na území města Brna bylo vybráno parkoviště, které leží v areálu univerzitního kampusu v Brně-Bohunicích. Parkoviště je odkanalizováno systémem zasakovacích průlehů s retenčními příkopy (obr. 1). Systém slouží ke zdržení odtoku přívalových srážek a předčištění dešťových vod spadlých na parkoviště. Podrobnější popis návrhu odvodňovacího a retenčního systému je uveden ve zprávě [5] a v projektové dokumentaci [12]. Na základě rekognoskace terénu byly pro sledování vybrány dva průlehy. První průleh se nachází v horní části parkoviště (profil Bohunice 1). Druhý průleh je v dolní části parkoviště, které bylo po výstavbě v roce 2008 postupně stále více využíváno v souvislosti s postupující dostavbou areálu kampusu a obchodního centra (profil Bohunice 2). V letech 2013 a 2014 jsou obě části parkoviště již plně využívány. Měření v terénu byla zjištěna půdorysná plocha průlehu „Bohunice 1“ 121 m<sup>2</sup> a odpovídající plocha parkoviště teoreticky odvodňovaná tímto průlehem 592 m<sup>2</sup>. Půdorysná plocha průlehu „Bohunice 2“ je 195 m<sup>2</sup> a odpovídající plocha parkoviště teoreticky odvodňovaná tímto průlehem

je 1 040 m<sup>2</sup>. V odtokových šachticích, do nichž ústí odvodňovací drény jednotlivých průlehů, byly umístěny sběrné nádoby, kde byly zachycovány průsakové vody. Do horní vsakovací vrstvy byly umístěny vzorkovací nádoby vlastní výroby pro sběr povrchového smyvu. Intenzita sběru směsných vzorků vod k analýzám vycházela z aktuálních meteorologických podmínek. V letech 2008 - 2009 bylo podchyceno období začátku využití obou částí parkoviště, v letech 2013 - 2014 období plného provozu. Pro stanovení požadovaných hodnot koncentrací sledovaných polutantů byly odebrány v obou obdobích také vzorky dešťových a sněhových srážek. Druhou sledovanou lokalitu na území města Brna představuje retenční nádrž určená k zachycení a čištění smyvů z dopravní infrastruktury a zpevněných ploch v areálu brněnského obchodního centra. V případě nádrže byly odebrány vzorky z přítokových potrubí a z odtoku nádrže. Nádrž má břehy a dno zpevněné betonovými zatravnovacími dílci, na dně se nachází vrstva sedimentu a v prostoru nádrže a břehů se s různou intenzitou objevují ostrovy mokřadní vegetace (zejména orobince).

Ve vzorcích vod byly měřeny fyzikálně-chemické ukazatele jakosti vod: teplota vody, pH, elektrická vodivost. V laboratoři byly akreditovanými metodami zjišťovány koncentrace následujících ukazatelů jakosti vod: chloridy, polutanty ze skupiny PAU, ropné látky (vyjádřené jako C10 – C40), těžké kovy (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn). Výběr ukazatelů byl založen na literární rešerši [11], [6] a vlastních poznatcích z monitoringu povrchového smyvu z dálnic a rychlostních komunikací [3], [4]. Posouzení míry kontaminace dešťových srážek, vzorků sněhu, vzorků povrchového smyvu a průsakových vod bylo provedeno s využitím klasifikace jakosti vod podle ČSN 75 7221 [8] a podle imisních standardů nařízení vlády č. 23/2011 Sb. [17].

Jak bylo uvedeno v úvodní části článku, čistící účinek závisí na složení substrátu průsakové (filtrační) vrstvy zasakovacích průlehů a změnách hydraulických vlastností materiálu. Vliv na změnu hydraulických charakteristik filtračního prostředí a mobilitu kovů má také používání chemických prostředků při údržbě komunikací, parkovišť a odstavných ploch (při solení). Podrobnosti byly publikovány v [19] a [2]. V důsledku solení, ale také v důsledku smyvu prachu dochází ke změnám zrnitosti, pórovitosti, a tím i hydraulické vodivosti filtračního prostředí. Projevuje se kolmatace (Dierkes et al., 2006). Z tohoto důvodu bylo součástí výzkumných prací také stanovení vlastností filtračního prostředí (zaměření příčných profilů vsakovacích průlehů, stanovení základních fyzikálních vlastností filtračního prostředí a přechodových filtrů, stanovení charakteristik závislosti filtrační rychlosti na čase, resp. intenzity filtrace v závislosti na čase, stanovení hydraulické vodivosti, zrnitostního složení materiálu atd.) sledovaných průlehů, a to po roce provozu a v roce 2013. Stanovení intenzity filtrace bylo prováděno na místě pomocí dvou klasických infiltrometrů. Vsakovací schopnost půdy byla vyjádřena jako množství vody vsáklé za časový interval nebo jako průběh vsakovací rychlosti na čase. Podrobný popis metodiky práce je uveden ve zprávě [5]. Na obrázku 2 je zachyceno měření v roce 2013.

Obr. 1: Schéma zasakovacího průlehu (zdroj: JV Projekt [12])



Obr. 2: Měření infiltrace v terénu (zdroj: VÚT, VÚV T.G.M.)



### 3. Výsledky a diskuse

U vzorků dešťových srážek byly zjištěny velmi nízké (požadové) koncentrace chloridů v řádu mg/l (stejně i ve vzorcích sněhu). Také koncentrace sledovaných kovů se pohybovaly v rozpětí I. a II. třídy jakosti vod. Koncentrace ropných látek a PAU byly vždy pod mezí stanovitelnosti. Zjištěné hodnoty jsou obdobné hodnotám uvedeným pro dešťové vody v publikaci [10].

Vzorky sněhu byly odebírány přímo na parkovišti, a to v lednu 2009 (čerstvý sníh) a v březnu 2009 (starý, ulehlý sníh obsahující také zbytky inertního materiálu z posypu). V zimě 2013 a 2014 nebyly s ohledem na její průběh v Brně vzorky sněhu odebírány. Publikace [22] a [19] uvádí, že kontaminace sněhu sledovanými polutanty roste s jeho stářím (dobou uložení na komunikacích a okolo nich). To potvrdily také naše výsledky. Ve vzorcích čerstvého sněhu nepřekračovaly obsahy sledovaných kovů hodnoty I. a II. třídy jakosti vod podle ČSN 75 7221 [8] s výjimkou

zinku, kdy byla v jednom případě překročena hranice III. třídy jakosti vod. Koncentrace ropných látek vyjádřené ukazatelem C10 – C40 byly pod hodnotou 0,1 mg/l (imisní limit nařízení vlády č. 61/2003 Sb.). Naopak u vzorků déle ležícího sněhu byly koncentrace ropných látek (C10 – C40) blízko 2 mg/l (tedy o řád nad imisním limitem), koncentrace kovů dosahovaly III. třídy (Cd, Ni) až V. třídy (Cu, Pb, Zn) jakosti vod. Koncentrace PAU byly u všech vzorků obdobné (suma PAU 20 až 90 ng/l, tj. I. třída jakosti vod; imisní limit 200 ng/l).

V tabulce 1 jsou uvedena rozpětí hodnot jednotlivých ukazatelů jakosti vod a polutantů zjištěných ve vzorcích povrchového smyvu a průsakových vod. Dierkes et al. (2006) publikovali dlouhodobě zjištěné koncentrace následujících látek v povrchovém smyvu z parkovišť: Cd 1,2 µg/l; Cu 80 µg/l; Pb 137 µg/l; Zn 400 µg/l; PAU 3 500 ng/l. Při vzájemném porovnání těchto hodnot s údaji v tabulce 1 lze konstatovat, že koncentrace zjištěné v povrchovém smyvu na námi sledované lokalitě jsou nižší, a to v obou obdobích. Při vzájemném porovnání odtokových hodnot z obou průlehů z období 2008-2009 a 2013-2014 lze vyvodit závěr, že se rozsah hodnot pro jednotlivé ukazatele a polutanty prakticky nezměnil.

Tab. 1: Rozmezí hodnot vybraných ukazatelů znečištění vod na odtoku z průlehů na sledovaném parkovišti v období 2008–2009 a 2013-2014

Období sledování		2008-09	2013-14	2008-09	2013-14
Profil		Bohunice 1	Bohunice 1	Bohunice 2	Bohunice 2
pH	–	7,3–8,4	8,2-8,5	6,4–8,7	8,2-8,4
El. kondukt.	mS/m	36–70	43-76	24–891	58-91
Chloridy	mg/l	2–118	61-81	4–1570	65-241
C10 – C40	mg/l	< 0,02–0,58	<0,1-0,14	< 0,02–0,23	<0,1-0,16
Σ PAU	µg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Cd	µg/l	< 0,1–0,57	<0,1	< 0,1–1,04	<0,1
Cr	µg/l	8,7–39,5	5,1-10,6	4,7–24,9	8,1-9,6
Cu	µg/l	2,7–7,5	6,1-25,9	9,7–36,5	2,4-4,8
Hg	µg/l	< 0,05–0,22	<0,1-0,24	< 0,05–0,74	0,1-0,14
Ni	µg/l	4,9–25,1	<2-15,3	6,5–23,7	<2
Pb	µg/l	0,9–4,9	<0,5-1,4	0,5–6,7	<0,5-0,6
Zn	µg/l	6–22	19-51	23–92	11-15

Zdroj: VUV T.G.M.

Překročení imisního standardu pro chloridy a dosažení V. třídy jakosti vod ve vzorcích z období leden až květen 2009 bylo spojeno se zimní údržbou (solením) dolní části parkoviště, kde byly umístěny odběrové nádoby v profilu Bohunice 2. Horní část parkoviště byla v tom období ošetřována pouze inertním materiálem (velmi nízká vytíženost parkoviště). Tato situace se opakovala i v zimě 2013-2014, i když s nižšími maximy, a to s ohledem na mírnější průběh zimy a menší výskyt sněhové pokrývky. Ve filtračním prostředí průlehů byla zjištěna poměrně vysoká účinnost eliminace (zachycení) kadmia, mědi, olova, zinku, ropných látek (ukazatel C10–C40) a polutantů ze skupiny PAU. I když s ohledem na aktuální oxidačně-redukční podmínky a stupeň nasycení filtračního prostředí bylo také zaznamenáno během monitoringu uvolňování kovů do vodního prostředí. Tato skutečnost byla podchycena při výskytu nízkých koncentrací kovů v povrchovém smyvu, které odpovídaly I. až II. třídě čistoty vod podle [8]. Obdobné výsledky při hodnocení účinnosti čištění filtračního prostředí při velmi malých koncentracích kovů (hlavně Cr, Cu, Pb, Zn) a zejména během suchých období uvádí také [21]. Při vyšších koncentracích je autory uváděna účinnost zachycení Cu, Cr, Ni a Zn 60 až 90 % ve filtračním prostředí umělých mokřadů. Účinnosti zadržení vybraných kovů z povrchového smyvu z komunikací ve filtračním štěrkovém

prostředí uměle budovaných mokřadů uvádějí [7]. Na sledovaných zařízeních byly dosahovány tyto dlouhodobé průměrné účinnosti: 69 % nerozpuštěné látky, 97 % usaditelné látky, 90 a více procent kovy (Cd, Cu, Ni, Pb a Zn). Autoři také prokázali vazbu kovů na nerozpuštěné látky a jako převládající čisticí mechanismy stanovili sedimentaci a filtraci. K dispozici pro porovnání jsou také výsledky sledování čištění vod štěrkovými a pískovými filtry s mokřadní vegetací. Na těchto zařízeních, využitelných i pro čištění povrchových smyvů (jak dokládá např. [13]), byla potvrzena obdobná schopnost eliminace sledovaných polutantů ve filtračním prostředí. Autoři [14] uvádějí dlouhodobé průměrné účinnosti 78 % (Zn), 67 % (Cu), 63 % (Pb), 55 % (Cr) a 25–50 % pro Hg, Cd a Ni.

Výsledky monitoringu retenční nádrže shrnuje tabulka 2. V obou monitorovacích obdobích byly v případě koncentrací kovů a PAU zjištěny obdobná rozmezí jejich obsahu ve vodě na odtoku z nádrže. Mimo I. a II. třídu jakosti vod se vyskytly koncentrace zinku (zřejmě v souvislosti se smyvy ze střešních konstrukcí) a rtuť. V případě chloridů a hodnoty konduktivity vody, která s jejich koncentrací ve vodě silně koreluje, byly výsledky odlišné, a to kvůli průběhu zimních období 2008/2009 a 2013/2014. Vyšší byly zjištěny v prvním období v souvislosti se zimní údržbou povrchů. V případě ropných látek dochází v prostoru nádrže k jejich dobré eliminaci, ale při jednom z odběrů v období 2013-2014 byla zjištěna koncentrace o dva řády vyšší než u ostatních vzorků. Podle průběhu vzorkování a dalších testů se jako zdroj jeví sedimenty, které zřejmě váží ropné látky a při jejich disturbanci dochází k uvolnění ropných látek do vodní fáze.

Tab. 2: Rozmezí hodnot vybraných ukazatelů znečištění vod retenční nádrže na odtoku

Období	pH	EC	Cl	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	PAU	C10-C40
Jednotky	-	mS/m	mg/l	g/l	g/l	g/l	g/l	g/l	g/l	g/l	g/l	mg/l
2008-09	7,6	174	372	<0,1	1,6	8,2	<0,1	3,4	<0,5	58	<0,03	<0,1
	8,2	430	1280	<0,1	7,3	9,3	0,11	6,7	<0,5	283	<0,03	<0,1
2013-14	7,0	19	27	<0,1	<1	4,4	<0,1	<2	<0,5	21	<0,03	<0,1
	8,4	83	396	0,31	8	30,9	0,13	12,5	5	291	0,18	41,1

Zdroj: VÚV T.G.M.

Vsakovací schopnost půdy je stanovena jako množství vody vsáklé za časový interval, nebo jako průběh vsakovací rychlosti na čase. Z polních měření byla stanovena závislost rychlosti infiltrace  $v_i$  na čase  $t_i$ , nebo závislost kumulativní hodnoty kumulativní infiltrace  $i_i$  na čase  $t_i$ . Nejjednodušší je vyjádření těchto závislostí pomocí empirických rovnic Kostřakova a Mezenceva, hodnocení podle Philipa je výpočetně složitější, podrobný postup uvádí [15]. Hodnoty zjištěné pro dva vybrané průlehy v roce 2009 reprezentující obě části parkoviště byly navzájem obdobné (opět průměrné hodnoty z výpočtu podle tří uvedených metod):

K3 – rychlost infiltrace  $v_t$  [mm/min] – poč. 4; konc. 3 / kumul. inf.  $i_t$  [mm] – poč. 15; konc. 353

K6 – rychlost infiltrace  $v_t$  [mm/min] – poč. 3; konc. 3 / kumul. inf.  $i_t$  [mm] – poč. 15; konc. 334

Během výzkumu byly dvakrát odebrány pokaždé dva vzorky (ze spodního a horního parkoviště) pro stanovení hydraulické vodivosti filtračního materiálu. Zjištěné hodnoty byly porovnány s požadavky na projektování zasakovacích průlehu

(např. [9]; [10]; [12]), kdy je doporučována hydraulická vodivost materiálů v rozpětí  $1.10^{-3}$  až  $1.10^{-6}$  m/s, přičemž při hodnotách blízkých  $1.10^{-6}$  m/s a nižších se doporučuje vsakování s akumulací vod (řízená retence). Pro sledované objekty byla předpokládána hydraulická vodivost  $1.10^{-5}$  m/s. Výsledky provedených pokusů s materiálem ze zasakovacích průlehů z parkoviště po roce provozu (podrobně [5]) ukazují, že propustnost je dostatečná pouze na začátku pokusu, dokud se celý materiál dokonale nenasytí vodou. Nasycení přitom probíhá v rozsahu 4–7 hodin. Lze předpokládat, že v provozních podmínkách, např. při vytrvalejších deštích, dojde k nasycení celého filtračního prostředí infiltračních průlehů (nasycení na plnou vodní kapacitu, kdy veškeré póry jsou vyplněné vodou). Z těchto důvodů, ale také i proto, že průlehy se nedimenzují na absolutní ochranu, je nutné při návrhu a realizaci obdobných zařízení počítat s vybudováním bezpečnostních přelivů, jak bylo provedeno na sledovaných průlezích. Nicméně i přes tyto skutečnosti byly v zahraničí prokázány dlouhodobé možnosti využití podobných zařízení k retenci a čištění povrchových smyvů, jak uvádí např. [1].

V roce 2013 byly zjištěny následující hodnoty infiltrační rychlosti pro oba sledované průlehy:

Bohunice-1 – 6,6 – 10,8 mm/min v závislosti na aktuální vlhkosti filtračního prostředí.

Bohunice-2 – 9,6 – 15,6 mm/min v závislosti na aktuální vlhkosti filtračního prostředí.

Zjištěné hodnoty infiltrace jsou tak i po několika letech provozu průlehů stále dostatečné a pohybují se v rozpětí zjištěném při měřeních v roce 2009.

#### 4. Závěr

Zatížení sledovaných objektů na přítoku (obsah sledovaných polutantů ve smyvu) je vyšší než měřené obsahy ve srážkách, což i podle údajů uvedených v literatuře indikuje určitý vliv dopravy na povrchový smyv. Z našich zjištění vyplývá, že zatížení povrchového smyvu polutanty na sledovaných lokalitách v obou obdobích je srovnatelné, rozdíly, zejména v maximálních měřených koncentracích, odpovídají zejména aktuálním klimatickým podmínkám a vyskytují se u ukazatelů chloridy, elektrická konduktivita vody. Také odtokové koncentrace se v obou obdobích pohybují ve srovnatelném rozpětí. Sledované objekty si tak i po 4 a 5 letech provozu od prvního monitoringu udržují srovnatelnou účinnost čištění a retence polutantů. Infiltrační charakteristiky obou průlehů se po 5 letech od uvedení provozu prakticky nezměnily.

#### Literatura

- [1] Aryal, R.K., Muramaki, M., Furumai, H., Nakajima, F., and Jinadasa, H. (2006) Prolonged deposition of heavy metals in infiltration facilities and its possible threat to groundwater contamination. *Wat. Sci. Tech.*, vol. 54, No. 6–7, p. 295–212.
- [2] Bäckström, M., Karlsson, S., Bäckman, L., Folkesson, L., and Lind, B. (2004) Mobilisation of heavy metals by deicing salts in a roadside environment. *Wat. Research* 38, p. 720–732.
- [3] Beránková, D., Brtníková, H., Kupec, J., Huzlík, J., and Prax, P. (2008) Pollution of the highways runoff. *Transactions on Transport Sciences*, vol. 2008, No. 2, p. 31–38. ISSN 1802-971X.

- [4] Beránková, D., Brtníková, H., Kupec, J., Mlejnková, H., Huzlík, J. a Prax, P. Parametry jakosti a množství povrchového splachu z dálnic. *VTEI, příloha Vodního hospodářství* č. 6/2009, roč. 51, č. 3, s. 8–11. ISSN 0322-8916.
- [5] Beránková, D., Rozkošný, M., Vitek, J., Huzlík, J., Kupec, J., Kriška, M., Šálek, J., Mlejnková, H. a Brtníková, H. (2010) Kontrola jakosti dálničních splachů a hodnocení účinnosti jejich dočišťování při decentralizovaném systému odvodnění (závěrečná zpráva projektu VaV 1F84C/031/910. Brno: VÚV TGM, 72 s.
- [6] Bodenkundliche Untersuchungen im Rahmen des Entwicklungsvorhabens „Versickerung des Niederschlagwassers von befestigten Verkehrsflächen“ (2008). Augsburg: Bayerisches Landesamt für Umwelt (on line-version ISBN 978-3-940009-96-8).
- [7] Bulc, T. and Sajn Slak, A. (2003) Performance of constructed wetland for highway runoff treatment. *Wat. Sci. Tech.*, vol. 48, No. 2, p. 315–322.
- [8] ČSN 75 7221 (1998). Jakost vod – Klasifikace jakosti povrchových vod.
- [9] DWA-A 138. Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser. Hennef: DWA, Arbeitsblatt – A138, 2005. ISBN 3-937758-66-6.
- [10] Hlavínek, P. aj. (2007). Hospodaření s dešťovými vodami v urbanizovaném území. Brno : ARDEC. ISBN 80-86020-55-X.
- [11] Hvited-Jacobson, T. and Yousef, YA. (1991) Highway Runoff Quality, Environmental Impacts and Control. In Highway Pollution (eds Hamilton, RS. and Harrison, RM. Amsterdam: Elsevier, p. 165–208.
- [12] JV Projekt VH, s.r.o. (2006) MU v Brně, Univerzitní Kampus Bohunice – AVVA, AVVA – infrastruktura, SO IV-322.2 parkoviště II – odvodnění, SO IV-325.4 parkoviště III – odvodnění, 051 (technická zpráva; arch. č. 05 065, 03/2006).
- [13] Kadlec, RH. and Wallace, S. (2009) Treatment wetlands ( 2nd ed.) Boca Raton (USA) : CRC Press.
- [14] Kröpfelová, L. a kol. (2008) Odstraňování stopových prvků v kořenových čistírnách, In Kröpfelová, L. a Vymazal, J. (eds) Monitoring těžkých kovů a vybraných rizikových prvků při čištění odpadních vod v umělých mokřadech (sborník z mezinár. Semináře). Třeboň : ENKI, s. 43–54. ISBN 978-80-254-3059-0.
- [15] Kutílek, M., Kuráž, V. a Císlarová, M. *Hydropedologie*. Praha : Vydav. ČVUT, 2000, 149 s.
- [16] Lee, PK. and Touray, JC. (1998) Characteristics of a polluted artificial soil located along a motorway and effects of acidification on the leaching behavior of heavy metals (Pb, Zn, Cd). *Wat. Res.*, vol. 32, No. 11, p. 3425–3435.
- [17] Nařízení vlády č. 23/2011 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech. Praha : MŽP, 2011.
- [18] Norrström, AC. and Jacks, G. (1998) Concentration and fractionation of heavy metals in roadside soils receiving de-icing salts. *Sci. Tot. Env.*, 218, p. 161–174.
- [19] Novotny, V. et al. Cyanide and metal pollution by urban snowmelt: impact of deicing compounds. *Wat. Sci. Tech.*, vol. 38, No. 10, 1998, p. 223–230.



- [20] Sansalone, J.J. (1999) Adsorptive infiltration of metals in urban drainage – media characteristics. *Sci. Tot. Env.*, 235, p. 179–188.
- [21] Shutes, RBE., Revitt, DM., Scholes, LNL., Forshaw, M., and Winter, B. (2001) An experimental constructed wetland system for the treatment of highway runoff in the UK. *Wat. Sci. Tech.*, vol. 44, No. 11–12, p. 571–578.
- [22] Warren, LA. and Zimmermann, P. The influence of temperature and NaCl on cadmium, copper and zinc partitioning among suspended particulate and dissolved phases in an urban river. *Wat. Res.*, vol. 28, No. 9, 1994, p. 1921–1931.

### **Poděkování**

*Tato práce vznikla jako součást řešení projektu TA03030400 “Vývoj technologií pro čištění srážkových smyvů z komunikací a jiných zpevněných ploch”, financovaného Technologickou agenturou ČR. Výsledky z období 2008-2009 byly dosaženy řešením projektu VaV 1F84C/031/910 „Kontrola jakosti dálničních splachů a hodnocení účinnosti jejich dočišťování při decentralizovaném systému odvodnění“ financovaného Ministerstvem dopravy ČR.*

## **The development and changes in the characteristics of the infiltration and retention facilities for transport infrastructure and paved areas surface run-off treatment**

**Miloš Rozkošný<sup>1</sup>, Michal Kriška<sup>2</sup>, Tereza Hudcová<sup>3</sup>, Radek Novotný<sup>1</sup>,  
Danuše Beránková<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>TGM Water Research Institute, p.r.i., Mojmírovo nám. 16, 612 00, Brno, CZ

<sup>2</sup>Brno University of Technology, Žitkova 17, 602 00, Brno, CZ

<sup>3</sup>Dekonta, a.s., Dřetovice 109, 273 42, Stehelčevy, CZ

e-mail: milos\_rozkosny@vuv.cz, kriska.m@fce.vutbr.cz,  
hudcova@dekonta.cz

### **Abstract**

The paper presents results of the water quality monitoring of road and parking surface run-off, which was done in 2008-2009 and 2013-2014. The main results of the retention and infiltration facilities treatment efficiency for PAH, mineral oils, chlorides and selected heavy metals are presented too. The system of facilities has been built for a parking area located within Brno-Bohunice (Masaryk University campus). The retention basin has been built in Brno at a trade centre. The results of analyses and field measurements allow to compare the evolution and changes of the filtration media characteristics, treatment efficiency and changes in pollution loading. The aim of the evaluation is to provide information for the proper maintenance of retention, infiltration and treatment facilities provided for the surface run-off source of pollution of water bodies.



# Detekce toxických látek pomocí biosenzoru

Martina Bucková<sup>1</sup>, Roman Ličbinský<sup>1</sup>, Blanka Šebestová<sup>2</sup>, Jan Krejčí<sup>2</sup>

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

Líšeňská 33, 636 00 Brno

<sup>2</sup>BVT Technologies, a.s.

Strážek 206, 592 53 Strážek

e-mail: martina.buckova@cdv.cz

## Abstrakt

Znečišťování životního prostředí dosahuje v současné době takové úrovně, že systematická selektivní kontrola znečišťujících látek je téměř nemožná. Na druhé straně je nutné v souladu s udržitelným rozvojem zajistit dostatečně kvalitní životní prostředí pro budoucí generace. To je spojeno s pravidelnou kontrolou environmentálních složek, která je v současné době realizována klasickými analytickými metodami a testy toxicity v laboratorních podmínkách. Výše uvedené je příčinou velké časové a finanční náročnosti pro posouzení, zda životní prostředí na určitém místě, může představovat riziko pro živé organismy, či nikoliv. Řešením může být aplikace biosenzorů, které mohou výrazně zjednodušit měření. Hlavní výhodou spočívá v předvýběru vzorků, které budou poslány na drahé certifikované analýzy. To významně redukuje náklady a čas nutný pro získání informací stejné kvality jako klasická měření. Velmi vhodnými organismy jsou zelené řasy díky své citlivosti na environmentální znečištění. Proto byl vyvinut nový přístroj založený na principu biosenzoru indikující zatížení životního prostředí znečišťujícími látkami. Principem je měření životního cyklu řas. Životní cyklus je monitorován měřením produkce kyslíku řas po osvětlení.

## 1. Úvod

Pro monitoring jednotlivých složek životního prostředí se využívají chemické analýzy a také testy toxicity na živých organismech. Výhodou biologických testů spočívá v tom, že umožňují celkovou detekci působení chemických látek na životní prostředí a dokonce jsou schopny měřit i ty škodlivé látky, jejichž klasická analýza není metodicky zvládnuta, ale jejichž společným rysem je toxické působení na citlivý organismus. K těmto testům jsou využívány rostliny a živočichové různých trofických úrovní, které byly vybrány v důsledku své citlivosti k chemickým sloučeninám i environmentálnímu znečištění. Nevýhodou těchto testů je především jejich časová náročnost, z důvodu i několikadenní kultivace organismů s toxickou látkou či vzorkem životního prostředí. Informace o toxicitě daného vzorku jsou tedy získány až za delší dobu a neumožňují včasný zásah v případě zjištěné toxicity.

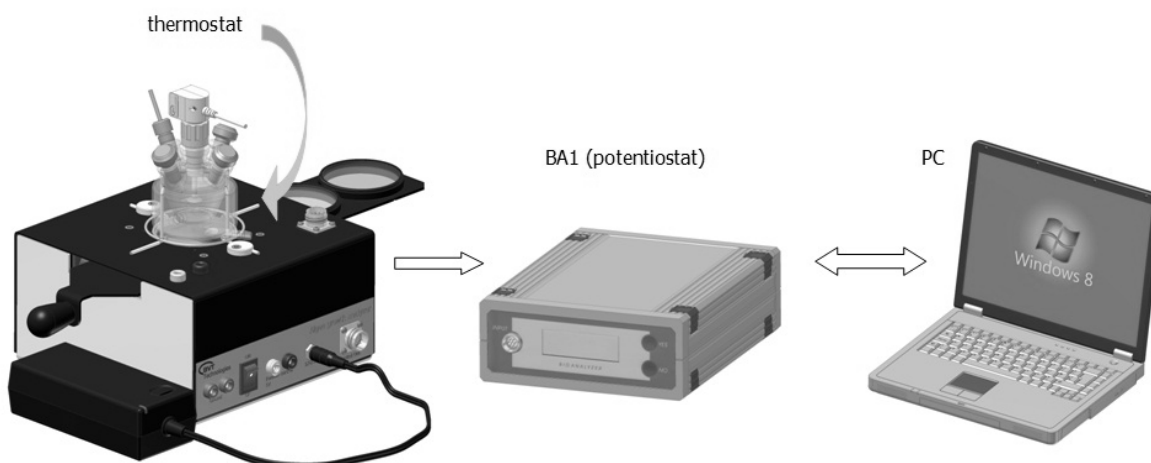
Tento příspěvek má podat informace o novém přístroji, který byl vyvinut v rámci projektu VaV „Integrovaný systém sledování kontaminace životního prostředí dopravou“ č.TA02030179 realizovaného Centrem dopravního výzkumu, v. v. i. a BVT Technologies a.s. Cílem projektu bylo vytvořit přístroj, umožňující praktické a rychlé stanovení kontaminace životního prostředí dopravou, založený na vhodném biotestu, vypracovat metodiku měření vyvinutým přístrojem a ověřit ji v praxi. Tento biosenzor využívá jako bioreceptor zelené řasy, které jsou velmi citlivé a jsou využívány rovněž ve standardním testu popsáném normou ISO 8692 [1]. Podle tohoto postupu jsou ale výsledky získány až za 72 hodin. Nový přístroj by měl

výrazně zjednoduší a zrychlí standardní postup, případně umožní i práci v terénu při zachování stejné vypovídající schopnosti jako standardní postup.

## 2. Popis přístroje

Laboratorní vzorek přístroje, na němž byly předběžně ověřeny některé principy stanovení toxických látek, je zobrazen na obr. 1.

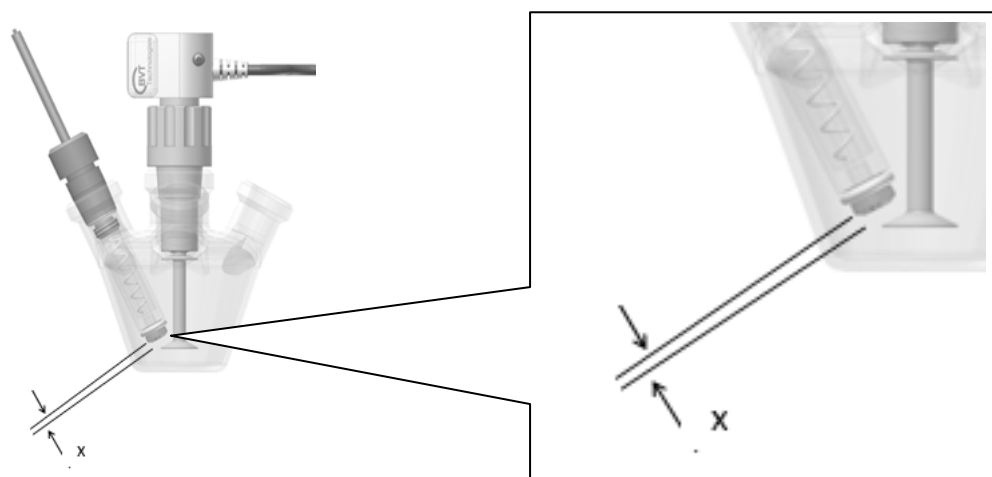
Obr. 1: Laboratorní vzorek zařízení



Zdroj: BVT Technologies

Zařízení se skládá ze stojanu, v němž je umístěno osvětlení reakční nádoby TC5 (dostupné z: [www.bvt.cz](http://www.bvt.cz)). Osvětlení je vytvořeno halogenovou žárovkou o napětí 12 V a výkonu 20 W. Reakční nádoba (bioreaktor), obsahující řasovou suspenzi, je plášťovaná a termostatovaná externím vodním termostatem na vhodnou teplotu. Detail reakční nádoby je zobrazen na obr. 2. Při měření je zařízení zakryto poklopem.

Obr. 2: Detail reakční nádoby s míchadlem



Zdroj: BVT Technologies

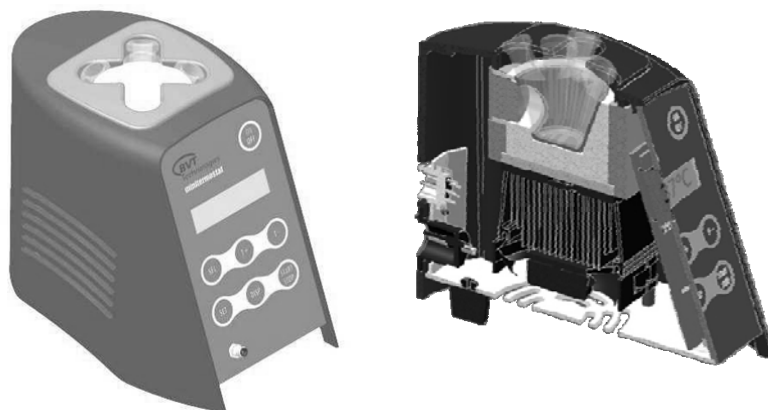
Objem pracovního prostoru bioreaktoru je 2-10 ml. Optimální objem je 5 ml řasové suspenze. V reakční nádobce TC5 je umístěno míchadlo ST1 a kyslíková elektroda OE1 ([www.bvt.cz](http://www.bvt.cz)). Elektroda přiléhá ke konickému disku míchadla. Jeho otáčením je zajištěn intenzivní přenos kyslíku k aktivnímu povrchu čidla a současně

je minimalizován hydrodynamický šum, který je zdrojem nízké citlivosti při využití klasických míchadel. Bylo ověřeno, že navržené míchadlo minimálně poškozuje řasy, pokud jsou využity jako biologický detekční prvek.

Elektronická jednotka zajišťuje plně automatický provoz. Zaznamenává proud kyslíkové elektrody a řídí osvit řas. Základní data jsou zpracována na PC.

Cílem projektu bylo vyvinout přístroj, který je malý, potencionálně použitelný mimo laboratoř a uživatelsky příjemný. Z tohoto pohledu bylo největším problémem zajištění stálé teploty. Proto byla navržena integrace reakční nádoby do minitermostatu MT1 (obrázek 3). Dále bylo do minitermostatu integrováno osvětlení reakční nádoby. V tomto příspěvku jsou uvedeny výsledky, které byly získány na laboratorním vzorku přístroje.

Obr. 3: Model minitermostatu



Zdroj: BVT Technologies

### 3. Princip měření

Řasová suspenze byla osvětlována a potom nechána ve tmě v několika opakujících se cyklech. To umožnilo zrychlit životní cyklus řas. Během měření byla sledována produkce kyslíku. Koncentrace kyslíku byla měřena s přesností 0,02 %. 24 hodinová stabilita signálu byla 0,1 %. Po aplikaci toxické látky docházelo ke snížení produkce kyslíku. Data byla vyhodnocena metodou synchronní detekce [2] v programu Syndet a následně exportována do Excelu, kde sloužila ke grafickému zpracování.

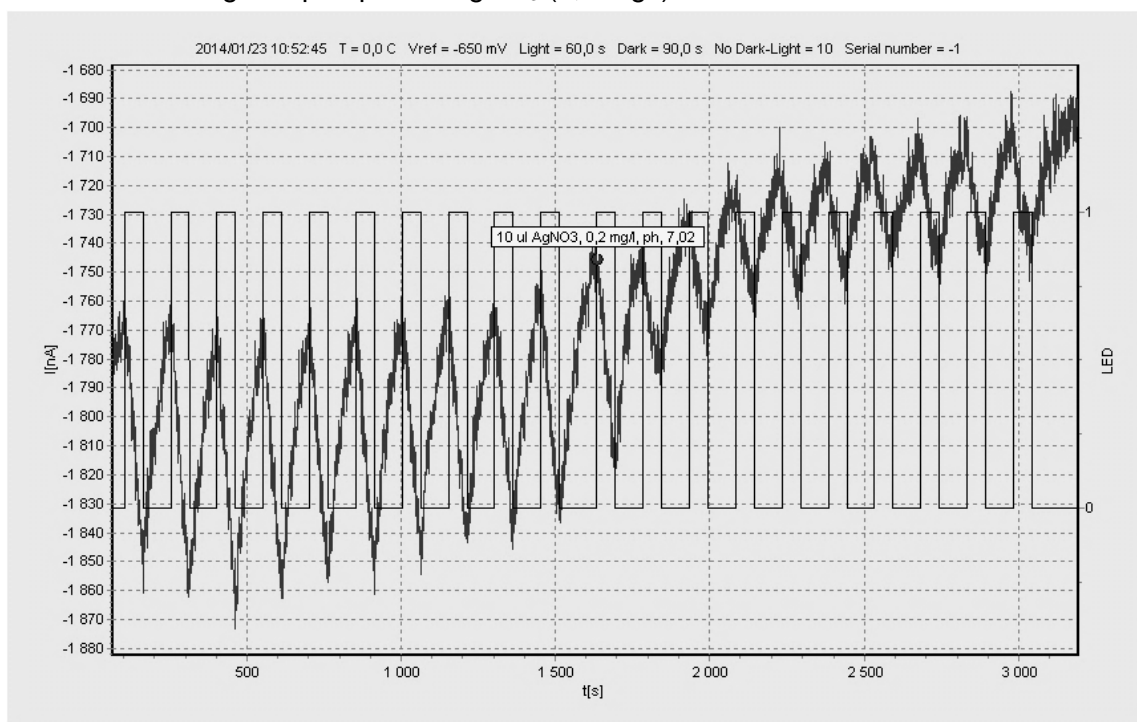
Důležitým úkolem byla optimalizace podmínek měření, které ovlivnily délku měření a také citlivost k toxickým látkám. Byla stanovena optimální teplota, délka cyklu světla a tmy, otáčky míchadla a způsob předkultivace řas.

### 4. Výsledky a diskuze

K optimalizaci podmínek měření byl jako toxikant vybrán dusičnan stříbrný ( $\text{AgNO}_3$ ), díky své vysoké toxicitě k řasám. Měření byla prováděna na zelených řasách *Scenedesmus quadricauda* a *Pseudokirchneriella subcapitata*, s cílem vybrat řasu, která by byla pro práci s přístrojem vhodnější. Měření probíhala při teplotě 25°C. V průběhu jednoho cyklu byly řasy 60s osvětlovány a 90s ponechány ve tmě. Celé měření trvalo 20 cyklů (50 minut), kdy prvních 10 cyklů byla měřena produkce kyslíku neovlivněných řas, poté byl aplikován přírůstek  $\text{AgNO}_3$  a měření pokračovalo dalších 10 cyklů.

Výsledky byly srovnávány s hodnotami  $EC_{50}$ , které byly získány standardním postupem dle normy ISO 8692 [1]. Střední účinná (efektivní) koncentrace  $EC_{50}$  představuje koncentraci zkoušené látky, která má za následek 50% snížení růstové rychlosti ve vztahu ke kontrolnímu vzorku. Příklad záznamu získaného po aplikaci  $AgNO_3$  je uvedený na obrázku 4.

Obr. 4: Záznam signálu po aplikaci  $AgNO_3$  (0,2 mg/l)



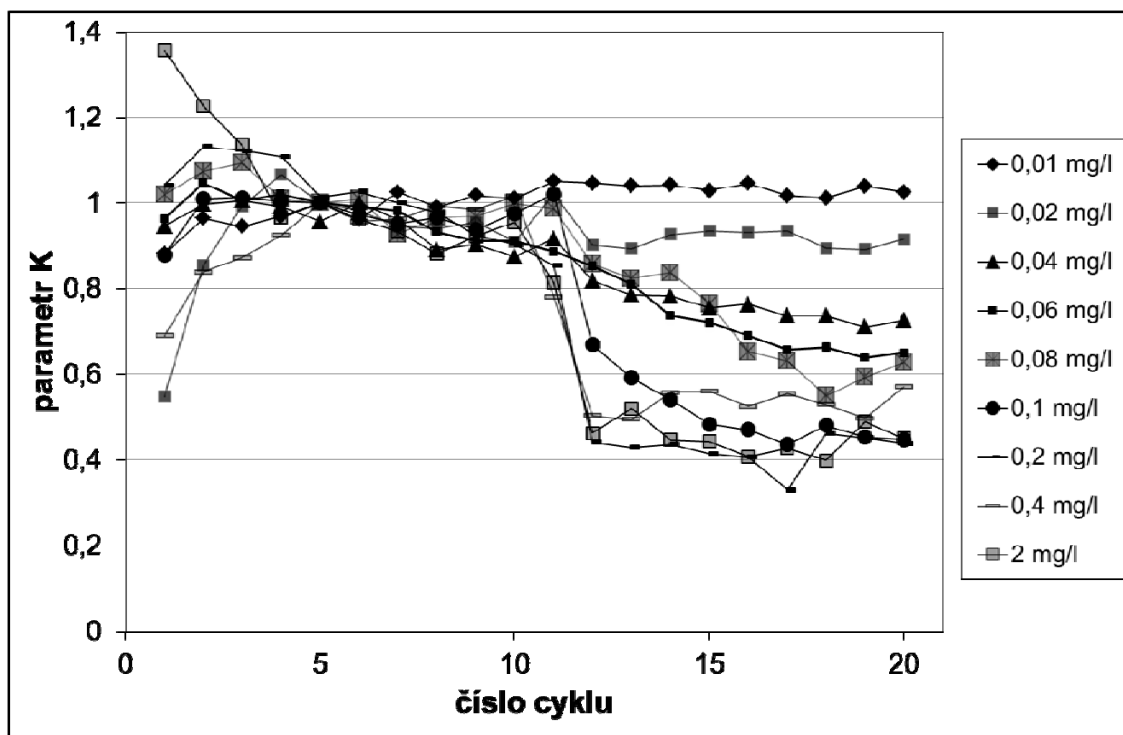
Zdroj: CDV

Na obrázcích 5 a 6 je znázorněna reakce uvedených řas na  $AgNO_3$  vyhodnocená v programu Syndet a Excel. Parametr K je koeficientem měřítka mezi odpovědí řas na světlo v přítomnosti inhibitoru s ohledem na odpověď bez inhibitoru. Pro *Pseudokirchneriella subcapitata* byla zvolena koncentrační řada v rozsahu 0,01 mg/l – 2 mg/l  $AgNO_3$ , pro *Scenedesmus quadricauda* 0,08 mg/l – 10 mg/l.

Graf na obrázku 7 srovnává kalibrační křivky pro jednotlivé řasy a v grafu na obr. 8 je znázorněna rychlost poklesu parametru K v závislosti na koncentraci  $AgNO_3$ .

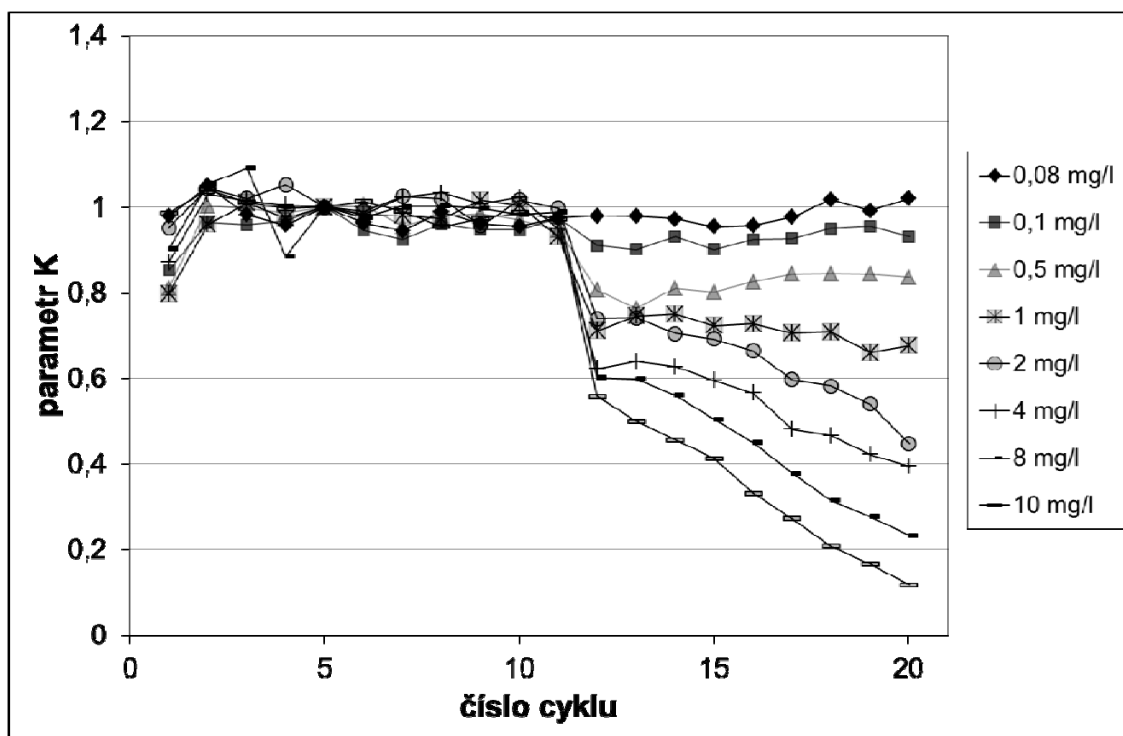
Z uvedených obrázků je patrné, že u řasy *Pseudokirchneriella subcapitata* dochází k inhibici při nižších hodnotách  $AgNO_3$  než u řasy *Scenedesmus quadricauda*. Na druhou stranu vykazuje výrazně nižší hodnoty signálu než *Scenedesmus quadricauda*, což může být způsobeno menší velikostí buněk, tedy i chloroplastů a tím je nižší produkce kyslíku. Na základě těchto měření byla, i přes nižší citlivost, vybrána řasa *Scenedesmus quadricauda*, neboť vyšší hodnoty signálu umožní robustnější měření a lepší reprodukovatelnost výsledků. Výsledky jednoho měření byly získány za 50 minut, tedy přibližně stokrát rychleji, než je tomu v případě 72 hodinového testu dle ISO [1]. Přístroj by umožnil detekci v těch případech, kdy by byla toxicita akutní a 72 hodinový test by poskytl výsledky příliš pozdě.

Obr. 5: Snížení produkce kyslíku po aplikaci  $\text{AgNO}_3$  - *Pseudokirchneriella subcapitata*



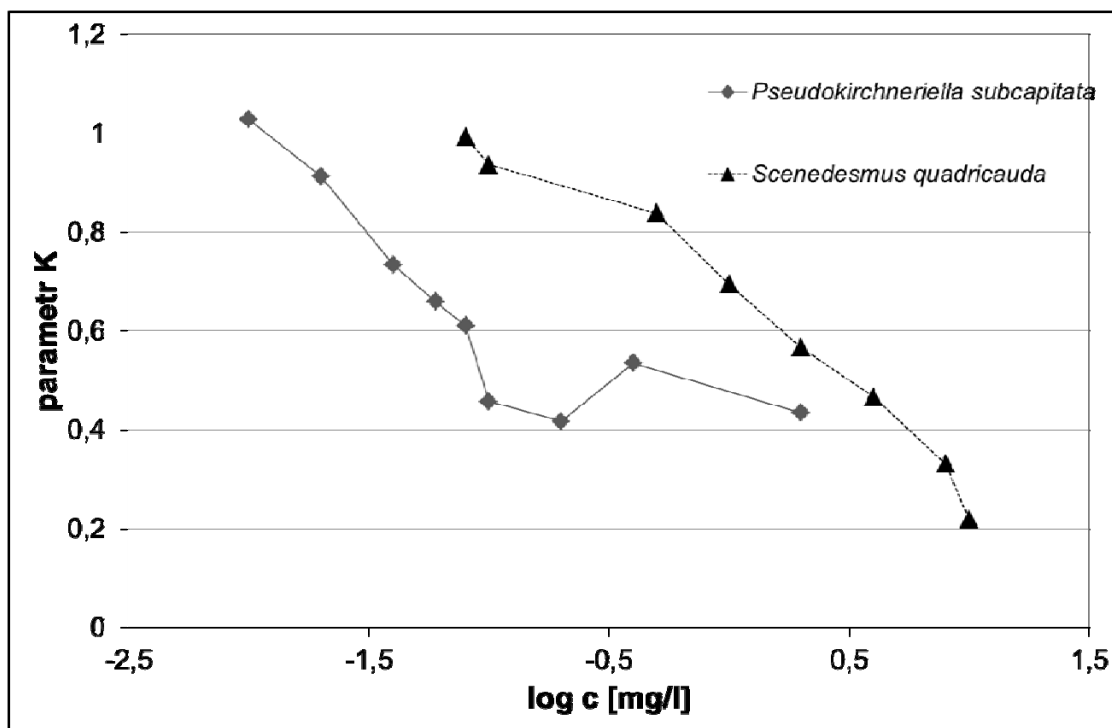
Zdroj: CDV

Obr. 6: Snížení produkce kyslíku po aplikaci  $\text{AgNO}_3$  - *Scenedesmus quadricauda*



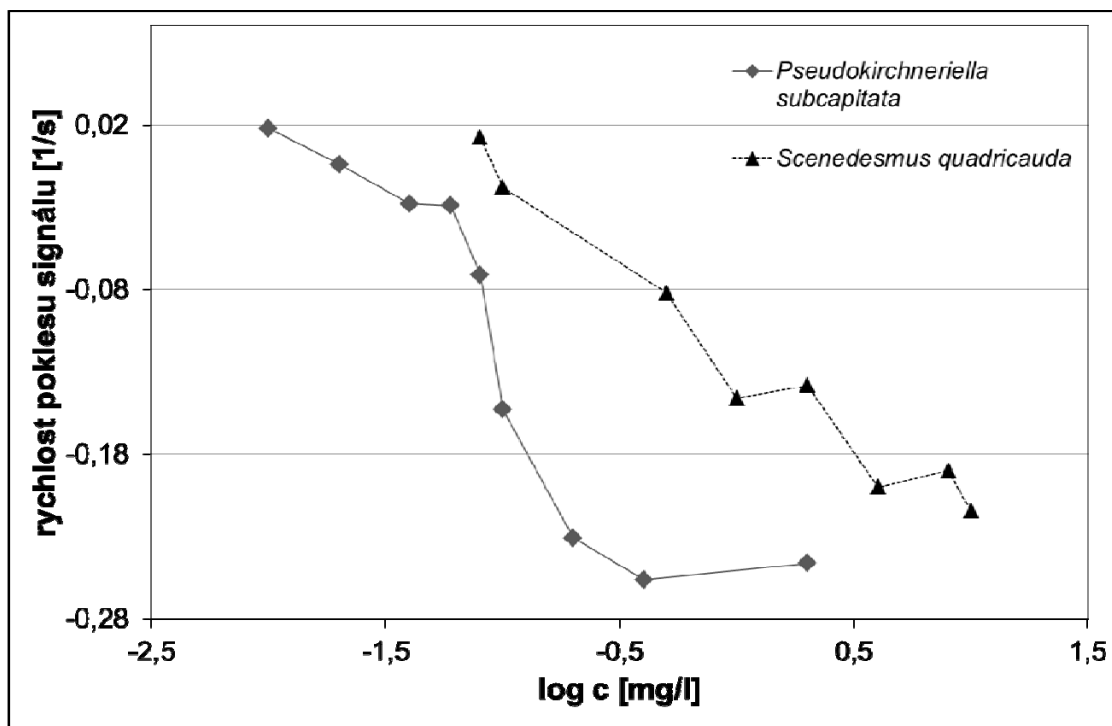
Zdroj: CDV

Obr. 7: Kalibrační křivka pro  $\text{AgNO}_3$  a vybrané řasy



Zdroj: CDV

Obr. 8: Rychlost poklesu parametru K v závislosti na koncentraci  $\text{AgNO}_3$



Zdroj: CDV



## 5. Závěr

V tomto příspěvku byl prezentován nový přístroj, pracující na principu biosenzoru, využívající jako bioreceptor zelené řasy. Tento přístroj umožní výrazně zrychlit a zjednodušit standardní postup měření prováděný podle normy ISO 8692 [1]. Při měření v biosenzoru je měřen přímý toxický vliv na fotosystém II (PS II), proto nejsou výsledky přímo srovnatelné s ISO testem, kde je měřena růstová rychlost. Výsledky jednoho měření byly získány za 50 minut ve srovnání se 72 hodinovým testem dle ISO. Limit detekce pro nový přístroj a AgNO<sub>3</sub> byl nepatrně vyšší než hodnoty EC<sub>50</sub> pro AgNO<sub>3</sub> stanovené standardním postupem (EC<sub>50</sub>=0,02 mg/l pro *Pseudokirchneriella subcapitata*). Byla srovnána citlivost 2 řas k AgNO<sub>3</sub> a jejich vhodnost pro měření v biosenzoru a jako vhodnější řasa byla vybrána *Scenedesmus quadricauda*, která i když je méně citlivá, produkuje vyšší hodnoty měřeného signálu.

## Literatura

- [1] ISO 8692 : 2012 Kvalita vod – Zkouška inhibice růstu sladkovodních zelených řas.
- [2] J. Krejci et al., High sensitivity biosensor measurement based on synchronous detection. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 102 (2011), 192-199.

## Poděkování

*Tato práce vznikla jako součást řešení projektu VaV „Integrovaný systém sledování kontaminace životního prostředí dopravou“ č.TA02030179, financovaného Technologickou agenturou ČR a projektu Dopravní VaV centrum č. CZ.1.05/2.1.00/03.0064.*

## Detection of toxic substances using biosensor

**Martina Bucková<sup>1</sup>, Roman Ličbinský<sup>1</sup>, Blanka Šebestová<sup>2</sup>, Jan Krejčí<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Transport Research Centre, v. v. i. Líšeňská 33, 636 00 Brno*

<sup>2</sup>*BVT Technologies, a.s.*

*Strážek 206, 592 53 Strážek*

e-mail: martina.buckova@cdv.cz

## Abstract

Environmental pollution currently reaches up to such level that systematic selective control of polluting compounds is almost not possible. On the contrary, in accordance with sustainable development, it is necessary to ensure sufficient quality of the environment for future generations. This is associated with regular quality control of environmental components, which is implemented currently by classical analytical methods and toxicity tests in laboratory conditions.

The above is the cause of large time and financial demands to assess whether environment on a particular locality may pose a risk to living organisms or not. The solution may be the application of biosensors that can greatly simplify the measurement. The main advantage consist of preselection of samples which will be send to expensive certified analysis. They significantly reduce the costs and time necessary for obtaining information of the same quality as classical measurement. Very suitable organisms due to their sensitivity to environmental pollution are algae. Therefore the new device based on the principle of the biosensor indicating the environmental burden by pollutants was developed. The principle consists of measurement of life cycle of algae. The life cycle is monitored by oxygen production after algae illumination.



# Antropogenní bariéry pro volně žijící živočichy v Chřibech

Marek Havlíček<sup>1</sup>, Ivo Dostál<sup>2</sup>, Jiří Jedlička<sup>2</sup>, Petr Anděl<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v. v. i.,  
Lidická 25/27, 602 00 Brno

<sup>2</sup> Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., Líšeňská 33a, 636 00 Brno

<sup>3</sup> Evernia, s.r.o., tř. 1. máje 97, 460 01 Liberec

e-mail: marek.havlicek@vukoz.cz, ivo.dostal@cdv.cz,  
jiri.jedlicka@cdv.cz, andel@evernia.cz

## Abstrakt

V příspěvku byl zkoumán historický vývoj antropogenních bariér pro migraci volně žijících živočichů v Chřibech a jejich širším zázemí. Pro mapování historického vývoje byly využity staré a současné topografické mapy a letecké snímky, na jejichž základe byly vytvořeny mapy využití krajiny a mapy vývoje pozemních dopravních komunikací. Dalším cílem bylo i hodnocení migračního významu průchodů na nejméně významnějších pozemních dopravních komunikacích v širším zázemí Chřibů. Migrační potenciál Chřibů je dlouhodobě narušován silnými urbanizačními procesy spojenými s budováním silniční a železniční dopravní sítě, zejména v sousedním Dolnomoravském a Hornomoravském úvalu. Migrační význam průchodů na nejméně významnějších pozemních komunikacích v tomto území je u většiny objektů nízký, kvalita některých dobře navržených průchodů je snížena násobnou fragmentací v důsledku paralelně vedených komunikací. Příspěvek shrnuje možná základní opatření ke zvýšení migrační propustnosti okolní krajiny, zejména s ohledem na zlepšení průchodnosti konkrétních objektů na dopravních pozemních komunikacích, úpravy krajinné struktury urbanizovaných a zemědělsky intenzivně využívaných území.

## 1. Úvod

Výstavbou dopravní, průmyslové a sídelní infrastruktury se vytvářejí v krajině bariéry, které brání volnému pohybu živočichů. Biotopy vhodné pro život velkých savců jsou štěpeny na stále menší části, v krajině tak vznikají izolované oblasti bez dostatečné interakce s okolím [1]. Tento proces, označovaný jako fragmentace krajiny a fragmentace populací, patří k nejméně významnějším negativním vlivům lidské činnosti na živou přírodu [2].

Migračně významná území jsou nejvyšší vymezenou jednotkou v koncepci ochrany migrační propustnosti krajiny. Vychází ze základní koncepce udržení průchodnosti krajiny ve vazbě na větší krajinné celky (např. propojení biogeografických jednotek západokarpatské podprovincie a hercynské podprovincie). Jedná se o široká území, která zahrnují oblasti jak pro trvalý výskyt druhů, tak pro zajištění migrační propustnosti [1].

Jako migrační bariéry jsou označovány přírodní a antropogenní struktury v krajině, které brání volnému pohybu živočichů. Mezi hlavní objekty s bariérovým efektem jsou řazeny především: (A) silnice a dálnice, (B) železnice, (C) vodní toky a vodní plochy, (D) ploty a ohradníky, (E) osídlení, (F) bezlesí. Výsledný účinek jednotlivých bariér se může kumulovat. Vysoká hustota i částečně propustných bariér může způsobit celkovou nepropustnost dané krajiny [1].

Pro hodnocení dlouhodobého výskytu migračních bariér v zázemí migračně významných území je vhodné využívat staré topografické mapy a letecké snímky v kombinaci s nejnovějšími mapovými podklady či terénním šetřením.

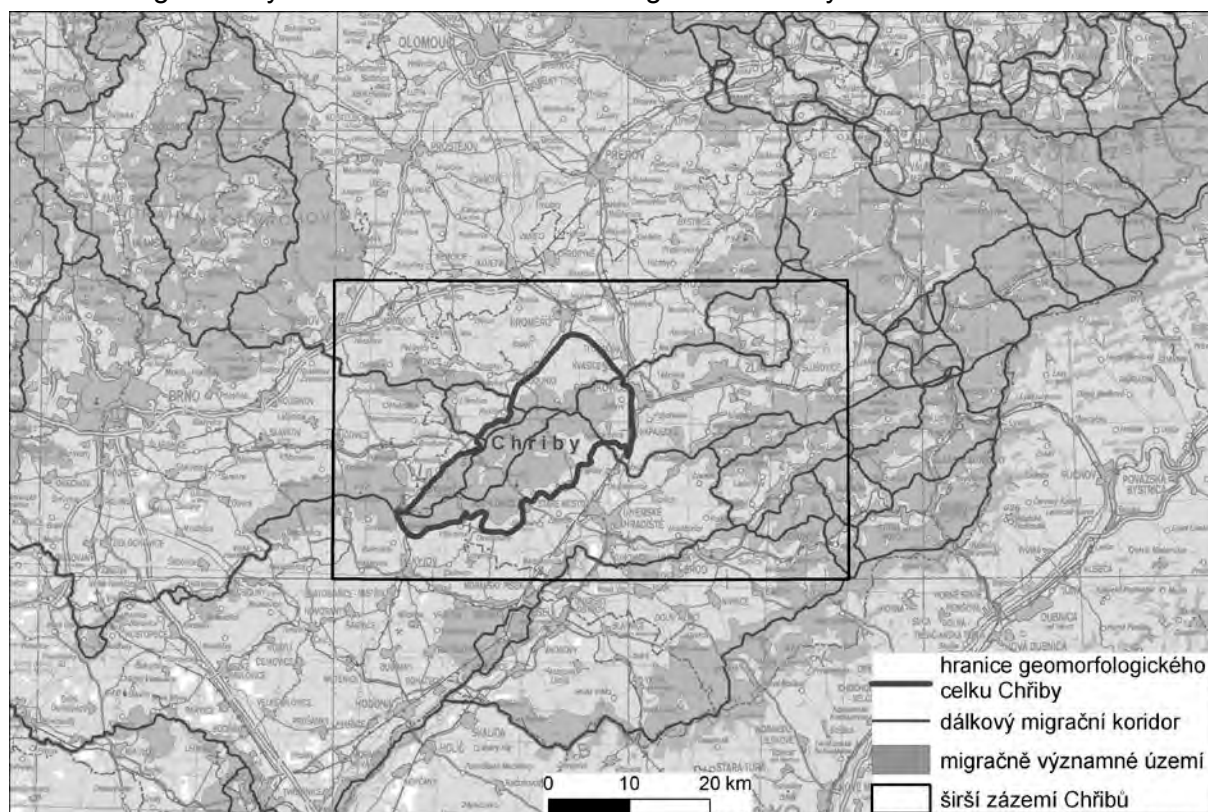
Problematika fragmentace krajiny a antropogenních bariér pro migraci živočichů je velmi frekventovaným tématem v odborné literatuře u nás i v zahraničí. Vznikají systematické a metodické práce zaměřené na celou řadu aspektů fragmentace krajiny, včetně bariérového efektu pro migraci volně žijících živočichů [1], [3], [4], [5], [6], konkrétní hodnocení využití vybudovaných průchodů pro migraci živočichů, případně jejich navrhování a budování v konkrétních územích [7], [8], [9].

Cílem tohoto příspěvku je zhodnocení historického vývoje migračních bariér v Chřibech a širším zázemí pomocí starých topografických map a leteckých snímků. Důraz byl kladen zejména na vývoj zastavěných ploch, orné půdy a dopravních komunikací. Dílčím cílem bylo i vyhodnocení aktuální prostupnosti průchodů na nejvýznamnějších silnicích v regionu pro velké a střední savce.

## 2. Studované území

Geomorfologický celek Chřiby je významnou součástí Vnějších Západních Karpat. Jedná se o velký ostrov zachovalých přirozených lesů ve vrchovinném reliéfu, který je obklopen dlouhodobě intenzivně obhospodařovanou krajinou v nivách a úvalech řek Morava, Haná a Litava. V kontrastu k okolnímu území je v Chřibech osídlení velmi řídké, z hlediska systému osídlení v České republice jde o tzv. vnitřní periferii. Převládající lesní porosty, členitý reliéf, nízká hustota osídlení jsou ideálními vlastnostmi pro biotopy vhodné pro velké savce, případně pro migračně významná území pro migraci velkých savců (obr. 1).

Obr. 1: Migračně významná území a dálkové migrační koridory v Chřibech a okolí



Zdroj: EVERNIA, s.r.o., AOPK ČR, VÚKOZ, v.v.i., ČENIA (RETM)

Chřiby jsou migračně významným územím s pravidelným výskytem jelena evropského (*Cervus elaphus*) a perspektivní lokalitou pro rysa ostrovida (*Lynx lynx*). Tato oblast je také domovem savců střední velikosti, jako je srnec obecný (*Capreolus capreolus*), liška obecná (*Vulpes vulpes*) a prase divoké (*Sus scrofa*).

Pro studium dlouhodobého využití krajiny a vývoj dopravních komunikací bylo hodnoceno jádrové území Chřibů vymezené na základě geomorfologického členění do úrovně geomorfologického celku a taktéž širší zázemí Chřibů, v kterém se odehrávaly a odehrávají migrační aktivity volně žijících živočichů a zároveň se zde vyskytují hlavní antropogenní migrační bariéry.

Dálkové migrační koridory, které procházejí územím Chřibů, zajišťují konektivitu s dalšími migračně významnými územími – na východě s Bílými Karpaty a Vizovickými vrchy, na severovýchodě s Hostýnskými vrchy. V jihozápadní části Chřibů navazují na další migračně významné území, konkrétně Ždánický les. Přes Litenčickou pahorkatinu vede z Chřibů dálkový migrační koridor směřující do oblasti Dražanské vrchoviny (obr. 1).

### 3. Metodika

K vyhodnocení růstu migračních bariér v Chřibech a okolí byly využity staré topografické mapy a letecké snímky, které byly zpracovány v geografických informačních systémech v prostředí ArcGIS.

Byly použity následující mapové podklady: 2. rakouské vojenské mapování (1:28 800) z let 1836–1841; 3. rakouské vojenské mapování (1:25 000) z roku 1876; československé topografické mapy (1:25 000) z roku 1953-1955; československé topografické mapy (1:25 000) z roku 1991-1993; aktuální letecké snímky z roku 2012; mapové vrstvy z databáze ZABAGED.

Na základě těchto mapových byly vytvořeny mapy využití krajiny pro 5 časových období s kategoriemi využití: orná půda, trvalý travní porost, zahrada a sad, vinice, les, vodní plocha, zastavěná plocha, rekreační plocha, ostatní plocha [10]. Staré mapové podklady sloužily i pro vyhodnocení vývoje silniční sítě, jako dalšího činitele ovlivňujícího migrační dostupnost území. Na základě rozboru mapových klíčů byly interpretovány na starých mapách z 19. století císařské silnice, zemské silnice, v 20. století pak silnice I. a II. třídy, v pozdějším období i dálnice a rychlostní komunikace.

Další část práce prezentuje výsledky terénních výzkumů prováděných s cílem mapování aktuálního stavu objektů na hlavních dopravních komunikacích, které by mohly sloužit jako potenciální průchody pro větší savce v tzv. "hot spots", místech kde dochází ke konfliktu mezi dopravními sítěmi a důležitými migračními koridory. Toto mapování proběhlo v roce 2013 v návaznosti na starší aktivity z let 2001 a 2004-5 [11], což umožnilo posoudit změny objektů a jejich blízkého okolí v čase. Každý z objektů byl při mapování hodnocen na škále od 0 do 3 bodů s intervalem 0,5 bodu ze dvou hledisek:

a) ekologického - migrační významnost každého objektu z pohledu jeho postavení ve vztahu k migrační a ekologické síti, vztah k dalším migračním bariérám a celkové začlenění objektu do struktury krajiny;

b) technického - konstrukční uzpůsobení pro migraci zvěře.

Výsledné ohodnocení významnosti daného objektu je pak dáno součinem  $x$  (viz tab. 2) obou dílčích bodových známek. Jako hlavní vodítko pro hodnocení sloužila doporučení daná Evropskou příručkou fragmentace dopravní infrastrukturou, která vznikla v rámci projektu COST 341 [6] a z ní vycházející české metodiky [3].

### 4. Výsledky a diskuze

Analýzy změn využití krajiny v Chřibech a širším zázemí ukázaly některé zásadní trendy, které vedly k růstu antropogenních bariér pro migraci volně žijících živočichů.

Nejvýznamnějším trendem byl růst zastavěných ploch, který byl významnější v širším zázemí Chřibů. Od roku 1836 narostl podíl zastavěných ploch v tomto území z 2,78 % na 10,2 % (tab. 1).

Tab. 1: Vývoj využití krajiny v Chřibech a jejich širším zázemí v období 1836- 2012

Období	1836-1841	1876	1953-1955	1991-1993	2012
1 – Orná půda					
Chřiby	28.09%	33.64%	34.66%	26.39%	22.73%
Širší zázemí	50.68%	58.19%	60.19%	50.56%	47.58%
2 – Trvalý travní porost					
Chřiby	11.15%	6.00%	2.38%	4.03%	7.12%
Širší zázemí	17.55%	10.28%	3.71%	5.87%	7.57%
3 – Zahrada a sad					
Chřiby	0.20%	0.35%	0.75%	2.16%	2.31%
Širší zázemí	0.47%	0.55%	1.29%	2.02%	1.86%
4 - Vinice					
Chřiby	1.45%	0.88%	0.44%	0.71%	0.32%
Širší zázemí	1.21%	0.82%	0.35%	0.78%	0.43%
5 - Les					
Chřiby	57.64%	57.50%	59.06%	61.29%	61.47%
Širší zázemí	27.26%	27.18%	28.45%	30.43%	31.07%
6 – Vodní plocha					
Chřiby	0.00%	0.00%	0.00%	0.17%	0.14%
Širší zázemí	0.05%	0.01%	0.08%	0.50%	0.54%
7 – Zastavěná plocha					
Chřiby	1.47%	1.64%	2.69%	4.42%	4.77%
Širší zázemí	2.78%	2.96%	5.84%	9.28%	10.21%
8 – Rekreační plocha					
Chřiby	0.00%	0.00%	0.02%	0.82%	1.08%
Širší zázemí	0.00%	0.00%	0.06%	0.48%	0.63%

Zdroj: VÚKOZ, v. v. i., CDV, v. v. i.

Mezi nejdynamičtější území z hlediska procesu urbanizace patřil zejména Dolnomoravský úval a Hornomoravský úval, kde v ose měst Hulín, Otrokovice, Napajedla, Staré Město, Uherské Hradiště, Kunovice, Uherský Ostroh došlo k významnému růstu sídel vedoucím k přiblížení zastavěných území a někdy i jejich úplnému propojení. Zahuštění zastavěných ploch může vést k vytvoření zásadní migrační bariéry s efektem velmi omezené komunikace mezi populacemi živočichů ve významných migračních územích (zde např. Chřibů a Bílých Karpat). Dynamický růst zastavěných ploch v Dolnomoravském úvalu a Hornomoravském úvalu byl doprovázen i budováním významných dopravních tras - železniční tratě tzv. Severní dráhy císaře Ferdinanda (budovaná v této části území v letech 1840-1841), císařské silnice (později převedená na silnici I. třídy) a v posledních letech i rychlostní silnice (zatím jen části). Velmi negativním jevem je i zánik rozsáhlých ploch trvalých travních porostů v širším zázemí Chřibů, především opět v Dolnomoravském a Hornomoravském úvalu [12]. Trvalé travní porosty byly nahrazeny převážně ornou půdou s minimem rozptýlené zeleně, která významně ztěžuje průchodnost krajiny

pro volně žijící živočichy [1]. Překážkou pro migraci živočichů jsou i vodní toky s vodohospodářsky upravenými břehy, případně nově vybudované vodní plochy.

Při porovnání dlouhodobého vývoje využití krajiny v území geomorfologického celku Chřiby je zřejmé, že jde z tohoto hlediska o poměrně stabilní území s dlouhodobou převahou lesních porostů. Potvrzuje se tímto význam Chřibů jako území vhodného pro migraci velkých savců a středně velkých živočichů. Nejvýraznější změny byly zaznamenány u trvalých travních porostů, jejichž podíl poklesl z původní hodnoty 17,55 % v letech 1836-1841 na 3,71 % v letech 1953-1955 (tab. 1). Některé dotační tituly na podporu obnovy luk a pastvin, agroenvironmentální opatření s podporou MŽP vedly k pozvolnému růstu podílu trvalých travních porostů v Chřibech.

V rámci terénního průzkumu byly zmapovány jednotlivé migrační objekty na vybraných komunikacích, které způsobují významný bariérový efekt pro migraci volně žijících živočichů v blízkém okolí hodnocené oblasti. Do hodnocení byla zahrnuta mezinárodní železniční trať Přerov – Břeclav (dvoukolejná železnice, součást TEN-T) a následující silniční komunikace:

- silnice I. třídy I/50 – přetínající Chřiby ve střední části, součást sítě mezinárodních tras dle dohody AGR (UNECE, 2007) jako E50
- rychlostní silnice R55 (v úseku Hulín – Otrokovice) – součást TEN-T
- silnice I. třídy I/55 – významná silnice I. třídy vedená ve směru historické dálkové obchodní trasy podél řeky Moravy, v úseku Hulín – Otrokovice paralelně s rychlostní silnicí R55

Celkem bylo v předmětném území na zájmových komunikacích identifikováno 30 objektů, které by mohly sloužit jako potenciální průchody pro volně žijící živočichy.

Tab. 2: Přehled výsledků hodnocení objektů v zájmovém území

Bodové ohodnocení $x$	Migrační význam objektu	Počet objektů	Podíl v %
$x \leq 1$	bez významu	11	36,7
$1 < x \leq 3$	nevýznamný	9	30,0
$3 < x \leq 5$	významný	7	23,3
$x > 5$	velmi významný	3	10,0
-	Celkem	30	100,0

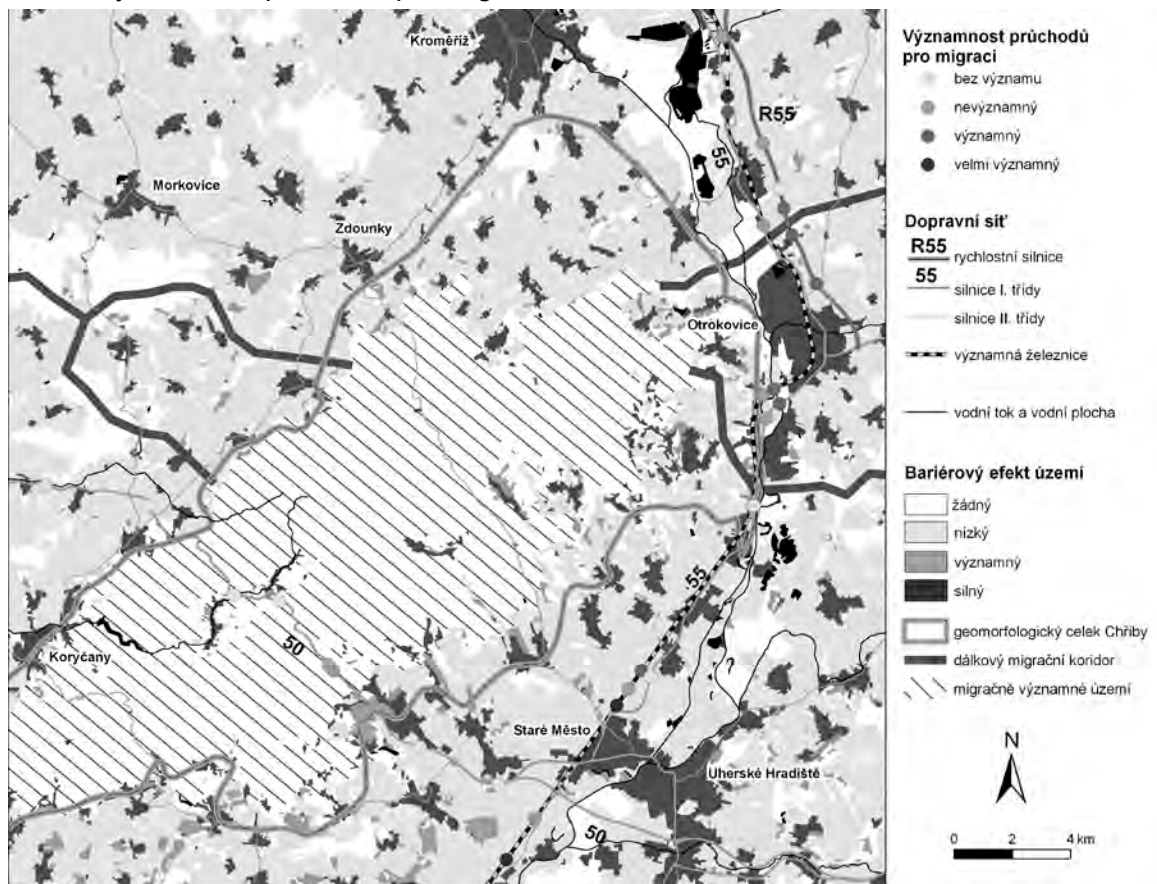
Zdroj: VÚKOZ, v. v. i., CDV, v. v. i

Tabulka 2 poukazuje na významnou převahu objektů, které nemají žádný nebo jen velmi malý migrační význam. Důležitým aspektem pro migrační propustnost území je však nejen jejich prostý počet, ale také jejich poloha ve vztahu k ostatním migračním bariérám. Proto je na obr. 2 znázorněna také prostorová distribuce jednotlivých průchodů v komunikacích s vyznačením jejich migrační významnosti.

Z obrázku 2 je zřejmý nedostatek vhodných průchodů pro volně žijící živočichy zejména na silnici I. třídy I/50. Díky poměrně vysoké intenzitě dopravy (roční průměr denních intenzit dosahoval při Sčítání dopravy 2010 hodnoty 8819 vozidel / 24 h při 25% podílu těžkých nákladních vozidel) představuje tak tato komunikace prakticky neprůchodnou bariéru, která dělí řešenou oblast na dvě vzájemně oddělené části území. Na východní straně Chřibů podél řeky Moravy se nachází hned několik paralelně vedených dopravních komunikací, které vzájemně znásobují svůj bariérový efekt. Zejména na železniční trati Přerov – Břeclav můžeme najít několik kvalitních průchodů, jejich význam je však potlačen díky souběžně trasované silnici bez odpovídajících objektů. V oblasti severně od Otrokovic (migrační koridor směr Hostýnské vrchy) byla nově vybudovaná rychlostní silnice (otevřena v roce 2010),

na které se nachází několik potenciálních průchodů, které jsou relativně vhodné pro migraci, ale jejich technické řešení nebylo pro tento účel optimalizováno. Díky tomu je snížena možnost jejich využívání jako průchodů pro živočichy. Tento výsledek koresponduje se zjištěními při terénních rekognoskacích na jiných nově zbudovaných komunikacích v regionu Moravy – viz např. rychlostní silnice R48 [13].

Obr. 2: Významnost průchodů pro migraci v Chříbech a okolí – rok 2013



Zdroj: VUKOZ, v. v. i., CDV, v. v. i.

Obr. 3: Původně stavebně špatně řešený objekt u obce Stupava před a po rekonstrukci silnice I/50, která jeho rozměry ještě více zmenšila



V části silnice I/50 procházející pohořím Chřiby probíhala okolo roku 2003 významná rekonstrukce s výstavbou třetího pruhu ve stoupacích úsecích.



Díky této výstavbě proběhla rekonstrukce tří z hodnocených objektů – příležitost ke zvýšení jejich migrační příležitosti nebyla využita, jsou i nadále bez významu nebo nevýznamné. Naopak, technické řešení jednoho z nich rozměry průchodu ještě zmenšilo (viz obr. 3).

## 5. Závěr

Chřiby jsou významným migračním územím s vysokým potenciálem pro migraci volně žijících živočichů jak z hlediska přírodních poměrů, stability využití krajiny, ekologické hodnoty území, tak i z hlediska prostorových vztahů a vazeb k dalším významným migračním územím. Bohužel tento migrační potenciál Chřibů je dlouhodobě narušován silnými urbanizačními procesy spojenými s budováním silniční a železniční dopravní sítě, zejména v sousedním Dolnomoravském a Hornomoravském úvalu. Migrační význam průchodů na nejvýznamnějších pozemních komunikacích v tomto území je u většiny objektů nízký. Silný antropogenní bariérový efekt vede k izolaci Chřibů pro migraci volně žijících živočichů z východního či severovýchodního směru. Dobrá konektivita je zajištěna alespoň mezi Chřiby a Ždánickým lesem. Pro zlepšení migrační prostupnosti okolí Chřibů by byla vhodná opatření zlepšující průchodnost konkrétních objektů na dopravních pozemních komunikacích v kombinaci s úpravami krajinné struktury urbanizovaných a zemědělsky intenzivně využívaných území.

## Literatura

- [1] ANDĚL, P., MINÁRIKOVÁ, T., ANDREAS, M. (eds.) (2010): Ochrana průchodnosti krajiny pro velké savce. Evernia, Liberec, 137 s.
- [2] MIKO, L., HOŠEK, M. (eds.) (2009): Příroda a krajina České republiky. Zpráva o stavu 2009. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha
- [3] ANDĚL, P., GORČICOVÁ, I., HLAVÁČ, V., MIKO, L., ANDĚLOVÁ, H. (2005): Hodnocení fragmentace krajiny dopravou, Metodická příručka. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha, 99 s.
- [4] ANDĚL, P., BELKOVÁ, H., GORČICOVÁ, I., HLAVÁČ, V., LIBOSVÁR, T., ROZÍNEK, R., ŠIKULA, T., VOJAR, J. (2011): Průchodnost silnic a dálnic pro volně žijící živočichy. Liberec: Evernia, 154 s.
- [5] HLAVÁČ, V. (2005): Increasing Permeability of the Czech Road Network for Large Mammals. GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society, no. 2, p. 175-177.
- [6] IJUELL, B., BEKKER, G. J., CUPERUS, R. et al. (2003): Wildlife and Traffic: A European Handbook for Identifying Conflicts and Designing Solutions. Utrecht (Netherlands): EC, COST 341, KNNV, 172 p.
- [7] JĘDRZEJEWSKI W., NOWAK S., KUREK R., MYŚLAJEK R. W., STACHURA K., ZAWADSKA B. (2006): Zwierzęta a drogi: Metody organiczania negatywnego wpływu dróg na populacje dzikich zwierząt. Zakład badania Ssaków Polskiej Akademii Nauk, Białowieża, Polsko, 95 p.
- [8] MATA, C., HERVÁS, I., HERRANZ, J., SUÁREZ F., MALO, J. E. (2008): Are motorway wildlife passages worth building? Vertebrate use of road-crossing structures on a Spanish motorway. Journal of Environmental Management, no. 88, p. 407-415.

- [9] SUK, M., KUŠTA, T., JEŽEK, M., KEKEN, Z. (2011): Methodological aspects of monitoring of large mammals along traffic corridors: A case study (Lagomorpha, Carnivora, Artiodactyla). *Lynx*, n. s., no. 42, p. 177–188.
- [10] MACKOVČIN, P. (2009): Land use categorization based on topographic maps. *Acta Pruhoniana*, no. 91, p. 5–13.
- [11] ADAMEC, V., DUFEK, J., JEDLIČKA, J. et al. (2006): Výzkum zátěže životního prostředí z dopravy. (Výroční zpráva projektu VaV CE 801 210 109 za rok 2005). Brno: CDV, 105 s.
- [12] HAVLÍČEK, M., DOSTÁL, I. (2012): Vývoj využití krajiny v okrese Hodonín v kontextu vývoje dopravních sítí. *Acta Pruhoniana*, č. 102, s. 57–64.
- [13] DOSTÁL, I., JEDLIČKA, J., ADAMEC, V., DUFEK, J. (2011): Vliv dopravních staveb na krajinu a biodiverzitu. In: Brtnický, M., Brtnická, H., Foukalová, J., Kynický, J. (eds.) *Degradace a regenerace krajiny*. Brno: Mendelova univerzita, s. 162–169.

### **Poděkování**

*Tento příspěvek vznikl v Centru dopravního výzkumu, v. v. i. na základě aktivit finančně podpořených v rámci projektu Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy - Operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace č. ED2.1.00/03.0064 \_ Dopravní VaV centrum. Výzkum ve společnosti EVERNIA, s.r.o. byl podpořen projektem vědy a výzkumu Ministerstva životního prostředí ČR VaV-SP/2d4/36/08 „Vyhodnocení migrační propustnosti krajiny pro velké savce a návrh ochranných a optimalizačních opatření“. V rámci Výzkumného ústavu Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v. v. i., byl výzkum financován z institucionální podpory VUKOZ-IP-00027073.*

## **Anthropogenic barriers to wildlife in Chřiby Upland**

**Marek Havlíček<sup>1</sup>, Ivo Dostál<sup>2</sup>, Jiří Jedlička<sup>2</sup>, Petr Anděl<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v. v. i., Lidická 25/27, 602 00 Brno

<sup>2</sup> Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., Líšeňská 33a, 636 00 Brno

<sup>3</sup> Evernia, s.r.o., tř.1. máje 97, 460 01 Liberec

e-mail: marek.havlicek@vukoz.cz, ivo.dostal@cdv.cz, jiri.jedlicka@cdv.cz, andel@evernia.cz

### **Abstract**

The paper presents the historical development of anthropogenic barriers to wildlife migration in Chřiby upland and their wider hinterland. Maps of land use and maps of development of the road and railway network were created using the old and present topographic maps and aerial photographs. Another objective was the evaluation of the importance of migratory passages for wildlife on main transport routes near Chřiby upland. The migration potential of Chřiby upland has been weakened by strong urbanization processes associated with the construction of road and railway network for a long time, particularly in neighboring Hornomoravský úval and Dolnomoravský úval Graben. Migration importance of most of passages in research area is low, quality of some well-designed passages is reduced due to multiple fragmentation effect of parallel roads. The paper summarizes the basic measures to increase migration permeability of surrounding landscape, particularly with regard to improving the design of specific objects on road network, modification of the landscape structure, in urban and intensively used agricultural area.

# Vliv chemické zimní údržby silnic na terestrické ekosystémy

**Petr Anděl**

*EVERNIA s.r.o.*

*Tř. 1. máje 97, 460 01 Liberec*

*e-mail: andel@evernia.cz*

## **Abstrakt**

Příspěvek se zabývá problematikou vlivu chemické zimní údržby komunikací na terestrické ekosystémy z ekotoxikologického pohledu. Je diskutována obecná nebezpečnost technického chloridu sodného, průběh šíření solí a expozice v prostředí a účinky na vybrané organismy. Výstupem je stanovení celkové rizikovosti posypových solí pro danou lokalitu. Zdůrazněna je nutnost individuálního přístupu k jednotlivým lokalitám a přednosti využití GIS při zpracovávání rizikových analýz.



# Obtěžování hlukem: zdravotní problém nebo akustický komfort?

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

## Abstrakt

Při snižování a řízení hluku v komunálním prostředí je třeba rozlišovat dvě kategorie účinků hluku na člověka. Jsou to jednak přímé zdravotní účinky a jednak obecné obtěžování hlukem spadající do oblasti kvality života. Hluk z hlediska obou kategorií musí být v životním prostředí regulován - otázkou je nejvhodnější regulátor a odpovídající nejvhodnější nástroje. Stávající hluková legislativa administrovaná Ministerstvem zdravotnictví se týká ochrany veřejného zdraví a nikoliv snižování hluku v životním prostředí jako celku. Řešení obecného obtěžování je věcí veřejného pořádku v kompetenci obcí, Městské policie a Policie České republiky. Nepochopení rozdílů obou přístupů vede často ke zbytečným nedorozuměním ze strany laické veřejnosti i medií, ale v řadě případů i veřejnosti odborné.

## 1. Hluk-základní přístupy k regulaci

Při snižování a řízení hluku v komunálním prostředí je třeba brát v úvahu dvě kategorie účinků hluku na člověka:

1. **zdravotní účinky** (Health Effects – objektivní fyzické a mentální zdraví),
2. **kvalita života** (Quality of Life – subjektivní míra vztahující se k emocionálnímu, sociálnímu a fyzickému pocitu pohody) – „akustický komfort“ tj. míra celkového obtěžování hlukem.

Hluk z hlediska obou kategorií musí být v životním prostředí regulován - otázkou je nejvhodnější regulátor a odpovídající nejvhodnější nástroje, z hlediska odborného i právního.

## 2. Zdravotní účinky hluku

V tomto případě jde o **přímé zdravotní účinky** dlouhodobé expozice hluku působené zejména definovanými technickými zdroji hluku, jakými jsou např. doprava, 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 takové 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. A to jak v rámci prevence, tedy v akustických výpočtových

studiích před realizací investičního záměru, tak při zdravotním dozoru např. při řešení stížností apod.

Důležité je, že u uvedených zdrojů hluku lze s přijatelnou mírou nejistoty stanovit za podmínek reprodukovatelnosti a opakovatelnosti objektivní hodnotu akustické emise (např. hladinu akustického výkonu). Celý proces hodnocení zdravotních rizik vzhledem k přímým zdravotním účinkům pak může být transparentní a jednoznačný, tedy i přezkoumatelný.

Regulace přímých zdravotních účinků hluku plně spadá do kompetence orgánů ochrany veřejného zdraví (krajských hygienických stanic) [3], které jako orgány státní správy pro omezení hluku uvedených zdrojů mj. používají hygienické limity hluku stanovené platným právním předpisem [4].

### 3. Kvalita života, akustický komfort

Není sporu o tom, že i opakované **obtěžování hlukem**, které je typické pro ojedinělé nebo krátkodobé expozice hluku nebo hluky z tzv. náhodných zdrojů hluku, jakými jsou např. řeč, hlasové projevy zvířat, sousedské hluky, některé hudební projevy, hluky ze sportovních, kulturních a volnočasových aktivit, může v některých případech vést ke zhoršení celkového zdravotního stavu exponovaných osob. Tyto zdravotní účinky jsou však **nepřímé** a nelze je jednoduše kvantifikovat. Je to zejména proto, že subjektivní pocit obtěžování exponované osoby závisí jen z menší části na akustických parametrech působícího akustického signálu [5], [6]. Rozhodující je celková míra stresu, který vzniká jako výsledek procesu, který na jedné straně hodnotí subjektivní pocit ohrožení a na druhé straně hodnotí osobní potenciál toto ohrožení zvládnout či eliminovat. Obě tyto stránky hodnocení jsou závislé především na osobnostních charakteristikách exponované osoby, socio-ekonomických, kulturních, historických a dalších souvislostech.

Celkové obtěžování hlukem lze považovat za určující prvek tzv. akustického komfortu (resp. diskomfortu) a je třeba ho adekvátním způsobem regulovat. To ovšem není možné aplikací hlukového limitu, protože pro náhodné zdroje hluku je typické, že jejich hladina akustického tlaku se mění okamžitě, náhodně a nepředvídatelně. Z těchto důvodů nelze věrohodně stanovit jejich akustickou emisi a tedy ani objektivně přezkoumat účinky případné regulace (imisi hluku), a to ani v rámci prevence (výpočtové akustické studie), ani v rámci státního zdravotního dozoru (měření hluku). Uvedené zdroje hluku je možné regulovat pouze dispozičními a organizačními opatřeními (např. rozhodnutí o umístění nebo stanovením provozní doby), a proto z výše uvedených důvodů bývá v evropských zemích tato regulace svěřována jako problematika veřejného pořádku do pravomoci obcí.

#### 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] Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů
- [4] Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.
- [5] HAVRÁNEK, J. a kol. Hluk a zdraví, Avicenum, Praha 1990.

- [6] KROESEN, M., MOLIN, E. J. E., van WEE, B. Testing a theory of aircraft noise annoyance: A structural equation analysis. J.Acoust. Soc. Am. 123 (6), 2008.

### **Poděkování**

*"Podpořeno programem PRVOUK P37/09", Univerzita Karlova v Praze, Lékařská fakulta v Hradci Králové*

## **Noise annoyance: Health endpoint or quality of life problem?**

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

### **Abstract**

For environmental noise management and regulation two categories of noise effects on humans should be taken into account: At the first there are direct health endpoints and at the second there is general noise annoyance that is effect belonging to the area of the quality of life. The noise in both categories should be regulated in the environment – the question is, however, the best proper authority and proper legislative tools for this regulation. Existing noise legislation under agenda of the Ministry of health is concerning public health safety only and not the general reduction of all noise in the whole living environment. Solving the problem of common annoyance by noise is the matter for local authorities and police. Misunderstanding in this point is very often leading to the confusion both for common public and even for the professionals.





# Srovnání hlučnosti povrchů vozovek (metoda CPX)

**Ing. Vítězslav Krivánek, Ph.D.**

*Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.*

*Líšeňská 33a, 636 00 Brno*

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

## Abstrakt

Hluk patří v dnešní době k nejrozšířenějším škodlivinám životního prostředí a způsobuje závažná civilizační onemocnění. V současné době v ČR nejsou známy v dostatečné míře relevantní poznatky o hlučnosti jednotlivých typů povrchů vozovek a jejich změn. Předkládaný článek zabývá měřením povrchů vozovek metodou malé vzdálenosti (CPX) dle návrhu normy ISO 11819-2. Představeny jsou dílčí výsledky získané v rámci projektu TAČR č. TA01030459 – „Změna hluku povrchů vozovek v průběhu několika let používání“, které mají poskytnout základní informace o hladinách akustického tlaku A styku pneumatika/vozovka různých typů i stáří povrchů vozovek používaných na území ČR. Výsledky potvrzují, že specializované „nízkohlučné povrchy“ mohou přispět ke snižování nadměrné hlukové zátěže ze silniční dopravy, ovšem je velmi důležité provádět měření v souladu s doporučením nejnovějších norem a u prezentovaných výsledků sledovat, jaká je zvolena srovnávací základna pro porovnání mezi běžným a „nízkohlučným“ povrchem.

## 1. Úvod

Hnací jednotka je dominantním zdrojem hluku v automobilové dopravě při nízkých rychlostech – u osobních vozidel cca do 40 km/h, u nákladních vozidel cca do 60 km/h [20]. Hluk od pneumatik začíná převládat při vyšších rychlostech a je způsobený jejich odvalováním po vozovce. Tato složka hluku ze silniční dopravy je dominantní přibližně až do rychlosti 200 km/h, poté již převládá aerodynamický hluk, zapříčiněný obtékáním vzduchu kolem vozidla [13]. Z pohledu silniční sítě ČR a povolených rychlostních limitů, tak převládající složkou hluku je styk pneumatiky s vozovkou. Proto je zřejmé, že snižování hluku, vznikajícího mezi pneumatikou a vozovkou, představuje významné opatření na straně zdroje [1]. K tomuto účelu se v dnešní době využívá specializovaných povrchů [5] – tzv. povrchy se sníženou hlučností (nízkohlučné povrchy), kdy k efektu tiššího povrchu vozovky dochází okamžitě po pokládce. Dlouhodobý monitoring [22] a včasná výměna obrusné vrstvy vozovky může výrazně přispět k trvale udržitelnému rozvoji dopravy i snižování negativních účinků na životní prostředí a zdraví [14], [19].

## 2. Monitoring hlučnosti komunikací

Nezávisle na intenzitě dopravního proudu v daném místě komunikace je možné hladinu hluku vznikajícího při styku pneumatika/vozovka posuzovat pomocí dvou metod – statické a dynamické.

Statická metoda lépe postihuje okolí vlastní komunikace, ovšem je velmi náročná a přísná na měřicí místo [3], přičemž je nutné velmi obezřetně vybírat průjezdy automobilů z dopravního proudu. Jedná se o statistickou metodu při průjezdu (SPB metoda) a jelikož jde o statickou metodu, při níž se měření provádí pouze v jednom bodě - lokální měření mikrofonom umístěným v blízkosti komunikace, tak není zřejmé, jak vypadá hluková situace o pár metrů dále [6]. Tato metoda

je v současné době podrobována revizi mezinárodní pracovní skupinou CEN TC 227 / WG5. V roce 2013 byla jako dodatek vydána specifikace ISO/PAS 11819-4 „nová metoda“ SPB, používající desku na které je umístěn mikrofon (označení: backing board). Tato metoda má umožnit dosažení přesnějších výsledků a možnost měřit i v místech, kde by měření prostou metodou SPB nebylo možné, stále jsou však podmínky na možná místa měření velmi přísná.

Proto nejen v rámci doporučení CEN TC 227 / WG5 většina evropských států k monitoringu hlučnosti povrchů komunikací využívá dynamickou metodu CPX (Close-ProXimity method) [21]. Metodou malé vzdálenosti lze měření provádět v celé délce komunikace [23] (nejen na jednom nebo více statických bodech) při běžném provozu [18]. Měření metodou CPX je prováděno dle návrhu norem ISO 11819-2 [7] a 11819-3 [8] od rychlostí cca 40 km/h a výše [16]. Nejčastěji je tato metoda využívána pro: ověření účinnosti aplikace nízkohlučných povrchů vozovek, porovnání hlučností jednotlivých typů povrchů vozovek, monitorování akustického chování vozovky v průběhu několika let používání, aj [15]. Metoda CPX není závislá na hustotě okolního dopravního proudu [4], vlastní měření, pojiždění dané komunikace, je možné provádět v libovolný den a hodinu při splnění požadovaných meteorologických podmínek. V rámci měření mohou být vyhodnocovány jak krátké a tak dlouhé úseky komunikací i navazující úseky (měřicí postup popsán v [9], [12]). Měření metodou CPX je na rozdíl SPB metody výrazně rychlejší, ekonomičtější, praktičtější, méně náročné na podmínky měření a lze vyloučit dílčí rušivé části [16]. Jelikož výhody a zkušenosti i doporučení ze zahraničí s metodou CPX převažují, probíhá v rámci výzkumného projektu TAČR TA0103045 v ČR měření hluku silniční dopravy pomocí metody CPX.

## 2.1. Podmínky metody CPX

Není možné postupovat jen „volně“ dle normy a dodržovat jen některá pravidla, jelikož tak není zajištěna dlouhodobá objektivnost výsledků a není dost dobře možné porovnávat výsledky, kdy měření probíhá pokaždé na jiných pneumatikách, na jiném typu auta, či není důsledně v průběhu měření zaznamenávána rychlost měřicí zkoušky popřípadě teplota povrchu. Výše uvedené i mnohé další podmínky zvyšují vlastní nepřesnost měření, čímž se zvyšuje chyba měření, kdy pak není možné některé výsledky objektivně mezi sebou porovnávat. Proto pro zajištění dlouhodobé opakovatelnosti měření a možnost porovnání výsledků i v delším časovém horizontu, popřípadě pro možnost srovnání výsledků se zahraničními, je ze strany Centra dopravního výzkumu, v. v. i. (dále CDV) při měření striktně postupováno v souladu s normami ISO [7] a [8].

Největší nejistotu měření hluku styku pneumatika/vozovka představuje vliv zvolené měřicí pneumatiky, rozdíl pro naprosto stejný rozměr pneumatik může dosahovat až úrovně 4 dB [11]. Jelikož dezén běžných pneumatik se mění přibližně v řádu dvou let, nelze při uplatnění běžné pneumatiky výsledky měření použít pro jakékoliv další srovnávání výsledků [17]. Z těchto objektivních příčin používá CDV k zajištění co největší objektivity měření, dle návrhu ISO norem, pneumatiku Tigerpaw Uniroyal 225/60 R16 SRTT, která je doporučena v automobilovém průmyslu jako standardní pneumatika pro referenční testy dle ASTM F2493-08 [2], kdy jsou dlouhodobě zaručeny stálé vlastnosti této pneumatiky. Další rozdíl v hlučnosti je navíc způsoben vlastním opotřebením a degradací pneumatiky, proto CDV každý rok vyměňuje používanou SRTT pneumatiku na testování v terénu na měřicím přívěsu CPX. Hluk styku pneumatika/vozovka je ovlivňován teplotou i rychlostí, proto pro zajištění co nejpřesnějších výsledků je nutné provádět korekce na referenční rychlosti

a teplotu. K tomu, aby bylo možné korekce provádět, je nutné tyto parametry v průběhu vlastního měření celé délky vozovky měřit - kontinuální měření teploty povrchu zkoumané vozovky (využit teplotní infračervený senzor), kontinuální měření rychlosti v době zkoušky (využit GPS modul možnost zajištění synchronizace měření na konkrétní polohu v terénu). Vlastní měřicí aparatura je sestavena z modulů na platformě PULSE a ke snímání hluchosti je použit půl palcový před polarizovaný měřicí mikrofon v třídě přesnosti 1, s citlivostí 50 mv/Pa, frekvenčním rozsahem 6,3 Hz – 20 kHz a dynamickým rozsahem 14,6 dB – 146 dB, není nutné tak v průběhu měření díky vysokým rozsahům provádět pře nastavování celého měřicího systému [12].

Pro splnění všech akustických podmínek, byl zkonstruován specializovaný přívěs (UV 20507, Obr. 1) o rozměrech cca 3 x 5 m tak, aby byly minimalizovány okolní nepříznivé vlivy, které by mohly ovlivnit vlastní měření. Dosažena je vzdálenost přes 4 m od referenční pneumatiky pro hnací jednotku vlastního tažného vozidla a hlavně od protijedoucího či předjížděcího vozidla. Vlastní měření není hlukem okolního provozu ovlivňován, jelikož vzdálenost vlastního měření je cca 0,2m dosahuje odstup měřeného signálu (což představuje hluk styku referenční pneumatika/vozovka) od projíždějícího automobilu (což představuje nežádoucí šum - rušení) úrovně přes 20 dB u nákladního automobilu a úrovně přes 25 dB u osobního automobilu [11]. Další nepříznivé vlivy pro měření představuje odpružení kol (pružiny), brzdový systém, blízkost hnací soupravy automobilu (převodovka, motor), výfuk, vzdálenost dalších kol automobilu, aj. Z důvodu, aby nebyly zachycovány nežádoucí odrazy a zvuky, je přívěs konstruován jako nezakrytovaný, bez blatníků a celá konstrukce je tvořena válcovými profily bez ostrých hran, bez brzd a se vzduchovým odpružením – těchto vlastností nelze dosáhnout na běžných automobilech, kde měření je ovlivňováno vlastní karoserií auta [10].

Obr. 1: Celkový pohled na měřicí přívěs CPX s tažným vozidlem.



### 3. Výsledky měření

Dle ISO 11819-2 je hlavním výstupem z měření ekvivalentní hladina akustického tlaku A styku pneumatika/vozovka a dále pak třetino oktávová charakteristika daného úseku. V rámci programu PULSE Lab Shop, byl proveden post processing, kdy byly případně odstraněny rušivé vlivy. Exportem naměřených hodnot do prostředí MS Excel je možné provést korekce, k čemuž slouží naměřené hodnoty skutečné rychlosti, teploty vzduchu a teploty povrchu vozovky. Výsledné změřené ekvivalentní hladiny akustického tlaku A jsou zde korigovány na referenční rychlost 50 km/h a referenční teplotu 20 °C. Chceme-li provést detailnější rozbor jednotlivých povrchů, pak pro tento účel se spíše hodí, třetino oktávová charakteristika daného úseku, ze které je možno vysledovat podrobnější rozdíly mezi povrchy.

Tab. 1: Naměřené hodnoty  $L_{Aeq}$  a pomocné údaje pro korekci pro různé povrchy.

Povrch	Stáří povrchu v době měření	Skutečná rychlost [km/h]	Skutečná teplota povrchu [°C]	Skutečná teplota vzduchu [°C]	Změřená $L_{Aeq}$ [dB]	Korigovaná $L_{Aeq}$ na ref. hodnoty [dB]
PA 8 CRmB	0 roků	49,82	27,7	23,9	85,9	86,3 ± 1,0
Viaphone (nenormová směs)	0 roků	50,72	18,3	15,1	87,2	86,9 ± 1,0
Viaphone (nenormová směs)	1 rok	51,07	21,4	19,4	88,2	88,0 ± 1,0
PA 8 CRmB	1 rok	50,97	27,5	21,1	88,5	88,3 ± 1,0
SMA 11	1 rok	50,96	22,1	18,3	89,7	89,4 ± 1,0
ACO 16	1 rok	50,36	25,6	20,4	89,7	89,8 ± 1,0
ACO 16	cca 10 let	49,62	28,4	22,6	91,9	92,5 ± 1,0
SMA 11	cca 10 let	49,77	33,4	24,6	92,1	92,8 ± 1,0
PA 8	cca 10 let	50,31	26,7	21,8	94,1	94,3 ± 1,0

Zkratky: PA - Porous Asphalt, CRmB - asfalty modifikované pryžovým granulátem, SMA - Stone Mastic Asphalt, AC - Asphalt Concrete (ACO - asfaltový beton pro obrusnou vrstvu).

### 4. Závěr

Byla zde především představena metoda CPX, jenž je využívána v hojné míře v zahraničí i doporučována mezinárodní pracovní skupinou CEN TC 227 / WG5. Tato metoda má oproti alternativním přístupům několik zásadních výhod spočívající především v minimální náročnosti na okolí měřené komunikace, nezávislosti na skladbě dopravního proudu, umožňující rychle a efektivně měřit i dlouhé úseky komunikací v terénu, kdy lze snadno aplikovat k monitorování akustického chování vozovky v průběhu několika let používání. Proto měření v rámci výzkumného projektu Technologické agentury ČR č. TA01030459 – „Změna hluku povrchů vozovek v průběhu několika let používání“ probíhají metodou CPX. Z dílčích výsledků měření v terénu, které byly získány v rámci VaV projektu, je zřejmé, že v mnoha případech, z akustického hlediska lze díky náhradě stávajícího krytu vozovky novým krytem, případně „specializovaným nízkohlučným povrchem“ dosáhnout významného snížení hlukové zátěže ze silniční dopravy [5], [18], ovšem u nízkohlučných povrchů je nutné počítat z akustického hlediska s možnou rychlejší degradací pozitivních účinků snížení hlukové emise i z důvodu nedostatečné údržby těchto specializovaných povrchů, viz Tab. 1.

## Literatura

- [1] AHAMMED, M. A., TIGHE, S., L., *Quiet Pavements: A Sustainable and Environmental Friendly Choice*. In University of Waterloo, Ontario, Canada, 2008.
- [2] ASTM F2493-08 Standard Specification for P225/60R16 97S Radial Standard Reference Test Tire.
- [3] DONAVAN, P., R., LODICO, D., M., *Estimation of Vehicle Pass-By Noise Emission Levels from Onboard Sound Intensity Levels of Tire-Pavement Noise*. In Transportation Research Record, iss. 2123, pp. 137 – 144, 2009, ISSN: 0361-1981.
- [4] EJSMONT, J., A., MIODUSZEWSKI, P., *Certification of vehicles used for tire/road noise evaluation by CPX method*. In Noise Control Engineering Journal, vol. 57, iss. 2, pp. 121 – 128, 2009, ISSN: 0736-2501.
- [5] *Guidance Manual for the Implementation of Low-Noise Road Surfaces*. SILVIA Project Report. FEHRL, 2006, Brussels, Belgium, ISSN 1362-6019.
- [6] HÖJER, M., NILSSON N., *A single Wheel trailer for tire/road noise measurements enabling both the CPX- and pass-by methods*, ASA-EAA joint conference Acoustics'08 Paris, 2008. Printed in The Journal of the Acoustical Society of America, vol. 123, iss. 5, ISSN 0001-4966.
- [7] ISO/DIS 11819-2 Acoustics - Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise - Part 2. - „Final draft of ISO/DIS 11819-2 CPX Method“ pod interním označením ICS 17.140.30.
- [8] ISO/TS 11819-3, Acoustics – Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise – Part 3: Reference Tyres.
- [9] KŘIVÁNEK, V., Measurement of Noise from Road Surface Using Dynamic Method, *Transactions on Transport Sciences*, vol. 6 n. 3, 2013, pp. 117 - 124, ISSN 1802-9876, DOI: 10.2478/v10158-012-0038-8.
- [10] KŘIVÁNEK, V. a kol.: Metodika k měření pomocí statistické metody při průjezdu a metody malé vzdálenosti. Certifikovaná metodika, osvědčení č. j.: 35/2012-520-TPV/1, Brno, duben 2012.
- [11] KŘIVÁNEK, V., a kol., *Výzkum hlučnosti různých typů pneumatik pomocí metody CPX v závislosti na rychlosti (2. Měřicí cyklus)*. Odborná studie, Brno, Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., 2013. 39 s., Zadavatel: TÜV SÜD s. r. o.
- [12] KŘIVÁNEK, V., CHOLAVA, R.: Měření hluku povrchu vozovky dynamickou metodou. In Ličbinský, R., Jandová, V., Zedková, I. (eds.) V. česko-slovenská konference „Doprava, zdraví a životní prostředí“. Blansko, 31. 10. – 2. 11. 2012. Brno: Centrum dopravního výzkumu, 2012, s. 85-92. ISBN 978-80-86502-41-0.
- [13] LEEUWEN, H., KOK, A., REUBSEAET, J., *The uncertainty of acoustical measurements on road surfaces using the CPX-Method*. In Inter-Noise 2007, Istanbul, Turkey, 2007.
- [14] MÁCA, V., URBAN, J, MELICHAR, J., KŘIVÁNEK, V., *Metodika oceňování hluku z dopravy*, 29 s. Centrum pro otázky životního prostředí UK, Praha, duben 2012.
- [15] MAK, K. L., HUNG, W. T., LEE, S. H., *Exploring the impacts of road surface texture on tyre/road noise – A case study in Hong Kong*. Transportation Research Part D 17, pp. 104-107, 2012, ISSN 1361-9209.
- [16] MAK, K. L., LEE, S. H. HO, K. Y., HUNG, W. T., *Developing instantaneous tyre/road noise profiles: A note*, Transportation Research Part D 16 (2011) pp. 257–259, ISSN 0003-682X.
- [17] MORGAN, P., SANDBERG, U., BLOKLAND, G., *The selection of new reference test tyres for use with the CPX method, to be specified in ISO/TS 11819-3*. Inter noise 2009 Innovations in practical noise control, August 2009, Ottawa, Canada.

- [18] PAJE, S., E., et. al., *Monitoring road surfaces by close proximity noise of the tire/road interaction*. In Journal of the Acoustical Society of America, vol. 122, iss. 5, pp. 2636 – 2641, 2010, ISSN: 0001-4966.
- [19] POTUŽNÍKOVÁ, D., HELLMUTH, T., BEDNARČÍK, P., FIALA, Z., Zkušenosti z hodnocení zdravotních rizik expozice hluku ze silniční dopravy. *Hygiena* roč. 57, č. 3, 2012, s. 100-104, ISSN 1802-6281.
- [20] SCHGUANIN SCHGUANIN, G., *Nové rámcové podmínky pro sanaci silničního hluku ve Švýcarsku*. In Strasse und Verkehr, č. 1-2/06, pp. 6 – 11, Německo 2006.
- [21] STRYK, J., NEKULA, L., ŠACHLOVÁ, Z., KŘIVÁNEK, V., Aktivita evropské normalizační skupiny CEN TC 227 /WG5: Povrchové vlastnosti vozovek, *Silniční obzor*, 12/2013, ISSN: 0322-7154.
- [22] VANDASOVÁ, Z., VENCÁLEK, O., DOBISÍK, O., Dvě desetiletí monitorování hluku: vývoj hluku v městských lokalitách České republiky. *Hygiena* roč. 58, č. 3, 2013, s. 100-105, ISSN 1802-6281.
- [23] WONG, K. W., et. al., *A new methodology of measuring tyre/joint noise in Hong Kong*. In 4th International Symposium on Environment Vibrations - Prediction, Monitoring.

### **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 ČR č. TA01030459.*

## **Comparison of noise road surfaces (CPX method)**

**Ing. Vitezslav Krivanek, Ph.D.**

*Transport Research Centre*

*Lisenska 33a, 636 00 Brno*

E-mail: vitezslav.krivanek@cdv.cz

### **Abstract**

Road traffic has been a dominant noise source in the environment for many years and most of traffic noise is generated today, from relatively low speeds, by the tyre/road interaction. Especially the condition of road surfaces represents the factor which greatly influences noise caused by vehicle operation on roads. The CPX method (Close-Proximity method) is being used for the measurement of noise generated by the tyre rolling on the road surface, the basic principle is based on towing the special measurement trailer equipped with test reference tyres which are surrounded by microphones registering noise generated by the tyres rolling on the tested road segment. This dynamic method enables to evaluate noisiness of the road surface along of the whole road length and can be performed in usual road operation without its restriction. Monitoring and well-timed replacement of the surface course can markedly contribute to the sustainable transport development, reduction of negative impacts on the environment and on human health due to the efficient limitation of the excessive noise burden from road traffic. In the article, the process of the noise field measurement including the subsequent results evaluation is presented.

# Možnosti využití výsledků strategického hlukového mapování v praxi

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

*Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě,*

*Partyzánské nám. 7, 702 00 Ostrava*

e-mail: dana.potuznikova@zuova.cz

## Abstrakt

V souvislosti s plněním požadavků Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/49/EC o hodnocení a řízení hluku ve venkovním prostředí, označované i jako END – Environmental Noise Directive, probíhá v současné době v členských státech Evropské unie (EU) již druhé kolo strategického hlukového mapování. Z řad hygieniků, ale i pracovníků projekčních kanceláří a zpracovatelských týmů hodnocení vlivů stavby na životní prostředí (EIA) se objevují dotazy, zda, jak a kde lze využít výsledků strategického hlukového mapování v praxi. Příspěvek seznamuje čtenáře s možnostmi využití výsledků strategických hlukových map (SHM) a akčních plánů (AP) v hygienické praxi, s praktickými zkušenostmi zpracovatelů SHM a shrnuje možné komplikace, které se mohou objevovat při aplikaci výsledků SHM. Prezentovány jsou dvě linie ochrany veřejného zdraví před hlukem - linie státního zdravotního dozoru a linie strategického hlukového mapování. Obě linie se vzájemně doplňují, mají společný cíl – snížení hlukové zátěže obyvatelstva, avšak uvedeného cíle dosahují odlišnými způsoby, které nelze zaměňovat.

## 1. Úvod

Evropská komise vydala v roce 2002 Směrnicí Evropského parlamentu a Rady 2002/49/EC o hodnocení a řízení hluku ve venkovním prostředí (Environmental Noise Directive, dále jen „Směrnice END“) [1]. Oblastí působnosti Směrnice END je hluk ve venkovním prostředí, kterému jsou vystaveni lidé v zastavěných oblastech, ve veřejných parcích nebo v tichých oblastech aglomerací, v tichých oblastech ve volné krajině, v blízkosti škol, nemocnic a jiných citlivých budov nebo obydlených oblastí.

Cílem Směrnice END je poskytnout základ pro vývoj a dokončení stávajícího souboru opatření Společenství, týkajících se emisí hluku z velkých zdrojů, a to zejména silničních a železničních vozidel, infrastruktury, letadel, zařízení určených k použití ve venkovním prostředí, průmyslových zařízení a mobilních strojních zařízení.

Cíle by měly být naplněny členskými státy určením míry expozice hluku ve venkovním prostředí prostřednictvím hlukových map s využitím metod hodnocení společných pro všechny členské státy, zpřístupněním informací veřejnosti o hluku ve venkovním prostředí a jeho účincích, dále vytvořením a přijetím akčních plánů na základě výsledků hlukových map s cílem prevence a snižování hluku ve venkovním prostředí. Tento celý proces, který reprezentuje tvorbu a vyhodnocení hlukových map a tvorbu a přijetí akčních plánů, bude v dalším textu souhrnně označován pojmem „Strategické hlukové mapování“.

V souvislosti s plněním požadavků Směrnice END proběhlo v členských státech Evropské unie v letech 2006 - 2008 první kolo strategického hlukového mapování a nyní je dokončováno druhé kolo [1]. Směrnice END je zcela v souladu s Evropským

plánem na zlepšení kvality života, ochranu krajiny i zdraví ve všech zemích Evropské unie (The General Union Environmental Action Programme, 7<sup>th</sup> EAP), který upozorňuje na důležitost řešení problému hluku ve venkovním prostředí a jehož deklarovaným cílem je výrazné snížení hlukové zátěže obyvatel s vizí přiblížit se úrovni hlučnosti, kterou doporučuje Světová zdravotnická organizace (WHO) [2].

Z řad odborníků projekčních kanceláří a zpracovatelských týmů hodnocení vlivů stavby na životní prostředí (EIA) se objevují dotazy, zda a jak lze využít výstupů strategického hlukového mapování v praxi, zejména části týkající se výsledků SHM. Laické i odborné veřejnosti často činí problém rozlišit oblasti uplatnění výsledků měření hluku a akustických (hlukových) studií v rámci státního zdravotního dozoru a oblasti uplatnění výstupů strategického hlukového mapování. Dochází tak k nedorozumění, kdy je snaha používat principy a výsledky jednoho přístupu v oblasti druhého a naopak.

Cílem příspěvku je prezentace možností využití výsledků a výstupů strategického hlukového plánování nejen v hygienické praxi.

## 2. Ochrana veřejného zdraví před hlukem

Základním právním předpisem upravujícím postupy v ochraně veřejného zdraví před hlukem v komunálním prostředí je zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů (dále jen „zákon“) [3]. Zákon obsahuje dva základní principy (linie) ochrany zdraví před hlukem:

### 2.1. Státní zdravotní dozor

Státní zdravotní dozor zahrnuje operativní přístupy a postupy orgánů ochrany veřejného zdraví, kterými jsou krajské hygienické stanice a Ministerstvo zdravotnictví ČR, zajišťující prosazování a kontrolu dodržování povinností v ochraně veřejného zdraví stanovených zákonem [3].

Kritéria, jejichž splnění představuje dosažení společensky přijatelných zdravotních rizik při dlouhodobé (celoživotní) expozici pro rozhodující většinu standardní populace, jsou definována v prováděcím právním předpisu k zákonu, kterým je nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací (dále jen „nařízení vlády“) [4]. Jedná se především o systém hygienických limitů hluku a jejich hodnot, stanovených pro chráněné prostory z hlediska působení různých zdrojů hluku (dopravní, stacionární), podmínek jejich provozu (denní doba, noční doba) a druhu chráněného prostoru (venkovní prostor, vnitřní prostor).

Hygienickým limitem hluku se rozumí konvenční hodnota deskriptoru (ukazatele, indikátoru) hluku, která, pokud není překročena, zajišťuje za stanovených podmínek na základě společensky přijatelné míry zdravotního rizika odpovídající ochranu veřejného zdraví před hlukem.

*Hygienické limity hluku jsou vyjadřovány jako hodnoty deskriptoru hluku  $L_{Aeq,T}$  [dB], tj. ekvivalentní hladiny akustického tlaku A stanovené pro časový interval  $T$ , který se vztahuje k určitému období v rámci jednoho dne (24h). Ekvivalentní hladina akustického tlaku reprezentuje průměrnou akustickou energii v daném časovém intervalu.*

Operativní státní zdravotní dozor se opírá o hodnoty a metody, které zaručují objektivní posouzení reprezentativní expozice osob ovlivněných hlukem, a to způsoby, které jsou v souladu s fyzikálními a matematickými zákony a jsou také prakticky realizovatelné. Operativnost spočívá v tom, že použití metody a hodnocení



jejich výsledků je možné v relativně krátkém časovém horizontu, přičemž je třeba zajistit, aby zjištěné výsledky reprezentovaly se stanovenou přijatelnou mírou nejistoty dlouhodobou zátěž osob exponovaných hlukem.

Systém operativního zdravotního dozoru je je stanoven těmito právními předpisy:

- a. Zákon č. 258/2000 Sb. (§ 30-34) [3],
- b. Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. (stanovení hygienických limitů) [4].

## 2.2. Strategické hlukové mapování

Strategické hlukové mapování v oblasti snižování a řízení hluku v životním prostředí představuje aplikaci postupů a požadavků stanovených Směrnicí END [1]. Česká republika implementovala Směrnici END nepřímou novelou zákona 258/2000 Sb. [3], novelou zákona č. 222/2006 Sb., kterým se mění zákon č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci a o omezování znečištění, o integrovaném registru znečišťování a o změně některých zákonů [5] a některými dalšími zákony. Zákon [3] převzal ta ustanovení Směrnice END [1], která zakládají povinnosti příslušným subjektům, především orgánům státní a veřejné správy, a zároveň v § 80, odst. 1, písm. q) definuje pojem mezní hodnota indikátorů (deskriptorů, ukazatelů) hluku jako hodnotu, při jejímž překročení dochází ke škodlivému zatížení životního prostředí.

Hlukovým mapováním se rozumí grafická, tabelární a textová prezentace údajů o stávající nebo předpokládané hlukové situaci s použitím zvoleného indikátoru hluku. V mapě se zobrazuje průběh stanovených izofon indikátorů hluku a prezentuje se překročení příslušné platné mezní hodnoty. Tabelárně je uveden počet postižených osob v uvažované oblasti nebo počet obydlí a staveb citlivých na hluk v příslušných definovaných intervalech indikátoru hluku. Hlukové mapování provádí všechny členské státy Evropské unie (dále jen „EU“) a některé další evropské státy v pětiletých cyklech, které jsou nazývány kola. V I. kole byly zpracovány strategické hlukové mapy pro všechny aglomerace s více než 250 000 obyvateli a pro všechny hlavní silnice, po kterých projede více než 6 000 000 vozidel za rok, hlavní železniční trati, po kterých projede více než 60 000 vlaků za rok, a pro hlavní letiště, které má více než 50 000 vzletů nebo přistání za rok. II. kolo hlukového mapování zahrnuje všechny aglomerace s více než 100 000 obyvateli, všechny hlavní silnice, po kterých projede více než 3 000 000 vozidel za rok, hlavní železniční trati, po kterých projede více než 30 000 vlaků za rok, a hlavní letiště, které má více než 50 000 vzletů nebo přistání za rok.

Aby byl zajištěn společný přístup členských zemí k hodnocení hluku ve venkovním prostředí, je nutné použití *harmonizovaných indikátorů hluku*, kterými jsou veličiny  $L_{den}$  *pro posouzení celkové míry obtěžování hlukem* a  $L_{night}$  *pro posouzení míry rušení spánku*, které byly převzaty do české právní úpravy jako  $L_{dvn}$  [dB], která je ekvivalentní hladinou akustického tlaku A pro den (d), večer (v) a noc (n) a  $L_n$  [dB], která je ekvivalentní hladinou akustického tlaku A pro noc. Oba indikátory jsou definovány jako dlouhodobý průměr akustického tlaku A, určený za období jednoho roku.

Směrnicí END [1], jsou pro linii strategického hlukového mapování stanoveny tyto základní povinnosti:

- Určení míry expozice environmentálním hlukem prostřednictvím hlukového mapování s využitím metod hodnocení společných pro všechny členské státy EU. Znamená to tvorbu strategických hlukových map (dále jen „SHM“) v okolí hlavních silnic, železnic, letišť a stanovených aglomerací, s cílem stanovit kritická místa, tj. oblasti, kde jsou překračovány tak zvané *mezní hodnoty stanovených indikátorů*

*hluku*. Konkrétní hodnoty všech mezních hodnot určí jednotlivé členské státy, které přitom vezmou v úvahu mimo jiné potřebu použít zásadu prevence a zásadu zachování tichých oblastí v aglomeracích.

- Informování veřejnosti o výsledku SHM zpřístupněním informací veřejnosti o environmentálním hluku a jeho účincích.
- Na základě výsledků SHM vypracování a přijetí akčních plánů (dále i „AP“), s cílem prevence a snižování hluku a zachování dobrého akustického prostředí. Jde o plán pro konkrétní lokality, který obsahuje opatření navržená k řešení škodlivých a obtěžujících účinků hluku, včetně potřebného snížení hluku.

Příslušná kritéria a postupy pro tvorbu SHM a AP jsou uvedena v prováděcích právních předpisech k zákonu [3], kterými jsou:

- Vyhláška č. 523/2006 Sb., kterou se stanoví mezní hodnoty hlukových ukazatelů, jejich výpočet, základní požadavky na obsah strategických hlukových map a akčních plánů a podmínky účasti veřejnosti na jejich přípravě (vyhláška o hlukovém mapování) [6],
- Vyhláška č. 561/2006 Sb., o sestavení seznamu aglomerací pro účely hodnocení a snižování hluku [7].

Systém strategického hlukového mapování je stanoven těmito právními předpisy:

- a. Zákon č. 258/2006 Sb. (§80 odst. 1, písm. q-u, a §81,81a-c) [3],
- b. Vyhláška č. 523/2006 Sb. (hlukové mapování) [6],
- c. Vyhláška č. 561/2006 Sb. (aglomerace) [7].

Směrnice END [1] dále definuje pojem mezní hodnota, kterou se rozumí hodnota  $L_{dvn}$  nebo  $L_n$  určená členským státem, při jejímž překročení dochází ke škodlivému zatížení životního prostředí; mezní hodnoty se mohou lišit pro různé typy hluku (hluk ze silniční, železniční nebo letecké dopravy, průmyslové činnosti a další), různá prostředí a různou citlivost obyvatel. Mohou být také odlišné pro stávající a pro nové situace (pokud dojde ke změně situace z hlediska zdroje hluku nebo využití daného prostředí). Představují administrativní „akční (spouštěcí) hodnotu“ indikátoru hluku, při jejímž překročení je nutné pro danou oblast zpracovat AP.

Mezní hodnoty indikátorů hluku jsou v ČR stanoveny takto:

Tab. 1: Mezní hodnoty indikátorů hluku pro strategické hlukové mapování.

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

### 3. Rozdíly v přístupech k ochraně veřejného zdraví před hlukem

Ze shora uvedeného vyplývá, že v zákoně jsou dva přístupy k ochraně veřejného zdraví před hlukem, které mají stejný cíl, ale zásadně se liší způsobem a nástroji.

#### 3.1. Deskriptory (indikátory) a metody zjišťování jejich hodnot

Oba přístupy používají jiné ukazatele hluku (deskriptory, indikátory), které jsou zjišťovány odlišnými metodami. Pro státní zdravotní dozor se pro porovnání hodnot deskriptorů hluku s hygienickými limity stanovenými nařízením vlády [4] vychází u stávajících zdrojů vždy z měření hluku, popřípadě

z kombinace měření hluku a výpočtu, přičemž se postupuje v souladu s požadavky § 20 odst. 1. nařízení vlády [4] podle metod a terminologie týkajících se oborů elektroakustiky a akustiky obsažených v příslušných českých technických normách.

Pro SHM se pro porovnání s hodnotami mezních hodnot stanovených vyhláškou č. 523/2006 Sb. [6] vychází pouze z hodnot indikátorů hluku, které se stanovují výhradně výpočtem podle metodik doporučených ve Směrnici END [1].

### 3.2. Referenční časové intervaly

Pro operativní zdravotní dozor se používá referenční časový interval vztažený k *částem jednoho průměrného kalendářního dne*. Pro hluk z dopravy pro denní dobu 16 hodin, pro noční dobu 8 hodin a pro hluk ze stacionárních (průmyslových) zdrojů hluku pro denní dobu 8 hodin, pro noční dobu 1 hodinu.

Pro SHM je referenčním časovým intervalem *jeden kalendářní rok*.

### 3.3. Kritéria

Ve státním zdravotním dozoru jsou pro posouzení splnění zákonných povinností jako kritérium používány *hygienické limity hluku* stanovené nařízením vlády [4].

Ve SHM jsou jako kritérium pro posouzení, zda jde o kritické místo a tím vzniká povinnost zpracovat akční plán, používány *mezní hodnoty* stanovené vyhláškou č. 523/2006 Sb. [6]. Mezní hodnoty jsou tedy pouze administrativní hodnotou a nemají charakter hygienického limitu.

### 3.4. Rozsah působení

Státní zdravotní dozor a hygienické limity hluku se vztahují na všechny zdroje hluku definované zákonem [3] na celém území České republiky.

SHM zahrnují pouze okolí nejzatíženějších hlavních silnic, železnic a letišť a vybraných aglomerací podle kritérií stanovených Směrnicí END [1], respektive zákonem [3] (viz kapitola 2.). SHM tedy uvažuje pro výpočet hluku z liniových (dopravních) zdrojů pouze příspěvky těchto nejvýznamnějších zdrojů, přičemž v aglomeracích jsou zahrnuty i příspěvky stacionárních (průmyslových) zdrojů hluku. Přitom pouze v území, kde jsou překročeny mezní hodnoty indikátorů hluku, jsou následně zpracovány AP protihlukových opatření. Cílem, účelem a smyslem AP je navrhnout taková protihluková opatření, aby po jejich realizaci nebyly překračovány hygienické limity stanovené nařízením vlády [4], popřípadě byly ekvivalentní hladiny akustického tlaku A sníženy na hodnoty co nejbližší k hodnotám příslušných hygienických limitů.

### 3.5. Závaznost

Povinnost nepřekračovat hygienické limity je dána § 30 zákona [3] a je ze strany orgánů ochrany veřejného zdraví právně vymahatelná pro celé území České republiky.

Povinnost akceptovat a realizovat protihluková opatření uvedená v AP není zákonem [3] uložena. Není tedy právně vymahatelná. Cílem, záměrem a smyslem Směrnice END [1] je však jednoznačně snižování a řízení hluku v životním prostředí, a proto se předpokládá, že v § 80 odst. 1 písm. s) zákona [3] stanovená povinnost vypracování AP pro lokality vymezené strategickou hlukovou mapou by měla být zcela logicky spojena s povinností postupné realizace protihlukových opatření navržených v AP.

### 3.6. Nejistoty stanovení hodnot deskriptorů hluku

Povinnost nepřekračovat hygienické limity je dána § 30 zákona [3] a je ze strany orgánů ochrany veřejného zdraví právně vymahatelná pro celé území České republiky.

Povinnost akceptovat a realizovat protihluková opatření uvedená v AP není zákonem [3] uložena. Není tedy právně vymahatelná. Cílem, záměrem a smyslem Směrnice END [1] je však jednoznačně snižování a řízení hluku v životním prostředí, a proto se předpokládá, že v § 80 odst. 1 písm. s) zákona [3] stanovená povinnost vypracování AP pro lokality vymezené SHM by měla být zcela logicky spojena s povinnostmi postupné realizace protihlukových opatření navržených v AP.

## 4. Závěr

Z řad odborníků projekčních kanceláří a zpracovatelských týmů hodnocení vlivů stavby na životní prostředí (EIA) jsou kladeny dotazy zda, jak a kde lze využít výsledky SHM v praxi. Jedná se zejména o dotazy na využití pro účely:

- a) státního zdravotního dozoru podle zákona [3],
- b) územního plánování, zejména pro územně analytické podklady krajů a obcí a územně plánovací dokumentace obcí podle stavebního zákona [10],
- c) hodnocení vlivu stavby na životní prostředí podle zákona č. 100/2001 Sb. [11],
- d) hlukové (akustické studie) studie obecně.

Pro výše uvedené účely je možné výsledky SHM použít pouze jako základní, obecnou informaci o zatížení daného konkrétního území hlukem z vybraných, jasně definovaných hlavních zdrojů hluku.

Základním důvodem je skutečnost, že SHM jsou pořizovány pro účely dlouhodobého, postupného snižování hlukové zátěže životního prostředí a využívají metody hodnocení a indikátory hluku společné pro všechny členské státy EU. Přitom na úrovni zpracování a hodnocení SHM není brán ohled na případnou úpravu ochrany zdraví před hlukem v komunálním (životním prostředí) na národních úrovních existující mimo systém strategického hlukového mapování.

Tvorba strategických hlukových map probíhá pouze na vymezené části území České republiky a je nutné mít na zřeteli, že účelem SHM je na základě indikátorů hluku stanovených EU a jejich mezních hodnot stanovených jednotlivými státy vyhledat nejhorší místa (hot spots) pro následné vypracování AP [1], [3].

Pro všechny výše uvedené účely je nutné zpracovat podklady, na jejichž základě lze posoudit hlukovou situaci v území (protokoly z měření hluku, hlukové studie) a které, zcela logicky, musí vycházet z národní úpravy ochrany veřejného zdraví před hlukem [3], [4] nikoliv Směrnice END [1]. Tyto podklady, jejichž základem je měření nebo výpočet hluku stávajících zdrojů, nebo výpočet (odhad) hluku budoucích zdrojů plánovaných na konkrétních lokalitách, musí být posouzeny vždy pouze podle platných právních předpisů České republiky pro oblast operativního státního dozoru [3], [4]. To znamená, že jejich výstupem musí být vždy posouzení splnění povinností daných § 30 zákona [3], a to porovnáním výsledných hodnot jednotlivých deskriptorů hluku stanovených nařízením vlády s hodnotou hygienických limitů [4].

Podkladem, který je spojen se strategickým hlukovým mapováním a zároveň splňuje požadavky na použití pro účely ochrany veřejného zdraví před hlukem podle § 30 – 34 zákona [3], není strategická hluková mapa, ale akční plán. *Akčním plánem* se rozumí plán obsahující opatření, jejichž účelem je ochrana před škodlivými a obtěžujícími účinky hluku, včetně snížení hluku viz § 80 odst. 1 písm. s) zákona [3].

Již z této definice vyplývá, že kvalitně zpracovaný AP musí obsahovat podrobný popis akustické situace v zájmové lokalitě a konkrétní návrhy protihlukových opatření, aby po jejich realizaci nebyly překračovány hygienické limity stanovené nařízením vlády [4], popřípadě byly ekvivalentní hladiny akustického tlaku A sníženy na hodnoty co nejbližší k hodnotám příslušných hygienických limitů. Znamená to tedy, že AP je podrobná akustická studie se všemi náležitostmi pro porovnání výstupů s hygienickými limity stanovenými nařízením vlády (3), jinak řečeno, musí pracovat s příslušnými deskriptory hluku a hodnotami hygienických limitů stanovenými v nařízení vlády [4].

V I. kole SHM však mnohé AP byly zpracovány pouze formálně a pro hrubé nedostatky je nelze v praxi použít. Je proto nutné, aby všechny akční plány jak z I kola, tak II. kola strategického hlukového mapování byly vždy při jakémkoliv dalším použití v praxi podrobeny ze strany dalších uživatelů odborné analýze.

Výsledky SHM nelze použít v praxi pro jiné účely, než pro které byly pořizovány, to znamená na základě indikátorů hluku předepsaných EU a jejich mezních hodnot stanovených jednotlivými státy, popsat expozici hlukem v okolí definovaných zdrojů dopravního a průmyslového hluku a vyhledat nejhorší místa (hot spots) pro následné vypracování AP.

Kvalitně zpracované AP lze pro účely vytvoření dalších podkladů pro posouzení ochrany veřejného zdraví před hlukem použít. Je však nutné, aby vždy při jejich dalším použití v praxi nebyly přijímány automaticky za správné, ale byly podrobeny ze strany dalších uživatelů důkladnému odbornému posouzení a kritice. AP jsou tedy prostředkem využití SHM pro účely a) až d) výše uvedené.

## Literatura

- [1] Directive 2002/49/EC of the European parliament and of the council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise; Official Journal of the European Communities; L 189/12, 18. 7. 2002.
- [2] General Union Environment Action Programme to 2020 (7th EAP), <http://ec.europa.eu/environment/newprg/7eap.htm>.
- [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] Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. Sbírka zákonů ČR, 2011 září 23.
- [5] Zákon č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci a omezení znečištění, o integrovaném registru znečišťování a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů (zákon o integrované prevenci). Sbírka zákonů ČR, 2003 září 11.
- [6] Vyhláška č. 523/2006 Sb., kterou se stanoví mezní hodnoty hlukových ukazatelů, jejich výpočet, základní požadavky na obsah strategických hlukových map a akčních plánů a podmínky účasti veřejnosti na jejich přípravě (vyhláška o hlukovém mapování). Sbírka zákonů ČR, 2006 listopad 30.
- [7] Vyhláška č. 561/2006 Sb., o sestavení seznamu aglomerací pro účely hodnocení a snižování hluku. Sbírka zákonů ČR, 2006 prosinec 22.
- [8] Metodický návod Ministerstva zdravotnictví ČR pro měření a hodnocení hluku v mimopracovním prostředí č.j. HEM-300-11.12.01-34065 ze dne 11. 12. 2001, Věstník Ministerstva zdravotnictví ČR, leden 2002.

- [9] European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise: Position Paper: Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure, WG-AEN 004.2007, version 2, 13<sup>th</sup> August 2007
- [10] Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon). Sbírka zákonů ČR, 2006 březen 14.
- [11] Zákon č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů § 19, odst. (1). Sbírka zákonů ČR, 2001 březen 20.

#### **Poděkování**

*"Podpořeno programem PRVOUK P37/09", Univerzita Karlova v Praze, Lékařská fakulta v Hradci Králové*

## **Possibilities of using the results of strategic noise mapping in practice**

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

*Public Health Institut, Ostrava,*

*Partyzánské nám. 7, 702 00 Ostrava*

*e-mail: dana.potuznikova@zuova.cz*

#### **Abstract**

To fulfil the requirements of the Directive of the European Parliament and Council 2002/49/EC on the assessment and management of environmental noise, referred to as END - Environmental Noise Directive, the second round of strategic noise mapping is currently being calculated in the Member States. From the hygienists, engineers and project teams, who participated on the evaluation of the impact of construction on the environment (EIA), there are questions of whether, how and where to use the results of the strategic noise mapping in practice. This paper introduces the possibilities of using strategic noise maps (SNM) and action plans (AP) in hygiene tasks, describes practical experience of SNM processors and summarizes the possible complications that can occur when applying the results of SNM. There are presented two lines of public health protection against noise - line of the state health supervision and line of the strategic noise mapping. Both lines are complementary, have a common goal - reducing noise levels that effect population, but achieve this goal in different ways, which cannot be confused.

# Srovnání organických PCM z hlediska jejich ceny a výkonu

Tomáš Hásl, Ivo Jiříček

Ústav energetiky, Fakulta technologie ochrany životního prostředí, VŠCHT Praha

Technická 1905/5, 160 00 Praha 6-Dejvice

e-mail:haslt@vscht.cz

## Abstrakt

PCM (z angl. „phase change materials“) jsou materiály, která bývají často spojovány především s třemi základními pojmy: tepelný komfort, ochrana před tepelným zatížením a v poslední době také s pojmem zásobník termální energie. Co se prvního týče, bývá tato technologie uplatňována především v oblasti tepelného komfortu budov. Začleňováním těchto materiálů do stěn, stropních desek, podlahových krytin a mimo jiné i okenních systémů přispívají k vyrovnávání teplotních rozdílů, výkyvů a extrémů. Tím pak v konečném důsledku přispívají ke snížení energetické náročnosti budov a snížení emisí skleníkových plynů. Kromě toho se v současné době začíná využívat těchto materiálů ke zvyšování tepelného komfortu dopravních prostředků, jejich začleňováním do klimatizačních systémů osobních automobilů. V úvahu přicházejí také prostředky hromadné dopravy a další. Co se týče tepelné ochrany, využíváme těchto materiálů např. k výrobě ochranných vest pro práci v nepříznivých podmínkách, ale také při transportu potravin a medikamentů či látek náchylných na vysoké teploty. Studováno bylo i využití PCM k ochraně baterií u elektromobilů před vysokými teplotami za účelem prodloužení jejich životnosti. Náš výzkum se zabývá studiem organických látek aplikovatelných pro termoakumulační systémy širokého rozmezí teplot, analýzou jejich důležitých vlastností jako je teplota fázového přechodu, hodnota latentního tepla, tepelná vodivost, korozivita, toxicita a v neposlední řadě také jejich cena a dostupnost. Jednotlivé materiály jsou nakonec porovnány a v jednotlivých teplotních rozmezích jsou vybrány materiály s nejlepšími vlastnostmi. Mezi materiály, které byly podrobeny analýze, patří parafíny, alkoholy a ethery poptané od jednoho výrobce proto, aby byla snadněji porovnatelná cena materiálu. Tato práce nastiňuje možné aplikace PCM v automobilovém průmyslu a je vhodná jako průvodce při hledání vhodného organického PCM pro specifickou aplikaci.

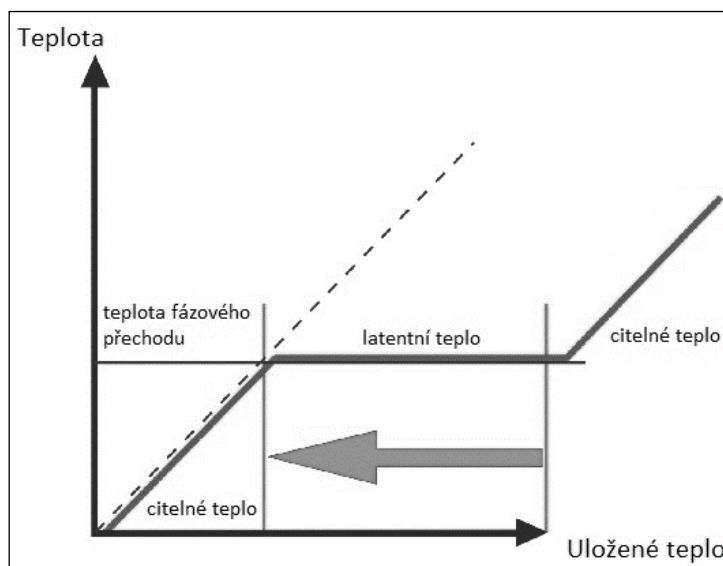
## 1. Obecné

Energické nároky mají neustále stoupající tendenci, což ruku v ruce se snižujícími se zásobami fosilních paliv vytváří stoupající tlak na výzkum v oblasti alternativních zdrojů energie. Mezi jedny z největších spotřebičů energie patří systémy pro vytápění a klimatizační systémy. Systémy pro ukládání termální energie jsou pak atraktivním řešením jak tyto nároky snížit.

Termální energii je možno do materiálů akumulovat dvěma způsoby. Zahříváním materiálu jako teplo citelné nebo fázovou přeměnou jako teplo latentní, neboli skryté. Zatímco akumulace citelného tepla se navenek projeví zvýšením teploty daného materiálu, v případě akumulace tepla latentního k nárůstu teploty nedochází. Teplo je akumulováno ve formě fázové přeměny a veškerá energie je tak upotřebena k rekombinaci mezimolekulárních vazeb v krystalové struktuře.[1]

Fázovou přeměnou je v tomto případě myšlen přechod z pevné fáze na kapalnou, z kapalně fáze na plynnou fázi, ale také z pevné fáze na pevnou fázi u materiálů, jejichž pevný stav vykazuje několik různých krystalových modifikací. Ze všech výše uvedených možných fázových přechodů se v praxi využívá především přechodu z pevného skupenství do skupenství kapalného a naopak. Fázová přeměna z kapalného stavu do plynného je doprovázena příliš velkou objemovou změnou, u fázových přeměn typu z pevného do pevného skupenství se jedná ve většině případů o složité, drahé a nestabilní sloučeniny, jejichž entalpie tání nejsou, v porovnání s klasickým přechodem pevná-kapalná fáze, tak vysoké. [2,3]

Obr. 1: Grafické znázornění citelného a latentního tepla



Zdroj: rgees.com

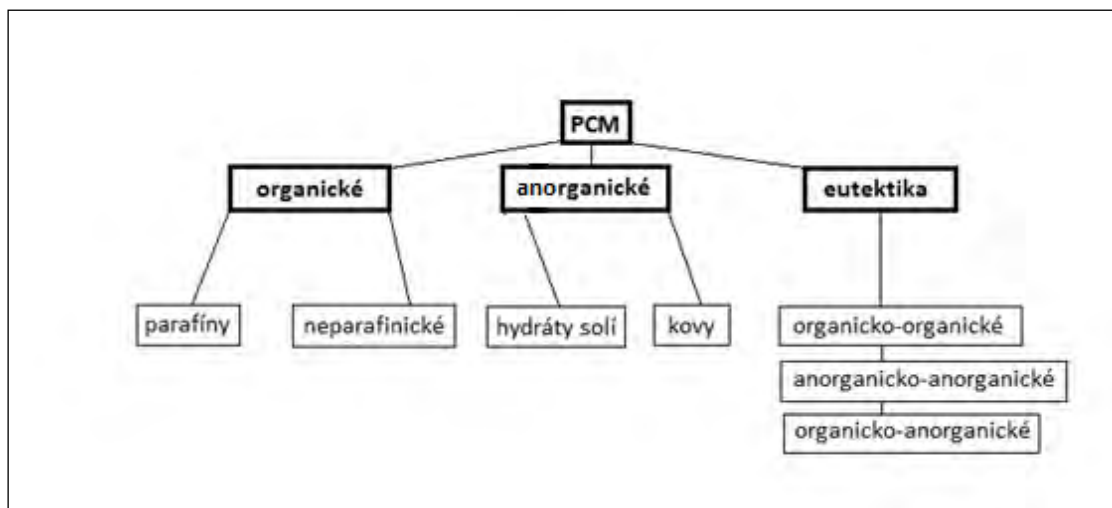
Materiály pro ukládání latentního tepla jsou všeobecně známy jako materiály s fázovou přeměnou, neboli PCM z angl. „phase change materials“. První studii těchto materiálů provedl ve 40. letech Telkes a Raymond. [4]

Akumulace latentního tepla je krom výše uvedených důvodů výhodnější také především z hlediska poměru množství akumulované energie k objemu použitého materiálu, tzv. „skladovací hustoty“. Zatímco u systémů pro ukládání citelného tepla je tato skladovací hustota poměrně nízká, u systémů pro ukládání latentního tepla je tato hustota 5 – 10 krát vyšší. [2] Na druhou stranu komerční využití materiálů s fázovou přeměnou komplikuje několik problémů, se kterými je potřeba se vypořádat. Hlavním z nich je především nízká tepelná vodivost materiálů, změny ve fyzikálně-chemických vlastnostech při opakovaném používání, podchlazování materiálů apod. Důležitým faktorem je také koroze mezi PCM a obalovým systémem, který je k jejich aplikaci nezbytný. [5]

Jako PCM je možné použít chemické sloučeniny různého druhu. Základní dělení většinou vypadá následovně: látky organické jako jsou parafíny, karboxylové kyseliny, alkoholy a další, anorganické látky, především pak hydráty anorganických solí nebo kovy a v poslední řadě pak eutektika, což jsou směsi ať už dvou organických, dvou anorganických látek anebo jejich vzájemnou kombinací. Každá skupina materiálů má své výhody a nevýhody.



Obr. 2: Rozdělení PCM



Zdroj: autor

Zatímco organické materiály se mohou pyšnit povětšinou dobrou tepelnou stabilitou, táním a tuhnutím bez fázové segregace, bez podchlazování a všeobecně bývají považovány za málo korozivní, tepelná vodivost těchto materiálů je oproti anorganickým sloučeninám o něco nižší. Anorganické materiály, především pak hydráty solí, jsou zase snadno dostupné, levné materiály, které trpí silným podchlazováním a fázovou segregací při fázové přeměně a velmi často jsou příčinou silné koroze obalových materiálů. Nedostatky je pak třeba řešit různými aditivami. V případě zvýšení tepelné vodivosti organických materiálů lze použít grafit, nebo částičky vodivého kovu. U anorganických materiálů se k potlačení podchlazování používají tzv. nukleační jádra neboli iniciátory krystalizace. Pro zamezení fázové segregace se používají u anorganických solí tzv. zhušťovadla, která udržují pevnou fázi hydrátu ve vznosu a zabraňuje tak jejímu usazování. [1]

Tato práce se pak zabývá pouze studiem organických PCM. Kromě porovnání jednotlivých skupin org. materiálů na základě jejich výkonu a ceny, nastiňuje také možnosti jejich využití v automobilovém průmyslu.

## 2. Aplikace PCM v automobilovém průmyslu

Aplikace PCM byla studována v nejrůznějších odvětvích. Velmi využívané jsou jako zásobníky přebytečné tepelné energie u solárních elektráren a v systémech pro solární vytápění. [6] Studovány byly také možnosti jejich aplikace a integrace do textilií a oděvů [7], aplikace v klimatizačních a vytápěcích systémech budov [8], chlazení elektroniky [9], využití průmyslového odpadního tepla [10], konzervace jídla, mléka a medikamentů [11] a mnoho dalších. Kromě integrace PCM do budov byly provedeny také studie aplikace PCM do klimatizačních systémů dopravních prostředků. Následuje výčet využití těchto materiálů v automobilovém průmyslu.

### 2.1 Ochrana Li-Ion baterií elektromobilů před přehřátím

Li-Ion a Ni-MH baterie se na rozdíl od starých olovených baterií vybíjí na základě silně exotermické reakce, díky čemuž dochází k přehřívání těchto článků. Toto přehřívání je nežádoucí především z hlediska negativního vlivu na životnost baterie. V extrémních případech může dojít až k její explozi. Z toho důvodu je k baterii nutné přiřadit termoregulační systém, jenž bývá většinou dalším nežádoucím spotřebičem elektrické energie. V případě použití pasivního chladicího

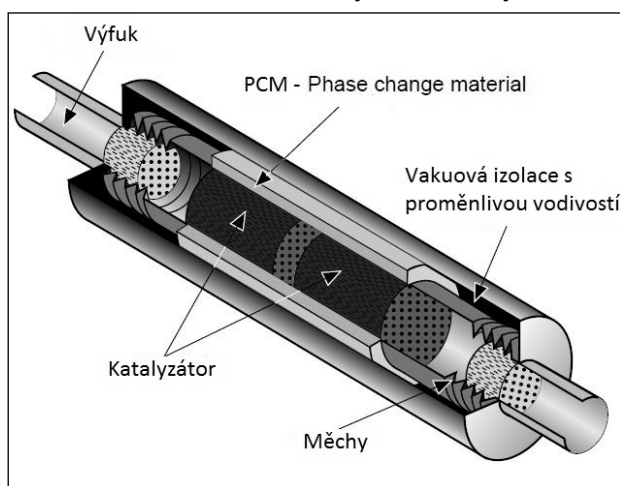
systému s PCM tomu tak není. K chlazení dochází přirozenou konvekcí, teplo uvolněné při vybíjení baterie je uvolňováno do zásobníku s PCM, čímž dochází k roztátí materiálu, akumulaci uvolněného tepla a termoregulaci přehřívající se baterie. Systém s PCM skrývá však jednu nevýhodu. Materiály PCM trpí většinou nízkou tepelnou vodivostí, čímž dochází k akumulaci tepla v materiálu kolem baterie, nikoli však k jeho uvolňování do okolí. PCM tak zároveň působí jako částečný tepelný izolant. Na jednu stranu dochází k částečnému zamezení přehřívání baterie pomocí absorpcí uvolněného tepla uvnitř materiálu, na druhou stranu však brání jeho odvodu do okolí. Proto bývá zvykem v systémech s PCM používat navíc aditiva pro zvýšení tepelné vodivosti. Toto aditivum však nesmí příliš ovlivňovat tepelně-akumulační vlastnosti PCM, aby nedocházelo ke snížení účinnosti. Většinou se při použití aditiva hovoří o mikročásticích grafitu, nově pak o jeho modifikaci grafenu. Kromě grafitu byla také uvažována např. hliníková pěna a další modifikace vodivých kovů. [12,13]

## 2.2 Zamezení emisí výfukových plynů způsobených tzv. „studeným startem“

„Studený start“ je tzv. stav vozidla při startu motoru, kdy výfukový katalyzátor vozidla ještě není zahřátý na optimální teplotu a nefunguje tedy s maximální účinností. Optimální teplota, při níž katalyzátor funguje s nejvyšší účinností, se pohybuje kolem 300 °C. Díky tomuto jevu dochází k velkému vylučování emisí CO, NOx do atmosféry.

Tomuto jevu se dá zabránit aplikací PCM do výfukového systému, které má funkci udržovat katalyzátor neustále na požadované teplotě. Maximalizuje tím účinnost katalyzátoru a snižuje množství plynů emitovaných do atmosféry. Aby byl systém schopen udržet výfukový systém na vysoké teplotě po několik hodin, je navíc nutná kvalitní izolace. Tomuto požadavku nejvíce vyhovuje instalace vakuové vrstvy, která brání výměně tepla přirozenou konvekcí mezi vrstvou PCM a atmosférou. Izolace vakuem dokáže udržet katalyzátor na požadované teplotě po více než 17 hodin. [14]

Obr. 3: Znárodnění umístění PCM a izolace ve výfukovém systému automobilu



Zdroj: NREL

## **2.3 Sekundární smyčka vytápěcích, ventilačních a klimatizačních systémů osobních automobilů**

V těchto systémech slouží PCM především k účelu udržování tepelného komfortu uvnitř automobilu i ve chvílích, kdy dojde k vypnutí motoru (např. při stání na semaforech). V tu chvíli totiž elektrobaterie automobilu zvládá zajistit proudění vzduchu, nestíhá již však zajistit dostatečné vytápění/klimatizaci ventilovaného vzduchu. K tomu pak napomáhá PCM zabudované do ventilačního systému, které po dobu chodu motoru akumuluje energii o požadované teplotě a v době vypnutí motoru ji pak uvolňuje. Do kabiny řidiče je tak nadále dodáván ohřátý/ochlazený vzduch bez ohledu na chod motoru. [15]

## **3. Metodika**

### **3.1 Vzorky**

K analýze byly použity vzorky alkanů, alkoholů a etherů od jednoho výrobce. Jelikož se ceny a kvalita vzorků na trhu diametrálně liší, byl vybrán jihoamerický producent parafínů, firma SASOL, jako osvědčený a spolehlivý výrobce.

Mezi produkty firmy SASOL patří různé skupiny organických sloučenin. Analyzovány byly řetězce alkanů se sudým počtem atomů uhlíku v rozmezí 12-22, které se prodávají pod komerčním názvem „PARAFOL“ a jejichž čistota se pohybuje kolem hodnot 97%. Dalším analyzovaným produktem byly řetězce alkoholů s počtem atomů uhlíku v rozmezí 10–22 v různých čistotách dosahujících až hodnot kolem 99%, které jsou na trh uváděny pod názvem „NACOL“. Posledním produktem, který byl součástí analýzy, jsou dlouhé řetězce etherů s počtem atomů uhlíku v rozmezí 16–32 s názvem „NACOL ETHER“. Látky s bodem tání nižším než  $-10^{\circ}\text{C}$  nebyly podrobeny analýze, kvůli omezené aplikovatelnosti v praxi.

Většina produktů je vyráběna synteticky, jen ty, u nichž je taková výroba výhodná, jsou vyráběny z přírodních zdrojů. Výchozími surovinami jsou vodík a etylen, z nichž se Zieglerovým procesem syntetizují řetězce alkoholů „NACOL“. Tyto alkoholové řetězce jsou pak dalšími procesy zpracovávány pro výrobu alkanů „PARAFOL“ a etherů „NACOL ETHER“. Cena těchto sloučenin je proto logicky vyšší, než cena alkoholů.

### **3.2 Metoda analýzy DSC – TGA**

Vzorky byly měřeny kombinovanou diferenční skenovací kalorimetrií a termogravimetrickou analýzou. Během analýzy byl zahříván vzorek konstantní rychlostí a byla měřena teplota tání, entalpie tání a váhový úbytek. Podle teploty tání byly látky rozřizeny do skupin, podle hodnoty entalpie tání a ceny pak byly vzájemně porovnány. Váhový úbytek v tomto případě sloužil jen jako ukazatel, zda-i nedochází k fatální degradaci vzorku.

### **3.3 Koeficient cena/výkon**

Výkon je pro případ této studie charakterizován hodnotou entalpie fázového přechodu, tedy v ideálním případě hodnotou reprezentující množství tepla akumulované do materiálu vztažené na jeden gram materiálu. Ve skutečnosti je tato hodnota pouze teoretická, jelikož z různých důvodů není této ideální hodnoty v praxi možné dosáhnout. Jedním z těchto důvodů je již zmíněná nízká tepelná vodivost materiálu.

Pro zjednodušení uvažujeme k výpočtu koeficientu jen cenu materiálu, vztaženou na hodnotu entalpie, čímž získáme číselně vyjádřenou, vzájemně porovnatelnou konstantu, vyjadřující náklady na každý uložený Joule energie pro jednotlivé materiály. Do koeficientu by měla být zahrnuta i tepelná vodivost materiálu, protože se dá předpokládat, že se u jednotlivých látek liší. My tento fakt však pro jednoduchost zanedbáváme. Při vzájemném srovnávání látek je tak nižší koeficient známkou vyšší užítosti materiálu.

#### 4. Výsledky

Jednotlivé látky byly změřeny, výsledky analýzy vyhodnoceny a výstupem analýzy byla tabulka teplot tání, entalpií a cen jednotlivých materiálů. Hodnoty entalpií a cena materiálu byly přepočítány na koeficient K, jenž charakterizuje poměr ceny a výkonu materiálu. Pomocí teplot tání byly látky uspořádány do skupin, jelikož se dá předpokládat jejich použití pro stejné účely s pomocí koeficientu vzájemně porovnány.

Tab. 1: Teploty tání [°C] jednotlivých analyzovaných materiálů

	PARAFOL	NACOL	NACOL ETHER
8	-	-	-7,8
10	-	4,0	-
12	-9,6	23,0	31,0
14	5,0	38,2	43,0
16	18,0	49,0	52,0
18	28,0	58,3	60,0
20	35,0	64,2	-
22	43,8	70,4	-

Zdroj: autor

Tab. 2: Hodnoty koeficientů K zahrnující výkon materiálu a náklady na jeho použití

	PARAFOL	NACOL	NACOL ETHER
8	-	-	1,95
10	-	1,39	-
12	2,13	1,62	1,91
14	1,90	1,37	2,09
16	1,82	0,99	2,24
18	1,86	0,90	2,32
20	2,85	2,60	-
22	2,39	2,45	-

Zdroj: autor, SASOL

V teplotním rozmezí -10 až -5°C se dá uvažovat použití látek dodekanu (Parafol 12) s teplotou tání -9,6°C a dioktyletheru (Nacol ether 8) s bodem tání -7,8°C. Hodnota latentního tepla nabývá téměř totožné hodnoty (Parafol 237,1J/g a Nacol ether 233J/g) Rozhodujícím faktorem tak byla při volbě vhodnějšího materiálu cena etheru, která je v porovnání s cenou parafínu nižší. To se promítá do nižší hodnoty koeficientu K.

V rozmezí teplot tání 0 až 5°C pak porovnááme tetradekan (Parafol 14) s bodem tání 5°C a dekanol (Nacol 10) s bodem tání 4°C. Po vzájemném porovnání koeficientu K vychází výhodněji použití alkoholu, přestože hodnota entalpie Parafolu 14 je vyšší (240J/g) než u Nacolu 10 (194J/g). Důvodem je velmi nízká cena Nacolu 10.

V rozmezí teplot tání 28 – 31°C porovnááme látky oktadekanol (Parafol 18) a didodecylether (Nacol ether 12). Jako vhodnější se zdá být volba Parafolu 18 kvůli vyšší hodnotě latentního tepla (Parafol 245J/g a Nacol ether 230J/g). Na tomto faktu nic nemění ani nepatrně vyšší cena parafínu, jehož aplikace vychází podle koeficientu K v tomto teplotním rozmezí výhodněji.

V rozmezí teplot 35°C až 40°C jsou porovnávány látky eikosan (Parafol 20Z) s teplotou tání 35°C a tetradekanol (Nacol 14) s bodem tání 38,2°C. Z porovnání koeficientu K těchto látek (Parafol 202J/g, Nacol 219J/g) jasně vyplývá, že použití alkoholu vychází výhodněji, což je způsobeno především vysokou cenou Parafolu 20Z.

V oblasti teplot tání od 40°C do 45°C porovnááme látky dokosan (Parafol 22) a ditetradecylether (Nacol ether 14). Parafol 22 taje při teplotě 43,8°C a enthalpie tání nabývá hodnot 241J/g. Nacol ether 14 taje při podobné teplotě 43°C, ethapie tání je 211J/g. Cenově je ether patrně levnější, což ve výsledku zvýhodňuje použití etheru oproti alkanu.

Hexadekanol (Nacol 16) má teplotu tání 49°C a enthalpii tání 221,5J/g, dihexadecylether (Nacol ether 16) taje při 52°C, enthalpie tání je 196 J/g. Při srovnání ceny, která je v případě alkoholu podstatně nižší, je pak jasné že koeficient K vychází ve prospěch hexadekanolu.

Stejně je tomu tak i v případě oktadekanolu (Nacol 18) s teplotou tání 58,3°C a enthalpií tání 250J/g a dioktadecyletheru (Nacol ether 18) s teplotou tání 60,0°C a enthalpií 190J/g. Koeficient K je v případě etheru i přes vyšší enthalpii alkoholu několikanásobně vyšší, efektivnější je proto využití alkoholu.

## 5. Závěr

Práce srovnává vhodnost použití několika organických materiálů v oblasti tepelné akumulace. Zkoumané látky jsou alkany, alkoholy a ethery, hodnoceny jsou na základě jejich ceny a latentního tepla fázového přechodu. Rozdíl v hodnotě ethapií tání se nezdá být v konečném důsledku až tak zásadní, jako cena materiálu. Proto ve většině případů bývá vhodnějším kandidátem zároveň ten levnější materiál.

Výsledky této studie jsou však platné jen pro firmu Sasol, jelikož jsou založené na jejich prodejních cenách a výrobních postupech. Nejlevnějšími materiály jsou alkoholy. Cena parafínů a etherů je vyšší důvod nutnosti použití aditivních procesů pro jejich výrobu z alkoholů. Nejsou k dispozici žádné indicie, že výroba parafínů a etherů je vždy prováděna tímto způsobem. Je proto potřeba udělat bližší průzkum trhu, výrobců chemikálií a jejich výrobních technologií.

Pro zpřesnění výsledků studie je navíc potřeba vzít úvahu další faktory ovlivňující aplikaci PCM v praxi jako je korozivnost materiálů, tepelná vodivost, tepelná stabilita v průběhu stovek až tisíců cyklů atd.

Další rozšíření práce je možné srovnáním s organickými kyselinami, amíny a estery. K tomu je však potřeba informace o cenách těchto materiálů od jiného výrobce, jelikož firma SASOL tyto produkty nevyrábí.

## Literatura:

- [1] Sharma A, Tyagi V, Chen CR, Buddhi D. Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renewable & Sustainable Energy Review* 2009;13(2):318–45.
- [2] Manish, K. R.; Jyotirmay, B. Thermal stability of phase change materials used in latent heat energy storage systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2013, 18, 246–258.
- [3] Steinert, S.; et al. Thermal characteristics of solid–solid phase transitions in long-chain dialkyl ammonium salts. *Thermochimica Acta* 2005, 435, 28–33.
- [4] Telkes M, Raymond E. Storing solar heat in chemicals — a report on the Dover house. *Heat Vent* 1949; 46 (11): 80–6.
- [5] Farid, M. M.; et al. A review on phase change energy storage: materials and applications. *Energy Conversion and Management* 2004, 45, 1597–1615.
- [6] Telkes M Thermal storage for solar heating and cooling, In: Proceedings of the workshop on solar energy storage subsystems for the heating and cooling of buildings. Charlottesville, Virginia, USA, 1975.
- [7] Nihal Sarier; Emel Onder Organic phase change materials and their textile applications: An overview. *Thermochimica Acta* 2012, 540, 7–60.
- [8] Kuznik F, David D, Johannes K, Roux J. A review on phase change materials integrated in building walls. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2011;15(1):379–91.
- [9] Kandasamy R, Wang XQ, Mujumdar AS. Application of phase change materials in thermal management of electronics. *Applied Thermal Engineering* 2007;27:2822–32.
- [10] Yagi J, Akiyama T. Storage of thermal energy for effective use of waste heat from industries. *Journal of Materials Processing Technology* 1995;48: 793–804.
- [11] Gin B, Farid MM. The use of PCM panels to improve storage condition of frozen food. *Journal of Food Engineering* 2010;100:372–6.
- [12] Siddique, A. K.; et al. Design and simulation of a lithium-ion battery with a phase change material thermal management system for an electric scooter. *J. Power Sources* 2004, 128 (2), 292–307.
- [13] Pradyumna, G.; et al. Graphene-enhanced hybrid phase change materials for thermal management of Li-ion batteries. *Journal of Power Sources* 2014, 248, 37–43.
- [14] Burch, S.D.; Keyser, M.A.; Colucci, C.P.; Potter, T.F.; Benson, D.K.; Biel, J.P. (1996). "Applications and Benefits of Catalytic Converter Thermal Management." SAE Technical Paper #961134. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers.
- [15] Lemke, Nicholas Carsten; Lemke, Julia Laura; and Koehler, Juergen, "Secondary Loop System for Automotive HVAC Units Under Different Climatic Conditions" (2012). *International Refrigeration and Air Conditioning Conference*. Paper 1282.

## Poděkování

Financováno z účelové podpory na specifický vysokoškolský výzkum (MŠMT č. 20/2014). Poděkování patří také firmě Sasol za vstřícné poskytnutí všech údajů a vzorků.

## The organic PCM comparison based on their price and performance

**Tomáš Hásl, Ivo Jiříček**

*Department of Power Engineering, Faculty of Environmental Technology, ICT Prague  
Technická 1905/5, 160 00 Praha 6-Dejvice  
e-mail:haslt@vscht.cz*

### **Abstract**

PCM („phase change materials“) are mostly associated with three terms: thermal comfort, thermal protection, and also thermal energy storage. Integration of such material into the walls, ceilings, floorboards, windows and also window shutters is beneficial in terms of thermal comfort inside of a building. This leads to the lower energy consumption via heating and air condition. Moreover, nowadays the work has been carried out on investigation of PCM application in vehicles for multiple purposes (in automotive HVAC units, passive thermal management of Li-Ion batteries, reducing emission of catalytic converter in exhaust system via thermal management). Speaking of thermal protection, we use PCM in clothes for protection of human body from severe temperatures, but also for food and drugs preservation during transport etc. In this paper a review is reported for application of PCM in automotive industry. Further a broad database of samples of organic PCM is investigated in terms of application for thermal energy storage systems. Their important properties, melting point, latent heat of fusion, thermal stability and price were measured and evaluated. Some conclusions are derived after evaluation of measured data for different groups of organic PCMs. The measured PCM are long-chain alkanes, alcohols and ethers. This review will assist to identify the most suitable organic PCM to be used for a particular application of latent heat storage system, based on their properties like endurance and price.





# Perspektiva a využití CNG v dopravě

Jiří Šimek

Český plynárenský svaz  
U Plynárny 223/42, 140 21 Praha 4  
e-mail: jiri.simek@eon.cz

## Abstrakt

Tématem příspěvku je představení stlačeného zemního plynu (CNG), jeho výhody a využití v dopravě. Příspěvek se zaměřuje na CNG jako ekologicky a ekonomicky výhodnou alternativu, popisuje dosavadní zkušenosti z České republiky i zahraničí. Uvádí počty vozů CNG, plnicích stanic, spotřebu ad. Zmiňuje také využití CNG při provozu autobusů a rozvoj v této oblasti.

## 1. Perspektiva a využití CNG v dopravě

Doprava je ve světě nejdynamičtěji se rozvíjející sektor, který spotřebovává jednu čtvrtinu až jednu třetinu všech primárních zdrojů energie. V Evropě se v letech 2011 až 2015 očekává zdvojnásobení přepravy osob a zboží což představuje zvýšení nárůstu emisních a prachových složek. Česká republika, kde je doprava třetím největším znečišťovatelem ovzduší hned po energetice a průmyslu, není výjimkou. Doprava navíc není příliš regulovaný sektor. Spotřeba energie v dopravě v letech 1999 až 2009 u nás narostla o více než 90%. S tím úměrně narůstaly i emise škodlivých látek.

V dopravě je stále aktuálnější tématem hledání alternativy ke kapalným PHM vyrobeným právě z ropy. Důvodem nejsou jen obavy z poklesu zásob tradičně využívaných ropných zdrojů a jejich vliv na mezinárodní vztahy. Podstatným argumentem je také dopad automobilové dopravy na životní prostředí. Expanze dopravy v posledních desetiletích má na přírodu stále se zhoršující dopad a stává se vážným ekologickým problémem. Alarmující je i ekonomický pohled na kapalná ropná paliva, především jde o jejich cenovou nestabilitu a stále rostoucí náklady na jejich nákup, které musí společnosti i jednotlivci každoročně vynakládat. Podle ASEK ČR se strategickým cílem jeví dosáhnout snížení závislosti na dovozu ropy a snížení emisí uhlíku v dopravě do roku 2050 až o 60% a její částečné náhrady právě zemním plynem.

Zemní plyn je díky jeho vlastnostem považovaný za jednu z nejperspektivnějších alternativ pro použití v dopravě. Jedná se o významnou, naprosto plnohodnotnou pohonnou hmotu s výrazně nižšími náklady na provoz, která má oktanové číslo 130. Zemní plyn je zároveň mnohem příznivější vůči životnímu prostředí, především díky metanu, nejjednoduššímu uhlovodíku, který v molekule váže na 1 atom uhlíku 4 atomy vodíku.

Stlačený zemní plyn (CNG) je snadno dostupné a také snadno distribuované palivo. Technologie CNG je dnes technicky natolik zvládnutým řešením, že je připravena pro rychlé uvedení do praxe a navíc umožňuje bezproblémové a bezpečné využití ve stávajících motorech. Stlačený zemní plyn používaný k pohonu automobilů je všeobecně vnímaný jako alternativní palivo střednědobého

horizontu. Spotřeba CNG v ČR za rok 2013 činila téměř 22 miliony m<sup>3</sup>, což představuje velmi vysoký 44 procentní nárůst proti roku 2012. Za posledních pět let se spotřeba CNG od roku 2008 v ČR ztrojnásobila. Podle Evropské plynárenské asociace Eurogas, ve kterém reprezentuje Českou republiku Český plynárenský svaz (ČPS), se může spotřeba CNG v Evropě zvýšit do roku 2035 až sedminásobně (EUROGAS LONG-TERM OUTLOOK FOR GAS TO 2035).

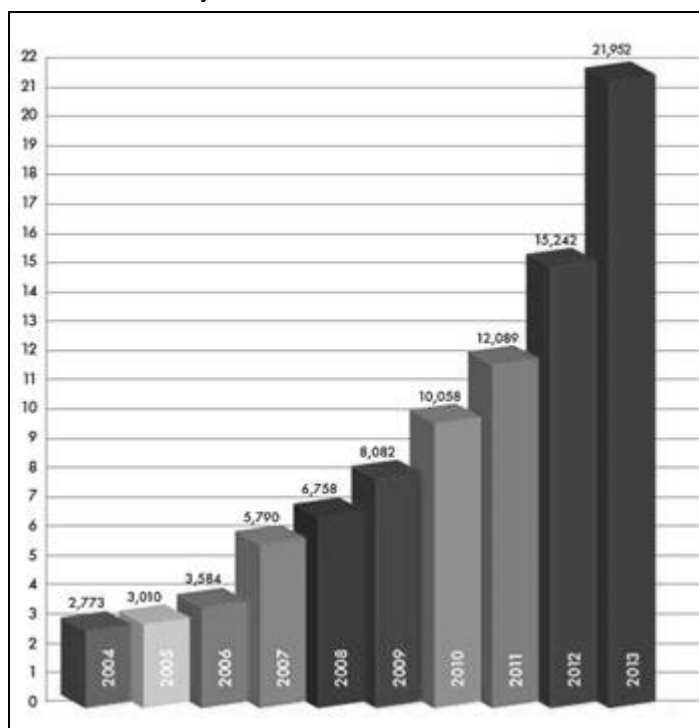
Tab. 1: Vývoj počtu vozidel, autobusů a plnicích stanic CNG v letech 2012 – 2014 vč. prodeje CNG v ČR

	2012	2013	1.Q 2014	2.Q 2014	3.Q 2014	4.Q 2014
Plnicí stanice CNG – veřejné	45	50	52	53	55	64
VRA – „domácí“ plnicí zařízení	85	108	112	116	123	123
Vozidla CNG – celkem	4300	6300	6710	7050	7488	<b>8055</b>
Auta osobní a dodávková	3818	5747	6062	6334	6650	7205
Autobusy	362	404	423	435	512	518
Komunální vozidla	50	59	75	81	81	83
Ostatní vozidla (offroad)	70	90	150	200	245	249
Prodej CNG						
mil. (m <sup>3</sup> )	15,242	21,952				
(t)	10 670	15 077				
(MWh)	161 560	232 327				

Zdroj: Český plynárenský svaz[1]

Za poslední 3 měsíce bylo registrováno nových 560 CNG vozidel, celkově pak v letošním roce evidujeme 8055 CNG vozidel, což je 30% meziroční nárůst oproti roku 2013. V současné době stlačený zemní plyn (CNG) včetně výstavby plnicích CNG stanic doslova zažívá boom. Tomu také napomáhá rozvíjející se síť veřejných plnicích stanic CNG, ve které má Česká republika i do budoucna dobré předpoklady díky husté plynofikační síti. V současnosti je v provozu 63 veřejných stanic, do roku 2016 se očekává až 100 a do roku 2025 lze předpokládat až 150 veřejných plniček CNG. Optimální počet CNG stanic pro Českou republiku je 200 až 300 stanic a tento počet během 3 až 5 let nepochybně v ČR bude postaven. Stejný trend je ale i ve světě. Ročně se prodá na světě asi 2,3 miliony CNG vozidel a toto číslo každým rokem narůstá, v roce 2023 by to mělo být ročně dokonce 3,5 milionu ročně. Podle indikativních cílů Evropské unie, ke kterým se Česká republika přihlásila, představuje předpokládaný 10% objem náhrady kapalných paliv zemním plynem v roce 2020 u CNG až 600 mil. m<sup>3</sup>.

Obr. 1: Prodej CNG v ČR v letech 2004 - 2013

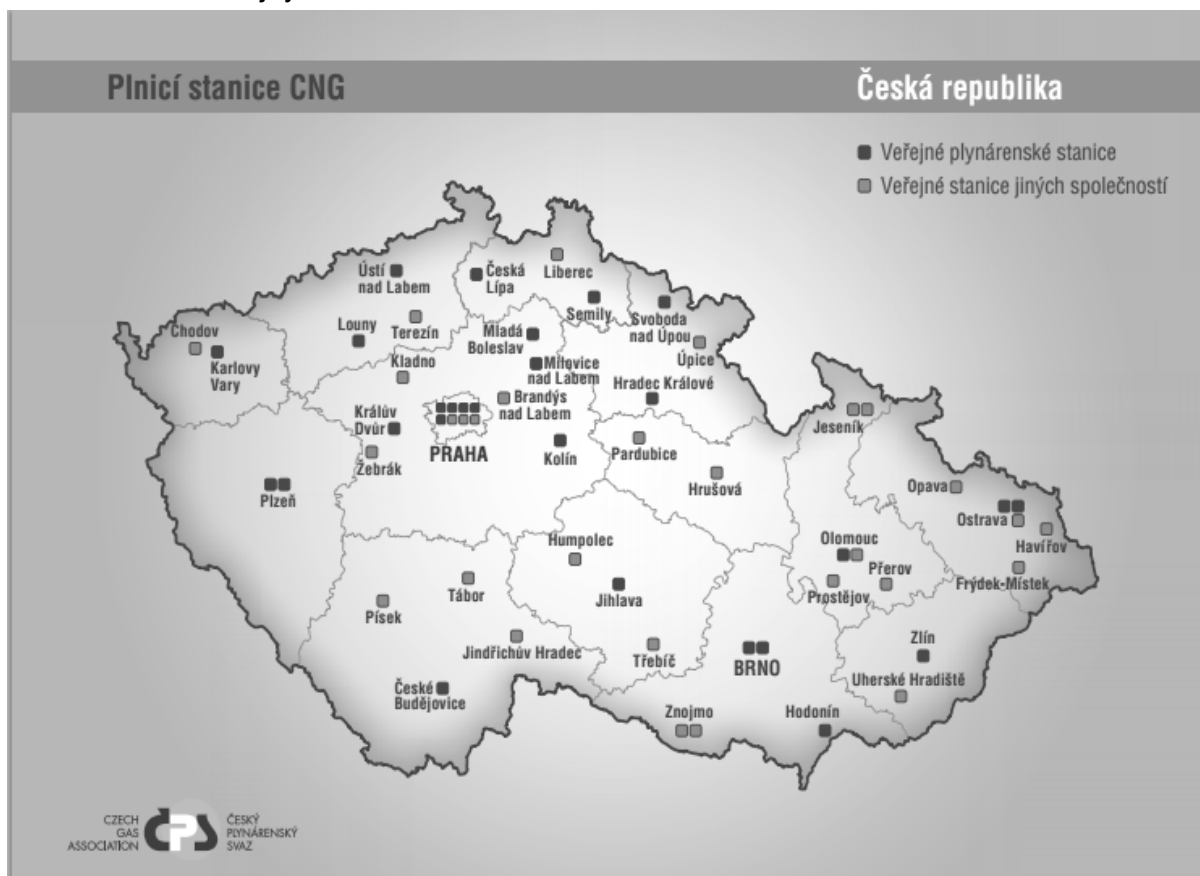


Zdroj: Český plynárenský svaz[2]

Opakovaně zaznívá požadavek mnohem větší podpory CNG v dopravě především ze strany státu, regionů a samosprávných územních celků. Například pořizování CNG aut do vozových parků státních a státem řízených organizací je zcela minimální. Výjimkou je zde jen Česká pošta, doposud jediným velký státní podnik, který CNG auta provozuje v počtu 1000 vozidel. Provoz hodnotí jako bezproblémový a dle nákladů na pohonné hmoty jako velice úsporný. Např. z ujetých 4,7 milionu km na CNG vyčíslila úspora na palivu téměř 5 milionů Kč. – Na CNG jezdí i hasiči. Např. hasiči v Pardubicích si pořídili vozy na CNG již v roce 2013 a jsou velmi spokojeni. Jejich úspora na pohonných hmotách ŠKODA Citigo činí oproti původním Feliciím 2 koruny na každém kilometru, úsporou je i nulová silniční daň. Nyní i jiné složky hasičů, jako Odborné učiliště požární ochrany v Brně nebo Generální ředitelství HZS ČR v Praze, ujely s vozem na CNG již více než 5 tisíc kilometrů a jsou velmi spokojeni. CNG vozy u hasičů jsou dnes stále žádanější a ve světě si hasiči běžně pořizují celé flotily vozů na CNG.

Stále ožehavým tématem je infrastruktura plnicích stanic CNG. Toto je obecný problém nejen v České republice. Náklady na pořízení CNG stanice jsou vázány na návratnost celkové investice, která se odráží v objemu prodaného CNG. Tato přímá úměra je velmi často limitujícím prvkem pro vytipované lokality. Optimálním a v současnosti preferovaným modelem je realizace výdejních stanic CNG přímo v areálech čerpacích stanic v těsné blízkosti stanic kapalných paliv. Toto řešení již umožňuje platná legislativa a splňuje veškerý komfort a pohodlí, na které jsou dnes řidiči při čerpání pohonných hmot zvyklí. Podobně jako v mnoha evropských zemích se také u nás plnění CNG na čerpacích stanicích pohonných hmot stává postupně standardem, což rovněž přispívá k větší atraktivitě a obecnému povědomí o CNG.

Obr. 2: Počet veřejných stanic CNG v ČR



Zdroj: Český plynárenský svaz[3]

Očekávaný velký boom e-mobility se nekoná, neboť technické řešení, které jsou výrobci schopni nabídnout, bohužel, neodpovídá tomu, co zákazník očekává. Dojezdová vzdálenost elektromobilů je a bude omezena na přibližně 150 km na jedno nabití a nelze očekávat, že se tento parametr v nejbližší době změní. Využití elektromobilů se bude dále rozvíjet ale výrazně pomaleji než byla původní očekávání a vývoj technologie, kde jedním z hlavních problémů je malá kapacita baterie v poměru k hmotnosti, je podle mnoha odborníků do budoucna velmi limitující. Větší využití elektromobilů lze očekávat pouze pro jízdu na kratší vzdálenosti například v městských aglomeracích, kde na rozdíl od klasických spalovacích motorů lze úspěšně využívat elektromobily, které jsou téměř bezhlučné, neprodukují žádné přímé emise CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, ani prachové mikročástice. Úskalím pro širší rozvoj elektromobility však je například absence nabíjecí infrastruktury a samotné nabíjení vozidel. U stanic s pomalým nabíjením v závislosti na typu nabíječky ve vozidle, celkové kapacitě baterie a stavu jejího vybití může nabíjení trvat v řádu hodin (nejčastěji 5 - 7 hodin při celkovém dojezdu okolo 120 km). Rychlejší způsob nabíjení u středně rychlé nabíjecí stanice trvá 2 - 3 hodiny a rychlé nabíjecí stanice mohou při dobití do nejvýše 80% kapacity baterie tento čas stlačit až na desítky minut. Z výše uvedených důvodů a pro minimální zájem veřejnosti o neúměrně drahé vozy, původní nadšení z elektromobilů, které bylo v posledních několika také letech hojně medializované, již dnes automobilky spíše opouští.

Ze souhrnu pohonů, které EU definuje jako dlouhodobě udržitelné, nám v podstatě vychází pouze CNG, které ve střednědobém horizontu nabízí řešení. S vědomím zavedení normy EURO 6 v roce 2014 jsou výrobci automobilů ještě schopni snižovat emise dieselových motorů. Z celkového pohledu na oblast paliv se však CNG

pro výrobce vozidel jeví jako mnohem pohodlnější a realistické řešení pro snižování emisí CO<sub>2</sub>. Provozní zkušenosti potvrzují, pokud provoz auta s CNG pohonem převyší 18 tisíc km za rok, pak je v současnosti efektivnější než vůz s dieslovým motorem. Proto i při stále se zpřísnující legislativě z pohledu CO<sub>2</sub> a prohlubující se cenové nestabilitě u benzínu a nafty lze do budoucna očekávat nárůst zájmu o vozidla na CNG.

Na sériově vyráběné vozy CNG se zaměřuje již několik automobilek – např. Opel, Fiat, VW, Mercedes ad. Jen domácí výrobce ŠKODA prodal za poslední 2 roky už téměř 2 tisíce CNG vozidel. Další výrazný nárůst zcela jistě ovlivní nyní nová ŠKODA Octavia G-TEC na CNG, jejíž typ na klasická paliva zaujímá tradičně více než 30 procentní podíl z prodeje vozů v této kategorii. Podle ankety magazínu Flotila z května 2014 už 9,5 procent firem v ČR uvádí, že mají ve svém vozovém parku vůz nebo vozy na CNG.

V ČR je současné době registrováno celkem asi 4,7 milionů vozidel. Podle údajů Evropského sdružení výrobců automobilů (ACEA) bylo v ČR zaregistrováno v roce 2013 asi 150 tisíc nových vozidel. Na stlačený zemní plyn (CNG) jezdí v ČR téměř 8 tisíc vozů. Z tohoto počtu je v ČR už 518 CNG autobusů (ve 35 městech) a 83 komunálních CNG vozidel.

V letošním roce se také očekává zvýšené využití CNG v hromadné dopravě. MŽP již schválilo v červnu dotace pro 8 dopravních podniků v ČR na výměnu nejstarších autobusů za ty ekologické na CNG. Ve velkých městech, jako je Brno, Ostrava, Ústí, Havířov, Chomutov, Karviná, Frýdek a Opava nejen že města ušetří, ale výrazně se zlepší jejich ovzduší. Ve světě je využití CNG v hromadné dopravě zcela běžné, celkem jezdí téměř 782 tisíc CNG autobusů.

Dopravní podniky v ČR si stále častěji pořizují autobusy na CNG a šetří tím ročně i více než deset milionů korun. Podle nejnovější zprávy Navigant Research světový prodej CNG autobusů a nákladních vozů má stoupnout ze 170,2 tisíce/rok v roce 2013 na téměř 400 tisíc v roce 2022.

Tab. 2: Vývoj CNG v ČR v letech 2005 – 2014 v číslech

	Konec roku 2005	Začátek roku 2014	Nárůst
Počet CNG vozidel ve světě	4 640 000	19 873 000	15 233 000
Počet CNG vozidel v Evropě	556 650	1 848 550	1 291 900
Počet CNG vozidel v ČR	390	6 710	6 320
Počet CNG autobusů ve světě	125 050	781 400	656 350
Počet CNG autobusů v Evropě	90 232	278 503	188 271
Počet CNG autobusů v ČR	90	423	333
Počet CNG stanic ve světě	8 965	22 165	13 200
Počet CNG stanic v Evropě	2 031	4 191	2 160
Počet CNG stanic v ČR	9	52	43
Spotřeba CNG ve světě (m <sup>3</sup> ) / za předchozích 12 měsíců	10 003 016 000	76 900 680 000	66 897 664 000
Spotřeba CNG v ČR (m <sup>3</sup> ) / za předchozích 12 měsíců	3 010 000	21 951 900	18 941 900

Zdroj: Český plynárenský svaz [4]

Tab. 3: Vývoj NGV v ČR v letech 2004 – 2013

	veřejné PS CNG	auta celkem	osobní vozy	busy	Prodej CNG mil. m <sup>3</sup>	nárůst prodeje CNG v %
2004	9	250	150	100	2,773	
2005	9	450	280	165	3,010	8,5
2006	11	580	400	180	3,584	19,1
2007	17	900	680	195	5,790	61,6
2008	17	1200	950	215	6,758	16,7
2009	23	1800	1465	270	8,082	19,6
2010	32	2500	2112	300	10,058	24,4
2011	34	3250	2807	336	12,089	20,2
2012	45	4300	3818	362	15,242	26
2013	50	6300	5747	404	21,952	44

Zdroj: Český plynárenský svaz [5]

## 2. Závěrečné zhodnocení

Využití CNG a výstavba CNG plnicích stanic zažívá v posledních letech boom. Do čistějšího životního prostředí a výstavby CNG stanic se nyní investují v Evropě velké prostředky. EU plánuje, že v roce 2050 by v evropských městech už neměla jezdit vozidla s klasickými pohonnými hmotami. Odhaduje se, že asi 160 miliard eur bude investováno do nových CNG stanic jen v EU. Celkem jezdí na světě více než 20 milionů CNG vozidel, do 10 let jich má být nejméně jedenkrát tolik. V České republice již jezdí celkem 8 tisíc CNG vozidel.

### Literatura

[1-5] Český plynárenský svaz – interní informace a statistiky.

## Perspective and using CNG in transport

Jiří Šimek

*Czech Gas Association*

*U Plynárny 223/42, 140 21 Praha 4*

*e-mail: jiri.simek@eon.cz*

### Abstract

The article is the introduction of compressed natural gas (CNG), its benefits and use in transport. This paper focuses on CNG as environmentally and economically advantageous alternative, describes the experience of the Czech Republic and abroad. Specifies the number of CNG vehicles, filling stations, consumption. It also mentions the use of CNG buses in operation and development in this area.

# Městská hromadná doprava, která neškodí

**Magda Pejšová**

*Fakulta dopravní ČVUT*

*Konviktská 20, 110 00 Praha*

e-mail: magda.pejsova@volny.cz

## Abstrakt

Předmětem příspěvku "MHD, která neškodí" je vliv městské hromadné dopravy na životní prostředí v závislosti na zvoleném druhu dopravního prostředku. V současné době řada provozovatelů veřejné dopravy stojí před nutností obnovy vozového parku a s tím souvisejícím rozhodnutím, jak s co nejnižšími náklady získat ideální vozové složení. Přičemž musí splnit podmínky konkurenceschopnosti k ostatním dopravcům, ale i k IAD (individuální automobilové dopravě), komfortu pro cestující, šetrnosti k životnímu prostředí a v neposlední řadě také nízkých nákladů na provoz. Obnova vozových parků jednotlivých provozovatelů tradičně silně zatěžuje rozpočty jejich zřizovatelů. Dobré rozhodnutí pro vhodnou alternativu provozovaných dopravních prostředků, popř. volba vhodného mixu provozovaných prostředků, může zásadně ovlivnit výši provozních nákladů a tím ovlivnit výši finančních dotací ze strany zřizovatelů. Díky rozvoji nových technologií se nabízí několik alternativ. Tradiční diesellové autobusy s moderními motory splňující emisní normy EURO 6, autobusy na CNG, elektrobuses, trolejbusy, tramvaje, autobusy s vodíkovým palivovým článkem a pod. Na otázku, která varianta je pro dopravce z hlediska krátkodobého, střednědobého i dlouhodobého výhledu ideální, se snaží najít odpověď následující práce. V příspěvku je provedeno porovnání ekonomických ukazatelů provozu jednotlivých alternativ, jejich dopad na životní prostředí a jejich výkonová stránka.

## 1. Analýza situace v MHD v ČR

Městskou hromadnou dopravu v ČR tvoří pražské metro, sedm tramvajových, třináct trolejbusových a mnoho autobusových provozů. V některých městech jsou součástí ještě lanové dráhy a lodní doprava, jejichž význam je ale spíše doplňkový. Většinu těchto služeb obstarává 19 dopravních podniků s vozovou flotilou 702 trolejbusů, 1 826 tramvajů a 2 888 autobusů, která ujede ročně 326 milionů kilometrů. Z toho je zřejmé, že provoz MHD má zásadní vliv na životní prostředí ve městech. Jen za poslední rok vložili tito dopravci do obnovy vozového parku 4330 mil Kč, za které nakoupili 30 tramvajů, 21 trolejbusů, 131 diesellových a 9 CNG autobusů [1]. Přesto není obnova vozového parku dostatečně rychlá a vozová flotila stárne. Kombinace potřeby omlazení vozové flotily a nutnosti snížení negativního vlivu na životní prostředí přináší snahu dopravců se s těmito výzvami vypořádat.

V současné době jsou na trhu pro potřeby městské hromadné dopravy k dispozici alternativy v podobě vozidel hybridních, na stlačený zemní plyn nebo elektřinu. Ty se ale samozřejmě liší nejen svými emisními, ale také ekonomickými vlastnostmi.

### 1.1. Městské autobusy na CNG

Pokud vynecháme metro, tramvaje a trolejbusy, které jsou přirozeně poháněny elektřinou, můžeme na první místo mezi alternativními palivy využívanými v MHD v ČR postavit stlačený zemní plyn. Jako hlavní důvody zavádění autobusů na CNG dopravci zpravidla uvádějí snížení negativního vlivu provozu autobusů na životní prostředí, omlazení vozového parku a snížení finančních nákladů na provoz městské

hromadné dopravy. Přesto podle Českého plynárenského svazu, který sleduje vývoj CNG a pravidelně zpracovává statistická data z této oblasti, jezdí v ČR zatím jen asi 2,5 procenta CNG autobusů ze všech, resp. 512 CNG autobusů (zahrnuje i linkové autobusy). Tento fakt by se měl pozitivně změnit po uskutečnění 8 projektů v oblasti Alternativní doprava, s podporou Ministerstvo životního prostředí (MŽP) prostřednictvím Státního fondu životního prostředí (SFŽP) v rámci 57. výzvy, dotací na výměnu nejstarších a životní prostředí nejvíce znečišťujících autobusů městské hromadné dopravy za ekologické autobusy na stlačený zemní plyn (CNG) [2].

Nejvíce peněz poputuje do Moravskoslezského kraje, tedy oblasti s nejproblematictějším ovzduším. Dopravní podnik Ostrava využije dotace na výměnu až třetiny svých autobusů na naftu za autobusy na CNG. Celkem plánuje pořízení až 100 CNG autobusů. Velký projekt s nákupem 100 vozů s pohonem na CNG a výstavbou plničky rozjelo také město Brno, prvních 12 autobusů získalo již začátkem léta 2014 a dodání dalších 88 předpokládá na přelomu roku 2014/2015. Podle odhadu Českého plynárenského svazu přibude v ČR díky této podpoře během jednoho roku cca 238 CNG autobusů.

## 1.2. Elektromobilita v MHD v ČR

Čeští provozovatelé MHD zkoušejí i další alternativy. Požadavek dostat do měst lokálně bezemisní vozidla mohou zajistit vozidla na elektrický pohon. V segmentu MHD je vývoj elektromobility v ČR stále v testovací fázi, pokud tedy nepočítáme tramvaje a trolejbusy. Jediným dopravním podnikem, kde jsou provozovány elektrobusesy na běžných linkách MHD, je Dopravní podnik Ostrava. Zde jsou v provozu 4 vozy na jedné lince. Jedná se o vozy s dobíjením tzv. overnight, tedy bez potřeby dobíjení během jízdy. Elektrobusesy jsou využívány v provozu na dělených směnách mezi dopravními špičkami, dobíjení probíhá během polední přestávky. Ranní proběh je 85 vzkm, odpolední proběh 100 vzkm. Dopravní podnik uvádí, že vyšší pořizovací náklady (8,5 mil Kč + 2 mil Kč na výměnu trakční baterie v polovině životnosti vozidla) jsou kompenzovány nižšími náklady na provoz, úsporou emisí a snížením hlučnosti o 8 dB oproti dieslovému pohonu. Zvýšené pořizovací náklady se vrací za cca 12 let. Dalšímu rozšiřování elektrobusesů brání nejen ekonomické překážky, ale také menší akční rádius, protože dojezd na jedno nabití dosahuje v průměru 150 až 180 kilometrů. Pro běžné výkony 250 až 300 kilometrů v městském provozu je třeba zavádět síť rychlonabíjecích stanic nejlépe na konečných zastávkách [3].

## 1.3. Hybridní a palivočlánkové autobusy v ČR

Ještě méně zkušeností mají dopravci s hybridními a palivočlánkovými vozy. Zástupcem palivočlánkových autobusů zkoušených v MHD v ČR je TriHyBus, prototyp vyrobený k demonstračním účelům vodíkové technologie, provozovaný ÚJV Řež v rámci projektu koordinovaného ÚJV Řež a spolufinancovaného ze 75 % ze zdrojů EU. Tomu, že se jedná o prototyp, odpovídá i cena, která dosáhla téměř 60 mil Kč za vývoj vozidla a 23 mil Kč za vodíkovou infrastrukturu [4]. Masivní rozšíření tedy za současných podmínek nelze předpokládat.

Hybridním autobusem testovaným na linkách MHD v Praze a na linkové dopravě v Chomutově byl sériově vyráběný 12m hybridní městský autobus Volvo 7700 s paralelním uspořádáním pohonu. V provozu vykázal úspory paliva oproti srovnatelnému dieselu v rozmezí 28 až 45 %. Naměřené hodnoty z Prahy ukazují průměrnou spotřebu 30,2 l/100 km, což je průměrná úspora oproti srovnatelným dieslovým autobusům 28 % [5]. Autobus je velmi tichý díky



vypínání motoru při zastavení a rozjezdu na elektromotor do rychlosti 20 km/h. Cena hybridu je přibližně o třetinu vyšší než klasického dieselu. Studie ukazují návratnost ve srovnání s diesellovým autobusem vzhledem k vyšším nákladům na údržbu od 5 do 10 let, v závislosti na úspoře v nákladech na spotřebu.

## 2. Komparace pohonných konceptů

Pro analýzu a porovnání bylo vybráno 6 konceptů. Tři založené na spalovacích motorech - *Diesel*, *CNG*, *Diesel hybrid* a tři koncepty bezemisní - *Vodíkové palivové články*, *Trolejbus*, *Elektrobus*.

Přestože základními rozhodovacími kritérii dopravců v ČR při výběru nových vozů jsou zpravidla především cena a provozní náklady, je třeba se zabývat i dalšími vlastnostmi konceptů, neboť v opačném případě bychom mohli konstatovat, že pěší doprava je nejlevnější, a proto MHD zrušíme.

Vzhledem k tomu, že komfort a vzhled vozů je možné zajistit u všech vozů stejný, zabývá se tento příspěvek pouze aspekty, které jsou pro provoz MHD podstatné a nelze je snadno změnit.

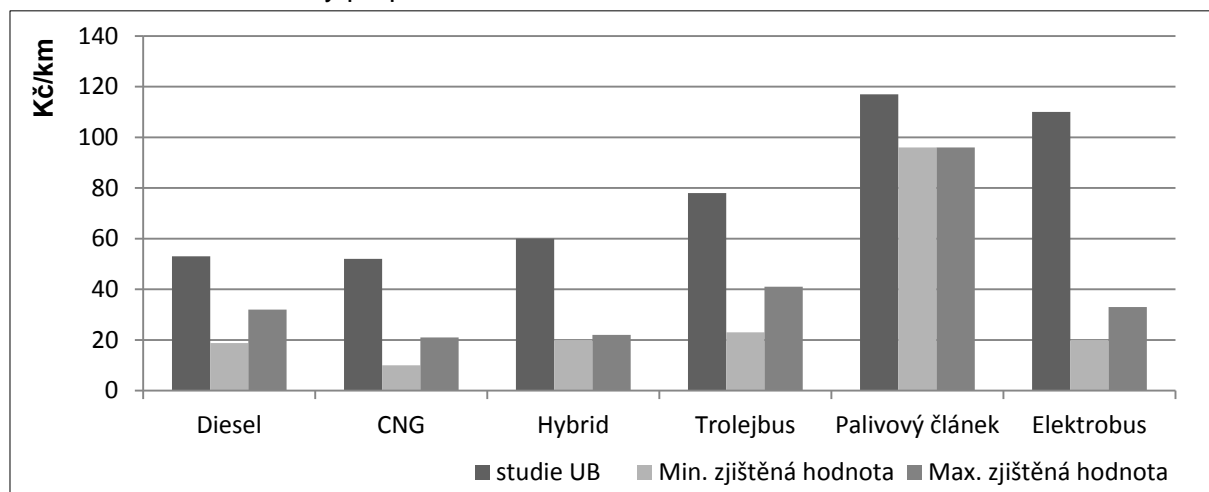
Principiálně lze shrnout do třech okruhů:

1. *Finanční aspekty* (náklady pořizovací, provozní, na infrastrukturu)
2. *Výkonové aspekty* (Doba tankování či nabíjení, dojezd, závislost na infrastruktuře, flexibilita...)
3. *Aspekty dopadu provozu na životní prostředí* (Well-to-wheel emise, místní emise, hluk)

### 2.1. Finanční aspekty

Podklady pro porovnání finančních aspektů jednotlivých pohonných konceptů vycházejí z nákladů na městské vozidlo s délkou 12m a zahrnují náklady na spotřebu energie, pořizovací náklady, náklady na opravy a údržbu, a ostatní náklady, které jsou pro zjednodušení pro všechny druhy konceptů konstantní. Graf č.1 ukazuje porovnání celoživotních nákladů získaných z různých informačních zdrojů.

Graf 1: Celkové náklady přepočtené na km



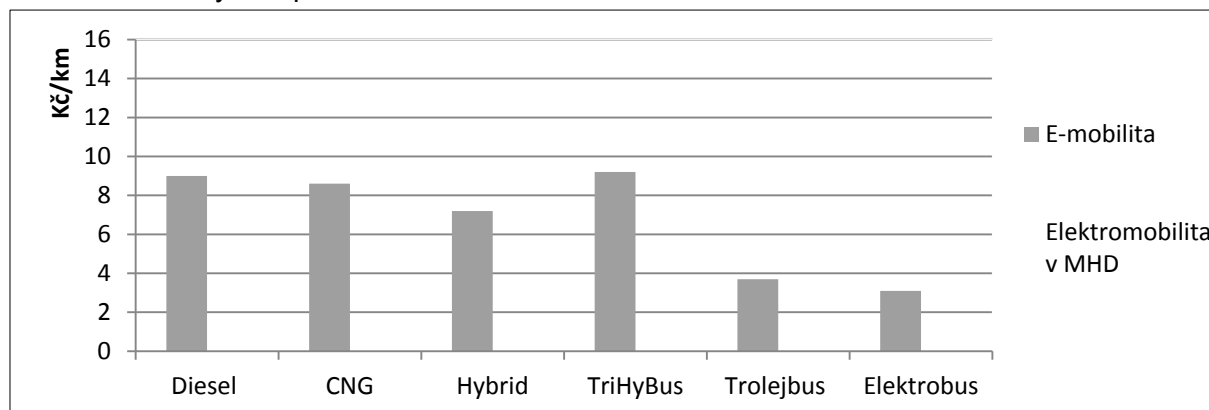
Zdroj: Studie E-mobilita [7]

Přestože se kalkulované náklady jednotlivých zdrojů zásadně liší, poměry mezi jednotlivými koncepty jsou velmi podobné. Graf ukazuje, že jsou celoživotní náklady na alternativní pohony oproti dieselu a CNG mnohem vyšší. Promítá se zde především skutečnost, že Diesel a CNG jsou na trhu zavedené

produkty s hotovou infrastrukturou. Trolejbusy jsou zatíženy vysokými pořizovacími a udržovacími náklady pevného trakčního vedení. U elektrobuseů a autobusů s palivovým článkem je cena ovlivněna kusovou výrobou, která neumožňuje uplatnit ekonomii z rozsahu, oba koncepty navíc vyžadují dobudování infrastruktury/výrobu vodíku.

Do budoucna lze předpokládat, že s rozvojem technologií a přechodem na sériovou výrobu, se budou náklady na elektrobusey a autobusy s palivovými články snižovat, zatímco u dieselových a CNG pohonů bude trend z důvodu nárůstu cen fosilních paliv opačný.

Graf 2: Náklady na spotřebu



Zdroj: Studie E-mobilita [7], Elektromobilita v MHD [8]

Ve srovnání s celkovými náklady je zajímavé porovnání nákladů na spotřebu paliva, kde patří CNG a diesel k nejdražším. U dieselu je to ovlivněno především cenou paliva a u CNG spotřebou (graf č.2).

## 2.2. Výkonové aspekty

Pro dopravce provozující městskou hromadnou dopravu jsou z hlediska výkonnosti podstatné vlastnosti jako je *spotřeba pohonných hmot, spolehlivost, dojezd na jedno doplnění paliva, funkční infrastruktura, četnost a doba tankování*, a v neposlední řadě také vlastnost související s vlivem provozu autobusu na životní prostředí - *"akční rádius" bez místně produkováných emisí*.

Co se týká prvních dvou jmenovaných vlastností, tedy spotřeby paliva a spolehlivosti, tak ty se bezprostředně promítají do nákladovosti, proto jim tento příspěvek nevěnuje větší pozornost. Omezuje se pouze na obecně známé konstatování, že čím je technologie více konvenční, tím je její spolehlivost vyšší. Pokud bychom ale toto riziko brali za stěžejní, nikdy by se nic nového neprosadilo a vývoj by se zastavil.

Ostatní jmenované vlastnosti se v různých pohonných konceptech projevují vyrovnaně. Některé koncepty vykazují lepší vlastnosti ve schopnosti velkého dosahu bez produkce emisí, jiné naopak v absolutním dojezdu.

*Autobusy na diesel a CNG* mají velký akční rádius s dojezdem na jedno tankování více než 300 km, vyžadují pouze krátký čas na tankování a mají na evropské úrovni vybudovanou funkční rozsáhlou síť čerpacích stanic. V ČR infrastruktura CNG stanic za Evropským průměrem pokulhává. Oba koncepty ale nejsou schopny fungovat v režimu s nulovými emisemi.

*Hybridní autobusy* mají stejné vlastnosti jako konvenční a navíc jsou schopny v krátkých úsecích využívat čistě el. pohon s nulovými lokálními emisemi a nižší hladinou hluku, což zvyšuje jejich využití zvláště v centrech měst.

*Autobusy s vodíkovými články* jsou ve výkonnosti vlastně na nejvyšší úrovni, neboť splňují vše jako konvenční s přidanou hodnotou nepřetržitého fungování s nulovými lokálními emisemi po dobu delší vzdálenosti. Problematická je u nich nedostatečná infrastruktura a stále se vyvíjející technologie na úrovni testování.

*Trolejbusy* nabízí podobný výkon jako konvenční autobusy, s nulovými lokálními emisemi a bez potřeby tankování. Akční rádius je ale omezen závislostí na vrchním trakčním vedení. Výjimku tvoří hybridní trolejbusy, které jsou v některých městech využívány pro zvýšení flexibility.

*Elektroautobusy* mají kratší dojezdovou vzdálenost a vyžadují delší čas na dobítí. Jejich výhodou je provoz bez místních emisí. Pro dobíjení existují dvě možnosti, buď rychlodobíjení během provozu, což vyžaduje vybudování dobíjecích stanic po trase a má za důsledek komplikace při změně vedení linek, nebo tzv. dobíjení overnight, které je pro změnu náročné na čas.

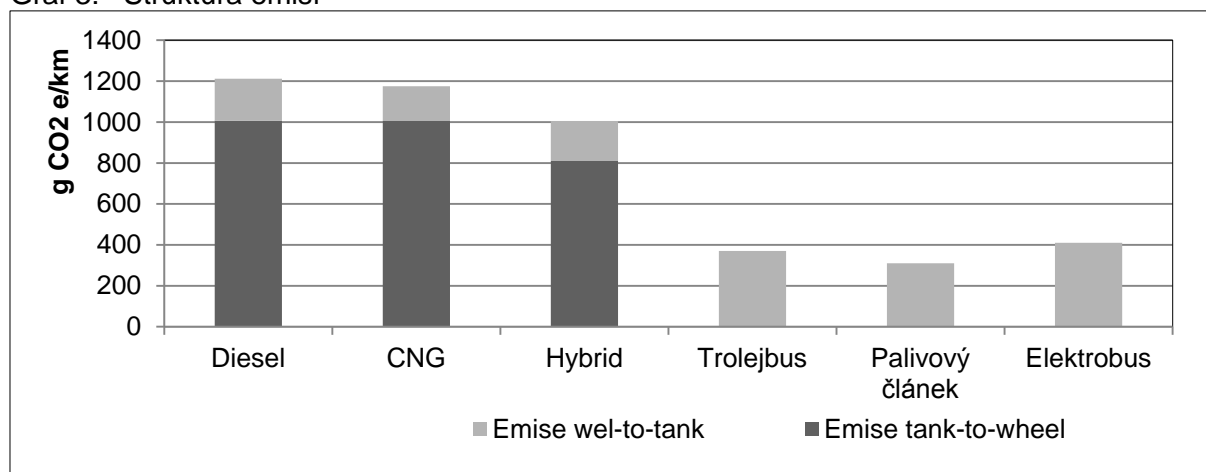
## 2.3. Aspekty dopadu provozu na životní prostředí

### 2.3.1. Emise skleníkových plynů

Nejaktuálnější studií zabývající se porovnáním vlivu provozu autobusů s různým pohonem na životní prostředí je *Urban buses: Alternative powertrains for Europe*. Ta dopady na životní prostředí řeší v rozsahu „well-to-wheel“ (od pramene ke kolům) tak, aby mapovala dopad nejen v místě provozu („tank-to-wheel“ - od tankování ke kolům), ale také emise související s výrobou a dodáním energie do vozidla (well-to-tank - od pramene k doplnění paliva).

Studie ukazuje produkci skleníkových plynů jednotlivých pohonných konceptů ve srovnání s produkcí emisí diesellového motoru. Pro názornější uchopení problému ukazuje průměry zjištěných hodnot, nikoliv konkrétní hodnoty, které se region od regionu liší v souvislosti s různou strukturou výroby elektrické energie, vlastními zdroji fosilních paliv a pod. [7].

Graf 3: Struktura emisí



Zdroj: *Urban buses: alternative powertrains for Europe*[7].

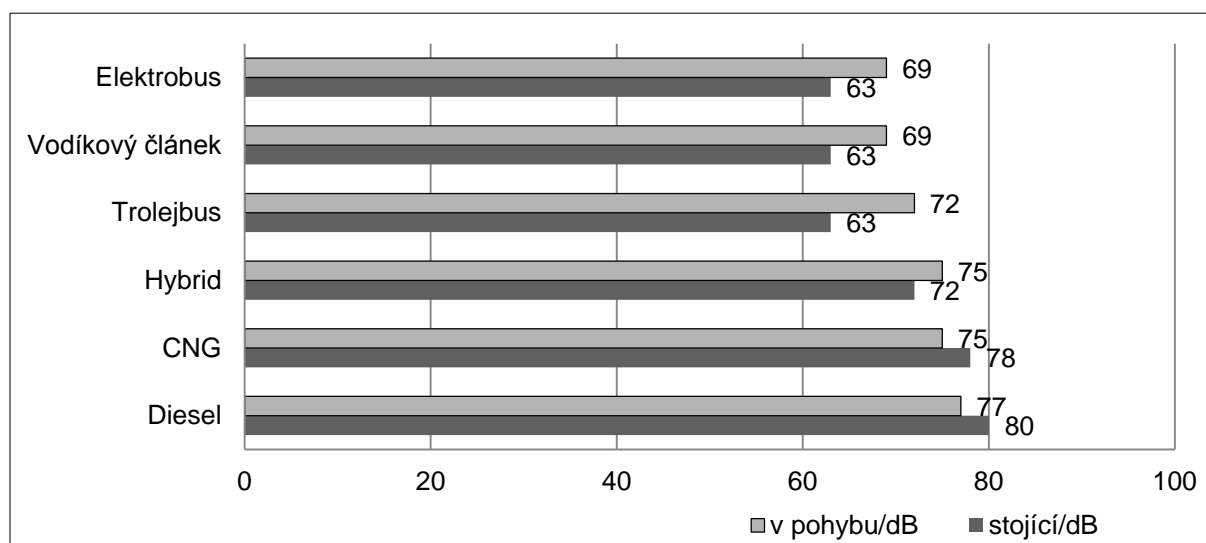
Ze získaných informací je zřejmé, že nejméně emisí skleníkových plynů produkují autobusy s elektrickým pohonem. Nejproblematictější jsou z tohoto pohledu autobusy diesellové a CNG autobusy. Trochu zarážející je produkce lokálních emisí skleníkových plynů u CNG autobusu, který je v ČR obvykle označován za ekologičtější než diesellový (graf 3).

Komparaci dieselových autobusů a autobusů na CNG se věnovalo studií více, za zmínku stojí "Performance and emissions evaluation of compressed natural gas and clean diesel buses at New York City's Metropolitan Transit"(2002),"Comparative Costs of 2010 Heavy-Duty Diesel and Natural Gas Technologies"(California) nebo "Clean Diesel versus CNG Buses" (Manchester). Jejich výsledky nelze mezi sebou srovnávat, neboť byly prováděny se zcela rozdílnými výchozími podmínkami. Studie ukazují, že emise dvou z nejvýznamnějších znečišťujících látek, PM a NOx, mohou být u CNG výrazně nižší - řádově 70%, respektive 30% - ve srovnání s konvenčními dieselovými autobusy staršího data výroby. Objektívni současné srovnání produkce emisí nových diesel a CNG autobusů bohužel není k dispozici. Ať už ale platí to, že je CNG pohon ekologičtější než diesel nebo ne, je třeba konstatovat, že technologie CNG prokázaly pozoruhodnou schopnost pro dosažení nejpřísnějších emisní norem požadovaných v rozvinutých zemích a zároveň pomohly zlepšit kvalitu ovzduší v mnoha městských oblastech po celém rozvojovém světě. Jsou tedy zajímavou alternativou k dieselovým technologiím, ale stejně jako ony nejsou schopny fungovat v bezemisním režimu.

### 2.3.2. Hluk

Kromě emisí výfukových plynů zatěžuje doprava životní prostředí hlukem. Srovnání jednotlivých vybraných pohonných konceptů ukazuje graf číslo 4 [7].

Graf 4: Hlučnost



Zdroj: Urban buses: alternative powertrains for Europe [7]

Není jistě překvapením, že nejtišší jsou systémy s elektrickým pohonem, kterým se vyrovnají i autobusy s vodíkovými články. Rozdíl 17 resp 8 dB může působit zdánlivě zanedbatelně, proto je třeba si uvědomit, že intenzita hluku 63 dB odpovídá běžnému hovoru, zatímco 80 dB velmi hlasitě reprodukováne hudbě. Odborné studie navíc uvádí, že k poškození sluchu může vést i dlouhodobé vystavování se hluku těsně nad 70 dB.

## 3. Výsledky a doporučení

Při rozhodování, jakým směrem se vydat a ke kterým pohonným konceptům se při obnově vozového parku přiklonit, může být pomůckou následující shrnutí. Pro zjednodušení bylo každému kritériu hodnocení u všech hodnocených pohonných

konceptů přiděleno dle zjištěných výsledků číslo od 1 do 3, přičemž 1 odpovídá nejlepšímu hodnocení. Tabulka č.1 ukazuje, jak si který koncept stojí.

Tab. 1: Konečné hodnocení

		Diesel	CNG	Hybrid	Trolejbus	Vodíkové články	Elektrobus
F	Náklady pořízení a financování	1	1	2	3	3	2
	Provozní náklady	3	2	2	3	1	1
	Náklady na infrastrukturu	1	1	1	2	3	2
<b>SOUHRN ZA F</b>		<b>5</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>5</b>
V	Doba dobíjení/ tankování	2	2	2	1	2	3
	Dojezd bez emisí	3	3	2	1	1	1
	Flexibilita/dojezd	1	1	1	3	1	2
<b>SOUHRN ZA V</b>		<b>6</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>6</b>
VnŽP	Emise well-to-wheel	3	3	2	1	1	1
	Lokální emise	3	3	2	1	1	1
	Hluk	3	3	2	2	1	1
<b>SOUHRN ZA VnŽP</b>		<b>9</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
<b>CELKEM</b>		<b>20</b>	<b>19</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>14</b>	<b>14</b>

Zdroj: Vlastní z výsledků studie

Ze zjištěných výsledků je zřejmé, že zásadní snížení vlivu MHD na životní prostředí je možné pouze zavedením alternativních pohonných systémů do praxe. V současné době dostupných a rozvíjejících se alternativních pohonných systémů mohou klíčovou roli ve snižování produkce skleníkových plynů a při řešení problému znečištění ovzduší ve městech sehrát pouze autobusy s vodíkovými články, trolejbusy a elektrobusy. Je tedy nanejvýš vhodné tam, kde je vybudována infrastruktura, zachovat trolejbusy a v co největší míře podpořit rozvoj a upevnění místa na trhu elektrobusům a autobusům s vodíkovými články.

Pomocí snížit lokální emise, a to až o 20 %, a překlenout tak období, než dojde ke zlevnění konceptů s nulovými lokálními emisemi, mohou také diesel hybridní autobusy, jejichž celkové hodnocení je lepší než u CNG autobusů.

Nejlevnější varianty, jak dieselové, tak CNG pohony nejsou schopny, co se vlivu na životní prostředí týká, v konkurenci ostatních obstát. Nicméně jejich silné postavení na trhu, zajištěná infrastruktura, flexibilita a variabilita budou pro nové technologie tvrdým oříškem.

V České republice jsou většinovými vlastníky dopravních společností provozujících MHD zpravidla města. Politici, kteří jako zástupci vlastníka mají konečné slovo při investování do vozového parku, obvykle zapomenou na svá předvolební prohlášení o zlepšování životního prostředí a vybírají si varianty, co nejvíce vozů za co nejméně peněz. Z tohoto důvodu bude nezbytné, aby politici a dopravci spolupracovali a synchronizovali své úsilí v podpoře a motivaci obnovovat vozový park vozy s nulovými emisemi. Trvalé a pravidelné nákupy autobusů s novými technologiemi by mohly pomoci k upevnění jejich pozice na trhu, zvýšení úspor z rozsahu a zvýšení snahy výrobců vyvíjet a nabízet nové produkty.

Je třeba si uvědomit, že životnost autobusů je více než 12 let a že letos pořízené autobusy budou v provozu ještě min. v roce 2026. Má-li být dosaženo výsledků zlepšování životního prostředí co nejdříve, není možné se zaváděním nových konceptů otálet.

## Literatura

- [1] Výroční zpráva SDPČR za rok 2013. Praha (CZ): SDPČR, 2013.
- [2] Oficiální stránky ministerstva MŽP  
[http://www.mzp.cz/cz/financovani\\_ochrana\\_zivotni\\_prostredi](http://www.mzp.cz/cz/financovani_ochrana_zivotni_prostredi)
- [3] Oficiální stránky Dopravního podniku města Ostravy <http://www.dpo.cz>
- [4] Oficiální stránky Vodíkového autobusu s palivovými články  
<http://www.h2bus.cz/>
- [5] RÁC, J. Dopravní podnik měst Chomutova a Jirkova testoval hybridní autobus VOLVO 7700. *Busportal* [online]. 2012, červenec [cit. 20. 07. 2014]. Dostupné na: <http://www.busportal.cz/modules.php?name=article&sid=9939>
- [6] Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (2012). Urban buses: Alternative powertrains for Europe. *fch-ju* [online]. 2012, červenec [cit. 20. 07. 2014]. Dostupné na: [http://www.fch-ju.eu/sites/default/files/20121029%20Urban%20buses,%20alternative%20powertrains%20for%20Europe%20-%20Final%20report\\_0.pdf](http://www.fch-ju.eu/sites/default/files/20121029%20Urban%20buses,%20alternative%20powertrains%20for%20Europe%20-%20Final%20report_0.pdf)
- [7] SLAVÍK, J. E-mobilita.Proelektrotechniky [online]. 2013, červenec [cit. 20. 07. 2014]. Dostupné na: <http://www.proelektrotechniky.cz/elektromobilita/42.php>
- [8] PECH, L.Elektromobilita v městské hromadné přepravě osob.*Busportal* [online]. 2013, červenec [cit. 20. 07. 2014]. Dostupné na: [http://www.busportal.cz/bpextend/23\\_Cerny\\_Evmhpo-revize-l.pdf](http://www.busportal.cz/bpextend/23_Cerny_Evmhpo-revize-l.pdf)

## Environment Friendly Public Transport System

**Magda Pejšová**

*Faculty of Transportation Sciences-Czech Technical University in Prague*

*Konviktská 20, 110 00 Prague*

*e-mail: magda.pejsova@volny.cz*

### Abstract

The subject of the paper Environment Friendly Public Transport System is an impact of public transport system on environment with regards to the selected mean of transport. Nowadays lots of public transport operators have been facing a need to modernize their fleet for as low costs as possible. At the same time they must be able to be competitive with other carriers and also with individual car transport. They also have to take into consideration factors like passengers' comfort, environment awareness and operation costs. The fleet modernization is traditionally a budget burden for founders. It is crucial to make the right choice of the alternatives to vehicles in use. The right composition of vehicles can significantly influence the operational costs and therefore also the finances coming from the founders. Thanks to the technology development there are several alternatives. e.g. traditional buses with diesel motors that comply with emission limits, buses run by compressed natural gas, electrobuses, trolleybuses, trams, busses with a hydrogen fuel cell, etc. This paper is dealing with which alternative is the best for a carrier in a short-, medium- and long-term perspective. I am comparing economic indicators of the operation of particular alternatives and their impact on environment.

# Využití marketingových nástrojů k propagaci MHD

**Karel Trojan**

*Magistrát města Jihlavy, odbor dopravy; ČVUT v Praze, Fakulta dopravní,  
Ústav dopravních systémů*

*Masarykovo nám. 1, 586 01 Jihlava; Konviktská 20, 110 00 Praha 1  
e-mail:karel.trojan@jihlava-city.cz; xtrojan@fd.cvut.cz*

## Abstrakt

Příspěvek se věnuje problematice propagace MHD, která má klíčový význam pro dopravní obsluhu městského území. MHD je velmi šetrná k životnímu prostředí a proto se jedná o trvale udržitelný druh dopravy ve městě. Všechna města na celém světě se potýkají s rostoucím stupněm automobilizace, jehož důsledkem jsou kongesce, hluk a exhalace. Tento nepříznivý trend může zvrátit pouze funkční a konkurenceschopná MHD.

Systém MHD tvoří mnoho jednotlivých komponent (linkové vedení, tarif, vozidla, infrastruktura,...), které zajišťují jeho funkčnost. Je nezbytné tyto jednotlivé subsystémy MHD rozvíjet a inovovat. To ovšem samo o sobě nárůst počtu cestujících a s tím související úbytek počtu automobilů v ulicích nepřinese. K přilákání nových cestujících, kteří v současné době služeb MHD nevyužívají, je třeba využít stejných marketingových nástrojů, které se používají k propagaci komerčních služeb a výrobků.

V úvodu článku jsou vymezeny jednotlivé marketingové nástroje, které se používají k propagaci služeb. Následuje popis hlavních specifických vlastností dopravního trhu ve městě, jsou popsáni hlavní konkurenti MHD a klíčové faktory motivující cestující k využívání (nevyužívání) služeb MHD. Dále jsou popsány praktické aplikace jednotlivých marketingových nástrojů používaných k propagaci služeb MHD. Závěr textu přináší návrh marketingových opatření, která mohou pomoci zvýšit zájem o cestování MHD a zvrátit nepříznivý trend spočívající v růstu intenzity individuální automobilové dopravy ve městech.

## 1. Význam městské hromadné dopravy

Všechna města na celém světě se potýkají s rostoucím stupněm automobilizace. Důsledkem tohoto jevu jsou ulice přeplněné auty, hluk a exhalace. Tomuto trendu lze efektivně čelit pouze funkční a konkurenceschopnou městskou hromadnou dopravou. Je třeba udržet současný rozsah provozu městské dopravy ve městech. Důležité je, aby MHD nejen neztrácela současné cestující, ale aby současně přilákala i nové cestující, kteří v současné době služeb městské dopravy nevyužívají.

Městská doprava tvoří běžnou součást městského prostředí. Metro, městská železnice, tramvaje, trolejbusy, autobusy a různé nekonvenční dopravní prostředky MHD přepraví každý den milióny cestujících do práce, do školy, na nákupy a za zábavou. Veřejná městská doprava patří mezi základní prvky občanské vybavenosti ve větších městech po celém světě. Městská hromadná doprava hraje pro zdravý rozvoj města klíčovou roli a především velká města jsou na kvalitně fungující MHD bytostně závislá.

Městská hromadná doprava je nejvýznamnější složkou dopravy ve městě. Na celém území městské aglomerace zajišťuje veřejná hromadná doprava přepravu osob v každou denní a noční dobu po celý rok. Zprostředkovává základní dopravní vazby mezi plošnými funkčními složkami území (obytné plochy, průmyslové oblasti, občanská vybavenost). Tvoří alternativu k ostatním druhům dopravy (individuální

automobilová doprava, pěší a cyklistická doprava). Jde o jednu z nejdůležitějších služeb obyvatelstvu, která každodenně ovlivňuje život miliónů lidí [1].

## 2. Městská hromadná doprava jako služba

Doprava, včetně její podmnožiny městské hromadné dopravy, spadá do sektoru služeb, protože splňuje všechny jejich hlavní rysy. Služby jsou nehmotné, potenciální cestující si zpravidla nemá možnost služby prohlédnout či předem vyzkoušet, z toho důvodu panuje mezi potenciálními zákazníky zvýšená nejistota. Na rozdíl od zboží jsou služby nejprve prodány a teprve potom produkovány a spotřebovávány. Službu nelze oddělit od jejího poskytovatele. Služba může být poskytována více zákazníkům současně i bez toho, aby se snížila její kvalita (např. jízda v dopravním prostředku, pokud není přeplněný). Kvalitu služby nelze jednoduše a přímo změřit, protože je závislá na mnoha faktorech (kým jsou služby poskytovány, jak jsou realizovány a kde jsou provozovány).

Mezi základní charakteristiku služeb patří pomíjivost, což vychází z toho, že služby není možné uskladnit pro prodej či použití v pozdějším období. V případě, že má provozovatel služeb stálou poptávku, netvoří pomíjivost problém. Firmy poskytující služby mají na výběr několik strategií, jak mohou vyrovnat nabídku a poptávku. Mohou provést cenovou diferencii, která spočívá v tom, že v době slabší poptávky účtují za služby nižší ceny a naopak. Provozovatelé MHD mají bohužel omezené možnosti, jak se vypořádat s pomíjivostí služeb, a proto musí z důvodů dopravních špiček vlastnit více dopravních prostředků, než kdyby byla nabídka a poptávka vyrovnaná. Služby nelze z jejich materiální podstaty vlastnit a konečný spotřebitel k nim má přístup jen po omezenou dobu. Díky absenci vlastnictví se musí poskytovatelé služeb snažit posilovat identitu své značky např. pomocí věrnostních programů, kdy zákazník získává slevy při opakovaném využití služeb (předplatní jízdenky, zákaznické jízdné apod.) [2].

### 2.1. Marketingové nástroje používané k propagaci služeb a jejich aplikace na problematiku propagace MHD

Společnosti poskytující služby často využívají marketingu podstatně méně než výrobní společnosti, což je dáno dvěma faktory. Prvním z nich je to, že se často jedná o malé podniky, které pokládají marketing za příliš nákladný a zbytečný. Druhým faktorem je to, že některé služby byly dříve tak žádané, že žádný marketing nepotřebovaly. To se týká především MHD. V době, kdy byl stupeň automobilizace malý, neměla MHD nouzi o cestující, spíše naopak, dopravní prostředky jezdily přeplněné. Dnes je situace diametrálně odlišná. Především ve vyspělých zemích je běžné, že v rodině je více než jeden automobil. V takovém prostředí musí systémy MHD o cestující doslova bojovat.

Propagace služeb MHD zvyšuje její význam. Tím napomáhá spotřebitelům (cestujícím) lépe se orientovat na dopravním trhu a hodnotit celkovou nabídku služeb. Propagace služeb pokrývá řadu oblastí. Propagační mix služeb obsahuje následující prvky: reklama, osobní prodej, podpora prodeje, styk s veřejností, ústní podání, přímý marketing.

Reklama tvoří jednu z hlavních forem komunikace používaných v oblasti služeb. Jejím úkolem je dostat službu do povědomí zákazníků a odlišit ji od nabídek konkurence, rozšířit znalosti zákazníka a přesvědčit jej, aby službu využil. Zahraniční provozovatelé veřejné dopravy, nebo koordinátoři IDS využívají rozmanité formy reklamy. V ČR využívají reklamu k propagaci svých služeb především dopravci



operující v dálkové dopravě (doprovci skupiny Student Agency, s.r.o, LEO Express, a.s., České dráhy), ale i někteří organizátoři IDS či provozovatelé MHD. K reklamě jsou využívány především samotné dopravní prostředky uvnitř i vně. Dále se uplatňují všechny ostatní formy reklamy.

Některé služby vyžadují při své propagaci osobní prodej, protože mnoho zákazníků má se svými dodavateli velmi blízké vztahy. Osobní prodej přináší osobní kontakt se zákazníkem a posílení vztahů. Pod tímto marketingovým nástrojem si lze v podmínkách MHD představit kontakt s cestujícími prostřednictvím informačních center dopravců, míst předprodeje jízdních dokladů a terénních pracovníků, kteří se uplatňují především v mimořádných situacích. Patří sem samozřejmě i kontakt s řidiči a průvodčími dopravních prostředků.

Podpora prodeje zahrnuje řadu stimulačních aktivit. Řadí se sem věrnostní programy pro stálé zákazníky (předplatní zvýhodněné jízdné, bonusové programy pro stálé a pravidelné cestující) a veškeré propagační materiály (letáky, schémata sítě, drobné předměty rozdáváné v rámci dnů otevřených dveří apod.). Předplatní časové jízdné má charakter věrnostního programu, protože stálí cestující mají možnost využívat služby MHD za zvýhodněných cenových podmínek. Identifikační průkazy, které vydává dopravce k časovým jízdenkám, mohou sloužit jako slevová karta na další služby, které dopravní podnik poskytuje, např. zájezdová doprava, myčka vozidel, reklama ve vozidlech MHD apod. Průkazka na MHD může být integrována do tzv. městské karty, která slouží jako identifikační průkaz pro vstup do knihoven, sportovišť, k placení parkovného apod. Zároveň jsou na tuto kartu poskytovány komerční slevy u smluvních partnerů (restaurace, obchody, kina atd.). Typickým příkladem multifunkční městské karty je pražská Opencard.

Styk s veřejností (public relations) je definován jako plánovitě a trvale vynakládané úsilí za účelem získání a udržení si dobré pověsti firmy na veřejnosti. Jedná se o dlouhodobý proces. V oblasti MHD je public relations z mnoha důvodů velice důležitý. MHD je z velké části financována prostřednictvím veřejných rozpočtů, proto se často stává politickým tématem. Zároveň tvoří vizitku města ve vztahu k jeho obyvatelům a návštěvníkům. K budování vztahu s veřejností využívají dopravci různé propagační akce. Jedná se především o dny otevřených dveří, kdy má veřejnost možnost nahlédnout do technického zázemí provozu MHD. Dny otevřených dveří bývají často spojeny s oslavami dopravních výročí a jízdami historických vozidel. Někteří dopravci si pro tento účel budují vlastní sbírky historických vozidel, které mimo dny otevřených dveří využívají na speciálních historických linkách nebo k objednaným jízdám (např. svatební jízdy apod.).

Významným referenčním zdrojem v oblasti služeb je ústní podání. Pro systémy veřejné dopravy je důležité pokud se cestující rádi dělí o své zážitky a zkušenosti s cestováním MHD se svými známými, přáteli a příbuznými. Osobní doporučení je považováno za jeden z nejdůležitějších informačních zdrojů.

Pod pojmem přímý marketing se zahrnuje přímá odezva, přímý prodej, telemarketing a internetový marketing. Jedná se o efektivní formu komunikace s vybranými zákazníky. Tento nástroj se pro propagaci MHD příliš použít nedá.

### **3. Postavení městské hromadné dopravy na dopravním trhu**

Postavení MHD na trhu dopravních služeb ve městě je velmi specifické, protože zpravidla nemá žádného konkurenta. V každém českém městě, kde je provozována MHD, ji zajišťuje pouze jeden provozovatel. Tím může být buď soukromá firma, která má na poskytování služeb MHD uzavřenou smlouvu s městem, anebo přímo městská společnost. Tento model je běžný především

v rozvinutých zemích. Vzhledem k tomu, že dopravce provozující MHD, má díky smlouvě s městem zajištěnou exkluzivitu, nemusí řešit starosti s přímou konkurencí. Jeho konkurenty jsou ovšem osobní automobily, jízdní kola a pěší chůze, popř. inline brusle.

Ve východní Evropě, v Asii a v Africe je MHD zajišťována soukromými dopravci, kteří si vzájemně konkurují. Z konkurenčního prostředí sice plynou určité výhody pro cestující, ale i tak převažují jeho zápory. Mezi ně patří nejednotný tarif, nerovnoměrná nabídka spojů, obsluha pouze hlavních směrů a různá kvalita služeb. V zemích bývalého Sovětského svazu existují ve větších městech, stejně jako v ČR, dopravní podniky. Vzhledem k tomu, že zde tyto společnosti trpí nedostatkem financí, rozvinula se zde konkurence ve formě soukromých linkových taxi, které k dopravě využívají mikrobusey. Tento specifický druh linkové dopravy zde nazývají "maršutkou".

### **3.1. Pozitivní faktory motivující cestující k využívání služeb MHD**

Existuje celá řada důvodů, které vedou cestující k tomu, aby využili ke své cestě po městě MHD. Podle druhu motivů můžeme cestující rozdělit do dvou základních skupin. Jedna skupina využívá MHD, protože nemá jinou možnost dopravy po městě a druhá ji využívá z toho důvodu, že je pro ně výhodnější použít MHD namísto jiného způsobu dopravy.

První skupinu cestujících tvoří lidé, kteří nevlastní osobní automobil nebo jim jejich zdravotní stav znesnadňuje pěší chůzi, či jízdu na kole. Patří sem především starší lidé a děti. Do této skupiny můžeme zařadit i sociálně slabší občany, kteří si nemohou dovolit financovat provoz osobního automobilu. Tato skupina obyvatel nemá při cestách po městě jinou možnost, než použití MHD. Díky tomu nejsou tolik ovlivňováni kvalitou poskytovaných služeb.

Druhá skupina je z marketingového hlediska zajímavější. Jedná se o lidi, kteří mají možnost zvolit si jiný dopravní prostředek. Tito lidé cestují MHD z nějakého konkrétního důvodu. Hlavním hlediskem při výběru dopravního prostředku je pro většinu lidí cena za dopravu. Pravidelní cestující jsou vlastníky předplatních jízdenek, které jsou cenově výhodnější než denní dojíždění osobním automobilem.

Kromě ceny může svoji roli hrát i obava o svůj osobní automobil. Při provozu na pozemních komunikacích ve městech je riziko nehody vyšší než při cestách mimo město. Při používání MHD odpadají i starosti s parkováním. Pokud využijí lidé MHD k cestě za zábavou, mohou si dopřát i alkoholických nápojů, což by při zpáteční cestě osobním automobilem nemohli.

Stále větší množství obyvatel vnímá ekologické problémy současného světa. K znečišťování ovzduší ve městech přispívá z velké míry hlavně osobní automobilová doprava. Ekologicky smýšlející lidé si uvědomují šetrnost MHD k životnímu prostředí (především při použití vozidle elektrické trakce jako jsou tramvaje či trolejbusy).

### **3.2. Negativní faktory odrazující cestující od využívání služeb MHD**

Z hlediska propagace MHD je velmi důležité poznat i ty motivy, které naopak od cestování MHD odrazují. Lez je rozdělit do dvou skupin. První z nich tvoří ekonomické faktory. Cena jednotlivého jízdného se občasnému cestujícímu může zdát vysoká a neúměrná kvalitě nabízené služby.

Druhá skupina zahrnuje celou řadu důvodů, proč lidé odmítají cestovat MHD a souvisejí především s kvalitou poskytovaných služeb. Mezi nejčastější důvody patří čekání na zastávkách, dlouhá docházková vzdálenost, malá četnost spojů, nutnost

přestupovat. Dále lidem často vadí přeplněné a špinavé dopravní prostředky, špatná tepelná pohoda ve vozidlech MHD, malá cestovní rychlost a možnost vzniku mimořádných situací jako je porucha vozidla, či uvážnutí v koloně a také nepříznivě působiví cestující.

Provozovatelé MHD by se měli zaměřit na opatření, která eliminují tyto důvody. Některé nedostatky lze odstranit snadno, jiné hůře. Pro udržení stávajících cestujících a především získání nových se ovšem bez těchto opatření nelze obejít.

#### **4. Návrh marketingových opatření zvyšující zájem o cestování MHD**

V České republice dosud není, na rozdíl od západních zemí, příliš obvyklé služby MHD propagovat. Částečně je to způsobeno tím, že je u nás MHD využívána více než v západní Evropě a proto se objevují názory, že ji není třeba propagovat. Trendem posledních let jsou integrované dopravní systémy (IDS), které vznikají především v okolí větších měst. Jejich dominantním cílem je zajistit díky efektivní spolupráci všech dostupných druhů dopravních prostředků konkurenceschopnost hromadné dopravy vůči dopravě individuální. Pro udržení co největšího podílu hromadné dopravy musí tedy nabídnout důstojnou a atraktivní hromadnou dopravu, aby obyvatelé či návštěvníci neupřednostňovali osobní automobily. V integrované dopravě dochází k odstranění neefektivností zrušením souběhů různých druhů dopravy. V těchto systémech se stírá rozdíl mezi MHD a linkovou regionální dopravou. Kvalitní IDS má svého koordinátora, který zajišťuje především provozní a ekonomické záležitosti. Nedílnou součástí jeho činnosti je ovšem i propagace celého systému a výhod veřejné dopravy. Koordinátor zajišťuje jednotnou propagaci systému místo toho, aby tuto činnost vykonávali jednotliví dopravci [3].

Při tvorbě marketingového komunikačního mixu je nutné si nejdříve definovat produkt, který bude propagován. V případě dopravců resp. měst se jedná o zajišťování provozu MHD v zájmové oblasti. Nejvíce vnímaným parametrem je cena služby, proto by se provozovatelé (objednatelé dopravních výkonů) MHD měli snažit udržet současnou cenovou úroveň, resp. by cena jízdného měla kopírovat inflaci. Snahou dopravců by tedy mělo být prezentovat výhody předplatného jízdného, které je cenově výhodnější oproti papírovým či elektronickým jízdenkám (nepřestupné i přestupné).

Lidský faktor, který v prostředí MHD představují především řidiči, revizoři a prodavači v předprodejní kanceláři, bývá hodnocen cestujícími zpravidla dobře, ale i v této oblasti je jistě řada věcí, které lze zlepšit. S lidským faktorem souvisí i fungování podpůrných procesů, které se podílejí na zajišťování provozu MHD. Patří sem zajištění úklidu vozidel, servisu, dispečerských služeb apod.

Služby MHD jsou nabízeny v přesně definované lokalitě, která je vymezena okruhem rozsahem sítě linkového vedení, proto by se k reklamě na větší využívání MHD měly použít především samotné dopravní prostředky, protože se jedná o poměrně účinný způsob reklamy, která má zároveň minimální náklady (pouze na vlastní výrobu) a je na očích všem potenciálním klientům. Reklama by měla propagovat všechny výhody MHD. Velice vhodným řešením by bylo, pokud by byly všechny prostředky MHD vybaveny slogany, které by upozorňovaly na výhody MHD stejně, jako je tomu například v německém městě Plauen.

Poslední částí marketingového komunikačního mixu jsou další služby zákazníkům. Dobrým příkladem jsou městské karty, jejichž držitelům jsou mj. poskytovány slevy na ostatní služby, které dopravci provozují, jako jsou podnikové myčky vozidel, zájezdová doprava apod. Podobnou praxi aplikují např. Plzeňské městské dopravní podniky, a.s.

V otázce propagace služeb MHD je třeba se inspirovat v zemích západní Evropy. Představitelé měst si zde již dávno uvědomili, jaké negativa s sebou přináší individuální automobilová doprava ve městech a také to, že tomuto trendu lze čelit jedině fungující MHD. Pouze kvalitní a konkurenceschopná MHD ovšem nestačí, je třeba obyvatelům měst ukázat, jaké výhody taková MHD přináší.

### Literatura

- [1] ZELENÝ, L., *Osobní přeprava*. 1. vyd. Praha: ASPI, 2007, 351 s. ISBN 978-80-7357-266-2.
- [2] KOTLER, P., WONG, V., SAUNDERS J., ARMSTRONG, G. *Moderní marketing: 4. evropské vydání*. 1. vyd. Praha: Grada, 2007, 1041 s. ISBN 978-80-247-1545-2.
- [3] Integrované dopravní systémy - Přednášky o IDS. *MHD zastávka - MHD zastávka* [online]. c2014 [cit. 2014-07-01]. Dostupné z WWW: <<http://www.ids.zastavka.net/id-prednasky/>>.

## The use of marketing tools to promote public city transport

**Karel Trojan**

*The Municipality of Jihlava, Department of Transport; CTU in Prague, Faculty of Transportation Sciences, Department of Transporting Systems  
Masarykovo nám. 1, 586 01 Jihlava; Konviktská 20, 110 00 Praha 1  
e-mail:karel.trojan@jihlava-city.cz; xtrojan@fd.cvut.cz*

### Abstrakt

This chapter addresses with the issue of promotion of public city transport, which is a key element of the transport services in the city. Public city transport is very environmentally friendly and a sustainable mode of transport in the city. All cities around the world are fighting with growing degree of motorization, which causing congestion, noise and emissions. This negative trend can be reversed only with functional and competitive public city transport.

System of public city transport consists of many individual components (lines, tariff, vehicles, infrastructure,...), that provide its functionality. It is necessary these subsystems develop and innovate. Only these measures won't improve the number of passengers and reduce the number of cars on the streets. Passengers, who currently do not use services of public city transport, attract the same marketing tools, which it used to promote commercial services and products.

In the introduction of this chapter are defined marketing tools that are used to promote of services. In the following part is a description of the main specific characteristics of the transport market in the city, description the main competitors of public city transport and key factors motivating passengers to use (non-use) of public city transport services. The following text describes the practical application of various marketing tools used to promote public city transport services. The end of text contains set marketing measures that can improved interest of travelling by public city transport and reverse the negative trend growing intensity of individual car traffic in cities.

# Problematika dopravy v Programech ke zlepšení kvality ovzduší

Ivo Dostál<sup>1</sup>, Jan Karel<sup>2</sup>, Jakub Tichý<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., Líšeňská 33a, 636 00 Brno

<sup>2</sup>ATEM – Ateliér ekologických modelů, s.r.o., Hvožd'anská 2053/3, 148 01, Praha 4  
e-mail: ivo.dostal@cdv.cz

## Abstrakt

V rámci Střednědobé strategie (do roku 2020) zlepšení kvality ovzduší v ČR byly pro jednotlivé zóny a aglomerace, definované dle příl. 3 zák. 201/2012 Sb., realizovány také Programy ke zlepšení kvality ovzduší. Jak ukázaly analytické výstupy, sektor dopravy patří k nejvýznamnějším znečišťovatelům. Proto byl pro prioritní obce (tj. ty s překročením některého z imisních limitů) navržen soubor opatření, jejichž realizace přispěje ke snížení znečištění ovzduší. Navrhována jsou jednak dopravně-inženýrská opatření (zejména výstavba nových komunikací odvádějící dopravu mimo intravilán), tak zejména opatření dopravě-organizační, jejichž cílem je omezit individuální automobilovou dopravu v centrech měst a zároveň nabídnout alternativní formy naplnění mobilitních potřeb v podobě udržitelných forem dopravy.

## 1. Úvod

Projekt Střednědobá strategie (do roku 2020) zlepšení kvality ovzduší v ČR realizuje sadu strategických dokumentů, jejichž společným cílem je snížení celkové úrovně znečišťování a znečištění vnějšího ovzduší v ČR s ohledem na zdravotní rizika pro lidské zdraví i poškozené ekosystémy, a to jak na úrovni celého státu, tak i na úrovni zón a aglomerací. Zároveň bude sloužit pro vymezení vhodných oblastí podpory pro programové období 2014 až 2020 zejména v Operačním programu Životní prostředí (OPŽP), ale i pro ostatní operační programy v jiných sektorech [1].

Rámec Střednědobé strategie tvoří „Národní program snižování emisí ČR 2020“ (NPSE) a soubor „Programů ke zlepšení kvality ovzduší“ (PZKO) v jednotlivých zónách a aglomeracích. Povinnost přípravy těchto dokumentů vychází jak z platné národní legislativy [2], tak i z mezinárodních závazků, k nimž ČR v uplynulých letech přistoupila [3]. PZKO se zpracovávají samostatně pro jednotlivé zóny a aglomerace uvedené v příloze 3 zákona 201/2012 Sb. [2] - viz tab. 1.

Základní struktura PZKO se sestává z celkem sedmi částí, které představují základní podkladový materiál pro zpracování finální verze PZKO za jednotlivé zóny a aglomerace [4]:

- Část 1 – Popis řešeného území,
- Část 2 – Analýza úrovně znečišťování (Emisní analýza),
- Část 3 – Analýza úrovně znečištění (Imisní analýza),
- Část 4 – Rozptylová studie,
- Část 5 – SWOT analýza,
- Část 6 – Vyhodnocení opatření přijatých před zpracováním programu,
- Část 7 – Podrobnosti o nových opatřeních ke zlepšení kvality ovzduší.

Tab. : Přehled zón a aglomerací pro zpracování PZKO

Zóna/Agglomerace (vymezení)	Kód zóny/aglomerace
Agglomerace Praha (Hl. m. Praha)	CZ01
Zóna Střední Čechy (Středočeský kraj)	CZ02
Zóna Jihozápad (Jihočeský, Plzeňský kraj)	CZ03
Zóna Severozápad (Karlovarský, Ústecký kraj)	CZ04
Zóna Severovýchod (Liberecký, Královehradecký, Pardubický kraj)	CZ05
Zóna Jihovýchod (Vysočina, Jihomoravský kraj bez okr. Brno-město)	CZ06Z
Agglomerace Brno (okr. Brno-město)	CZ06A
Zóna Střední Morava (Olomoucký, Zlínský kraj)	CZ07
Zóna Moravskoslezsko (Moravskoslezský kraj bez okresů Ostrava-město, Karviná a Frýdek-Místek)	CZ08Z
Agglomerace Ostrava/Karviná/Frýdek-Místek (území okresů Ostrava-město, Karviná a Frýdek-Místek)	CZ08A

Ačkoliv jsou jednotlivé PZKO samostatnými dokumenty s jednotnou strukturou, jejich příprava probíhala souběžně a zároveň i s vazbou na přípravu NPSE tak, aby byla zajištěna horizontální provázanost mezi všemi PZKO a zároveň vertikální provázanost v rámci celé Střednědobé strategie (NPSE, OPŽP atd.)

## 2. Analytické části PZKO

Problematika dopravy, resp. mobilních zdrojů znečištění, se v analytických částech PZKO objevuje jednak jako vstup do emisní analýzy (doprava jako majoritní zdroj znečištění v převážné většině městských lokalit), pro aktivity související s modelováním (rozptylová studie – intenzity dopravy na hlavních komunikacích) a také v části vyhodnocení opatření směřujících ke zlepšení kvality ovzduší, která byla přijata v uplynulých letech.

Z výsledků analýz provedených v jednotlivých regionech vyplývá, že automobilová doprava je jedním z nejvýznamnějších zdrojů znečišťování ovzduší. Významně se podílí především na imisní zátěži suspendovaných částic, a to třemi způsoby – přímými emisemi částic (z výfuků a z otěrů brzd a pneumatik), vznosem prachu z vozovek (tzv. resuspenze) a emisemi prekurzorů tzv. sekundárních částic (částice vzniklé z plynných polutantů), zejména  $\text{NO}_x$ . Nezanedbatelný podíl má doprava rovněž na imisní zátěži benzo(a)pyrenu, emise z dopravy také výrazně přispívají k tvorbě přízemního ozónu.

V oblasti řízení kvality ovzduší byla analyzována především opatření přijatá v uplynulých letech (uplynulé programové období, tj. 2007 až 2013) na základě původních PZKO zpracovaných na krajské úrovni, které byly v pravidelných intervalech aktualizovány (2004, 2006, 2009, 2012). Za jednotlivé regiony se nejčastěji dařilo tyto PZKO naplňovat v oblasti čištění komunikací (podpořeno výzvou OPŽP na nákup čistící techniky), výsadba izolační zeleně a odstraňování prašnosti v areálech a jejich okolí (taktéž podpořeno v rámci OPŽP), obnova vozového parku a ekologizace veřejné dopravy (podpořeno zejména z jednotlivých regionálních operačních programů (ROP)) a rozvoj integrovaných dopravních systémů (pouze ve vybraných regionech, částečně s využitím podpory z ROP). Částečně se dařila výstavba silniční infrastruktury, budování obchvatů obcí a železničních koridorů (podpořeno v závislosti na druhu a kategorii komunikace z OP Doprava, Státní fond dopravní infrastruktury, ROP, příp. i jiných zdrojů). Ve vybraných municipalitách (v kontextu zájmu a úsilí představitelů veřejné správy na lokální úrovni) došlo také k zlepšení nabídky a stavu infrastruktury pro cyklistickou a pěší dopravu (různé zdroje financování).

### 3. Opatření ke zlepšení kvality ovzduší (Návrhová část PZKO)

Vzhledem k výsledkům analytické části, ze které vyšel sektor dopravy jako jeden z nejvýznamnějších znečišťovatelů, byla návrhu opatření za sektor dopravy věnována zvýšená pozornost. Je přirozené, že celá řada dopravních opatření je postupně aplikována bez přímé vazby na proces řízení kvality ovzduší – postupně se budují obchvaty měst a přeložky hlavních silnic, je podporována veřejná doprava, v řadě měst jsou uplatňovány různé formy regulace automobilové dopravy atd.

Z provedených hodnocení však vyplynulo, že pro dosažení imisních limitů ve stanoveném časovém horizontu je dosavadní rozsah a tempo realizace opatření nedostačující, naopak bude nutno aplikovat velké množství opatření nad rámec dosavadních záměrů, popřípadě dosud realizované aktivity podstatným způsobem rozšířit či prohloubit. Ke snížení imisní zátěže z dopravy v konkrétním území je navíc nutno vždy uplatňovat soubor více vzájemně provázaných nástrojů, směřujících jednak k redukci objemu automobilové dopravy a současně i k jejímu převedení na komunikace vedené mimo obytnou zástavbu. Zatímco u menších obcí je portfolio možných opatření značně omezeno (převažuje pouze ochrana před tranzitní dopravou - obchvaty, omezování vjezdu nákladních vozidel), u větších měst nabývají na významu i dopravně-organizační opatření. Proto byla ve všech PZKO navrhována opatření ve dvou základních skupinách:

1. opatření dopravně-inženýrská – výstavba páteřní silniční sítě vč. obchvatů, přeložek a úprav komunikací; modernizace hlavních železničních tratí,
2. opatření dopravně-organizační – zaměřená na redukci celkového objemu automobilové dopravy (restrikce individuální automobilové dopravy a podpora nabídky jejích alternativ).

Požadovaného omezení individuální automobilové dopravy ve městech lze dosáhnout pouze pomocí kombinace více typů opatření, kdy je její znevýhodnění (např. omezení parkování, zákazy vjezdu, preference vozidel MHD) doprovázeno nabídkou vhodných alternativ (zejména komfortní veřejná doprava). Důležité je, aby byla zachována mobilita obyvatel a omezení se týkalo jen zvoleného způsobu dopravy. Prezentovaná opatření pro snížení objemu dopravy ve městech je tak nutno vnímat jako funkční celek, kdy k dosažení potřebného zlepšení je nutno obvykle realizovat větší počet vzájemně provázaných aktivit.

Tab. 2: Přehled opatření navrhovaných v jednotlivých PZKO

kód	Název opatření
AA1	Parkovací politika (omezení a zpoplatnění parkování v centrech měst)
AA2	Ekonomická podpora (dotace) provozu veřejné hromadné dopravy
AB1	Realizace páteřní sítě kapacitních komunikací pro automobilovou dopravu
AB2	Obchvaty měst a obcí
AB3	Odstaňování bodových problémů na komunikační síti
AB4	Výstavba a rekonstrukce železničních tratí
AB5	Výstavba a rekonstrukce tramvajových a trolejbusových tratí
AB6	Odstavná parkoviště, systémy Park&Ride a Kiss&Ride
AB7	Nízkoemisní zóny
AB8	Selektivní nebo úplné zákazy vjezdu
AB9	Integrované dopravní systémy
AB10	Zvyšování kvality v systému veřejné dopravy
AB11	Zajištění preference MHD
AB12	Rozvoj alternativních pohonů ve veřejné dopravě
AB13	Podpora cyklistické dopravy
AB14	Podpora pěší dopravy
AB15	Zvýšení plynulosti dopravy v intravilánu
AB16	Úklid a údržba komunikací
AB17	Omezení prašnosti výsadbou liniové zeleně
AC1	Podpora carsharingu

Opatření uvedená v tab. 2 byla popsána pomocí „Katalogu opatření“, který obecně definuje jednotlivá opatření pomocí samostatných listů s následující strukturou:

- Název opatření
- Popis opatření
- Přínosy opatření
- Rizika implementace opatření
- Příklady implementace
- Odpovědnost za realizaci
- Finanční náročnost
- Přímá vazba na ostatní opatření.

Do jednotlivých PZKO jsou jednotlivá opatření zapracována formou výčtu vhodných měst, v nichž by mělo být příslušné opatření realizováno přednostně. Tato města byla určena na základě analýzy imisní situace, dopravní situace a sídelní struktury měst a očekávaného přínosu opatření. Přihlíženo bylo rovněž k výsledkům dotazníkového šetření zájmu samosprávy o realizaci příslušných opatření. Aplikace opatření vychází z premisy, že má-li opatření reálný potenciál ke zlepšení kvality ovzduší v daném městě (týká se pouze měst a obcí s překročením imisního limitu), pak je vždy aplikace navržena v maximálním technicky přijatelném rozsahu. Naopak nejsou navrhovány aplikace jednotlivých opatření tam, kde by jejich realizace měla jen velmi malý přínos ke zlepšení současné situace (příkladem jsou investice do MHD v malých městech).



Realizaci některých opatření není možné zajistit jen na regionální úrovni a pro dosažení efektů na regionální úrovni je zapotřebí prosadit tato opatření na národní úrovni. To se týká zvláště klíčových staveb dopravní infrastruktury nadregionálního významu, urychlení obměny vozového parku a posílení významu železniční dopravy.

#### **4. Stanovení emisních stropů pro automobilovou dopravu**

Územní emisní stropy pro silniční dopravu byly stanoveny na základě posouzení souboru očekávaných efektů opatření ke snížení imisní zátěže z automobilové dopravy v prioritních obcích a městech. Stanovení výše emisních stropů vychází z následujících předpokladů:

- automobilová doprava je jedním z nejvýznamnějších zdrojů znečišťování ovzduší zejména ve městech
- pro dosažení imisních limitů v prioritních městech nepostačí pokračovat v realizaci opatření ke snížení emisí a imisí z dopravy v dosavadním rozsahu, naopak bude nutno aplikovat mnoho dodatečných opatření, výrazně rozšiřujících či prohlubujících dosavadní kroky v tomto směru, případně zásadně urychlit realizaci plánovaných záměrů v této oblasti
- z téhož důvodu se předpokládá aplikace opatření vždy v maximálním technicky přijatelném rozsahu, pokud taková realizace přináší odpovídající efekty (ekvivalent nejlepší dostupné technologie (BAT) u průmyslových zdrojů)
- potřebného snížení imisní zátěže z dopravy je možné dosáhnout pouze pomocí kombinace více typů opatření – nejen proto, aby byl dosažen potřebný efekt, ale rovněž s ohledem na zachování mobility a dopravní obsluhy měst. Zejména restrikce individuální automobilové dopravy je vždy nutno spojit s nabídkou alternativ na celostátní, regionální i místní úrovni

Vlastní určení hodnot územních emisních stropů pro automobilovou dopravu je pak založeno na předpokladu maximálního využití dostupného potenciálu snížení emisí (s určitými výjimkami). Podkladem pro jejich určení je tedy modelový odhad účinnosti opatření navržených v tomto Programu. Ve výpočtu byl zohledněn očekávaný nárůst objemů automobilové dopravy (který je následně omezován pomocí navržených opatření) a obměna vozového parku (která je urychlena opatřeními navrženými na celostátní úrovni v rámci NPSE).

Hodnocení bylo provedeno pro města s více než 5000 obyvateli, neboť u této kategorie měst již lze předpokládat podstatnější efekty spojené s omezováním objemů dopravy pomocí vyvážené nabídky regulačních a motivačních opatření (tj. nikoliv jen prostý přesun dopravy na nadřazenou komunikační síť). Modelovou znečišťující látkou jsou suspendované částice PM<sub>10</sub>, u nichž je podíl dopravy na emisní a imisní zátěži nejvýraznější a nejvýraznější jsou tedy i efekty navržených opatření. Očekávané změny emisí byly přiřazeny na komunikační síť a bylo provedeno srovnání emisí pro současný stav a výhledovou situaci v roce 2020 se zohledněním všech navržených opatření. Do srovnání vstupují pouze vybrané komunikace, vyčíslení emisí proto neslouží ke stanovení celkové emisní bilance, ale pouze pro získání relativní změny emisí mezi roky 2011 a 2020. Do porovnání nejsou zařazeny obchvatové komunikace, neboť jedním ze zásadních opatření je právě vyvedení dopravy z intravilánu měst na jejich obchvaty. Návrh emisních stropů následně vychází z předpokladu, že obchvaty by měly být vedeny převážně mimo zástavbu, je proto stanoven pro emise z automobilové dopravy vedené v zastavěném území měst.

Tab. 3: Příklad územních emisních stropů pro silniční dopravu – Zlínský kraj (část)

Obec	Počet obyvatel	Emise PM <sub>10</sub> za r. 2011 (t/rok)	Emise PM <sub>10</sub> za r. 2020 vč. opatření (t/rok)	Potenciál snížení 100 % = současný stav	Návrh stropu 100 % = současný stav
Brumov-Bylnice	5 602	5,35	3,05	57 %	60 %
Bystřice p/Host.	8 186	6,42	3,50	54 %	60 %
Holešov	11 755	8,76	5,31	61 %	65 %
Hulín	6 896	4,92	2,39	49 %	60 %
Kroměříž	29 154	10,05	6,77	67 %	70 %
Kunovice	5 496	6,69	4,85	73 %	75 %
Luhačovice	5 172	2,85	2,34	82 %	85 %
Napajedla	7 246	3,28	2,25	69 %	70 %
Otrokovice	18 343	3,32	1,53	46 %	60 %

## 5. Závěr

PZKO představují strategický nástroj, který má zajistit řízení kvality ovzduší v horizontu nadcházejících sedmi let. Při jeho vytváření se jako zásadní nedostatek z pohledu návrhu dopravních opatření jevila absence vhodných strategických dokumentů na úrovni větších měst, dle kterých by bylo možné zasadit navrhovaná opatření do určitého koncepčního rámce. Většina českých a moravských měst nemá zpracovaný podrobný generel dopravy anebo ještě lépe přímo Plán udržitelné mobility (SUMP) [5], který by řešil koncepčně celou problematiku mobility jako celku. Požadovaného omezení individuální automobilové dopravy ve městech lze totiž dosáhnout pouze pomocí kombinace více typů opatření, která musíme vnímat jako funkční celek, v němž k dosažení potřebného zlepšení dojde pouze při realizaci vzájemně provázaných aktivit, kdy restrikce IAD budou kompenzovány dostatečně příznivou nabídkou udržitelných alternativ (komfortní, levná a spolehlivá MHD, cyklistická doprava, pěší). Úspěšnost zavádění jednotlivých opatření ovšem bude nejvíce záviset na zájmu a odpovědném přístupu zodpovědných zástupců ve vedení jednotlivých municipalit a regionů.

## Literatura

- [1] KUŽEL, J., HENELOVÁ, V. Střednědobá strategie (do roku 2020) zlepšení kvality ovzduší v ČR In *Ochrana ovzduší ve státní správě VIII – teorie a praxe*. Plzeň, 18. - 20. 11. 2013. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor, 2013, s. 7-11. ISBN 978-80-86832-76-0.
- [2] *Zákon 201/2012 Sb. ze dne 2. května 2012 o ochraně ovzduší ve znění změn 64/2014 Sb. a 87/2014 Sb.*
- [3] *Protokol k omezování acidifikace, eutrofizace a přízemního ozonu (tzv. Göteborgský protokol) k úmluvě o dálkovém znečišťování ovzduší přesahujícím hranice států* ze dne 30. 11. 1999. Sbíрка mezinárodních smluv č. 81/2010 Sb. m. s.
- [4] KAREL, J., BUCEK, J., SMOLOVÁ, E., VIČAROVÁ, J. Programy zlepšování kvality ovzduší. In *Ochrana ovzduší ve státní správě VIII – teorie a praxe*. Plzeň, 18. - 20. 11. 2013. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor, 2013, s. 79-84. ISBN 978-80-86832-76-0.

- [5] BÜHRMANN, S., WEFERING, F., RUPPRECHT, S. *Návod ke zpracování a realizaci Plánu udržitelné městské mobility*. Köln: Rupprecht Consult, 2011, 120 s.

## Transportation Issues in Air Quality Plans

Ivo Dostál<sup>1</sup>, Jan Karel<sup>2</sup>, Jakub Tichý<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., Líšeňská 33a, 636 00 Brno

<sup>2</sup>ATEM – Ateliér ekologických modelů, s.r.o., Hvožd'anská 2053/3, 148 01, Praha 4  
e-mail: ivo.dostal@cdv.cz

### Abstract

As a part of Medium-Term Strategy (till 2020) to improve air quality in the Czech Republic were implemented Air Quality Plans for the zones and agglomerations defined according to annex 3 of the Act 201/2012 Coll. According to analytical outputs, the transport sector is one of the largest polluters. Therefore, the set of measures whose implementation will contribute to reducing the air pollution for the priority municipalities (those with exceeded limit values) was proposed. There are two groups of measures - traffic engineering measures (in particular the construction of new roads dissipative transport outside urban area) and transport-organizational measures designed to reduce the individual car transport in the urban centers and to offer alternative forms of mobility in the form of sustainable means of transport.



# Všechno, co jste chtěli vědět o udržitelné dopravě, a báli jste se zeptat

**Jaroslav Martinek**

Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.,

Líšeňská 33, 636 00, Brno

e-mail: jaroslav.martinek@cdv.cz

## Abstrakt

Konference „Doprava, zdraví a životní prostředí“ poskytla dostatek informací o problémech, které s sebou přináší doprava, ale jejich řešení v praxi se poněkud odkládá. A přitom by stačilo tak málo. Nebát se postavit čelem stávajícím bariérám: 1) chybí skutečná představivost a vizionářství, 2) tradiční postupy v dopravním plánování, 3) stále plánujeme bez potřebných dat, 4) ve městech jsou odbory dopravy, ale ne odbory mobility, 5) veřejnost je zapojována jen symbolicky, 6) města se bojí vést cílené kampaně na podporu udržitelné dopravy. Pokud zapracujeme na odstranění bariér, pak ve zcela novém světle budeme vnímat témata, jako jsou Integrované dopravní plánování, Řízení poptávky po dopravě, Veřejná hromadná doprava, Aktivní mobilita (pěší a cyklistická doprava), Čistá vozidla a paliva, Logistika a přeprava zboží nebo Konceptce parkování ve městech.

## 1. Status quo

### 1.1. Příběhy o závislosti

Začněme příběhy. Nedávno jsem měl pracovní jednání v menším městě na Moravě. Můj kamarád, student vysoké školy, který zvládne zaběhnout 10 km za 32 minut, měl také dojet na toto jednání, vzdálené 7 km od jeho bydliště. Ale volal mi, že nemůže přijet, neboť jeho otec odjel s autem pryč. A tak jsem se jen překvapeně zeptal: „A co kolo, to nemáš?“ Hned mu došlo, co mi vlastně řekl za nesmysl. Vzal kolo a na jednání byl za 15 minut.

Druhý příběh se mi stal na jedné ze základních škol, kde jsem přednášel o udržitelné dopravě. Když jsem skončil, nabídl mi ředitel školy, že mě odveze autem do centra, abych se rychle dostal na další jednání. Já na to: „Ale na kole tam budu rychleji“. Což byla pravda.

Podobných příběhů jsou tisíce. Nechceme si možná přiznat, že už jsme zejména na automobilové dopravě závislí. Nejsme schopni se obejít bez svého auta, a to ani v případě velmi krátkých vzdáleností. My se však nemusíme vzdát našich aut úplně, potřebujeme se zbavit nutnosti používat je automaticky. Naše idea zní - pokud vytvoříme tu správnou kombinaci automobilové, veřejné, cyklistické a pěší dopravy, výhody zaznamenejeme všichni a velmi rychle.

### 1.2. Motivace pro jízdu automobilem

Automobil je velice univerzální dopravní prostředek, využitelný k mnoha účelům v oblasti mobility. Vzhledem ke své relativně malé velikosti se auto může dostat mnohem blíž k počátečnímu i koncovému bodu trasy než kterýkoliv jiný motorový dopravní prostředek. Primární využití auta je sice přeprava osob, stejně tak ho však lze využít pro přepravu nejrůznějších předmětů. Automobil má prostě své výhody. Není těžké pochopit, co řidiče motivuje k tomu, aby jeli právě osobním autem.

Pokud chceme, aby své dopravní chování do jisté míry změnili, pak je nutné porozumět jejich důvodům, mezi které patří:

- **Cestování pod kontrolou** – řidiči aut i spolucestující mají pocit, že mají průběh cesty pod kontrolou mnohem víc než v případě cestování veřejnou dopravou;
- **„Bezpečnost“** – mezi řidiči osobních aut existuje silné přesvědčení, že uvnitř krunýře svého auta jsou ve větším bezpečí, a to i přesto, že rostoucí počet aut na silnicích nevyhnutelně vede k většímu počtu dopravních nehod všech účastníků silničního provozu;
- **Start – cíl** – žádný jiný motorizovaný dopravní prostředek nemůže ve většině případů v této oblasti soutěžit s osobním automobilem, což je zvláště zřejmé tehdy, když se parkovací místo nachází v blízkosti jak výchozí, tak cílové destinace;
- **Přeprava nákupů atd.** – pokud potřebujeme přepravit předmět do určité velikosti, pak je osobní auto nejsnazším a nejekonomičtějším prostředkem, jak to udělat;
- **Skupinová doprava** – pokud jedinec už auto vlastní, jsou další náklady na přepravu rodiny či přátel zanedbatelné;
- **Postavení / ambice / ego** – další motivací, která vede k preferenci osobní automobilové dopravy a kterou nesmíme přehlížet, je osobní postavení / ambice / ego uživatele. Auto se stalo prestižním předmětem pro ty, kdo ho teprve nedávno získali, stejně jako pro ty, kdo ho zatím nemají; neméně významné je pro ty, kdo šplhají po žebříčku úspěšnosti – pokud vlastní auto, nebo spíše to správné auto, budou ho chtít ukázat co nejčastěji a budou ho používat i v případech, kdy to nemá žádné rozumné opodstatnění;
- **Zvyk** – zřídka kdy se stane, že člověk, který je zvyklý automaticky používat automobilovou dopravu, by jen uvažuje o dopravě jiné (ve skutečnosti by takový člověk musel být dost statečný na to, aby překonal silnou psychickou bariéru, která mu brání použít prostředky veřejné dopravy a která se nejspíše týká nedostatečných znalostí o tom, jak veřejná doprava funguje a jak se používá, dále nutnosti sdílet veřejný prostor místo osobního prostoru v „krunýři“, a také ztráty kontroly nad průběhem cesty);
- **Nutnost** - více než čtvrtina řidičů, kteří žijí ve venkovských oblastech, uvádí, že žádný z výše uvedených faktorů nemá vliv na jejich rozhodnutí ohledně volby dopravního prostředku, protože ve skutečnosti nemají jinou volbu než osobní auto.

Zajímavá fakta uvádí průzkum provedený v rámci přípravy vzdělávacího manuálu, viz literatura (1): ani životní prostředí, ani lepší zdraví či fyzická kondice rozhodně nefigurují mezi faktory, které by pro řidiče byly důvodem pro změnu:

- Životní prostředí nebylo uváděno příliš často, ale přece jen častěji ve skupině s vyššími příjmy a mezi řidiči, kteří jsou ochotni změnit svůj způsob dopravy;
- Zdraví a dobrou fyzickou kondici zmiňovali řidiči málo - nejméně důležitým faktorem je pro mladší, méně movité a pro ty, kdo nejsou ochotni změnit svůj způsob dopravy.

### 1.3. Důsledky použití automobilové dopravy

Ať už jsou důvody pro použití automobilu jakékoliv, dvoudenní česko-slovenská konference „Doprava, zdraví a životní prostředí“ přinesla celou řadu informací o jeho důsledcích. Ve zkratce:

- doprava je hlavním spotřebitelem energie;
- doprava působí na životní prostředí ve dvou rovinách: v rámci globálních „makro“ efektů, které se týkají globálního oteplování atd., a na místní „mikro“ úrovni jako dopady na lokální oblasti.

Jedna informace však na konferenci nepadla. Bez ohledu na to, jaký zdroj energie používají auta ve vaší obci, největší problém v oblasti mobility je ten obrovský prostor, který auta ve městech spotřebují. Prostor pro příjezd do města, prostor pro parkování uvnitř města, prostor pro auta, který auta zatím nevyužívají – vyhrazený prostor pro „potenciální automobily“. Je ohromující, kolik místa je ve městech vyhrazeno autům a jak jsme neochotní dokonce jen sdílet tento prostor s jinými uživateli a jiným způsobem využití. A elektromobily tento problém s prostorem rozhodně nijak neřeší.

### 1.4. Podpora udržitelné dopravy ze Strukturálních fondů EU

Česká města v následujícím programovém období budou moci žádat prostředky pro celou řadu aktivit. Koalice udržitelné dopravy (tedy pěší, cyklistické a veřejné) se dotýká především Specifický cíl 1.2 - Zvýšení podílu udržitelných forem dopravy. Mezi podporovanými aktivitami jsou v současné verzi programového dokumentu uvedeny:

- Výstavba a modernizace přestupních terminálů pro veřejnou dopravu a systémů pro přestup na veřejnou dopravu P+R, K+R, B+R za účelem podpory veřejné dopravy a multimodality.
- Výstavba, rekonstrukce nebo modernizace inteligentních dopravních systémů (ITS) a dopravní telematiky pro veřejnou dopravu, zavádění nebo modernizace řídicích, informačních, odbavovacích a platebních systémů pro veřejnou dopravu.
- Nákup nízkoemisních a bezemisních vozidel pro přepravu osob a výstavba plnicích a dobíjecích stanic pro nízkoemisní a bezemisní vozidla pro přepravu osob za účelem zmírnění negativních dopadů v dopravě.
- Nákup vozidel zohledňujících specifické potřeby účastníků dopravy se ztíženou možností pohybu a orientace s cílem přispět k bezbariérovosti veřejné dopravy, projekty vedoucí ke zvyšování bezpečnosti železniční, silniční, cyklistické a pěší dopravy, projekty rozvíjející cyklodopravu (např. výstavba a rekonstrukce cyklostezek a cyklotras, budování doprovodné infrastruktury ve vazbě na další systémy dopravy nebo realizace cyklistických jízdních pruhů).
- Jako doplňková aktivita bude podporována zeleň v okolí přestupních terminálů budov a na budovách, např. zelené zdi a střechy, aleje a doplňující zeleň v síti u cyklostezek a cyklotras, např. zelené pásy, aleje a liniové výsadby.

Klíčové pro úspěch projektu přitom bude prokázat, že je v souladu s principy udržitelné mobility (u velkých měst a aglomerací bude tento požadavek třeba prokázat vypracováním plánu udržitelné městské mobility – tzv. SUMP z anglického Sustainable Urban Mobility Plan). Mezi další navrhované podmínky patří soulad s Dopravní politikou ČR a Cyklostrategií 2013.

K čemu nám ale tyto finanční prostředky budou? Dokážeme s nimi dobře naložit?

## 2. Nebát se postavit čelem stávajícím „českým“ bariérám

### 2.1. Chybí skutečná představivost a vizionářství

Představíte-li si vaše město za dvacet let, jak byste chtěli, aby vypadalo? Jako místo, kde si děti mohou bezpečně hrát? Místo, kde je čisté ovzduší? Místo, kde se můžete v klidu procházet a nakupovat? Místo se spoustou parků a zeleně? Místo, kde prosperuje obchod?

Nemusí to být jen řečnické otázky. V olomouckých radničních listech vyšel krátký vizionářský článek nejmenovaného politika (08/2014): *„Sleduji z terasy tmou zahalené město ozdobené úplňkem. Nádhera! V tom pohledu je síla historie, život současnosti, ale i tajemství budoucna. Před očima se mi rozbíhá živý film. Je středa 2. 9. 2020, přijíždím s přáteli vlakem z Prahy přesně za hodinu a 40 minut. Vítá nás opravené nádraží s multimediálním informačním centrem. Vycházíme z nádraží a tramvajím raději zamáváme. Raději jdeme pěšky po Masarykově třídě, abychom se prošli po nově upravených březích řeky Moravy. V přístavní kavárně si dáváme zákusek a presso. Je tu i půjčovna loděk, kol a koloběžek. Masaryčka se nám zdá nějak klidnější. Většina lidí se po městech přesouvá na kolech, koloběžkách, či elektrokolech ve vyznačených pruzích po vozovkách. Výrazně vzrostl počet cestujících městskou dopravou...“*

Ano. Plánování udržitelné městské mobility je plánováním pro budoucnost vašeho města, které se zaměřuje na jeho občany. Plány udržitelné městské mobility znamenají plánovat pro lidi a plán musí být vždy spojen se silnou vizí a strategií.

**Otázka ale je - mají naše strategické dokumenty tuto silnou VIZI?**

### 2.2. Tradiční postupy v dopravním plánování

Co to ale znamená udržitelné dopravní plánování? Umíme vůbec nově plánovat, nebo jen pod pláštěm SUMPu plánujeme dále tzv. tradičně - postaru? Plánuje se pro dopravu, nebo pro lidi?

Je třeba si přiznat, že ve srovnání se západními evropskými městy se dosud v Česku plánuje převážně zastarale. Cílem tradičního plánování je uspokojit potřeby dopravy, především té individuální motorové, ve smyslu zajištění kapacity a rychlého dosažení cíle, nikoliv potřeby obyvatel města a jeho návštěvníků.

Moderní plánování vychází z „paralelního modelu“, který je založen na tom, že každý druh dopravy je přínosný. Moderní plánování usiluje o vytvoření rovnovážného dopravního systému. Dopravní pokrok zde znamená zkvalitňování podmínek pro všechny způsoby dopravy. V územním a dopravním plánování tedy nemá být kladen důraz na zvyšování mobility založené na automobilové dopravě, ale zejména na lepší dosažitelnost cílů cest všemi druhy dopravy. Je důležité si uvědomit, že mobilita založená zejména na automobilové dopravě v mnoha případech nepřispívá ke zkvalitňování mobility obyvatel, naopak ji často, zejména ve větších městech, zhoršuje.

Ano, i v Česku už vznikají první SUMPy, ale je otázkou, zda se jedná o skutečný SUMP a ne o generel dopravy. Je tedy upřímnější, když města narovinu zadají zpracování generelu dopravy, který však v sobě zahrnuje prvky plánu udržitelné městské mobility. SUMP to ještě není, ale první vlašťovky vítáme, jako například z:

- Uherského Hradiště - v současné době je v rámci dopravně provázaného souměstí Uherské Hradiště - Staré Město - Kunovice připravován nový koncepční dokument, a to generel dopravy. Zadání je zaměřeno na vyvážený



rozvoj pěší, cyklistické, individuální automobilové a hromadné dopravy v duchu „Vize 25“.

- Zlína – důraz na homogenní propojení starého centra a nově vznikajícího centra ve východní části areálu SVIT - důraz na zklidnění dopravy v centru města a na rozvoj udržitelných dopravních systémů (pěší, cyklistická a veřejná doprava – integrovaná řešení) - zaměření na řešení krátkodobá (2020), střednědobá (2030) a dlouhodobá (2040). Nepřímou součástí podpory nemotorové dopravy je i řešení statické dopravy, která bude podle místních podmínek regulována. Základními nástroji regulace parkování jsou organizace dopravy, zpoplatnění a časové omezení. Město Zlín preferuje řešení, která povedou ke zvýšení podílu na dělbě přepravní práce ve prospěch nemotorové dopravy a dopravy hromadné.

### 2.3. Stále plánujeme bez potřebných dat

#### **Kolik měst v Česku má k dispozici průzkumy dopravního chování obyvatel?**

Vize a plánování musí být spojené s konkrétními čísly, aby město znalo stávající stav a mohlo si vytyčit svůj cíl, jak chce změnit mobilitu obyvatel. Většina měst danou statistiku postrádá, tudíž ani nemůže stanovovat konkrétní měřitelné cíle.

Průzkumy dopravního chování poskytují informace o využívání dopravních prostředků (např. podílu dopravního výkonu), stejně jako účelech cest, které byly vykonány v průběhu sledovaného období. Na základě analýzy dat z průzkumu je možné získat přehled o tzv. dopravní poptávce - odkud, kam a proč lidé jezdí a jaké k tomu využívají dopravní prostředky. Mají také dát impuls pro změnu dopravního chování.

Obvykle mají tyto průzkumy podobu dotazníkového šetření na vybraném vzorku obyvatel. Je důležité, aby průzkumy byly prováděny podle standardizované metodiky a byly tak srovnatelné s jinými českými i zahraničními studii. Ačkoliv jsou průzkumy dopravního chování jedním z důležitých předpokladů kvalitního dopravního plánování, v České republice jich bylo dosud provedeno jen pár. V roce 2012 například proběhlo šetření v Pardubicích a Uherském Hradišti, v roce 2013 se pak uskutečnil průzkum pokrývající území Jihomoravského kraje.

Kolik měst v Česku se může pochlubit čísly jako například Pardubice, viz <http://www.youtube.com/watch?v=1yh37f2jTvw?>

### 2.4. Ve městech jsou odbory dopravy, ale ne odbory mobility, aneb chybí legislativa

Základním problémem našich měst je ta skutečnost, že žádné nemá zřízen odbor mobility, který by se zabýval problematikou plánů mobility a managementem mobility. Je to dáno tím, že problematika mobility zatím není zcela dobře začleněná do české legislativy. Tato systémová změna, která proběhla v mnoha zemích, nás teprve čeká. Vybraná opatření odboru mobility používaná v zahraničí mohou být: informační, reklamní (podporují dobrovolnou změnu dopravního chování), organizační a koordinační opatření, vzdělávací opatření, opatření vztažená ke konkrétnímu zařízení, areálu, lokalitě, podpůrné / integrační akce (tato opatření nejsou přímou součástí managementu mobility, ale mají zásadní význam v jeho efektivitě, protože např. ovlivňují cenu jízdy autem, a tedy nepřímo podporují cyklo dopravu).

## 2.5. Veřejnost je zapojována jen symbolicky

Mnoho dobrých věcí nebylo prosazeno jen z toho důvodu, že byly prezentovány v nevhodnou dobu, na nevhodném místě, nevhodným způsobem a neinformovaným lidem. Z tohoto důvodu další oblast, která je nutná pro podporu udržitelné dopravy, je získání veřejnosti a její zapojení do přípravy konkrétních projektů a strategií. Můžeme tím předejít mnoha problémům.

Zapojování veřejnosti je opravdu důležité, neboť při řešení kvalitních projektů se často musí řešit choulostivé věci, jako např. majetkoprávní vztahy, námitka „zastávka je pod mým barákem“, „nemám kde parkovat kvůli cyklopruhům“. Nejsou to opravdu lehké otázky, a proto je třeba využít všech nástrojů, díky kterým by se podařilo zapojit veřejnost do řešení otázek ve vztahu k podpoře udržitelné dopravy (veřejná setkání, slyšení, veřejné vyhlášení, interaktivní webová stránka, dotazy a návrhy, občanské panelové diskuse, konzultační dokumenty, průzkumy a ankety, apod.). Přínos zapojování veřejnosti se dá shrnout následovně:

- přispívá k předcházení možných budoucích konfliktů tím, že do rozhodnutí promítá širší spektrum názorů. Z toho vyplývá levnější a rychlejší realizace rozhodnutí, protože se snižuje pravděpodobnost opakovaného rozhodování o stejném problému;
- dává politikům větší jistotu při rozhodování tím, že se politik může opřít o názory mnohem širší vrstvy občanů. Z toho vyplývá větší politická síla rozhodnutí a jeho větší přijatelnost pro nejširší veřejnost;
- pomáhá politikům s rozhodnutím tím, že přináší nové pohledy a nová řešení daného problému.

## 2.6. Města se bojí vést cílené kampaně na podporu udržitelné dopravy

Proč vlastně vést kampaň za udržitelnou mobilitu? Pouhé dopravní plánování nemůže vyvolat změny v dopravním chování obyvatelstva. Změny v infrastruktuře je nutné doplnit o strategie, jejichž cílem je přesvědčit lidi, že změnit jejich návyky je dobré pro všechny.

Každý rok se koná Evropský týden mobility, ke kterému se hrdě hlásí řada českých měst. Otázka ale je, co vlastně realizují – kampaň, nebo nějaké individuální akce typu výletů či bezpečnostních akcí? Kde v roce 2014 proběhla některá z níže uvedených kampaní?

- Tradiční kampaň, neboli „jednosměrná“ komunikační kampaň s využitím plakátů, letáků, rozhlasu, televize nebo jiných médií, která nesou poselství kampaně a propagují požadované chování nebo produkt. Příkladem je německá kampaň „Kopf an – Motor aus“ (Zapni mozek – vypni motor).
- Technika „dialogového marketingu“, která využívá několik komunikačních cyklů, aby zúžila svou cílovou skupinu. Děje se tak výměnou informací, včetně zpětné vazby a vyžádání specifických informací. Dále pak dochází k šíření informace, která vychází z dat získaných v předchozím komunikačním cyklu. Příkladem je přímý marketing města Mnichova směrem k seniorům z řad jeho obyvatel. Více viz <http://www.aeneas-project.eu/?page=munichdirectmarketing>.
- Budování značky, kde kampaň vytváří pozitivní přístup k udržitelné dopravě a představuje angažovanost pořádajícího subjektu, např. obce, v oblasti podpory vybraného způsobu dopravy. Dílčím cílem je přenést pozitivní obraz

a angažovanost pro způsob dopravy, který je zobrazen v kampani, na obyvatelstvo a všechny potenciální uživatele.

- Společenská a kulturní akce, která má motivovat účastníky, aby se nebáli a vyzkoušeli něco nového. Ústředním tématem podobné akce může být např. cyklistická doprava. Součástí jsou i další doprovodné zábavné aktivity a prvky. Účastníci zažijí novou aktivitu na vlastní kůži, a to zábavným a příjemným způsobem. Příkladem je cyklistický festival v Bolzanu – více viz [http://www.eltis.org/index.php?id=13&study\\_id=1394](http://www.eltis.org/index.php?id=13&study_id=1394).
- Program, který probíhá ve školách, školkách a dalších vzdělávacích institucích. Jeho cílem je začlenit udržitelnou dopravu do života dětí co nejdříve tak, aby se stala součástí běžného chování. Vzdělávací instituce mohou takové integrační kampaně využít v různé intenzitě, počínaje pouhým rámcovým využitím až po začlenění kampaně do vzdělávacích osnov. Příkladem je hra na dopravního hada původem z Belgie, která v současnosti probíhá již v několika evropských zemích – více viz [http://www.eltis.org/index.php?id=13&study\\_id=784](http://www.eltis.org/index.php?id=13&study_id=784).

Českých příkladů je opravdu málo, zmínit můžeme snad jen Pardubice s jejich pouličním festivalem Město na Míru. Na mnohých místech se zde také můžete potkat se značkou „PARDUBIKE“, ať už v podobě velkoplošného sčítače, pumpičky, vše ve stejném designu, nebo internetového portálu [www.pardubike.cz](http://www.pardubike.cz). Podrobnosti: <http://www.cyklokonference.cz/strategicky-plan/7-klicu-k-cyklomestu/>.

### 3. Výsledky se dostaví

Pokud zapracujeme na odstranění bariér, pak získáme nový pohled na témata, jako jsou Integrované dopravní plánování, Řízení poptávky po dopravě, Veřejná hromadná doprava, Aktivní mobilita (pěší a cyklistická doprava), Čistá vozidla a paliva, Logistika a přeprava zboží, Koncepce parkování ve městech.

Pro lepší orientaci měst v dané problematice se jim nabízí členství hned ve dvou sdruženích. Obě spolu úzce komunikují, jen každé má trochu jiný důraz na prezentaci dané problematiky. Obě sdružení spolupracují s Centrem dopravního výzkumu v. v. i.

První je národní síť **CIVINET Česká a Slovenská republika, z.s.** Jedná se o nově vznikající síť měst, regionů a dalších partnerů na podporu integrovaného řešení městské mobility – pro čistší a udržitelnější dopravu. CIVINET se zaměřuje na využití poznatků z programu CIVITAS (viz [www.civitas.eu](http://www.civitas.eu)), který od roku 2002 podpořil více než 60 evropských měst v realizaci více než 800 opatření v oblasti udržitelné mobility za 120 mil. EUR a setkal se s velkým zájmem. Průvodním tématem sítě CIVINET jsou plány udržitelné městské mobility. Síť se stane otevřenou organizací s nabídkou partnerství všem subjektům, které se aktivně zabývají udržitelným dopravním plánováním a mají zájem své potřeby i zkušenosti sdílet. Více o sdružení a dalších příkladech pojednává samostatný příspěvek „**Inovativní nástroje udržitelné mobility v evropských městských oblastech: zkušenosti s evaluací a role politických bariér.**“

Dalším je **Asociace měst pro cyklisty**, která byla založena 2. 7. 2013 jako zájmové sdružení právnických osob. Nyní již sdružuje 50 členů (viz [www.cyklomesta.cz](http://www.cyklomesta.cz)). Vlajkovou lodí asociace je VIZE25, která chce ukázat, že pro rozvoj městské mobility je třeba věnovat spravedlivou pozornost všem složkám dopravy, tedy individuální automobilové dopravě, cyklistické dopravě,

veřejné a pěší dopravě (4 x 25 % pozornosti). VIZE 25 představuje systém městské mobility, který vnímá dopravu jako systém integrující všechny jeho druhy.

Aktivita Asociace cykloměst jsou následující:

- Spolu s CDV se podílí na realizaci vzdělávacího programu Cyklistické akademie ([www.cyklokonference](http://www.cyklokonference));
- Pořádá soutěže Hlavní město cyklistů 2014 a Cena Víta Brandy;
- Iniciuje cyklolegislativní změny a projednání nových technických podmínek;
- Vede dialog o systémových změnách ve financování rozvoje dopravní infrastruktury v ČR s ohledem na cyklistickou dopravu;
- Vede facebookovou kampaň na podporu cyklistické dopravy;
- Vytváří řadu partnerství, neboť bez spolupráce a všeobecné podpory ke změnám nedojde;
- Spolupodílí se na podpoře a rozvoji samostatné aktivní mobility;
- Realizuje turistický projekt Česko jede;
- Motivuje města, aby si vypracovala (nebo aktualizovala) svůj vlastní strategický dokument a akční plán pro podporu cyklistické dopravy, který posune její vnímání do jiné roviny. Inspirací je příručka NEPOPSANÝ LIST PAPIŘU, která neřeší jen otázky cyklistické infrastruktury a kampaní, ale také dává důraz na strategické a řídicí nástroje, které de facto ovlivňují podobu budoucí „tvrdé“ a „měkké“ infrastruktury. Více o tomto dokumentu pojednává samostatný příspěvek „**Nepopsaný list papíru – příležitost**“.

## Literatura

- [1] RYE, T., SCOTNEY, D. TRANSPORT LEARNING, training module 1 “Parking space management, access restriction and speed control”, 2012 (kapitola 1.1. příspěvku)
- [2] FGM-AMOR TRANSPORT LEARNING, training module 7 “Design and implementation of sustainable mobility, 2012 (kapitola 2.6. příspěvku)
- [3] MARTINEK J., CACH, T., SPERAT. Z. , SYROVÝ. K, VRTALOVÁ.J, ŽÁKOVÁ, R. Cyklistická akademie – 40 lekcí cyklo dopravy pro odborníky, ISBN: 978-80-86502-65-6, 12/2013.

## Poděkování

*Tento příspěvek vznikl v Centru dopravního výzkumu, v. v. i., na základě aktivit finančně podpořených v rámci projektu Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy - Operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace č. ED2.1.00/03.0064 \_ Dopravní VaV centrum.*

## **Everything you wanted to know about sustainable transport, and were afraid to ask**

**Jaroslav Martinek**

*Transport Research Centre,*

*Líšeňská 33, 636 00, Brno*

e-mail: jaroslav.martinek@cdv.cz

### **Abstract**

The conference of Transport, Health and Environment has provided sufficient amount of information about problems that we face in transport, but the practical solution of which has been somewhat delayed. Why? Because we do not dare confront the existing barriers that are 1) missing visions and imagination, 2) using traditional approaches in transport planning, 3) planning without having necessary data, 4) transport departments instead of mobility departments at municipal authorities, 5) just symbolic participation of the public, 6) towns and cities that are afraid to lead targeted campaigns to promote sustainable mobility. If we make efforts to remove those barriers, we gain a new approach to important topics such as Integrated transport planning, Transport demand management, Public transport, Active mobility (walking and cycling), Smart vehicles and clean fuels, Freight traffic and Urban parking design.



# **Na jeden aspekt problému s dopravou jsme zapomněli. Přestáváme se pohybovat, zapomínáme chodit a jezdit na kole**

**Mgr. Zdeněk Hamřík, Ph.D.**

*Univerzita Palackého v Olomouci, Fakulta tělesné kultury, Katedra rekreologie,  
Třída míru 115, 771 11 Olomouc*

e-mail: zdenek.hamrik@upol.cz

## **Abstrakt**

Vyspělé země se potýkají s rostoucími problémy, které souvisí s nedostatkem pohybu. Je to důsledek průmyslové revoluce, která do značné míry odstranila z našeho života těžkou práci a rozšířila dopravní prostředky. Zdaleka nejde jen o kosmetický problém, civilizační choroby ohrožují životy a zdraví už také dnešních třicátníků. Podle výzkumu OECD (2010) má v České republice nadměrnou hmotnost 71 % dospělé populace, z toho 54 % spadá do kategorie nadváhy a 17 % je obézních. Výskyt obezity u dětí je 20 % a stále stoupá. Jak ukazují německé studie, náklady na léčbu jsou přitom u obézních lidí dvojnásobné v porovnání s léčbou osob s normální vahou. Zdravotní systém v Německu je tak zatížen dodatečnými náklady ve výši 6,5 mld. eur. Další náklady spojené s léčbou přidružených chorob, jako jsou psychické potíže, hypertenze a další, se odhadují jen v samotném Německu na 11,3 mld. euro. A někdy stačí tak málo - chodit pěšky, jezdit na kole, udělat si čas na procházky, běhat, prostě zařadit do svého života pravidelný pohyb.





# Nepopsaný list papíru – příležitost

**Jaroslav Martinek, Milan Šmíd, Stanislav Losert**

*Asociace měst pro cyklisty; MÚ Kopřivnice a Statutární město Olomouc*  
Wellnerova 3, 779 00, Olomouc; Štefánikova 1163, 742 21 Kopřivnice,  
Horní náměstí 1, 772 00, Olomouc  
e-mail: jaroslav.martinek@cdv.cz,  
milan.smid@koprivnice.cz, stanislav.losert@olomouc.eu

## Abstrakt

Plán udržitelné městské mobility je dlouhý a prakticky nekončící proces, lze však začít jednoduchými a konkrétními opatřeními. Proč se tedy nenaučit základy a principy plánu udržitelné městské mobility právě na dokumentu Nepopsaný list papíru? Příručka pracuje s kombinací tvrdých a měkkých nástrojů rozvoje cyklodopravy. Nelze však zůstat u izolovaných pilotních řešení určitého dopravního úseku, aniž bychom učinili systémovou změnu v přístupu k dopravě jako celku. Na začátku takové změny musí být aktivnější vnímání a využívání jízdního kola, a to jak veřejností, tak těmi, kteří jsou za dopravní politiku odpovědní a pomáhají ji tvořit. Prosadit integrovaný přístup znamená vychovávat odborníky s rozšířeným myšlením a mezioborovým přesahem a šířit povědomí o koncepčně dobře zvládnutých procesech a výsledných realizacích. K tomu směřují veškerá sdělení této příručky, která vychází z Berlínské cyklostrategie z roku 2012.

## 1. Cyklistická akademie

Centrum dopravního výzkumu, v.v.i. společně s Asociací měst pro cyklisty a Ministerstvem dopravy ČR připravilo **vzdělávací program pod názvem Cyklistická akademie**, který problematiku cyklistické dopravy člení do 40 lekcí. Lekce odkazují k příkladům konkrétních řešení či souvisejícím dokumentům umístěným na [www.cyklodoprava.cz](http://www.cyklodoprava.cz), [www.cyklokonference.cz](http://www.cyklokonference.cz), [www.cyklomesta.cz](http://www.cyklomesta.cz), [www.ceskojede.cz](http://www.ceskojede.cz).

Jedním z cílů Cyklistické akademie je motivovat města, aby si vypracovala (nebo aktualizovala) svůj vlastní strategický dokument a akční plán pro podporu cyklistické dopravy, který posune její vnímání do jiné roviny. Inspirací je příručka NEPOPSANÝ LIST PAPIRU, která neřeší jen otázky cyklistické infrastruktury a kampaní, ale také dává důraz na strategické a řídicí nástroje, které de facto ovlivňují podobu budoucí „tvrdé“ a „měkké“ infrastruktury. Dokument hledá a nalézá odpovědi na tyto otázky:

- Ovlivňuje strategie politiku, nebo politika strategii, nebo se mají ovlivňovat navzájem?
- Proč se nedaří cyklistickou dopravu začlenit do dopravního plánování?
- Je cyklokoordinátor na úřadě přepychem, nebo je to zárodek budoucího odboru mobility?
- Jak můžeme ušetřit na realizaci cyklistické infrastruktury?
- Proč je tak nutné pracovat s daty?

Podrobnosti: <http://www.cyklokonference.cz/strategicky-plan/>.

## 2. Nepopsaný list papíru

### 2.1. O příručce

Příručku připravilo Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., pod dohledem expertů z TUD (Technické univerzity v Drážďanech) a ve spolupráci s Regionálním environmentálním centrem (REC), Česká republika, o.p.s. Vzdělávací program byl na konci roku 2013 věnován Asociaci měst pro cyklisty.

Základní myšlenka příručky vychází z principu, že podpora cyklo dopravy neznamená diskriminaci ostatních druhů dopravy, ale jde spíše o jejich zrovnoprávnění. Cílem je dát obyvatelům možnost širší volby, pro jaký druh přepravy se rozhodnou. Potenciál cyklistické dopravy je v Česku obecně podceňován, takže, stejně jako v ostatních zemích Evropy, jí musíme vyjít vstříc. Cyklo doprava (kolo jako dopravní prostředek) je vícegenerační záležitost, není pouze pro mladé; naopak, jízdní kolo může pomáhat při určitých pohybových omezeních. Vhodné podmínky pro cyklo dopravu v neposlední řadě podpoří i rozvoj turismu či oblibu města u místních či návštěvníků. A dalším efektem je plynulejší doprava v našich městech a obcích.

Příručka „Nepopsaný list papíru“ pracuje s kombinací tvrdých a měkkých nástrojů rozvoje cyklo dopravy. Zahraniční i česká praxe nás učí důležitosti pilotních projektů a obecně přínosu dopravně-urbanistických opatření, která umožní veřejnosti žít ve svém městě jinak. Předkládají veřejnosti příležitost k vyzkoušení městské cyklistiky a postupnému vytváření nových dopravních návyků. Nelze však zůstat u izolovaných pilotních řešení určitého dopravního úseku, aniž bychom učinili systémovou změnu v přístupu k dopravě jako celku. Na začátku takové změny musí být aktivnější vnímání a využívání jízdního kola, a to jak veřejností, tak těmi, kteří jsou za dopravní politiku odpovědní a pomáhají ji tvořit. Marketing a kampaně na podporu cyklo dopravy jsou u nás stále ještě v počáteční fázi svého rozvoje. Přitom se jedná o velmi účinný nástroj.

Prosadit výše popsany integrovaný přístup znamená vychovávat odborníky s rozšířeným myšlením a mezioborovým přesahem a šířit povědomí o koncepčně dobře zvládnutých procesech a výsledných realizacích. K tomu směřují veškerá sdělení této příručky, která vychází z Berlínské cyklostrategie z roku 2012.

### 2.2. O struktuře

Nejprve jsou definovány **Základní vize a strategické cíle**. Za zmínku stojí VIZE 25, neboli podpora rozvoje městské mobility jako systému s vyváženým podílem jednotlivých složek dopravy. Vizí tedy je, aby se cyklistická doprava v rovinatých oblastech do roku 2025 podílela minimálně 25 % na celkové dělbě přepravní práce u cest do vzdálenosti 5 km. VIZE 25 představuje systém městské mobility, který věnuje spravedlivou pozornost všem složkám dopravy, tedy individuální automobilové dopravě, cyklistické dopravě, veřejné a pěší dopravě (4 x 25% pozornost). VIZE 25 má proto ovlivňovat všechny další koncepční a strategické dokumenty města. Odborné dokumenty by již neměly být připravovány izolovaně, ale integrovaně a společně. Jen tento přístup zabráni preferenci jedné dopravy před druhou a umožní vytvořit podmínky pro všechny dopravní prostředky a jejich uživatele. K naplnění vize je stanoveno několik strategických cílů. Krátce jsou také představeny **Principy zpracování generelu cyklistické dopravy**.

Následně jsou popsány doporučené **nástroje, pole působnosti a konkrétní opatření**, které jsou spojené s podporou cyklistické dopravy:

Nástroje:

- Oblast 1. ORGANIZAČNÍ NÁSTROJE
- Oblast 2. FINANČNÍ NÁSTROJE
- Oblast 3. PRÁVNÍ NÁSTROJE

Pole působnosti 1 - Infrastruktura

- Oblast 1. POSTUPNĚ BUDOVAL PÁTEŘNÍ SÍŤ CYKLOTRAS
- Oblast 2. UTVÁŘET CELÉ MĚSTO PŘÁTELSKÉ K CYKLISTŮM
- Oblast 3. ÚDRŽBA CYKLISTICKÉ INFRASTRUKTURY
- Oblast 4. DOSTATEČNÉ MOŽNOSTI PARKOVÁNÍ A ÚSCHOVY KOL
- Oblast 5. PROPOJENÍ CYKLISTICKÉ A VEŘEJNÉ DOPRAVY
- Oblast 6. SLUŽBY A PEDELEKY

Pole působnosti 2 - Propagace & Bezpečnost & Monitoring (měkké nástroje)

- Oblast 1. MARKETINGOVÁ PODPORA CYKLISTICKÉ DOPRAVY
- Oblast 2. BEZPEČNOST & MOBILITA & DOPRAVNÍ VÝCHOVA
- Oblast 3. VÝZKUM & MANAGEMENT DAT

Pole působnosti 3 - Cykloturistika & volnočasové aktivity

- Oblast 1. MARKETINGOVÁ PODPORA PRODUKTU ČESKO JEDE
- Oblast 2. DOPROVODNÁ INFRASTRUKTURA PRO CYKLOTURISTIKU
- Oblast 3. PODPORA SLUŽEB V OBLASTI CYKLOTURISTIKY.

Na závěr přichází klíčová kapitola **Vytvořte si vlastní Akční plán**, která také vysvětluje název příručky „**NEPOPSANÝ LIST PAPÍRU**“. Právě pomocí vlastního Akčního plánu je možno vytvořit z prakticky mrtvého dokumentu materiál živoucí a aktuální. Kapitola obsahuje prázdnou tabulku, kde stačí jen vyplnit návrh konkrétního opatření, kdo jej zrealizuje, v jakém termínu a s jakým rozpočtem. Jediný způsob, jak to udělat, je svolat ve městě pracovní cykloskupinu k diskuzi nad Akčním plánem. Cykloskupina sama navrhne konkrétní úkoly, které následně předloží radě města ke schválení.

Každé město se svými zástupci je tak strůjcem svého štěstí. Každý si sám musí rozhodnout, zda tento dokument dopíše a plně využije jeho hodnotu a promění ho v AKČNÍ PLÁN. V našich hlavách to je, to však nestačí.

### **3. Inspirace pro vypracování akčního plánu - 40 témat Cyklistické akademie**

Při tvorbě akčního plánu je možné brát inspiraci ze 40 tematických lekcí Cyklistické akademie, které odkazují k příkladům, legislativě či souvisejícím dokumentům umístěným na webových portálech [www.cyklodoprava.cz](http://www.cyklodoprava.cz), [www.cyklokonference.cz](http://www.cyklokonference.cz), [www.cyklomesta.cz](http://www.cyklomesta.cz), [www.ceskojede.cz](http://www.ceskojede.cz), a také v příručce „Cyklodopravní enCYKLOpedie“. Postupně jsou doplňovány příklady dobré praxe, členěné do tří oblastí: 1. Řízení procesů a finance, 2. Cykloinfrastruktura a 3. Kampaně.

Podrobnosti k jednotlivým tématům: <http://www.cyklokonference.cz/temata/>.  
Cyklistická akademie se tedy skládá ze tří částí.

### 3.1. Řízení procesů a financování

První lekce představují principy strategického, dopravního a územního plánování s vazbou na cyklistickou dopravu. Jedná se o plánování postupné integrace cyklistů do dopravní infrastruktury města. Tato část také představí nové principy zpracování „cyklogenerelu“.

Řešení cyklistické dopravy bylo historicky orientované na uzavřený systém bezpečných tras se snahou o minimalizaci kontaktu s motorovou dopravou. Výsledkem tohoto přístupu je nedostatečně hustá, nespojitá síť cyklostezek a komunikací uzpůsobených provozu cyklistů, která není schopná nabídnout cyklistům plynulost a komfort srovnatelný s automobilovým provozem. Cyklisté proto nadále využívají jedinou síť, která tyto atributy splňuje, a tou je existující síť pozemních komunikací. Nový princip zpracování generelu cyklistické dopravy se tak nesoustředí pouze na vybrané komunikace, ale posuzuje celou komunikační síť. Toto posouzení zohledňuje územní vlivy (významné cíle cest a krajinné hodnoty vs. překážky a bariéry v území), dopravně-urbanistický a společensko-obchodní význam uličního prostoru (prostoru pozemní komunikace v kontextu funkčního využití přilehlého území), stejně jako jeho úlohu v systému cyklistických propojení (významné vztahy uvnitř města a spojení s regionem).

TÉMA: PŘÍNOSY UDRŽITELNÉ DOPRAVY

1. EKONOMICKÉ PŘÍNOSY + 2. PŘÍNOSY PRO ŽIVOT

TÉMA: STRATEGIE A POLITIKA

3. PROCES ZAVÁDĚNÍ A PLÁNOVÁNÍ MOBILITY

4. PRINCIPY HODNOCENÍ DOPRAVNÍ POLITIKY

5. PRINCIPY ÚZEMNÍHO A DOPRAVNÍHO PLÁNOVÁNÍ

6. OD VIZE 25 AŽ PO ÚZEMNĚ PLÁNOVACÍ PODKLAD.

Další lekce představují nástroje, které ovlivňují podporu cyklistické dopravy. Jsou trojí povahy – organizační, finanční a právní.

Hlavním cílem organizačních nástrojů je dosáhnout toho, aby se otázky cyklistické dopravy řešily automaticky a v dostatečné míře na všech úrovních města a v rámci každé plánovací činnosti.

V oblasti finančních nástrojů je velmi důležité, aby obce investovaly veškeré dostupné finance co nejefektivněji a využívaly pro oživení cyklistické dopravy i alternativní finanční zdroje. Místní cyklostrategie musí tvořit strategický rámec pro investiční rozhodnutí. Financování podpory cyklistické dopravy není omezeno jen na programy související s dopravou, můžeme ji zařadit i do projektů, které řeší problematiku trvale udržitelného rozvoje, klimatických změn či zdraví. Efektivní využití synergie s sebou nese velké možnosti, jak zkvalitnit cíle v podpoře cyklistické dopravy.

Další nástroje jsou z právní oblasti. Nedořešené právní otázky v legislativě zákona o silničním provozu, týkající se cyklistů, brání projektantům navrhnout a úřadům schvalovat taková řešení, která by byla pro všechny účastníky v daném prostředí adekvátní. Mělo by tedy být v zájmu měst, aby se sama stala hnacím motorem legislativních změn.

Poslední nástroj představuje dopravní ukazatele (indikátory), které je třeba sledovat a vyhodnocovat. Tyto indikátory pomohou získat přehled o aktuálním vývoji v různých oblastech cyklistické dopravy, stejně jako vyhodnocovat změny po zavedení daných opatření. Hlavní otázky jsou: Které indikátory zvolit? Jak sbírat data? Jak často data sbírat?

Přehled témat:

- ORGANIZAČNÍ NÁSTROJE (lekce 7 – 9)
- FINANČNÍ NÁSTROJE (lekce 10 – 12)
- PRÁVNÍ NÁSTROJE (lekce 13)
- MANAGEMENT A VZDĚLÁVÁNÍ (lekce 14 - 16).

### 3.2. Tvrdé nástroje – Infrastruktura a dopravní prostředky

Jednotlivé lekce nepředstavují jen právní předpisy související s výstavbou cyklistické infrastruktury, ale také je prezentují v širším kontextu. Současná opatření odpovídají totiž většinou jen dnešním minimálním standardům, ne však budoucím požadavkům. Město by proto mělo u všech opatření při výstavbě komunikací dbát na to, aby kapacita infrastruktury cyklistické dopravy držela krok s požadovaným nárůstem, i s ohledem na očekávaný zvýšený počet elektrokol. Veškeré projektování, které má vliv na cyklistickou dopravu, by mělo zvažovat i opatření ke zrychlení cyklistické dopravy, jako jsou povrchy s dobrými jízdními vlastnostmi, šířka cykloinfrastruktury umožňující předjíždění, co možná nejkratší doby čekání na uzlových bodech a vyloučení objížděk zhušťováním sítě. Součástí budou i lekce o údržbě, bezbariérovosti, parkování jízdních kol a opatření podporující propojení cyklistické a veřejné dopravy.

Přehled témat:

- PRVKY CYKLISTICKÉ INFRASTRUKTURY (lekce 17 – 26)
- DOPRAVNÍ PROSTŘEDKY A SLUŽBY (lekce 27 – 30).

### 3.3. Měkké nástroje

Poslední lekce představují tzv. měkké nástroje. První oblast učí, že i cyklistická doprava potřebuje svůj marketing, pomocí kterého můžeme motivovat potenciálního dopravního cyklistu k jízdě na kole. Lekce budou prezentovat různé druhy kampaní a také mnoho příkladů z praxe. Asi nejpropracovanější systém má Mnichov, kde kampaň svěřili profesionálům. Z českých měst je špičkou město Pardubice.

Druhou oblastí je bezpečnost a dopravní výchova. Zde se chceme zaměřit na nová témata, která doposud byla opomíjena. Chceme dát důraz na prezentaci kampaní, které mají zlepšit vzájemnou ohleduplnost a které mohou významně přispět ke klidnému soužití všech účastníků silničního provozu. Dále chceme obohatit termín „dopravní výchova“ o „výchovu k mobilitě“. Samostatná mobilita má velký význam pro dětský vývoj, z hlediska zdraví a schopnosti koncentrace, smyslu pro vnímání prostoru a vzdáleností, času a rychlosti, učení se vlastní odpovědnosti a vývoj sociálního chování. Zkušenosti s mobilitou, nabyté v tomto věku, jsou formující pro budoucí návyky v dopravě. Cílem je přivést mladé lidi k samostatné mobilitě, odpovídající jejich věku, vykonávané pěšky nebo na jízdním kole, a nahradit tím „rodičovské taxi“. V rámci výukového programu „Výchova k mobilitě“ bude představena celá řada vhodných zahraničních aktivit.

Poslední oblastí jsou témata, která propojují jízdní kolo a mobilitu s volnočasovými aktivitami a s projektem Česko jede (národním projektem, který je zaměřen na komplexní podporu cykloturistiky a dalších forem bezmotorové dopravy a aktivní turistiky v ČR).

Přehled témat:

- MOTIVAČNÍ KAMPANĚ (lekce 31 – 36)
- BEZPEČNOST (lekce 37 – 38)

- VOLNOČASOVÉ AKTIVITY (lekce 39 – 40).

## 4. Další inspirace pro vypracování akčního plánu

### 4.1. Cenné příklady ze soutěže Hlavní město cyklistů roku 2014

Výstupem ze soutěže Hlavní město cyklistů 2014 zdaleka nebylo jen pořadí jednotlivých měst. Soutěž poskytla také řadu cenných příkladů z praxe, které se pro města mohou stát inspirací v oblasti strategického plánování, územního plánu a jeho vazby na cyklodopravu, měřitelných cílů, koncepce cyklodopravy, generelu cyklodopravy, cyklistické infrastruktury, řešení koncepce parkování kol ve městě, řešení Bike&Ride (tedy kombinace kola s jinými druhy dopravy, především veřejnou), doprovodných služeb a marketingu podpory cyklistické dopravy. Nejlepší řešení najdou čtenáři na [www.cyklokonference.cz](http://www.cyklokonference.cz) (pod odkazem „strategický plán“).

### 4.2. Hlavní město cyklistů roku 2014 – Statutární město Pardubice

V soutěži Hlavní město cyklistů 2014 šlo o více než jen cyklistickou tradici nebo příhodné podmínky. Jak se ukázalo, mezi vítězi se ocitla nejen známá česká „cykloměsta“. Vítězné Pardubice ale ukázaly ostatním celou sadu nástrojů, pomocí kterých se město stane přívětivým právě pro cyklisty. Základní návod lze shrnout do tzv. **7 klíčů** k cykloměstu, které jsou k dispozici na [www.cyklokonference.cz](http://www.cyklokonference.cz) (v sekci „strategický plán“).

V posledních třech letech se město vydalo na cestu budování TOP evropského cyklistického města a stalo se doslova „cyklistickou laboratoří“. Ostatní města se mohou inspirovat jednotlivými kroky, které je třeba udělat, aby se vize stala realitou:

**1) Mít politickou vizi.** Každá strategie vychází z politické vize, která zodpovídá základní otázku: „Jak chci, aby moje město vypadalo?“ A tato otázka se vztahuje i na dopravu. Města si mohou vybrat ze tří scénářů, ze kterých pak vychází všechna další politická rozhodnutí: Scénář A – dobrá dostupnost zaměřená na motorovou dopravu. Scénář B – dobrá dostupnost pro všechny z kvalitním mobility „krátkého dosahu“. Scénář C – udržitelná dostupnost s významnými změnami v dopravním chování. Toto rozhodnutí s sebou nese vypracování strategického dokumentu, který zahrnuje i akční plán s jasně definovaným rozpočtem.

**2) Aktualizovat ÚZEMNÍ PLÁN** jako významný nástroj pro naplnění vize. Jak ale má vypadat zadání územního plánu? Má být založen na hybnosti aut, nebo na hybnosti lidí? Má být založen na návratu života do města, nebo na další expanzi města, a tím i růstu dopravy? Pro pochopení smyslu nového územního plánu město Pardubice veřejně promítalo film Lidský rozměr, na který se můžete podívat zde: <http://www.aerovod.cz/katalog/lidsky-rozmer/>.

**3) Mít k dispozici průzkumy dopravního chování obyvatel.** Vize musí být spojená s konkrétními čísly, aby město znalo stávající stav a mohlo si vytyčit svůj cíl, jak chce změnit mobilitu obyvatel. Většina měst danou statistiku postrádá, tudíž ani nemůže stanovovat konkrétní měřitelné cíle. Kolik měst v Česku se může pochlubit čísly, jako mají Pardubice?

Viz <http://www.youtube.com/watch?v=1yh37f2jTvw>.

**4) Mít zpracován generel (studii) cyklistické dopravy „nové generace“.** Hodně měst má generel, ale ve většině případů se s nimi pracuje ad hoc. Moderní generely se vyznačují novým přístupem při plánování cyklistické dopravy.

Je postaven spíše na principech budování cyklistické infrastruktury než na stanovení konkrétních opatření.

Mezi hlavní zásady patří:

- Přednost integrace před segregací
- Opatření mají sloužit k cílenému růstu používání jízdního kola
- Zvýšení atraktivity jízdního kola jako každodenního dopravního prostředku
- Využití nízkonákladových opatření
- Postupný výběr úseků k realizaci

Opatření pro cyklisty se bude realizovat dle těchto pravidel:

- na významných městských třídách budou budována opatření pro cyklisty,
- zbylé městské ulice, na kterých nebudou budována opatření pro cyklisty, budou výhledově zklidněny v režimu zón 30, případně jako obytné či pěší zóny,
- cyklisté nebudou ve společném provozu s pěšími (výjimky jsou samozřejmě možné),
- pokud jede cyklista podél hlavní ulice, má mít stejná práva přednosti, jako by jel po vozovce,
- cyklistická infrastruktura bude zpravidla jednosměrná, vedená po pravé straně ulice ve směru jízdy.

Každý generel musí být nutně spojen s finančním rozpočtem a harmonogramem prací. Příklad pardubického generelu je ke stažení zde: <http://www.pardubike.cz/info/generel.pdf>.

**5) Bez cyklokoordinátora se město neobejde.** Klíčová je role cyklokoordinátora jako osoby, která hlídá, aby vše, co je napsané v generelu (viz bod 4) bylo naplňováno. Ale jeho úlohou by mělo být mnohem víc. Právě on by měl být jednou z osob, která na úřadě města bude systematicky pracovat na „politické vizi“ (viz bod 1), na změně podílu přepravní práce (viz bod 3). Tady však narážíme na problém, který má nejen město Pardubice, ale všechna ostatní města Česka. Na jakém odboru by vlastně takový člověk měl pracovat? Stávající praxe ukazuje, že se to řeší náhodně. „Sedí“ tam, kde zrovna pracuje – někdy se jedná o odbor dopravy, jindy o odbor investic, v případě Pardubic se jedná o Útvar hlavního architekta. Ideálně by ve městě měl být založen odbor mobility, který bude řešit realizaci strategických dokumentů města a dostat problematiku řešení mobility obyvatel města do správní agendy. Problematika mobility zatím není zcela dobře začleněná do české legislativy, tato systémová změna, která již proběhla v mnoha zemích, nás teprve čeká.

**6) Cyklistická infrastruktura,** která má učinit jízdu na kole atraktivní, se často těžko prosazuje, ale jiná cesta k zatraktivnění cyklistické dopravy nevede. V tomto případě nechceme ukazovat úspěchy, ale problémy s realizací. A právě ty se mají řešit v rámci státních a krajských cyklostrategií - jak stát a kraj může vyjít městu vstříc?

**7) Budování značky cykloměsta.** I když si to možná neuvědomujeme, i cyklistická doprava potřebuje svůj marketing. Město dělá řadu opatření, která je potřeba vysvětlit a vyvolat o nich veřejnou debatu. Příkladem mohou být Pardubice s jejich pouličním festivalem Město na Míru – viz např. <http://www.youtube.com/watch?v=HRsAOKGzDo8>. Navíc na mnohých místech se můžete v Pardubicích potkat se značkou „PARDUBIKE“, ať už v podobě

velkoplošného sčítače, pumpičky, vše ve stejném designu, nebo internetového portálu [www.pardubike.cz](http://www.pardubike.cz).

Podrobnosti: <http://www.cyklokonference.cz/strategicky-plan/7-klicu-k-cyklomestu/>.

### 4.3. Město Kopřivnice a Statutární město Olomouc

Příručka „Nepopsaný list papíru“ ale nemusí být jen teorií. Některá města se inspirovala tímto dokumentem a vytvořila si svůj akční plán. Na konferenci Doprava, zdraví a životní prostředí pak vystoupili se svými zkušenostmi:

- Milan Šmíd, vedoucí oddělení rozvoje území města Kopřivnice - [milan.smid@koprivnice.cz](mailto:milan.smid@koprivnice.cz)
- Richard Petr, cyklokoordinátor města Kopřivnice - [richard.petr@koprivnice.cz](mailto:richard.petr@koprivnice.cz)
- Stanislav Losert, cyklokoordinátor Statutárního města Olomouce - [Stanislav.Losert@olomouc.eu](mailto:Stanislav.Losert@olomouc.eu).

### Literatura

- [1] MARTINEK J., CACH, T., SPERAT. Z. , SYROVÝ. K, VRTALOVÁ.J, ŽÁKOVÁ, R. Cyklistická akademie – 40 lekcí cyklodopravy pro odborníky, ISBN: 978-80-86502-65-6, 12/2013.
- [2] MARTINEK J., Nepopsaný list papíru, ISBN: 978-80-86502-67-0, 01/2014

### Poděkování

*Prezentované výsledky byly získány za podpory expertů z TUD (Technické univerzity v Drážďanech) a ve spolupráci s Regionálním environmentálním centrem (REC), Česká republika, o.p.s.*

## Blank Sheet of Paper – Opportunity

**Jaroslav Martinek, Milan Šmíd, Stanislav Losert**

*Transport Research Centre; MÚ Kopřivnice a Statutární město Olomouc*

Líšeňská 33, 636 00, Brno;

Štefánikova 1163, 742 21 Kopřivnice, Horní náměstí 1, 772 00, Olomouc

e-mail: [jaroslav.martinek@cdv.cz](mailto:jaroslav.martinek@cdv.cz),

[milan.smid@koprivnice.cz](mailto:milan.smid@koprivnice.cz), [stanislav.losert@olomouc.eu](mailto:stanislav.losert@olomouc.eu)

### Abstract

Sustainable Urban Mobility Plan is a long and virtually never-ending process. However, to start with simple and specific measures is possible and highly recommended. Our Blank Sheet of Paper can be a useful tool how to master basics and principles of the Plan. The manual combines soft and hard instruments to develop cycling. Of course, isolated pilot measures that are implemented at a road section without systematically changed approach to general transport are not an ideal solution. Such changes should start with more active bicycle use and perception both by public and by responsible policy makers. To promote an integrated approach means to educate professionals with advanced thinking and interdisciplinary overlap and to disseminate awareness of conceptually well-managed processes and final implementations. This is the aim of all visions and ideas defined in the manual that is based on the Berlin Cycling Strategy of 2012.



# Inovativní nástroje udržitelné mobility v evropských městských oblastech: zkušenosti s evaluací a role politických bariér

Hana Brůhová-Foltýnová, Radomíra Jordová

*Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.*

*Líšeňská 33a, 636 00 Brno*

e-mail: hana.bruhova@cdv.cz, radomira.jordova@cdv.cz

## Abstrakt

Předkládaný příspěvek představuje evropskou iniciativu na podporu inovativních opatření v udržitelné dopravě v městských oblastech Civitas, a to především její poslední ukončenou edici Civitas Plus (2008-2012). Představuje proces evaluace realizovaných opatření a podává přehled hlavních překážek, s kterými se města Civitas Plus potýkala (s důrazem na politické bariéry). Zároveň uvádí „hnací síly“ (drivers), které napomáhaly implementaci opatření k udržitelné mobilitě. Na závěr jsou uvedeny příklady z evropských měst, jak je možné tyto bariéry obejít, a zabránit tak jejich vzniku.

## 1. Úvod – představení iniciativy CIVITAS

Jsou to především města, která se potýkají s negativními dopady z dopravy, jako jsou dopravní kongesce, nehody, emise znečišťujících látek či hluk, přičemž mohou podstatnou měrou ovlivnit jejich snižování. Města hrají hlavní roli v ekonomickém růstu a rozvoji (tvoří zhruba 85 % HDP Evropské unie, [1]), jsou místem, kde jsou soustředěny služby, obchod, kultura, průmysl a další funkce, a k tomu všemu zajišťují příslušnou dopravní infrastrukturu. Města se rozvíjejí a rostou. S tím je spojeno také množství územních problémů na různých úrovních, zejména ve vztahu mezi městy a jejich periferiemi nebo mezi městy a vyššími samosprávnými celky.

Doprava a mobilita odrážejí všechny tyto aktivity a s nimi spojenou dualitu ekonomického rozvoje a limitů životního prostředí. Postupně narůstá poptávka po mobilitě a jsou kladeny vyšší nároky na zásobování a dopravní nabídku. To vše má vliv na zábor městského prostoru pro dopravní infrastrukturu a mj. na dopravní chování obyvatel.

Je jisté, že dopravu v území nelze řešit jen uspokojováním poptávky, praxe nejen z českých měst nám ukazuje, že v tomto směru jsme už teď limitováni. Ve městech už není dostatek místa na budování nových parkovacích míst, vznikají značné dopravní kongesce apod. Je třeba sáhnout k vyváženému mixu opatření, která povedou k udržitelnému využití dopravy, a to s maximálním důrazem na využití alternativ k individuální automobilové dopravě, řízení mobility a dopravních proudů.

Evropská iniciativa Civitas (City-Vitality-Sustainability) už více než deset let podporuje evropská města v realizaci užitečných opatření ve všech oblastech udržitelné dopravy. Evropská komise prostřednictvím tohoto programu podporuje šíření inovativních opatření a také výměnu zkušeností mezi městy EU. Konkrétně od roku 2002 poskytla finanční a organizační podporu více než 60 evropským městům v realizaci více než 800 opatření za 120 mil. EUR, a to celkem ve čtyřech po sobě jdoucích edicích (programech). Poslední ukončená edice probíhala v letech 2008 až 2013 pod názvem Civitas Plus [3].

Z fondů CIVITAS byla dosud podpořena dopravní řešení i ve třech českých městech – Praze, Ústí nad Labem a Brně. Poslední dvě jmenovaná města právě v rámci Civitas Plus.

Tento příspěvek popisuje, jakým způsobem byly hodnoceny opatření Civitas Plus z pohledu jejich dopadů i procesu implementace a jaké byly nejčastější bariéry a hnací síly, se kterými se města během realizace opatření setkala. Detailněji se zaměříme především na bariéry politické a uvedeme příklady z evropských měst, jak je možné těmto bariérám předejít / čelit.

## 2. Proces evaluace projektů CIVITAS Plus

V rámci edice Civitas Plus bylo realizováno celkem 5 projektů ve 25 městech, což dohromady představuje implementaci více než 300 opatření k udržitelné mobilitě. Tato opatření byla hodnocena na základě jejich celkové efektivity. Konkrétně jde o následující projekty a města:

- ARCHIMEDES (Aalborg, Brighton & Hove, San Sebastian, Iasi, Monza, Usti nad Labem),
- ELAN (Ljubljana, Gent, Porto, Brno, Zagreb),
- MIMOSA (Bologna, Funchal, Utrecht, Gdansk, Tallinn),
- MODERN (Craiova, Brescia, Vitoria/Gasteiz, Coimbra),
- RENAISSANCE (Szczecinek, Perugia, Bath, Gorna Oryahovitsa, Skopje).

U implementovaných opatření bylo důležité, aby byly inovativní, v nějakém směru nové a rozšiřovaly stávající znalost a zkušenost měst v oblasti udržitelné mobility. Jejich inovativnost spočívala mimo jiné v tomto:

- Opatření užívající nová opatření nebo metody: 48% všech opatření,
- Opatření používající nové technologie / ITS (reálné dopravní informace - real-time information – o používání vozidel, distribuci parkujících vozidel, intervaly autobusů a toky pasažérů nebo kontrola signálních systémů přizpůsobujících se stávající dopravní situaci): 45% všech opatření,
- Opatření zaměřená na specifické skupiny uživatelů (osoby žijící v blízkosti autobusové linky nebo cestující do určité lokality nebo řidiči určitého typu vozidel): 39% všech opatření.

Opatření byla rozdělena do 8 tematických skupin, což umožnilo jejich lepší srovnání a evaluaci. Konkrétně šlo o tyto tematické skupiny: 1) čistá vozidla a paliva, 2) hromadná osobní doprava, 3) strategie řízení poptávky, 4) mobility management, 5) bezpečnost v dopravě, 6) životní styly bez závislosti na automobilu, 7) městská nákladní logistika a 8) dopravní telematika.

V rámci Civitas Plus měl monitorování a metodiku hodnocení výsledků realizace inovativních opatření v jednotlivých městech a harmonizaci těchto procesů mezi výše uvedenými pěti projekty / 25 městy za úkol další projekt s názvem POINTER. Diseminaci výstupů a prezentaci zkušeností pak koordinoval projekt VANGUARD.

### 1.2. Proces evaluace

Celý proces evaluace (hodnocení) se u projektů Civitas Plus skládal ze dvou složek – evaluace dopadů a evaluace procesů. První z nich byla více kvantitativní a spočívala ve sledování a vyhodnocování relevantních indikátorů dopadů implementovaných opatření. Byla vytvořena šablona s celkem 30 indikátory z pěti oblastí (ekonomika, energetika, životní prostředí, společnost, doprava), z které si města a případně instituce, které jim v evaluaci poskytovaly odbornou podporu, vybíraly relevantní indikátory, a ty se vyhodnocovaly.

Evaluace procesů pak spočívala v popisu bariér, hnacích sil („drivers“) a podniknutých aktivit, s kterými se města u jednotlivých opatření setkala. Tato složka tak doplňovala data o dopadech opatření o „povídání o tom, co se skrývá za čísly“. Evaluace probíhala na několika úrovních – úrovni opatření, balíku opatření, města a celé edice CIVITAS Plus.

Evaluace dopadů ukázala, že opatření ve městech Civitas Plus vedla k nárůstu využívání hromadné dopravy (k 3 – 30% nárůstu počtu pasažérů v těchto městech), k poklesu používání automobilu (mezi 4 a 15 %), nárůstu chůze a cyklistiky (mezi 1 – 4 %; v některých městech toto zvýšení představovalo i zdvojnásobení počtu cyklistů), snížení pohybu zásobovacích nákladních vozidel po městě až o 60 % a snížení emisí CO<sub>2</sub> až o 55 % [2].

### 3. Analýza bariér a motivačních faktorů

V dalším textu se věnujeme především evaluaci procesů, a to konkrétně bariérám a hnacím silám, které ovlivnily proces implementace opatření ve městech Civitas Plus. Následující tabulka shrnuje nejčastější bariéry a hnací síly, s kterými se města Civitas Plus setkala, a to v různých fázích realizace Civitas projektů (přípravy, implementace a provozu).

Tab. 1. Přehled hlavních bariér, hnacích sil a aktivit měst Civitas Plus

	Přípravná fáze	Fáze implementace	Fáze provozu
Bariéra	Politická, plánovací	Kulturní	Technologická, prostorová
Hnací síla	Spojená s problémem		Plánovací, prostorová
Aktivita	Zapojení veřejnosti	Zapojení veřejnosti	Politická, zapojení veřejnosti, technologická

Zdroj: [3]

#### 3.1. Politické bariéry a hnací síly

Jedny z nejčastěji zmiňovaných bariér a hnacích sil jsou ty politické – tj. spojené s procesem rozhodování, financováním, tvorbou a kvalitou legislativního prostředí atd. Nejčastější politické bariéry / hnací síly uvedené evropskými městy Civitas Plus v rámci evaluace procesů shrnuje následující tabulka. Jedná se především o nedostatek integrovaného dlouhodobého plánování, ale i o tvorbu vizí a zapojení dotčených skupin. Vzhledem k tomu, že toto jako bariéru označilo 22 měst z 25, naznačuje to, že se jedná o problémy, s kterými se potýkají jak post-komunistické země, tak země s delší demokratickou tradicí. Jako další bariéry města nejčastěji jmenovala nedostatek finančních prostředků na opatření v udržitelné mobilitě (Civitas Plus edice probíhala z velké části v době ekonomické krize) a legislativu. I tyto bariéry úzce souvisí s politickým rozhodováním.

Tab. 2. Přehled hlavních politických bariér a hnacích sil u měst Civitas Plus

Bariéra / hnací síla	Počet měst: Bariéry	Počet měst: Hnací síly
Proces tendru – legislativa, organizace	17	6
Místní volby, personální výměny na radnici	6	6
Komunikace mezi relevantními odděleními radnice	8	8
Legislativa	18	9
Integrované plánování, tvorba vizí a zapojení stakeholderů	22	23
Finance	19	17
Kulturní rozdíly	16	12
Jiné	20	0

Zdroj: [3]

*Proces integrovaného plánování a zapojení stakeholderů* podle zkušeností měst Civitas Plus komplikovala především nízká podpora politiků, obtížná koordinace rozdílných dotčených skupin, nízké povědomí a znalost uživatelů i dopravních expertů o nových dopravních opatřeních, nebo to, že si jejich potenciální uživatelé neuvědomovali přínosy či dokonce ani možnou existenci opatření (Aalborg, Donostia, Iasi, Ljubljana, Monza, Vitoria-Gasteiz). Některé bariéry byly také způsobeny chybějící vizí, strategií či politickými dokumenty na úrovni města. Řada měst otevřeně přiznala, že akceptaci opatření bránilo nedostatečné, těžkopádné nebo příliš optimistické plánování (Craiova, Gent, Monza, Perugia, Porto, Tallinn, Záhřeb). Některé problémy s komunikací s klíčovými stakeholdery byly způsobeny i jinými důvody, které se nedaly ovlivnit (např. školy v Brescii a Utrechtu byly již přetíženy dalšími aktivitami). Naopak podpora politiků, akceptace veřejností nebo dokonce aktivní vyžadování opatření vedlo k hladší a rychlejší implementaci opatření.

V oblasti *finanční* města uváděla jako bariéry rozdílné finanční priority města (malá důležitost pro opatření udržitelné mobility), nedostatečné finanční plánování či ekonomická krize a s ní související škrty v městských / národních rozpočtech. Naopak jako hnací síly působily úspory provozovatelů hromadné dopravy / měst, kterých bylo dosaženo / mělo být dosaženo díky implementovaným opatřením; podobně ekonomická krize motivovala obyvatele více využívat hromadnou dopravu, alternativní paliva, nebo P+R.

*Legislativa* trpěla podle zkušeností měst Civitas Plus často neexistencí konkrétních opatření a chybějící standardizací (nedostatkem národních standardů). Například takto chyběla legislativa pro tvorbu plánů mobility v Aalborgu a Coimbre, realizaci opatření v Donostii-San Sebastiánu a Záhřebu zase zkomplikovaly chybějící standardy kvality biopaliv. Legislativní omezení také zkomplikovaly a zpomalily veřejnou zakázku v Craiově a Tallinnu nebo vedly k tomu, že bylo využívání vozidel na bionaftu ekonomicky nevýhodné (Craiova, Ljubljana). Naopak legislativní hnací síly představovaly nové nástroje regulace a integrace vizí a opatření z regionální úrovně do úrovně národní.

Kulturní rozdíly zahrnují bariéry, jako jsou nedůvěra v novinky, konzervatismus, nepochopení a neochota vzdát se vnímání automobilu jako statusového symbolu, dále nedostatek povědomí mezi uživateli o daném opatření či vandalismus. Životní

styl nezávislý na automobilu a vnímání automobilu jako statusového symbolu byla další z často uvedených kulturních bariér u měst Civitas Plus (Bologna, Brescia, Donostia-San Sebastián, Gent, Iasi, Monza, Tallinn, Ústí nad Labem, Vitoria-Gasteiz). V italské Bologni se potýkali s problémem, jak přesvědčit rodiče a školy, aby umožnili docházku dětem do a ze školy samotným. Naopak mezi hnací síly patřily pozitivní přístup cílových skupin, povědomí stakeholderů a ochota ke změně či zájem o životní prostředí.

Známky, že se mění kultura mobility, se objevily v Donostii-San Sebastián, nový kulturní a životní styl se prosazuje také v Bescii, a dopravní chování preferující udržitelnou dopravu narůstá i ve Funchalu. V Utrechtu jeho obyvatelé a odborníci jednoznačně ukázali, že kongesce se nedají vyřešit pouze výstavbou další silniční infrastruktury a že lepším řešením je chytré využití nástrojů managementu dopravy.

### 3.2. Analýza bariér a hnacích sil: závěry

Zkušenosti z měst Civitas Plus naznačují, že počet bariér, které se objeví v jednotlivých fázích realizace projektu, výrazně ovlivňuje úspěšnost implementace dopravních opatření a jejich dopady. Jsou však závislé na typu opatření a místu (kontextu místně / národně kulturním, legislativním a ekonomickém). Úspěch opatření v přípravné fázi je ovlivněn především politickými bariérami. Tato fáze je také důležitá pro technická nebo RTD dopravní opatření, protože je v této fázi důležité získat znalost a expertízu. Implementační a provozní fáze jsou ovlivněny organizačními a plánovacími bariérami a finančními, technologickými a prostorovými překážkami.

Ukázalo se, že zacílení správných dotčených skupin a zapojení vhodných partnerů má podstatně větší vliv na úspěšnou implementaci opatření než jeho inovativnost. Některá města východní Evropy byla konfrontována s bariérami akceptování u technologických řešení, které byly inovativní lokálně (ale běžné v Západní Evropě). Dále čelily technologickým bariérám, např. nebyla k dispozici národní / místní technologie či dostatek kvalifikovaných osob se znalostí této technologie.

Veřejná akceptovatelnost se může objevit jako bariéra v přípravné fázi, ale neměla by být automatickým důvodem pro zrušení opatření – úspěšná pilotní fáze může vést ke zvýšení přijatelnosti opatření a jeho následné úspěšné realizace.

Většina bariér byla nakonec městy Civitas Plus úspěšně překonána; pouze 9 opatření z více než 300 bylo zastaveno nebo zrušeno.

## 4. Jak předcházet politickým bariérám

Politické prostředí (a tedy i počet a dopad politických bariér) ovlivňuje implementační proces opatření udržitelné mobility, i když jeho dopad není fatální a ve svém důsledku nevede ke zrušení implementace opatření. V rámci projektu POINTER byly identifikovány faktory, které ovlivňují politické prostředí, a nepřímo tak i implementaci inovativních dopravních opatření. Jedná se o následující faktory:

- Počet a struktura politik, které souvisí s dopravou, a jejich integrace a harmonizace,
- Existence integrované dopravní politiky (SUMP – Sustainable Urban Mobility Plan),
- Aktivní používání dopravních modelů,
- Efektivní dlouhodobé plánování,
- Stabilita místních orgánů (městských zastupitelstev) – konání mimořádných voleb do místních zastupitelstev,

- Plánování finančních zdrojů,
- Plánování lidských zdrojů,
- Aktivní komunikace s (místními) politiky/zastupiteli,
- Přístupy k zapojení veřejnosti,
- Pravidelné revize strategií a politik.

Roli těchto faktorů ukážeme na následujících příkladech z evropských měst Civitas Plus (Aalborgu, Gentu a Donostie – San Sebastián).

#### **4.1. Integrace politických dokumentů a strategií v Aalborgu**

Dánské město Aalborg má zpracované dokumenty, které řeší všechny relevantní aspekty udržitelné dopravy. Město se snaží tyto dokumenty vzájemně harmonizovat a integrovat. Konkrétně má Aalborg zpracovanou Strategii rozvoje města (z roku 2009) a územní plán. Hlavní sektorový dokument řešící oblast dopravy – generel dopravy – byl zpracován v roce 1990. Zahrnuje generely hromadné dopravy, cyklistiky a chůze. Generel je zpracován tak, aby podporoval především udržitelné druhy dopravy s důrazem na mobilitu, životní prostředí a zdraví obyvatel, vytvořil rovnováhu mezi poptávkou po narůstající mobilitě a ochranou životního prostředí, minimalizoval negativní dopady dopravy a zajistil dostupnost na území města i celého regionu.

Pro léta 2013 – 2025 má Aalborg zpracovanou Strategii mobility. Dále používá řadu akčních plánů, např. akční plán parkování, pro podporu cyklistiky, pro bezpečnost v dopravě, snižování hluku, infrastrukturu a využívání informačních technologií v dopravě. V roce 1994 Aalborg přijal první Akční plán pro dopravu a životní prostředí, který byl podporován dánským ministerstvem životního prostředí.

Dále město využívá řadu studií a expertních analýz, mimo jiné studii infrastruktury na území přístavu, podmínky pro tendry, nebo nové schéma parkování. Také odráží národní politiky a jejich cíle, např. dánskou Národní strategii rozvoje alternativních paliv. Aalborg organizuje kampaně, jako jsou bezpečné cesty do škol, bezpečnostní audity a další.

Dopravní témata jsou obsažena v dalších sektorových nebo obecnějších městských strategiích, jako je Strategie udržitelného rozvoje. V Aalborgu byla také podepsána tzv. Aalborgská charta v roce 1994 (plným názvem Charta evropských měst a obcí směřujících k trvale udržitelnému rozvoji), která zavazuje města k zodpovědnosti v oblasti tvorby udržitelných a zodpovědných komunit (jejich větší zapojení do Agendy 21). Zabývá se speciálně udržitelným rozvojem a dopravou. O 10 let později se Charta rozšířila na Aalborgské závazky.

#### **4.2. Dlouhodobé plánování a strategické vize v Gentu**

Gent přijal ambiciózní strategii rozvoje města nazvanou „Klimaticky neutrální Gent 2050“. Tato strategie definuje svoji vizi – stát se klimaticky neutrálním městem do roku 2050 – která se zaměřuje na všechny aspekty fungování města, nejen pouze dopravu.

Pro naplnění této vize město podniká řadu kroků. V roce 2009 vznikla Asociace pro řešení klimatických změn, která sdružuje několik pracovních skupin a podporuje výměnu zkušeností v rámci pracovních skupin i mezi nimi. Byl zpracován Plán řešení klimatických změn pro roky 2008-2020 (jde o akční plán se 105 aktivitami) a Plán boje se znečištěním ovzduší. Ten navrhuje řadu konkrétních kroků, jako jsou nástroje k podpoře cyklistiky jako bezemisní dopravy, „zelenější“ MHD, car-sharing, nízkoemisní zóny, systémy řízení dopravy apod.

Dále město Gent přijalo plán mobility pro celé město. První plán mobility byl schválen již v roce 1997, na něj pak navázal nový úspěšný plán mobility v roce 2003, který výrazně ovlivnil mobilitu ve městě.

#### 4.3. Pravidelné revize strategií a politik: Donostia-San Sebastián

Španělské město Donostia-San Sebastián přijalo řadu aktivit a kampaní na podporu udržitelné mobility, mimo jiné systém car-sharingu a car-poolingu, bezpečné cesty do škol, osobní plány mobility, plány mobility pro dojížďku, Chartu bezpečnosti na silnicích, oblasti 30 km/hod. apod.

Strategie rozvoje města je přijata vždy na 10 let, ale je průběžně aktualizovaná. Generel městské hromadné dopravy je diskutován s dotčenými skupinami (stakeholdery) vždy každé čtyři roky. Dlouhodobý finanční plán města byl vždy pravidelně aktualizovaný každé čtyři roky, nyní je to již každý rok.

### 5. Závěry

Iniciativa Civitas pokračuje stávající edicí Civitas Plus II a další projekty budou financovány v rámci programu CIVITAS 2020. Je zde tudíž příležitost pro česká města se do některého z projektů zapojit, a získat tak podporu na realizaci opatření k udržitelné dopravě. V kontaktu se Civitas mohou být česká a slovenská města také díky nově vznikající síti CIVINET Česká a Slovenská republika, která má za úkol mimo jiné podporovat výměnu zkušeností měst s opatřeními na podporu udržitelné mobility.

Opatření k udržitelné dopravě podporovaná iniciativou Civitas jsou jak „tvrdá“ (tj. úprava či výstavba infrastruktury, nákup vozového parku apod.), tak „měkká“ (zaměřená především na informování a zvyšování povědomí veřejnosti, lepší organizaci dopravy, car-sharing, car-pooling či politiku parkování). Vzhledem k inovačnímu aspektu podpořených opatření se může jednat také o pilotní opatření např. pro alternativní paliva či pohony v osobní individuální i hromadné dopravě a nákladní dopravě, nebo opatření využívající moderní informační technologie.

Civitas dává také městům příležitost zaměřit se i na otázku plánování, monitorování a hodnocení (evaluace). Města si mohou zpracovat Plán městské udržitelné mobility (SUMP), doplnit chybějící data či zpracovat důležitou studii. To, že města zjišťují dopady zavedených opatření a analyzují bariéry a hnací síly („drivers“), představuje možnost pro zlepšení strategického i krátkodobého plánování města a získání zpětné vazby na fungování města a městských organizací. Vytváří se tak zkušenost a potenciál do budoucna snižovat riziko vzniku bariér popsanych v tomto textu při realizaci opatření k udržitelné mobilitě.

#### Literatura

- [1] BOSETTI, S., BRŮHOVÁ-FOLTÝNOVÁ, H., JORDOVÁ, R. et al., *Policy recommendations for EU Sustainable Mobility Concepts based on CIVITAS experience*. ICLEI, 1. vyd., s. 68, 2014, v tisku
- [2] CIVITAS POINTER, *Deliverable 2.6.1, Overview of Evaluation Findings*, Transportation Research Group, University of Southampton, 2013
- [3] BRŮHOVÁ-FOLTÝNOVÁ, H., JORDOVÁ, R., *The contribution of different policy elements to sustainable urban mobility*. In: Ed. Wulfhorst, G.: *Insights from the mobil.TUM 2014 International Scientific Conference on Mobility and Transport*. Technische Universität München, 2014, v tisku

**Poděkování**

*Tato práce vznikla jako součást řešení evropského projektu CIVITAS POINTER (TREN/FP7TR/219026).*

**Innovative measures in sustainable mobility in European urban areas: experience with evaluation and the role of policy-related barriers and drivers**

**Hana Brůhová-Foltýnová, Radomíra Jordová**

*Centrum dopravního výzkumu*

*Líšeňská 33a, 636 00 Brno*

*e-mail: hana.bruhova@cdv.cz, radomira.jordova@cdv.cz*

**Abstract**

This paper introduces the European initiative for support of innovative measures in sustainable transport in urban areas CIVITAS, above all its last finished edition Civitas Plus (2008-2013). It explains the process of evaluation of the realized measures under Civitas Plus and provides an overview of the main barriers the Civitas Plus cities were challenging to (with a special emphasis on policy-related barriers). Furthermore it discusses the main drivers stated by Civitas Plus cities. Finally there are examples from three European cities of how to overcome the barriers.



# POSTERY

# Výsledky dvoubodového monitoringu ovzduší v Ostravě Radvanicích v roce 2013

**Lucie Hellebrandová, Hana Miturová, Martin Hanák**  
Oddělení ovzduší, Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě  
Partyzánské nám., 702 00 Ostrava  
e-mail: lucie.hellebrandova@zuova.cz

## Abstrakt

Kvalita ovzduší v Ostravě se již dlouhodobě diskutuje na odborné i veřejné úrovni. Jednou z nejkontroverznějších částí města, co se stavu ovzduší týče, je v rámci města obvod Radvanice a Bartovice. Laická a někdy i odborná veřejnost mylně posuzuje kvalitu ovzduší v celém městě na základě naměřených hodnot jednou měřicí stanicí umístěnou v této městské části. Aby bylo zamezeno této nevhodné interpretaci, přistoupilo Město Ostrava po konzultaci se Zdravotním ústavem Ostrava k řešení, a na jeho popud byla do obvodu umístěna další automatická měřicí stanice.

Zatímco v případě první z nich se jedná o stanici průmyslovou, kde vedle průmyslových emisí mají také zásadní vliv lokální topeniště, druhá má charakter předměstské stanice, je tedy pouze pod zásadním vlivem lokálních topenišť, viz tabulka č. 1.

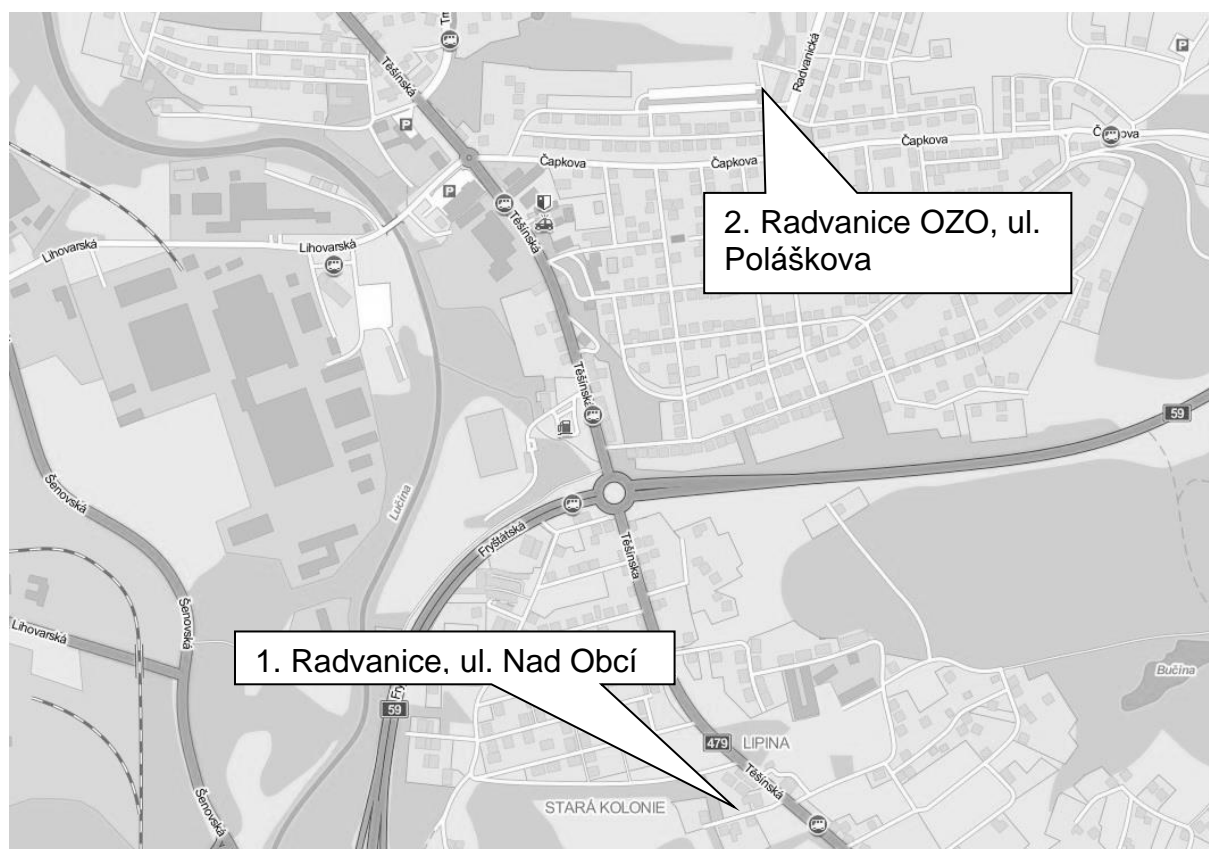
První stanice je umístěna v Radvanicích na ulici Nad Obcí (Radvanice, Nad obcí, v ISKO označena jako TORE) od jara roku 2002, druhá je v provozu na ulici Polášková (Radvanice OZO, v ISKO označena jako TORO) až od roku 2013, viz obrázek č. 1.

Cílem příspěvku je vyhodnocení kvality vnějšího ovzduší v těchto lokalitách Ostravy - Radvanic v roce 2013 a vyčíslení statisticky významných rozdílů u jednotlivých škodlivin mezi těmito měřicími místy.

Tab. 1: Umístění měřicích stanic, zdroje znečištění, měřené škodliviny

typ zóny	číslo	umístění	hlavní zdroje znečištění	měřené škodliviny
obytná předměstská průmyslová	1	Radvanice, ul. Nad Obcí	ArcelorMittal Ostrava a.s., lokální topeniště, doprava	PM <sub>10</sub> , NO <sub>x</sub> , kovy, PAU, TOL
obytná předměstská	2	Radvanice OZO, ul. Polášková	lokální topeniště, částečně ArcelorMittal Ostrava a.s.	PM <sub>10</sub> , NO <sub>x</sub> , kovy, PAU, TOL

Obr. 1: Umístění stanic v rámci obvodu Radvanice a Bartovice



# Vzrostlá zeleň podél dopravních cest

**Oldřich Hykš, Kristýna Neubergová\***

*Ústav aplikované matematiky, ČVUT v Praze Fakulta dopravní*

*Na Florenci 25, 120 00 Praha 2*

*e-mail:hyks@fd.cvut.cz*

*\*Ústav dopravních systémů, ČVUT v Praze Fakulta dopravní*

*Horská 3, 120 00 Praha 2*

*e-mail:neubergova@fd.cvut.cz*

## Abstrakt

Příspěvek se zabývá problematikou zeleně, především pak vzrostlé zeleně, podél dopravních cest. Protože v nedávné době proběhly poměrně bouřlivé diskuse na toto téma zejména pak v souvislosti s bezpečností dopravního provozu, rozhodli se autoři příspěvku danou problematiku uvést v širších souvislostech a z různých úhlů pohledu. V úvodu jsou zmíněna východiska řešené tematiky. V další části je uvedena historie výsadby stromořadí a alejí na našem území. Následuje stručné shrnutí kladů a záporů vzrostlé zeleně podél dopravních cest. Další část příspěvku je věnována ekologickým východiskům a v neposlední řadě je v příspěvku kladen důraz na vliv vzrostlé zeleně na bezpečnost dopravy.

## 1. Úvod

Výsadba vzrostlé zeleně podél dopravních cest se stává centrem zájmu a ohniskem diskusí mezi zarputilými zastánci a stejně zarputilými odpůrci. Dojde-li k dopravní nehodě s fatálními důsledky, jejíž příčinou je srážka s pevnou překážkou – stromem, objeví se názory, že jsou stromy nebezpečné a je třeba všechny pokácet. Na druhé straně má zeleň podél dopravních cest také řadu přínosů a do středoevropské krajiny neodmyslitelně patří. Cílem tohoto příspěvku je poukázat na kladné i záporné stránky vzrostlé zeleně podél dopravních cest a diskutovat možná východiska. Výsledkem příspěvku není a ani nemůže být jednoznačný závěr – vzrostlá zeleň podél cest ano či ne, na to je daná problematika příliš široká.

## 2. Historie výsadby vzrostlé zeleně podél dopravních cest

K velkým změnám v naší krajině docházelo především v průběhu 13. a 14. století, kdy probíhala středověká kolonizace. V té době vznikla celá řada dědin i měst a rozšiřovala se cestní síť, která je spojovala. Docházelo ke zkulturnování krajiny, které se ještě prohloubilo za vlády Karla IV. Tento panovník byl zakladatelem zpevněných cest, označovaných jako silnice., neboť si dobře uvědomoval jejich význam. Již do této doby také spadá první výsadba stromů podél těchto cest. Na druhou stranu však už v této době, stejně jako později ve století 17., byly stromy naopak mnohdy odstraňovány, aby neposkytovaly úkryt lupičům a jiným živlům. Dobové prameny například uvádějí, že zeleň měla být od komunikace ve vzdálenosti „co by dohodil kamenem obepjatým prsty“ [1]. Teprve druhá polovina 17. století přinesla výsadbu alejí a stromořadí, které vstupovaly do volné krajiny. V období baroka tak docházelo k významnému zkulturnování naší krajiny, zdevastované Třicetiletou válkou. V krajině se začala objevovat drobná architektura ve formě

kapliček či božích muk, často doplněných o solitérní stromy a na ně navazující aleje spojující je s vesnicemi, usedlostmi a okolím vůbec.

Z hlediska výsadby vzrostlé zeleně podél dopravních cest byl významný přípis z roku 1752, který přinesl povinnost vysazovat stromy u všech nových silnic. Nejvíce stromořadí tak bylo vysázeno za vlády Marie Terezie a Josefa II., kdy se začaly hojně vysazovat také stromy ovocné. Důvody výsadby doprovodné zeleně však nebyly jen hospodářské, ale také orientační, bezpečnostní a estetické.

Výsadba alejí pak pokračovala ještě ve století 19., kdy se začínalo s výstavbou sítě vedlejších silnic a zákonem bylo nařízeno sázet podél nich aleje a stromořadí, především pak ovocných stromů. Jejich vysazování pokračovalo dále i ve století 20. Když pak v 50. letech minulého století došlo k rozorání mezí a likvidaci mimolesní zeleně, stala se stromořadí podél dopravní cesty mnohdy posledním útočištěm řady živočichů i migračním koridorem mnoha živočišných druhů. Doprovodná zeleň se tak v naší krajině stala jedinou záměrně zakládánou zelení kromě lesa a její obliba se přenesla také do městských ulic.

### 3. Typy doprovodné zeleně

Zeleň podél dopravních cest lze rozdělit do šesti skupin [2]. Prvním typem je **stromořadí**, jeho výhodou je relativně nízká spotřeba sadbového materiálu i snadná výsadba, nevýhodou pak především přestárlost související s nedostatečnou či nevhodnou údržbou. Druhým typem je **plošná výsadba**, která se uplatňuje především u nově budovaných dálnic a na plochách kolem mimoúrovňových křižovatek. Třetí skupinu představuje **lesní porost**. Ten však nebývá specificky vysazován a jedná se prakticky o dopravní cesty, které procházejí stávajícími lesními úseky.

Dalším typem je **náletová zeleň**, tedy zeleň vzniklá přirozenou sukcesí. Tato doprovodná zeleň je tvořená především rychle rostoucími dřevinami a její výhodou je především nízká počáteční investice, která je však kompenzována potřebou korekčních zásahů. Pro dělicí střední pásy dálnic se nejčastěji používá další typ vegetace, a to **pásy keřů**. Poslední skupinu doprovodné zeleně tvoří **travní porosty**, které se často využívají v kombinaci s předchozími typy. Travní porosty plní meliorační a retenční funkci a hrají významnou roli ochrany půd před erozí.

Při výsadbě doprovodné zeleně je třeba mimo jiné přihlížet také k typu komunikace. Doprovodná zeleň by měla korespondovat s okolní krajinou a také ctít stanovištní podmínky. U dálnic, rychlostních silnic a silnic I. třídy, není vhodná výsadba jednotvárných stromořadí, která by řidiče spíše unavovala. Naopak je zde vhodnější střídání vzrostlé a nízké vegetace v nepravidelných intervalech tak, aby došlo k narušení monotónnosti dopravní cesty a tím i k udržení pozornosti řidičů.

U silnic II. třídy, které jsou více spjaty s okolním prostředím, by také jejich vegetační doprovod měl souznít s rázem místní krajiny a podporovat specifika dané oblasti. Doprovodná zeleň tak může na jedné straně zvýraznit průhledy do krajiny, podpořit významné dominanty a na straně druhé nežádoucí pohledy zakrýt.

U silnic III. třídy umožňuje nižší rychlost postřehnout více z okolního prostředí a tak je zde vhodné vysazovat různorodé skupiny dřevin, opět je třeba dbát na místní podmínky i okolní krajinu.

#### **4. Přínosy vrostlé zeleně podél dopravních cest z hlediska vlivů na životní prostředí**

Doprovodná zeleň plní řadu funkcí, z hlediska ekologického jde o produkci O<sub>2</sub>, absorpci CO<sub>2</sub>, zachycuje prachové částice. Účinek stromové a keřové zeleně při snižování prašnosti závisí na celé řadě faktorů, kterými jsou:

- absolutní povrch listové plochy,
- kvalita povrchu listů,
- umístění listů,
- pohyblivost listů,
- tvar koruny,
- charakter sedimentu.

Zeleň plní také důležitou roli z hlediska hydrologie, kdy působí jako ochrana náspů a zářezů, zpevňuje je a chrání před erozí. Vegetace také pozitivně ovlivňuje zadržování vody v krajině a tím zmírňuje dopady povodňových následků přívalových dešťů.

Dalším kladem vzrostlé zeleně podél dopravních cest je vliv na snižování bočního větru na vozidla a zachytávání sněhu, čímž brání tvorbě sněhových jazyků a návějí na vozovce.

Zanedbatelná není ani funkce estetická, kdy doprovodná zeleň zlepšuje začlenění komunikace do krajiny a v neposlední řadě poskytuje zástín. Stromy také výrazně ovlivňují klima okolního prostředí.

Jak již bylo uvedeno výše, zeleň podél komunikací často tvoří jediný vhodný biotop pro celou řadu živočichů v určitém území a vytváří spojení s okolní krajinou, které výrazně zlepšuje podmínky pro jejich migraci. Například hraboš pensylvánský se prostřednictvím doprovodné zeleně rozšířil až do vzdálenosti 90 km.

Aleje a stromořadí jsou také místem pro život řady druhů ptactva, například drozda cvrčalu nebo strnada obecného, tento původní obyvatel lesostepí, našel v naší zemědělské krajině útočiště v křovinatých mezích a právě také v alejích podél silnic.

Dalším z živočichů vázaného na tato stanoviště je například brouk páchník hnědý. Tento, pouhých 25 mm velký, brouk se vyvíjí v dutinách stromů, u nás je velmi vzácný a patří proto mezi chráněné druhy a je také zařazen do systému ochrany v rámci NATURA 2000. Na jeho záchraně se podílí také Evropská unie, která například v letech 2010 až 2011 podpořila program rozsáhlé výsadby stromů podél komunikací ve třech polských regionech.

#### **5. Vliv vzrostlé zeleně na bezpečnost provozu na dopravních cestách**

Právě vztah mezi vzrostlou zelení podél dopravních cest a bezpečností dopravy je tématem hojně diskutovaným. Dojde-li ke srážce vozidla s pevnou překážkou, tedy i stromem, má bohužel mnohdy tragické důsledky. Nicméně přístup „vše vykácet a je po problému“ je příliš zjednodušující a celá tematika si zaslouží hlubší analýzu.

V současné době probíhá celá řada výzkumů řešící vazbu mezi dopravními nehodami a stromy. Tato problematika má dvě oblasti řešení. První je péče o již stávající stromořadí. Druhým pak výsadba podél nově budovaných komunikací. Zde narážíme na problémy údržby, potažmo financí. Vegetace podél dopravních cest také trpí důsledky samotného provozu. Dále je zde otázka výsadby původních či zavádění introdukovaných druhů do naší krajiny.

Mezi klady stromořadí podél dopravních cest z hlediska bezpečnosti dopravy patří především snazší předvídání směru, kdy vzrostlé stromy naznačují průběh silnice za kopcem. Pomáhají také při odhadu vzdáleností a řidiče tak opticky vedou. Mezi klady patří také snazší orientace v mlze a za tmy, udržování pozornost řidiče a bránění zřícení aut.

Mezi nejvýznamnější zápory pak patří nebezpečí srážky s pevnou překážkou, zvyšuje se také riziko dopravní nehody vlivem listů či plodů na vozovce. Nevhodně vysazená nebo neudržovaná zeleň pak může vést k omezení rozhledu na křižovatkách či na vnitřní straně směrových oblouků, dalšími negativními vlivy je riziko pádu větví, a také to, že v důsledku střídání světlých úseků a úseků, které jsou kryty korunami stromů, může v létě dojít k oslnění řidiče.

V následujících tabulkách a grafech jsou rozebrány druhy dopravních nehod a jejich dopady, právě v souvislosti se stromy podél dopravních cest. V tabulce 1 jsou uvedeny celkové počty dopravních nehod na našich pozemních komunikacích a pro srovnání jsou zde uvedeny celkové počty dopravních nehod způsobené srážkou s pevnou překážkou a počty dopravních nehod způsobené srážkou se stromy. Pro větší názornost jsou data uváděná také v procentech a zobrazena v grafické podobě (viz graf 1).

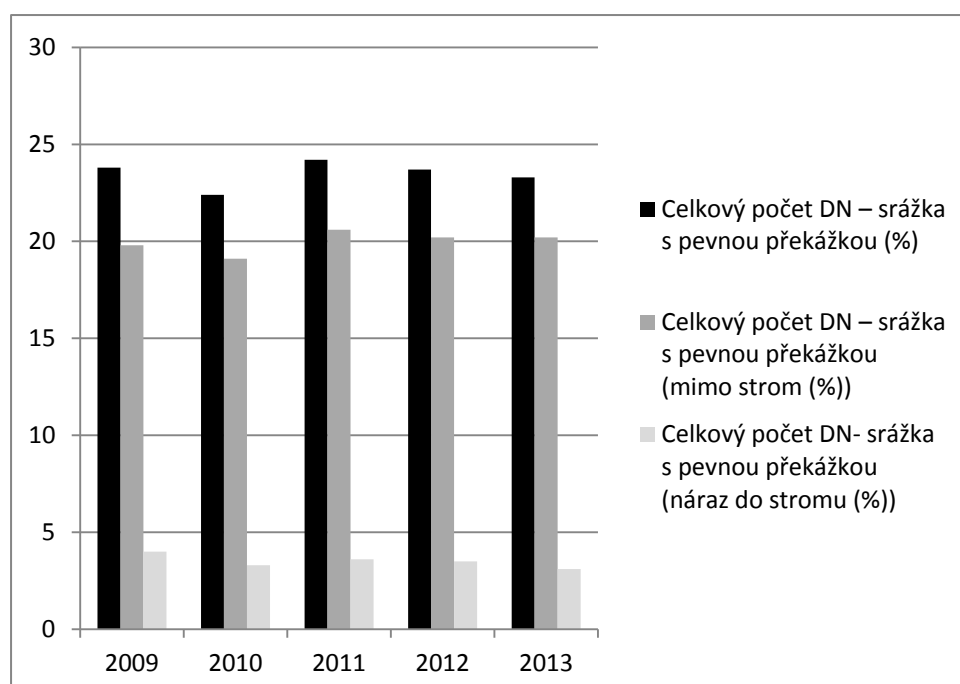
Tab. 1: Statistika dopravních nehod za posledních 5 let – celkové počty nehod

Rok	Celkový počet DN na všech PK	Celkový počet DN – srážka s pevnou překážkou	Celkový počet DN- srážka s pevnou překážkou (mimo strom)	Celkový počet DN- srážka s pevnou překážkou (náraz do stromu)	Celkový počet DN – srážka s pevnou překážkou (%)	Celkový počet DN – srážka s pevnou překážkou (mimo strom (%))	Celkový počet DN- srážka s pevnou překážkou (náraz do stromu (%))
2009	74 815	17 779	14 774	3 005	23.8	19.8	4.1
2010	75 522	16 894	14 429	2 465	22.4	19.1	3.3
2011	75 137	18 134	15 466	2 668	24.2	20.6	3.6
2012	81 404	19 261	16 427	2 834	23.7	20.2	3.5
2013	84 398	19 626	17 016	2 610	23.3	20.2	3.1

(Kde DN .... dopravní nehoda, PK ... pozemní komunikace)

Zdroj: [autoři,8]

Obr. 1: Statistika dopravních nehod za posledních 5 let – celkové počty nehod, Zdroj: [autoři]



V tabulce číslo 2 jsou uvedeny údaje o úmrtnosti na našich pozemních komunikacích. Tato data jsou opět uváděná jak v absolutních hodnotách, tak také v procentech a opět je tabulka doplněna grafickým výstupem (viz graf. 2).

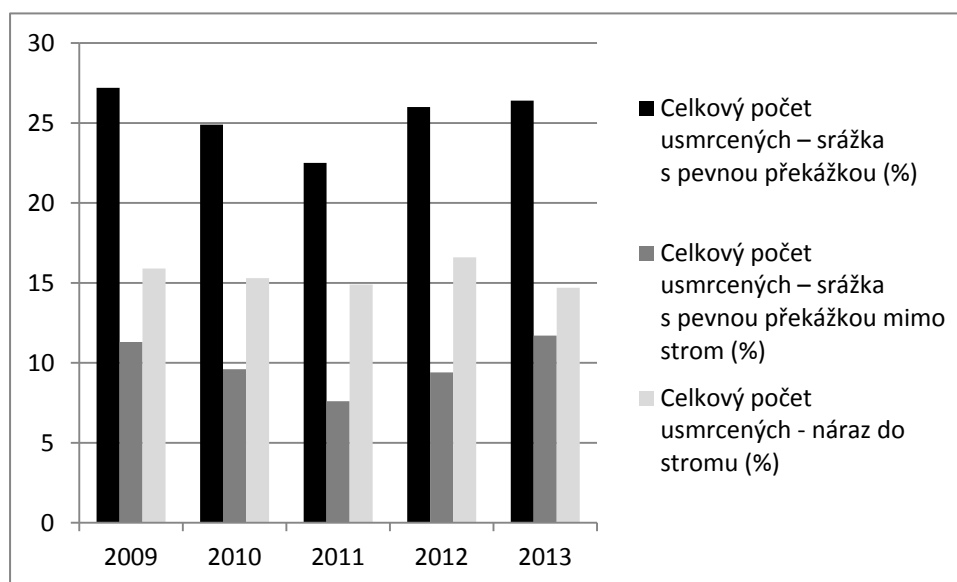
Tab. 2: Statistika dopravních nehod za posledních 5 let – celkové počty nehod

Rok	Celkový počet DN na všech PK	Celkový počet DN – srážka s pevnou překážkou	Celkový počet DN – náraz do stromu	Celkový počet usmrčených na všech PK	Celkový počet usmrčených – srážka s pevnou překážkou (%)	Celkový počet usmrčených – srážka s pevnou překážkou mimo strom (%)	Celkový počet usmrčených - náraz do stromu (%)
2009	74 815	17 779	3 005	832	27.2	11.3	15.9
2010	75 522	16 894	2 465	753	24.9	9.6	15.3
2011	75 137	18 134	2 668	707	22.5	7.6	14.9
2012	81 404	19 261	2 834	681	26	9.4	16.6
2013	84 398	19 626	2 610	583	26.4	11.7	14.7

(Kde DN .... dopravní nehoda, PK ... pozemní komunikace)

Zdroj: [autoři,8]

Obr. 2: Statistika dopravních nehod za posledních 5 let – úmrtnost, Zdroj: [autoři]



Z tabulek i grafů vyplývá nebezpečnost vlivu stromů podél dopravních cest, kdy přestože se podíl dopravních nehod – srážka se stromem pohybuje mezi 3 až 4 %, podíl na úmrtnosti dosahuje 14 až 17 %.

## 6. Závěr

Závěrem lze konstatovat, že především výsadba keřového porostu podél dopravních cest má velmi pozitivní vliv, a to jak na samotnou komunikaci, kdy keře snižují vliv bočního nárazového větru a omezují vytváření sněhových jazyků a návějí, tak také z hlediska okolního prostředí, kdy tato doprovodná zeleň umožní komunikaci lépe splynout s okolní krajinou a tvoří také vhodný a v naší zemědělské krajině mnohdy i jediný, biotop pro řadu živočichů.

U vzrostlé zeleně je pak třeba dbát na bezpečnost dopravy, kdy důležitou roli hraje vzdálenost stromů od komunikace. Výzkum, který byl prováděn v Německu, ukázal,



že při vzdálenosti stromů od okraje vozovky 2 m nejsou následky dopravních nehod v průměru těžší, než na silnicích bez stromů. Začneme-li však tuto vzdálenost zmenšovat, závažnost dopravních nehod začne rychle stoupat a je-li vzdálenost stromů od komunikace 0,5 m, je jejich závažnost dvojnásobná. V České republice byla vzdálenost stromů od komunikace uvedena již v normě ČSN 73 6101 Projektování silnic a dálnic z roku 1957. Nejmenší povolená vzdálenost kmene stromu od hrany koruny silnice byla 2,5 m, později byla tato vzdálenost zvýšena na 4,5 m [10]. Pro vzdálenost výsadby vzrostlé zeleně podél dopravních cest je v normě uveden graf zobrazující vzdálenost v závislosti na typu komunikace. Dále je zde uvedeno, že stromy nelze vysazovat v dopravních ostrůvcích, v rozhledových polích, v ochranných pásmech sítí technického vybavení, v místech, kde by mohly zastiňovat dopravní značení apod.

Z hlediska bezpečnosti dopravy se přístup v různých evropských zemích liší. V Německu se například v 50. letech 20. století vzrostlé stromy podél dopravních cest masivně kácely, právě z důvodů bezpečnosti. Do roku 1999 tak došlo k vykácení cca 50 tisíc km alejí [7]. Postupně se ale začalo ukazovat, že krajina začíná být jednotvárná a řidiče navíc ohrožuje boční vítr. Od roku 1990 se tedy postupně začalo s novou výsadbou. Tato výsadba je však doprovázena kampaní za vyšší bezpečnost jízdy s důrazem právě na jízdu v aleji.

Ve Švédsku jsou aleje chráněným biotopem [7]. A například v Japonsku navrhují a vysazují pásy zeleně o 10 let dřívě, než je komunikace uvedena do provozu, a to proto, aby ihned plnila své funkce [4]. Výzkumem vztahů mezi bezpečností dopravy a doprovodnou vzrostlou zelení se také zabývá celá řada studií. Zajímavé výsledky přinesla například studie prováděná ve Francii [5], která na základě průzkumu 43 francouzských departementů ukázala, že neexistuje korelace mezi údaji o rizicích z hlediska bezpečnosti dopravy a množstvím stromů v alejích.

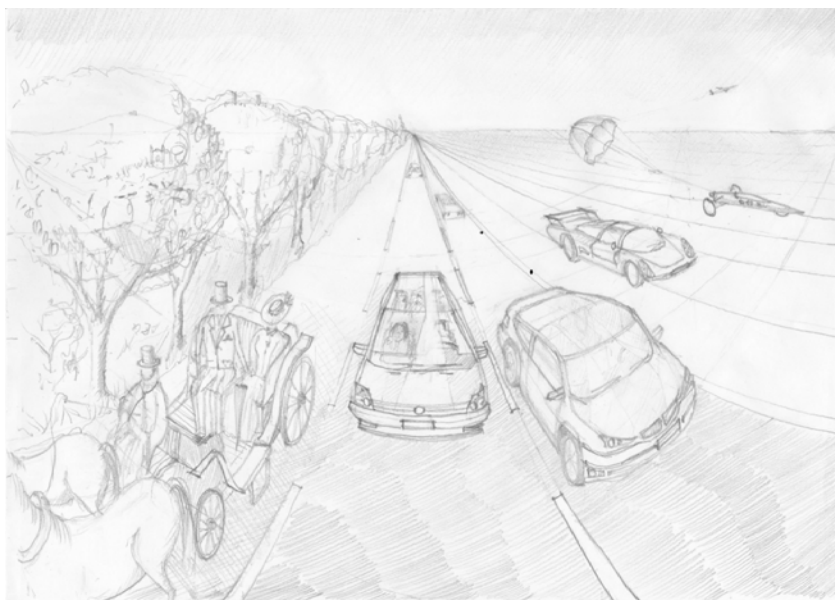
Vzrostlá zeleň podél dopravních cest utváří kolorit naší krajiny po staletí, vždyť například již v roce 1632 nechal Albrecht z Valdštejna vysázet čtyřřadou lipovou alej podél silnice z Jičína do Libosadu, a je proto třeba přistupovat k jakýmkoliv zásahům velmi citlivě. Tragické následky dopravních nehod, kdy dojde ke střetu se stromem, jsou neoddiskutovatelným faktem. O důsledcích dopravních nehod způsobených srážkou s pevnou překážkou, především pak srážkou se stromem, je pojednáno v kapitole 5, kde je shrnuta statistika dopravních nehod na pozemních komunikacích za posledních pět let. Data v tabelární i grafické podobě jsou zřejmá, nicméně je třeba si uvědomit, že to nejsou stromy, kdo zabíjí, ale řidič, jeho nepozornost či chyba.

Srážky motorových vozidel s pevnou překážkou, kam řadíme také stromy, jsou vážným bezpečnostním problémem. Jak ukazuje řada výzkumů a také zkušenosti, v ideálním případě by silnice měly být navrženy bez doprovodných nebezpečných objektů. Tato podmínka je však těžko splnitelná a proto je třeba přistoupit ke kompromisu. U nově budovaných dopravních cest je situace jednodušší v tom, že je možné vzrostlou zeleň situovat v dostatečné vzdálenosti od komunikace a v bezprostřední blízkosti vysazovat travní porosty a keřovou vegetaci. Vhodná vzdálenost stromů od komunikace je předmětem řady různých výzkumů, které uvádějí vzdálenosti různé. Například v Rakousku byly stanoveny boční odstupy stromů u dálnic 4,75 m a u silnic první třídy 2,0 m [6]. Otázkou je také vzdálenost stromů mezi sebou, kdy v historických dobách podle patentu z roku 1752 dosahovala 6 sáhů, což představovalo 11 m. Z hlediska bezpečnosti se jako optimální ukazuje vzdálenost 40 m, zde už však těžko můžeme hovořit o celistvé aleji a proto se doporučuje výsadba ve vzdálenostech 25 m [6], optimálně po jedné straně

komunikace a u směrových oblouků vždy na jeho vnější straně. Toto doporučení souzní také s dalšími doporučeními, kdy různé scenérie nepůsobí na řidiče tak únavně, jako monotónní alej. Zároveň je však třeba konstatovat, že jízda v stromořadí nutí řidiče instinktivně zpomalit. Například v Rakousku tak došlo po vykácení stromořadí na posuzovaném úseku komunikace naopak k nárůstu dopravních nehod, a to z důvodů nedodržení povolené rychlosti.

Jiná situace je u stromořadí doprovázejícím stávajícím cesty. Zde je potřeba provádět dostatečný dendrologický průzkum a pravidelnou údržbu. Z hlediska bezpečnosti dopravy by pak tato stromořadí měla být vždy doprovázena opatřeními, zvyšujícími bezpečnost dopravy, například zde situovat vhodné dopravní značení, snížit rychlost, opatřit stromy reflexními nátěry a odrazkami, u směrových oblouků instalovat svodidla. Opomenout nelze ani vzdělávání řidičů, kdy například v Německu se už v autoškole řidiči učí, jak jezdit v alejích. V České republice se aspoň začíná obnovovat tradice natírání kmenů stromů bílou reflexní barvou, které bylo před rokem 1989 běžné.

Obr. 3: Zeleň podél dopravní cesty



Zdroj: [autoři]

## Literatura

- [1] BULÍŘ, P. (1988): Vegetační doprovody silnic. - Aktuality Výzkumného a šlechtitelského ústavu okrasného zahradnictví v Průhonicích, Novinář, Praha, 198 s.
- [2] CIMBŮRKOVÁ, M., ŠERÁ, B. Specifika vegetace kolem silnic a dálnic – problematika začlenění dřevin do volné krajiny. In [http://147.213.211.222/sites/default/files/2011\\_3\\_162\\_165\\_cimburkova.pdf](http://147.213.211.222/sites/default/files/2011_3_162_165_cimburkova.pdf)
- [3] NEUBERGOVÁ, K. Funkce zeleně v našich městech. Veřejná správa XII, č. 16, str. I – III, 2001

- [4] ONEYAMA, H., KAWAKAMI, A., IMAI, R., KOSUGE, T.: A Possibility of Establishing the Ecological Network Using Road Space. Infrastructure and Transportation in the 21 Century, PIARC, 1999
- [5] PRADINES, CH., MARMIER, F. Sécurité routière : véhicule-infrastructure-conducteur, Revue générale des routes et des aérodrômes ( RGRA), N. 891, 2011
- [6] SIMONOVÁ, E., JANATA, M., SMĚLÝ, M. Problematika pasivní bezpečnosti pozemních komunikací. Část 1 – pevné překážky (stromy) Rakousko, Německo. Výstupy projektu Problematika pasivní bezpečnosti pozemních komunikací, VYPAB, CDV Brno, 2007
- [7] SKALSKÝ, M. Řidič v aleji intuitivně zpomalí. In <http://ekolist.cz/cz/publicistika/nazory-a-komentare/martin-skalsky-ridic-v-aleji-intuitivne-zpomali>, Ekolist, 2010
- [8] Statistika dopravních nehod. In <http://www.policie.cz/clanek/statistika-nehodovosti-900835.aspx?q=Y2hudW09Mw%3d%3d>
- [9] ŠERÁ, B. Roadside Greenery in the Open Landscape. Životní prostředí, Vol. 39, No. 4, 208 – 211, 2005  
In [http://147.213.211.222/sites/default/files/2005\\_4\\_208\\_211\\_sera.pdf](http://147.213.211.222/sites/default/files/2005_4_208_211_sera.pdf)
- [10] ŠVĚDOVÁ, D. Vegetační doprovod silnic, vliv na dopravní nehody a problémy s obnovou alejí. In <http://www.zahrada-park-krajina.cz/>
- [11] VYSLOUŽIL, M. Historické aleje - cesty do historických zahrad. Historické zahrady Kroměříž 2006. Umění a společenská činnost v historických zahradách. Sborník vydaný u příležitosti konání odborného semináře, Kroměříž, Agentura Bonus, 2006 s. 41-43.

## **Mature Vegetation along Transport Routes**

**Oldřich Hykš, Kristýna Neubergová\***

*Department of Transport Systems, CTU in Prague Faculty of Transportation Science  
Na Florenci 25, 120 00 Prague 2*

*\*Department of Transport Systems, CTU in Prague Faculty of Transportation Science  
Horska 3, 120 00 Prague 2*

e-mail:hyks@fd.cvut.cz, \*e-mail:neubergova@fd.cvut.cz

### **Abstract**

The paper deals with greenery, especially mature vegetation along roadways. In recent times there were quite heated discussions on this subject especially in the context of traffic safety. The authors of this paper decided to bring the issue in a broader context and from different points of view. In the introduction, such a rationale topic solved. The next section deals with the history of planting rows of trees and alleys in our area. The following is a brief summary of the pros and cons of mature vegetation along the transport routes. Another part of the paper is devoted to the ecological starting points and, last but not least, the contribution emphasis on the influence of mature vegetation on transport safety.

# Uvolňování ultrajemných částic při brzdných procesech za kontrolovaných laboratorních podmínek

Zdeňka Kaličáková, Pavel Danihelka, Jana Kukutschová, Vladimír Mička, Šárka Bernatíková, Vendula Drastichová, Miroslav Vaculík

*Vysoká škola báňská technická univerzita Ostrava*

*Lumírova 13, 700 30, Ostrava – Výškovice*

e-mail: zdenka.kalicakova@vsb.cz

## Abstrakt

Automobilová doprava patří mezi hlavní zdroje znečištění ovzduší v městských oblastech, díky nimž se do životního prostředí uvolňuje velké množství různorodých látek. Ukazuje se, že prachové částice, především částice menší než 0,1  $\mu\text{m}$ , mohou být ze zdravotního hlediska nejvýznamnější z celé řady polutantů, které produkují dopravní prostředky, ať už se jedná o výfukové plyny motorových vozidel, otěry brzdových destiček, otěry z laku automobilu, otěry z pneumatik. Prováděné experimenty z otěru brzdových destiček ukázaly, že se do vzduchu dostávají částice menší než 100 nm. Nanočástice pomalu sedimentují a setrvávají v ovzduší po dlouhou dobu, což významně přispívá ke znečištění ovzduší v oblastech s vysokou hustotou dopravy. Následkem znečištěného ovzduší jsou potenciální zdravotní rizika pro exponovanou populaci. S velikostí částic a jejich složením souvisí i možné účinky částic na lidské zdraví a možná zdravotní rizika.

Cílem projektu je stanovení početních koncentrací a provedení chemických analýz z jednotlivých frakcí z emisí z testovacího dynamometru frikčních vlastností automobilových brzdových destiček.

## 1. Úvod

Člověk je exponován částicemi odpradávná a evolučním vývojem se adaptoval na prostředí, ve kterém se vyvíjel. V dnešní době, při rychlém technickém rozvoji, je lidský organismus vystaven cíleně vyráběným nanočásticím, nebo také neúmyslně vyráběným nanočásticím (částice o rozměrech 1 nm až 100 nm), se kterými se není schopné lidské tělo vyrovnat [1] [2].

Zdroje produkující nanočástice neboli ultrajemné částice (UFP), se mohou dělit na přírodní nebo antropogenní. Mezi přírodní zdroje se řadí sopečná činnost, písečné bouře a eroze půd. Mezi antropogenní zdroje UFP především v městských oblastech patří lokální topeniště, průmysl a doprava [3].

Mezi nejzávažnější polutanty, jež mají prokazatelně negativní účinky na člověka a jsou emitovány z dopravy, patří emise pevných prachových částic suspendovaných v ovzduší. Vznikají při provozu motorového vozidla, jako je spalování pohonných hmot, otěr pneumatik, otěr brzdového a spojivového obložení [4] [5]. Emise produkované dopravou představují dlouhodobá rizika [6]. V posledních letech vystupuje do popředí snaha o prokázání vlivu emisí z dopravy na úmrtnost obyvatel, a to zejména ve velkých městech s intenzivní dopravou. Významným faktorem však mohou být procesy probíhající v dopravě a zvláště brzdné procesy, při kterých vznikají otěrové částice. Ty lze nalézt nejen při provozu automobilů, ale v mnoha dalších průmyslových aplikacích. Historicky vedl problém otěrových částic k zákazu používání azbestu [7].

Nebezpečnost azbestových vláken spočívá ve schopnosti vláken odštěpovat se po délce na menší vlákna, jež mohou poškozovat tkáň. Azbest poškozuje především dýchací soustavu a dále také kardiovaskulární, imunitní a gastrointestinální systém [8]. Z několika studií je patrný nejen negativní vliv azbestu na živé organismy a také na lidské zdraví. Informace o zdravotních účincích azbestu na člověka pochází především ze studií pojednávajících o případech, kdy byli lidé v minulosti vystaveni vysokým hodnotám azbestu na pracovišti [9] [10].

Azbest se začal masivně přidávat do brzdových destiček v 50. letech minulého století pro své dobré chemické a fyzikální vlastnosti jako nehořlavost a do určité míry i žáruvzdornost. Počátkem 90. let minulého století se postupně přešlo na bez azbestovou výrobu. V roce 2005 bylo používání azbestu v ČR zakázáno [11].

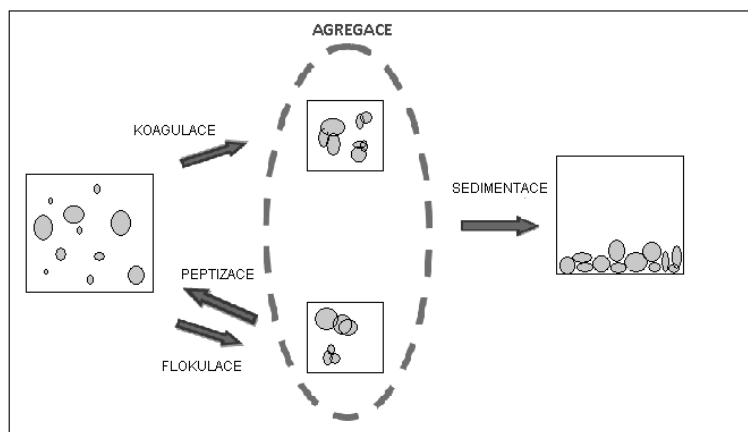
Nyní je azbest nahrazován jinými materiály, které však mohou také přinášet rizika. Můžeme očekávat podobný trend jako u azbestu při užívání některých materiálů především kovů, které se přidávají do brzdových destiček [11] [12].

Zájem o potenciální vliv toxických kovů na lidské zdraví a na životní prostředí roste v posledních letech. Některé studie naznačují, že kovy uvolňující se z automobilů při otěrech z brzd a silničního opotřebení mají nepříznivé účinky na životní prostředí [13]. Emise z otěrů z pneumatiky, brzdy, a silničního opotřebení, nejsou v současné době regulovány. Výsledky nalezené v literatuře ukazují, že 50-70 % emitovaných částic do ovzduší jsou částice všech velikostních rozsahů od ultrajemných částic po hrubé částice [14].

Ultrajemné částice, na rozdíl od hrubých částic, mohou v ovzduší setrvávat delší dobu, být degradovány nebo transportovány na větší vzdálenosti od zdroje a ovlivňovat více zdraví organismů [15]. Jeden z hlavních důvodů k obavám v souvislosti s expozicí ultrajemných částic je důkaz, že částice v nano-rozměru mohou být toxičtější než jejich větší protějšky ze stejného materiálu, mohou být deponovány hlouběji v dýchacím traktu [16].

Vlastnosti ultrajemných částic jsou dány chemickou povahou a závisí na velikosti, tvaru, na uspořádání povrchu a případné modifikaci jejich povrchu. Chování rozptýlených UFP v ovzduší je do značné míry podobné jako u molekul plynů. Díky své nízké hmotnosti a malým rozměrům téměř nepodléhají sedimentaci, jejich setrvání ve vzduchu je proto dlouhodobé, a to zejména při nízké koncentraci. Při vyšších koncentracích však dochází k agregaci (viz. Obr. 1). Malé částice neztrácejí identitu, dojde pouze ke ztrátě kinetické nezávislosti, celý agregát se pohybuje jako jediná jednotka. Rychlost podléhání agregacím závisí na koncentraci aerosolu a na velikosti částic. Agregace je rychlý, spontánní děj, částice tomuto ději podléhají již po několika vteřinách po svém vzniku. Z toho důvodu z aerosolu průběžně mizí velké množství malých částic a zároveň vzniká velké množství větších agregátů. Agregace, při níž vznikají shluky volně vázaných částic, se nazývá flokulace. Jedná se o vratnou vazbu a opakem je peptizace. Mohou také přecházet na pevněji vázané shluky. Pochod, při kterém vznikají agregáty pevně vázaných částic, je označován jako koagulace. Koagulace není vratná na rozdíl od flokulace. Po dosažení určité velikosti agregátů dochází k sedimentaci, což vede k zániku disperzního systému [17] [18].

Obr. 1: Agregace částic



Zdroj: [autor]

## 2. Experiment

Předmětem studie je charakterizace částic se zaměřením na ultrajemné částice s ohledem na distribuci vybraných škodlivin, především kovů, které se uvolňují do ovzduší při brzdných procesech automobilů, za laboratorních podmínek na testovacím dynamometru frikčních vlastností automobilových brzdových destiček (viz. Obr. 2).

Testovací dynamometr frikčních vlastností automobilových brzdových destiček je zařízení představující efektivní systém pro testování automobilových brzdných procesů. Experimentálně získané údaje mohou být použity pro návrh a vývoj nových chemických složení brzdných podložek a také pro vývoj nových ekologicky šetrných chemických složení automobilových třecích kompozitů [19].

Obr. 2: Testovací dynamometr frikčních vlastností automobilových brzdových destiček



Zdroj: [19]

Testování brzdových destiček probíhalo v rozmezí teplot od okolního vzduchu až k teplotám 400 °C. Brzdová soustava pracuje na principu zvětšování odporu tření. Při brzdění se snižovala pohybová energie, která se měnila na teplo. Pro testování byly použity brzdové destičky s nízkým obsahem kovových složek. Teplota kotouče byla průběžně monitorovaná pomocí čidla.

Pro charakterizaci emisí z otěru brzdových destiček byly vybrány dva přístroje: NANO ID SELECT 005 (Naneum), který má potřebný vzorkovací rozsah (2 nm – 35 m) a skenovací třídič pohyblivosti částic (SMPS 3936, TSI). V očekávaných nadlimitních koncentracích částic se použil ředící systém (Model 3332-100).

Pro měření početní koncentrace byl použit skenovací třídič pohyblivosti částic, který měří počet částic s jejich rozměrovým rozdělením od velikosti od 10 nm

do 200 nm s použitím detekce elektrické vodivosti. SMPS<sup>™</sup> je technika, při které se početní koncentrace měří přímo za předpokladu, že tvar částic je kulový [20]. Jestliže je předpokládána nadlimitní koncentrace uvolňovaných částic, je zapotřebí odebraný vzorek ředit. Ředící faktor je 100:1 a průtok ředičky je 1 litr/min [21].

Dále byl použit vzorkovací systém NANO ID SELECT 005, který zachycuje částice ve velikostním rozmezí od 2 nm do 35  $\mu\text{m}$ . Částice jsou roztříděny podle velikosti na 12 frakcí. Tento vzorkovací systém je rozdělen na 2 odběrové části a to kaskádový impaktor a difuzní celu [22] [23].

Odebrané vzorky byly analyzovány metodou hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-MS). ICP-MS je ultrastopová analytická metoda sloužící ke stanovení obsahu stopových množství jednotlivých prvků v analyzovaném vzorku. Tato technika umožňuje analyzovat téměř všechny prvky od lithia po uran s citlivostí až jednotek ppt po stovky ppm a další výhodou je v možnosti simultánního stanovení více prvků [24].

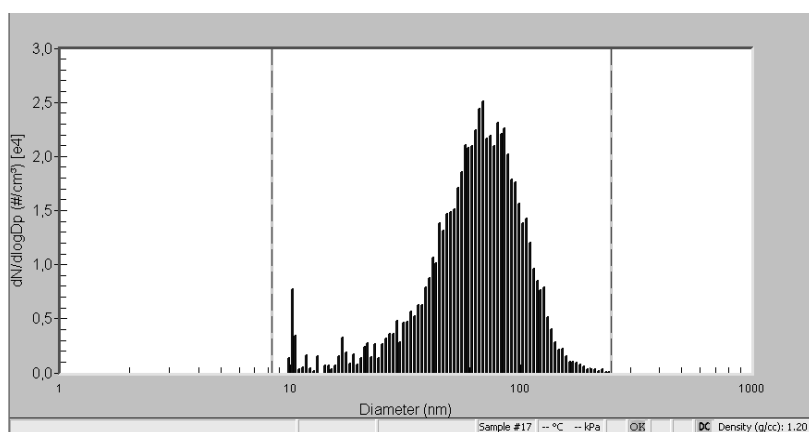
### 3. Diskuze a výsledky

Brzdová soustava je nejdůležitější částí vozidla z hlediska aktivní bezpečnosti. Brzdové soustavy pracují na principu zvětšování odporu tření. Při brzdění vozidla se snižuje pohybová energie, která se mění na teplo a právě toto teplo, jak experimenty ukázaly, ovlivňuje uvolňování částic z brzdových destiček.

Výstupem z Scanning Mobility Particle Sizer Spectrometer jsou dvě grafická zobrazení. Na Obr. 3 je grafické znázornění velikostní distribuce částic. Je to ukázka brzdného cyklu při teplotách 300 °C. Na Obr. 4 je grafické znázornění velikostní distribuce částic při teplotách 400 °C. Na Obr. 5. je znázorněna početní koncentrace částic o velikosti 100 nm, je to průběh několika brzdných cyklů a volnoběhů. Pro porovnání je na Obr. 6 znázorněna početní koncentrace částic o velikosti 10 nm.

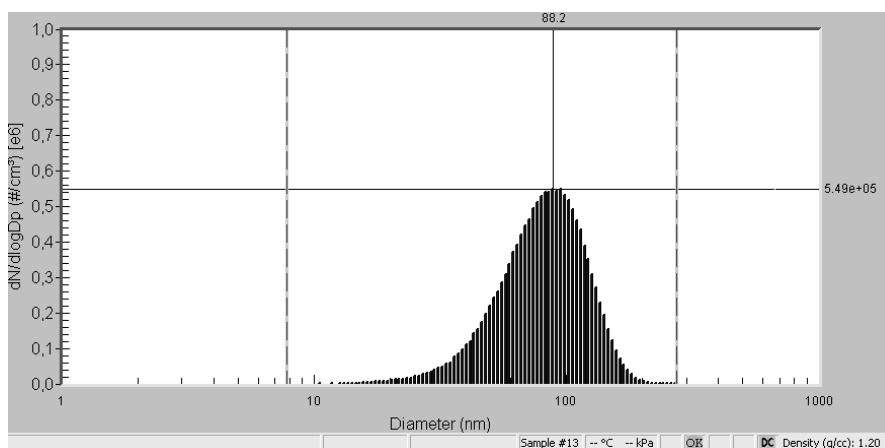
Z provedených chemických analýz se prokázala přítomnost hliníku, chromu, mědi, železa, zinku, olova, kobaltu a mědi.

Obr. 3: Grafické znázornění početní koncentrace jednotlivých frakcí při teplotě kotouče 300°C



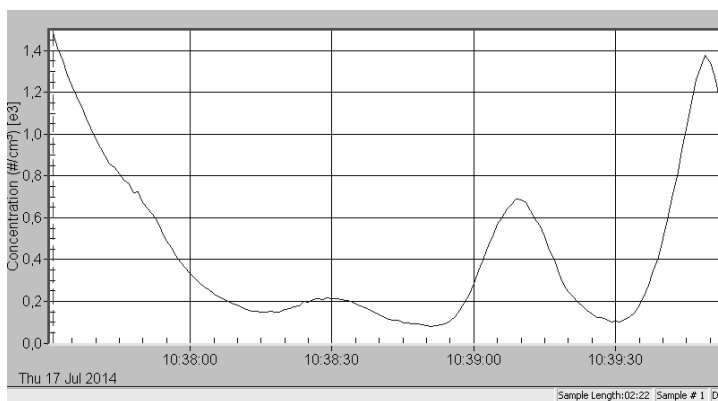
Zdroj: [autor]

Obr. 4: Grafické znázornění početní koncentrace jednotlivých frakcí při teplotě kotouče 400°C



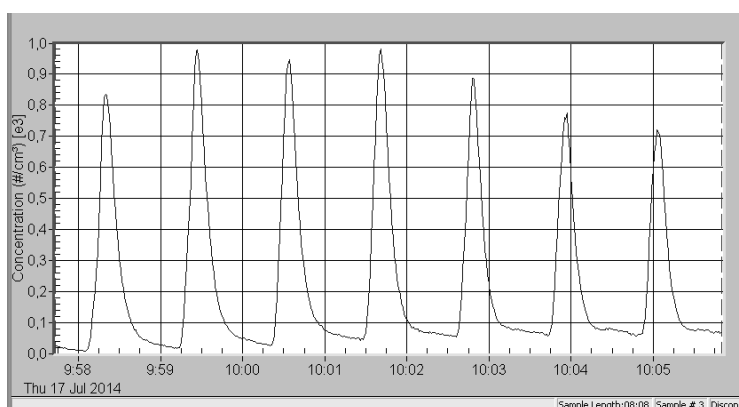
Zdroj: [autor]

Obr. 5: Grafické znázornění početní koncentrace částic o velikosti 100nm v závislosti na čase



Zdroj: [autor]

Obr. 6: Grafické znázornění početní koncentrace částic o velikost 10nm v závislosti na čase



Zdroj: [autor]



## 4. Závěr

Byly provedeny odběry vzorků ultrajemných částic, které se uvolnily při otěru brzdových destiček s následnou analýzou. Stanovení chemického složení bylo provedeno metodou ICP-MS V odebraných vzorcích se prokázala přítomnost kovů Al, Cr, Cu, Fe, Zn, Pb a Co. Měď nad ostatními prvky převažovala. Vzorkování bylo doplněno o monitoring částic s využitím metody založené na elektrické mobilitě částic. Prováděné experimenty z otěru brzdových destiček ukázaly, že se do vzduchu dostávají částice menší než 100 nm. Ukazuje se tedy, že brzdné procesy představují zdroj kontaminace ovzduší nanočásticemi a to i takovými, které nejen svou velikostí, ale i chemickým složením představují potenciální riziko pro zdraví.

## Literatura

- [1] NOHAVICA, D. Rizika nanomateriálů a nanotechnologií pro lidské zdraví a životní prostředí [online]. 2011 [cit. 2014-09-1]. Dostupné z: [https://moodle.fp.tul.cz/nano/pluginfile.php/1401/mod\\_resource/content/1/nohavica-clanek-o-nanotoxicite.pdf](https://moodle.fp.tul.cz/nano/pluginfile.php/1401/mod_resource/content/1/nohavica-clanek-o-nanotoxicite.pdf).
- [2] KALIČÁKOVÁ, Z., et al. Urban Air Pollution by Nanoparticles in Ostrava Region [online]. 2013 [cit. 2014-09-24]. Dostupné z: <http://iopscience.iop.org/1742-6596/429/1/012005?fromSearchPage=true>.
- [3] SKREHOT, Petr; RUPOVÁ, Marcela. Nanobezpečnost. 1. vyd. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2011. 230 s. ISBN 978-80-86973-89-0.
- [4] ŠUTA, Miroslav. Účinky výfukových plynů z automobilů na lidské zdraví. 1. Brno: Český a Slovenský dopravní klub, 1996. 40 s. ISBN 80-901339-4-0.
- [5] ADAMEC, Vladimír. Doprava, zdraví a životní prostředí: III. česko-slovenská konference: Litomyšl, 4. - 5. listopadu 2008 [online]. Brno: Centrum dopravního výzkumu, 2008 [cit. 2014-9-17]. ISBN 9788086502540 ISSN 978-80-86502-54-0.
- [6] KUKUTSCHOVÁ, J., V. ROUBÍČEK, K. MALACHOVÁ, Z. PAVLÍČKOVÁ, R. HOLUŠA, J. KUBAČKOVÁ, V. MIČKA, D. MACCRIMMON a P. FILIP. Wear mechanism in automotive brake materials, wear debris and its potential environmental impact [online]. [cit. 2014-9-16].
- [7] DLOUHÁ, B. Azbest – vliv na zdraví. In: [online]. 2012 [cit. 2014-08-31]. Dostupné z: [http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/ovzdusi/konz\\_dny\\_a\\_seminare/2012/2\\_dlouha\\_azbest\\_vliv\\_na\\_zdravi.pdf](http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/ovzdusi/konz_dny_a_seminare/2012/2_dlouha_azbest_vliv_na_zdravi.pdf).
- [8] ROGGLI, Victor L. a Arnold R. BRODY. Changes in Numbers and Dimensions of Chrysotile Asbestos Fibers in Lungs of Rats Following Short-Term Exposure. *Experimental Lung Research* [online]. 1984, vol. 7, issue 2, s. 133-147 [cit. 2014-08-31]. DOI: 10.3109/01902148409069674. Dostupné z: <http://informahealthcare.com/doi/abs/10.3109/01902148409069674>.
- [9] RIEDIKER, Michael, DEVLIN, Robert, GRIGGS, Thomas R., HERBST, Margaret, BROMBERG, Philip, WILLIAMS, Ronald, CASCIO, Wayne. Wear mechanism in automotive brake materials, wear debris and its potential environmental impact: Reported vs expected number of cases from 1975 to 2007. *Particle and Fibre Toxicology*. 2009, vol. 1, issue 1, s. 2.
- [10] BERNSTEIN, David M., Rick ROGERS, Rosalina SEPULVEDA, Peter KUNZENDORF, Bernd BELLMANN, Heinrich ERNST a James I. PHILLIPS. Evaluation of the deposition, translocation and pathological response of brake dust with and without added chrysotile in comparison to crocidolite asbestos following short-

- term inhalation: Interim results. *Toxicology and Applied Pharmacology*. 2014, vol. 276, issue 1, s. 28-46.
- [11] VAŠÁK, Radovan. Problematika asbestu a jeho vliv na životní prostředí. Zlín, 2007. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [12] VIRTA, R.L., 2005, Mineral commodity profiles—Asbestos: U.S. Geological Survey Circular 1255–KK, 56 p.
- [13] SHUPERT, Lindsay A., Stephen D. EBBS, John LAWRENCE, David J. GIBSON, Peter FILIP, Paul K. SCOTT a David A. GALBRAITH. Dissolution of copper and iron from automotive brake pad wear debris enhances growth and accumulation by the invasive macrophyte *Salvinia molesta* Mitchell: Reported vs expected number of cases from 1975 to 2007. *Chemosphere*. 2013, vol. 92, issue 1, s. 45-51.
- [14] WAHLSTRÖM, Jens, Robert B DEVLIN, Thomas R GRIGGS, Margaret C HERBST, Philip A BROMBERG, Ronald W WILLIAMS, Wayne E CASCIO, D. MACCRIMMON a P. FILIP. Towards a cellular automaton to simulate friction, wear, and particle emission of disc brakes: Reported vs expected number of cases from 1975 to 2007. *Wear*. 2014, vol. 313, 1-2, s. 75-82.
- [15] HINDS, William C. *Aerosol technology: properties, behavior, and measurement of airborne particles*. 2nd ed. New York: John Wiley, c1999, 483 s. A Wiley-Interscience publication. ISBN 04-711-9410-7.
- [16] Faux SP, Tran CL, Miller BG, Jones AD, Monteiller C. & Donaldson K (2003) In vitro determinants of particulate toxicity: the dose-metric for poorly soluble dusts. Produced by the Institute of Occupational Medicine, published by the Health and Safety Executive.
- [17] SCIENTIFIC COMMITTEE ON EMERGING AND NEWLY IDENTIFIED HEALTH RISKS. In: SCIENTIFIC COMMITTEE ON EMERGING AND NEWLY IDENTIFIED HEALTH RISKS [online]. 2006 [cit. 2014-09-24]. Dostupné z: [http://ec.europa.eu/health/ph\\_risk/committees/04\\_scenihhr/docs/scenihhr\\_o\\_003b.pdf](http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihhr/docs/scenihhr_o_003b.pdf).
- [18] Nanotechnologie a nanomateriály. In: Nanotechnologie a nanomateriály [online]. 2009 [cit. 2014-09-24]. Dostupné z: [http://www.khsova.cz/01\\_aktuality/nanotechnologie.php?datum=2009-03-18](http://www.khsova.cz/01_aktuality/nanotechnologie.php?datum=2009-03-18).
- [19] VACULÍK, Miroslav. *Automotive Brake Dynamometer LINK M2800*. Ostrava, 2014.
- [20] Scanning Mobility Particle Sizer™ SPectroMeter (SMPS) Model 3936. TSI [online]. 2013 [cit. 2014-09-26]. Dostupné z: [http://www.tsi.com/uploadedFiles/\\_Site\\_Root/Products/Literature/Spec\\_Sheets/SMPS3936-3034.pdf](http://www.tsi.com/uploadedFiles/_Site_Root/Products/Literature/Spec_Sheets/SMPS3936-3034.pdf).
- [21] DILUTION SYSTEM MODEL 3332. 2014. Dostupné z: [http://www.tsi.com/uploadedFiles/\\_Site\\_Root/Products/Literature/Application\\_Notes/3332\\_Dilution\\_System\\_Appnote\\_3332-001-web.pdf](http://www.tsi.com/uploadedFiles/_Site_Root/Products/Literature/Application_Notes/3332_Dilution_System_Appnote_3332-001-web.pdf).
- [22] Sampler Nano-ID™ Select. <http://www.naneum.com/> [online]. 2010 [cit. 2013-09-25]. Dostupné z: <http://www.naneum.com/products/particle-measurement/samplers/nano-id-select.html>.
- [23] Wide Rande Aerosol Sampling System: Nano ID Select 005. Canterbury, 2009.
- [24] MIHALJEVIČ, MARTIN, LADISLAV STRNAD a ONDŘEJ ŠEBEK. VYUŽITÍ HMOTNOSTNÍ SPEKTROMETRIE S INDUKČNĚ VÁZANÝM PLAZMATEM V GEOCHEMII. *Chemické listy*. 2004, č. 98. Dostupné z: [http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2004\\_03\\_02.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2004_03_02.pdf).

### **Poděkování**

*Tato práce vznikla jako součást řešení projektů SP2014/205 a COST CZ LD 14041.*

## **The release of ultrafine particles during braking processes under controlled laboratory conditions**

**Zdeňka Kaličáková, Pavel Danihelka, Jana Kukutschová, Vendula Drastichová,  
Vladimír Mička, Šárka Bernatíková**  
*VSB Technical University of Ostrava*  
*Lumírova 13, 700 30, Ostrava – Výškovice*  
e-mail: zdenka.kalicakova@vsb.cz

### **Abstract**

Vehicular traffic is one of the main sources of air pollution in urban areas, which cause significant amounts of various substances emissions released in the air. Obviously the dust particles, particularly particles smaller than 0.1 micron in diameter, may be the most important in terms of adverse health effect, whether they originate from any sort of pollutants produced by transportation, i.e. the exhaust gases of motor vehicles, brake pad abrasion, abrasion of automobile paint, abrasion of tires. Experiments performed on wear of brake pads have shown that particles smaller than 100 nm are released in the air in considerable quantity. Taking into account the nanoparticles properties and behaviour, in particular their low settling velocity and remaining in the air for a long time can conclude in their significant contribution to air pollution in areas with high traffic density. As a result of air pollution are potential health risk to the exposed population, the particles concentration, size and their composition is undoubtedly related to the possible effects of particulate matter on human health and possible health risks.

The aim of the project is to determine the number concentration, particle size distribution and perform chemical analyzes of individual fractions of the emissions from automotive brake pads dynamometer friction testing.

# Problémová místa vybraných protihlukových clon

Kristýna Neubergová, Iva Šturmová, Jan Michek, Vladimír Faltus

Ústav dopravních systémů, ČVUT v Praze Fakulta dopravní

Horská 3, 120 00 Praha 2

e-mail:neubergova@fd.cvut.cz

## Abstrakt

Příspěvek pojednává o hluku z dopravy a možnostech jeho eliminace prostřednictvím protihlukových clon. Protihlukové clony patří mezi nejběžnější opatření vedoucí ke snížení hluku z dopravy, a to jak z dopravy silniční, tak také železniční. Účinnost protihlukových clon je však mnohdy snižována jejich nevhodnou konstrukcí, chybami při výstavbě nebo třeba jen otevřenými únikovými dveřmi. V příspěvku jsou nejprve obecně charakterizována problémová místa protihlukových clon. V dalším textu jsou pak podrobně popsány čtyři protihlukové clony v Praze a Středních Čechách, u kterých proběhla měření hladiny akustického tlaku. Jedná se o protihlukovou stěnu podél dálnice D1 v obci Průhonice a protihlukový val podél dálnice D1 v městské části Praha – Újezd (Kateřinky). Dále bylo měření hladiny akustického tlaku provedeno podél komunikace Jižní spojka (č. silnice 29) v Praze v oblasti sídliště Spořilov I v úseku s protihlukovou stěnou. Poslední lokalitou měření, která je v příspěvku uvedena, je obec Loděnice. Zde probíhalo měření podél dálnice D5 v místě s protihlukovou stěnou a posuzovány byly hodnoty se zavřenými a otevřenými únikovými dveřmi. Příspěvek je doplněn fotodokumentací znázorňující místa měření a poukazující na nedostatky stěn.

## 1. Úvod

Hluk, který lze chápat jako každý zvuk, který nás obtěžuje či nám škodí, v našem prostředí stále narůstá. Zdroje hluku lze rozdělit do čtyř skupin, a to na hluk dopravní, hluk v pracovním prostředí, hluk související s bydlením a hluk související s trávením volného času. A právě doprava se na mnoha místech dnes stává zdrojem hluku dominantním.

Možností, jak dopravní hluk aspoň částečně eliminovat, je celá řada. Obecně lze protihluková opatření rozdělit na aktivní a pasivní. Zatímco aktivní opatření se snaží vzniku hluku zabránit, opatření pasivní omezují šíření hluku, který již vznikl.

Mezi aktivní protihluková opatření řadíme opatření urbanistická, architektonická, dále pak opatření dopravně - organizační a opatření technická. Pasivní protihluková opatření, jak již bylo řečeno, snižují až vzniklý hluk. Uplatní se tedy tam, kde již nemáme jinou možnost, jak hlukovou zátěž v daném místě snížit. Jedná se zpravidla o stavby, které jsou umístěny mezi zdrojem a příjemcem, tedy především o výstavbu protihlukových clon. A právě účinností protihlukových clon se zabývá tento příspěvek.

## 2. Protihlukové clony

První zmínky o protihlukových opatřeních se datují již do poloviny dvacátého století, tedy do doby, kdy se začíná rozvíjet fenomén automobilismu. Ve Spojených Státech Amerických začaly první protihlukové stěny vznikat jako odpověď na zákon o ochraně přírody NEPA v roce 1969 [2], kdy státní i federální vláda nechávaly

budovat protihlukové stěny, které měly za cíl snižovat dopravní hluk v rezidenčních čtvrtích.

V České republice byly již v roce 1977 stanoveny hygienické limity hluku, a to vyhláškou MZ č.13/1977 Sb., ta byla později nahrazena nařízením vlády č. 502/2000 Sb. Největší rozvoj protihlukových opatření na našem území se datuje do 90. let 20. století, kdy vyrostla řada protihlukových stěn, jak kolem silniční, tak i železniční sítě. U železnic byl boom způsoben především modernizací železničních tratí. Druhým mezníkem byl rok 2006, kdy bylo novelizováno stávající nařízení vlády a přijato nařízení vlády č. 148/2006 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, kterým byly stanoveny nejvyšší přípustné hygienické limity hluku v chráněném vnitřním prostoru staveb, chráněném venkovním prostoru staveb a chráněném venkovním prostoru. Toto nařízení vlády bylo poté v roce 2011 opět novelizováno (č. 272/2011 Sb.).

Při realizaci protihlukových clon je třeba dbát na celou řadu podmínek a konstrukčních požadavků, mezi něž patří:

- výška stěny,
- plošná hmotnost nejméně  $10 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ,
- uzavřená plocha bez větších otvorů, mezer, apod.,
- u dlouhých stěn musí být navrženy a realizovány únikové otvory,
- musí se respektovat uložení inženýrských sítí (případně je přeložit),
- v neposlední řadě je dbáno na architektonické řešení stěny.

Ne vždy však původně správně projektovaná protihluková stěna plní dobře svou funkci. Důvodů může být celá řada. U protihlukových stěn z akrylátů je to například i vandalismus a poškození průhledných panelů. S vandalismem souvisí také časté krádeže zavíracího mechanismu u únikových dveří. Proto také jeden z prezentovaných příkladů demonstruje měření s otevřenými a zavřenými únikovými dveřmi. Mezi další závady pak patří nevhodná konstrukce při umístění stěny na mostech nebo nevhodná konstrukce samotné stěny, to je opět jeden z dále uváděných příkladů. Do kategorie nevhodné konstrukce spadá také využití gabionů, viz příklad z Průhonic u dálnice D1. Také situování průchodů protihlukovým valem může velmi negativně ovlivnit akustickou situaci v okolí. To je příklad tolik diskutovaného valu v Praze Kateřinkách, kde průchod pro pěší ústí přímo proti obytné zástavbě, a výrazně tak snižuje jeho účinnost.

### 3. Výsledky měření vybraných protihlukových clon

V letech 2010 až 2013 probíhal v rámci Programu TIP – MPO, projekt FR – TI2/601 Systém analýzy a vizualizace hlukových polí. V následujícím textu jsou uvedeny a okomentovány výsledky vybraných měření, která v rámci projektu proběhla.

#### 3.1 Lokalita Spořilov

Měření hladiny akustického tlaku bylo provedeno u komunikace Jižní spojka (č. silnice 29) v Praze v oblasti sídliště Spořilov I v úseku s protihlukovou stěnou.

Stěna, jejíž celková délka je 755 m, je zhotovená z betonových panelů, které jsou naskládány na sebe. Mezi jednotlivými částmi protihlukové stěny se nachází dobře viditelné mezery, které umožňují pronikání hluku způsobeného provozem dopravy na komunikaci za protihlukovou stěnu (viz obr. 1).

Měření bylo provedeno 18. 11. 2012 a celkem byla provedena 3 měření po 20ti minutách. K měření byl využit zvukoměr Norsonic Precision Sound Analyzer

Nor 140. Mikrofon byl umístěn na stativu ve výšce 2 m nad terénem ve vzdálenosti cca 22 m od protihlukové clony.

Tab. 1: Naměřené hodnoty (Norsonic Nor 140)

Měření	Čas	LAeq,T [dB]	Intenzita dopravy v době měření Celkem/nákladní
1. měření	10:56:00-11:15:59	55,6	3438/105
2. měření	11:16:01-11:36:00	56,3	3603/87
3. měření	11:36:02-11:56:01	56,0	3621/87

Zdroj: [autoři]

Obr. 1: Pohled na stěnu s patrnými spárami



Zdroj [autoři]

Pro kvalifikované porovnání naměřených hodnot s hygienickými limity by bylo třeba provádět měření delší dobu, nicméně lze konstatovat, že vzhledem k umístění protihlukové stěny i její vzdálenosti od obytné zástavby nejsou limity pro starou hlukovou zátěž podle nařízení vlády č. 272/2011Sb. překročeny. Nicméně vhodná konstrukce stěny by výrazně zvýšila také její účinnost.

### 3.2 Lokalita Průhonice

Měření bylo provedeno podél dálnice D1 v obci Průhonice. Sledovaná protihluková stěna je umístěná vpravo ve směru jízdy z Prahy do Průhonic a slouží tak k ochraně sídliště v Průhonicích a na ochranu objektů v Třešňové ulici. V celé délce protihlukové stěny je dálnice v základním uspořádání šestipruhová, směrově rozdělená s přídatnými pruhy pro odbočení a připojení. Protihluková stěna je řešená v několika provedeních vzhledem k místním podmínkám. Měření probíhala v úseku mezi km 5,529 – 5,839, kde je součástí PHC gabionová zeď. Výška stěny je zde min. 7 m až 8 m nad niveletou dálnice.

Měření, které probíhalo dne 16. 11. 2012, bylo provedeno synchronně dvěma zvukoměry - zvukoměrem Norsonic Nor 140 a zvukoměrem Brüel&Kjær 2260. Mikrofon zvukoměru Norsonic Nor 140 byl umístěn na stativu ve výšce 2 m nad terénem ve vzdálenosti 4 m od protihlukové clony. Zvukoměr Brüel&Kjær 2260 byl umístěn na stativu ve výšce 1,5 m nad zemí ve vzdálenosti 40 m od prvního

zvukoměru. Rozdílné výšky mikrofону byly způsobeny dostupným vybavením pro měření. Navíc při měření ve vzdálenosti 40 m hrálo roli také převýšení terénu, takže výška mikrofónů nad terénem byla v obou případech v zásadě shodná.

Tab. 2: Naměřené hodnoty (Norsonic Nor 140)

Měření	Čas	LAeq,T [dB]	Intenzita dopravy v době měření Celkem/nákladní
1. měření	11:37:07-11:57:06	60,5	5481/819

Zdroj [autoři]

Tab. 3: Naměřené hodnoty (Brüel&amp;Kjær 2260)

Měření	Čas	LAeq,T [dB]	Intenzita dopravy v době měření Celkem/nákladní
1. měření	11:38:01-11:58:02	56,8	5481/819

Zdroj [autoři]

Obr. 2: Pohled na stěnu a měřicí místo



Zdroj [autoři ]

Výsledky měření ukazují relativně vyšší hodnoty u tohoto typu protihlukové stěny, ekvivalentní hladina akustického tlaku samozřejmě klesá se vzdáleností, v tomto konkrétním případě je rozdíl v hodnotách 3,7 dB.

### 3.3 Lokalita Kateřinky

Lokalita se nachází v blízkosti dálnice D1 v místě městské části Praha – Újezd, část Kateřinky. Dálnice je v místě měření řešená jako šestipruhová komunikace směrově rozdělená. Zemní val, který tvoří pasivní ochranu obyvatel před negativními dopady automobilové dopravy, je situován vlevo ve směru Praha-Brno. Těleso zemního valu má výšku 9 m, šířku koruny 3 m a šířku v patě násypu 30 m.

V ose koruny valu byla ještě navrhována protihluková stěna ve výšce 3 m, ta však dosud nebyla realizována a obyvatelé vyšších nadzemních podlaží jsou obtěžováni nadměrným hlukem. Na tělese zemního valu jsou provedeny sadové úpravy.

Kromě chybějící protihlukové stěny je dalším problémem, se kterým se místní obyvatelé potýkají, zvýšená hladina akustického tlaku v místě podchodu valem (viz obr. 3). Měření probíhala synchronně dvěma hlukoměry, kdy se měřilo jak v místě průchodu, tak i v místě, kde val přerušen není.

Měření bylo provedeno dne 18. 11. 2012 a oba zvukoměry byly umístěny ve stejné vzdálenosti 20 m od paty zemního valu. Mikrofon zvukoměru Norsonic Nor 140 byl umístěn na stativu ve výšce 2 m nad terénem v místě podchodu pod zemním valem. Zvukoměr Brüel&Kjær 2260 byl umístěn na stativu ve výšce 1,6 m nad terénem v místě plného valu.

Tab. 4: Naměřené hodnoty (Norsonic Nor 140)

Měření	Čas	LAeq,T [dB]	Intenzita dopravy v době měření Celkem/nákladní
1. měření	12:59:04-13:19:03	55,1	3795/165
2. měření	13:19:05-13:39:04	55,7	3813/96

Zdroj [autoři]

Tab. 5: Naměřené hodnoty (Brüel&Kjær 2260)

Měření	Čas	LAeq,T [dB]	Intenzita dopravy v době měření Celkem/nákladní
1. měření	12:59:09-13:19:10	53,5	3795/165
2. měření	13:19:20-13:39:21	54,5	3813/96

Zdroj [autoři]

Rozdíl v hodnotách akustického tlaku mezi plným valem a místem u průchodu valem je zřejmý z výše uvedených tabulek. Tento rozdíl se pohyboval v rozmezí 1,2 až 1,6 dB, což není mnoho, přesto jsou obyvatelé v blízkosti podchodu, především pak obyvatelé bytového domu situovaného naproti podchodu, hlukem obtěžováni.

Obr. 3. Měření v místě podchodu valem



Zdroj [autoři]



zdroj [google.maps.cz]



### 3.4 Lokalita Loděnice

Měření bylo provedeno podél dálnice D5 v obci Loděnice. Sledovaná protihluková stěna je umístěná vlevo podél komunikace ve směru jízdy z Prahy na Beroun. V úseku s protihlukovou stěnou je komunikace čtyřproudová směrově rozdělená s rychlostním limitem 130 km/h. Protihluková stěna byla postavená v roce 2002 z pohltivých železobetonových panelů výšky 4 – 6 m. Celková délka protihlukové stěny činí 467 m a jsou zde situovány 4 únikové otvory. V této lokalitě probíhala měření před plnou stěnou a před zavřenými a otevřenými únikovými dveřmi.

Dne 12. 11. 2012 byla provedena 3 krátkodobá měření synchronně dvěma zvukoměry. Mikrofon zvukoměru Norsonic Nor 140 byl umístěn v místě únikových dveří ve výšce 2 m nad úrovní terénu a ve vzdálenosti cca 8 m od PHC. Druhý zvukoměr Brüel&Kjær 2260 byl umístěn ve vzdálenosti 81,5 m od prvního měřícího místa podél PHC. Zvukoměr byl ve výšce 1,4 m nad úrovní terénu ve vzdálenosti cca 9 m od PHC. Terén ve směru od prvního místa měření k druhému mírně stoupá.

Při prvním a třetím měření byly únikové dveře otevřené, při druhém měření byly únikové dveře zavřené.

Tab. 6: Naměřené hodnoty v místě únikových dveří (Norsonic Nor 140)

Měření	Čas	LAeq,T [dB]	Intenzita dopravy v době měření Celkem/nákladní
1. měření (otevřené únikové dveře)	9:54:41- 10:14:40	63,4	2502/486
2. měření (zavřené únikové dveře)	10:26:03- 10:46:02	59,7	2610/645
3. měření (otevřené únikové dveře)	10:57:55- 11:07:55	63,5	2442/570

Zdroj [autoři]

Tab. 7: Naměřené hodnoty v místě plné stěny (Brüel&Kjær 2260)

Měření	Čas	LAeq,T [dB]	Intenzita dopravy v době měření Celkem/nákladní
1. měření	9:54:40- 10:18:58	59,4	2502/486
2. měření	10:26:01- 10:46:02	59,6	2610/645
3. měření	10:57:48- 11:07:49	59,1	3438/570

Zdroj [autoři]

Z tabulek je jasně patrný rozdíl v hladinách akustického tlaku mezi situacemi se zavřenými a otevřenými únikovými dveřmi. Zatímco při zavřených dveřích byly hodnoty prakticky stejné, 59,6 resp. 59,7 dB, při otevřených dveřích dosahoval rozdíl až 4,4 dB, což už je hodnota vnímatelná lidským uchem.

Obr. 4: Měření při otevřených dveřích únikového východu



Zdroj [autoři]

Obr. 5: Měření před plnou protihlukovou stěnou



Zdroj [autoři]

#### 4. Závěr

Příspěvek shrnuje výsledky terénních měření ve čtyřech lokalitách s cílem poukázat na problémová místa protihlukových clon. Měření probíhala dvěma integrálními zvukoměry Norsonic Nor 140 a Brüel&Kjær 2260 a ukázala, že je klasickým měřením možné zachytit významné rozdíly v konstrukci clon. Například rozdíl v měření při zavřených a otevřených únikových dveřích činil až 4,4 dB. Také průchod protihlukovým valem se projevil zvýšením hladiny akustického tlaku, v lokalitě Kateřinky byly zjištěny rozdíly v hodnotách hladin akustického tlaku mezi plným valem a místem s podchodem cca 1,2 až 1,6 dB. Avšak „drobnější“ vady konstrukce stěny, například pouhým okem viditelné spáry mezi jednotlivými díly stěny, sice ovlivňují celkovou hodnotu akustického tlaku, avšak jednotlivosti není možné přímo detekovat. K vyhledávání akusticky slabých míst je pak potřeba využít sofistikovanějších měřicích přístrojů, například akustickou kameru.

## Literatura

- [1] NEUBERGOVÁ, K. Protihlukové stěny – jejich ztvárnění a estetické působení. In: Doprava. 2010, roč. 2010, č. 5, s. II-III. ISSN 0012-5520.
- [2] Noise barriers. General overview of concepts, costs and alternatives. In <http://www.th.gov.bc.ca/tran/>
- [3] Technické podmínky TP 104: Protihlukové clony pozemních komunikací. Praha: MD ČR, 2008, 162 s.
- [4] Zpráva projektu TIP Ministerstva průmyslu a obchodu ČR, FR – TI2/601 Systém analýzy a vizualizace hlukových polí, 2012

## Poděkování

*Tato práce vznikla jako součást řešení projektu FR – TI2/601 “Systém analýzy a vizualizace hlukových polí” Programu TIP – MPO.*

## Weaknesses of noise barriers

**Kristýna Neubergová, Iva Šturmová, Jan Michek, Vladimír Faltus**

*Department of Transport Systems, CTU in Prague Faculty of Transportation Science  
Horska 3, 120 00 Prague 2*

*e-mail:neubergova@fd.cvut.cz*

## Abstract

This paper describes the traffic noise and the possibilities of its elimination through noise barriers. Noise barriers belong to the most common tools used for the traffic noise reduction, both from road as well as rail transport. However, their effectiveness is often reduced by an improper design, mistakes in construction or just opening the emergency exit door. At the beginning of this paper, the weaknesses of the noise barriers are generally described. The following text reports in detail on four acoustic measurements conducted in Prague and Central Bohemia. The first two measurements were made along the D1 motorway. The first place was the noise barrier in the village Průhonice, the second place was the noise barrier in the part Újezd (Kateřinky) in Prague. The third locality where the sound level measurements took place was the noise barrier built along the South Link road (Highway No. 29) in Prague in the settlement Spořilov I. The last measurement location that is mentioned in this paper is the village Loděnice. Here the measurement along the motorway D5 in a place with a noise wall with closed and open exit door and escape was conducted. The paper is supplemented with photographs showing the measurement locations and referring to the drawbacks of the walls.

# **AIR PROGRES - Společná studie pro zachování životního prostředí zaměřená na zkoumání příčin zhoršené kvality ovzduší v československém příhraničí Moravskoslezského a Žilinského kraje**

**JANČÍK, P.<sup>1</sup>; BITTA, J.<sup>1</sup>; PAVLÍKOVÁ, I.<sup>1</sup>, ĎURČANSKÁ, D.<sup>2</sup>, JANDAČKA, D.<sup>2</sup>,  
DRLIČIAK, M.<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Institut environmentálních technologií, Vysoká škola báňská – Technická Univerzita  
Ostrava, 17. Listopadu 15/2172, 708 33 Ostrava*

*<sup>2</sup>Stavebná fakulta Žilinskej univerzity v Žiline,  
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina*

*petr.jancik@vsb.cz, daniela.durcanska@fstav.uniza.sk*

## **Abstrakt**

Hlavním cílem projektu AIR PROGRES bylo vytvořit společnou studii zaměřenou na zkoumání příčin zhoršené kvality ovzduší v příhraničním regionu Moravskoslezského a Žilinského kraje. Za tímto účelem byla vytvořena jednotná informační databáze, do které byla shromážděna a zpracována sociodemografická data, data o intenzitě dopravy, data o zdrojích znečišťování ovzduší, meteorologická a prostorová data. Na základě této jednotné databáze byl vytvořen model dopravy celého území a model rozptylu znečišťujících látek v ovzduší. Následně byla provedena analýza příčin zhoršené kvality ovzduší. Modelování bylo doplněno společným hraničním monitoringem kvality ovzduší na významných dopravních tazích, které spojují českou a slovenskou část zkoumaného území.





**ISBN 978-80-86502-85-4**