



IX. česko-slovenská konference

Doprava, zdraví a životní prostředí

sborník příspěvků

12. – 13. října 2020

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

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

pod záštitou

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

IX. česko-slovenská konference

Doprava, zdraví a životní prostředí

12. – 13. října 2020

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



Vědecký výbor:

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

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

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

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

Ing. 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)

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

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

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

Organizační výbor CDV:

Mgr. Ivo Dostál, Ing. Vilma Jandová, Ing. Vítězslav Křivánek, Ph.D., Bc. Hana Estefányi, Sabina Jánošíková

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

Editoři: Ing. Vilma Jandová, Mgr. Roman Ličbinský

Citace:

JANDOVÁ, V., LIČBINSKÝ, R., IX. česko-slovenská konference „Doprava, zdraví a životní prostředí“. Brno, 12. - 13. 10., 2020. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2020, 116 s. ISBN 978-80-88074-78-6

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

Zveřejněno 2022

Obsah sborníku:

1. HLUK	5
KŘIVÁNEK, V., POTUŽNÍKOVÁ, D., HELLMUTH, T., KRESL, D. Obrusné vrstvy se sníženou hlučností na pozemních komunikacích a jejich ekonomika	7
POTUŽNÍKOVÁ, D., HELLMUTH, T., JEŽO, E., KŘIVÁNEK, V. Nové přístupy v hodnocení zdravotních rizik expozice hluku z dopravy.....	15
DOLEJŠÍ, J., DOLEJŠÍ, J., MAJCHRÁKOVÁ, B. Technická seismická a strukturální hluk šířící se z dopravy – vliv na stavby	21
MARTOLOS, J., BERAN, D. Modelování hluku pomocí interaktivních webových nástrojů	30
BRET, O. Ukázka praktického využití akustické kamery pro lokalizaci zdrojů hluku u kolejové dopravy	35
2. OVZDUŠÍ	41
LIČBINSKÝ, R., HUZLÍK, J., ŠPIČKA, L. Vliv dopravy na kvalitu ovzduší	43
HUZLÍK, J., HEGROVÁ, J., EFFENBERGER, K., LIČBINSKÝ, R. Kvalita ovzduší v brněnských městských parcích: plynné škodliviny a PM_{10}	48
HEGROVÁ, J., EFFENBERGER, K., HUZLÍK, J., JANDOVÁ, V., LIČBINSKÝ, R. Měření kvality ovzduší v parcích města Brna: koncentrace Na a Ca ve vzorcích pevných částic	57
HELÁN, T., LIČBINSKÝ, R., SKERIL, R. Měření kvality ovzduší v dopravních lokalitách Brna	63
JANDAČKA, D., ĐURČANSKÁ, D. Sezónna variácia tuhých částic $PM_{2,5}$ a PM_1 v mestskom prostredí	72
ŠPIČKA, L., ČERVINKA, O., HEGROVÁ, J. Technický stav vozidla a emise.....	78
HAVLÍČKOVÁ, E., HEJKAL, Z., DUFEK, J., PELIKÁN, L. Národní emisní model dálniční a silniční sítě ČR.....	80

3. OSTATNÍ	83
MERTL, J. Indikátory zranitelnosti dopravy změnou klimatu	85
ANDĚL, P., HEGROVÁ, J., JANDOVÁ, V., EFFENBERGER, K., BUCKOVÁ, M. Vliv dopravy na lesní ekosystém v blízkosti zatížených komunikací	91
CHOLAVA, R. Open Science v dopravě – představení projektu BE OPEN.....	99
DOSTÁL, I., HAVLÍČEK, M., POPIASHVILLI, K. Ochrana konektivity krajiny Karpat v projektech TRANSGREEN a SaveGREEN	103
ROŽNOVSKÝ, J. Doprava a tepelný ostrov města.....	110

1. Hluk

Obrusné vrstvy se sníženou hlučností na pozemních komunikacích a jejich ekonomika

Vítězslav Krivánek¹, Dana Potužníková², Tomáš Hellmuth², David Kresl²

¹Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.
Líšeňská 33a, 636 00 Brno

²Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě
Partyzánské nám. 7, 702 00 Ostrava

e-mail: vitezslav.krivanek@cdv.cz, dana.potuznikova@zuova.cz

Abstrakt

V ČR se zatím nikdo nezabývá ekonomickým porovnáním běžných a nízkohlučných obrusných vrstev, jež se v poslední době začínají častěji uplatňovat. Jedním ze záměrů výzkumného projektu ROZVOZ (TL02000258 „Rozvoj území s využitím nízkohlučných vozovek) je využít získaná data na základě naměřených údajů metodou CPX o akustické charakteristice obrusných vrstev krytů vozovek pozemních komunikací a ty využít pro základní ekonomické zhodnocení – výpočty dopadů hluku pomocí kongescí a umožnit tak i přibližné hodnocení, kdy jsou nízkohlučné povrchy ekonomicky výhodné a kdy je případně vhodné uvažovat o jiném řešení při realizaci protihlukové ochrany. V článku jsou představeny základní parametry na základě úvodní pilotní studie, které je možné zahrnout do výpočtu včetně nastavení jednotlivých kritérií.

1. Úvod

Problematika hluku v oblasti silniční infrastruktury v Evropě patří dlouhodobě mezi klíčové problémy provozu na pozemních komunikacích z důvodu negativních vlivů hluku na životní prostředí a zdraví člověka. Hlučnost ze silniční dopravy závislá na intenzitě dopravního proudu, jeho složení a rychlosti a do značné míry je ovlivňována stavem komunikace, a to zejména stavem její obrusné vrstvy. Převládajícím zdrojem hluku je hluk generovaný kontaktem pneumatiky s vozovkou. U současných osobních vozidel vybavených spalovacím motorem hluk z kontaktu kolo-vozovka převládá již od rychlosti cca 40 km/h [1], u vozidel s elektromotorem již od rychlostí cca 20 km/h [2]. V rámci modelování se běžně řeší intenzita a složení dopravního proudu včetně rychlostí vozidel. Problematiku vlastností povrchu vozovek ve vztahu k hlučnosti se nově zabývá metodika CNOSSOS-EU, jejíž implementace a zavedení v národních podmínkách stále probíhá.

Dlouhodobě příznivého stavu lze dosáhnout kvalitním povrchem pozemní komunikace, kdy vlastní povrch z hlediska hlučnosti lze považovat za aktivní opatření směřující ke snížení nadměrné hlukové zátěže. V této oblasti se uplatňují obrusné směsi se sníženou hlučností, tzv. nízkohlučné povrchy, jejichž kvalitativní parametry jsou definovány v Technických podmínkách 259 [3] Ministerstva dopravy ČR a jsou označovány zkratkou „NH“ (nízkohlučný). Tato efektivnější eliminace hlukové zátěže z provozu na pozemních komunikacích přispívá k tomu, že již nemusí být realizována nákladná technická řešení pro snížení hluku (např. výstavba zvýšeného počtu protihlukových stěn, částečné obchvaty pozemních komunikací apod.). Je však finančně výhodné pokládat na všech místech povrchy se sníženou hlučností? V České republice se zatím nikdo relevantně nezabýval ekonomickým porovnáním běžných a nízkohlučných obrusných vrstev vozovek pozemních komunikací. Pro rozhodování o pokládce nízkohlučného povrchu je vhodné porovnat možnou úsporu

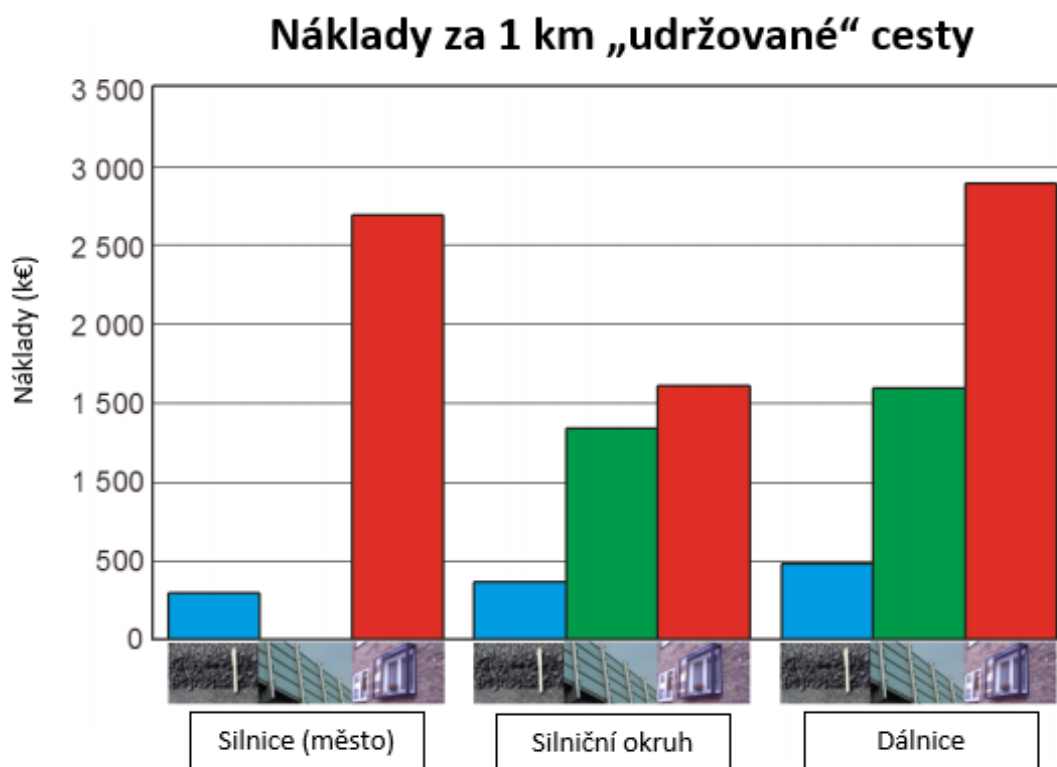
či vyšší nákladovost s běžně používanými povrchy v ČR, kdy se jedná například o obrusné směsi typu SMA 11 nebo ACO 11. (Vysvětlení: Označení číslice za zkratkou asfaltové směsi vždy udává nejvyšší zrno v dané asfaltové směsi uvedené v milimetrech. SMA je asfaltový koberec mastixový, ACO je asfaltový beton.)

2. Ekonomické hodnocení pozemních komunikací ve světě

V zahraničí se obecně ekonomickým hodnocením pozemních komunikací zabývalo více studií. Ve Velké Británii řešili v roce 2013 ekonomickou situaci údržby silnic [4], téhož roku byly na konferenci v Číně prezentovány výsledky hodnocení různých technologií údržby na základě jejich ekonomických aspektů [5]. Evropská studie [6] z roku 2014 řeší otázku údržby, která má vliv na ekonomické a bezpečnostní důsledky pozemních komunikací v Evropské unii. Studie zpracovaná v roce 2005 se [7] zabývala náklady pro povrch s dlouhou životností (40 let). Rozhodování na základě ekonomických parametrů bylo prezentováno na konferenci v USA roku 2015 [8], jednalo se ale o americké silnice.

Porovnáním nízkohlučného povrchu s protihlukovými stěnami (PHS) či individuálními protihlukovými opatřeními (IPO, např. protihluková okna) se zabývala studie z roku 2015 [9], ze které vyplynulo, že nízkohlučný povrch vyjde v porovnání s ostatními zmíněnými řešeními ekonomicky nejlépe, viz Obr. 1. Je zřejmé, že nejnákladnější jsou IPO, tzn. protihluková okna a také, že do měst se PHS spíše neinstalují.

Obr. 1: Náklady tří opatření (zleva: NH povrch, PHS, IPO) na různě lokalizovaných pozemních komunikacích [9].



3. Možnosti ekonomického hodnocení v ČR

Ekonomická analýza může sloužit jako jeden z podkladů pro rozhodování o konkrétní realizaci, protože s její pomocí může být nalezeno ekonomicky nejefektivnější řešení v daném místě komunikace. Celková ekonomická situace zahrnuje finanční náklady na stavební práce, které se přímo týkají obrusných vrstev, a také finanční dopady hluku z dopravy na obyvatelstvo, tzv. externality.

3.1. Stavební náklady

Pro ekonomické porovnání stavebních prací je vhodné vybrat fáze, kterými se od sebe liší běžně používané asfaltové směsi a směsi se sníženou hlučností. Je zřejmé, že při budování nové komunikace budou náklady až na vrchní obrusnou vrstvu stejné. Ceny jsou ovšem značně ovlivněné dodavatelem asfaltové směsi (obalovny jsou rozmístěné po celé ČR, avšak zatímco běžnou směs SMA 11 nabízejí pravděpodobně všechny obalovny, nízkohlučnou směs SMA 8 NH dodává jen omezený počet výrobců), množstvím prací (čím je menší plocha vozovky určená k práci, tím je cena za m² vyšší), slevami (dlouhodobá spolupráce) atd. Z těchto důvodů pro základní a prvotní ekonomický výpočet ceny vlastní realizace obrusné vrstvy pozemní komunikace je vhodné využít „Oborový třídník stavebních konstrukcí a prací staveb pozemních komunikací“ (OTSKP-SPK) [10] z dubna 2018, který udává průměrné ceny za dané konkrétní práce na stavbách Ředitelství silnic a dálnic ČR.

Cena se odvíjí také od samotné životnosti vozovky a obrusné vrstvy. Ze zkušeností získaných v průběhu mnoha let vyplývá, že životnost celé konstrukce vozovky je v ČR cca 25 let. Životnost vrchní obrusné vrstvy je ovšem mnohem kratší. Běžnou obrusnou vrstvu je potřeba za životnost vozovky obměnit dvakrát, její životnost se pohybuje kolem 12ti let. K podobnému zjištění došli výzkumníci také v Řecku, kde odhadli životnost vrstvy SMA (tl. 6–8 cm) na 8–12 let [11]. Životnost obrusných vrstev se sníženou hlučností je nižší, pro výpočet lze uvažovat přibližně 8 let, a tudíž je potřeba ji vyměnit třikrát za životnost vozovky.

Obecně lze uvažovat minimálně následující nákladové položky:

- Pokládka. Do cen za pokládku je zahrnuta cena asfaltové směsi (vyrobené v obalovně), dodání směsi na místo určení (doprava z obalovny na staveniště), očištění podkladu (ložní vrstvy), uložení směsi a její zhutnění (finišery a válcování), úprava napojení a ukončení (spáry, spoje, obrubníky) i odvodňovačů apod. Ceny jsou uvedeny v OTSKP-SPK ve stavebním dílu SD.57 Vozovkové vrstvy [10].
- Vodorovné dopravní značení. Mezi vodorovné dopravní značení se zahrnují různé směrové šipky, přechody pro chodce, nápisy na vozovce, značky apod. Pro určení ceny za toto značení je potřeba znát parametry pozemní komunikace, především šířku a účel komunikace [12, 13]. Druhy vodorovného dopravního značení používaného v ČR jsou uvedeny v TP 133 [14]. Cenu za dodávku a pokládku vodorovného dopravního značení lze nalézt v OTSKP-SPK SD.91 Doplnkové konstrukce a práce na PK a mostech, konkrétně položka 915 [10].
- Údržba. Údržbu jako takovou lze rozdělit na provozní a stavební. Provozní zahrnuje kontrolu stavu a případnou běžnou údržbu (např. čištění, solení, prořezy). Stavební je možné rozdělit na údržbu ze stavebního pohledu (např. zálivky trhlín, lokální vysprávký), opravy a rekonstrukce. Pro základní výpočet je uvažována jen provozní údržba, a to konkrétně

čištění vozovky, jelikož v tom se od sebe běžný a nízkohlučný povrch pozemní komunikace liší (tj. není např. uvažována zimní údržba – solení, aj.). U NH povrchů je pravidelné čištění velice důležité pro zachování co nejdélejší akustické účinnosti. Tyto povrchy mají vždy vyšší mezerovitost a s tím spojené riziko vyššího zanášení mezer nečistotami. Provádí se proto strojní tryskové či jiné vhodné čištění. Částečná obnova účinku snížené hlučnosti (zvýšení akustického útlumu) obrusných vrstev se sníženou hlučností na českých komunikacích se dle provedených měření po čištění může pohybovat v rozmezí 0,3–2,0 dB dle míry znečištění a opakování čistících procedur [15]. Ceník za očištění asfaltových vozovek je k nalezení v OTSKP-SPK SD.93 Dokončovací konstrukce a práce, konkrétně položka 938 [10].

- Frézování. Životnost obrusné vrstvy vozovky je nižší než životnost celé vozovky. Pro výměnu povrchu je potřeba stávající povrch odstranit a poté položit nový. Odstranění se provádí frézováním. Dává se přednost frézování za studena. V ceně za frézování uvedené v OTSKP-SPK SD.11 Přípravné práce (a přidružené) v položce 113 je započítaná veškerá manipulace s kamenivem získávaným zpracováním anorganického materiálu použitého předtím ve stavbě včetně uložení na skládku. Poplatky za skládku jsou individuální a ani OTSKP-SPK je nezmiňuje (resp. uvádí jako 0 Kč) [10]. Na ceně se navíc podílí také cena za likvidaci odpadů (SD.01 Smluvní požadavky, položka 015). Pro potřeby výpočtu není vhodné brát v úvahu případnou návratnost vyfrézované směsi jako R-materiálu do nové směsi. Znovupoužitím vyfrézované směsi jako R-materiálu se může sice ušetřit na nákladech za běžnou asfaltovou směs, ale do obrusných směsí se sníženou hlučností se používat nesmějí [3].
- Dopravně-inženýrská opatření. Při různých cyklech oprav a jejich celkovém počtu je nutné počítat i se stavební úpravou na silnici a řešení přechodné dopravní situace na pozemních komunikacích. Způsob uzavírky nebo omezení je závislý na kategorii a umístění pozemní komunikace. U vícepruhových komunikací lze snížit počet průjezdných pruhů, u komunikací s jedním pruhem v každém směru, pokud není nutná úplná uzavírka a objížďka, je možné dopravu řídit kyvadlově, pomocí semaforu. Cenu provizorního/mobilního dopravního značení lze nalézt v OTSKP-SPK SD.91 Doplňkové konstrukce a práce na PK a mostech, konkrétně položka 916.

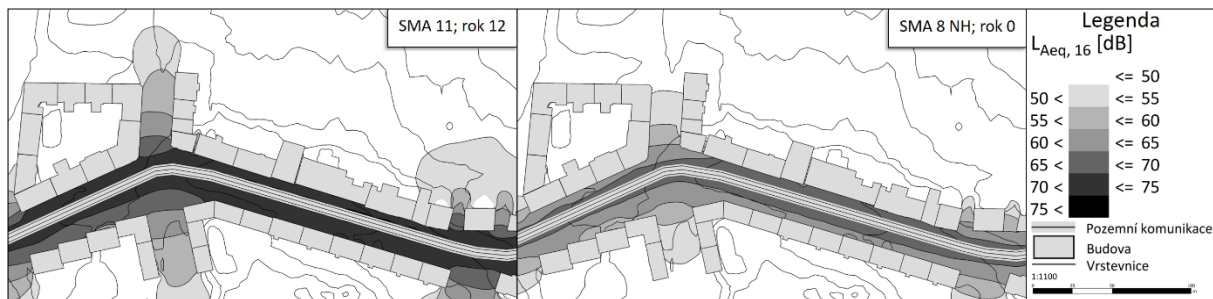
3.2. Externality

Do celkového ekonomického hodnocení je potřeba započítat nežádoucí dopady (vliv hluku na obyvatelstvo, tvorba kolon, aj.) V ekonomické terminologii se jedná o externalitu – činnost jednoho subjektu působí ztrátu (změnu) blahobytu druhému subjektu a tato ztráta (změna) blahobytu není kompenzována, přičemž se jí nelze z podstaty vyhnout. Externality jsou považovány za jednu z forem tržního selhání, které zabraňuje efektivní alokaci zdrojů, neboť tržní ceny v takové situaci neodrážejí celkové společenské náklady nebo přínosy.

V rámci hodnocení provozu po pozemních komunikacích a porovnání různých konstrukčních obrusných vrstev na dané pozemní komunikaci se lze zabývat především dopady na lidské zdraví vlivem nadměrné hlukové zátěže a časovými dopady na realizaci těchto obrusných vrstev. Lze tedy uvažovat o následujících položkách pro ekonomické hodnocení:

- **Hluková zátěž.** Na základě znalosti zatížení obyvatelstva hlukem v jednotlivých pásmech pro danou hodnocenou oblast, ukázka viz Obr. 2, lze pro konkrétní ekonomické vyčíslení využít českou certifikovanou metodiku i evropskou studii, které slouží k hodnocení environmentálních kritérií v oblasti negativních vlivů dopravy na životní prostředí a obyvatelstvo z hlediska nadměrné hlukové zátěže. Česká metodika [16] vyhodnocuje dopady na obyvatelstvo pomocí tří indikátorů: obtěžování hlukem, rušení spánku a kardiovaskulární nemoci – riziko infarktu myokardu. Ocenění expozice hluku je řešeno po 1 dB (každý další decibel s sebou nese vyšší náklady). Ocenění je uváděno v Kč/osoba/rok pro cenovou úroveň roku 2010. Publikace EU [17] vyhodnocuje dopady na obyvatelstvo jako náklady za obtěžování a zdravotní náklady (náklady se sečtou). Ocenění expozice hluku je řešeno po 5 dB, konkrétně v hladinách 50–54 dB, 55–59 dB, 60–64 dB, 65–69 dB, 70–74 dB a ≥ 75 dB.

Obr. 2: Srovnání vypočtené hlukové mapy pro nový nízkohlučný povrch (SMA 8 NH) a běžný povrch (SMA 11).



- **Dopravní zpoždění.** Studie [18] zahrnuje data z členských států EU. Kongesce zde zahrnují náklady na samotné zpoždění a sociální náklady. Jsou však počítané na vzdálenost, konkrétně v eurech či eurocentech na km, tj. vozový kilometr, který vyjadřuje přemístění 1 vozidla na vzdálenost 1 kilometr. Studie [19] udává náklady na kongesce přímo v českých korunách za hodinu.

5. Závěr

Byť většina stavebních nákladů hovoří proti nízkohlučným povrchům, které musejí být i častěji obnovovány, tj. v rámci externalit dochází k častější tvorbě kolon, tak na druhou stranu roční náklady dopadů hluku na zdraví v ČR i v rámci EU jsou velmi významné a představují nezanedbatelnou položku. Provedená pilotní studie realizovaná v rámci projektu ROZVOZ [21] tvoří jen úvod do problematiky v podmínkách ČR a bude vhodné ji podrobněji a konkrétněji rozpracovat, popřípadě se zabývat nastavením jednotlivých kritérií.

Náš stát ročně vynakládá na škody způsobené hlukem z dopravy miliardy korun ročně, což je v souladu se závěry dokumentu EU [18], který uvádí, že celkové náklady EU28 (pro hodnotu Eura roku 2016) na řešení negativních dopadů hluku z pozemní dopravy jsou 57,1 bilionů Euro ročně – z toho činí osobní doprava 42,6 bilionů Euro a nákladní 14,5 bilionů Euro. Zpráva EEA [20] uvádí, že celodenním hlukem ($L_{den,24h}$) z dopravy převyšujícím 55 dB je v EU obtěžováno 140 milionů lidí. Převážná většina obyvatel (113 milionů, což je přes 80 %) je ovlivňována hlukem z provozu na pozemních komunikacích. Podle serveru

<https://noise.eea.europa.eu/> má ČR celkem 1 640 700 obyvatel obtěžovaných nočním hlukem ($L_{n,8h}$) vyšším než 50 dB. Hlukem ze silničního provozu je pak obtěžováno 1 413 000 obyvatel, což je přibližně 86 % všech hlukem obtěžovaných obyvatel. Počet obtěžovaných obyvatel hlukem vyšším než 55 dB v průběhu celého dne ($L_{den,24h}$) dle stejného zdroje je v ČR celkem 2 772 900 obyvatel, kdy hlukem ze silničního provozu je pak obtěžováno 2 493 400 obyvatel, což je téměř 90 % všech hlukem obtěžovaných obyvatel.

Na základě těchto čísel je zřejmé, že má smysl se zabývat po ekonomické stránce srovnáním běžné obrusné směsi a obrusné směsi se sníženou hlučností. V rámci odborných konzultací s ŘSD a srovnávacích výpočtů, které vycházely pro modelový příklad kritického místa obdobně, bylo upřednostněno používání platných českých certifikovaných metodik na ocenění hluku a ztrátového času. Pro ocenění hluku je velmi významné, jak ukazuje Obr. 2, v jakém stavu (stáří) je pozemní komunikace, což značně ovlivňuje hluk šířící se do okolí a tím dochází i k celkovému ovlivnění ekonomického výpočtu [20].

Literatura:

- [1] Sandberg, U., Ejsmont, J.A.: Tyre/road Noise Reference Book. Kisa, Sweden: INFORMEX, ISBN 91-631-2610-9, 2002.
- [2] Misdariis, N., Pardo, L-F.: The sound of silence of electric vehicles – Issues and answers. InterNoise, China, 2017.
- [3] VALENTIN, J., MONDSCHHEIN, P., BUREŠ, P., KŘIVÁNEK, V., Technické podmínky 259 Asfaltové směsi pro obrusné vrstvy se sníženou hlučností“, schváleno Ministerstvem dopravy čj. 121/2017-120-TN ze dne 21. listopadu 2017 s účinností od 1. prosince 2017, 26 s.
- [4] GOULD, E., C. PARKMAN, T. BUCKLAND. The economics of road maintenance. London: RAC Foundation for Motoring Ltd, 2013.
- [5] ZHOU, B., C. ZHANG, J. TSAI, X. GUO, X. ZHOU. Asphalt pavement maintenance technologies evaluation model based on „economic-benefit“ index. Procedia – Social and Behavioral Sciences. 2013, 96, 2115–2122. ISSN 18770428.
- [6] EU road surfaces: Economic and safety impact of the lack of regular road maintenance. EU: Directorate general for internal policies, Policy department B: Structural and cohesion policies, Transport and tourism, 2014. ISBN 978-92-823-6011.
- [7] Economic evaluation of long-life pavements. Francie: Organisation for economic co-operation and development (OECD), 2005. ISBN 92-64-00856-X.
- [8] LUHR, D.R., T.C. RYDHOLM. Economic evaluation of pavement management decisions. 9th International Conference on Managing Pavement Assets, 2015, USA.
- [9] GOUBERT, L. Low-noise road surfaces. Brusel: Euro cities, 2015.
- [10] Oborový třídních stavebních konstrukcí a prací staveb pozemních komunikací. Praha: Centrální komise MD ČR, 2018.
- [11] Mouratidis, A., Danilidou, C.G., Papageorgiou, G.P.: Evaluation of pavement maintenance and strengthening techniques. NIKOLAIDES, A.F. a E. MANTHOS. Bituminous Mixtures and Pavements VII: Proceedings of the 7th international conference „Bituminous Mixtures and Pavements“ (ICONFBMP 2019), Thessaloniki,

Greece, 12–14 June, 2019. London, UK: CRC Press/Balkema, Taylor & Francis Group, p. 516–524. ISBN 978-1-138-48028-5, 2019.

[12] Zákon č. 13/1997 Sb., o pozemních komunikacích

[13] ČSN 73 6101: Projektování silnic a dálnic

[14] SEIDL, A., Technické podmínky 133 Zásady pro vodorovné dopravní značení na pozemních komunikacích, schváleno Ministerstvem dopravy čj. 538/2013-120-STSP/1 ze dne 31. července 2013 s účinností od 1. srpna 2013, 84 s.

[15] KŘIVÁNEK, V., STRYK, J., JEDLIČKA, J. Čištění nízkohlučných povrchů vozovek a změna jejich hlučnosti na území ČR sledovaná metodou CPX, Hygiena, ISSN 1802-6281, 61(4), 152-156, 2016.

[16] MÁČA, V., URBAN, J, MELICHAR, J., KŘIVÁNEK, V., *Metodika oceňování hluku z dopravy*, 29 s., č. j. 49/2012-520-TPV/1. Centrum pro otázky životního prostředí UK, Praha, duben 2012.

[17] *Handbook on the external costs of transport*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2019. ISBN 978-92-79-96917-1.

[18] VAN ESSEN, H.P. a kol. *Handbook on the external costs of transport*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2019. ISBN 978-92-79-96917-1.

[19] MÁČA, V., J. MELICHAR. Metodika kvantifikace externalit z dopravy. Univerzita Karlova v Praze – Centrum pro otázky životního prostředí, 2013.

[20] European Environmental Agency. *EEA Report No. 22/2019, Environmental noise in Europe – 2020*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020. ISBN 978-92-9480-209-5.

[21] KŘIVÁNEK, V., a kol., *Odborná zpráva o postupu prací a dosažených výsledcích za rok 2019 - Rozvoj území s využitím nízkohlučných vozovek*. Průběžná zpráva, Brno, Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., 2020. 45 s.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl se státní podporou Technologické agentury ČR projektu č. TL02000258 „Rozvoj území s využitím nízkohlučných vozovek“, na výzkumné infrastruktuře pořízené z operačního programu výzkum a vývoj pro inovace (CZ.1.05/2.1.00/03.0064).

Low-noise wearing courses on roads and their economy

Vitezslav Krivanek

Transport Research Centre

Lisenska 33a, 636 00 Brno

E-mail: vitezslav.krivanek@cdv.cz

Dana Potuznikova, Tomas Hellmuth, David Kresl

Public Health Institute Ostrava

Partyzanske nam. 7, 702 00 Ostrava

E-mail: dana.potuznikova@zuova.cz

Abstract

In the Czech Republic, no one has yet dealt with the economic comparison of common and low-noise wearing courses which have recently become more frequently used. One of the intentions of the research project ROZVOZ (TL02000258 “Development of the territory using low-noise pavements”) is to utilize the obtained data based on measured data by CPX regarding the characteristics of the wearing courses of roads and use them for basic economic evaluation – noise impact calculations using congestions and enable an approximate assessment of when low-noise pavements are economically efficient and when it is better to consider a different solution in the implementation of noise protection. The article presents the basic parameters based on the initial pilot study, which can be included in the calculation including the setting of individual criteria.

Nové přístupy v hodnocení zdravotních rizik expozice hluku z dopravy

Dana Potužníková¹, Tomáš Hellmuth¹, Eduard Ježo¹, Vítězslav Krivánek²

¹Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě
Partyzánské nám. 7, 702 00 Ostrava

²Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.
Líšeňská 33a, 636 00 Brno

e-mail: dana.potuznikova@zuova.cz, vitezslav.krivanek@cdv.cz

Abstrakt

Jedním ze záměrů výzkumného projektu ROZVOZ (TL02000258 „Rozvoj území s využitím nízkohlučných vozovek“) je i výpočet dopadů hluku pomocí externalit, jejichž součástí je i odhad ekonomických dopadů vlivu dlouhodobé změny hlučnosti povrchů pozemních komunikací na lidské zdraví prostřednictvím hodnocení zdravotních rizik. V ČR je postup hodnocení zdravotních rizik expozice hluku sjednocen autorizačním návodem Státního zdravotního ústavu AN 15/04 [1]. V příspěvku jsou shrnuty základní podklady, ze kterých je možné při hodnocení zdravotních rizik (HRA) vycházet, přičemž se autoři zaměřují na poslední část metodiky HRA, tj. charakterizaci rizika.

1. Úvod

V roce 1999 WHO sumarizovala vědecké důkazy o škodlivém účinku hluku na zdraví a doporučila směrné hodnoty pro ochranu veřejného zdraví v publikované směrnici Guidelines for Community Noise (Směrnice pro hluk v komunálním prostředí) [2]. Ve spolupráci s Evropskou komisí pak WHO v roce 2009 vydala směrnici Night Noise Guideliness for Europe (Směrnice pro noční hluk v Evropě) [3], která má sloužit jako odborný podklad pro legislativní kroky v oblasti řízení a dozoru nad nočním hlukem.

Tyto práce představují odborné podklady poskytující doložené informace o škodlivém působení hluku v komunálním prostředí. Nicméně, zejména v souvislosti se strategickým hlukovým mapováním, které jsou členské státy EU povinny provádět na základě směrnice 2002/49/ES [4], bylo nezbytné vytvořit i vhodné metodiky, které by poskytly exaktní postupy pro řízení hlukové politiky.

WHO ve spolupráci s Evropskou agenturou pro životní prostředí (EEA) a Společným výzkumným centrem EC (Joint Research Center), proto postupně vydalo několik metodik a návodů, které představují dílčí kroky k definování exaktního kvantifikovatelného postupu při hodnocení zdravotních rizik expozice hluku v komunálním prostředí. V roce 2010 vydala EEA manuál Good practice guide on noise exposure and potential health effects (Praktický návod pro hodnocení hlukové expozice a potenciálních vlivů na zdraví) [5], kde jsou matematicky definovány exaktní průběhy křivek expozice-odezva pro vybrané, nejvíce prokazatelné, zdravotní účinky. Na základě uvedených postupů je možné míru těchto účinků kvantifikovat.

V roce 2011 WHO za podpory JRC vydalo publikaci Burden of disease from environmental noise (Zátěž chorobami z expozice hlukem v životním prostředí) [6], v níž představilo koncepci souhrnného hodnocení zdravotních rizik na principu tzv. ztracených let života – DALY (Disability Adjusted Life Years) a v roce 2012 za podpory JRC a spolupráce členských zemí EU příručku obsahující podrobný návod na použití principu DALY pod názvem Methodological Guidance for Estimating the

Burden of Disease from Environmental Noise (Metodický návod pro hodnocení zátěže chorobami z expozice hlukem v životním prostředí) [7].

Jako završení portfolia směrnic a návodů, týkajících se hodnocení zdravotních rizik z expozice hluku v životním prostředí, vydalo v roce 2018 WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region (Směrnice pro hluk v životním prostředí v Evropě) [8], zabývající se mj. přehledem vlivu hluku na spánek a kardiovaskulární onemocnění.

V roce 2020 vydala Evropská komise směrnici, kterou se mění příloha III směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/49/ES [9], pokud jde o hodnocení škodlivých účinků hluku ve venkovním prostředí. Na základě dvou posledně uvedených dokumentů [8,9] došlo k úpravě základních požadavků na autorizované hodnocení zdravotních rizik expozice hluku (novela AN 15/04) [1].

Předmětem sdělení bude stručné shrnutí těchto nejnovějších základních požadavků z hlediska hodnocení charakterizace rizika hluku z dopravy.

2. Charakterizace rizika

Obecný postup hodnocení zdravotního rizika sestává ze čtyř navazujících kroků: identifikace nebezpečnosti, charakterizace nebezpečnosti, hodnocení expozice a charakterizace rizika [1]. Obsahem posledního kroku hodnocení zdravotních rizik, charakterizace rizika, je kvalitativní a kvantitativní vyjádření míry pravděpodobného zdravotního rizika exponované populace hlukem na základě integrací poznatků o nebezpečnosti hluku a odhadu úrovně expozice hluku.

Charakterizace rizika má zhodnotit účinky hluku, které odpovídají konkrétní situaci a okolnostem, a pro které lze získat odpovídající podklady.

Hodnocení začíná kvalitativním hodnocením rizika, tj. zhodnocením hlukové expozice z hlediska překročení hraničních hodnot, což mohou být prahové hodnoty, doporučené expoziční hodnoty [8]. Výstupem je stanovení počtu osob, které hraniční (prahovou) hodnotu překročí a obecný slovní popis účinků hluku, které u těchto exponovaných osob mohou pravděpodobně nastat. Tento výstup je hlavní součástí odhadu rizika v případě, kdy není provedeno kvantitativní hodnocení. Kvalitativní hodnocení je však nutné považovat pouze za orientační krok.

Hodnocení by mělo pokračovat kvantitativním hodnocením, tj. výpočtem velikosti rizika podle vztahů dávka-účinek. Standardní součástí kvantitativního hodnocení rizika je podle vztahů uvedených v Annex III Směrnice komise (EU) 2020/367 [9] (dále jen Annex III) pro následující účinky hluku:

- vysoké obtěžování (HA) a rušení spánku (HSD) pro hluk ze silniční, železniční a letecké dopravy,
- ischemická choroba srdeční (IHS) pro hluk ze silniční dopravy.

Kvantitativní hodnocení je možné provést pouze u těch účinků hluku, pro které existuje vztah dávka-účinek charakteristický pro příslušný zdroj hluku. Přednostně by měly být používány vztahy definované v Annex III [9]. Je možné použít i jiné vztahy, pokud vychází z vysoce kvalitních a statisticky významných studií a jejich metaanalýz. Pro obtěžování silničním hlukem existuje vztah pro evropský plochý terén (s vyloučením alpských a asijských studií) [10] a nově provedené analýzy časových trendů obtěžování [11] potvrzují také platnost původních vztahů podle Miedema a Vos [12]. Při použití těchto alternativních vztahů doporučujeme provést výpočet zároveň také podle vztahu stanoveného v Annex III [9].

Výpočet je možné provést, pouze pokud posuzovaná expozice hluku leží uvnitř intervalu platnosti daného vztahu. Pokud tento interval není explicitně uveden, je třeba se řídit intervalem zobrazeným v grafickém znázornění daného vztahu

v literatuře, která vztah definuje. Výjimku tvoří vztah pro obtěžování hlukem ze silniční dopravy, kde se doporučuje používat interval platnosti až od L_{dvn} 45 dB, aby křivka byla v celém rozsahu rostoucí.

Obvyklým výstupem kvantitativního hodnocení rizika obtěžování a rušení spánku je počet osob vysoce obtěžovaných resp. vysoce rušených ve spánku. V případě malého počtu zasažených osob může být výstižnější pouze uvedení procenta obtěžovaných nebo rušených ve spánku při dané expozici hluku (%HA, %HSD). Pokud je v konkrétní situaci použit jiný konečný výstup, mělo by být uvedeno zdůvodnění.

Obvyklým výstupem kvantitativního hodnocení rizika ischemické choroby srdeční je buď populační atributivní frakce *PAF* (proporce případů, kterou lze přisoudit expozici hlukem ze všech případů daného onemocnění) nebo atributivní počet *N* (předpokládaný počet osob postižených daným onemocněním v důsledku hluku). Druhý z uváděných výstupů je považován za výstižnější při dostatečně velkém počtu exponovaných osob. Postup výpočtu *PAF* a *N* je popsán v Annex III [9].

Pro souhrnné vyjádření míry rizika byla navržena metoda „Burden of disease“ s výstupem „ztracené roky života“ (DALY) [6, 7]. Tato metoda vznikla s cílem vytvořit jednotný ukazatel pro tvorbu politických strategií v ochraně zdraví na populační úrovni. Metoda je vhodná pouze pro hodnocení situací s velkým počtem zasažených osob (řádově v desetitisících).

V rámci metodiky hodnocení zdravotních rizik v současnosti stále neexistuje nástroj pro hodnocení kombinovaného (synergického) působení hluku ze zdrojů různé kategorie (např. různé druhy dopravního hluku).

3. Postup výpočtu rizika vysokého obtěžování resp. vysokého rušení spánku

Pro danou expozici nebo střed expozičního pásma se stanoví absolutní riziko vysokého obtěžování AR_{HA} , resp. riziko vysokého rušení spánku hlukem AR_{HSD} podle vzorce pro výpočet *AR* uvedeného v Annex III [9] pro příslušný zdroj hluku.

Alternativně lze použít také jiný aktuálně platný vztah dávka – účinek a vypočítat procento vysoce obtěžovaných (%HA), resp. procento vysoce rušených ve spánku (%HSD) pro danou expozici a zdroj hluku. *AR* potom vypočteme podle vzorce:

$$AR_{\text{HA}} = \frac{\%HA}{100} \quad \text{resp.} \quad AR_{\text{HSD}} = \frac{\%HSD}{100} \quad (\text{vzorec 1})$$

Tyto výpočty *AR* je možné provést, pouze pokud posuzovaná expozice hluku leží uvnitř intervalu platnosti daného vztahu.

Dále se stanoví počet osob vysoce obtěžovaných, resp. vysoce rušených ve spánku (N_j) pro každé jednotlivé expoziční pásmo *j* podle vzorce:

$$N_j = n_j * AR_j \quad (\text{vzorec 2})$$

kde: n_j počet osob, které jsou vystaveny hluku v expozičním pásmu *j*,
 AR_j absolutní riziko pro příslušné expoziční pásmo *j*.

Počty osob pro jednotlivá expoziční pásma se sečtou a získá se tak celkový počet obtěžovaných resp. rušených osob *N*:

$$N = \sum_j N_j \quad (\text{vzorec 3})$$

4. Postup výpočtu rizika ischemické choroby srdeční z hluku silniční dopravy

Stanoví se velikost expozičních pásem a pro každé expoziční pásmo j stanovíme jeho střední hodnotu. Podle Annex III [9] je možné volit velikost hlukového pásma maximálně do 5 dB.

Stanoví se počet osob exponovaných hluku v každém expozičním pásmu a podíl tohoto počtu osob ke všem osobám v posuzované lokalitě – p_j .

Vypočítá se RR_j pro střední hodnotu každého expozičního pásma hluku podle vzorce uvedeného Annex III [9]:

$$RR_{ICHS,silnice} = \begin{cases} e^{\ln 1,08 \cdot 10^{L_{dvn}-53}}, & \text{pokud } L_{dvn} > 53 \text{ dB} \\ 1, & \text{pokud } L_{dvn} \leq 53 \text{ dB}. \end{cases}$$

(vzorec 4)

Pro $L_{dvn} > 53$ dB lze vzorec zjednodušit do podoby:

$$RR_{ICHS,silnice} = 1,00773 \cdot L_{dvn}^{-53} \quad (\text{vzorec 5})$$

kde: L_{dvn} hlukový ukazatel pro den-večer-noc, charakterizující příslušnou expozici pro střed expozičního pásma.

Pro $L_{dvn} \leq 53$ je $RR_{ICHS, silnice}$ vždy rovno jedné.

Vypočítá se $p_j \cdot (RR_j - 1)$ pro každé expoziční pásmo a výsledky se sečtou.

Populační atributivní frakce (PAF) se vypočítá tak, že výsledek se vydělíme podle následujícího vzorce:

$$PAF = \frac{\sum_j p_j \cdot RR_j - 1}{\sum_j p_j \cdot RR_j - 1 + 1} \quad (\text{vzorec 6})$$

kde: PAF populační atributivní frakce pro sledovaný rizikový faktor a daný účinek,
 p_j podíl osob v expozičním pásmu j vzhledem k celému souboru,
 RR_j relativní riziko pro dané expoziční pásmo.

Absolutní počet případů ICHS, odhadovaný jako následek hluku ze silniční dopravy, se pak vypočte podle vzorce:

$$N = PAF \cdot I \cdot P \quad (\text{vzorec 7})$$

kde: N počet odhadovaných případů ICHS (za období, za které je udávána incidence, typicky za rok),
 PAF populační atributivní frakce,
 I incidence ICHS, kterou lze získat ze statistik o zdraví,
 P celkový počet obyvatel v hodnocené oblasti.

Pokud je odhadovaný počet případů menší než jeden za rok, je výstižnější vyjádřit ho jako odhadovaný počet případů za více let.

5. Závěr

Postup hodnocení zdravotních rizik se řídí metodikami s doporučeními, které vedou k porovnatelným výstupům. Autoři příspěvku se pokusili seznámit čtenáře s přístupem, který vychází z poslední aktualizace Směrnice komise (EU) 2020/367 ze dne 4. března 2020, kterou se mění příloha III směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/49/ES, o hodnocení škodlivých účinků hluku ve venkovním prostředí [9]. Podle tohoto Annex III se postupuje v rámci EU při zpracování HRA pro účely Strategického hlukového mapování a je tedy vhodné v něm uvedené postupy aplikovat v rámci ČR obecně při hodnocení zdravotních rizik expozice hluku. Annex III bude zohledněn při aktualizaci autorizačního návodu AN 15/04 verze 4 [1], která v současnosti probíhá.

Literatura:

[1] Vandasová, Z., Havel, B., Kazmarová, H., Potužníková, D.: Autorizační návod k hodnocení zdravotního rizika expozice hluku AN 15/04, verze 04, srpen 2017. SZÚ, Praha: http://www.szu.cz/uploads/documents/ska/autorizace/AN_15_04_verze4.pdf.

[2] Berglund, B., Lindvall, T., Schwella, D., et al.. Guidelines for Community Noise. [online]. Geneva. WHO. 1999. <http://www.who.int/docstore/peh/noise/guidelines2.html>

[3] World Health Organization: Night Noise Guidelines for Europe (NNGL). [online]. Copenhagen. WHO Regional Office for Europe. 2009. http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0017/43316/E92845.pdf

[4] 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.

[5] European Environment Agency. Good practice guide on noise exposure and potential health effects. Luxemburg. Office for Official Publications of the European Union. 2010. ISBN 978-92-9213-140-1. <http://www.eea.europa.eu/publications/good-practice-guide-on-noise>

[6] World Health Organization: Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe. Bonn. WHO European Centre for Environment and Health, WHO Regional Office for Europe. 2011. ISBN 978 92 890 0229 5. <http://www.euro.who.int/en/what-we-publish/abstracts/burden-of-disease-from-environmental-noise.-quantification-of-healthy-life-years-lost-in-europe>

[7] Hellmuth, T., Classen, T., Kim, R., Kephelopoulos, S. Methodological guidance for estimating the burden of disease from environmental noise. WHO, Regional Office for Europe. 2012. http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0003/177816/Methodological-guidance-for-estimating-the-burden-of-disease-from-environmental-noise.pdf

[8] World Health Organization: Environmental Noise Guidelines for the European Region. [online]. Copenhagen. WHO Regional Office for Europe. 2018. <http://www.euro.who.int/en/publications/abstracts/environmental-noise-guidelines-for-the-european-region-2018>

[9] Evropská komise. Směrnice komise (EU) 2020/367, kterou se mění příloha III směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/49/ES, pokud jde o hodnocení

škodlivých účinků hluku ve venkovním prostředí. Evropská komise, Generální ředitelství pro životní prostředí. 2020. <https://op.europa.eu/cs/publication-detail/-/publication/14caf5ee-5ead-11ea-b735-01aa75ed71a1>

[10] Guski, R., Schreckenber, D., Schuemer, R.: WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Annoyance. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2017. 14, 1539, Pages 1-39

[11] Gjestland, T.: On the Temporal Stability of Peoples Annoyance with Road Traffic Noise. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020. 17, 1374, Pages 1-14.

[12] Miedema, H.M.E., Vos, H.: Exposure-response relationships for transportation noise. J. Acoustical Society of America. 1998. Volume 104, Issue 6, Pages 3432-3445.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl na základě finanční podpory projektu Technologické agentury ČR č. TL02000258 „Rozvoj území s využitím nízkohlučných vozovek“, na výzkumné infrastrukturu pořízené z operačního programu výzkum a vývoj pro inovace (CZ.1.05/2.1.00/03.0064).

New approaches in the assessment of health risks of traffic noise exposure

Dana Potuznikova, Tomas Hellmuth, Eduard Ježo

Public Health Institute Ostrava

Partyzanske nam. 7, 702 00 Ostrava

E-mail: dana.potuznikova@zuova.cz

Vitezslav Krivanek

Transport Research Centre

Lisenska 33a, 636 00 Brno

E-mail: vitezslav.krivanek@cdv.cz

Abstract

One of the intentions of the research project ROZVOZ (TL02000258 “Development of the territory using low-noise pavements”) is to calculate the impact of noise using externalities, which includes estimating the economic impact of long-term changes in road noise on human health through health risk assessment. In the Czech Republic, the procedure for assessing the health risks of noise exposure is unified by the authorization guidelines of the The National Institute of Public Health AN 15/04 [1]. The paper summarizes the basic background on which it is possible to base the assessment of health risks (HRA), while the authors focus on the last part of the HRA methodology, ie risk characterization.

Technická seismicita a strukturální hluk šířící se z dopravy – vliv na stavby

Jana Dolejší, Jan Dolejší, Barbora Majchráková

Studio D – akustika s.r.o.

U Sirkárny 467/2a, 370 04 České Budějovice

e-mail: akustikad@akustikad.com; jan.dolejsi@akustikad.com

Abstrakt

Tento článek se zabývá vlivem takových zdrojů hluku, ze kterých se šíří vibrace podloží do stavebních konstrukcí. Strukturální hluk se následně vyzařuje stavebními konstrukcemi do interiérů staveb. Při navrhování objektů v městské zástavbě je nutné volit specifický přístup vůči zdrojům vibrací zejména z kolejové a silniční dopravy, ať už se jedná o objekty přímo nad tunelem nebo nad tubusem metra nebo železnice, nebo objekty v blízkosti pozemních komunikací nebo železničních/tramvajových tratí.

1. Úvod

Se zastavováním center měst se stavby přibližují takovým zdrojům hluku jako je především kolejová doprava (metro, železniční a tramvajová doprava). Při průjezdu vlaku se hluk šíří podloží a dále pak stavebními konstrukcemi a následně se vyzařuje strukturální hluk ze stavebních konstrukcí do interiérů budov. Výsledný hluk v interiérech budov je energetickým součtem hluku šířícím se vzduchem přes obvodový plášť a hluku vyzařovaného konstrukcemi s tím, že není možné podceňovat žádnou ze složek hluku, který se výsledně projevuje v interiéru budov. Celá problematika - predikce šíření vibrací i strukturálního hluku vyžaduje profesionální přístup. Principy šíření vibrací a následné šíření strukturálního hluku do interiérů budov jsou přitom jednoduché. I když jsou naměřené hodnoty vibrací nižší než limity stanovené legislativou z hlediska hodnot vibrací na člověka, můžou být následně hodnoty sekundárně vyzařovaného hluku konstrukcemi mnohem vyšší než stanovený pro maximální hodnoty hluku v interiérech budov.

2. Mass-spring-system

Samotné vibrace (nebo mechanické vlny) se snadno šíří do všech běžných stavebních materiálů (beton, dřevo, cihly, zemina...).

Základním pravidlem pro snížení šíření vibrací do stavby je tzv. systém hmota-pružina-hmota z angl. Mass-spring-system, který funguje na principu, že pružina je sevřena pod určitým tlakem dvěma hmotami. Zjednodušený systém s jedním stupněm volnosti se běžně používá ve výpočtu a návrhu pružného uložení zdrojů vibrací, tak i celých budov. Avšak je vždy nutné dbát jak definovaných okrajových podmínek specifických pro použitý materiál (vibroizolaci), tak i dalších zákonitostí. Např., že pružná vrstva musí být vždy zatížena. Princip je znám z pružného uložení zdrojů hluku nebo těžkých plovoucích podlah.

Pro realizaci vibroizolace celé stavby je princip podobný s tím rozdílem, že výchytky celého systému jsou na velmi malé, ale zatížení je několikanásobně vyšší. Zároveň je možné pracovat s tuhostí podloží (vliv založení stavby), díky němuž je možné dosáhnout požadované tuhosti a hmoty podkladu – a to i v případě, že vrstva

vibroizolace je projektována ve vyšších úrovních, než v základové spáře (ve vibroizolační vaně).

Útlum se dosáhne pouze v části grafu, kde je hodnota na ose y záporná. Pozitivní hodnoty znamenají významné zhoršení (rezonance). Přirozená frekvence materiálu pak ukazuje účinnost celého systému. Takže, aby byla správně navržena vibroizolace, je nutné znát vlastní frekvenci uložení, nebo požadovaný útlum. Většinou se tato opatření používají v základech objektu. A pokud se základová část neprovede správně, jsou následky reálně neopravitelné!

Vlastní frekvence uložení (nebo rezonanční frekvence, ozn. f_0) slouží k několika účelům. Nejen k určení přesného útlumu vibroizolace, ale i k určení, kde a jak dojde k rezonanci, neboli zesílení nepříznivých vlivů. Vlastní frekvence vibroizolace, tak i obecné konstrukce má tvar:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{c}{m}} = \frac{1}{T}$$

Kde:

c ...pružinová konstanta

m ...působící hmota

T ...perioda celého výkmitu

Samotná účinnost vibroizolace pak přímo závisí na vlastní frekvenci celého uložení, mechanických vlastnostech použité vibroizolace a působících hmotách na obou stranách pružné vrstvy.

Účinnost vibroizolace definuje tzv. přenosová funkce vibrací přes vrstvu vibroizolace.

$$L(f) = 20 \cdot \log \left[\sqrt{\frac{1 + \eta^2 \cdot \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}{\left(1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2\right)^2 + \eta^2 \cdot \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}} \right]$$

Kde:

η ...mechanický ztrátový činitel materiálu.

3. Zdroje technické seismicity

Před samotným návrhem a posouzení technické seismicity šířící se ze zdroje vibrací je nutné znát povahu samotného zdroje vibrací. Bavíme-li se o zdroji vibrací z dopravy, je možné rozlišovat několik typů zdrojů vibrací a seismicity z dopravy:

Automobilová doprava

Zpravidla se jedná o rázy při pojezdu těžkých nákladních automobilů přes nerovnosti na vozovce – tj. uvolněný kanálový poklop, dilatační spáry, nerovný povrch vozovky, vyjeté koleje apod. Způsob hodnocení nerovností vozovky je blíže popsán v ČSN 73 6175. Špičková hodnota vibrací (rázů) z automobilové dopravy přímo závisí na charakteru a umístění nerovností/poruch vozovky, rychlosti průjezdů a hmotností jednotlivých dopravních prostředků. Dominantní frekvence vibrací šířících se z automobilové dopravy je definována vlastní frekvencí horní části

vozovky – nezřídka dosahuje $f_r < 10$ Hz. Dynamické vlivy z automobilové dopravy představují tedy podstatně vyšší riziko pro statiku objektů v blízkosti takových silnic, než pro zvýšení hladiny strukturálního hluku v interiéru objektu.

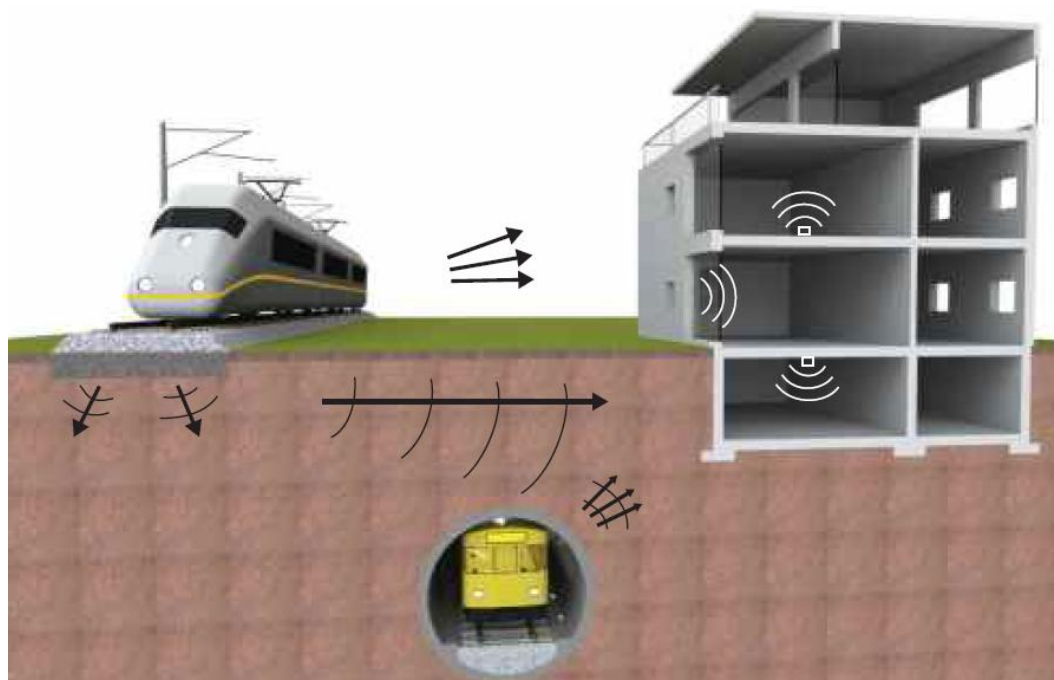
Kolejová doprava – povrchová

Na rozdíl od automobilové dopravy se jedná o přerušované vibrace (délka náměru je pak definována rychlostí vlakové soupravy (resp. tramvají), jejich rychlostí a způsobu uložení kolejového svršku. Maximální hodnota vibrací navíc přímo závisí na hmotnosti jednotlivých dopravních prostředků. Dominantní frekvence vibrací šířících se z povrchové dopravy je definována výše uvedenými okrajovými podmínkami. Obecně platí, že kolejová doprava způsobuje vibrace o menších výchylkách (resp. zrychleních), ale frekvenční charakteristika průjezdů souprav kolejových dopravních prostředků je vyšší (zpravidla mezi 40-80 Hz). To pak způsobuje i vyšší výslednou hodnotu strukturálního hluku L_{Amax} . Jedná se o povrchový zdroj vibrací, tzn. vibrace se šíří především horními vrstvami geologického profilu (souvství podloží). Horní a neúnosné vrstvy podloží mají méně homogenní a pevnou strukturu než hlubší vrstvy, proto je možné uvažovat s vyšším útlumem vibrací s rostoucí vzdáleností od zdroje.

Kolejová doprava – podpovrchová

Kolejová doprava vedená v podzemní konstrukci (železniční tunely/metro, apod.). Na rozdíl od povrchové kolejové dopravy se šíří technická seismicita z těchto zdrojů do větší vzdálenosti a vyšší rychlostí. Zároveň u podpovrchové dopravy se projevuje zatížení základové konstrukce objektů seismicitou ve všech 3 osách (šíření mechanického vlnění – technické seismicity – může bez omezení probíhat prostřednictvím P- i S- vln, respektive jejich kombinací).

Obr. 1. Schéma šíření vibrací z kolejové dopravy



Zdroj: Studio D – akustika [8]

4. Matematické modelování

Při posuzování a navrhování vibroizolací celých objektů je v první řadě nutné znát, jaké dynamické vlivy budou na daný objekt působit. To se dá zjistit pomocí vstupního měření vibrací. Toto měření je nutné provádět přímo na betonovém podkladu umístěném v místě budoucí zástavby a zároveň pevně spojeném s únosnou vrstvou podloží. Jakékoliv jiné kombinace materiálů, povrchů, apod. jsou zpravidla nevhodné vzhledem k tomu, že naměřené hodnoty jsou výrazně zkresleny jak rezonancí samotné konstrukce, na níž je prováděno měření (vlastní tvary konstrukcí), tak i přenosovou funkcí dalších materiálů (např. není možné provádět vstupní měření na kovové konstrukci vetknuté do betonu, aniž by byla známá přenosová funkce přenosu vibrací přes různé typy materiálů).

Dále pak je nutné znát způsob založení a jakým způsobem probíhá vzájemná interakce mezi základovou spárou objektu a souvrstvím podloží. Mechanické vlastnosti únosné horniny totiž výrazně ovlivňují vstupní hodnotu vibrací, která ve výsledku bude zatěžovat základovou spáru objektu. Zároveň pak u nehomogenních nebo silně narušených hornin lze předpokládat podstatně vyšší útlum celkových vibrací s narůstající vzdáleností měřicích bodů od zdroje vibrací (kolejová doprava). Proto je nutné před samotným návrhem vibroizolace znát i kompletní geologický profil – a to jak přímo pod objektem, tak i v prostoru mezi plánovaným objektem a zdrojem vibrací.

Kromě vhodné znát způsob, jakým bude nosná konstrukce objektu reagovat na dynamickou budící sílu (zatížení konstrukce dynamickými účinky technické seismicity z dopravy). Zejména u složitějších tvarů nosných konstrukcí je nutné použít k posouzení a výpočtům matematický model objektu. Jako nejpřesnější metoda se dá využít model využívající metodu konečných prvků (FE analýza). Tento model je posléze zatížen funkcí dynamického zatížení v čase, ve všech 3 osách a zkoumají se jak vlastní tvary konstrukcí (včetně jejich příslušných vlastních frekvencí), tak i vliv rezonance při dynamickém zatížení základové spáry objektu a celková dynamická odezva konstrukcí.

Samotná účinnost vibroizolace pak také přímo závisí na vlastní frekvenci celého uložení, mechanických vlastnostech použité vibroizolace a působících hmotách na obou stranách pružné vrstvy.

5. Požadavky na vibroizolaci

V případě nesprávného návrhu i volby vibroizolace dochází k výraznému zvýšení sekundárně vyzařovaného hluku. V tomto případě by paradoxně bylo účinnější nepoužívat žádnou vibroizolaci.

Důležité je brát v potaz při návrhu vibroizolace následující požadované hodnoty a okrajové podmínky:

- Adekvátní technické listy se všemi potřebnými veličinami (mechanický ztrátový činitel, moduly pružnosti a jejich závislosti, zatěžovací charakteristiky, a příslušné grafy),
- Dlouhodobá životnost (Vzhledem k tomu, že se jedná o stálou součást nosné konstrukce, měl by materiál mít stabilní vlastnosti alespoň po dobu životnosti celé konstrukce.),
- Dynamické vlastnosti materiálu,
- Deformační chování materiálu během stlačení,
- Zdravotní nezávadnost,
- Závislost materiálu na amplitudách.

5. Příklady v praxi

Je několik variant řešení, jak je možné použít vibroizolaci. Nejúčinnější možnosti (vždy v závislosti na konkrétním projektu) jsou:

- Vibroizolace přímo na zdroji,
- Vibroizolace přímo pod chráněným objektem.

Vibroizolace umísťená přímo na zdroji

Zejména při budování nové trati nebo při rekonstrukcích těch stávajících je vhodné použít adekvátní antivibrační řešení, aby byly redukovány hladiny vibrací (technické seismicity) přímo na zdroji. Dle konstrukčních možností trati je pak možné použít řešení jak celoplošné vibroizolace (např. podšterkové rohože, pružné celoplošné uložení pevné jízdní dráhy, apod.).

Obr. 2. Příklad pokládky celoplošné vibroizolace



Zdroj: Studio D - akustika[8]

Celoplošné vibroizolační řešení je vždy nejnákladnější i technicky nejnáročnější řešení. Z těchto důvodů je vhodné najít jak ekonomicky, tak i technicky výhodnou a proveditelnou variantu řešení. Jednou z možností je použít podpražcové podložky přímo pod pražci (účinnost tohoto řešení ale snižuje vliv podbití). Jinou možností (využívanou zejména v tunelech a u pevné jízdní dráhy) je využít uložení kolejiště na pásy z vibroizolace. Takové řešení je vhodné zejména tím, že se pomocí rozměrů vibroizolačních pruhů může dosáhnout mnohem nižších vlastních frekvencí uložení, než u celoplošného řešení (je možné rozměry prvků dimenzovat).

Vibroizolace umístěná přímo pod chráněným objektem

Ačkoliv je vhodné provést antivibrační ochranu nejen na zdroji vibrací (kolejová doprava), z hlediska účinnosti vibroizolace je mnohem výhodnější a účinnější řešení provádět vibroizolace přímo na řešených/navrhovaných chráněných objektech v blízkosti zdrojů vibrací. Vibroizolační řešení samotných objektů je možné provést několika způsoby:

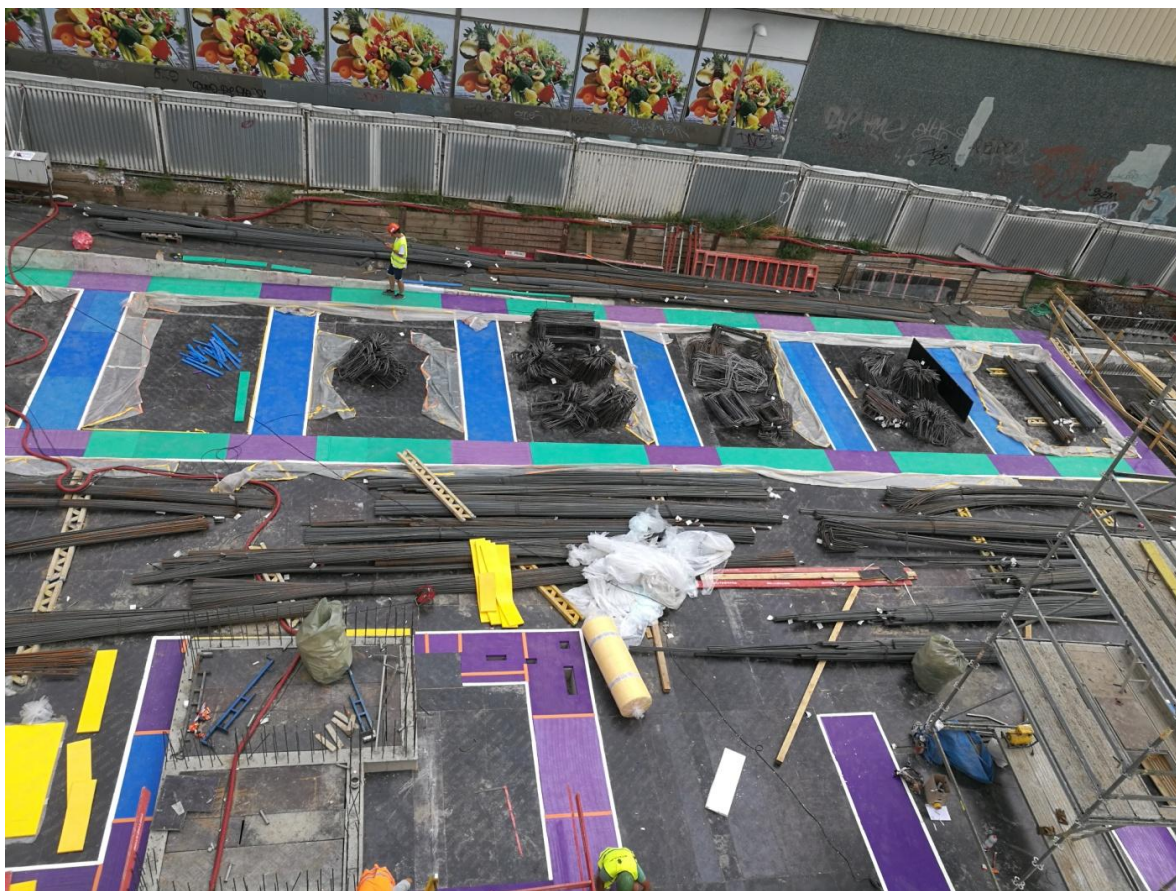
- Celoplošné uložení
- Liniové uložení
- Bodové uložení

Obr. 3. Příklad pokládky celoplošné vibroizolace



Zdroj: Studio D - akustika[8]

Obr. 4. Příklad realizace liniového vibroizolačního opatření objektu (na tuhém železobetonovém roštu)



Zdroj: Studio D – akustika [8]

Obr. 5. Příklad pokládky řešení vibroizolace objektu – bodové uložení na rozšířených hlavicích sloupů



Zdroj: Studio D – akustika [8]

V současnosti stále nejrozšířenějším typem vibroizolace je použití celoplošné vibrační izolace v základu celé budovy. Ekonomicky i technicky výhodnější je však řešení, kde vzniká možnost dimenzování rozměrů a tím i působícího napětí na jednotlivé kusy vibroizolace – tj. liniové nebo bodové uložení objektu.

Rozdílné konstrukční možnosti objektů pak definují i rozdílnou úroveň uložení izolované části objektu. Zejména je nutné znát úroveň, kde se nachází vnitřní chráněné prostory stavby, a dále pak i požadované hodnoty útlumu vibroizolace pro jejich umístění v různých úrovních. Jsou 2 základní varianty umístění vibroizolace:

- Vibroizolace umístěná pod úrovní terénu - celoplošné uložení vibroizolace v základech budovy

Vzhledem k tomu, že vibroizolace musí být až na některé výjimky uložena v suchém prostředí, musí být navržena taková opatření, aby vibroizolace byla v suchu jak průběhu stavby tak i po realizaci stavby. Voda je nestlačitelná, to znamená, že spára zaplněná vodou s vibroizolací nemá téměř žádné tlumicí účinky. Toto řešení je také náročné na provedení detailů prostupů například kanalizace, apod. Takové řešení je finančně i prostorově výrazně náročnější, než řešení ve vyšších úrovních konstrukce.

- Vibroizolace umístěná nad terénem

Při tomto řešení je ochrana před vodou vyřešena samotným umístěním vibroizolace nad terénem. Toto řešení je náročné na vyřešení stavebních detailů a důsledné oddělení chráněné a nechráněné části stavby. Při tomto řešení se může použít také vibroizolace celoplošně. S úspěchem se používají při tomto řešení bodová nebo lineární ložiska vibroizolace. Při použití bodových ložisek je vibroizolace zatížena mnohem vyšším stálým statickým zatížením, než je tomu u celoplošného pružného uložení celé stavby.

Dalším důležitým aspektem takového návrhu je požární ochrana vibroizolace. Všechny vibroizolace musí být chráněny proti přímému ohni. Zároveň jejich kritická teplota je zpravidla výrazně nižší, než kritické teploty jiných použitých konstrukčních materiálů.

5. Shrnutí

Technická seismická i její vliv na okolní zástavbu je nyní důležitá problematika. Zejména z důvodu, že automobilová i kolejová doprava musí probíhat i místy s hustou obytnou zástavbou. Avšak není možné, aby v blízkosti těchto zdrojů technické seismicity nastaly nevyhovující podmínky pro bydlení nebo pro užívání objektů. Proto je nutné nejen vyhodnocovat vliv vibrací z dopravy, ale i blízké objekty důsledně chránit. Pomocí jednoduchých principů správně navržených systémů hmota-pružina-hmota, ideálně na nosné konstrukci staveb je možné dosáhnout optimální akustické pohody ve vnitřních chráněných prostorech.

Literatura

- [1] Smutný, J., Pazdera., L.: Acoustic analysis of selected structures of railway superstructure. *Akustika*, VOLUME 26, March 2015, ISSN 1801-9064, pp. 29-37, 2015.
- [2] ISO 1996-1:2016: Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise -- Part 1: Basic quantities and assessment procedures. International standard, 2009.
- [3] IEC 60268-16:2003: Sound system equipment – Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index, 2003.
- [4] Önorm 9012:2016: Beurteilung der Einwirkung von Schwingungsimmissionen des landgebundenen Verkehrs auf den Menschen in Gebäuden - Schwingungen und sekundärer Luftschall. National standard, 2016.
- [5] ISO/TC 108/SC 2:1980: Measurement and evaluation of mechanical vibration and shock as applied to machines, vehicles and structures, International standard, 1980.
- [6] DIN 53513:1990-03: Determination of the viscoelastic properties of elastomers on exposure to forced vibration at non-resonant frequencies, National standard, 1990.
- [7] Cremer, L., Heckl, M., Petersson, B.A.T.: Structure-Borne sound – Structural Vibrations and Sound Radiation at Audio Frequencies, Berlin, ISBN 978-3-540-26514-6, 2005.
- [8] Jana Dolejší, Jan Dolejší, Barbora Majchráková: Comparison of calculated and measured values of structure-borne re-radiated noise in buildings, *AKUSTIKA*, VOLUME 29, ISSN 1801-9064, Paper 210/2018, pp. 23-28, 2018.

Technical seismicity and structural noise from traffic - impact on buildings

Jana Dolejší, Jan Dolejší, Barbora Majchráková

Studio D – akustika s.r.o.

U Sirkárny 467/2a, 370 04 České Budějovice

e-mail: akustikad@akustikad.com; jan.dolejsi@akustikad.com

Abstract

This paper deals with the influence of noise and vibration sources from which vibrations propagate through subsoil into building structures. Structural noise is usually then emitted by building structures into interiors. Especially within city centers and urban areas the approach of building construction towards sources such as road and rail transport differ in particular, whether the objects are located directly above the metro or railway tunnel, or objects close to roads or railways.

Modelování hluku pomocí interaktivních webových nástrojů

Jan Martolos¹, Daniel Beran²

¹EDIP s.r.o.

Pařížská 1230/1, 301 00 Plzeň

²Západočeská univerzita, Fakulta aplikovaných věd, Katedra geomatiky,
Univerzitní 22, Plzeň

e-mail: martolos@edip.cz, dberan@kgm.zcu.cz

Abstrakt

Grafickým výstupem modelování hluku z automobilové dopravy je obvykle mapa hlukových pásem (izofon). K modelování se používají obvykle specializované desktopové aplikace. Jejich výhodou je přesnost výpočtu a možnost výstupů pro specialisty na měření a modelování hluku. Jistou nevýhodou je cena, nutnost poměrně přesných vstupů a potřeba ovládnání specialistou - akustikem.

V některých případech je pro daný účel postačující jednodušší, ale o to více názorná vizualizaci hluku. V příspěvku bude představen nástroj TrafficModeller primárně využívaný pro modelování dopravy a jeho další využití pro modelování hluku z automobilové dopravy. Dále se příspěvek zamýšlí nad výhodami a nevýhodami webových nástrojů využitelných širší veřejností v oblasti modelování dopravy a dopadů na životní prostředí.

1. Úvod

K efektivnímu výkonu správy pozemních komunikací se stále více používají geografické informační systémy a samozřejmě prostorová data. Údaje se využívají jak v procesech silničního hospodářství, tak při tvorbě koncepčních dokumentů krajů. Některé datové sady jsou poměrně snadno dosažitelné a spolehlivé, jiné je nutné pro tyto účely vytvořit. Mezi takové patří údaje o intenzitách dopravy na silnicích III. tříd a místních komunikacích. Ty lze v celostátním měřítku odhadnout nástroji dopravního modelování.

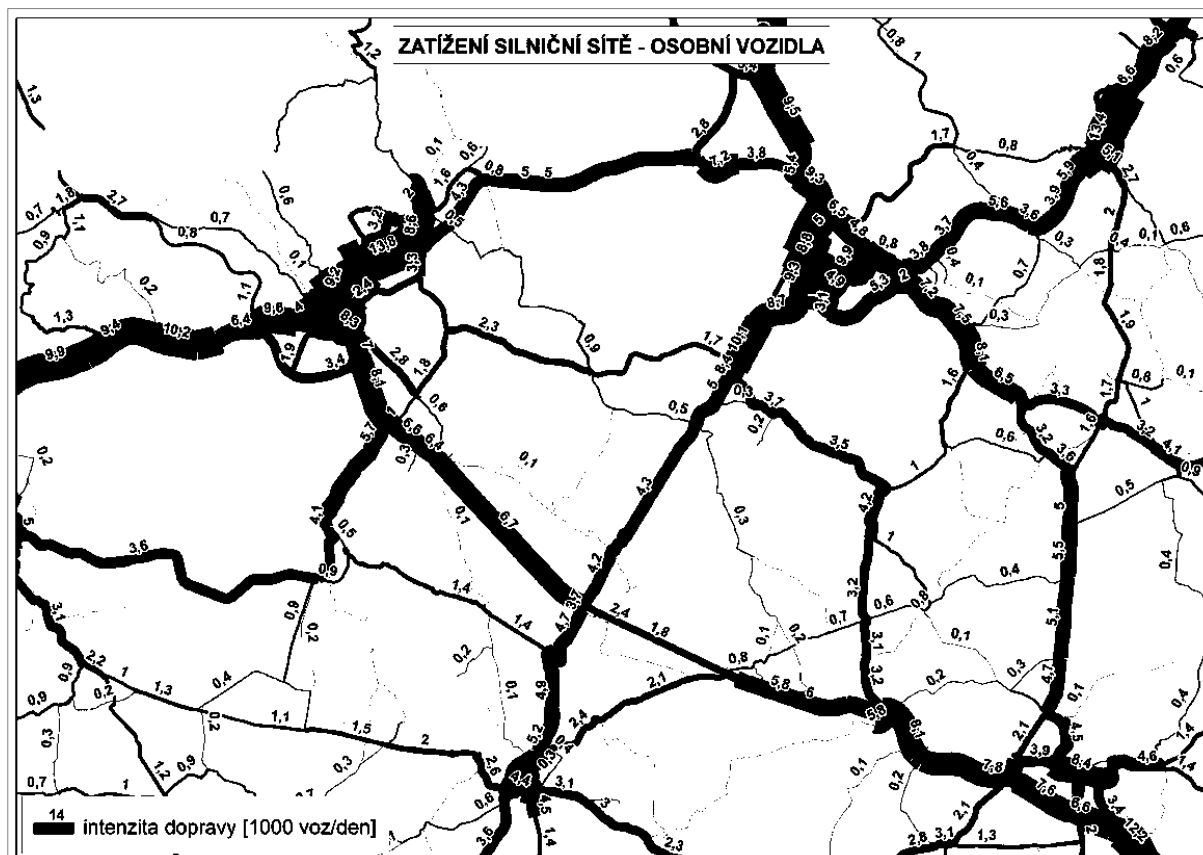
Modelování intenzit dopravy pomocí výpočetní techniky představuje účinnou metodu rozšiřující možnosti řešení složitých dopravně inženýrských úloh a problémů. Do povědomí odborné veřejnosti se modelování dostalo především díky svému využití při hodnocení dopadů dopravních systémů a staveb na zatížení komunikační sítě a při navazujících činnostech jako je např. posuzování vlivů na životní prostředí. V oblasti dopravního inženýrství a územního plánování se v současnosti tyto metody hojně prosazují a mnohdy jsou požadovány zadavateli i hodnotiteli projektů a záměrů.

Matematické modely představují účinný nástroj také v procesech identifikace potenciálních problémových míst na dopravní síti a při návrhu možných řešení k jejich odstranění. Takovou úlohou je např. posouzení úrovně bezpečnosti pozemních komunikací z hlediska dopravní nehodovosti – stanovení relativní nehodovosti, bezpečnostního potenciálu apod.

2. Dopravní model - klasický

Klasický dopravní model je tvořen ve specializovaných desktopových software (VISUM, Omnitrans, CUBE, ...). Ty umožňují model vytvořit pomocí klasického čtyřstupňového přístupu. Není cílem tohoto příspěvku vysvětlovat principy tvorby dopravního modelu, postačí říci, že výstupem je obvykle kartogram intenzit dopravy, který je ukázán na obrázku 1.

Obr. 1. Klasický výstup dopravního modelu (OmnITrans, model ČR)



Kartogram je užitečný pro odborníky v dopravním inženýrství, ale je poněkud „nestravitelný“ pro širší veřejnost, ale také pro politiky, kteří by podle něj měli rozhodovat o opravách a investicích na městských (krajských) komunikačních sítích.

3. Traffic Modeller

Traffic Modeler (TraMod) je nástroj pro modelování dopravy vyvinutý ve spolupráci dopravních inženýrů, IT a GIS specialistů. Lze jej plně implementovat v prostředí serveru s aplikačním rozhraním (API) pro mobilní a webové aplikace. To vytváří příležitost pro zástupce města nebo regionu, aby otestovali různé dopravní scénáře, aniž by bylo nutné instalovat a naučit se používat software pro tvorbu dopravních modelů nebo zadávat zakázky dopravním inženýrům pokaždé, když je potřeba ověřit například dopad nějaké uzavírky. Zdrojový kód TraMod je dostupný zde: <https://gitlab.com/kolovsky/traffic-modeler-rest>.

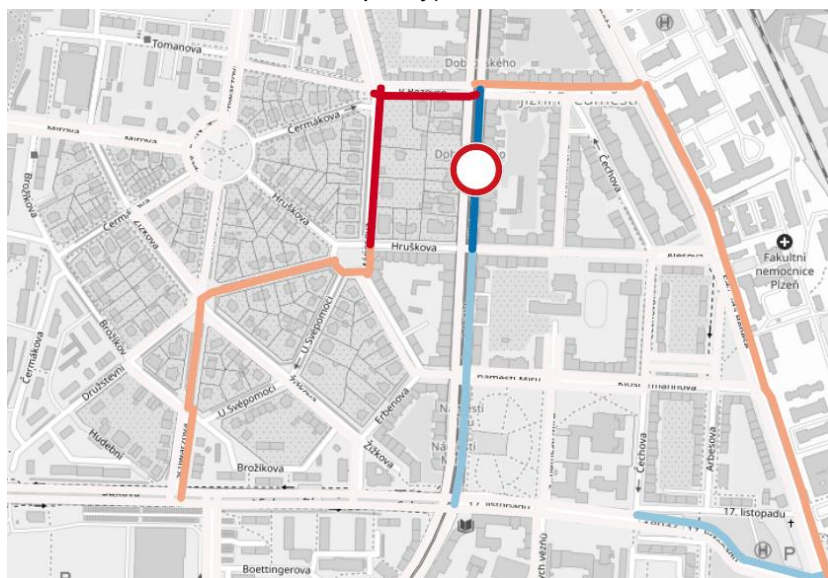
Obr. 2. Traffic Modeller - výstup



Výpočetní potenciál samotné knihovny TraMod je pak využíván v [TraMod Web App](#), která má nebo v nejbližší době bude mít implementovány tyto funkce:

- Výpočet intenzit dopravy téměř v reálném čase (v závislosti na velikosti silniční sítě a výpočtu kapacity serveru se čas může lišit od sekund do minut).
- Implementace tří algoritmů pro přiřazení dopravy na síť poskytujících optimální schéma výpočtu pro všechny případy použití.
- Výpočet analýzy „co kdyby“ s uživatelsky definovanými scénáři, které mohou zahrnovat:
 - o úprava rychlosti komunikace
 - o úprava kapacity silnice: např. uzavírka silnice / jízdního pruhu
 - o úprava geometrie segmentu silnice: např. změna křižovatky
 - o přidání nového segmentu silnice: např. výstavba nové komunikace
 - o přidání nových generátorů provozu: např. speciální kulturní akce nebo nově vybudované městské centrum

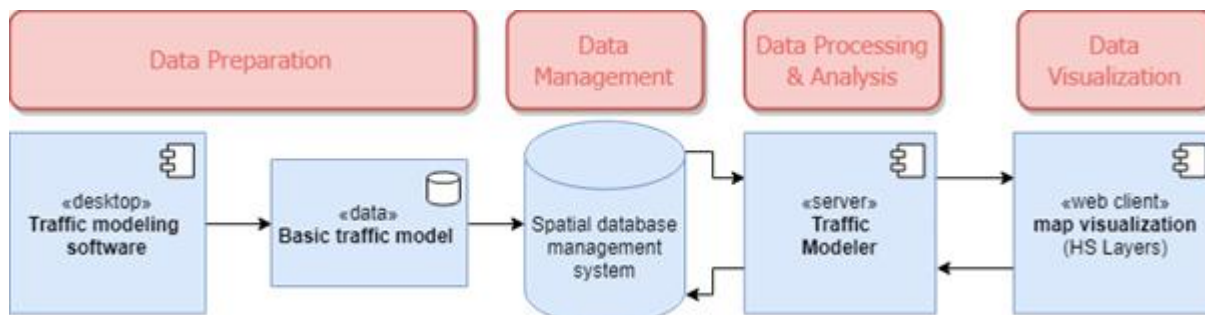
Obr. 3. Traffic Modeller – výstup – rozdílový kartodiagram intenzit dopravy (vliv uzavírky komunikace na intenzitu dopravy)



TraMod Web App je nástroj, kterému je vhodné dodat již vytvořený dopravní model (například s využitím výše uvedených SW).

Ale v plánu je postupné budování funkcionalit umožňujících vytvoření dopravního modelu nad veřejně přístupnými daty.

Obr. 4. Traffic Modeller - architektura



4. Traffic Modeller jako vstup pro modelování hluku

Jak bylo uvedeno v předcházejících kapitolách, TraMod je nástroj umožňující vzdálený výpočet dopravních dat pro uživatelem určené dopravní scénáře. Vypočtená data lze pak buď přímo vizualizovat v prostřední webové aplikace anebo data využít jako vstup pro další analýzu či model. Jako pilotní ukázkou tohoto přístupu byl v rámci vývojového týmu TraMod zvoleno modelování hluku z dopravy, pro které jsou kvalitní dopravní data základním vstupním parametrem.

Na úvod byla provedena rešerše mezi open-source řešeními pro výpočet hluku z dopravy. Jako nejvhodnější se jevila knihovna NoiseModelling [1] vyvíjena jako CNOSSOS-EU respektující alternativa ke komerčnímu SW pro modelování hluku. Tato knihovna nemá v současnosti samostatné grafické rozhraní a je možné ji obsluhovat buď přímo přes programovací prostřední anebo pomocí WPS Builder.

V současnosti byl otestován prvotní přechod dat mezi API TraMod a knihovnou NoiseModelling na desktopu (viz obr. 5). Dalším krokem je ověření kvality výpočtu a integrace obou řešení v serverovém prostředí. Cílem takové integrace je nabídnout městům možnost v čase blízkém reálnému porovnat různé stavy hlukové situace v závislosti na uzavírce nebo jiné úpravě parametrů sítě.

Obr. 5. Výstup hlukového modelování pomocí NoiseModelling z dat Traffic Modeller



Literatura

- [1] Bocher, E.; Guillaume, G.; Picaut, J.; Petit, G.; Fortin, N. NoiseModelling: An Open Source GIS Based Tool to Produce Environmental Noise Maps. ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2019, 8, 130.

Poděkování

PoliVisu has received funding from the EU Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 769608.

Project TRAFFO (CK01000096) je řešen s finanční podporou Technologické agentury ČR.

Noise modelling using interactive web tools

Jan Martolos

¹*EDIP s.r.o.*

Pařížská 1230/1, 301 00 Plzeň

e-mail: martolos@edip.cz

Daniel Beran

²*University of West Bohemia, Faculty of Applied Sciences, Geomatics*

Univerzitní 22, 301 00 Plzeň

e-mail: dberan@kgm.zcu.cz

Abstract

The graphical output of noise modelling from automobile traffic is usually a map of noise bands (isophone). Specialized desktop applications are usually used for modelling. Their advantage is the accuracy of the calculation and the possibility of outputs for specialists in noise measurement and modelling. A certain disadvantage is the price, the need for relatively accurate inputs and the need for control by a specialist - acoustics.

In some cases, a simpler but even more illustrative visualization of noise is sufficient for a given purpose. The paper will introduce the TrafficModeller tool primarily used for traffic modelling and its further use for modelling noise from automobile traffic. Furthermore, the paper considers the advantages and disadvantages of web tools usable by the general public in the field of traffic modelling and environmental impact.

Ukázka praktického využití akustické kamery pro lokalizaci zdrojů hluku u kolejové dopravy

Ondřej Bret

Fakulta stavební ČVUT v Praze

Thákurova 7, 166 29, Praha 6

e-mail:ondrej.bret@fsv.cvut.cz

Abstrakt

Příspěvek představuje akustickou kameru jako prostředek pro odhalování problematických míst na stavebních konstrukcích a vozidlech u hluku z dopravy. Příspěvek stručně popisuje i princip fungování, popis mikrofonního pole a možnosti nasazení akustické kamery na praktické úlohy řešení lokalizace zdrojů hluku v dopravě jako jízda tramvajových vozů nebo měření protihlukových stěn, včetně ukázky konkrétního využití v praktické úloze.

1. Akustická kamera, princip fungování a možnosti využití

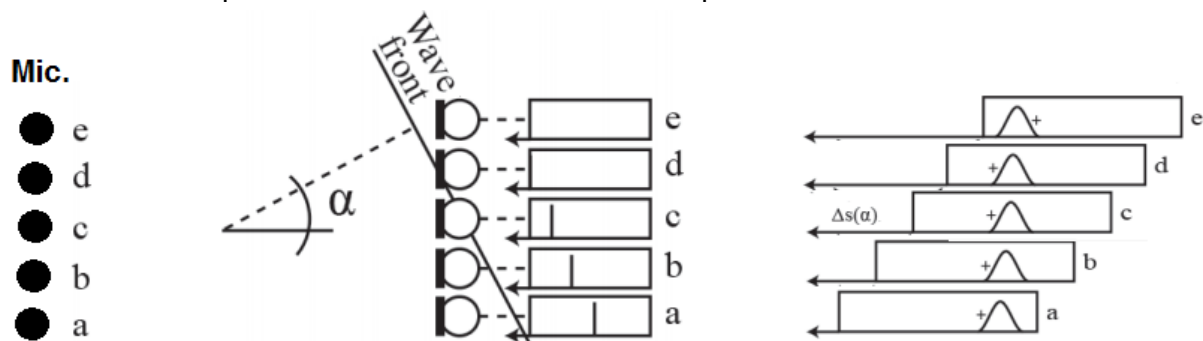
Akustická kamera je souhrnný název pro zařízení složené z mikrofonního pole (někdy též označovaného jako *mikrofonní anténa*), optické kamery a záznamové popřípadě i vyhodnocovací jednotky. Základním účelem je možnost zobrazení zdroje (zdrojů) hluku do zaznamenávaného obrazu (fotografie nebo videa) – a tím vytvoření tzv. „*hlukové mapy*“ – které umožní jejich lokalizaci. Uspořádání mikrofónů v prostoru i jejich vzájemná vzdálenost mohou být různé - na základě počtu mikrofónů a jejich umístění je dán frekvenční rozsah měření akustické kamery, uspořádání mikrofónů v prostoru může mít vliv také na přesnost vyhodnocovaného záznamu s ohledem na sledovaný zdroj. Pokud je počet mikrofónů menší a ty jsou umístěny blíže u sebe, tak je akustická kamera vhodná pro střední a vyšší frekvence. Taková kamera je vhodná pro měření z menší vzdálenosti například při lokalizaci hluku u motoru aut, sekaček na trávu, atp. Naopak čím vyšší je počet mikrofónů a celkové rozpětí mikrofonního pole, tím lépe dokáže lokalizovat střední až nižší frekvence. V takovém případě může akustická kamera být vzdálená od zdroje hluku několik desítek centimetrů, avšak pro některé aplikace i stovky metrů. K dispozici jsou kamery s rastrovým, kruhovým radiálním i nepravidelným uspořádáním mikrofónů. Ukázka možných uspořádání mikrofonního pole je ukázána na Obr. 1

Obr. 1. Možné uspořádání mikrofónů do mikrofonního pole



Mikrofonní pole sestává z většího počtu mikrofonů, zpravidla v počtu vyšších desítek, nejčastěji od 36 do 120. Zaznamenávaný signál je následně na základě časového a fázového posunu záznamu z jednotlivých mikrofonů analyzován a přiřazován do plošných souřadnic snímaného obrazu. Na obrázku Obr. 2 je znázorněna zvuková vlna přicházející k mikrofonům pod úhlem alfa. Zpoždění časového signálů mezi mikrofony jsou různé podle vzdálenosti, kterou zvuková vlna urazí.

Obr. 2. Možné uspořádání mikrofonů do mikrofonního pole



Source: [1]

Dále je součástí měřicí jednotky převodník, který shromažďuje signály z jednotlivých mikrofonů a převádí je do signálů pro vyhodnocovací jednotkou. Používá se řada různých výpočtových algoritmů vhodných pro různé účely měření a nasazení akustické kamery v terénu (použití a výběr algoritmu je závislý na vzdálenosti zdroje, jeho frekvenci, požadované přesnosti a dalších obdobných faktorech). Takto zpracovaný signál je pak přiřazen do obrazu, kde je intenzita jednotlivých zdrojů vyjádřena v hlukové mapě barevnou škálou. Je potřeba zdůraznit, že akustická kamera neslouží primárně k určení dosahovaných hladin hluku, ale k lokalizaci dominantních zdrojů hluku - například hlučných komponent, rezonujících součástí, netěsností, atp. Lokalizace (resp. odstranění) těchto zdrojů pak může významně snížit emitovanou akustickou energii a tedy i zatížení okolí hlukem.

2. Vybrané ukázky nasazení akustické kamery

Akustickou kameru je možné využít v široké škále technických aplikací – od již zmíněných možností sledování motorů aut a jejich komponentů, přes sledování celých průmyslových areálů nebo hal, až například sledování emitované akustické energie při provozu větrných elektráren. Následující uvedené příklady ukazují vybrané možnosti nasazení akustické kamery pro lokalizaci zdrojů hluku u kolejové dopravy. U prezentovaných úloh byla využita akustická kamera typu Bionic L-112 Array, která se skládá ze 7 ramen se 16 mikrofony, které dohromady tvoří různici mikrofonní soustavy o průměru 1,7 m o 112 mikrofonech s frekvenčním rozsahem záznamu 10Hz – 24kHz. [2] Záznam byl hodnocen v software NoiseInspector.

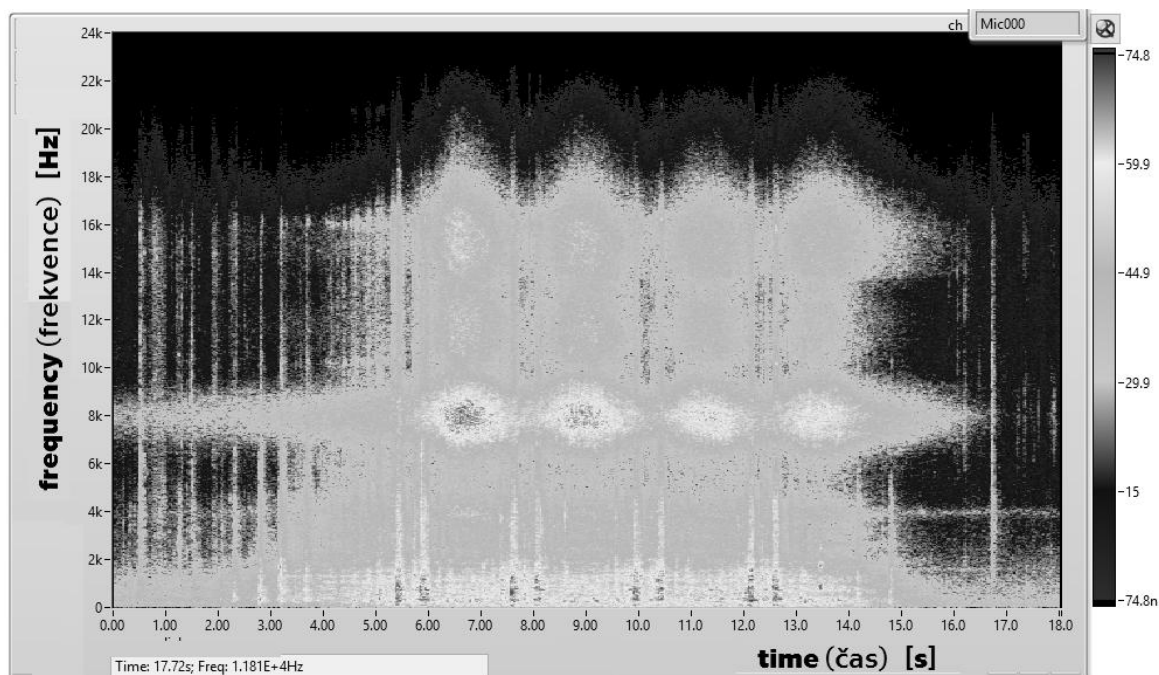
2.1. Sledování podvozku tramvaje 15T při průjezdu přes kolejové konstrukce

V souvislosti s rozšířením moderních tramvajových vozů, které využívají celkově jinou konstrukci a koncepci, než vozy starších konstrukcí, se kromě dalších jízdních a technických odlišností při jejich jízdě objevují i některé nové jevy z pohledu akustiky. Jedním z takových, v městském prostředí nových akustických jevů, je charakteristický zvuk vznikající při průjezdu nízkopodlažních článkových vozidel s otočnými podvozky (například tedy i tramvaje typu Škoda 15T) přes kolejové konstrukce – tento zvuk je někdy označován jako „kastanětování“. [3]

Cílem měření s akustickou kamerou bylo zjistit možnosti lokalizace zdrojů hluku na podvozku tramvaje typu 15T při průjezdu přes kolejové konstrukce a případně potvrdit předpokládaná místa zdrojů hluku. Hlavním předpokládaný zdroj hluku byl závěs kolejnicové brzdy, resp. v jejím blízkém okolí, který se při průjezdu přes kolejové konstrukce rozechvěje a naráží do okolních součástí podvozku. Přestože bylo toto místo předpokládáno jako zdroj tohoto hluku s vysokou mírou pravděpodobnosti, nebylo možné při použití konvenčních metod akustických měření (zvukoměrem, sondou intenzity) s ohledem na to, že se tento jev projevuje pouze při pohybu tramvaje přes kolejovou konstrukci, tuto hypotézu s jistotou potvrdit. Dalším cílem bylo případně vytipovat další místa, která mohou také působit jako další, byť ne dominantní zdroj hluku. Měření probíhalo na objízdě koleji vozovny Hloubětín a probíhalo ve více fázích u zvolené výhybky, resp. u její výměny, srdcovky a v dalších profilech s definovanou vzdáleností od těchto míst, s využitím vozu s 15T4, kterému byly pro účel měření a možnosti porovnání na podvozcích 1 a 2 odstraněny plenty, podvozky 3 a 4 zůstaly zaplentovány. [3]

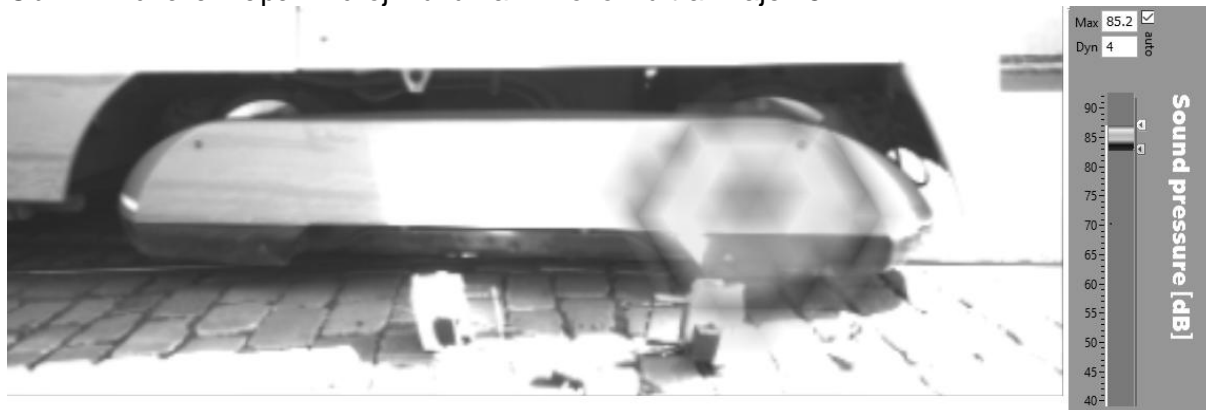
První ukázkou výstupu z tohoto měření je tzv. „akustický otisk“ průjezdu tramvaje. Patrná je vyšší intenzita emitované akustické energie od podvozků 1 a 2, které byly pro účel měření odkryty (což mimo jiné také potvrzuje smysluplnost aplikace plent podvozků a jejich zakrytí z pohledu emise hluku). [3]

Obr. 3. Diagram čas-frekvence-intenzita (tzv „akustický otisk“) průjezdu tramvaje 15 T



Druhou ukázkou výstupu je hluková mapa 4. (zakrytého) podvozku získaná pomocí výpočtového algoritmu EVOB pro frekvence v rozsahu 140 – 1414 Hz

Obr. 4. Hluková mapa – zdroj hluku na 4. Povožku tramvaje 15T



Podrobný popis měření a jeho a výsledků přesahuje možnosti krátkého představení možností aplikace akustické kamery v tomto příspěvku, ale lze jej nalézt v článku Akustické sledování podvozku tramvaje 15T při průjezdu přes kolejové konstrukce uveřejněném v odborném časopise Akustika, vol. 33, září 2019. [3]

2.2. Odhalení případných netěsností na stávající PHS u železniční trati

Protihlukové stěny budované u železničních tratí, případně podél silnic a dálnic, chrání objekty a prostory zejména díky svým vlastnostem jako je odrazivost a neprůzvučnost. Jak při výstavbě, tak vlivem stárnutí se však mohou u PHS objevovat netěsnosti – ať už jde například o vypadlé/chybějící horizontální těsnění mezi jednotlivými panely, rozvolnění uložení panelů ve sloupcích, nebo prorůstání vegetace mezi sloupky a/nebo panely. Jednou z řešených úloh tak bylo zkoumání vytipovaného úseku PHS u koridorové železniční trati procházející přes obec Strančice. [4]

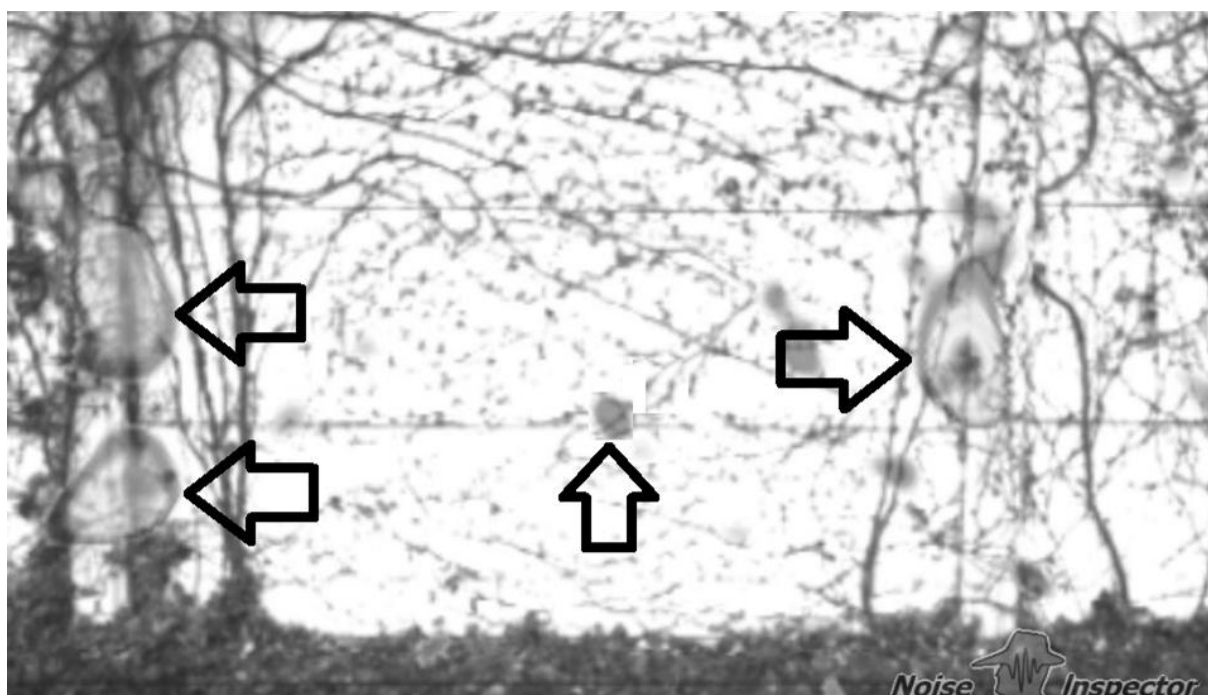
Cílem bylo zjistit vliv možných netěsností způsobených ať už chybějícím těsněním nebo prorůstající vegetací, která mohla zapříčinit zvedání panelů vlivem prokořenění. Sledovaná protihlukové stěna měla v době měření stáří přes 10 let. Pro sledování byla vytipována typická PHS systému Liadur, typ 8, které jsou tvořeny prefabrikovanými železobetonovými dílci z betonu C30/37 s tloušťkou 110 mm, výškou 500 mm a modulové délce 3000 mm. Dílce mají na lícové straně 110 mm tlustou vrstvu mezerovitého lehkého betonu s trapézovými žebry, která jsou široké v líci 40 mm a u kořene 60 mm, osová vzdálenost žebry je 100 mm a hloubka 70 mm. Deska spolu s absorpční vrstvou z mezerovitého lehkého betonu z kameniva Liapor tvoří monolitický celek. Celková výška stěny v měřicím místě byla 3,0 m, výška nad TK 2,5 m. Proběhlé měření mělo dvě hlavní fáze: sledování, první, kdy jako zdroj hluku sloužily projíždějící vlaky, a druhé nezávislé měření, kdy byl využit externí zdroj zvuku generující tzv. *bílý šum* (signál má stejný výkon v jakémkoli pásmu shodné šířky). Budící aparatura byla umístěna na stezce, orientovaná směrem na stěnu. [4]

Na následujícím obrázku Obr. 5 je vyobrazena sledovaná PHS výrazně prorůstající vegetací.

Obr. 5. Pohled na rubovou stranu PHS v obci Strančice a stanoviště akustické kamery



Obr. 6. Hluková mapa – ohniska prostupu hluku skrz konstrukci



Z hlukové mapy (Obr.6) je patrných několik ohnisek prostupu hluku skrz protihlukovou stěnu (s ohledem na černobílé provedení sborníku zvýrazněno šipkami). Tyto prostupy byly na místě skutečně identifikovány jako místa prorůstání kořenovým systémem, popřípadě chybějícím nebo porušeným těsněním. Podrobný popis měření a jeho a výsledků přesahuje možnosti krátkého představení možnosti aplikace akustické kamery v tomto příspěvku, ale lze jej nalézt v diplomové práci Jana Vedrala na téma Posouzení protihlukových stěn měřením insitu pomocí akustické kamery, obhájené v roce 2020. [4]

3. Závěr

Akustická kamera představuje při správném a uváženém nasazení velmi efektivní a přínosný prostředek pro lokalizaci zdrojů hluku (nejen) z dopravy. Jak ukazují i vybrané ukázky praktického využití, možné nasazení akustické kamery může být různé. Největším přínosem a rozdílem oproti jiným metodám je zobrazení zdrojů hluku do zaznamenávaného obrazu, což je jak pro zpracovatele, tak koncového zákazníka, velmi atraktivní a přehledné. Akustická kamera využívá svých výhod zejména u pohybujících se objektů (jedoucích vozů), kde lokalizace zdrojů hluku například pomocí sondy intenzity může být značně problematická, někdy i nemožná.

Literatura

- [1] Noiseless Acoustics, Kaistale 2015 [online] Dostupné na: <https://blog.kaistale.com>
- [2] CAE Software und Systems. Produktová prezentace CAE Software und Systems 2019, [online]. Dostupné na: www.cae-systems.com.
- [3] BRET, O.: *Akustické sledování podvozku tramvaje 15T při průjezdu přes kolejové konstrukce*. In: Akustika, vol. 33, září 2019. ISSN: 1801-9064.
- [4] VEDRAL, J.: *Posouzení protihlukových stěn měřením insitu pomocí akustické kamery. Diplomová práce, Fakulta stavební ČVUT, Praha 2020. Dostupné na <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/86458>*

Poděkování

Prezentované výsledky byly dosaženy za podpory projektů: “Analýza akusticky problematických míst při průjezdu tramvajových souprav přes kolejové konstrukce” (Studentská Grantová Soutěž ČVUT), identifikační číslo SGS19/043/OHK1/1T/11, a „Modernizace a doplnění infrastruktur výzkumně zaměřených programů v oblasti vodního hospodářství a environmentálního inženýrství“ v rámci programu Operační program – Věda, výzkum, vzdělávání, identifikační číslo CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_017/00026. Měření, sběr dat i jejich vyhodnocování prováděli převážně studenti magisterských a doktorských programů na Fakultě stavební ČVUT v Praze.

Examples of the practical use of an acoustic camera for locating noise sources in rail transport

Ondrej Bret

*Faculty of Civil Engineering, CTU in Prague
Thakurova 7, 166 29, Prague, Czech Republic
e-mail:ondrej.bret@fsv.cvut.cz*

Abstract

The paper presents an acoustic camera as a means of detecting problematic places on building structures and vehicles with traffic noise. The paper briefly describes the principle of operation, a description of the microphone field and the possibility of using an acoustic camera for practical tasks of solving the location of noise sources in transport, for example in tram cars or measuring noise barriers.

2. Ovzduší

Vliv dopravy na kvalitu ovzduší

Roman Ličbinský, Jiří Huzlík, Libor Špička

Centrum dopravního výzkumu, v.v.i.

Líšeňská 33a, 636 00, Brno

e-mail:roman.licbinsky@cdv.cz

Abstrakt

Jedním z nejzávažnějších problémů dopravy, a to zejména v důsledku jejich významného rizika pro zdraví člověka je znečištění ovzduší emisemi. Příčinou emisí škodlivin z motorů vozidel do volného ovzduší jsou výfukové plyny vznikající při spalování pohonných hmot. Jsou to komplexní směsi obsahující stovky chemických látek v různých koncentracích přispívající k dlouhodobému oteplování atmosféry, k tzv. "skleníkovému efektu" nebo často s toxickými, mutagenními i karcinogenními vlastnostmi pro člověka.

1. Škodliviny produkované dopravou

Nejvýznamnější škodliviny znečišťující ovzduší z dopravy je možné rozdělit na látky limitované, na které se vztahují emisní limity a látky nelimitované. Mezi limitované škodliviny jsou řazeny oxid uhelnatý (CO), oxidy dusíku (NO_x), ne-metanové plynné uhlovodíky (NM VOC) a aerosolové částice pro diesellová vozidla (PM). S výjimkou PM dochází sice u nových vozidel v důsledku přísnějších limitů, daných normami EURO, k jejich poklesu, ale vzhledem ke zvyšujícímu se objemu dopravy, zejména nákladní, však dochází k celkovému růstu emisí.

Nelimitované škodliviny mají často závažnější dopady na zdraví člověka, ale pro v současné době nedostatek informací o látkách samotných a daleko vyšším nárokům na měřicí techniku není jejich produkce monitorována. Do této skupiny řadíme látky přispívající k dlouhodobému oteplování atmosféry, tj. oxid uhličitý (CO₂), metan (CH₄), oxid dusný (N₂O). Další škodliviny, nebezpečné pro zdraví člověka, vznikající zejména při nedokonalém spalování pohonných hmot jsou polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU), fenoly, ketony, dehet, 1,3 butadien a benzen, toluen, xyleny (BTX). Při spalování pohonných hmot mohou vznikat rovněž polychlorované dibenzodioxiny/furany (PCDD/F) a polychlorované difenyly (PCB) v případě přítomnosti chlóru ve spalovacím systému [1].

Ve snaze snížit produkci škodlivin vznikajících při spalování pohonných hmot byly v první polovině 90. let minulého století zaváděny pro úpravu výfukových plynů automobilů katalyzátory. Ty představují zařízení umístěné ve výfukovém potrubí s kovovým nosičem, který má na vysoce porézní vrstvě nanesenou účinnou katalytickou substanci. Ta pak umožňuje urychlení oxidace vznikajícího CO a uhlovodíků a zároveň redukci NO_x. V současné době se nejvíce využívají tzv. řízené třicestné katalyzátory, v kterých se jako katalyticky účinná substance používá směs platinových kovů – platina (Pt), rhodium (Rh) a paladium (Pd). Vzhledem ke skutečnosti, že katalyzátory jsou vystaveny velkým tepelným rozdílům, dochází k uvolňování platinových kovů do životního prostředí [2, 3], což může mít negativní vliv na zdraví člověka [4].

Výše uvedené se týká škodlivin vznikajících při spalovacích procesech tzv. spalovacích emisí. Uvolňování škodlivin, zejména PM, je však spojeno i s dalšími procesy jako obušování různých namáhaných součástí (brzdové a spojkové

obložení), kdy se do ovzduší uvolňují měď (Cu), antimon (Sb), baryum (Ba), železo (Fe), hliník (Al), zinek (Zn), molybden (Mo), mangan (Mn), hořčík (Mg), kadmium (Cd) a další [5]. Abraze pneumatik, obsahujících různé druhy pryží, je zdrojem především Zn, dalších kovů jako vápník (Ca) a Fe a také elementárního uhlíku. Celá řada kovů se do životního prostředí dostává rovněž při mechanické separaci z rezivějící karoserie automobilů a pouličního příslušenství (koše, dopravní značení, osvětlení, svodidla apod.) [6]. Významnou zátěž ovzduší představuje také zvíření (resuspenze) PM deponovaných na vozovce a v jejím blízkém okolí, iniciovaného projíždějícími vozidly či vířením proudícím větrem [7]. Vozovkový prach zahrnuje částice převážně větších frakcí na jejichž složení se podílí kovy jak geologického původu z okolní půdy (Al, Si, Ca, Mg), tak uvedené výše z provozu automobilů [5]. Nezanedbatelnou roli hrají také částice chemického (sůl) i inertního materiálu (písek, štěrk, struska) pro posyp silnic v zimním období, opadávající nečistoty z vozidel a ztráty převáženého materiálu. V tomto případě hovoříme o emisích nespalovacích.

1. Výsledky

Příspěvek shrnuje několik výsledků z různých aktivit CDV v rámci hodnocení vlivu dopravy na kvalitu ovzduší. Proto jsou dále popsány pouze výsledky a detailní informace o metodice měření jsou u jednotlivých aktivit dostupné v citované literatuře.

1.1. Vliv charakteru provozu na emise vozidel

Měření emisí bylo prováděno v reálném provozu s využitím mobilního měřicího zařízení vyvinutého v CDV, užitiný vzor CZ21385 U1.

Nejnižší produkce emisí byla stanovena u novějších vozidel emisní kategorie Euro 5 pouze v městském provozu, a to u všech limitovaných škodlivin (CO, NO_x a HC) (viz. tabulka 1). Tato kategorie vozidel byla naopak nejhorší v případě produkce CO₂ v mimo městském a dálničním provozu. Za celý jízdní cyklus dosahovala novější vozidla kategorie Euro 5 nejnižšího váženého emisního faktoru pouze v případě nespálených uhlovodíků, a naopak nejvyššího u CO₂.

Tab. 1. Srovnání emisních faktorů vozidel se zážehovým motorem

Relativní srovnání emisních faktorů CO ₂ , CO, NO _x a HC												
Emisní kategorie	CO ₂ , město	CO ₂ , mimo město	CO ₂ , dálnice	CO, město	CO, mimo město	CO, dálnice	NO _x , město	NO _x , mimo město	NO _x , dálnice	HC, město	HC, mimo město	HC, dálnice
Euro 3	1,21	1,26	1,29	4,04	2,29	2,31	10,79	8,49	2,03	1,26	1,00	1,94
Euro 4	1,00	1,00	1,00	1,77	1,00	1,00	1,04	1,00	1,00	1,47	1,98	1,00
Euro 5	1,17	1,29	1,48	1,00	1,19	1,87	1,00	2,25	1,04	1,00	1,80	1,19

Zdroj: CDV [8]

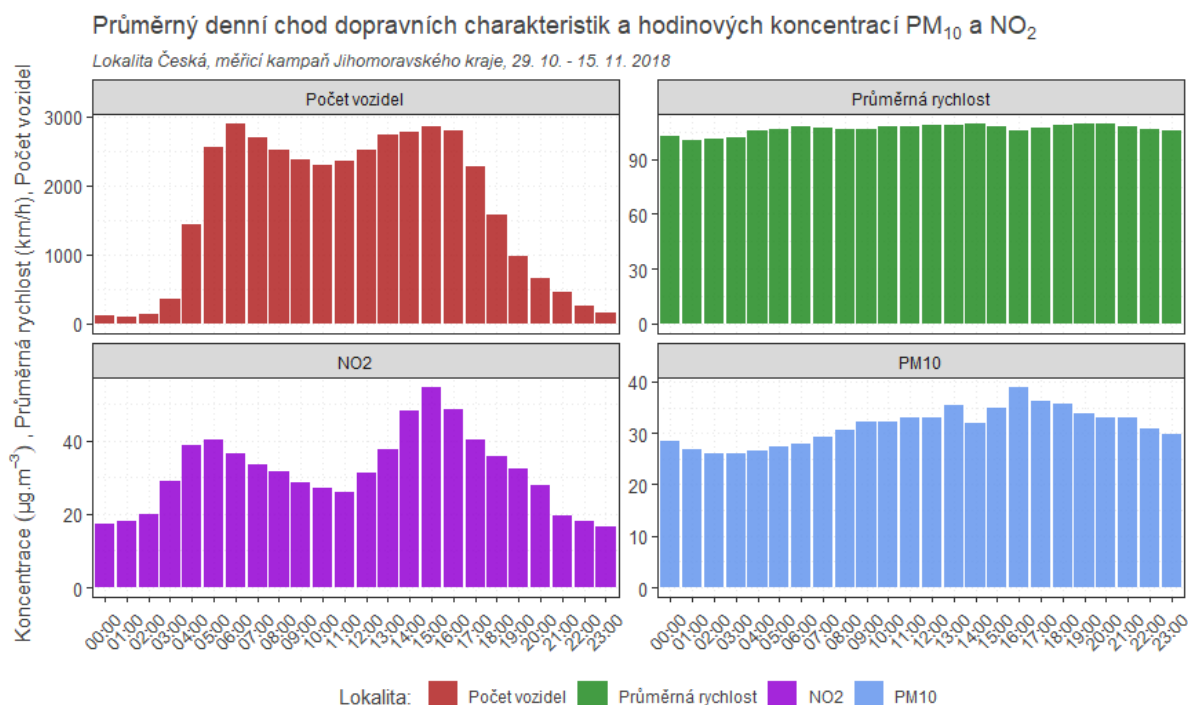
Nejstarší emisní kategorie Euro 3 vykazovala největší relativní rozdíl emisních faktorů vůči nejčistší skupině vozidel u většiny polutantů a režimů provozu, s výjimkou CO₂ v mimo městském a dálničním provozu a HC při jízdě ve městech a mimo města. Dosud realizovaná měření neprokázala, že by vozidla kategorie Euro 4 byla z pohledu produkce emisí horší než vozidla novější kategorie Euro 5, spíše naopak. S výjimkou městského provozu u limitovaných škodlivin a mimoměstského provozu pouze u nespálených uhlovodíků (přičemž emisní limity nebyly překročeny), byl u této kategorie zjištěn ve všech případech nejnižší průměrný emisní faktor.

1.2. Vliv charakteru provozu na kvalitu ovzduší

Měření kvality ovzduší bylo realizováno na dvou od sebe ne příliš vzdálených lokalitách, které jsou ovlivněny dopravou různé intenzity a plynulosti a liší se rovněž charakterem okolní zástavby, a to na lokalitě Česká v těsné blízkosti rychlostní silnice E461 a na lokalitě Kuřim v centru obce v těsné blízkosti rušné křižovatky. Obě lokality se nacházejí severozápadně od Brna a jsou od sebe vzdáleny zhruba 3 km.

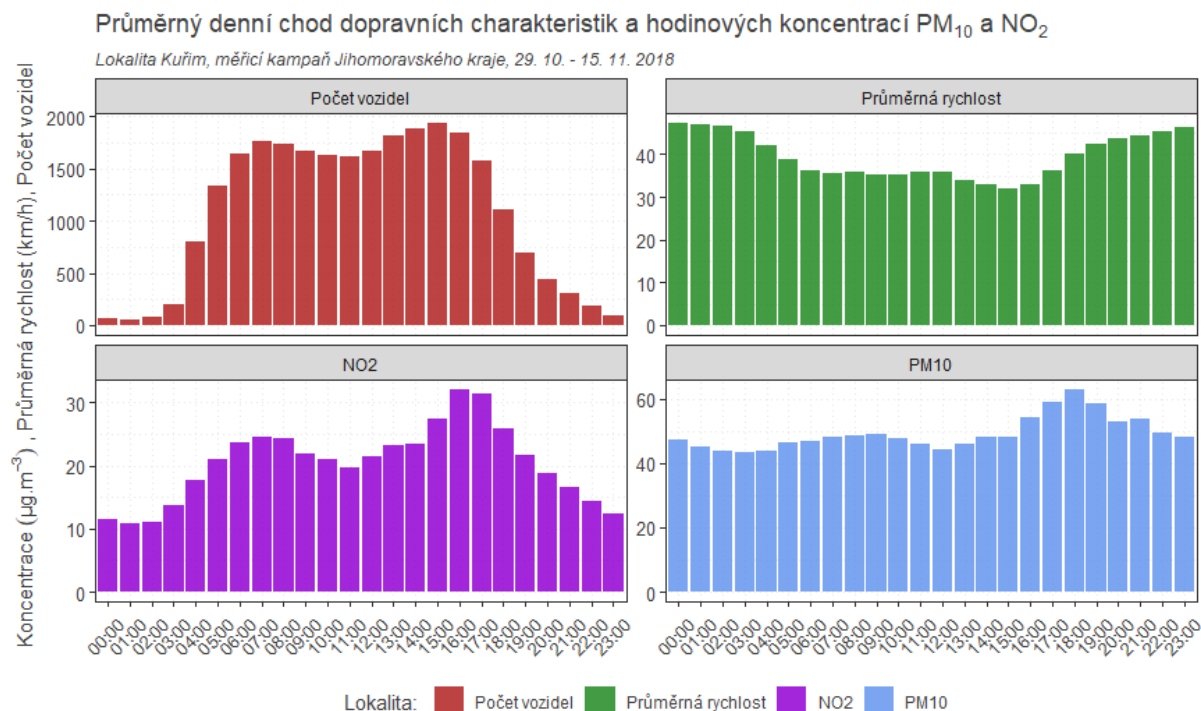
Měření charakteristik dopravního proudu potvrdila, že v lokalitě Česká projíždí větší počet vozidel v průměru téměř 40 tis, což je o téměř čtvrtinu více, než v lokalitě Kuřim (v průměru cca. 29 tis vozidel). Tento rozdíl je dán zejména intenzitou v denních hodinách. V nočních hodinách se počty vozidel přibližně rovnají. Nicméně markantní rozdíl je patrný v případě rychlosti. Zatímco v České projíždějí vozidla plynule rychlostí zhruba $106 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, v lokalitě Kuřim se průměrná rychlost pohybovala těsně pod $40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Obr. 1. Průměrný denní chod dopravních charakteristik a koncentrací PM_{10} a NO_2 , lokalita Česká



Zdroj: CDV [9]

Grafy na Obr. 1 a 2 zobrazují průměrný denní chod hodinových intenzit dopravy, rychlostí dopravního proudu a koncentrací legislativou sledovaných škodlivin PM_{10} a NO_2 . Již na první pohled je patrné, že intenzita dopravy významně naroste v denních hodinách. Ve shodě s tím narůstají i koncentrace oxidu dusičitého. Průměrná rychlost dopravního proudu se v lokalitě Česká téměř nemění, což znamená, že nevznikají kolony a provoz je plynulý. Naproti tomu v lokalitě Kuřim dochází v denních hodinách k poklesu průměrných rychlostí vlivem nízké plynulosti provozu a kolon. Koncentrace částic PM_{10} se v průběhu dne mění méně, v obou lokalitách dochází v odpoledních hodinách k postupnému nárůstu koncentrací, které kulminují večer a v noci, kdy naopak dopravní intenzity klesají. Nárůst koncentrací PM_{10} ve večerních hodinách tedy lze pravděpodobně přisoudit vlivu vytápění v lokálních topeništích.

Obr. 2. Průměrný denní chod dopravních charakteristik a koncentrací PM₁₀ a NO₂, lokalita Kuřim

Zdroj: CDV [9]

Poděkování

Tento článek byl vytvořen za finanční podpory Ministerstva dopravy v rámci programu dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumných organizací.

Literatura

- [1] ADAMEC, V., DUFEK, J., JEDLIČKA, J. a kol. Znečištění ovzduší z dopravy. *Ochrana ovzduší, příloha Kompendium ochrany kvality ovzduší*, část 5, 2005, roč. 17, č. 2, 27 s. ISSN 1211-0337.
- [2] FARAGO, M.E., KANAVAGH, R. BLANKS, R. Platinum metal concentrations in urban road dust and soil in the United Kingdom. *Fresenius' Journal of Analytical Chemistry*, 1996, Vol. 354, p. 660 – 663. ISSN 0937-0633.
- [3] GÓMEZ, B, GÓMEZ, M., SANCHEZ, J.L. et al. Platinum and rhodium distribution in airborne particulate matter and road dust. *Science of the Total Environment*, 2001, Vol. 269, p. 131 – 144. ISSN 0048-9697.
- [4] BAREFOOT, R. R.. Determination of platinum at trace levels in environmental and biological materials. *Environmental Science & Technology*, 1997, Vol. 31, No. 2, p. 309 - 314. ISSN 0013-936X.
- [5] LAMOREE, D.P., TURNER, J.R. PM emissions emanating from limited-access highways. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 1999, Vol. 49, Special Issue, p. 85 – 94. ISSN 1047 - 3289.
- [6] JANSSEN, N.A., VAN MANSON, D.F.M., VAN DER JAGT, K. et al. Mass concentrations and elemental composition of airborne particulate matter at street and background locations. *Atmospheric Environment*, 1997, Vol. 31, No. 8, p. 1185 – 1193. ISSN 1352-2310.

- [7] NICHOLSON, K.W. Review article: a review of particle resuspension. *Atmospheric Environment*, 1988, Vol. 22, No. 12, p. 2639 - 2651. ISSN 1352-2310.
- [8] ŠPIČKA, L., ČERVINKA, O., HEGROVÁ J. a kol. *Stanovení a evaluace emisních charakteristik lehkých vozidel a autobusů v reálném provozu*. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v.v.i, 2007, 74 str.
- [9] Huzlík, J., Skeřil, R., Ličbínský, R. a kol. *Měření kvality ovzduší v lokalitách Česká a Kuřim*. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v.v.i, 2007, 74 str.

Influence of transport on air quality

Roman Ličbínský, Jiří Huzlík, Libor Špička

Transport Research Centre

Líšeňská 33a, 636 00, Brno

e-mail: roman.licbinsky@cdv.cz

Abstrakt (v anglickém jazyce)

One of the most important issues of transport is air pollution by emissions mainly as a consequence of their significant risk affecting people's health. The cause of emissions of the pollutants from the vehicle engines to free air are exhaust gases formed during the propellant combustion. They are complex mixtures containing hundreds of chemical materials in various concentrations contributing to long term atmosphere warming, to the so called "greenhouse effect", often containing toxic, mutagen and carcinogenic properties for human.

Kvalita ovzduší v brněnských městských parcích: plynné škodliviny a PM₁₀

Jiří Huzlík, Jitka Hegrová, Karel Effenberger, Roman Ličbinský

Centrum dopravního výzkumu, v.v.i.

Líšeňská 33a, Brno, 63600

e-mail: jiri.huzlik@cdv.cz

Abstrakt

Parky tvoří protiváhu zastavěných oblastí a veřejných prostorů se zpevněnými povrchy a mají tak zásadní dopad na kvalitu života jejich obyvatel ve vztahu k zeleni. Z tohoto důvodu je důležité brát v úvahu kvalitu prostředí v městských parcích, zejména kvalitu ovzduší. Koncentrace plynných znečišťujících látek, jmenovitě oxidu dusnatého (NO), oxidu dusičitého (NO₂) a ozonu (O₃) byly měřeny v brněnských parcích. Hodnoty koncentrací pevných látek PM₁₀ byly stanoveny kontinuálně pomocí nefelometrické metody s následnou gravimetrickou validací. Získané výsledky měření směru a rychlosti větru, teploty a relativní vlhkosti vzduchu slouží k identifikaci potenciálních zdrojů znečištění ovzduší v parcích. K analýze vlivu meteorologických podmínek na znečištění ovzduší byly použity balíčky „Openair“ a „openairmaps“ z OpenSource softwaru R. Při lokalizaci nejzávažnějších zdrojů. Znečištění ovzduší v městských parcích byly použity lokální polární koncentrační mapy. Výsledky analýz ukázaly, že převládající množství znečištění stanoveného v místě měření s největší pravděpodobností pochází z křižovatek poblíž vzorkovaných lokalit. Maximum koncentrací znečišťujících látek bylo dosahováno na sledovaných místech zejména během ranní dopravní špičky. Podrobný časový a prostorový průběh znečištění ovzduší v městských parcích byl znázorněn na příslušných koncentračních mapách, zachycujících jednotlivé znečišťující látky. Výrazně zvýšené koncentrace oxidů dusíku byly zjištěny na lokalitě poblíž frekventované silnice (s intenzitou provozu 33 000 vozidel/den); tento scénář obecně platil pro chladnější počasí. Nejvyšší koncentrace PM₁₀ byly naměřeny na stejném místě a při průměrné teplotě, která se ukázala jako nejnižší v rámci celé sady měření. V parku Lužánky, na rozdíl od jiných lokalit, byly naměřeny vyšší koncentrace PM₁₀ v teplejším období. To bylo pravděpodobně způsobeno tím, že park slouží v tomto období k pořádání grilovacích párty.

1. Metody měření

Koncentrace NO, NO₂, O₃ a PM₁₀ byly měřeny pomocí dvou přístrojů Airpointer (Recordum Messtechnik GmbH, Rakousko). Koncentrace NO₂ a NO byly měřeny metodou chemiluminiscence (EN14211). K periodické kontrole rozsahu měření byl použit externí kalibrační plyn s koncentrací 425 ppb NO v N₂ (SIAD, Itálie). Koncentrace O₃ byly měřeny metodou absorpce UV (EN 14625). Pro pravidelnou kontrolu rozsahu měření byl použit interní generátor ozonu.

V modulu pro měření PM₁₀ byl použit princip nefelometrie. Nefelometrická metoda byla kalibrována gravimetricky měřením koncentrací PM₁₀ ve 24hodinovém intervalu. Pro kalibraci byly použity sekvenční vzorkovače SVEN LECKEL SEQ 47/50-CD (Sven Leckel Ingenieurbüro GmbH, Německo) s vážením filtrů na mikrováhách Mettler Toledo MX/A.

Ze souboru výsledků byly vypočteny mediány, horní a dolní kvartily pro měřené znečišťující látky, teplotu, relativní vlhkost a rychlost větru. Dále byly výsledky měření graficky zpracovány programem Origin (OriginLab, USA). Závislosti koncentrací

znečišťujících látek na rychlosti a směru větru byly vyhodnoceny pomocí balíčků „openair“ a „openairmaps“ jako součástí OpenSource programu R [7], [8].

2. Podmínky měření a umístění přístrojů

Odběr vzorků byl proveden ve třech vybraných městských parcích v Brně, dvou parcích umístěných v oblastech s velkým dopravním dopadem (poblíž hlavních silnic) a jednom v oblasti s nízkým dopravním zatížením (malý park uvnitř nádvoří). Hlavní městský park „Lužánky“ s největší rozlohou sledovaných parků se nachází v blízkosti centra města a je obklopen silnicemi se silným provozem. V tomto parku byla použita dvě místa pro monitorování kvality ovzduší. Jedno místo je uprostřed a jedno na okraji parku, poblíž dětského hřiště a poblíž komunikací zatížených dopravou. Tento park je hojně navštěvován a využíván pro sportovní a volnočasové aktivity, včetně pikniků.

Park „Koliště“ se nachází hned vedle silnice se silným provozem (33 tisíc vozidel/den). Jedná se o velký park, který slouží k procházkám, uprostřed parku je velmi oblíbená restaurace. Ale kvůli silnici s velkým provozem není tak populární pro sport, aktivity pro děti nebo pikniky. Kvalita ovzduší byla měřena poblíž křižovatky dvou hlavních silnic.

„Tyršův sad“ je velmi malý park v centru města, který se nachází uvnitř nádvoří. Tento park je většinou využíván pouze pro malé procházky, zejména se psy. Kvalita ovzduší byla prováděna uprostřed parku.

Koncentrace plyných znečišťujících látek a PM₁₀ byly měřeny v minutových intervalech (Tabulka 1). Ve stejných intervalech byly měřeny meteorologické podmínky: teplota vzduchu (T), relativní vlhkost (RH), tlak vzduchu (p), rychlost větru (WS) a směr větru (WD).

Tab. 1. Geografické souřadnice lokalit odběru vzorků, časová specifikace měření.

Místo vzorkování	Zeměpisná šířka °N	Zeměpisná délka °E	Začátek měření		Délka měření [dny]	
Tyršův sad	49.2027128	16.6023589	8.2.2019 7:00	2.8.2019 7:00	14	
Lužánky SS ¹	49.2083389	16.6077778	6.3.2019 7:00	22.8.2019 7:00	14	
Lužánky SVC ²	49.2065792	16.6069417	12.9.2018 12:00	6.3.2019 7:00	22.8.2019 7:00	14
Koliště	49.1966892	16.6145658	18.1.2019 7:00	7.6.2019 7:00	14	
Koliště silnice ³	49.1970100	16.6147853	8.11.2019 0:00		18	

¹ lokalita Svojsíkův srub

² lokalita Centrum volného času

³ lokalita podél přilehlé vozovky

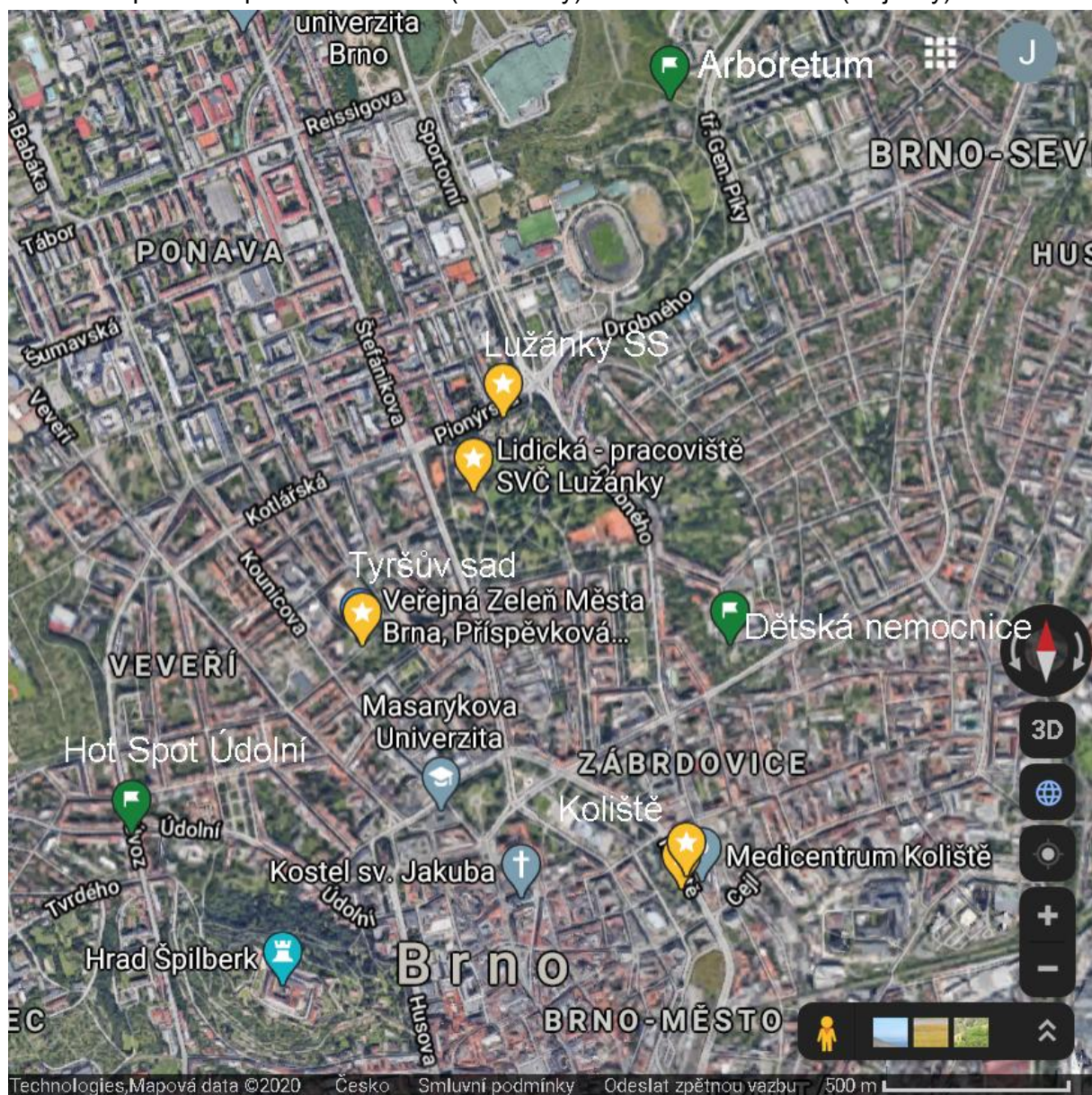
Obr. 1 ukazuje příklad umístění měřicích zařízení na vzorkovacích místech. Zařízení byla připojena k napájení pomocí elektrického kabelu. Průběh měření byl kontrolován prostřednictvím internetového připojení pomocí SIM karty. Obr. 2 ukazuje umístění vzorkovacích lokalit na mapě města Brna.

Obr. 1. Umístění zařízení na lokalitě Koliště. (a) Uvnitř parku. b) Podél přilehlé vozovky



Zdroj: CVD

Obr. 2. Mapa lokalit pro odběr vzorků (hvězdičky) a referenčních lokalit (vlaječky).



Zdroj: CVD

3. Výsledky a diskuse

Každé měření na lokalitách v parcích představuje datová sada s 20 160 pozorováními. Měření na lokalitě „Koliště silnice“ představuje datový soubor s 25 920 pozorováními. Výsledky proto byly shrnuty jako percentily a střední hodnoty. Tab. 2 ukazuje intervaly, v nichž leží 90 % měřených hodnot pro každý parametr.

Tab. 2. Výsledky měření - 0,05 a 0,95 percentil měřených parametrů.

Lokalita	Začátek měření	Percentil	NO μg/m ³	NO ₂ μg/m ³	NO _x μg/m ³	PM ₁₀ μg/m ³	O ₃ μg/m ³	T °C	RH %	WS m/s
Tyršův sad	8.2.2019 7:00	0.05	0.92	8.90	10.89	4.05	3.42	-1.16	55.50	0.00
		0.95	133.54	76.87	286.17	75.44	116.78	9.56	92.33	0.90
Tyršův sad	2.8.2019 7:00	0.05	0.50	2.77	3.99	6.05	17.43	13.96	40.54	0.00
		0.95	4.80	18.66	25.09	17.05	102.21	28.22	94.27	0.80
Lužánky SVC	12.9.2018 12:00	0.05	1.23	4.10	6.67	3.10	1.01	5.52	4.48	0.00
		0.95	40.74	54.41	114.90	29.45	100.47	25.91	100.00	1.52
Lužánky SVC	6.3.2019 7:00	0.05	2.13	3.43	6.95	7.65	5.48	0.53	42.93	0.00
		0.95	21.71	50.43	86.07	33.21	112.67	12.90	100.00	1.61
Lužánky SVC	22.8.2019 7:00	0.05	0.74	4.42	6.03	11.28	5.49	11.41	41.59	0.00
		0.95	18.23	39.68	67.52	53.80	116.80	29.28	93.92	1.14
Lužánky SS	6.3.2019 7:00	0.05	1.18	4.67	6.84	4.64	2.75	-0.15	43.38	0.00
		0.95	38.42	55.78	115.50	35.88	130.53	12.90	93.55	1.15
Lužánky SS	22.8.2019 7:00	0.05	1.55	6.52	9.56	16.27	1.77	11.76	41.54	0.00
		0.95	29.27	40.73	86.31	78.20	112.04	29.62	100.00	0.82
Koliště	18.1.2019 7:00	0.05	1.22	17.67	20.26	24.19	4.46	-8.68	58.53	0.00
		0.95	136.72	87.80	291.13	134.13	81.96	1.58	92.78	1.38
Koliště	7.6.2019 7:00	0.05	0.92	7.06	9.85	6.06	19.39	16.37	43.15	0.00
		0.95	8.12	36.20	48.46	55.14	122.94	30.44	99.10	1.25
Koliště silnice	8.11.2019 0:00	0.05	1.85	11.34	15.00	21.61	2.96	2.34	73.24	0.00
		0.95	153.88	61.53	288.60	93.26	34.30	12.36	94.73	1.74

Zdroj: CVD

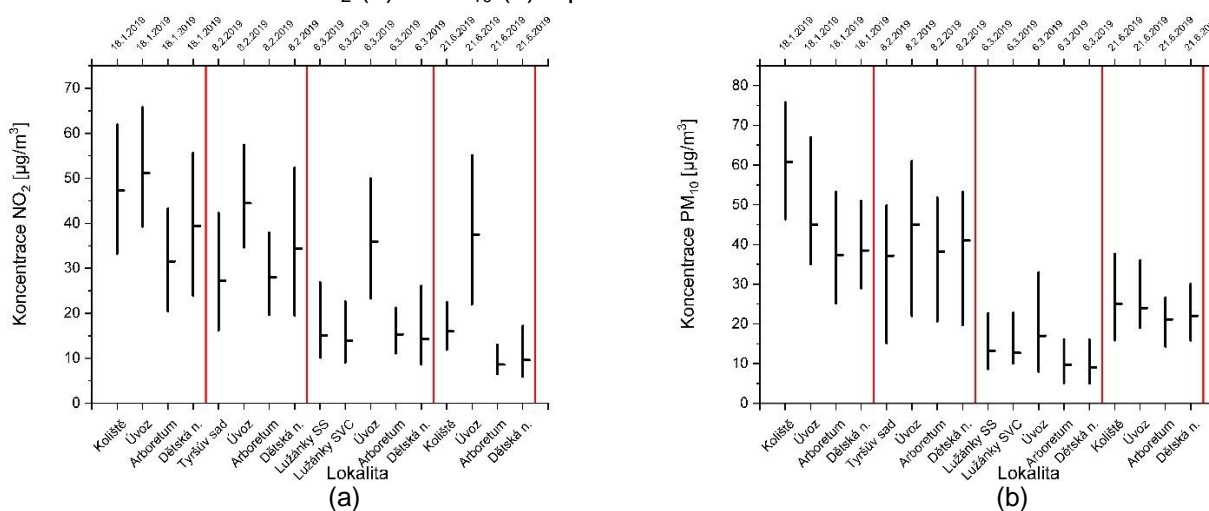
Výsledky měření na automatických monitorovacích stanicích znečišťování ovzduší (AIM) byly použity k porovnání s koncentracemi znečištění ovzduší v parcích a jejich okolí jako hodinové průměry koncentrací NO₂ a PM₁₀ (Tab. 3 a Obr. 3).

Tab. 3. Výsledky měření na stanicích AIM (referenční lokality) - 0,05 a 0,95 percentil měřených koncentrací.

Stanice AIM	Start	Percentile	NO ₂ μg/m ³	PM ₁₀ μg/m ³
Úvoz	18.1.2019 7:00	0.05	23.01	24.75
		0.95	86.46	119.25
Arboretum	18.1.2019 7:00	0.05	13.60	13.55
		0.95	60.65	101.23
Dětská nemocnice	18.1.2019 7:00	0.05	13.60	13.75
		0.95	79.80	108.00
Úvoz	8.2.2019 7:00	0.05	19.17	8.75
		0.95	82.08	91.75
Arboretum	8.2.2019 7:00	0.05	12.95	8.20
		0.95	53.23	76.00

Stanice AIM	Start	Percentile	NO ₂ µg/m ³	PM ₁₀ µg/m ³
Dětská nemocnice	8.2.2019 7:00	0.05	10.90	8.00
		0.95	80.90	76.50
Úvoz	6.3.2019 7:00	0.05	8.43	2.00
		0.95	67.29	67.25
Arboretum	6.3.2019 7:00	0.05	6.04	2.50
		0.95	40.88	27.65
Dětská nemocnice	6.3.2019 7:00	0.05	3.39	3.00
		0.95	54.72	28.00
Úvoz	7.6.2019 7:00	0.05	9.84	10.00
		0.95	75.16	44.00
Arboretum	7.6.2019 7:00	0.05	4.80	8.58
		0.95	26.67	36.90
Dětská nemocnice	7.6.2019 7:00	0.05	3.40	8.00
		0.95	46.70	40.25

Zdroj: ČHMÚ

Obr. 3. Koncentrace NO₂ (a) a PM₁₀ (b) v parcích a na lokalitách AIM.

Zdroj: CDV

Na Obr. 3 jsou porovnány střední hodnoty (mediány) naměřených koncentrací NO₂ a PM₁₀. Disperze těchto hodnot jsou reprezentovány prostřednictvím horního a dolního kvartilu, což je interpretace věrohodnější než interpretace vyjádřená střední a standardní odchylkou, protože data mají asymetrické statistické rozdělení. To je také jasně vidět na obr. 3: svislé čáry, jejichž délka představuje velikost prvního a třetího kvartilu, nejsou identicky dlouhé.

Jednotlivé měřicí kampaně jsou odděleny čarami. Jak je patrné, znečištění ovzduší v parcích bylo s výjimkou parku Koliště pro PM₁₀ nižší než na dopravní lokalitě a znečištění na pozadových lokalitách se blížilo hodnotám naměřeným v ostatních parcích. Výjimka týkající se parku Koliště byla pravděpodobně způsobena skutečností, že tato oblast je ve srovnání s Lužánkami relativně úzká; v zimním období, kdy je vegetace bezlistá, poskytuje menší ochranu proti prachu vytvářeného na okolních rušných silnicích. Z vyobrazení je navíc zřejmé, že parky zajišťují lepší ochranu ovzduší před oxidy dusíku než před prachem.

Průměrné koncentrace měřených znečišťujících látek byly porovnány s legislativními limity [9], [10], tab. 4. Překročení limitovaných hodnot je v Tabulce vyznačeno.

Tab. 4. Průměrné koncentrace škodlivin z měřených lokalit ve srovnání s legislativními limity.

Lokalita	Začátek měření	NO ₂	NO _x	PM ₁₀	O ₃	NO ₂	PM ₁₀	O ₃
		µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	mg/m ³	Počet překročení		
Lužánky SVC	12.9.2018 12:00	20.52	32.74	12.01	44.95	0	0	0
Lužánky SVC	6.3.2019 7:00	18.41	28.96	16.60	71.44	0	0	0
Lužánky SVC	22.8.2019 7:00	16.01	22.22	33.57	61.48	0	2	3
Lužánky SS	6.3.2019 7:00	20.46	33.65	16.16	77.10	0	0	20
Lužánky SS	22.8.2019 7:00	18.53	30.31	43.46	50.46	0	4	0
Koliště	18.1.2019 7:00	48.89	100.97	66.60	34.47	0	11	0
Koliště	7.6.2019 7:00	17.66	22.94	27.16	77.51	0	0	14
Koliště silnice	8.11.2019 0:00	34.67	108.83	47.72	14.13	0	4	0
Tyršův sad	8.2.2019 7:00	32.95	67.61	36.20	48.78	0	4	0
Tyršův sad	2.8.2019 7:00	7.86	10.18	10.20	59.95	0	0	0

Legislativní limity

Průměrný roční limit	40 ¹	30 ²	40 ¹					
Průměrný denní limit ¹			50					
Počet překročení průměrného denního limitu ¹							35	
Průměrný hodinový limit ²	200							
Počet překročení průměrného hodinového limitu ²						18		
Max 8hodinový průměr ³					120			
Počet překročení max 8hodinových průměrů ³								25

¹ Ochrana lidského zdraví.² Ochrana ekosystémů a vegetace.³ Limit pro troposférický ozon.⁴ Počet případů překročení zákonného limitu.

Na většině lokalit byl překročen limit NO_x pro ochranu ekosystémů a vegetace, kromě lokalit Lužánky SVC v březnu a srpnu 2019, Tyršův sad v srpnu 2019 a Koliště v červnu 2019. Koncentrace NO₂ překročila limit pro ochranu lidského zdraví pouze v lednu 2019, kdy byla zaznamenána nejnižší průměrná teplota ze všech měřicích kampaní. Koncentrace PM₁₀ překročily stejný limit pouze na lokalitách Koliště v lednu 2019, Koliště silnice v listopadu 2019 a Lužánky SS v srpnu 2019. Nicméně se překročené limity vztahují k ročním průměrům, takže porovnání je možné považovat pouze za ilustrativní, naznačující skutečnou situaci, k jaké by mohlo dojít při celoročním monitoringu.

Na lokalitě Koliště při kampani se začátkem 18. 1. 2019 byly nejvyšší koncentrace NO_x naměřeny při východním větru, který fouká ze sousední silnice. Při směrech větru východ až severozápad byly měřeny nejnižší koncentrace ozonu. Nejnižší koncentrace PM₁₀ byla naměřena při severním a jižním větru, což znamená, že doprava představuje nejpravděpodobnější zdroj oxidů dusíku. Existuje větší množství zdrojů PM₁₀ a pravděpodobně činnosti prováděné v této oblasti přispívají k víření prachu v parku. Při kampani se začátkem 7. 6. 2019 byly naměřeny nejvyšší koncentrace NO_x při východním a západním větru, vanoucím od sousední komunikace a z opačné strany. Pravděpodobně se zde projevil vliv dopravy na komunikaci západně od parku, který se v lednu neprojevil. Od jihu přes východ na severozápad byly měřeny nejnižší koncentrace ozonu. Nejvyšší koncentrace PM₁₀ byly získány za klidného počasí. Při kampani se začátkem 8. 11. 2019 byly naměřeny nejvyšší koncentrace NO_x a PM₁₀ při severozápadním větru ve směru vozidel jedoucích k měřicí stanici podél blízkého pruhu silnice. Ve stejném směru větru byly naměřeny nejnižší koncentrace O₃, což znamená, že oxidy dusíku i PM₁₀ v tomto případě nejpravděpodobněji pocházejí z dopravy.

Na lokalitě Lužánky SVC při kampani se začátkem 12. 9. 2018 byly naměřeny nejvyšší koncentrace NO při východním větru. Nejvyšší koncentrace NO₂ byly stanoveny při východních směrech větru, konkrétně od jihu k severu, podobně jako

PM₁₀. Při nízkých rychlostech větru byly naměřeny nejnižší koncentrace O₃, což znamená, že NO₂ i PM₁₀ byly pravděpodobně generovány podobnými zdroji. NO pravděpodobně vznikl z provozu na komunikaci východně od parku. Při kampani se začátkem 6. 3. 2019 byly naměřeny nejvyšší koncentrace NO při severním větru. Nejvyšší koncentrace NO₂ byly získány při východních směrech větru, konkrétně z jihu na sever, podobně jako PM₁₀. Ve východních směrech větru jsme naměřili nejnižší koncentrace O₃. NO pravděpodobně pocházel z provozu na komunikaci severně od parku. Při kampani se začátkem 22. 8. 2019 byly naměřeny nejvyšší koncentrace NO₂ při severních směrech větru. Při západním až severním směru větru byly naměřeny nejnižší koncentrace O₃. NO_x pravděpodobně pocházely z provozu na komunikaci severně od parku. Koncentrace PM₁₀ v tomto případě nevykazovaly významný vztah ke směru větru.

Na lokalitě Lužánky SS při kampani se začátkem 6. 3. 2019 byly naměřeny nejvyšší koncentrace NO, NO₂ a PM₁₀ při severovýchodním větru. Ve stejných směrech větru byly naměřeny nejnižší koncentrace O₃. Oxidy dusíku i PM₁₀ byly pravděpodobně generovány provozem na křižovatce severovýchodně od parku. Při kampani se začátkem 22. 8. 2019 byla situace obdobná.

Z prostorové analýzy jasně vyplývá, že na lokalitě Lužánky SS je dopravní znečištění (NO) potlačeno budovou Svojsíkův srub. Na lokalitě Lužánky SVC je naopak zdroj NO blokován budovou SVC ze západu.

U lokality Tyršův sad nejsou žádné významné zdroje znečištění ovzduší z dopravy; znečištění ovzduší na tomto místě může být spíše generováno dálkovým přenosem nebo, zejména v zimním období, PM₁₀ z místního vytápění.

Na obr. 4 je znázorněn příklad prostorové analýzy pomocí koncentračních map pro lokalitu Lužánky SVC, měřicí kampaň se začátkem 22. 8. 2019.

Obr. 4. Vztahy koncentrací NO (a), NO₂ (b), PM₁₀ (c), a O₃ (d) s rychlostí a směrem větru.



Jak je uvedeno výše, problém snižování koncentrací PM v městských parcích byl diskutován v různých dokumentech, např. [1], [2], [3]. Další články analyzovaly dopad městské zeleně na NO_x, NO₂ [5] a O₃ [6]. V této studii jsou výsledky prezentované v referenčních výzkumných zprávách sledovány a rozvíjeny prostřednictvím takových procedurálních přístupů, jako je sledování vlivu teploty větru a vzduchu na koncentrace znečišťujících látek. Měření ukázala, že kromě vegetace představují sezónní změny meteorologických podmínek a lidské činnosti v parcích podstatný aspekt upravující místní situaci, jak bylo pozorováno v parku Lužánky v srpnu 2019.

Získané výsledky potvrzují závěry navržené Kumarem et al. [4], konkrétně je třeba učinit progresivní kroky k získání dalších znalostí v této oblasti. Vztahy mezi O_3 , NO a NO_2 byly studovány Han et al. [11]; zajímavé je, že výsledky našeho výzkumu se podobají zjištěním Han et al., které naznačují, že pokud jde o studijní oblasti, denní cyklus NO iniciovaný emisemi spalin z motorových vozidel a pokračující související přeměnou znečišťující látky na NO_2 , měl zásadní dopad na běžný proces ozonu. Podobný byl také denní průběh koncentrací těchto znečišťujících látek.

4. Závěr

Ve čtyřech 14denních kampaních byly naměřeny koncentrace NO , NO_2 , PM_{10} a O_3 ve čtyřech lokalitách brněnských městských parků a v jedné lokalitě na silnici přiléhající k parku. V lokalitách „Koliště“ a „Koliště silnice“ byly v chladnějším období naměřeny výrazně vyšší koncentrace oxidů dusíku. Jedná se o místo poblíž frekventované silnice s intenzitou provozu 33 tisíc vozidel/den. Nejvyšší koncentrace PM_{10} byly naměřeny na lokalitě „Koliště“ při nejnižší průměrné teplotě vzduchu ze všech měření. V parku „Lužánky“ byly na rozdíl od jiných lokalit naměřeny vyšší koncentrace PM_{10} v teplejším období, což bylo pravděpodobně způsobeno využíváním parku ke grilování. Pomocí softwarového balíčku „openairmaps“ byly lokalizovány hlavní zdroje znečištění v jednotlivých lokalitách. Na základě těchto výsledků bylo odhadnuto, že hlavními zdroji znečištění ovzduší v parcích jsou přilehlé silnice a křižovatky. V některých případech se však projevily i aktivity lidí v parcích (grilování). Bylo také zjištěno, že přítomnost budov v parcích může lokálně chránit dopad provozu na kvalitu jejich ovzduší. Kvalita ovzduší v parcích byla blízká kvalitě ovzduší v městských pozadových lokalitách. Výjimkou byl park „Koliště“, který pro svůj tvar a blízkost velmi frekventované silnice vykazoval podobnou kvalitu ovzduší jako dopravní lokality.

Literatura

- [1] Von Schneidmesser, E.; Steinmar, K.; Weatherhead, E.C.; Bonn, B.; Gerwig, H.; Quedenau, J. Air pollution at human scales in an urban environment: Impact of local environment and vehicles on particle number concentrations. *Sci. Total. Environ.* 2019, 688, 691–700, doi:10.1016/j.scitotenv.2019.06.309.
- [2] Qu, H.; Lu, X.; Liu, L.; Ye, Y. Effects of traffic and urban parks on PM_{10} and $PM_{2.5}$ mass concentrations. *Energy Sources Part A Recover. Util. Environ. Eff.* 2019, 1–13, doi:10.1080/15567036.2019.1672833.
- [3] Kang, S.; Kang, T.; Park, T.; Park, G.; Lee, J.; Hong, J.-W.; Hong, J.; Lee, J.; Lee, T. Characterization of Aerosol Composition, Concentration, and Sources in Bukhansan National Park, Korea. *J. Korean Soc. Atmos. Environ.* 2018, 34, 457–468, doi:10.5572/kosae.2018.34.3.457.
- [4] Kumar, P.; Druckman, A.; Gallagher, J.; Gatersleben, B.; Allison, S.; Eisenman, T.S.; Hoang, U.; Hama, S.; Tiwari, A.; Sharma, A.; et al. The nexus between air pollution, green infrastructure and human health. *Environ. Int.* 2019, 133, 105181, doi:10.1016/j.envint.2019.105181.
- [5] Sheridan, C.E.; Roscoe, C.J.; Gulliver, J.; De Preux, L.; Fecht, D. Inequalities in Exposure to Nitrogen Dioxide in Parks and Playgrounds in Greater London. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2019, 16, 3194, doi:10.3390/ijerph16173194.
- [6] Yli-Pelkonen, V.; Scott, A.A.; Viippola, V.; Setälä, H.M. Trees in urban parks and forests reduce O_3 , but not NO_2 concentrations in Baltimore, MD, USA. *Atmos. Environ.* 2017, 167, 73–80, doi:10.1016/j.atmosenv.2017.08.020.

- [7] Anonymous. The R Project for Statistical Computing. Available online: <http://www.r-project.org/> (accessed on 13 February 2012).
- [8] Carslaw, D.; Ropkins, K. Openair—An R package for air quality data analysis. *Environ. Model. Softw.* 2012, 27, 52–61, doi:10.1016/j.envsoft.2011.09.008.
- [9] Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe.
- [10] Act 201/2012 Coll. Of the Czech Republic of 2 May 2012 on Air Protection.
- [11] Han, S.; Bian, H.; Feng, Y.; Liu, A.; Li, X.; Zeng, F.; Zhang, X. Analysis of the Relationship between O₃, NO and NO₂ in Tianjin, China. *Aerosol Air Qual. Res.* 2011, 11, 128–139, doi:10.4209/aaqr.2010.07.0055.

Poděkování

Tento příspěvek byl vytvořen se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu ÉTA, v rámci řešení projektu TL01000286 Městské parky jako kvalitní sociální a přírodní prostředí pro život.

Air quality in Brno city parks

Jiří Huzlík, Jitka Hegrová, Karel Effenberger, Roman Ličbínský

Transport Research Centre

Lisenska 33a, Brno, 63600, Czech Republic

e-mail: jiri.huzlik@cdv.cz

Abstract

Parks embody an important element of urban infrastructure and a basic type of public space that shapes the overall character of a city. In this context, parks compensate for the lack of natural, open landscapes in cities and thus have a fundamental impact on the quality of life of their inhabitants. For this reason, it is important to consider the quality of the environment in urban parks, air quality in particular. Concentrations of gaseous pollutants, namely, nitric oxide (NO), nitrogen dioxide (NO₂), and ozone (O₃), were measured in parks of Brno, the second-largest city in the Czech Republic. Relevant concentration values of PM₁₀ solids were determined continuously via the nephelometric method, followed by gravimetric method-based validation. The results obtained through the measurement of wind direction, wind speed, temperature, and relative humidity were used to identify potential sources of air pollution in parks. The “openair” and “openairmaps” packages from the OpenSource software R v. 3.6.2 were employed to analyze the effect of meteorological conditions on air pollution. Local polar concentration maps found use in localizing the most serious sources of air pollution within urban parks. The outcomes of the analyses show that the prevailing amount of the pollution determined at the measuring point most likely originates from the crossroads near the sampled localities. At the monitored spots, the maximum concentrations of pollutants are reached especially during the morning rush hour. The detailed time and spatial course of air pollution in the urban parks were indicated in the respective concentration maps capturing individual pollutants. Significantly increased concentrations of nitrogen oxides were established in a locality situated near a busy road (with the traffic intensity of 33,000 vehicles/d); this scenario generally applied to colder weather. The highest PM₁₀ concentrations were measured at the same location and at an average temperature that proved to be the lowest within the entire set of measurements. In the main city park, unlike other localities, higher concentrations of PM₁₀ were measured in warmer weather; such an effect was probably caused by the park being used to host barbecue parties.

Měření kvality ovzduší v parcích města Brna: koncentrace Na a Ca ve vzorcích pevných částic

Jitka Hegrová, Karel Effenberger, Jiří Huzlík, Vilma Jandová, Roman Ličbinský

Centrum dopravního výzkumu v.v.i.

Líšeňská 33a, 636 00 Brno

e-mail: jitka.hegrova@cdv.cz

Abstrakt

Parky jsou důležitým prvkem městské infrastruktury a jedním ze základních typů veřejných prostranství, která utvářejí celkový ráz města. V rámci systému sídelní zeleně plní nezastupitelnou úlohu. Kompenzují nedostatek přírodní, volné krajiny ve městech. Nabízejí prostor, který je často místem pro kulturní, vzdělávací a sportovní aktivity, kde kvalita ovzduší hraje významnou roli. Pro zjištění kvality ovzduší v parcích města Brna bylo vybráno šest zájmových parků, a to jak v lokalitách dopravně velmi zatížených, tak i v lokalitách klidných městských částí. Park Lužánky, jako „hlavní“ centrální park je monitorován ve všech letních i zimních odběrových kampaních od léta 2018, ostatní parky jsou monitorovány vždy jedno zimní a jedno letní období. V roce 2019 bylo provedeno měření kvality ovzduší ve třech zájmových parcích: městském parku Lužánky, v parku na Kolišti a v parku Tyršův sad. Měření probíhala v letních a zimních kampaních pro porovnání možného znečištění ovzduší v různých ročních obdobích. Prezentované výsledky se zaměřují na vliv zimní údržby komunikací na kvalitu ovzduší v městských parcích.

1. Experimentální část

Měření probíhala v letním a zimním období pro porovnání možného znečištění ovzduší v různých ročních obdobích. Vzorky ovzduší (pevných částic PM₁₀) byly odebrány ve třech vybraných parcích města Brna. Dva z parků leží u komunikací s vysokou intenzitou dopravy, jeden park je umístěn ve vnitrobloku v oblasti s malou intenzitou dopravy. Hlavní městský park Lužánky vykazuje největší plochu ze všech sledovaných parků a nachází se v blízkosti centra města, je obklopený silnicemi s hustým provozem. V parku byla umístěna dvě místa pro monitorování kvality ovzduší: jedno místo uprostřed parku a druhé na okraji parku, poblíž dětského hřiště a silnic zatížených dopravou. Tento park je často navštěvován a využíván pro sportovní a volnočasové aktivity. Park Koliště přiléhá k silnici se silným provozem (33 tisíc aut/den). Zabírá velkou plochu vhodnou k chůzi a uprostřed parku je velmi oblíbená restaurace. Vzhledem k dopravní situaci v okolí parku není oblíbeným cílem pro sportovní aktivity, aktivity pro děti nebo pikniky. Kvalita ovzduší byla měřena poblíž křižovatky dvou hlavních silnic. Tyršův sad je velmi malý park v centru města, který se nachází uvnitř vnitrobloku. Je obklopen domy a málo frekventovanými silnicemi. Tento park se většinou používá pouze na krátké procházky, zejména se psy. Měření kvality ovzduší bylo prováděno uprostřed parku. Sekvenční vzorkovač SVEN LECKEL SEQ 47/50-CD (Sven Leckel Ingenieurbüro GmbH, Německo) byl využit pro 24hodinnový záchyt pevných částic velikostní frakce PM₁₀ na nitrocelulosové filtry, s následnou gravimetrickou analýzou na mikrováhách MX5 (Mettler – Toledo GmbH, Švýcarsko pro stanovení koncentrací kovů v ovzduší. Všechny prvky byly stanoveny s využitím hmotnostního spektrometru s indukčně vázaným plazmatem – Agilent 8800 ICP – MS Triple Quad (Agilent Technologies,

Inc., Japonsko) po rozkladu filtrů mikrovlnným rozkladným zařízením Berghof SW-4 (Berghof Products + Instruments GmbH., Německo). V parku Lužánky byl využíván i přístroj kaskádový impaktor (Electrical Low Pressure Impactor ELPI+™, Dekati Ltd., Německo) pro zjištění prvkového složení po záchytu pevných částic na filtry v jednotlivých velikostních frakcích. Meteorologické parametry (teplota vzduchu, relativní vlhkost vzduchu, tlak, rychlost a směr větru) byly vždy při odběru zaznamenávány přístrojem Airpointer (Recordum Messtechnik GmbH, Rakousko). Koncentrace plyných škodlivin byly měřeny kontinuálně přístrojem Airpointer. Umístění přístrojů v parcích je na obrázku 1.

Obr. 1. Umístění přístrojů v parcích (zleva: Lužánky SVČ, Lužánky SS, Tyršův sad, Koliště)



2. Výsledky a diskuse

Navzdory všem výhodám bezpečné dopravy způsobují chemické posypy i negativní účinky, to se týká zejména chloridu sodného, který je považován za nejčastěji používaný posypový materiál pro zimní údržbu silnic [1]. Významným ukazatelem kontaminace solným roztokem se stává vegetace podél komunikací, která je jeho negativním účinkům vystavena dvojnásobným způsobem. Sodné a chloridové ionty se do rostlin dostávají buď přímým kontaktem přes asimilační orgány, na které se solný roztok dostane pomocí rozstřiku z projíždějících vozidel, anebo nepřímo přes kořenový systém, do kterého se tyto ionty vstřebávají vlivem rozlivu NaCl do půdního prostředí v okolí vozovek. V České republice se spotřeba rozmrazovacích solí během jednoho zimního období pohybuje v rozsahu 150–300 kt, z nichž 98 % představuje právě NaCl [1, 2].

Při hodnocení vlivu zimní údržby komunikací na kvalitu ovzduší se soustředíme na koncentrace zájmových prvků sodík [Na] a vápník [Ca], jež jsou součástí posypových solí. Výsledky uvedené v tabulce 1 jsou za odběrové období zima a léto 2019. Zima byla svým charakterem na spotřebu posypových materiálů náročnější než předchozí a následující zimní období. Přehled souhrnných výsledků průměrných 24hodinových koncentrací zájmových prvků za příslušnou dobu měřicí kampaně je uveden v Tabulce 1.

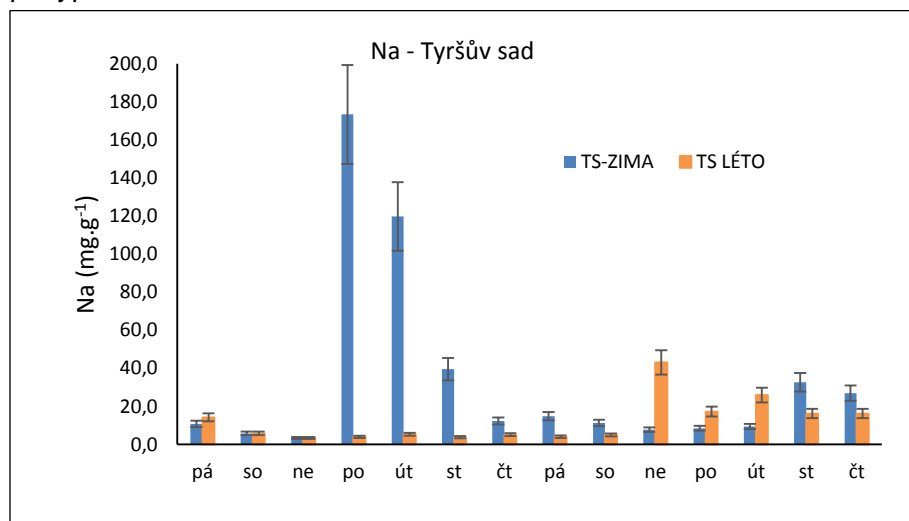
Tab. 1. Průměrné koncentrace Na a Ca v PM₁₀ na vybraných lokalitách [mg/g].

Začátek odběru	6.3.2019 7:00	22.8.2019 7:00	6.3.2019 7:00	22.8.2019 7:00	8.2.2019 7:00	2.8.2019 7:00	18.1.2019 7:00	7.6.2019 7:00
Konec odběru	20.3.2019 7:00	5.9.2019 7:00	20.3.2019 7:00	5.9.2019 7:00	22.2.2019 7:00	16.8.2019 7:00	1.2.2019 7:00	21.6.2019 7:00
Lokalita	Lužánky SVC	Lužánky SVC	Lužánky SS	Lužánky SS	Tyršův sad	Tyršův sad	Koliště	Koliště
Na	18,3±0,913	3,47±0,174	22,3±1,11	3,22±0,161	34,0±1,70	12,1±0,604	15,4±0,772	4,51±0,22
Ca	21,6±1,08	6,79±0,340	21,6±1,08	12,7±0,636	43,8±2,19	13,9±0,696	7,09±0,355	64,8±3,24

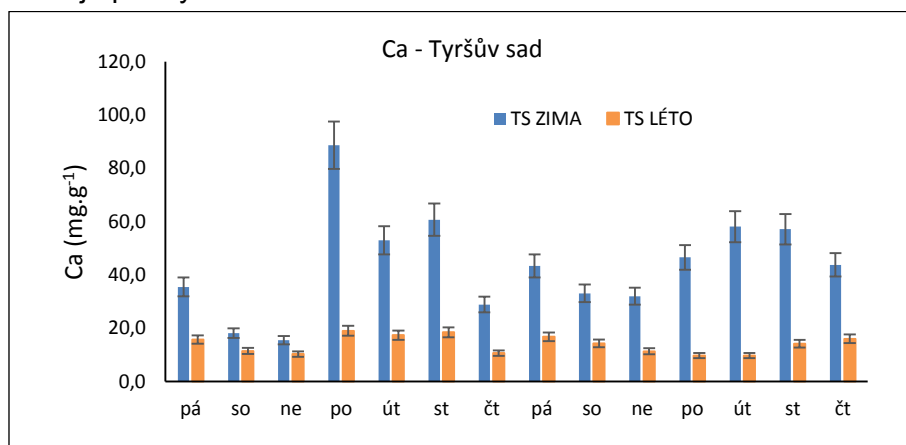
Z tabulky je patrný významný rozdíl koncentrací sodíku obsaženého v pevných částicích PM₁₀ zachycených na filtru v zimním období oproti období letnímu. Stejný trend ukazuje i vápník, který může být součástí posypové soli jako chlorid vápenatý. Výjimkou je lokalita Koliště, zde je velký nadbytek vápníku v letním období způsoben pravděpodobně pobíhajícími stavebními pracemi.

Grafy 1 - 6 znázorňují porovnání koncentrací těchto dvou vybraných prvků stanovených ve vzorcích PM₁₀ odebraných v zimních a letních kampaních v zájmových parcích. Ve všech parcích je velmi patrný rozdíl mezi koncentracemi vybraných prvků v zimním a letním období. V parku Lužánky je patrný rozdíl i mezi jednotlivými měřicími místy. Hodnoty koncentrací vybraných prvků naměřené v blízkosti dětského hřiště na straně parku od ul. Pionýrská, jež je dopravně velmi zatížená komunikace, jsou viditelně vyšší. V grafu 5 je porovnán průběh denních koncentrací ze 3 odběrových kampaní (léto 2018, zima a léto 2019) v parku Lužánky. Křivky vykazují stejný trend, přičemž místo odběru v blízkosti frekventované silnice je v zimním období více koncentračně ovlivněno. Je tedy jasný vliv zimní údržby na zvýšení koncentrace sodíku v ovzduší v zimním období. Při porovnání jednotlivých odběrových míst navzájem je jasně vidět vliv zimní údržby frekventovaných komunikací na kvalitu ovzduší. Zatímco v parcích v blízkosti komunikací je velký rozdíl mezi koncentracemi sodíku v zimním i letním období, v parku ve vnitrobloku je koncentrace sodíku skoro ve všech odběrových dnech zimního období srovnatelná s koncentrací sodíku v období letním.

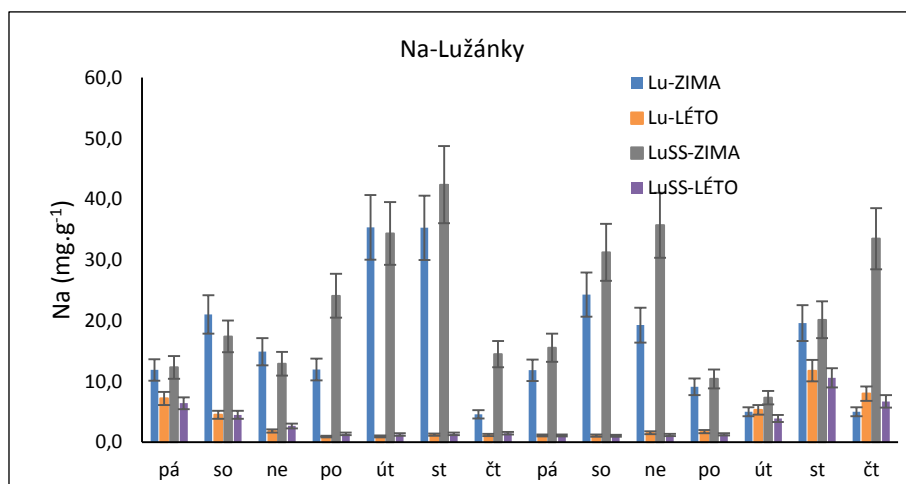
Graf 1. Porovnání naměřených koncentrací Na v zimním a letním období v parku Tyršův sad. I přes to, že park se nachází ve vnitrobloku, je zde patrný nárůst koncentrací sodíku v průběhu měřicí kampaně pravděpodobně z důvodu ošetření cestiček v parku jsou posypem.



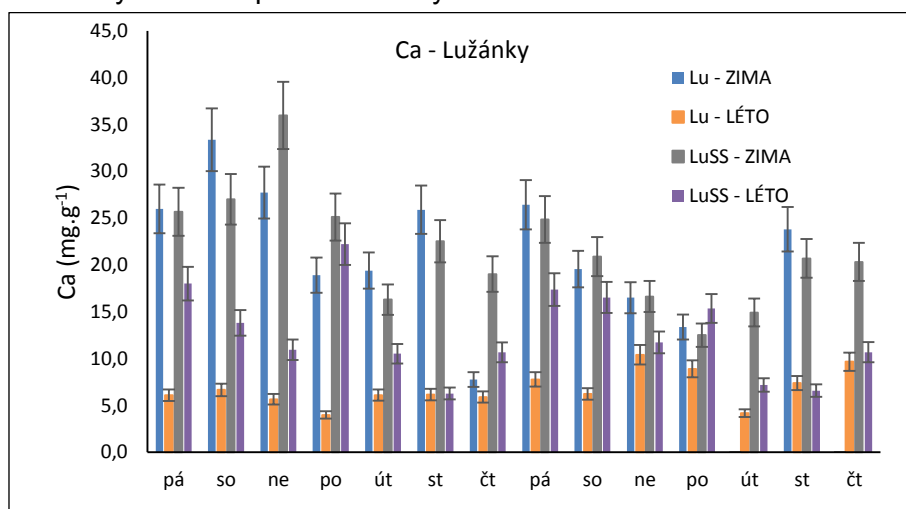
Graf 2. Porovnání naměřených koncentrací Ca v parku Tyršův sad v zimním a letním období. I zde je patrný rozdíl v koncentracích.



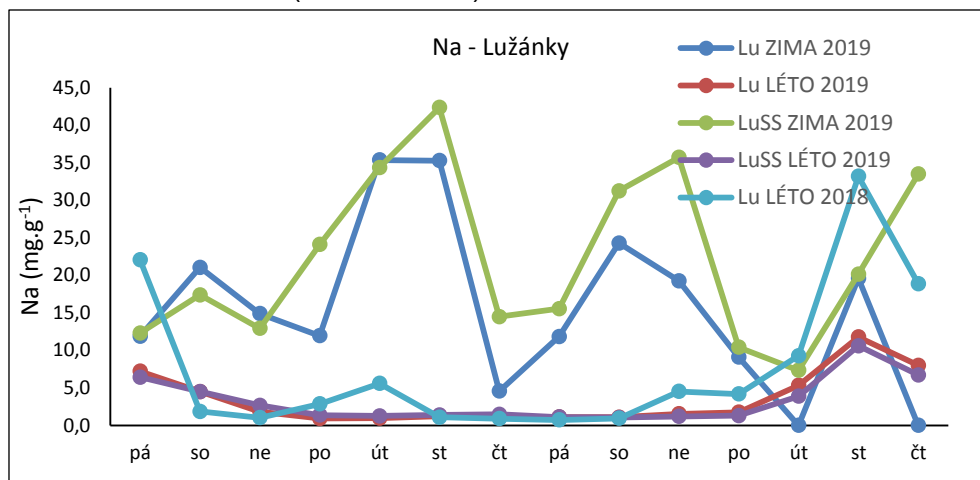
Graf 3. Porovnání koncentrací Na v zimním a letním období na dvou místech v centrálním parku Lužánky. Parný je vyšší obsah Na ve vzorcích odebraných v blízkosti frekventované komunikace.



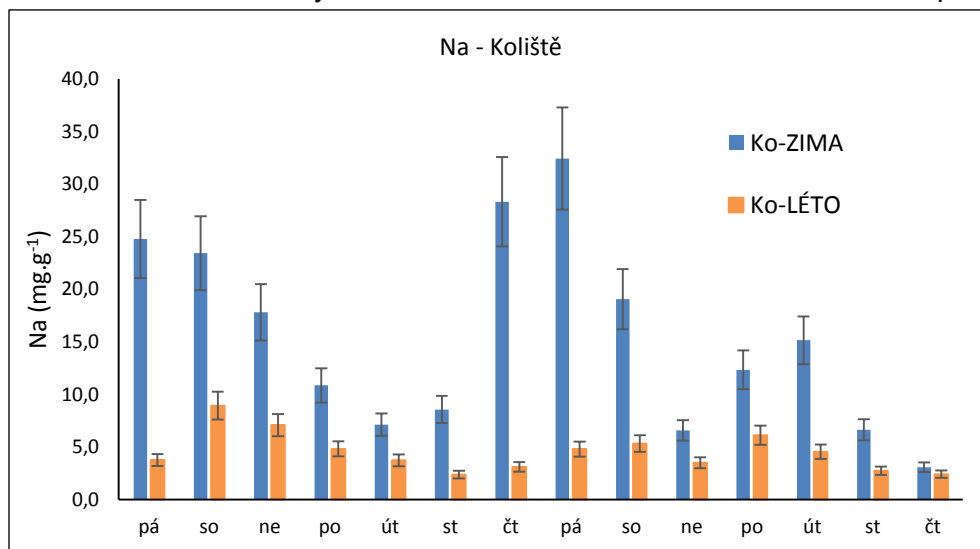
Graf 4. Zvýšené koncentrace Ca v zimním období oproti období letnímu ve vzorcích z obou odběrových míst v parku Lužánky



Graf 5. Porovnání koncentrací Na v zimním a letním období roku 2019. Pro porovnání jsou přidána data z letní odběrové kampaně 2018 na dvou místech v centrálním parku Lužánky. Parný je stejný trend koncentračního průběhu a vyšší koncentrace v místě v blízkosti frekventované silnice (zelená křivka).



Graf 6. Vliv zimní údržby na kvalitu ovzduší v zimním a letním období v parku Koliště.



3. Závěr

Z výsledků analýz vyplývá jasný vliv zimní údržby komunikací na kvalitu ovzduší v městských parcích, a to hlavně v zimním období. Přilehlé komunikace jsou majoritními znečišťovateli v blízkosti vzorkovaných lokalit (zejména parků Lužánky a Koliště), ovlivňují hlavně zeleň (stromy, keře) jež tvoří bariéru šíření prachu záchytem na listech, popřípadě jehličkách. Vegetace podél komunikací je významným ukazatelem kontaminace solným roztokem a jeho negativního účinku. Při porovnání výsledků ze dvou měřících míst centrálního parku Lužánky, je vliv dopravy včetně zimní údržby jasný a bariérní funkce zeleně prokázána. Hodnoty naměřené uvnitř parku jsou nižší než v lokalitě na okraji parku. Park Tyršův sad je svojí polohou natolik specifický, že vliv zimní údržby není tolik patrný.

Literatura

- [1] Zítková J.; Hegrová J.; Anděl P. Bioindication of road salting impact on Norway spruce (*Picea abies*). *Transport and Environment* 2018. 59. 58-67.
- [2] Jandová, V., Bucková, M., Hegrová, J., Dostál, I., Huzlík, J., Effenberger, K., Ličbinský, R. The Relationship among Precipitation, Application of Salt in Winter Road Maintenance and the Quality of Waterways and Soil around Motorway. *Water* 2020.12 (8)

Poděkování

Tento příspěvek byl vytvořen se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu ÉTA, v rámci řešení projektu TL01000286 Městské parky jako kvalitní sociální a přírodní prostředí pro život.

Air quality measurement in parks in the Brno city: concentrations of Na and Ca in particulate matter

Jitka Hegrová, Karel Effenberger, Jiří Huzlík, Roman Ličbinský

Transport Research Centre

Líšeňská 33a, 636 00 Brno

e-mail: jitka.hegrova@cdv.cz

Abstract

Parks are an important element of urban infrastructure and one of the basic types of public spaces that shape the overall character of a city. It plays an irreplaceable role in the system of residential greenery. They compensate for the lack of natural, open landscapes in cities, and thus have a fundamental impact on the quality of life of their inhabitants. An important aspect for park users is also the environmental issue (environmental pollution), especially air quality. Parks offer a space that is often a place for cultural, educational and sports activities, where air quality plays an important role. To determine the air quality in the parks of the city of Brno, six parks of interest were selected, both in localities with heavy traffic and in localities in quiet urban areas. Lužánky Park, as the "main" central park, has been monitored in all summer and winter sampling campaigns since the summer of 2018, the other parks are always monitored for one winter and one summer campaign. In 2019, air quality was measured in three parks of interest: the Lužánky city park, the Koliště park and the Tyršův sad park. Measurements were carried out in summer and winter campaigns to compare possible air pollution in different seasons. The presented results focus on the influence of winter maintenance of roads on air quality in city parks.

Měření kvality ovzduší v dopravních lokalitách Brna

Tomáš Helán, Roman Ličbinský, Robert Skeřil
Jihomoravský kraj

Žerotínovo nám. 3, 601 82 Brno

e-mail: helan.tomas@kr-jihomoravsky.cz

Abstrakt

V listopadu 2019 bylo provedeno měření koncentrací vybraných škodlivých látek a meteorologických parametrů v lokalitách Koliště a Poříčí ve městě Brně. Měření bylo primárně zaměřeno na analýzu vztahu dopravy a kvality ovzduší. Z hlediska koncentrací suspendovaných částic PM_{10} má na kvalitu ovzduší podstatně vyšší vliv plynulost dopravy než samotná intenzita (počet vozidel). V případě oxidů dusíku koncentrace významně ovlivňuje počet vozidel, a dále také zda je lokalita uzavřená (např. zástavbou) nebo otevřená. Významný podíl na zvýšených koncentracích škodlivin mají také meteorologické podmínky a horší provětrávanost lokalit z důvodu orografie a zástavby. Zvýšené hodnoty koncentrací se zpravidla vyskytují při nízkých rychlostech větru až bezvětří, nízkých teplotách a vyšší relativní vlhkosti vzduchu.

1. Úvod

V listopadu 2019 bylo provedeno měření koncentrací vybraných škodlivých látek a meteorologických parametrů v Brně v lokalitách Koliště a Poříčí. Měření bylo primárně zaměřeno na analýzu vztahu dopravy a kvality ovzduší. Za cíl si kladlo proměřit dopravou zatížené lokality v centru Brna, kde není měření státní sítě imisního monitoringu. Měřicí kampaň byla zacílena na koncentrace PM_{10} , $PM_{2,5}$, benzo[a]pyrenu a NO_2 . V rámci koncentrací oxidu dusičitého studie rovněž reagovala na mediální kampaň kolem této škodliviny, která se objevila v médiích. Výsledky tak poskytnuly relevantní informace o dvou dopravou zatížených lokalitách v centru Brna, kde neprobíhá dlouhodobé měření státní sítě imisního monitoringu.

Obr. 1. Měřicí lokality – vlevo Koliště, vpravo Poříčí



Lokality byly vybrány s ohledem na zatížení silniční dopravou. Současně bylo v rámci možností přihlédnuto k tomu, aby se lokality alespoň částečně lišily z hlediska plynulosti dopravy, a to zejména ve špičkách. Svou roli sehrál i přístup k elektrické energii a umístění měření tak, aby nijak nenarušovalo dopravu a neohrožoval bezpečnost jak na silnici, tak na chodnících.

1.1. Měřicí technika

Koncentrace plyných škodlivin byly měřeny kontinuálně přístrojem Airpointer (Recordum Messtechnik GmbH, Rakousko) v souladu s přílohou č. 6 k vyhlášce č. 330/2012 Sb. ve znění pozdějších předpisů Konkrétně oxid dusnatý (NO), oxid dusičitý (NO₂) a jejich souhrn (NO_x) referenční metodou podle české technické normy ČSN EN 14211: 2014 „Kvalita ovzduší – Normovaná metoda stanovení oxidu dusičitého a oxidu dusnatého na principu chemiluminiscence“.

Tímto přístrojem byly rovněž stanoveny kontinuálně koncentrace pevných částic PM₁₀ nefelometrickou metodou, přičemž naměřená data byla validována na základě diskontinuálních 24hodinových odběrů na filtry s využitím sekvenčních vzorkovačů SVEN LECKEL SEQ 47/50-CD (Sven Leckel Ingenierbüro, Německo), s následnou gravimetrickou analýzou na mikrováhách MX5 (Mettler – Toledo GmbH, Švýcarsko). Gravimetrická metoda stanovení koncentrací PM je rovněž referenční metodou podle české technické normy ČSN EN 12341: 2000 „Kvalita ovzduší – Stanovení frakce PM10 aerosolových částic – Referenční metoda a postup při terénní zkoušce ověření těsnosti shody mezi výsledky hodnocené a referenční metody“.

Za účelem stanovení obsahů benzo[a]pyrenu (BaP) byly stejnou metodou, a s využitím stejných odběrových zařízení, odebírány vzorky PM₁₀ s tím, že filtračním médiem byl filtr z křemenných vláken. Vlastní stanovení koncentrací BaP pak bylo realizováno v souladu s přílohou č. 6 k vyhlášce č. 330/2012 Sb. ve znění pozdějších předpisů referenční metodou podle české technické normy ČSN EN 15549: 2013 „Normovaná metoda stanovení benzo[a]pyrenu ve venkovním ovzduší“ na plynovém chromatografu s hmotnostní detekcí Triple Quadropole Agilent GC/QQQ 7000C (Agilent Technologies, Inc., Německo).

Pro zjištění dopravních parametrů byl použit neintrusivní dopravní detektor Smart Sensor HD – Model 125 značky Wavetronix (USA). Tento mikrovlnný radar, pracující na frekvenci 24 GHz, je schopen kontinuální detekce dopravních parametrů jako je intenzita dopravy, průměrná a aktuální rychlost jednotlivých vozidel, rozestupy mezi vozidly, klasifikace vozidel, obsazenost jízdních pruhů a mnoho dalších.

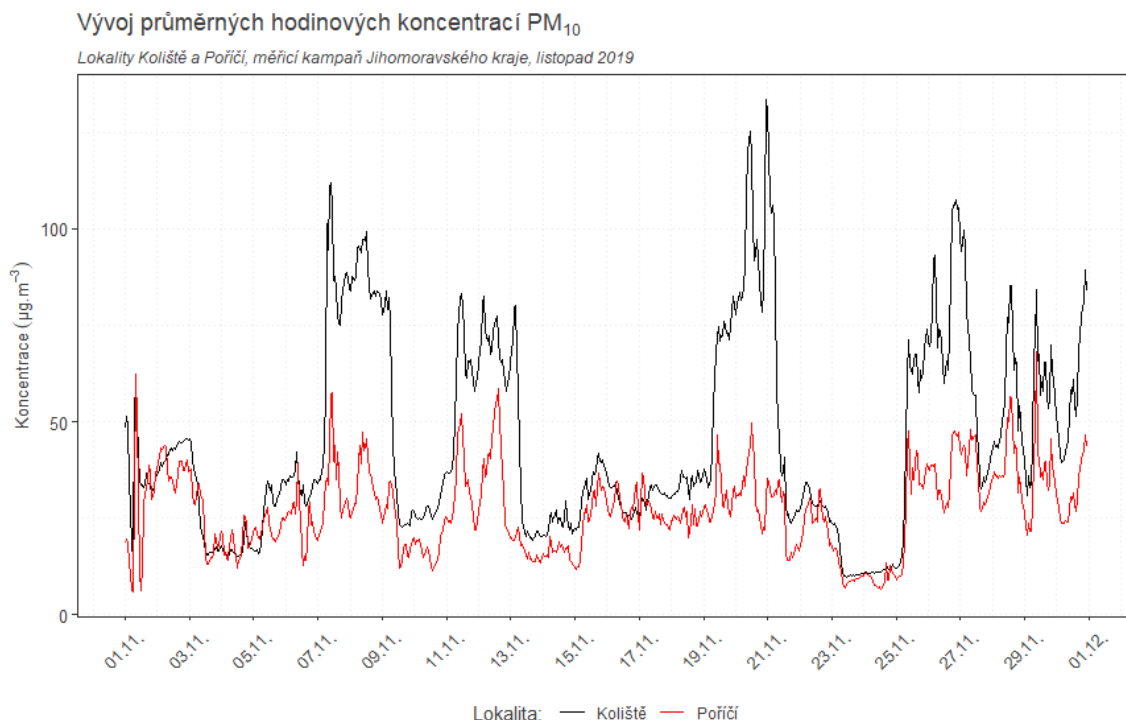
2. Naměřené výsledky

2.1. Suspendované částice

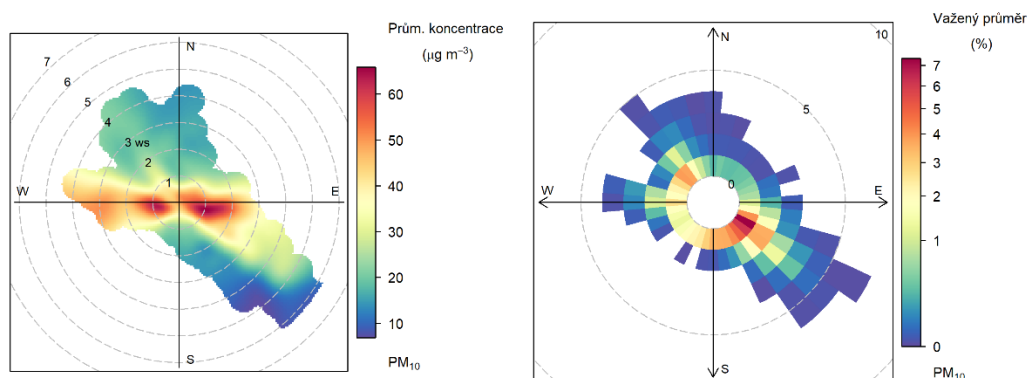
Vývoj průměrných hodinových koncentrací PM₁₀ v obou lokalitách je zobrazen na následujícím Obr. 2. Z grafu je patrné, že celkový trend je v některých dnech podobný, v některé dny se však významně liší. V některé dny jsou koncentrace PM₁₀ v lokalitě Koliště významně vyšší než v lokalitě Poříčí. Svůj vliv může mít plynulost provozu, blízkost komunikace, ale také jiný lokální zdroj, který významně ovlivňuje koncentrace v lokalitě Koliště. Statistické zpracování průměrných hodinových koncentrací uvádí Tab. 1.

Tab. 1. Statistické zpracování průměrných hodinových koncentrací PM₁₀ (µg·m⁻³) v lokalitách Koliště a Poříčí

Lokalita	Škodlivina	Průměr	Směrodatná odchylka	Medián	Minimum	Maximum
Koliště	PM ₁₀	45,3	26,1	35,6	9,7	133,5
Poříčí	PM ₁₀	27,1	10,7	26,7	5,8	68,1

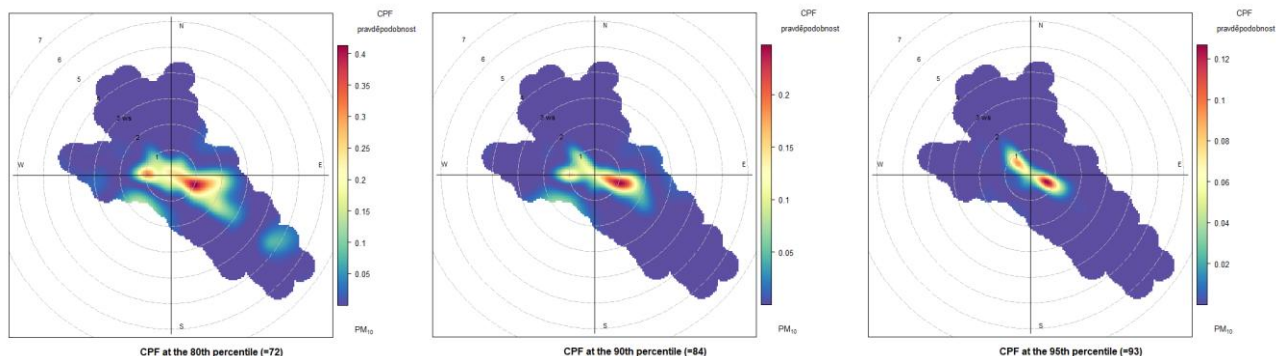
Obr. 2. Vývoj průměrných hodinových koncentrací PM₁₀ v lokalitách Koliště a Poříčí

Koncentrační růžice v lokalitě Koliště (Obr. 3) ukazuje, že v průměru jsou nejvyšší koncentrace měřeny při východním a západním proudění. Z těchto směrů nefouká příliš často, avšak koncentrace měřené při tomto proudění jsou vysoké. Z východních směrů je tato lokalita ovlivněna komunikací. Vysoké koncentrace PM₁₀ jsou měřeny při také při jihovýchodním proudění. Z těchto směrů foukal vítr nejčastěji, což se projevilo i ve vážené koncentrační růžici.

Obr. 3. Koncentrační růžice (vlevo) a vážená koncentrační růžice (vpravo) pro PM₁₀, lokalita Koliště

Vzhledem k tomu, že v lokalitě Koliště byly měřeny v některé dny velmi vysoké koncentrace, byla provedena analýza, jaké směry a rychlosti větru odpovídají těmto nejvyšším koncentracím. Následující Obr. 4 zobrazuje pravděpodobnost, ze kterých směrů a rychlostí větru bylo měřeno 20 % nejvyšších minutových koncentrací PM₁₀ (vlevo), 10 % nejvyšších koncentrací PM₁₀ (uprostřed) a 5 % nejvyšších koncentrací PM₁₀ (vpravo).

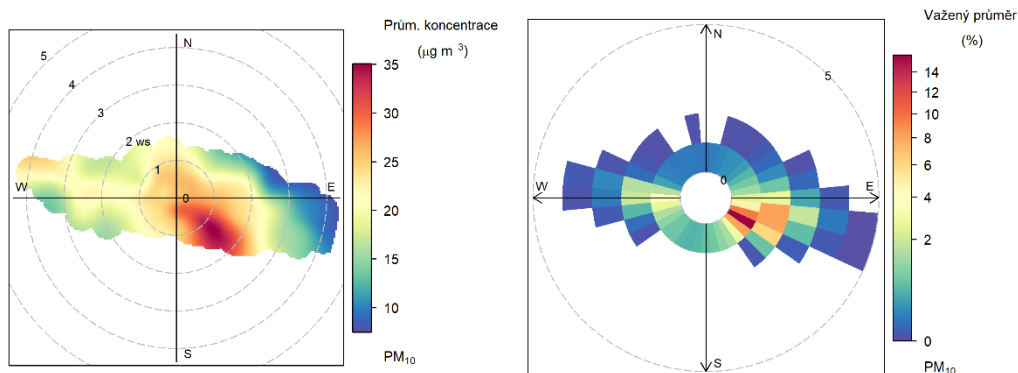
Obr. 4. Pravděpodobnost, při jakých rychlostech a směrech větru je měřeno 20 % nejvyšších koncentrací PM_{10} (vlevo), 10 % nejvyšších koncentrací PM_{10} (uprostřed), a 5 % nejvyšších koncentrací PM_{10} (vpravo)



Je tedy patrné, že důležité jsou zejména jihovýchodní a západní směry větru a velmi nízké rychlosti větru. Z jihovýchodních směrů se na koncentracích zřejmě výrazně podílí doprava. Zřejmě ve spojení bezvětří s kolonami a popojíždění může v této lokalitě docházet k velmi vysokým koncentracím. V jemnější frakci ($PM_{2,5}$) takto vysoké koncentrace měřeny nejsou, lze tedy předpokládat, že jde především o otěry a mechanické emise, které jsou u silniční dopravy pro hrubší frakci velmi významné.

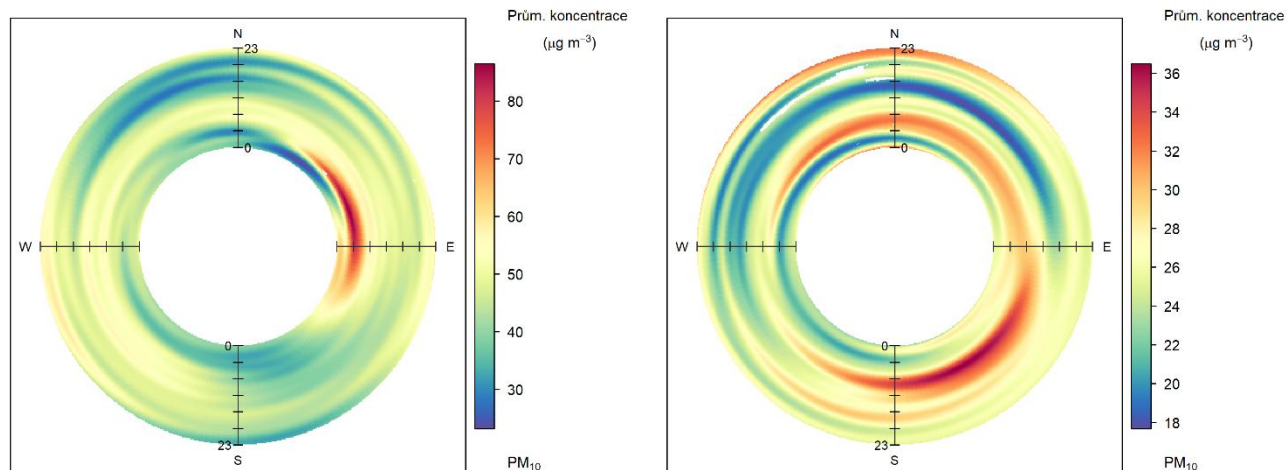
V lokalitě Poříčí jsou nejvyšší koncentrace měřeny při jihovýchodním proudění, tedy ze směru komunikace směrem k centru Brna. Rozložení tak respektuje zástavbu, orografii (údolí) a komunikaci Poříčí (východ – západ). Z jihovýchodního směru je měřeno i maximum v případě vážené koncentrační růžice.

Obr. 5. Koncentrační růžice (vlevo) a vážená koncentrační růžice (vpravo) pro PM_{10} , lokalita Poříčí



Z denního chodu v lokalitě Koliště (Obr. 6 vlevo) vyplývá, že nejvyšší hodnoty koncentrací PM_{10} jsou měřeny v brzkých ranních hodinách z východních až severovýchodních směrů. Zvýšené koncentrace jsou pak po celý den měřeny zejména ze západních a východních směrů. Na zvýšených koncentracích přes den se tak na koncentracích podílí i směr proudění od parku a centra Brna.

V případě lokality Poříčí (Obr. 6 vpravo) jsou významné zejména jihovýchodní směry větru a dopolední hodiny. Při proudění ze západních směrů jsou koncentrace přes den nižší než při proudění z východních směrů. Opět je potřeba upozornit na rozdílné měřítko obou růžic.

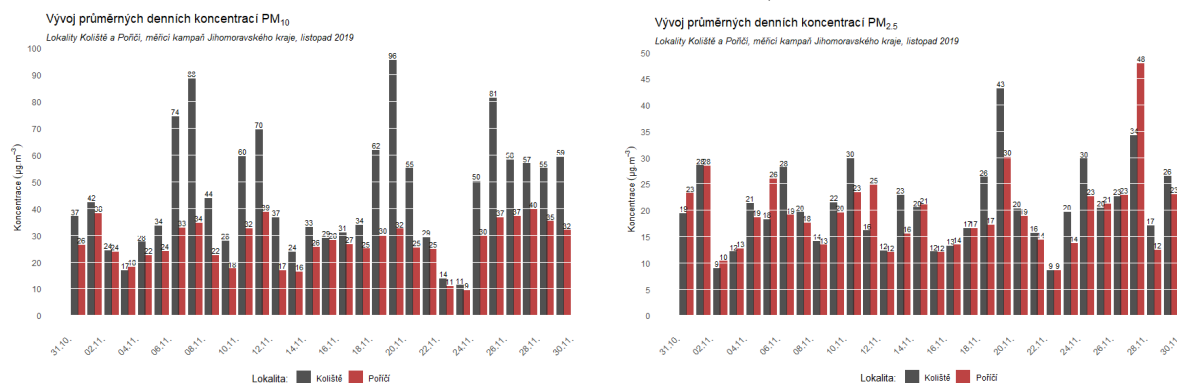
Obr. 5. Denní chod koncentrací PM₁₀, lokalita Koliště (vlevo) a lokalita Poříčí (vpravo)

Statistické zpracování průměrných denních koncentrací PM₁₀ a PM_{2,5} v obou lokalitách pak uvádí Tab. 2. Již na první pohled je patrné, že zatímco koncentrace PM₁₀ se v jednotlivých lokalitách značně liší, koncentrace PM_{2,5} jsou přibližně stejné.

Tab. 2. Statistické zpracování průměrných denních koncentrací PM₁₀ a PM_{2,5} (µg·m⁻³) v lokalitách Koliště a Poříčí

Lokalita	Škodlivina	Průměr	Směrodatná odchylka	Medián	Minimum	Maximum
Koliště	PM ₁₀	45,3	22	39,6	11,3	95,5
Poříčí	PM ₁₀	27,1	8,1	26,5	9,4	39,7
Koliště	PM _{2,5}	20,7	7,7	20	8,6	43,1
Poříčí	PM _{2,5}	19,4	7,7	18,8	8,6	47,9

Průměrné relativní zastoupení PM_{2,5} v PM₁₀ činí v lokalitě Koliště 53 % a v lokalitě Poříčí 73 %. Lokalita Koliště je tedy značně ovlivněna hrubší frakcí PM₁₀. Zatímco průměrná koncentrace PM_{2,5} je v obou lokalitách přibližně stejná, průměrná koncentrace PM₁₀ se značně liší. Důvodem vyšších koncentrací PM₁₀ tak mohou být především mechanické emise z dopravy (otěry), či další lokální vlivy v lokalitě Koliště.

Obr. 5. Vývoj průměrných denních koncentrací PM₁₀ a PM_{2,5} v lokalitách Poříčí a Koliště

2.2. Oxidy dusíku

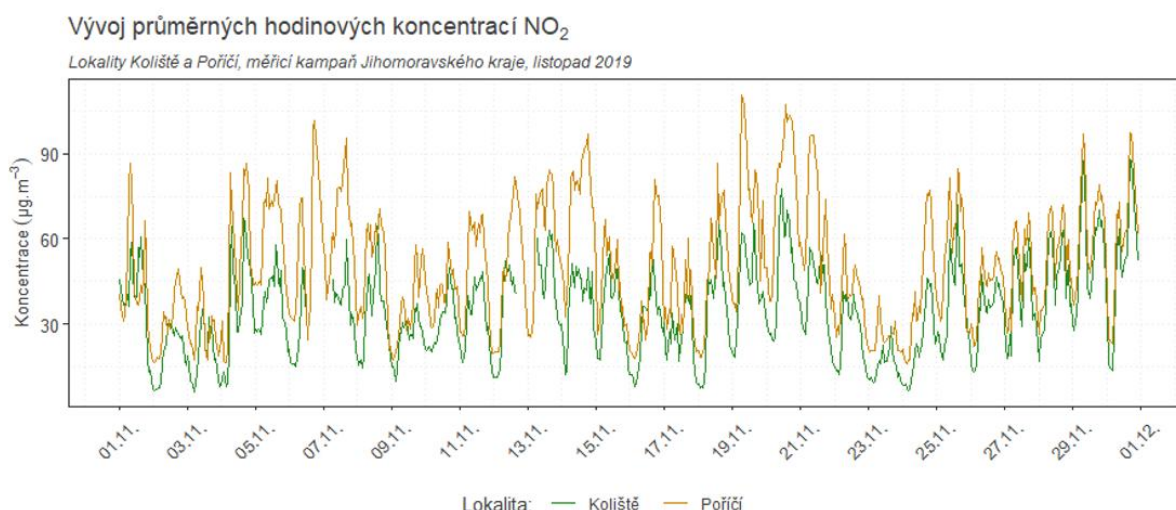
V Tab. 3 jsou pak uvedeny statistické údaje hodinových koncentrací oxidů dusíku v obou lokalitách.

Tab. 3. Statistické zpracování průměrných hodinových koncentrací NO, NO₂ a NO_x (μg·m⁻³) v lokalitách Koliště a Poříčí

Lokalita	Škodlivina	Průměr	Směrodatná odchylka	Medián	Minimum	Maximum
Koliště	NO	53,1	56,8	37,7	1	370,8
Koliště	NO ₂	34,7	15,9	34,1	6,2	88,1
Koliště	NO _x	116	98,8	92,3	8,9	630,1
Poříčí	NO	72,1	81,4	42,3	0,8	438,6
Poříčí	NO ₂	50,3	21,1	47,2	16,1	110,8
Poříčí	NO _x	160,9	141,5	116,7	17,7	783,4

Z průměrných hodnot koncentrací v Tab. 3 je patrné, že v obou lokalitách byly naměřeny vyšší hodnoty koncentrací NO než NO₂. Doprava primárně emituje právě NO, který je následně v atmosféře oxidován na NO₂, který je pak sledován legislativou. Vysoký poměr koncentrací NO / NO₂ naznačuje významné ovlivnění lokality dopravou. V případě lokality Koliště byl průměrný poměr NO / NO₂, vypočtený z hodinových koncentrací, roven 1,5. Obdobně činila průměrná hodnota poměru NO / NO₂ v lokalitě Poříčí 1,1. Jedná se o velmi vysoké hodnoty na úrovni lokality Brno – Svatoplukova, hodnota poměru na pozadových lokalitách se v ročním průměru pohybuje zhruba mezi 0,2 – 0,4. Podzimní termín (nízké teploty, mlhy) může tento poměr mírně zvyšovat, přesto je patrné významné znečištění oxidy dusíku ze silniční dopravy. Vývoj průměrných hodinových koncentrací NO₂ v obou lokalitách zobrazuje následující graf.

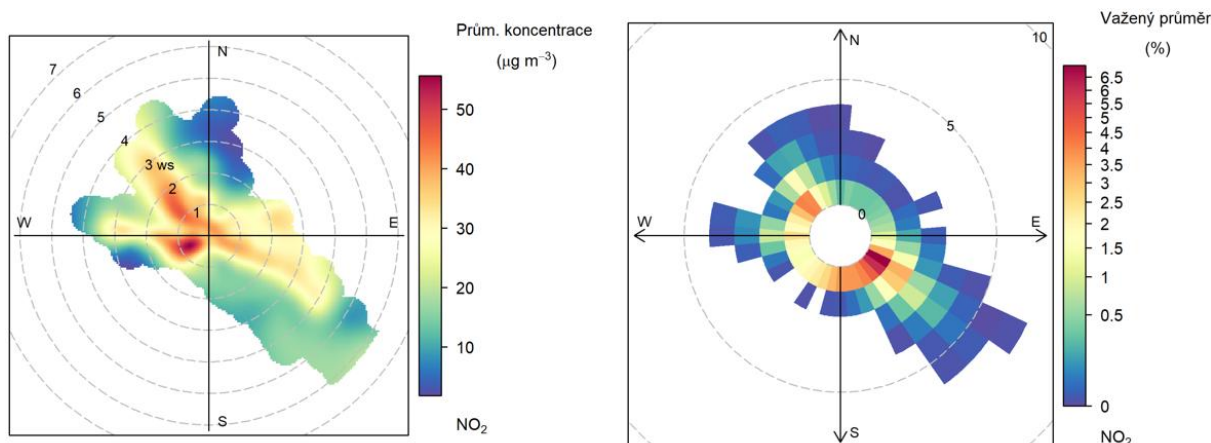
Obr. 5. Vývoj průměrných hodinových koncentrací NO₂ v lokalitách Koliště a Poříčí



Z koncentračních růžic vyplývá, že vysokých koncentrací je zpravidla dosahováno při nízkých rychlostech větru až bezvětří. Koncentrační růžice v lokalitě Koliště Obr. 6 pak ukazuje, že vyšších koncentrací je dosahováno při

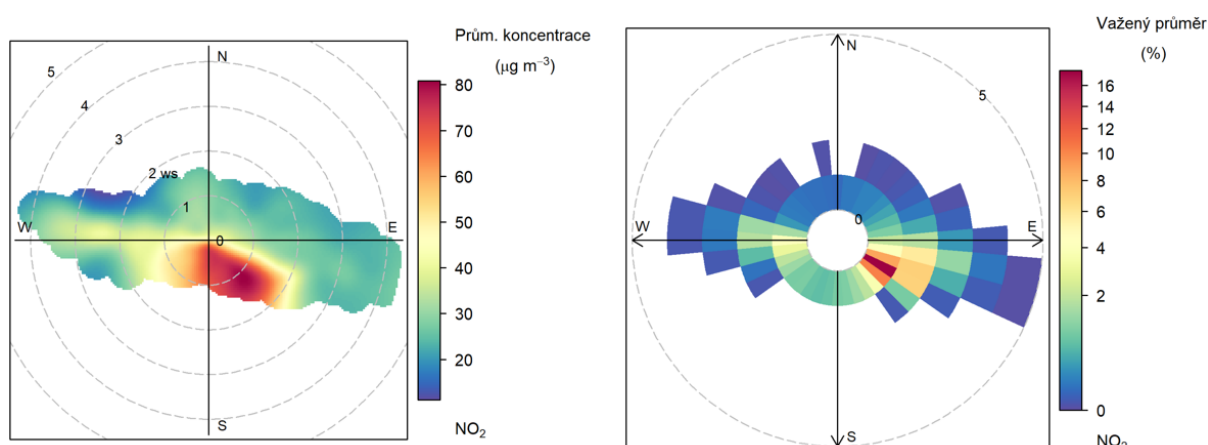
severozápadním a jihozápadním proudění. Vysoké koncentrace z těchto směrů mohou souviset s dopravou na ulici Koliště i se znečištěním v centru Brna (zejména NO_2). Z těchto směrů však nefouká příliš často, což se při vyšších koncentracích (např. během ranní špičky) může odrazit v průměrných koncentracích. Nejvyšší příspěvek k měřeným koncentracím NO_2 je zaznamenán z jihovýchodních směrů. Z těchto směrů fouká nejčastěji, což se projeví i na podílu znečištění.

Obr. 6. Koncentrační růžice (vlevo) a vážená koncentrační růžice (vpravo) pro NO_2 , lokalita Koliště



V lokalitě Poříčí jsou nejvyšší koncentrace rovněž měřeny při jihovýchodním až jižním proudění větru, tedy podél ulice Poříčí směrem od centra. Z těchto směrů větru je proudění v lokalitě velmi časté a zřejmě tedy i často přináší zvýšené koncentrace NO_2 . Svůj vliv také může sehrávat řeka, která v mikroklimatu lokalitě může vytvářet inverzi. Ta se projeví zejména v ranních hodinách a ve spojení s ranní špičkou může způsobovat vyšší koncentrace oxidů dusíku.

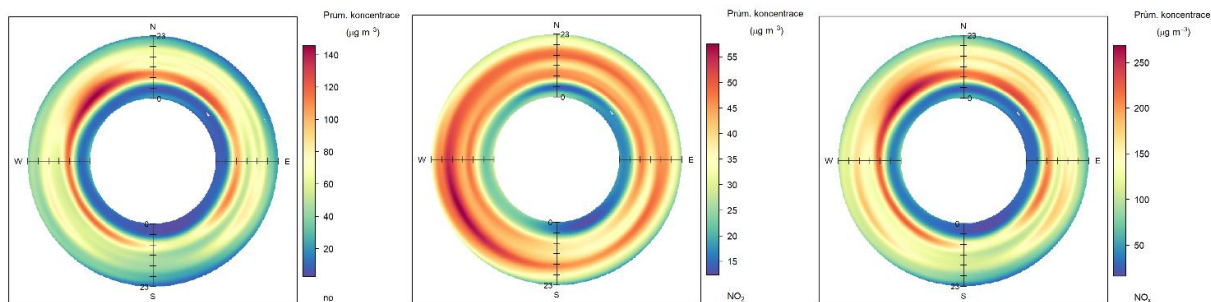
Obr. 7. Koncentrační růžice (vlevo) a vážená koncentrační růžice (vpravo) pro NO_2 , lokalita Poříčí



Z denního chodu v lokalitě Koliště (Obr. 8) vyplývá, že nejvyšší hodnoty koncentrací NO a NO_x jsou měřeny pouze během ranní dopravní špičky při severozápadním proudění, zvýšené koncentrace NO_2 jsou měřeny méně během ranní a významněji během odpolední špičky a ve večerních hodinách, zejména při západním až jihozápadním proudění. Vysoké koncentrace NO lze přisuzovat takřka

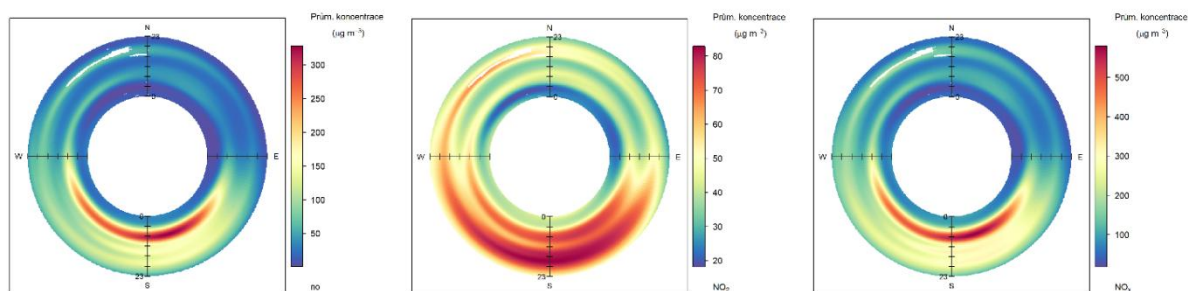
výhradně dopravě během ranní špičky, kdy svůj vliv mohou sehrávat i meteorologické podmínky (inverze), popř. studené starty. Na koncentrace NO_2 může mít kromě dopravy (ranní a zejména odpolední špička) vliv i vytápění a další zdroje (viz zvýšené koncentrace ve večerních hodinách ze západních až jihozápadních směrů). Navíc v odpoledních hodinách dochází lépe k oxidaci NO na NO_2 – i proto je z hlediska NO odpolední špička koncentračně nižší, zatímco v případě NO_2 je koncentračně vyšší.

Obr. 8. Denní chod koncentrací NO (vlevo), NO_2 (uprostřed) a NO_x (vpravo), lokalita Koliště



Obdobná situace panovala i v lokalitě Poříčí (Obr. 9), kde jsou dobře patrné ranní a odpolední špičky v případě koncentrací NO_2 , přičemž z hlediska odpolední špička je silnější a přechází až do nočních hodin, kdy se na koncentracích mohou podílet i další zdroje. V případě koncentrací NO a NO_x je dobře patrná silná ranní špička, která kromě dopravního zatížení může být silně ovlivněna inverzí v údolí s řekou. Z hlediska směrů pak převládají pouze jižní směry.

Obr. 9. Denní chod koncentrací NO (vlevo), NO_2 (uprostřed) a NO_x (vpravo), lokalita Poříčí



3. Souhrn

Z hlediska koncentrací suspendovaných částic PM_{10} má na kvalitu ovzduší podstatně vyšší vliv plynulost dopravy než samotná intenzita (počet vozidel). Koncentrace PM_{10} v byly v lokalitě Koliště významně vyšší než koncentrace PM_{10} na jakékoli jiné brněnské lokalitě včetně lokality Poříčí. Z hlediska koncentrací jemnější frakce suspendovaných částic $\text{PM}_{2,5}$ jsou již obě lokality srovnatelné. V případě oxidů dusíku tak koncentrace významně ovlivňuje počet vozidel, a dále také zda je lokalita uzavřená (např. zástavbou) nebo otevřená. Vliv na vyšší koncentrace NO_2 v lokalitě Poříčí může mít lokální mikroklima a rovněž vyšší zastoupení nákladních vozidel ve skladbě dopravního proudu.

Z hlediska vlivu dopravních intenzit na koncentrace škodlivin lze u obou lokalit pozorovat shodné rysy. Koncentrace prašnosti PM_{10} kulminují kolem 09:00 UTC, kdy

již opadává ranní dopravní špička a dopravní intenzity klesají. Na koncentrace PM_{10} tak mají vliv i další faktory, nejen doprava v těsné blízkosti měření. To podporují i hodnoty koncentrací během odpolední špičky, které jsou nižší. V lokalitě Koliště je pak pozorován růst koncentrací směrem k večerním a nočním hodinám, což by mohlo naznačovat vliv lokálních topenišť. V případě koncentrací oxidů dusíku je potřeba rozlišovat mezi NO a NO_2 . Koncentrace NO jsou velmi vysoké pouze během ranní špičky, poté významně poklesnou. Naopak v případě legislativou sledovaného NO_2 jsou koncentrace vysoké během obou špiček, mírně vyšší hodnoty jsou pozorovány během odpolední špičky. Avšak koncentrace jsou proti NO výrazně nižší.

Literatura

- [1] Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., „Měření kvality ovzduší v lokalitách Koliště a Poříčí,“ 2019. <https://www.kr-jihomoravsky.cz/Default.aspx?ID=407684&TypeID=61>.
- [2] Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., „Měření kvality ovzduší v lokalitách Česká a Kuřim – 2018,“ 2018. <https://www.kr-jihomoravsky.cz/Default.aspx?ID=388153&TypeID=61>.
- [3] MŽP, Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší, 2012
- [4] MŽP, Vyhláška č. 330/2012 Sb. o způsobu posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění, rozsahu informování veřejnosti o úrovni znečištění a při smogových situacích, Praha, 2012
- [5] Thunis Philippe at all, „Urban PM2.5 Atlas: Air Quality in European cities,“ 2017. <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/urban-pm25-atlas-air-quality-european-cities>.
- [6] Bucek s.r.o., „Vyhodnocení kvality ovzduší v Jihomoravském kraji v letech 2010 – 2016,“ 2017. <https://www.kr-jihomoravsky.cz/Default.aspx?PubID=344133&TypeID=7>.

Poděkování

Tato práce vznikla za podpory Jihomoravského kraje.

Air quality measurement in transport localities in Brno

Tomáš Helán, Roman Ličbínský, Robert Skeřil

Jihomoravský kraj

Žerotínovo nám. 3, 601 82 Brno

e-mail: helan.tomas@kr-jihomoravsky.cz

Abstract

In November 2019, measurements of concentrations of selected harmful substances and meteorological parameters in the localities of Koliště and Poříčí (Brno) were performed. The measurement was primarily focused on the analysis of the relationship between traffic and air quality. In terms of concentrations of PM_{10} particles, the flow of traffic has a significantly higher effect on air quality than the intensity itself (number of vehicles). In the case of nitrogen oxides, the number of vehicles significantly affects the concentration, as well as whether the site is closed (e.g. built-up) or open. Meteorological conditions and poorer ventilation of localities due to orography and development also have a significant effect on air quality. Higher concentration values usually occur at low wind speeds, low temperatures and higher relative humidity.

Sezónna variácia tuhých častíc PM_{2,5} a PM₁ v mestskom prostredí

Dušan Jandačka, Daniela Ďurčanská

Žilinská univerzita v Žiline, Stavebná fakulta, Katedra cestného staviteľstva
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina

e-mail: dusan.jandacka@uniza.sk

Abstrakt

Znečistenie ovzdušia v mestskom prostredí súvisí predovšetkým so zastúpením potencionálnych zdrojov znečistenia. Jednotlivé zdroje znečistenia produkujú rôzne znečisťujúce látky – tuhé častice, plynné znečisťujúce látky. Sezónna zmena koncentrácií znečisťujúcich látok v ovzduší je pri nezmenenej skladbe zdrojov znečistenia zapríčinená hlavne sekundárnymi faktormi vplyvujúcimi na znečisťujúce látky v ovzduší – meteorologické podmienky (rýchlosť a smer vetra, teplota, zrážky, ...). Pozorovanie zmien koncentrácií tuhých častíc v čase môže priblížiť potenciál príspevku primárnych (zdroje) resp. sekundárnych (meteorologické parametre) faktorov k stavu ovzdušia v oblastiach riadenia kvality ovzdušia. Merania tuhých častíc boli realizované v meste Žilina, SR na rôznych stanovištiach počas niekoľkých rokov. Príspevok pojednáva o zmenách koncentrácie tuhých častíc jemnej frakcie PM_{2,5} a ultrajemnej frakcie PM₁ v čase. Z analýz nameraných dát možno pozorovať výrazné zmeny koncentrácií tuhých častíc v čase spôsobené diverzifikáciou sekundárnych faktorov.

1. Úvod

Znečistenie ovzdušia a hluk, vplyv klimatickej zmeny, ako sú vlny horúčav, a vystavenie nebezpečným chemickým látkam, sú príčinou zlého zdravotného stavu v Európe. Podľa rozsiahleho posúdenia zdravia a životného prostredia, ktoré v tejto dobe vydala Európska environmentálna agentúra (EEA), zlá kvalita životného prostredia prispieva k 13 % úmrtnosti [11].

Medzi hlavné zdroje znečistenia ovzdušia v mestských oblastiach patria emisie výfukových plynov, resuspenzia cestného prachu a vykurovanie domácností drevom a uhlím [4, 6, 8, 3[3].

V súčasnosti sú najväčším problémom kvality ovzdušia vysoké koncentrácie tuhých častíc, predovšetkým v zimnom období. Škodlivosť tuhých častíc predurčuje ich veľkosť (aerodynamický priemer) a chemické zloženie (nebezpečné chemické látky). Jemná frakcia PM_{2,5} tvorí 40 – 80 % hmotnostnej koncentrácie PM₁₀ v okolitom ovzduší v Európe [1, 2, 4].

Súčasťou tuhých častíc sú aj kovy, ktoré sa dostávajú do životného prostredia cestou prírodných a antropogénnych procesov [5, 6, 7, 8, 4]. Predmetom monitoringu podľa zákona [10] sú prvky: As, Cd, Hg, Pb a Ni. Tieto sa všeobecne považujú za najškodlivejšie pre ľudí a zvieratá. Ich limity stanovuje vyhláška [9].

Pri našich aktivitách v oblasti kvality ovzdušia sa venujeme vedecko-výskumnej činnosti, ktorá je zameraná na monitorovanie, analyzovanie a vyhodnocovanie znečistenia ovzdušia. Zameriavame sa predovšetkým na tuhé častice rôznych frakcií: PM₁₀, PM_{2,5}, PM₁.

Tento príspevok pojednáva o tuhých časticiach PM_{2,5} a PM₁ a ich časovej variácii počas niekoľkoročného monitoringu v meste Žilina, Slovensko. Cieľom je

predovšetkým poukázat na sezónne zmeny koncentrácií tuhých častíc, ktoré môžu predznamenávať pôvod týchto tuhých častíc.

2. Metodika meraní kvality ovzdušia

V rámci meste Žilina boli tuhé častice frakcie $PM_{2,5}$ a PM_1 merané počas rôznych rokov na rôznych meracích stanovištiach (Obr. 1.).

Obr. 1. Rozmiestnenie meracích stanovišť v meste Žilina



Source: [12]

Pre zisťovanie množstva pevných častíc v ovzduší bola používaná referenčná gravimetrická metóda podľa [STN EN 12341]. Na meranie sú používané nízko objemové prietokové vzorkovače LECKEL LVS3. Tuhé častice sú zachytávané na nitrocelulóзовé filtre priemeru 47 mm a následne vyhodnocované.

Počas monitorovania boli zaznamenané aj meteorologické parametre (teplota, rýchlosť a smer vetra). Merania kvality ovzdušia boli realizované v nasledujúcich termínoch:

- meracie stanovište Ulica V. Spanyola: 10. – 14. 08. 2010, 19. – 25. 10. 2010, 08. – 14. 03. 2011, 11. – 17. 04. 2011, 07. – 14. 07. 2011, 13. – 19. 10. 2011, 26. 01. – 01. 02. 2012, 16. – 22. 04. 2012, 07. – 13. 06. 2012,
- meracie stanovište Námestie A. Hlinku: 22. - 28. februára 2018,
- meracie stanovište Komenského ulica: 01. - 07. marca 2018,
- meracie stanovište Košická ulica: 19 - 25. apríla 2018,
- meracie stanovište Univerzitná ulica: 14. – 20. novembra 2017,
- meracie stanovište Štrková ulica: 9. – 15. mája 2018.
- meracie stanovište Ulica Vysokoškolákov: 22. - 28. februára 2018,

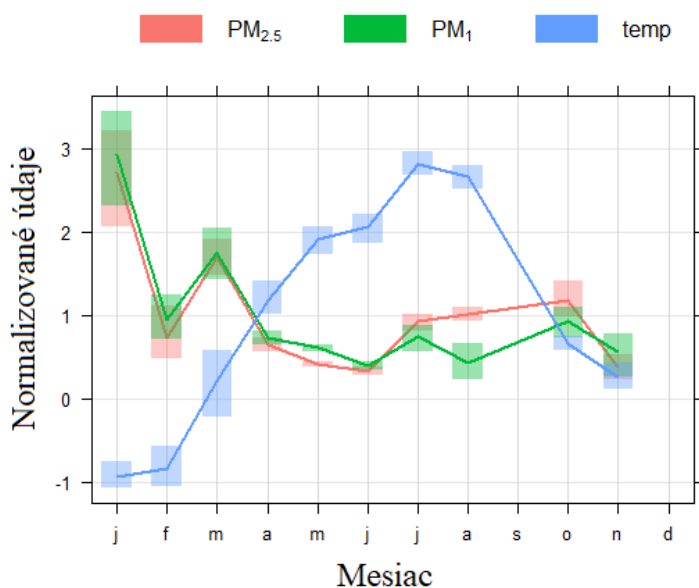
Celkovo bolo získaných 104 vzoriek tuhých častíc $PM_{2,5}$ a 104 vzoriek PM_1 , ktoré boli vyhodnotené pomocou softvéru „R“ s využitím modulu „Openair“.

3. Výsledky meraní

Pri znečistení ovzdušia môže zmena znečisťujúcej látky podľa dennej doby, dňa v týždni prípadne mesiaca odhaliť užitočné informácie týkajúce sa pravdepodobných zdrojov. Napríklad emisie z cestných vozidiel majú tendenciu sledovať veľmi pravidelné vzorce, a to denné aj týždenné. Funkcia „timeVariation“ produkuje štyri grafy: zmena dňa v týždni, priemerná zmena dňa v týždni a kombinovaná krivka hodín deň - deň v týždni a mesačný graf. Vzhľadom na získaný interval koncentrácie PM (24 hodín) bolo zvolené vyhodnotenie mesačným grafom. Existuje možnosť „normalizácie“ koncentrácií (alebo iných množstiev). Normalizácia je veľmi užitočná na porovnanie vzorov dvoch rôznych znečisťujúcich látok, ktoré často pokrývajú veľmi rozdielne rozsahy koncentrácie. Normalizácia sa dosiahne vydelením koncentrácie znečisťujúcej látky jej strednou hodnotou.

Normalizované koncentrácie tuhých častíc $PM_{2,5}$, PM_1 a hodnoty teploty boli vyhodnotené pre jednotlivé mesiace počas roka, kedy sa merania uskutočňovali v meste Žilina (Obr. 2.).

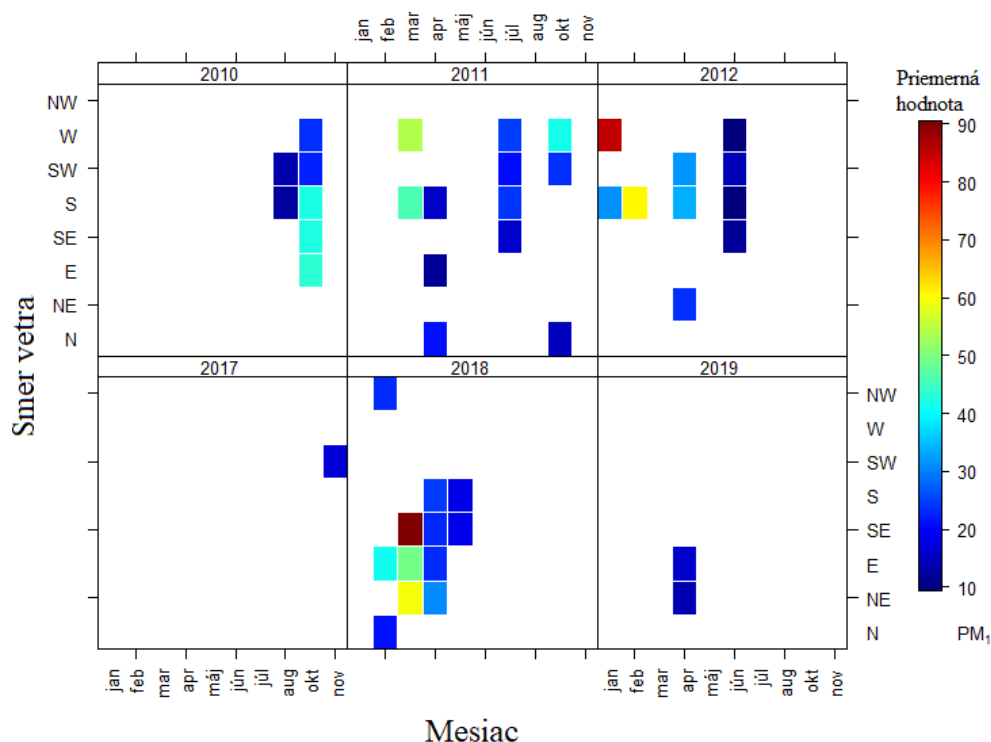
Obr. 2. Časová variácia koncentrácií tuhých častíc $PM_{2,5}$ a PM_1 zo všetkých meraní v meste Žilina



Zo zobrazeného priebehu (Obr. 2.) môžeme pozorovať vyššie koncentrácie $PM_{2,5}$ a PM_1 predovšetkým počas mesiacov január, február a marec, kedy boli pozorované nízke teploty ovzdušia počas merania. Tieto vyššie koncentrácie sú spojené predovšetkým s prítomnosťou zdroja znečistenia - lokálne vykurovanie. Taktiež k vysokým koncentráciám prispievajú nepriaznivé meteorologické podmienky – nízke teploty, zhoršené rozptylové podmienky.

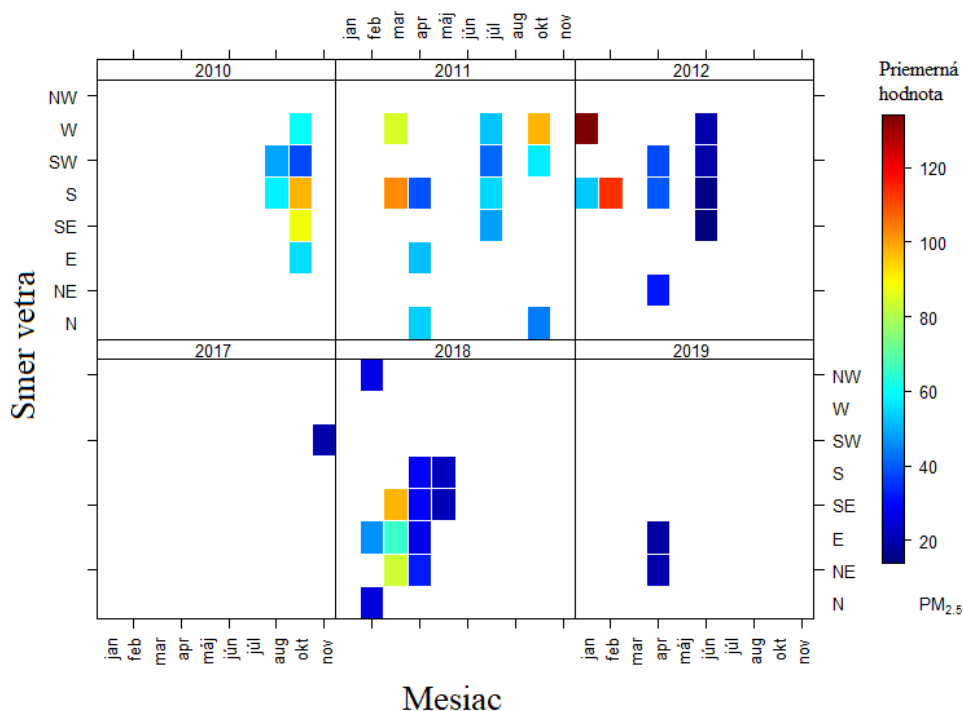
Bola tiež využitá funkcia „trendLevel“, ktorú poskytuje modul „openair“. Funkcia „trendLevel“ ukazuje, ako sa mení hodnota premennej podľa intervalov dvoch ďalších premenných. Premenné x a y môžu byť kategorické (faktor alebo znak) alebo číselné. Tretia premenná (z) musí byť číselná a je sfarbená podľa svojej hodnoty. Napriek tomu, že sa táto funkcia nazýva trendová úroveň, je dostatočne flexibilná na to, aby zohľadnila širokú škálu vykresľovaných premenných (Obr. 3., 4.).

Obr. 3. „trendLevel“ pre premennú koncentrácia $PM_{2,5}$ vo vzťahu so smerom vetra a mesiaca merania



V prípade koncentrácií $PM_{2,5}$ získaných počas rôznych ročných období, najvyššie koncentrácie boli dosahované v mesiacoch január, február a marec. V roku 2012 boli najvyššie koncentrácie v januári, boli merané na ulici V. Spanyola. Tieto vysoké koncentrácie $PM_{2,5}$ súviseli so smerom vetra zo západu, čo zodpovedá smeru od cestnej komunikácie a obytnej zóny tiež s lokálnym vykurovaním. V roku 2018 boli najvyššie koncentrácie pozorované v mesiaci marec na meracom stanovišti Komenského ulica. Vysoké koncentrácie súviseli so smerom vetra z juhovýchodu, teda od cestnej komunikácie (Obr. 3.).

Koncentrácie PM_1 súvisia do veľkej miery s frakciou $PM_{2,5}$ a ich časová variácia je veľmi podobná. V priemere zo všetkých nameraných údajov predstavuje PM_1 58% z $PM_{2,5}$.

Obr. 4. „trendLevel“ pre premennú koncentrácia $PM_{2,5}$ vo vzťahu so smerom vetra a mesiaca merania

4. Záver

V rámci mesta Žilina uskutočňujeme merania tuhých častíc v rôznych časových obdobiach. Z doteraz získaných koncentrácií tuhých častíc $PM_{2,5}$ a PM_1 počas rôznych ročných období – mesiacov v roku, môžeme pozorovať výraznú sezónnu variáciu týchto koncentrácií. Tento jav súvisí s rôznymi dennými udalosťami počas roka, či už sú celoročné (cestná doprava) alebo sezónne (lokálne vykurovanie). Výrazne vyššie koncentrácie tuhých častíc $PM_{2,5}$ a PM_1 pozorujem v zimných mesiacoch, kedy je dosahovaná nižšia teplota ovzdušia. V tomto období sa pridáva k celoročnému zdroju znečistenia tuhými časticami cestnej doprave aj lokálne vykurovanie, ktoré nastupuje počas chladnejšieho obdobia. V neposlednom rade je nespornou príčinou vysokých koncentrácií jemnej frakcie tuhých častíc $PM_{2,5}$ a ultrajemnej frakcie PM_1 počas zimných mesiacov nízka teplota ovzdušia, kedy dochádza aj k zmenám plynných škodlivín na tuhé skupenstvo.

Literatúra

- [1] EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2013. Air quality in Europe – 2013 report [online]. Copenhagen (Denmark): EEA. 107 p.
- [2] EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2016. Signály EEA 2016: Smerom k čistej a inteligentnej mobilite. Doprava a životné prostredie v Európe. EEA, Kodaň, 2016. 72 p.
- [3] Fullova, D., Durcanska, D., Hegrova, J., 2017. Particulate matter mass concentrations produced from pavement surface abrasion. MATEC Web of Conferences 2017. Volume 117. 26th R-S-P Seminar 2017 Theoretical Foundation of Civil Engineering, RSP 2017; Warsaw; Poland.
- [4] Jandacka, D., Durcanska, D., Bujdos, M., 2017. The contribution of road traffic to particulate matter and metals in air pollution in the vicinity of an urban road. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 50, 397-408.

- [5] Kukutschová, J., Moravec, P., Tomášek, V., Matějka, V., Smolík, J., Schwarz, J., Seidlerová, J., Safářová, K., Filip, P.: On Airborne Nano/Micro-Sized Wear Particles Released from Low-Metallic Automotive Brakes. *Environmental Pollution*, 2011, 159, 4, p. 998 – 1006.
- [6] Pant, P., Harrison, R. M.: Estimation of the Contribution of Road Traffic Emissions to Particulate Matter Concentrations from Field Measurements: A Review. *Atmospheric Environment*, 2013, 77, p. 78 – 97.
- [7] Sanderson, P., Delgado-Saborit, J. M., Harrison, R. M.: A Review of Chemical and Physical Characterisation of Atmospheric Metallic Nanoparticles. *Atmospheric Environment*, 2014, 94, p. 353 – 365.
- [8] Thorpe, A., Harrison, R. M.: Sources and Properties of Non-Exhaust Particulate Matter from Road Traffic: A Review. *Science of the Total Environment*, 2008, 400, 1 – 3, p. 270 – 282.
- [9] Vyhláška č. 244/2016 Ministerstva životného prostredia SR o kvalite ovzdušia
- [10] Zákon NR SR č. 137/2010 o ovzduší
- [11] <https://www.eea.europa.eu/sk/highlights/riesenie-znecistovania-a-zmeny-klimy>
- [12] Jandacka, D.; Durčanska, D. Differentiation of Particulate Matter Sources Based on the Chemical Composition of PM₁₀ in Functional Urban Areas. *Atmosphere* 2019, 10, 583.

Pod'akovanie

Tento príspevok vznikol za podpory grantu VEGA 1/0537/17 „Vplyv morfológie povrchu vozoviek na prevádzkovú spôsobilosť a produkciu imisíí“.

Seasonal variation of PM_{2.5} and PM₁ particulate matter in urban area

Dušan Jandačka, Daniela Ďurčanská

*University of Žilina, Faculty of Civil Engineering, Department of Highway Engineering
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina*

e-mail: dusan.jandacka@uniza.sk

Abstract

Air pollution in the urban environment is mainly related to the representation of potential sources of pollution. Individual sources of pollution produce different pollutants – particulate matter, gaseous pollutants. The seasonal change in concentrations of air pollutants with an unchanged composition of pollution sources is caused mainly by secondary factors affecting air pollutants - meteorological conditions (wind speed and direction, temperature, precipitation, ...). Observation of changes in particulate matter concentrations over time can approximate the potential contribution of primary (sources) respectively secondary (meteorological parameters) factors to air status in the areas of air quality management. Particulate matter measurements were performed in the city of Žilina, Slovakia at various sites over several years. The paper deals with changes in the concentration of particulate matter of the fine fraction PM_{2.5} and the ultrafine fraction PM₁ over time. Significant changes in particulate matter concentrations over time due to diversification of secondary factors can be observed from the analysis of the measured data.

Technický stav vozidla a emise

Libor Špička, Ondřej Červinka, Jitka Hegrová

Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.

Líšeňská 33a, 636 00 Brno

e-mail: libor.spicka@cdv.cz

Abstrakt

Technický stav vozidel je povinně prověřován v průběhu periodických technických kontrol. Některé zahraniční studie ukazují až na 30% selhání lehkých vozidel při kontrolách. Skutečný dopad na kvalitu ovzduší však na základě těchto kontrol nelze posoudit, protože nepostihují široký rozsah provozních režimů motoru jako je tomu ve skutečném provozu. Měření probíhá u vozidel se zážehovými motory při volnoběžných a zvýšených otáčkách, přičemž se sledují pouze koncentrace CO, HC a součinitel přebytku vzduchu. U vznětových motorů se provádí pouze měření kouřivosti volnou akcelerací. Ačkoliv emisní kontrola může odhalit závadné vozidlo, je z výše uvedeného zřejmé, že není možné z výsledků kontrol objektivně posoudit skutečné chování vozidel během jízdy a zejména plnění emisních limitů. To lze pouze v emisních laboratořích nebo v reálném provozu. Centrum dopravního výzkumu se proto dlouhodobě věnuje problematice měření emisí motorových vozidel v reálném provozu, kde se mimo jiné zaměřuje právě na hodnocení vlivu technického stavu na vybrané škodliviny. Při analýzách výsledků měření emisí v reálném provozu a rozborů odebraných vzorků motorových olejů, realizovaných Centrem dopravního výzkumu, v. v. i. v letech 2017-2019, bylo zjištěno, že až 31 % testovaných vozidel bylo ve zhoršeném technickém stavu, který měl vliv na sledované emise.

Měření emisí je prováděno s využitím mobilního měřicího zařízení, užitný vzor CZ21385 U1, které je mimo jiné osazeno analyzátozem výfukových plynů AVL Digas 1000. Mobilní zařízení se připojuje za automobil pomocí běžného tažného zařízení. Z každého automobilu je také odebrán vzorek motorového oleje pro posouzení stavu motoru, které se provádí na základě stanovení koncentrací otěrových kovů. Prvková analýza se provádí s využitím hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem přístrojem s trojitým kvadrupólem ICPQQMS (Agilent Technologies, Japonsko). Výsledné hodnoty jsou porovnány s limitními koncentracemi prvků v motorových olejích. Měření emisí jsou prováděna na trase s podílem městského, mimo městského a dálničního provozu v poměru cca 34:33:33 %, obdobně jako u tzv. RDE cyklu. V příspěvku uvedené ukázky srovnání vozidel v prokazatelně zhoršeném technickém stavu a vyhovujících vozidel byly provedeny pro osobní automobil vyšší střední třídy se zážehovým motorem a pro lehké užitkové vozidlo se vznětovým motorem, vždy stejné modelové řady vozidel.

U testovaného osobního automobilu nebyla při rozboru oleje zjištěna zvýšená koncentrace žádného z otěrových kovů. Řídicí jednotka však obsahovala záznam o snížené účinnosti katalytického systému. Na základě provedených analýz nebyl tedy prokázán zhoršený mechanický stav motoru, ale záznam v řídicí jednotce ukazuje na možné snížení účinnosti systému pro úpravu spalín. Porovnáním s podobným automobilem stejné modelové řady, byla v kombinovaném provozu zaznamenána dvojnásobná hodnota emisního faktoru CO a více než 42násobná hodnota emisního faktoru NO. Lehké užitkové vozidlo mělo v řídicí jednotce uloženo několik chybových kódů. První odkazoval na nedostatečný tlak turbodmychadla, resp. na chybu v jeho regulaci. Druhý kód se týkal účinnosti filtru pevných částic, která poklesla pod prahovou hodnotu. Podle dalšího chybového kódu O₂ senzor indikoval bohatou směs paliva se vzduchem v takovém poměru, že ji kontrolní modul již nebyl schopen korigovat. Poslední chybový kód odkazoval na senzor tlaku ve výfukovém potrubí, jehož signál

nebyl v souladu s tlakem v sacím potrubí. Při analýze motorového oleje byly zjištěny vysoké koncentrace železa, které lze již považovat za nebezpečné, vypovídající o zhoršeném stavu motoru. Při srovnání s vozidlem stejné modelové řady, předchozí generace byla v kombinovaném provozu zjištěna 1,4násobná hodnota emisního faktoru CO₂ a 2,4násobná hodnota faktoru CO. Výsledky těchto srovnání zcela jasně ukazují, že nedostatečná údržba vozidel má zásadní vliv na zvýšené znečišťování ovzduší.

Poděkování

Tento článek byl vytvořen za finanční podpory Ministerstva dopravy v rámci programu dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumných organizací.

Technical condition of the vehicles and emissions

Libor Špička, Ondřej Červinka, Jitka Hegrová

Transport Research Center

Líšeňská 33a, 636 00 Brno

e-mail: `libor.spicka@cdv.cz`

Abstract

The technical condition of vehicles is obligatorily checked during periodic technical inspections. Some of the foreign studies show up to 30 % failure of light vehicles during inspections. However, the real impact on air quality cannot be assessed on the basis of these controls, as they do not cover a wide range of engine operating modes compared to real operation. Measurements are made on vehicles with spark-ignition engines at idling and increased revolutions where only the concentrations of CO, HC and the excess air coefficient are monitored. For compression-ignition engines/diesel engines, only free acceleration smoke measurements are performed. Although the emission control may reveal a defective vehicle, it is clear from the above mentioned that it is not possible to objectively assess, from the control results, the actual driving behaviour of the vehicles while driving and, in particular, compliance with the emission limits. This is only possible in emission laboratories or in real operation. Hence, the Transport Research Centre has long been dealing with the issues of measuring motor vehicle emissions in real operation, where it focuses, among other things, on evaluating the impact of the technical condition on selected pollutants. When analysing the results of emission measurements in real operation and analyses of motor oil samples carried out by the Transport Research Centre in 2017-2019, it was found out that up to 31 % of tested vehicles were in deteriorated technical condition, which had an impact on monitored emissions.

Národní emisní model dálniční a silniční sítě ČR

Eva Havlíčková, Zdeněk Hejkal, Jiří Dufek, Leoš Pelikán

Centrum dopravního výzkumu, v.v.i.

Líšeňská 33a, 636 00 Brno

e-mail: eva.havlickova@cdv.cz

Abstrakt

Příspěvek je zaměřený na tvorbu pilotní studie Národního emisního modelu dálniční a silniční sítě ČR. Na základě Pařížské dohody (2015) o změně klimatu se ČR jako člen EU zavázala snížit emise skleníkových plynů o nejméně 40 % do roku 2030, ve srovnání s rokem 1990. Cíl projektu je v souladu s „Dopravní politikou ČR“, „Národním programem snižování emisí ČR“ a strategickým cílem „Programu snížení rizik plynoucí ze znečištění ovzduší pro lidské zdraví a snížení negativního vlivu na ekosystémy a vegetaci“. Sektor dopravy představuje čtvrtinu evropských emisí skleníkových plynů a je hlavním zdrojem znečištění ovzduší ve městech. Proto je nezbytné, neustále prohlubovat znalosti o časové a prostorové velikosti a proměnlivosti produkce emisí z dopravy. Potom je možné účinně a efektivně přijímat potřebná opatření pro snižování emisí. Vhodnou metodou je právě emisní modelování.

V současné době neexistuje v ČR tak rozsáhlý emisní model, který zahrnuje výsledky vytvořené jednotnou metodikou a postupy. Výhodou takového modelu je porovnatelnost výsledků na celém území ČR, a tedy i použitelnost pro strategické rozhodování a studie tohoto charakteru. V roce 2020 bylo cílem projektu vypracovat pilotní studii, která bude sloužit pro nastavení metodiky tvorby Národního emisního modelu silniční a dálniční sítě ČR, jehož základnou byl dopravní model, který udržuje odbor strategie Ministerstva dopravy ČR. Pro emisní modelování byl vybrán Středočeský kraj, který poskytl dostatečné množství modelových situací a předpokladů pro ověření metod výpočtu a nastavení postupů pro následnou aplikaci na celorepublikovou úroveň. Pro emisní modelování byly vybrány škodliviny produkované silniční dopravou, které mají jasný negativní dopad na lidské zdraví a ekosystémy, zároveň se bude jednat o limitované škodliviny z hlediska zákona č. 201/2012 Sb. (NO_x, PM₁₀, PM_{2,5}) a skleníkový plyn CO₂. Pro výpočet emisí NO_x, PM₁₀, PM_{2,5} u motorových vozidel byl použit program MEFA, software pro emisní modelování, schválený legislativou ČR. Emise CO₂ byly vypočteny ze spotřeby paliva dle metodiky EMEP/EEA [1] a pomocí emisních faktorů pro jednotlivá paliva, uvedených v metodice SEAP [2].

Výstupem pilotní studii byly vypočtené emisní toky na jednotlivých úsecích dálniční a silniční sítě Středočeského kraje, které byly vizualizovány ve formě interaktivní webové mapy s údaji o aktuálním emisním toku v rozlišení jak podle škodlivin, tak podle kategorií vozidel (osobní, lehká nákladní, těžká nákladní vozidla a autobusy). V návazném řešení projektu bude pokračovat emisní modelování na celorepublikovou úroveň a vznikne tak Národního emisní model dálniční a silniční sítě ČR.

Literatura

- [1] EEA (2019): EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019. European Environment Agency, Luxembourg.
- [2] SEAP (2010). How to develop a sustainable energy action plan (SEAP) - Guidebook. Publications Office of the European Union, Luxembourg

Poděkování

Tento článek byl vytvořen za finanční podpory Ministerstva dopravy v rámci programu dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumných organizací.

National emission model of the motorway and road network of the Czech Republic

Eva Havlíčková, Zdeněk Hejkal, Jiří Dufek, Leoš Pelikán

Transport Research Centre

Líšeňská 33a, 636 00 Brno

e-mail:eva.havlickova@cdv.cz

Abstract

The contribution is aimed at producing a pilot study of the National Emission Model of the motorway and road network in the Czech Republic. Based on the Paris Agreement (2015) on climate change, the Czech Republic, as a member of the EU, is committed to reducing greenhouse gas emissions by at least 40% by 2030 compared to 1990. The objective of the project is in compliance with the "Transport Policy of the Czech Republic," "National Programme for the Reduction of Emissions of the Czech Republic" with the strategic objective of the Programme for the Reduction of Risks from Air Pollution to Human Health and the Reduction of the Negative Effect on Ecosystems and Vegetation. The transport sector accounts for a quarter of European greenhouse gas emissions and is the main source of air pollution in cities. It is therefore essential to continuously increase knowledge of the time and space size and variability of transport emissions production. Thereafter, the necessary measures for reducing emissions can be effectively taken. Emission modelling is the appropriate method.

Currently, there is no such large-scale emission model in the Czech Republic, which includes results produced by uniform methodology and procedures. The advantage of such a model is the comparability of results across the whole territory of the Czech Republic, thus the applicability for strategic decisions and studies of this nature. In 2020, the aim of the project was to draw up a pilot study that will serve to set up the methodology for the creation of the National Emission Model of the road and highway network of the CR, the basis of which was the transport model maintained by the Department of Strategy of the Ministry of Transport in the CR. The Central Bohemian Region was selected for emission modelling, providing a sufficient number of model situations and prerequisites for verifying calculation methods and setting up procedures for subsequent application to a country-wide level. For emission modelling, pollutants produced by road transport that have a clear negative impact on human health and ecosystems have been selected, where they will also represent limited pollutants in the light of Act No 201/2012 Coll. (NO_x, PM₁₀, PM_{2.5}) and CO₂ greenhouse gas. To calculate NO_x, PM₁₀, PM_{2.5} emissions in motor vehicles, the MEFA program, a software for emission modelling, was approved by Czech legislation. CO₂ emissions have been calculated from fuel consumption according to the EMEP/EEA methodology [1] and the fuel-specific emission factors, as reported in the SEAP methodology [2].

The outcome of the pilot study was calculated emission flows on each section of the Central Bohemian Region highway and road network, which were visualized in the form of an interactive web map with data on the current emission flow differentiated by both pollutants and vehicle categories (passenger, light cargo, heavy goods vehicles

and buses). As a follow-up to the project, emission modelling will continue to the country-wide level, creating the National Emission Model of the motorway and road network of the Czech Republic.

3. Ostatní

Indikátory zranitelnosti dopravy změnou klimatu

Mgr. Jan Mertl

CENIA, česká informační agentura životního prostředí

Vršovická 65, 100 10 Praha 10

e-mail: jan.mertl@cenia.cz

Abstrakt

Změna klimatu je komplexní fenomén, který zasahuje téměř všechny prvky socioekonomického systému a životního prostředí. Reálný dopad změny klimatu přitom záleží nejen na místně specifické intenzitě projevu změny klimatu, ale také na tom, zda jsou v zasaženém systému přítomny prvky, které jsou tímto projevem negativně ovlivněny. Důležitá je též schopnost systému na klimatickou disturbanci reagovat, absorbovat ji a snížit její následky. Soubor těchto faktorů tvoří tzv. zranitelnost systému.

Zranitelnost je definována jako predispozice (náchylnost) být nepříznivě ovlivněn [1]. Je funkcí expozice danému projevu změny klimatu, citlivosti dotčeného prvku systému (receptoru expozice) a jeho schopnosti se adaptovat. Zásadním aspektem zranitelnosti je resilience, která označuje schopnost systému odolávat klimatickým vlivům a v případě jeho narušení se rychle vrátit do původního stavu a snížit tak negativní dopady.

Pro hodnocení zranitelnosti byla vytvořena indikátorová sada zranitelnosti, jejímž hlavním účelem je hodnotit implementaci Národního akčního plánu adaptace změny klimatu. Navrhovaná sada obsahovala při posledním vyhodnocení k roku 2017 celkem 98 indikátorů, z toho 7 indikátorů hodnotí oblast dopravy. Z vyhodnocení indikátorů vyplynula celkově nízká zranitelnost dopravy v ČR vůči změně klimatu. Vyšší zranitelnost dopravy byla zjištěna pouze pro projev povodně, neboť nezanedbatelný podíl délky silničních komunikací, včetně komunikací vyšších tříd, leží v záplavovém území vyšších n-letostí povodně.

1. Metodika

Zranitelnost vůči projevům změny klimatu je metodický koncept, který nevypovídá ani tak o klimatu samotném, jako o vlastnostech systému, který je změně klimatu vystaven. Zranitelnost zahrnuje řetězec vztahů mezi projevem změny klimatu a jejím dopadem na zasažený sektor, ovlivněný jeho odolností (resistencí) nebo pružností (resiliencí).

Jsou rozlišovány tři základní komponenty zranitelnosti – expozice, citlivost a adaptační kapacita [1]. Expozicí se rozumí intenzita, délka, a/nebo rozsah vystavení sledovaného systému projevu změny klimatu (např. extrémní srážky, povodeň, extrémní teploty). Citlivost udává míru ovlivnění systému projevem změny klimatu. Hodnotí se na základě receptorů expozice, tedy takových prvků systému, které jsou projevu změny klimatu exponované. Adaptační kapacita je schopnost systému reagovat na změnu klimatu tak, aby snížil její negativní dopady. Adaptační kapacita představuje potenciál daného systému k adaptaci a vypovídá tak o možnostech snižování zranitelnosti systému.

Indikátorová sada zranitelnosti je strukturována dle prvků zranitelnosti (expozice, citlivost, adaptační kapacita), dle projevů změny klimatu (sucho, povodeň, extrémní srážky) a dle dopadových systémů, zahrnujících hospodářské sektory a dílčí

komponenty životního prostředí. Měření zranitelnosti je podkladem pro efektivní zacílení adaptačních opatření a celosystémové vyhodnocení jejich efektivity.

2. Indikátory zranitelnosti dopravy a jejich vyhodnocení

Za sektor dopravy sada zranitelnosti obsahuje 4 indikátory citlivosti a 3 indikátory adaptační kapacity. Kromě těchto indikátorů se pro vyhodnocení zranitelnosti dopravy využívají expoziční indikátory, hodnotící expozici projevům změny klimatu napříč hospodářskými sektory a dále indikátory finanční, poskytující přehled o financování opatření na adaptaci vůči změně klimatu.

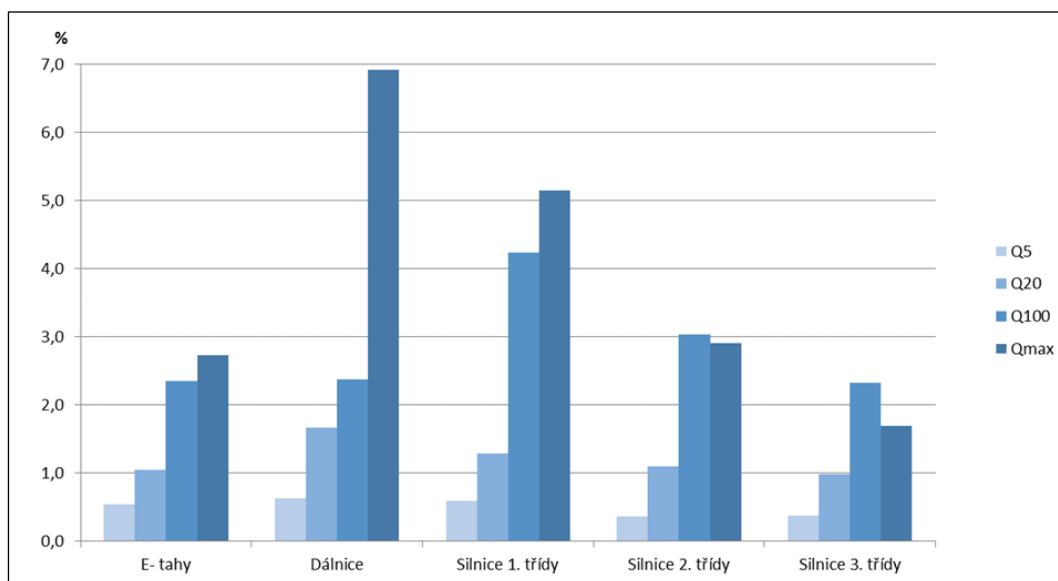
1.2. Indikátory citlivosti dopravy

Silniční a železniční komunikace ležící v záplavovém území

Délka silničních komunikací jednotlivých kategorií v ČR, ležících v záplavovém území, výrazně vzrůstá s rostoucí n-letostí povodně (Graf 1). Zatímco v dosahu 5-leté povodně (Q_5) se nachází dle dat systému DIBAVOD k roku 2017 přibližně 0,5 % celkové délky silnic a dálnic, 100-letá povodeň (Q_{100}) by mohla způsobit zaplavení 2,4 % dálnic (29,4 km), 4,2 % silnic 1. třídy (246,7 km) a 2,3 % (90,4 km) mezinárodních evropských tahů, které jsou vedeny po silnicích těchto kategorií. V případě silnic nižších tříd se jedná o 448 km silnic 2. třídy a 793 km silnic 3. třídy. Zda by došlo k reálné záplavě uvedených silničních komunikací je dáno elevací komunikace vůči okolnímu terénu (např. vedení silnic po mostech nebo náspech), existenci protipovodňových opatření a dalších prvků v krajině, které rozlivy ovlivňují. Tyto aspekty není možné na základě dostupných dat při analýze v prostředí GIS postihnout, lze však předpokládat, že většinu dálnic a silnic 1. tříd povodeň nezasáhne, zatímco silnice nižších tříd budou zaplaveny z větší části.

S ohledem na vysoký podíl komunikací ležících v záplavovém území, včetně komunikací vyšších tříd, je citlivost dopravy k povodním vyhodnocena jako nejvyšší ze všech projevů změny klimatu.

Graf 1. Podíl délky silničních komunikací jednotlivých kategorií ležících v záplavovém území pro úrovně n-letosti povodně Q_5 , Q_{20} a Q_{100} a nejvyšší zaznamenané povodně (Q_{max}) na celkové délce silničních komunikací v ČR [%], 2017



Zdroj: CENIA[1]

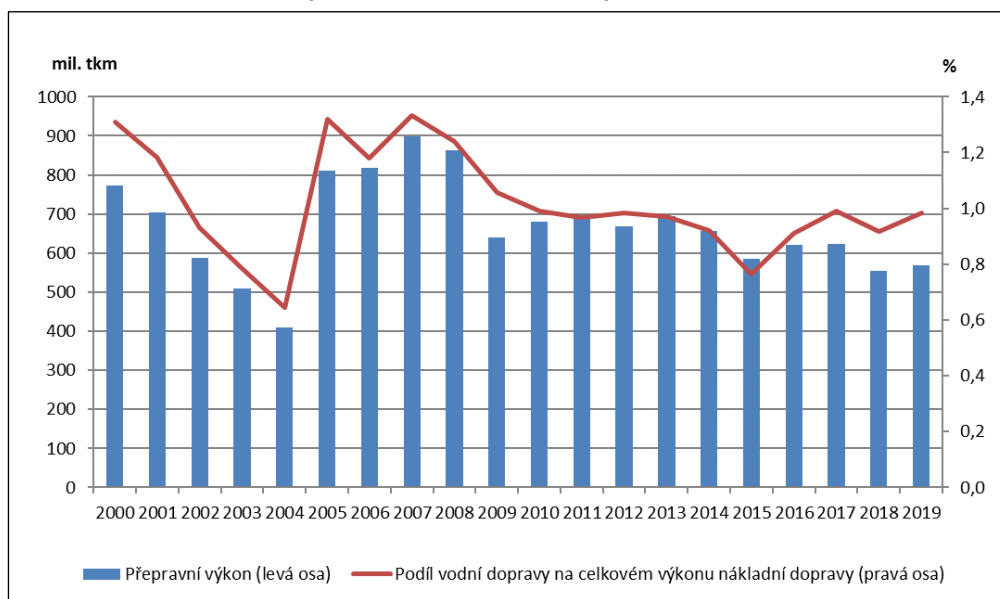
Podíl přepravních výkonů vodní nákladní dopravy na celkové nákladní dopravě

Vnitrozemská vodní doprava v ČR dlouhodobě nepatří, i přes relativně malé dopady na životní prostředí, mezi významné druhy dopravy v nákladní i osobní dopravě. Příčiny jsou zejména geografické, říční doprava je limitována malou souvislou délkou splavných úseků. Parametry pro tzv. velkou plavbu splňuje pouze Labsko-vltavská vodní cesta o celkové provozní délce 315 km.

V období 2000–2019 kolísal výkon vnitrozemské vodní nákladní dopravy v ČR bez výraznějšího trendu (Graf 2), na výkyvech se projevovala splavnost vodních toků ovlivněná vodními stavy. Vlivem povodní v roce 2002 a nedostatku vody v letech 2003 a 2004 přepravní výkon poklesl v období 2000–2004 o 47,1 %, v roce 2005 však díky příznivým plavebním podmínkám a exportu přebytků zemědělské produkce z roku 2004 výrazně stoupl v meziročním srovnání o 98,1 %. Od roku 2007 výkon vodní nákladní dopravy v ČR zvolna klesal, tento pokles byl po roce 2015 podpořen výskytem sucha a zhoršenou splavností vodních cest.

S ohledem na marginální pozici k suchu citlivé vnitrozemské vodní dopravy v dopravním systému ČR byla citlivost dopravy k suchu vyhodnocena jako nevýznamná.

Graf 2. Přepravní výkon vodní vnitrozemské nákladní dopravy v ČR a podíl vodní dopravy na celkovém přepravním výkonu nákladní dopravy [mil. tkm, %] 2000–2019

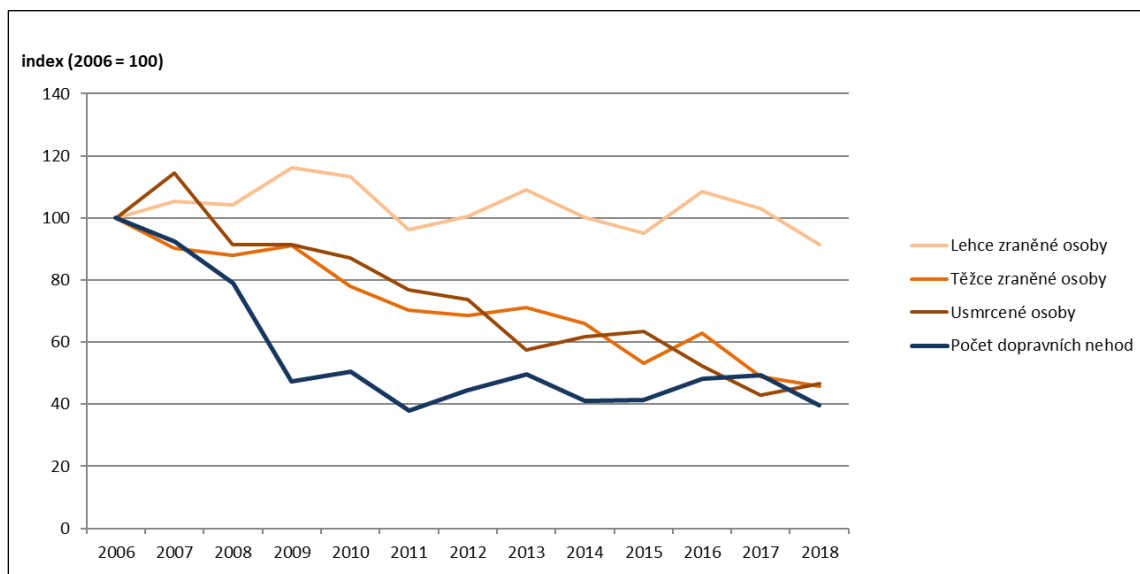


Zdroj: CENIA[1], MD

Nehody v silniční dopravě, ke kterým došlo spolupůsobením projevů změny klimatu

Během hodnoceného období 2006–2018 nedocházelo k růstu počtu dopravních nehod a jejich následků, na jejichž vzniku se podílely sledované povětrnostní vlivy (Graf 3). I když povětrnostní podmínky představují významný faktor ovlivňující dopravní nehodovost, nebyl ve sledovaném období zjištěn nárůst jejich působení, navíc řadu evidovaných vlivů nelze dávat do souvislosti se změnou klimatu. Rostoucí vliv projevů změny klimatu na dopravní nehodovost tak nebyl prokázán. Naopak ze statistiky vyplývá, že zhruba 85 % dopravních nehod vzniká při neztížených povětrnostních podmínkách. Citlivost dopravy na změnu klimatu je tak z pohledu dopravní nehodovosti nízká.

Graf 3. Vývoj počtu dopravních nehod vzniklých při spolupůsobení zhoršených povětrnostních podmínek a následků těchto nehod na zdraví a na životech v ČR [index, 2006 = 100], 2006–2018



Zdroj: CENIA[1], Policie ČR

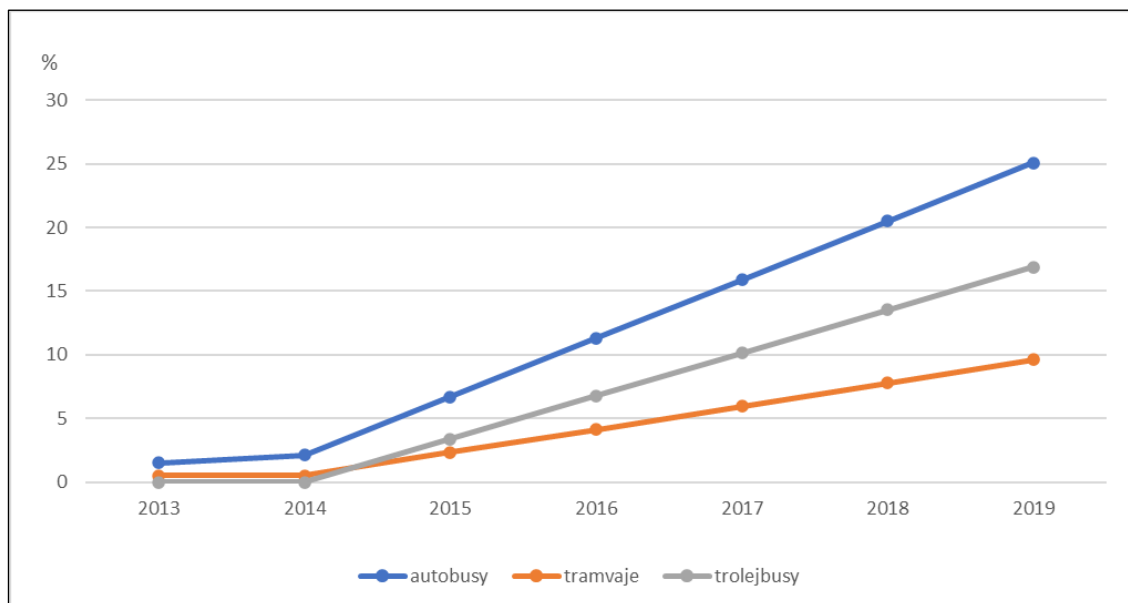
1.2. Indikátory adaptační kapacity dopravy

Vybavenost veřejné hromadné dopravy klimatizací

Vybavenost vozidel MHD klimatizací v období 2013-2019 společně s obnovou vozového parku stoupala (Graf 4). Klimatizací bylo v roce 2019 vybaveno v rámci členských organizací SDP celkově 25,1 % autobusů, 9,6 % tramvají a 16,9 % trolejbusů z celkového počtu vozidel. V případě vozidel mimo MHD nejsou kvůli konkurenčnímu prostředí k dispozici souhrnná data, většina poskytovatelů dálkové autobusové dopravy udává 100% vybavenost klimatizací. V železniční dopravě též rychle stoupá podíl klimatizovaných vozů, ve vlacích vyšší kvality (např. Railjet, Eurocity, Pendolino), včetně soukromých dopravců, je již většina vozů klimatizována.

Vybavenost prostředků veřejné dopravy klimatizací je indikátorem adaptační kapacity a zranitelnosti veřejné dopravy vůči projevům změny klimatu, mezi které patří růst teplot vzduchu a častější výskyt vln veder. Vybavenost vozidel klimatizací ovlivňuje komfort cestujících a snižuje zdravotní rizika plynoucí z vysokých teplot jak u cestujících, tak i zaměstnanců ve veřejné dopravě. Kromě toho přispívá klimatizace ke konkurenceschopnosti hromadné dopravy vůči dopravě individuální v průběhu vln veder, což snižuje znečišťování ovzduší individuální automobilovou dopravou s dopady na zhoršenou kvalitu ovzduší. Vývoj indikátoru naznačuje zvyšování adaptační kapacity veřejné dopravy vůči extrémně vysokým teplotám.

Graf 4. Vývoj podílu vozidel jednotlivých druhů MHD vybavených klimatizací [%], 2013–2019



Zdroj: CENIA[1], SDP

Vybavenost silniční a železniční sítě monitoringem stavu dopravní infrastruktury a systémem varování

Na dálnicích a silnicích 1. třídy bylo k 31. 12. 2019 rozmístěno celkem 522 meteostanic a 493 kamer, od roku 2017 počet meteostanic narostl o 12,0 % a kamer o 28,7 %. V průměru tak každých 14 km těchto komunikací je vybaveno kamerou a každých 13 km meteostanicí. Zranitelnost dopravního systému s růstem vybavenosti komunikací prvky monitoringu a varování před překážkami klesá.

Nejvíce jsou touto infrastrukturou vybaveny nově zprovozněné a rekonstruované dálnice, například jižní část vnějšího okruhu Prahy a dálnice D1 v okolí Ostravy, kde jsou kamery umístěny téměř na každém kilometru komunikace, v tunelech je jejich hustota ještě větší. Meteorologické stanice měří a zaznamenávají teplotu vzduchu, teplotu povrchu vozovky, tlak vzduchu, úhrn srážek za posledních 5 minut, vlhkost vzduchu a rychlost a směr větru. Kamery slouží primárně pro monitorování plynulosti provozu a informují o dopravních nehodách a dopravních kongescích, mohou však sloužit i pro vizuální monitoring charakteru povrchu vozovky a zjišťování horizontální dohlednosti.

3. Závěr

Na základě vyhodnocení sady indikátorů zranitelnosti je možné zařadit dopravu mezi méně zranitelné sektory vůči projevům změny klimatu. Je to dáno strukturou přepravního výkonu osobní a nákladní dopravy, hustou sítí dopravních komunikací a tím i možností přesunu dopravy mezi jednotlivými módy i příznivými přírodními podmínkami.

Z jednotlivých projevů změny klimatu vychází nejvyšší zranitelnost dopravy vůči povodním, neboť nezanedbatelný podíl silničních komunikací, včetně komunikací vyšších tříd, leží v záplavovém území vyšších n-letostí povodně. Jako vyšší lze rovněž hodnotit citlivost dopravy vůči silnému větru, a to zejména dopravy železniční. Ledové a sněhové jevy, které způsobují vážné problémy v dopravě, nelze zařadit mezi projevy změny klimatu, neboť jejich výskyt v jejím důsledku naopak klesá. Při

vyhodnocení zranitelnosti dopravy proto tato kategorie klimatických faktorů nebyla uvažována.

Literatura

- [1] Kochová, T. a kol. Hodnocení zranitelnosti České republiky ve vztahu ke změně klimatu k roku 2017. Praha: CENIA, česká informační agentura životního prostředí, 2019, 49 str. + příloha Indikátory zranitelnosti.
- [2] Kolektiv autorů. Evaluace Národního akčního plánu adaptace na změnu klimatu. Výstup projektu Nové metody pro hodnocení plnění strategických dokumentů MŽP, identifikační kód projektu č. TITOMZP702, Praha, CENIA, COŽP, 2019.
- [3] Analytická část k návrhu Adaptační strategie 2021+, Ministerstvo životního prostředí, 2020.

Indicators of transport vulnerability to climate change

Jan Mertl

CENIA, Czech Environmental Information Agency

Vršovická 65, 100 10 Praha 10, Czech Republic

e-mail: jan.mertl@cenia.cz

Abstract

Climate change is a complex factor which affects almost all elements of the socio-economic system and the environment. The real impact of climate change depends not only on the on-site specific intensity of the climate change phenomena, but also on whether the elements vulnerable to this phenomenon are included in the impact system under consideration. The ability of the system to respond resiliently to climate disturbance and reduce its consequences is also an important aspect for the degree of negative impacts. The set of these factors forms the so-called vulnerability of the system.

Climate change adaptation aims at reducing vulnerability thus minimizing the impacts of climate change on human society, economic sectors, and ecosystems. Vulnerability depends on the exposure to a given manifestation of climate change, the sensitivity of the affected system element (exposure receptor) and its ability to adapt. A key aspect of vulnerability is resilience, i.e. the ability of the system to reduce the disruption caused by effects of climate change and return quickly to its original state and thus reduce the negative impacts.

The indicator set of vulnerability indicators has been developed to monitor the implementation of the National Action Plan on Adaptation to Climate Change. The set contains 98 indicators out of which 7 indicators deals directly with transport. The indicator assessment published in 2018 shows low vulnerability of transport in the Czech Republic in comparison with other sectors. Higher vulnerability of transport was identified only in terms of flooding, due to the significant share of highways and main roads located in flooding areas.

Vliv dopravy na lesní ekosystém v blízkosti zatížených komunikací

Petr Anděl¹, Jitka Hegrová², Vilma Jandová², Karel Effenberger²,
Martina Bucková²

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

²Centrum dopravního výzkumu v.v.i., Líšeňská 33a, 636 00 Brno
e-mail: andel@evernia.cz

Abstrakt

Doprava je důležitou součástí lidské společnosti, která zjednodušuje každodenní život člověka. Její obrovský význam z hlediska cestování či přepravy surovin, nelze popřít. I přes množství pozitivních účinků má velký negativní dopad na základní složky životního prostředí. Mezi hlavní negativní dopady zahrnujeme: likvidaci a přeměnu biotopů, poměrně vysokou mortalitu na silnicích, fragmentaci krajiny vlivem stavění nových silnic a dálnic a v neposlední řadě i kontaminaci hlukem a chemickými látkami. Znečišťuje zejména ovzduší, podzemní a povrchové vody, půdu a poškozuje biodiverzitu [1]. Ke kontaminaci životního prostředí dopravou dochází zejména při spalování pohonných hmot, dále otěrem pneumatik a vozovky, z karoserií aut, brzdných destiček nebo vlivem zimní údržby komunikací. Při této kontaminaci dochází k uvolňování látek, které obsahují celou řadu nebezpečných škodlivin. Mezi vysoce nebezpečné škodliviny, lze zařadit mimo jiné i těžké kovy.

Vybraným modelovým ekosystémem je smrkový les nacházející se v bezprostřední blízkosti dálnice D1 Praha – Brno v dálničním kilometru 103, před exitem na Větrný Jeníkov (ve směru od Prahy). Jedná se o lokalitu dlouhodobě vystavené kontaminaci látek z dopravy. Mezi sledované prvky jsou zahrnuty: Cd, Pd, Rh, Pt, Cl, Na, Sb, Ba, Pb, jejichž zvýšený obsah ve vzorcích poukazuje na kontaminaci životního prostředí těžkými kovy pocházejícími z dopravy nebo kontaminanty zimní údržby komunikací. Za běžných okolností jsou tyto prvky biogenními prvky, které lze v určitých koncentracích pokládat za normální složky bioty a půd. Práce je zaměřena na srovnání obsahu vybraných prvků ve vzorcích životního prostředí, které byly odebrány po dobu tří let ve více odběrových kampaních lišících se dobou odběru (jaro nebo podzim) a s využitím hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem.

1. Experimentální část

Ve vybraném ekosystému je sledován vliv zimní údržby, kontaminace prostředí prvky pocházejícími z automobilové dopravy a distribuce těchto prvků v prostředí. Dále je posuzován rozdíl v citlivosti jednotlivých složek prostředí ke kontaminantům a jejich kumulativní efekt, data jsou vyhodnocovány pro pochopení interakcí mezi ekosystémem a škodlivinami.

Vzorkovány byly následující matrice: půda jako základní místo kumulace toxických látek v ekosystému, jehličí smrku ztepilého (*Picea abies*) – odebrány byly samostatně 4 vzorky jehličí, lišící se stářím a tedy délkou expozice k toxickým látkám z dopravy, tráva metlička křivolaká (*Avenella flexuosa*) jako model primárního producenta typického pro daný ekosystém, mech trávník Schreberův (*Pleurozium schreberi*) jako akumulční indikátor, především těžkých kovů, Lišejník Terčovka otrubičnatá (*Pseudevernia furfuracea*) jako ukazatel čistoty životního prostředí, jelikož vykazuje větší kumulativní schopnosti škodlivin. Odběry byly provedeny v těchto

obdobích: jaro 2018, podzim 2018 (pro zjištění úbytku kontaminantů zimní údržby), jaro 2019 a jaro 2020.

Všechny vzorky bioty byly vysušeny, rozstříhány, pomlety a rozloženy při teplotě 230 °C a tlaku 30 bar v koncentrované kyselině dusičné (ultračistě) v mikrovlnném rozkladném zařízení SW-4 Berghof (Německo). Různě staré vzorky jehličí byly analyzovány jednotlivě. Vzorky zemin byly přesáty a pomlety a extrahovány lučavkou královskou ve stejném zařízení při teplotě 200 °C a tlaku 30 bar. Před analýzou byly vzorky zředěny. Obsah vybraných prvků byl stanoven s využitím hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICPMS/MS, Agilent Technologies, Japonsko). Pro spektrofotometrické stanovení chloridů na spektrofotometru Spektroquant® Prove 300 (Merck) byly ze vzorků zemin a jehličí připraveny vodní výluhy. Kontrola správnosti zvolených analytických metod byla provedena vybranými certifikovanými referenčními materiály.

2. Výsledky a diskuse

Pro celkové hodnocení vlivu komunikací na životní prostředí je studie zaměřena na tři základní zdroje kontaminace: chemickou zimní údržbu (solení), emise výfukových plynů a resuspenze materiálů deponovaných na povrchu vozovky, jako jsou obrusy z aut a ze silniční infrastruktury. U každého zdroje je jiný způsob šíření v prostředí. Z pohledu anorganického je kladen důraz na vliv zimní údržby na životní prostředí, zejména na obsah chloridů ve vzorcích jehličí, dále pak na obsah prvků pocházejících z dopravy, v případě kumulace škodlivin v biotě i na platinové kovy.

2.1 Vliv zimní údržby

Z dosud zpracovaných výsledků lze konstatovat, že dochází k velkému ovlivnění porostu v těsné blízkosti komunikace zimní údržbou, poškození jehličnanů je patrné už i při vizuální kontrole, tedy při charakterizaci zdravotního stavu stromu. Stanovení sodíku jako prvku indikujícího vliv zimní údržby komunikací poukazuje ve všech odběrových kampaních na kumulaci tohoto prvku v jehličkách smrku. Se zvyšujícím stářím jehliček se zvyšuje i obsah sodíku, a to nejen ve vzdálenosti 5 m od silnice, ale i ve vzdálenostech dalších. Nadměrné množství tohoto prvku v jehličkách způsobuje jejich hnědnutí/rezivění/odumírání.

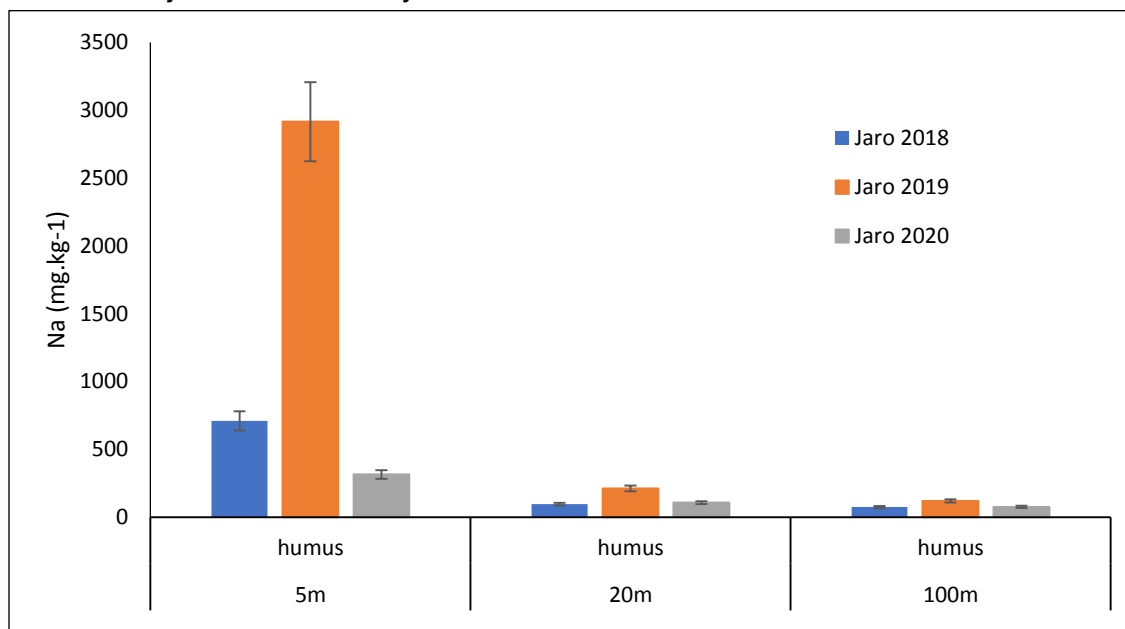
Nejvyšší obsahy byly nalezeny u vzorků odebraných na jaře 2019, což potvrzuje využití většího množství posypového materiálu než v roce předchozím a následujícím. Na vybrané lokalitě se v zimním období 2017/2018 a v období 2019/2020 vysolilo velmi podobné množství posypových materiálů, jednalo se asi o 3tis. tun posypové soli a asi 600tis. litrů solanky, kdy v zimě 2017/2018 to bylo jen o trochu více. Oproti tomu byla zima 2018/2019 na spotřebu posypových materiálů daleko náročnější. Tuto zimu se vysolilo přes 5tis. tun soli, asi 1,5 mil. litrů solanky a bylo dokonce využito několik tisíc litrů chloridu vápenatého (Zdroj ŘSD).

V grafu 1 je patrný jasný rozdíl v koncentraci sodíku v humusové vrstvě půdního profilu, a to hlavně ve vzdálenosti 5 m od okraje silnice, je zde jasně patrný rozdíl v koncentracích sodíku mezi jednotlivými odběrovými roky. V případě jehličí obsah sodíku klesá se vzdáleností, u jehliček odebraných ve vzdálenosti 100 m je více jak tisíckrát nižší (graf 2).

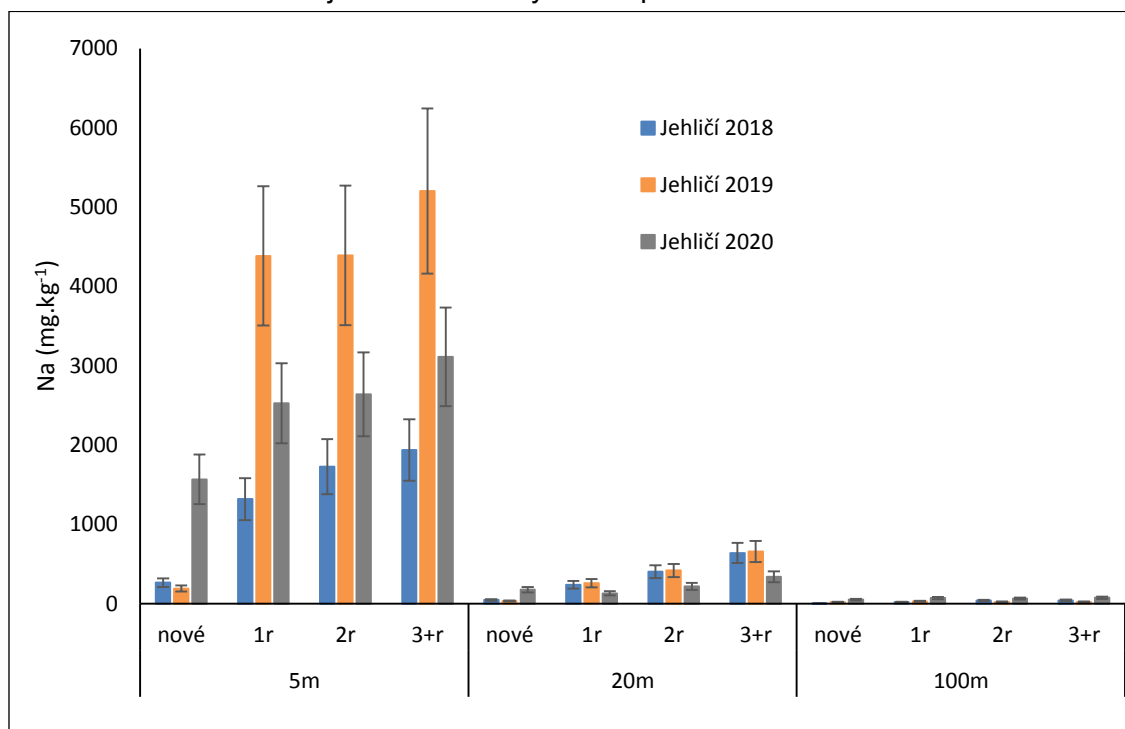
Z grafu 3 vyplývá velká sorpční schopnost mechu, když při porovnání koncentrací sodíku v jednotlivých vybraných složkách ekosystému vykazuje nejvyšší obsah sodíku ve všech vzdálenostech od komunikace (graf znázorňuje koncentrace stanovené ve vzorcích odběrové kampaně jaro 2019). Mech je pro své kumulativní

schopnosti celosvětově využíván pro tzv. bryomonitoring - reflexní monitorovací metoda k vyhodnocení povahy a intenzity znečištění prostředí těžkými kovy a plynnými látkami.

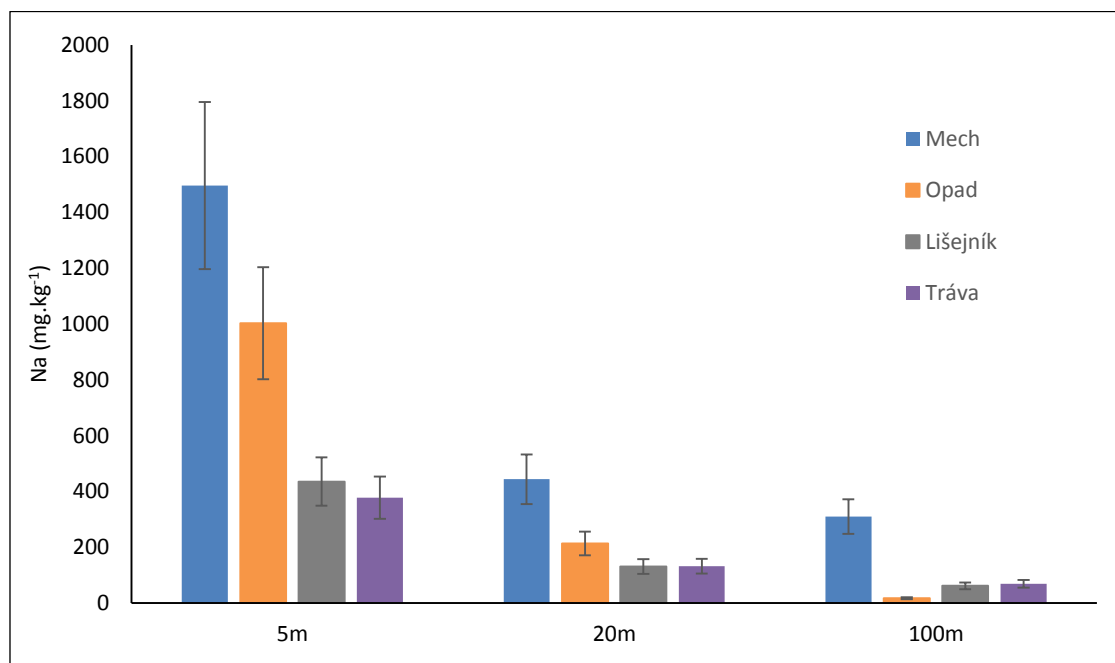
Graf 1. Rozdíl koncentrací sodíku v jednotlivých monitorovacích jarních obdobích, patrná je vysoká koncentrace na jaře 2019 a to převážně v blízkosti komunikace, což jasně charakterizuje vliv zimní údržby



Graf 2. Porovnání koncentrace sodíku v jehličí různého stáří ve třech odběrových vzdálenostech ve všech jarních odběrových kampaních



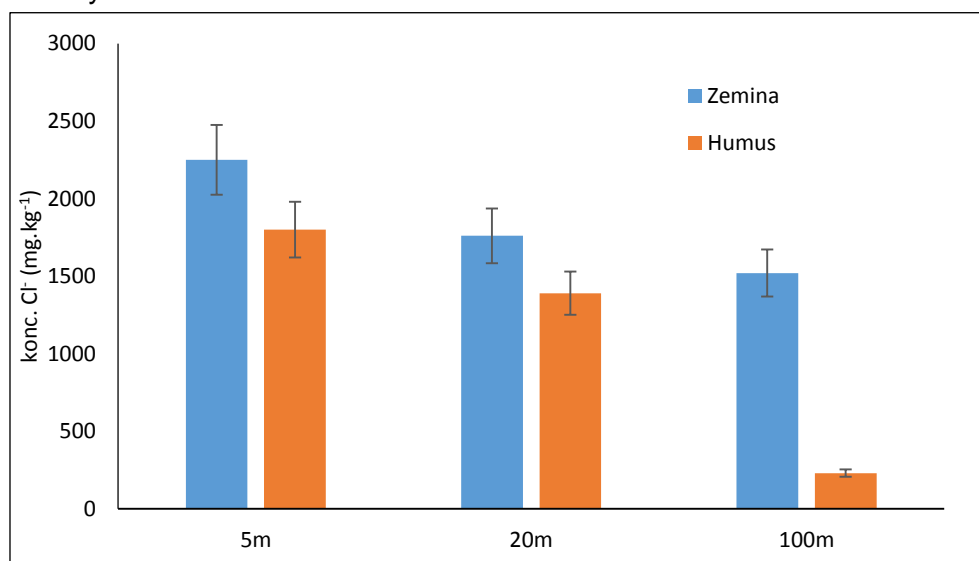
Graf 3. Distribuce sodíku mezi různými složkami zájmového lesního ekosystému na jaře 2019



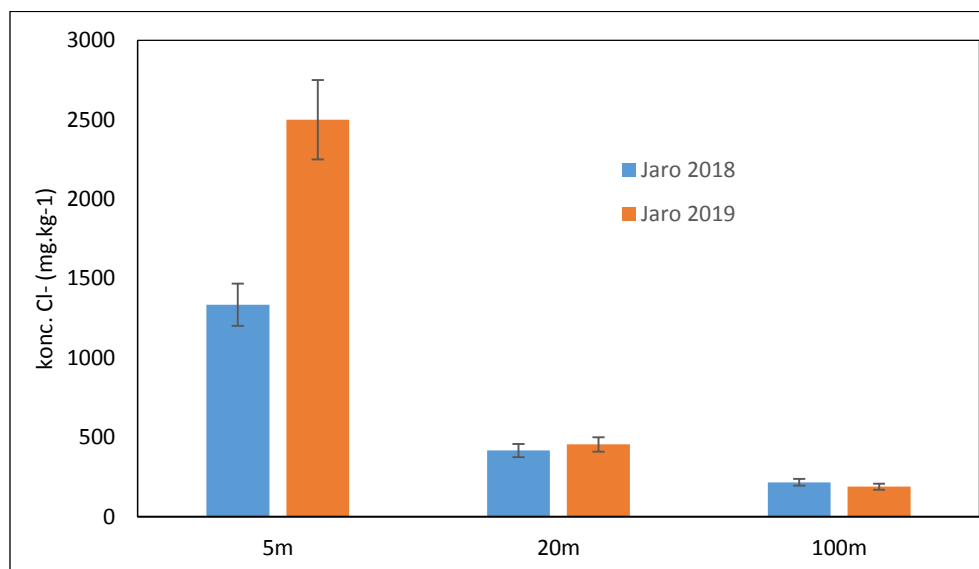
Sodík je rostlinami přijímán kořenovým systémem ve formě Na^+ , a to velmi rychle. To dosvědčuje, že pokud dochází k navyšování těchto iontů v půdním prostředí, zvyšují se jejich koncentrace i v rostlinách. Sodík v rostlinách reguluje osmotické poměry a ovlivňuje také jiné ionty v rostlině obsažené. Jeho zvýšený příjem má za následek snížení příjmu draslíku, vápníku a hořčíku rostlinou. Proto v zimním období, kdy se sodné ionty dostávají ve velkých koncentracích do půdy vlivem solení komunikací, dochází u rostlin ke snížení příjmu živin – což vede k jejich poškození. Uvádí se, že např. zdravý smrk ztepilý by měl v prvních letech svého života obsahovat průměrně desítky až stovky mg.kg^{-1} Na^+ , v pozdějším věku okolo tisíce mg.kg^{-1} . Nicméně pokud roste v okolí silnic či dálnic, je velká pravděpodobnost, že postupem času bude obsahovat koncentrace Na^+ v mnohonásobně vyšších koncentracích [2].

Stanovení chloridů v zemině (graf 4) a v jednoletých asimilačních orgánech smrků bylo porovnáno ve dvou odběrových kampaních (jaro 2018 a jaro 2019 – viz graf 5). Z grafu vyplývá, že s rostoucí vzdáleností stromu od komunikace klesá i obsah chloridů v jehličích. Velký pokles se vzdáleností je patrný v rozdílu koncentrací v 5 m a 20 m, mezi 20 m a pozadovou oblastí je rozdíl minimální. Chloridové ionty vykazují vysokou mobilitu, jsou tedy rychle vymývány do okolí a do větších vzdáleností od komunikace než ostatní prvky. Dále je patrné, že vzorky odebrané na jaře 2019 vykazují nejvyšší obsahy chloridů, a to v nejbližší vzdálenosti od komunikace, což pravděpodobně potvrzuje nutnost využití vyššího množství posypových materiálů pro údržbu dálnice. V ostatních vzdálenostech (20 m a 100 m od vozovky) je obsah chloridů velice podobný nezávisle na odběrové kampani jehlic. Lze to vysvětlit ustálením hladiny chloridů. Vyšší obsah ve vzdálenosti 5 m v jehličkách odebraných na jaře poukazuje na kumulaci chloridů po zimní údržbě komunikace. V nezasolené půdě se obsah chloridových iontů obvykle pohybuje okolo $30\text{--}50 \text{ mg.kg}^{-1}$. Pokud dojde ke zvýšení koncentrace Cl^- v půdě, dojde zároveň i k nadměrnému přijímání těchto iontů rostlinou a jejich ukládání do asimilačních orgánů.

Graf 4. Rozdíl koncentrací chloridů v jednotlivých vzdálenostech od komunikace na jaře 2018, patrná je snižující se koncentrace se vzdáleností, kde v případě humusové vrstvy je pokles strmější. Vrstva je jako první vystavena působení dešťových srážek a dochází k odplavení chloridů, jež se vyznačují vysokou mobilitou, do prostředí a do hlubších vrstev zeminy.



Graf 5. Distribuce chloridů v jednoletém jehličí smrku zájmového lesního ekosystému na jaře 2019



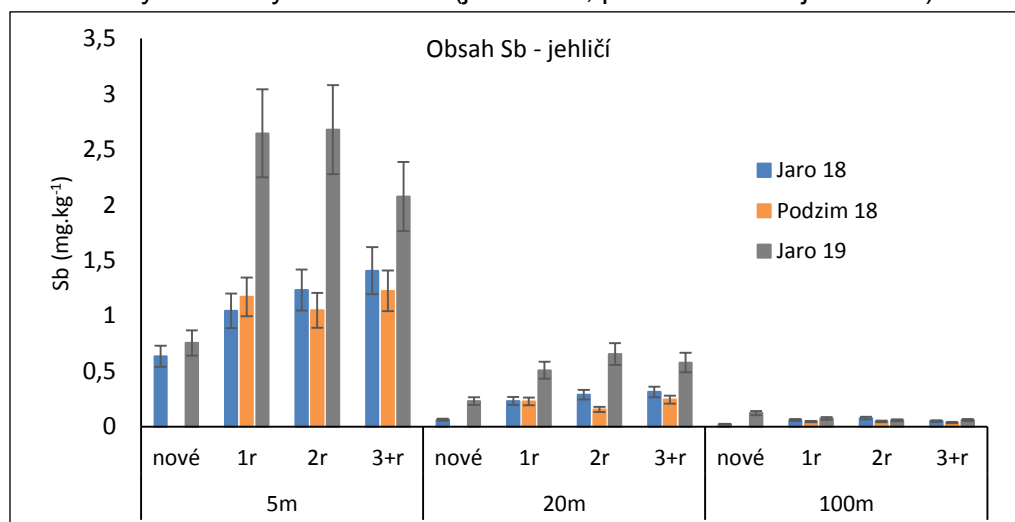
Chlor ve formě Cl^- je v přírodě snadno rozpustný a velmi mobilní v půdním roztoku i v těle rostlin. Chloridové ionty jsou rostlinou přijímány kořenovým systémem i asimilačními orgány (listy, jehličí), ve kterých se hromadí. Spolu s draselným kationtem má důležitou funkci při regulaci osmotických poměrů v buňce. Podílí se s draslíkem také na otvírání a zavírání průduchů a na fotolýze vody při fotosyntéze. Nadbytek chlóru působí na rostliny toxicky. Některé rostliny, jako například jehličnany, jsou citlivé na obsah Cl^- a mají hranici toxicity při koncentraci 2 % v sušině rostliny. Uvádí se, že např. zdravý smrk ztepilý by měl v prvních letech svého života obsahovat okolo $700 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ Cl}^-$. Nicméně pokud roste v okolí silnic či dálnic, je velká pravděpodobnost, že postupem času bude obsahovat koncentrace Cl^- v mnohonásobně vyšších koncentracích – což je způsobeno právě solením

komunikací při zimní údržbě. Naopak nedostatek chloridových iontů je u rostlin vzácný, projevuje se chlorotickým zbarvením do bronzova, vadnutím listů, zakrslostí rostlin nebo potlačení rozvoje kořenů [3].

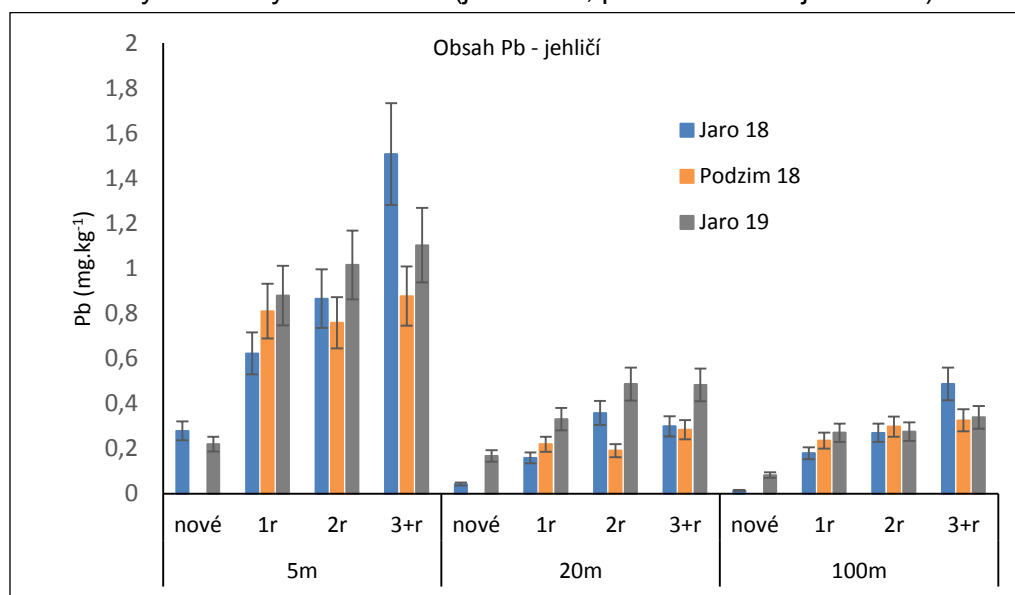
Podobné poznatky nacházíme pro další prvky např. Pb, Sb, Ba, Cd a platinové kovy. Jako příklady jsou uvedeny obsahy antimonu a olova (grafy 6, 7). Graf 6 poukazuje na mírný kumulativní efekt antimonu pocházejícího z brzdového obložení na jehličkách vyššího stáří. Jeho obsah se vzdáleností klesá.

Překvapivý, i když částečně i očekávaný je trend vyššího obsahu škodlivin ve vzdálenosti 100 m od komunikace, než ve vzdálenosti bližší (20 m), předpokládá se, že škodliviny se do této vzdálenosti dostanou nejen rozmyvem a distribucí přes půdní systém, ale také transportem zviřeného prachu ze silnic a jeho spadem. Tuto skutečnost potvrzuje graf 7, kde je patrný zvýšený obsah olova ve větší vzdálenosti (100 m) a současně se potvrzuje kumulace olova v jehličkách – vzrůstající koncentrace se stářím jehlic.

Graf 6: Porovnání naměřených hodnot obsahu Sb ve vzorcích jehličí lišících se stářím ve třech různých časových obdobích (jaro 2018, podzim 2018 a jaro 2019)



Graf 7: Porovnání naměřených hodnot obsahu Pb ve vzorcích jehličí lišících se stářím ve třech různých časových obdobích (jaro 2018, podzim 2018 a jaro 2019)



Naopak obsah živin (P, Mg) se stářím jehličí klesá, vzdálenost od komunikace nemá na tento obsah vliv. Pokles je působen nejen spotřebou těchto živin stromem pro růst, ale pravděpodobně i vytěsněním živin kontaminanty (náhrada Mg za Na a Ca z posypové soli). Ve většině případů obsah kontaminantů ve vzorcích bioty klesá se vzdáleností od komunikace, ve vzorcích zemin naopak roste. Jak je patrné z grafu 7, mech a lišejník jsou kumulátory škodlivin, také se potvrdilo, že ve starších jehličkách je vyšší koncentrace škodlivin.

3. Závěr

Stanovené množství prvků ve vzorcích jehličí zahrnuje obsah těchto prvků v adsorbovaných pevných částicích na povrchu jehličí a současně i množství, které se dostane do jehličí přes kořenový systém [4,5]. Pro bioindikaci potenciálu poškození chemickou zimní údržbou je jehličí smrku ztepilého vhodné z důvodu své zvýšené citlivosti k zasolení. Zároveň byl hodnocen i potenciál kontaminace lokality a zdravotní stav jedinců zájmového jehličnanu. Získané výsledky koncentrací prvků byly vyhodnoceny v závislosti na čtyřech faktorech: na potenciálu kontaminace, zdravotním stavu stromu, vzdálenosti od komunikace a na stáří jehličí. Množství sodíku stanovené ve vzorcích jehličí koresponduje s množstvím nalezeným ve vzorcích zemin na stejné lokalitě. Hodnocení vlivu zimní údržby se řeší i z pohledu zdravotního stavu stromu a také stáří jehlic. Ostatní prvky spojené s dopravou vykazují o 40 – 60 % vyšší koncentrace v místech krajnice než v místě požadovém (100m). Obsah platinových kovů je velmi nízký, avšak stanovitelný, a to zejména ve vzorcích odebraných v těsné blízkosti komunikace.

Literatura

- [1] ADAMEC, V. 2008. Doprava, zdraví a životní prostředí. 1. vyd. Praha: Grada, 160 s., xvi s. obr. příl. ISBN 978-80-247-2156-9.
- [2] RICHTER, Rostislav. UŽITEČNÉ PRVKY. Mendelova univerzita v Brně, 2014, 23. 01. 2004 [cit. 2019-12-30]. Dostupné z: <http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/biogenni_prvky/uzitecne_prvky.htm>
- [3] ZITKOVÁ J.; HEGROVÁ J.; ANDĚL P. Bioindication of road salting impact on Norway spruce (*Picea abies*). *Transport and Environment* 2018. 59. 58-67.
- [4] FOSTAD, O. et PEDERSON P. A. Container-grown tree seedling responses to sodium chloride applications in different substrates. *Environmental Pollution*, 2000, 109(2): 203-210.
- [5] KAYAMA, M. et al. Effects of deicing salt on the vitality and health of two spruce species, *Picea abies* Karst., and *Picea glehnii* Masters planted along roadsides in northern Japan. *Environmental Pollution*, 2003, 124: 127-137.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl za finanční podpory Ministerstva dopravy v rámci programu dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumných organizací.

Influence of transport on forest ecosystem near the main roads

Petr Anděl¹, Jitka Hegrová², Vilma Jandová², Karel Effenberger²

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

²*Transport research centre,*

Líšeňská 33a, 636 00 Brno

e-mail: andel@evernia.cz

Abstract

Evaluation of the impact of transport on the surrounding environment requires an ecosystem approach and analysing components that provide information about the distribution of the monitored contaminants, and also an estimate of the dynamics of movement and the accumulation of these substances in the environment. The selected model ecosystem is a spruce forest located in the immediate vicinity of the D1 motorway Prague - Brno at motorway kilometre 103, before the exit to Větrný Jeníkov (in the direction from Prague). It is a locality exposed to contamination of substances from transport for a long time. The determined elements include: Cd, Pd, Rh, Pt, Cl, Na, Sb, Ba, Pb, the increased content of which in the samples indicates environmental contamination by heavy metals from traffic or contaminants of winter maintenance of roads, which are normally biogenic elements that can be considered as normal components of biota and soils in certain concentrations. The work is further focused on the comparison of the content of selected elements in environmental samples, which were taken in several sampling campaigns differing in sampling time (spring or autumn) for three years using inductively coupled plasma mass spectrometry.

Open Science v dopravě – představení projektu BE OPEN

Rudolf Cholava

Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.

Líšeňská 33a, 636 00 Brno

e-mail: rudolf.cholava@cdv.cz

Abstrakt

O projektu

Open Science (otevřená věda) představuje nový přístup, který zvyšuje otevřenost, integritu a reprodukovatelnost výzkumu. Jeho cílem je zvýšit transparentnost a dostupnost vědeckých postupů a výsledků na všech úrovních a pro každého.

Rychlý růst digitálních technologií a nové nástroje spolupráce aktivují Open Science, což umožňuje urychlit proces přijetí otevřeného přístupu a usnadnit sdílení velkého množství informací, studijních materiálů a dat. Kultura Evropy a její schopnost sdílet výzkumné činnosti přes národní hranice, spolu s její pozoruhodnou výzkumnou a znalostní základnou, staví Evropu na přední místo ve světě z hlediska propagace a urychlení tohoto nového otevřeného způsobu práce.

S ohledem na změny, ke kterým dochází v oblasti provádění vědy a výzkumu, je presentovaný projekt BE OPEN (European forum and observatory for OPEN science in transport) zaměřen na implementování Open Science v dopravním výzkumu na evropské úrovni prostřednictvím řady cílených koordinačních a podpůrných aktivit.

Projekt BE OPEN s participací naší instituce je projektem typu koordinační a podpůrná akce v rámci programu Horizont 2020, projekt byl podán do výzvy MG-4-2-2018 Budování platformy otevřené vědy v dopravním výzkumu a jeho doba řešení je 1. 1. 2019 – 30. 6. 2021. Prezentované informace reflektující řešení projektu jsou převzaty z webových stránek projektu BE OPEN viz níže.

Cílem projektu BE OPEN je rozšířit Open Science v dopravním výzkumu a napomoci její regulaci a standardizaci. Víze projektu směřuje k vytvoření společného porozumění praktickému dopadu Open Science a identifikaci a zavedení mechanismů pro její uskutečnění v dopravním výzkumu zřízením a implementací TOPOS - dopravní observatoře a fóra pro šíření Open Science.

Očekávané dopady projektu

- Rozvoj řízení a vytvoření nových provozních / business modelů pro posílení Open Science odůvodněné v hospodářském a sociálním kontextu
- Vypracování evropského kodexu chování pro Open Science v dopravě navrhujícího doporučení a pokyny, jež umožní vytvoření komunity organizací dopravního výzkumu sdílející principy kodexu
- Zvýšení povědomí a viditelnosti zejména výzkumné komunity v oblasti dopravy, ale také příslušných orgánů, podniků, dopravních asociací, vydavatelství, evropských technologických platform atd. a adekvátního mediálního pokrytí

- Zapojení zainteresovaných stran v mezinárodním měřítku do vzájemného učení a sdílení zkušeností
- Implementace observatoře a fóra TOPOS, která přispěje k vytvoření solidní znalostní základny pro realizaci Open Science v dopravním výzkumu.

Partneři

Konsorcium projektu BE OPEN, 17 partnerů a 8 třetích stran, je tvořeno předními dopravními výzkumnými institucemi a výzkumnými sítěmi na celoevropské úrovni, které zahrnují všechny druhy dopravy a subjekty s vysokou odborností v oblasti otevřené vědy, jež jsou v popředí relevantního vývoje v Evropě.

Další informace

Podrobnější informace jsou dostupné na webových stránkách projektu BE OPEN na <https://beopen-project.eu/>.

Open Science in Transport – Presentation of the BE OPEN project

Rudolf Cholava

Transport Research Centre

Líšeňská 33a, 636 00 Brno

e-mail: rudolf.cholava@cdv.cz

Abstract

About the project

Open Science represents a new approach that increases openness, integrity and reproducibility of research. It aims at making scientific process and results more transparent and accessible at all levels and to everyone.

The rapid growth of digital technologies and new collaborative tools become enablers of Open Science, allowing to speed up the process of adopting open habits and facilitating the sharing of large volumes of information, study materials and data. Europe has the culture and ability to share research activities across national boundaries, which along with its remarkable research and knowledge base, put it in a leading position in the world to promote and expedite the new Open Science way of working.

As the way in which science and research are carried out has changed, the presented BE OPEN (European forum and oBservatory for OPEN science in transport) project aims to assist in operationalising Open Science in transport research at the European level, through a series of targeted coordination and support activities.

The BE OPEN project with participation of our institution is a Horizon 2020 Coordination and Support Action that addresses the call MG-4-2-2018 Building Open Science platforms in transport research and its realization is 1. 1. 2019 – 30. 6. 2021. Presented information reflecting realization of the project has been adopted from the BE OPEN project website see below.

BE OPEN aims to promote Open Science in transport research and assist in regulating and standardizing it. The overarching vision of BE OPEN is to create a common understanding on the practical impact of Open Science and to identify and put in place the mechanisms to make it a reality in transport research by the setting up and implementation of TOPOS, the Transport Observatory / fOrum for Promoting Open Science.

Expected impacts of the project

- Develop governance and new operational / business models for enhancing Open Science by describing the rationale of how to create and capture value in economic and social context
- Develop the European Code of Conduct on Open Science in transport proposing recommendations and proper guidelines that allow setting up a community of transport research organizations
- Create awareness and visibility in particular towards the transport research Community but also the authorities, Industrial and SMEs, Associations in

Transport, Publishing Companies, the various European Technology Platforms, and pursue strong media coverage

- Engage international stakeholders in mutual learning and sharing experiences
- Implement the TOPOS forum and observatory tools to contribute to create a solid knowledge base on the implementation of Open Science approach in transport research.

Partners

The BE OPEN consortium, 17 partners and 8 third parties, comprises leading transport research institutions and research networks at pan-European level, covering all transport modes and entities with high level expertise in Open Science practice that are at the forefront of relevant developments in Europe.

Further information

More detailed information is available on the BE OPEN project website at <https://beopen-project.eu/>.

Ochrana konektivity krajiny Karpat v projektech TRANSGREEN a SaveGREEN

Ivo Dostál, Marek, Havlíček, Ketino Popiashvili

Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.

Líšeňská 33a, 636 00 Brno

e-mail: ivo.dostal@cdv.cz

Abstrakt (v českém jazyce)

Příspěvek prezentuje dva projekty z výzvy Interreg Danube, které se zaměřují na zachování průchodnosti významných ekologických koridorů v karpatské oblasti. Ta je doposud relativně málo fragmentovaným regionem, což umožňuje existenci populací mnoha druhů, vč. velkých šelem, a tedy představují obrovský hotspot biologické rozmanitosti v Evropě disponující mimořádnými přírodními poklady. Zároveň však socio-ekonomický rozvoj států střední a východní Evropy není myslitelný bez budování nové liniové dopravní infrastruktury. V již ukončeném projektu TRANSGREEN se mezinárodní tým řešitelů zaměřil na metodiku řešení konfliktů mezi zelenou a dopravní infrastrukturou, zatímco v návazném projektu SaveGREEN jde komplexněji o zachování strukturální i funkční ekologické konektivity v Karpatech, zejména s ohledem na kritická místa, kde je tato ohrožena. V obou projektech je kladen důraz na multisektorovou spolupráci při řešení konfliktů zahrnující jak experty z oblasti dopravy i ekologie, tak i územního plánování, příp. lesnictví, zemědělství apod.

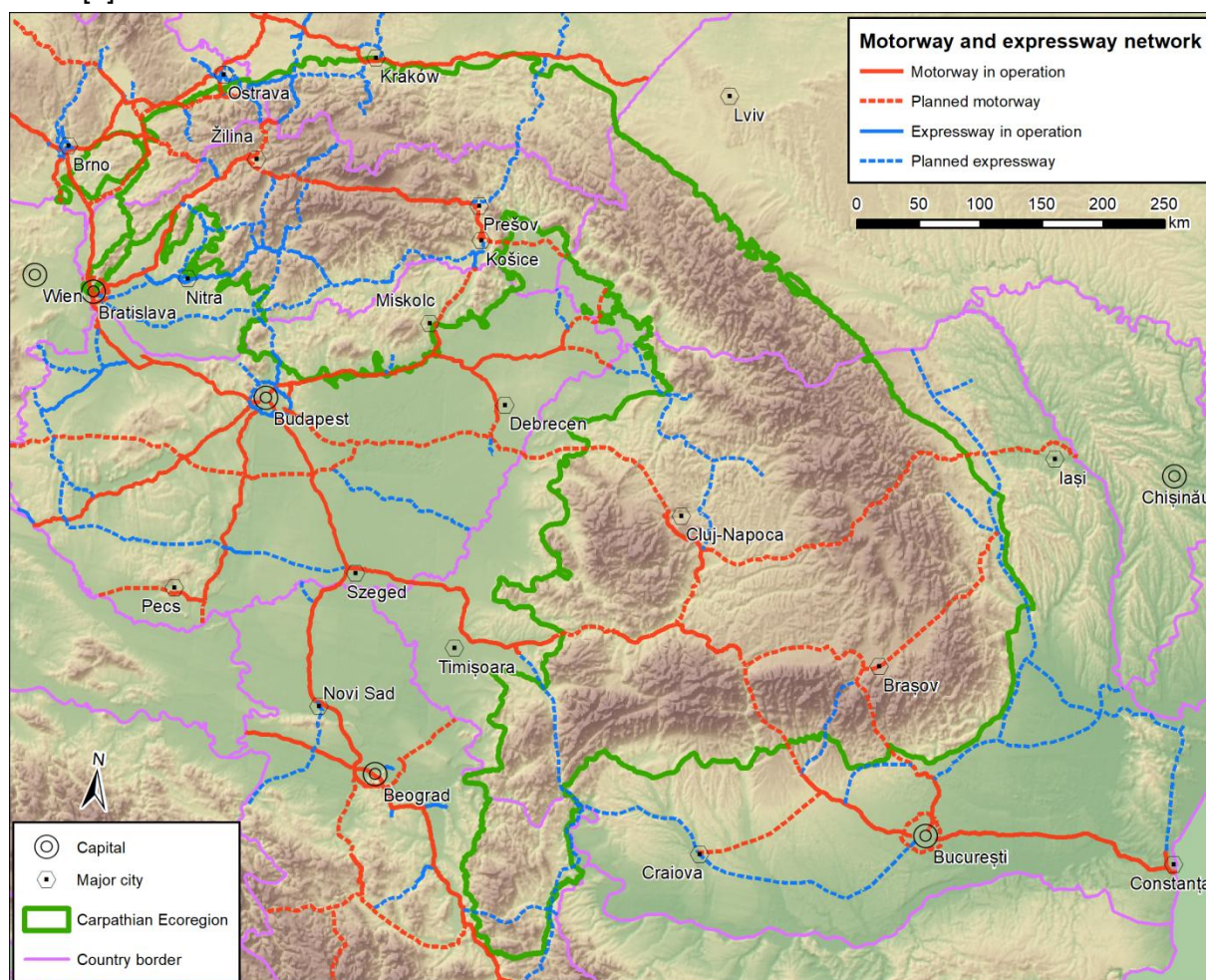
1. Úvod

Karpaty představují obrovský hotspot biologické rozmanitosti v Evropě disponující mimořádnými přírodními poklady. Doposud relativně nízký stupeň fragmentace krajiny umožňuje existenci prosperujících populací volně žijících živočichů včetně velkých šelem [1]. Na straně druhé, socio-ekonomické změny v zemích bývalého východního bloku přinesly po roce 1989 proces mohutného ekonomického rozvoje, který je však podmíněn intenzivním úsilím o vybudování a propojení dopravní infrastruktury, včetně mezinárodních dopravních koridorů spojujících klíčové oblasti střední a východní Evropy se zbytkem kontinentu, neboť existující dopravní infrastruktura nebyla připravená absorbovat tak významné změny a růst poptávky po dopravě. Doprovodnými negativními jevy procesu výstavby dopravní infrastruktury jsou významné zásahy do krajiny a především fragmentace stanovišť a narušení cenných ekosystémů v chráněných přírodních oblastech karpatských hor, včetně lokalit sítě Natura 2000. Je přitom na odpovědnosti jednotlivých zemí udržovat populace vzácných druhů živočichů v příznivém stavu a zároveň umožnit jejich šíření, šíření a migraci do oblastí s uspokojivými podmínkami stanovišť a do okolních zemí. Zároveň také ale potřebují zajistit růst životní úrovně obyvatelstva a pokračování a udržitelnost ekonomického rozvoje, aby nedocházelo k vylidňování rurálních oblastí anebo dokonce masové migraci do západoevropských zemí.

Proces plánování a výstavby dopravní infrastruktury v karpatských zemích tedy není zdaleka ukončený (viz obr. 1), proto je třeba pro udržitelný rozvoj dopravy z pohledu ochrany biologické rozmanitosti vhodné brát v úvahu, a široce prosazovat, zásady mezinárodní organizace Infra-Eco Network Europe (IENE), zejména tři následující [2]:

- „Udržitelné strategické plánování“ v rámci přípravy významných projektů dopravní infrastruktury založené na následující hierarchii řešení případných konfliktů s ochranou přírody pomocí priorit: Předcházení – Zmírňování – Kompenzace.
- „Jedinečnost každého případu“ spočívající v tom, že se ke každému problému přistupuje jako k unikátnímu a vždy se řádně posoudí použití dostupných řešení.
- „Multidisciplinární spolupráce“ mezi odborníky různých specializací, jako jsou techničtí projektanti, územní plánovači a ekologové.

Obr. 1. Existující a plánovaná páteřní dopravní infrastruktura v karpatských zemích v roce 2019 [3]



Thematic data: Transgreen project and CCIBIS; Background: European Environmental Agency

Nutnost přeshraniční spolupráce na řešení těchto náročných výzev a výměny zahraničních zkušeností dala vzniknout hned několika projektům v rámci programu evropské nadnárodní spolupráce Interreg Danube financovaného z Evropského fondu pro regionální rozvoj (ERDF). Centrum dopravního výzkumu, v. v. i. se stalo projektovým partnerem ve dvou z nich.

2. Projekt TRANSGREEN

Základní misí projektu TRANSGREEN, řešeného mezi lednem 2017 a červnem 2019, bylo přispět k vytváření ekologicky šetrné a bezpečné dopravní sítě v České republice, Maďarsku, Rumunsku, na Slovensku a na Ukrajině demonstrací

multisektorové spolupráce při plánování rozvoje dopravní infrastruktury, kde klíčová odvětví a zájmové skupiny spolupracují: sektor dopravy zastoupený dálničními společnostmi a ministerstvy dopravy; obor životního prostředí zastoupené orgány a nevládními organizacemi; a odvětví vědy a výzkumu zastoupené institucemi, jako jsou dopravní výzkumná centra a technické univerzity. A to vše za použití výše zmíněné zásady hierarchie zmírňování konfliktů, tedy předcházení - zmírňování – kompenzace, aby se hrozbám a tlakům na přírodu ze strany lineární dopravní infrastruktury zabránilo nebo se alespoň tyto hrozby snížily.

TRANSGREEN poskytl rozsáhlou znalostní základnu, včetně nových údajů z terénního monitoringu se zaměřením na čtyři pilotní oblasti (Beskydy-Kysuce na pomezí ČR a SR; Miskolc - Košice – Uzgorod mezi SR, Maďarskem a Ukrajinou; a dvě rumunské, konkrétně Arad (Radna) – Deva a Tîrgu Mureş – Iaş i) v těchto pilotních oblastech byly identifikovány ekologické koridory, monitorován výskyt volně žijících živočichů, shromážděny údaje o intenzitách dopravy a analyzovány stávající průchody na již existující dopravní infrastruktuře. Nově vytvořená databáze sloužila jako základ pro návrh konkrétních opatření k minimalizaci konfliktů mezi plánováním dopravní infrastruktury a cíli zelené infrastruktury (Natura 2000, migrační koridory pro volně žijící živočichy, oblasti nezasažené dopravou atd.)

Na lokální úrovni projektoví partneři za účasti místních stakeholderů vytvořili katalogy opatření pro čtyři pilotní oblasti. Na vnitrostátní úrovni se na ministerské úrovni konala multisektorová setkání na různá témata, např. v Rumunsku byla tato setkání uspořádána za cílem vypracovat přízpůsobení Metodiky pro volně žijící živočichy a dopravu místním rumunským podmínkám. Na nadnárodní úrovni přinesl projekt významný příspěvek k procesu rozvoje formou Společného strategického akčního plánu Karpatské úmluvy týkajícího se dopravního protokolu, který bude přijat na 6. konferenci smluvních stran plánované na sklonku letošního roku.

Na evropské úrovni TRANSGREEN spolupracoval s evropskou Strategii pro prioritní oblasti Podunají (EUSDR) PA1b Road & Rail a PA6 Biodiversity, které vydaly konkrétní doporučení k revizi akčního plánu EUSDR. TRANSGREEN byl zařazen jako případová studie osvědčených postupů do publikace "Guidance on EU-level Green and Blue Infrastructure Projects" [4] a nominován mezi finalisty prestižního ocenění 2020 European Natura 2000 Award. K projektu byli přizváni také experti zastupující IENE a svými znalostmi a zkušenostmi významně přispěli k zvýšení kvality výstupů projektu.

Z praktického pohledu lze považovat za hlavní výsledek spolupráce sadu nástrojů pro plánování dopravní infrastruktury šetrné k přírodě (viz obr. 2), která se skládá z několika dílčích součástí:

- pokyny "Wildlife and Traffic in the Carpathians" o integrovaném plánování lineární dopravní infrastruktury, které jak na projektanty, realizátory a politiky [3];
- školicí balíček pro kvalitní začlenění problematiky průchodnosti dopravní infrastruktury do procesů EIA;
- Zpráva o stavu a identifikace nedostatků na poli rozvoje environmentálně šetrné dopravní infrastruktury;
- aplikaci pro praktický monitoring zvěře sražené na dopravní infrastruktuře;

Projekt byl zakončen závěrečnou mezinárodní konferencí „Pathways to Greener Transport Infrastructure“ pořádané v červnu 2019 v Bukurešti pod záštitou rumunského předsednictví Evropské unie. Z ní vznikla deklarace adresovaná EU, EUSDR a institucím zodpovědným za rozhodování na národní úrovni.

Obr. 2. Sada nástrojů pro plánování dopravní infrastruktury šetrné k přírodě zpracovaná v rámci projektu TRANSGREEN [5]

	<p>Wildlife and Traffic in the Carpathians. Guidelines How to Minimise the Impact of Transport Infrastructure Development on Nature in the Carpathians. The State Nature Conservancy of the Slovak Republic. English, Czech & Ukrainian versions available.</p>		<p>Ghid privind integrarea măsurilor de conservare a biodiversității în planificarea, pregătirea, evaluarea, implementarea și monitorizarea proiectelor de transport rutier și feroviar. WWF-Romania. Romanian adaption of the above Guidelines.</p>
	<p>Preparation of an Environmental Impact Assessment Report for Road Construction: Methodology Manual. WWF-Ukraine. Ukrainian adaptation of the above Training Package.</p>		<p>State of the Art Report and Gap Analysis in the Field of Environmentally-friendly Transport Infrastructure Development. WWF-Romania. English version.</p>
	<p>Keeping Nature Connected - Environmental Impact Assessment (EIA) for Integrated Infrastructure Planning - Training Package. Milvus Association & EPC. English and Romanian versions</p>		<p>TRANSGREEN Policy Recommendations on Integrated Road and Rail Transportation in the Carpathians. The State Nature Conservancy of the Slovak Republic & WWF-CEE. English version.</p>
	<p>Tool for Registering Animal-Vehicle Collisions. Transport Research Centre, CZ. English version.</p>		<p>ROAD.kill website and application. https://road-kill-registration.green-web.eu CDV & GreenWeb. English and Romanian versions</p>

3. Projekt SaveGREEN

Zatímco projekt TRANSGREEN se zaměřil čistě na konflikty mezi dopravní infrastrukturou a ochranou přírody, tak nově zahájený (od července 2020) projekt SaveGREEN by rád během 2,5letého trvání přispěl k strukturální i funkční ekologické konektivitě v Karpatech, zejména s ohledem na kritická místa, kde je tato ohrožena. A to nejen v důsledku výstavby dopravní infrastruktury, ale také formou využívání území a zemědělského hospodaření v okolí těchto kritických míst. Projektu se účastní celkem 13 partnerů z 6 zemí (Rakousko, ČR, Slovensko, Maďarsko, Rumunsko a Bulharsko) a dalších 20 asociovaných partnerů reprezentujících mj. i 4 další země. Projekt je koordinován rakouskou neziskovou organizací WWF Central and Eastern Europe.

Zachování ekologické konektivity je hlavním úkolem na poli ochrany biodiverzity. Klíčovými aspekty přitom jsou:

- pohyb volně žijících živočichů (pro páření, hledání potravy, možnost úkrytu);
- odolnost a stabilita ekosystémů související s přirozenými změnami i se změnou klimatu;
- poskytování ekosystémových služeb, na kterých jsme všichni závislí.

Strategií projektu je posílení multisektorové spolupráce jak mezinárodní, tak na místní úrovni, zaměřené na zlepšení, obnovu a zachování funkcionality významných ekologických koridorů v dunajském regionu. Cílové skupiny, na které se chce SaveGREEN zaměřit, zahrnují státní správu na všech úrovních od místní přes regionální až po národní; sektorové agentury; poskytovatele veřejných služeb a provozovatele veřejných infrastruktur; zájmové skupiny vč. nestátních neziskových organizací a v neposlední řadě i veřejnost obecně.

V rámci EU by měl projekt naplňovat cíle hned několika významných strategických dokumentů, mezi něž lze zmínit:

- Nová strategie EU 2030 pro oblast biologické rozmanitosti;
- Zelená dohoda EU;
- Společná zemědělská politika EU;
- Strategie EU pro Podunají;
- Sdělení EU o zelené infrastruktuře;
- Transevropská dopravní síť TEN-T;
- Úmluva o biologické rozmanitosti;
- Karpatská konvence a její protokoly.

Na regionální úrovni bude práce probíhat v 7 modelových oblastech (viz obr 3), z nichž každá by měla představovat poněkud jiný charakter krajiny a stejně tak se zaměřit na jiný aspekt problému zachování krajinné konektivity.

Obr. 3. Modelové oblasti v projektu SaveGREEN



Austria	Hungary/Slovakia
1 Kobernausser forest	5 Ipoly – SW Slovakia (Lucenec)
2 Pöttsching (Alpine-Carpathian Corridor)	Romania
Bulgaria	6 Mures valley (Arad-Deva)
3 Struma valley	Ukraine
Czech Rep./Slovakia	7 Zakarpatska region
4 Beskydy mountains	

Očekávané výstupy:

- Standardizovaná metodika pro sledování strukturální a funkční konektivity včetně aplikačního panelu nástrojů pro terénní práce a analýzu
- Lokální multisektorální operační plány pro každou pilotní oblast včetně přípravných akcí k jejich realizaci
- Mezinárodní workshopy na místě k vývoji řešení a výměnných zkušeností v pilotních oblastech
- Program budování kapacit pro orgány & vzdělávací akce pro veřejné orgány a klíčové aktéry v oblasti analýzy nákladů a přínosů, SEA, EIA atd.
- Společné politické prohlášení o zachování a obnově zelené infrastruktury se zaměřením na územní plánování
- Doporučení k začlenění zmírňujících opatření do vnitrostátních a unijních politických procesů (opatření pro financování GI)
- Mezinárodní konference v koordinaci s konferencí IENE 2022

Závěr

Představené mezinárodní projekty si kladou za cíl zlepšení procesů plánování a výstavby liniové dopravní infrastruktury a v rámci územního plánování tak, aby byla více zohledňována otázka zachování průchodnosti významných ekologických koridorů v karpatské oblasti. Ta je doposud relativně málo fragmentovaným regionem, což umožňuje existenci populací mnoha druhů, vč. velkých šelem. Avšak, budeme-li brát otázku postupné fragmentace krajiny na lehkou váhu je možné, že až si její dopady plně uvědomíme, bude již velmi pozdě, neboť jde až na výjimky o proces ireverzibilní.

Literatura

- [1] CHAPRON, G., KACZENSKY, P., LINNELL, J.D.C. et al. (2014). Recovery of large carnivores in Europe's modern human-dominated landscapes. *Science*, 346, 1517-1520. doi: 10.1126/science.1257553.
- [2] GEORGIADIS L., ADELSKÖLD T., AUTRET Y., BEKKER H., BÖTTCHER M., HAHN E., ROSELL C., SANGWINE T., SEILER, A., SJÖLUND A. (2018). *Joining Ecology and Transportation for 20 years. History review of Infra Eco Network Europe*. Linköping (Sweden): IENE. 72 s.
- [3] HLAVÁČ, V., ANDĚL, P., MATOUŠOVÁ, J. et al. (2019). Wildlife and Traffic in the Carpathians. Guidelines how to minimize the impact of transport infrastructure development on nature in the Carpathian countries. Danube Transnational Programme TRANSGREEN project, Part of Output 3.2. Banská Bystrica: The State Nature Conservancy of the Slovak Republic, 225 pp. ISBN 978-80-8184-068-5.
- [4] Guidance on a strategic framework for further supporting the deployment of EU-level green and blue infrastructure. SWD(2019) 193 final. Brussels: EC, 102 pp.
- [5] MURARIU, C., MEYER, H. (2019). TRANSGREEN - A Lookback on the Project. [Wien;Bucuresti]: WWF CEE, 32 pp.

Poděkování

Tato práce vznikla jako součást řešení projektu SaveGREEN (Interreg Danube programme; no. DTP3-314-2.3) financovaného z Evropského fondu pro regionální rozvoj (ERDF) s využitím výzkumné infrastruktury pořízené z Operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace (CZ.1.05/2.1.00/03.0064).

Protection of the landscape connectivity of the Carpathians in the TRANSGREEN and SaveGREEN projects

Ivo Dostál, Marek, Havlíček, Ketino Popiashvili

Transport Research Centre

Líšeňská 33a, 636 00 Brno

e-mail:ivo.dostal@.cz

Abstract

The paper presents two projects from the Interreg Danube call, which aim to preserve the important ecological corridors in the Carpathian region, which is still a relatively unfragmented region, allowing for the existence of populations of many species, including large carnivores, and thus constitutes a huge biodiversity hotspot in Europe with extraordinary natural treasures. At the same time, however, the socio-economic development of the central and eastern European countries is not conceivable without the construction of a new linear transport infrastructure. In the already completed TRANSGREEN project, the international team focused on the methodology of harmonization conflicts between green and transport infrastructure, while in the follow-up SaveGREEN project it is more comprehensive to maintain structural and functional ecological connectivity in the Carpathians, especially with regard to the critical places where this is threatened. In both projects, emphasis is placed on multisectoral cooperation in conflict resolution involving both transport and ecology experts, as well as spatial planning, forestry or agriculture.

Doprava a tepelný ostrov města

Jaroslav Rožnovský

Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno

Kroftova 43

jaroslav.roznovsky@chmi.cz

Abstrakt

Pojem tepelný ostrov města je dnes součástí mezo až mikroklimatologických studií. Mnohé studie dokládají, že se ve městech projevuje změna radiační bilance výskytem vyšší teploty vzduchu, která je extrémních hodnotách pro obyvatele nepříznivá. Počet obyvatel ve městech stále více narůstá a města jsou v současné době významným prvkem krajiny. Dochází ke změně původního povrchu z krajiny přírodní na městské prostředí, kde je významně potlačena zeleň a povrch tvoří stavební materiály. Na rozsahu těchto ploch se podílí i doprava. Velký vliv na změnu radiační bilance ve městě mají parkovací plochy, jednak svým povrchem, ale také zaparkovanými auty. V jasných dnech dosahují povrchové teploty povrchu plošných parkovišť přes 60 °C, zaparkovaná auta černé barvy i přes 70 °C. Řešení dopravy včetně parkování by mělo respektovat i tento vliv na klima města.

Úvod

Využití vědeckých poznatků pro rozvoj společnosti a zvýšení životní úrovně s sebou přináší nejen tato pozitiva, ale i negativní dopady na přírodu, krajinu, ale i společnost. Již v předcházejících stoletích nastal rozvoj měst, kdy z venkova míří stále více lidí. Tento trend neustále sílí. Účelem tohoto článku však není rozbor těchto důvodů, ale cílem je popsat přírodě cizí městské prostředí, ve které se vyskytuje tzv. tepelného ostrova měst (dále jen TOM), ke kterému přispívá přímo i nepřímo doprava.

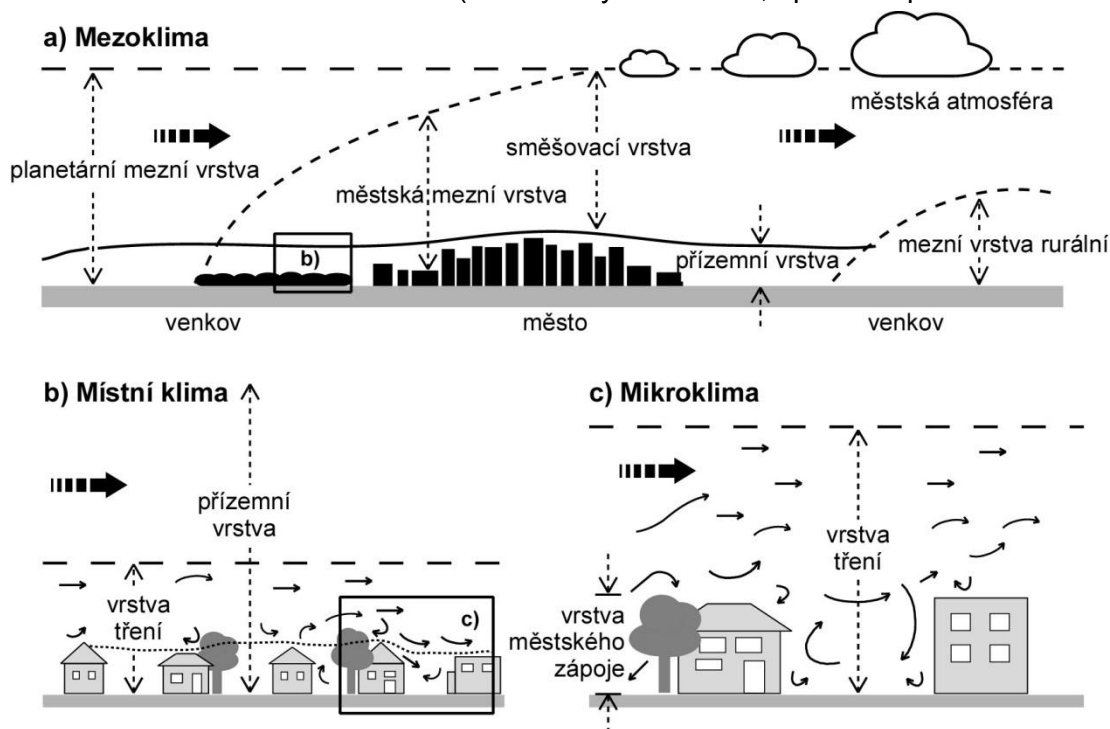
Již ve starověku se prostředí ve městech, zvláště znečištění vzduchu, lišilo od volné krajiny. Totéž bylo i v období středověku, kdy působila značné problémy obyvatelům měst především snížená kvalita ovzduší. Například již v roce 1273 bylo v Londýně zakázáno spalovat uhlí. Extrémní koncentrace znečišťujících látek v Londýně v roce 1952 byly příčinou značného počtu úmrtí a tyto události vyústily v legislativní zásahy, které značně omezily koncentrace znečišťujících látek ve vzduchu [3].

V podstatě od 19. století jsou doklady o TOM. V tomto směru je známá monografie A. Kratzera „Das stadtklima“, ve které je podrobný souhrn dosud publikované literatury věnované klimatu měst [7]. S rostoucí plochou měst se problém TOM stává stále závažnější, takže nacházím mnoho studií z různých částí Země, např. [5], [6], [16], [17] a další.

Do studií TOM zavedl mobilní měření dr. E. Quitt, který použil měřících jízdy tramvají resp. automobilem k detailnímu popisu diferenciaci pole teploty vzduchu v Brně [13]. Za jednu z prvotních klimatologických studií o klimatu měst na území Československa můžeme považovat publikaci o klimatu Bratislavy [12].

V podstatě metody měření na klimatologických stanicích nedovolují měření ve městech, proto jsou nutná specifická meteorologická měření. Pro městská měření uvádí doporučení pro budování sítí měřících bodů [11] Na obr. 1 jsou vyjádřeny podmínky městského klimatu a jejich vymezení. Jde o prostředí, z hlediska kategorií klimatu hodnoceného jako mikroklima a mezoklima.

Obr 1: Měřítka městského klimatu (Dobrovolný et al. 2013, upraveno podle Oke 1997).



Plošné vyjádření tepelného pole je možné díky rozvoji družicového snímání a družicové meteorologie a klimatologie. Dalším přínosným prostředkem pro lepší poznání specifických rysů časové i prostorové diferenciacie městského klimatu jsou numerické modely, včetně modelování na úrovni mikro-měřítka.

V současné době je statisticky prokazatelné oteplování tedy růst teploty vzduchu i na území ČR [15], včetně výskytu tzv. horkých vln. Podle zpráv IPCC existující projekce klimatu dokládají, že frekvence a intenzita horkých vln měla pravděpodobně dále vzrůstat. Dopady těchto horkých vln na zdraví obyvatel mohou být zvláště závažné v podmínkách městského klimatu. Odchylka mezi centrem Brna (Mendlovo nám.) a jeho okolím (letiště Tuřany) u minimálních teplot během vegetačního období v roce 2005 činila 0,9 °C, u průměrných teplot 1,3 °C, u maximálních teplot 2,5 °C [9].

Z pohledu synoptických situací bylo posuzováno klima Prahy [1]. Jak dokládají výsledky různých autorů, městské klima ovlivňuje i srážkové poměry [2], ale také zdravotní podmínky pro obyvatele [10].

Velký počet obyvatel ve městě vyžaduje zajištění jejich dopravy, ale také dalších životních potřeb. Jsou známé studie o vlivu dopravy na kvalitu ovzduší měst, méně již jsou uváděny dopady na významný fenomén měst, a to je zvyšování teploty v městském prostředí. Je prokazatelné, že na teplotní poměry města má vliv doprava. V posledních desetiletích jsou zvláště velká města doslova zahlcena osobními auty, které jsou ale často nepostradatelnou potřebou pro mnoho občanů v jejich zaměstnání. Radiační bilanci města významně ovlivňují mimo střech asfaltové a betonové plochy, tedy vozovky a parkoviště.

Z hlediska plošného vyjádření rozložení hodnot meteorologických prvků jsou velmi vhodné metody dálkového průzkum, např. infračervené letecké snímky, znázorňující povrchovou teplotu jednotlivých objektů.

2. Metodika

Uváděné výsledky vycházejí z několika zdrojů. Údaje o teplotě vzduchu měřených na dvou klimatologických stanicích v síti meteorologických stanic Českého hydrometeorologického ústavu, a to v Brně-Tuřanech a Brně-Žabovřeskách. Výchozí databázi ke zpracování byly jejich desetiminutové záznamy. Dále byly využity měření teploty vzduchu na účelových stanicích na území města Brna a Hradce Králové. K vyjádření plošného rozložení teploty povrchu byla provedena termovizní snímání jednotlivých částí povrchů ve městech. Využito bylo i termovizního leteckého snímání území města Hradce Králové. Dílčím doplňkem bylo měření teploty vzduchu uvnitř zaparkovaných aut. Naměřená data byla zpracována běžnými statistickými metodami včetně analýzy regresních vztahů.

Výsledky

Odchyłka mezi centrem Brna (Mendlovo nám.) a jeho okolím (letišťe Tuřany) u minimálních teplot během vegetačního období v roce 2005 činila 0,9 °C, u průměrných teplot 1,3 °C, u maximálních teplot 2,5 °C [9].

Z hodnocení teploty vzduchu mezi stanicemi na území Brna a jeho okolí vyplývá vliv lokálních podmínek v tvorbě a modifikaci klimatu. Nejvyšší teplota vzduchu je podle očekávání zaznamenávána v centrální části Brna.

Při některých synoptických situacích jsou vlivy města a morfologie terénu shodné a způsobují výskyt extrémů. Je tomu tak například v situacích, kdy při slunečném počasí se městské povrchy výrazně ohřívají, a pokud se jedná o polohu na jižním svahu, jako v případě stanice Brno-Žabovřesky, je ohřívání ještě intenzivnější. Dalším faktorem, který způsobuje dodatečný efekt, je zhoršené provětrávání v kotlině. Nejvyšší denní maximum teploty za období 1988 až 2017 bylo na všech stanicích zaznamenáno dne 3. 8. 2013, kdy v Brně-Žabovřeskách bylo naměřeno 38,5 °C.

Vliv zástavby se projevuje také ve zvýšeném počtu tropických a letních dnů. Tropických je v Brně-Žabovřeskách průměrně 23 za rok, zatímco v Brně-Tuřanech a Troubsku je to 15 a 16. Počet letních dní činí v Brně-Žabovřeskách průměrně 73 za rok, zatímco v Brně-Tuřanech a Troubsku je to 58 a 62. Situace je opačná v případě mrazových a ledových dní, kterých je v Brně-Žabovřeskách nejméně. Arktické dny se ve zkoumané oblasti vyskytují zřídka. Na stanicích Brno-Žabovřesky a Troubsko bylo zaznamenáno pouze po 1 takovém dni během 30 let, zatímco na stanici Brno-Tuřany jich bylo 8, z čehož 4 se vyskytly v prosinci a 4 v lednu.

Rozdíly teplotních charakteristik mezi stanicí Brno-Žabovřesky a dvěma dalšími stanicemi se projevují během celého roku, i když v některých měsících existují výjimky. V případě průměrné teploty se stanice Brno-Žabovřesky nejvíce odlišuje v červnu, kdy je o 0,6 °C teplejší než Brno-Tuřany a o 1,0 °C než Troubsko. V případě maximální teploty vzduchu největší rozdíl mezi stanicí Brno-Žabovřesky a Brno-Tuřany je v květnu a mezi stanicí Brno-Žabovřesky a Troubsko v červnu.

Již několikrát bylo uvedeno, že výskyt TOM působí umělé aktivní povrchy ve městech, včetně vozovek a parkovišť. Z radiačních vlastností je pro utváření městského klimatu důležité albedo a emisivita povrchů. Albedo je pro zastavěné oblasti v průměru o 10–15 % nižší než albedo přirozených povrchů (Landsberg, 1981). To značí, že větší část dopadajícího slunečního záření je umělými povrchy ve městě absorbována. Tato energie je následně vyzařována, takže dochází k vyššímu množství energie pohlcené v atmosféře skleníkovými plyny. Hodnoty albeda [%] pro vybrané druhy povrchů uvádí Tab. 1, ve které jsou také shrnuty hodnoty emisivity.

Emisivita, tedy koeficient vyzařování vyjadřuje schopnost povrchu vyzařovat dlouhovlnné záření a je důležitou vlastností pro odhad tzv. povrchové teploty z termálních snímků. Převažujícím povrchem silnic a parkovišť je tzv. asfaltový beton. Jde o upravený asfalt, který je jednou z živic, které se vyskytují v přírodě buď společně s jinými, nebo samostatně v různém geologickém prostředí, hlavně v sedimentech formací, které jsou známy jako naftonosné. Získává se také z ropy jako zbytek po vakuové destilaci. Je to ta nejhustší složka ropy s nejvyšším bodem varu, taje při 70 až 100 °C.

Podle našich měření mají v době maximálních denních teplot vzduchu kolem 30 až 35 °C travnaté povrchy teplotu podobnou či o 2 až 3 °C vyšší. Na parkovištích jejich nezastíněné povrchy, podobně jako u vozovek, dosahují maxima až k 70 °C.

Tab. 1 Porovnání typických hodnot albeda (α) a emisivity (ϵ) pro vybrané typické druhy urbánních a přirozených povrchů, upraveno podle Bretz et al. 1998 a Oke 1987 (Dobrovolný et al., 2012)

Materiál	α	ϵ
Asfalt	0,05 – 0,20	0,95
Beton	0,3	0,71 – 0,94
Červená cihla	0,3	0,90
Bílá omítka	0,93	0,91
Tráva (dlouhá ~ krátká)	0,16 – 0,26	0,90 – 0,95
Půda (vlhká ~ suchá)	0,05 – 0,40	0,98 – 0,90
Listnatý les	0,15 – 0,25	
Jehličnatý les	0,10 – 0,15	

U aktivních povrchů v silně urbanizovaných územích, včetně dopravních cest mají další doprovodný vliv na radiační bilanci. Jsou až na výjimky pevné a nepropustné pro srážkové vody, které tak nezasakují a naopak velmi rychle odtékají, takže není využita energie povrchů pro výpar, který působí ochlazování povrchů, protože je oslaben latentní tok. Tím je více tepelné energie předáváno do podloží, ale také do atmosféry.

Z hlediska geometrických vlastností budov je pro formování městského klimatu podstatné především zvýšení celkové plochy aktivních povrchů, na kterých dochází ke složitým procesům transformace energie v důsledku opakovaného odrazu záření. V důsledku geometrie budov a jejich uspořádání, přímé sluneční záření do určitých prostor během dne nedopadá. Naopak v noci může být v důsledku zastínění oblohy výrazně omezen proces dlouhovlnného vyzařování z těchto lokalit. Výsledkem může být méně intenzivní pokles teploty vzduchu v nočních hodinách a výskyt vyšších minimálních teplot v hustě zastavěných centrech měst oproti oblastem nezastavěným. Uvedené procesy mohou mít velmi negativní dopady na obyvatelstvo například v době výskytu horkých vln, kdy extrémně vysoké teploty vzduchu neklesají ve městech ani během nočních hodin [14].

Závěr

V době, kdy se tolik diskutuje o dopadech rostoucích koncentrací skleníkových plynů a následné změně klimatu, je potřebné věnovat zvýšenou pozornost klimatu měst. Jak dokládají i naše poznatky, ve městech dochází k ovlivnění radiační a energetické bilance, a tím k nárůstu teploty vzduchu.

Z analýz teploty vzduchu měřené na územích měst Brno a Hradec Králové byly získány výsledky, které odpovídají poznatkům jiných autorů, tedy, že zastavěné části měst mají obecně vyšší teploty z různých pohledů hodnocení. Naopak plochy zeleně,

hlavně souvislé porosty, jsou chladnější, ale s vyššími hodnotami relativní vlhkosti vzduchu.

Další poznatek, který jsme zjistili, dokládá, že tepelný ostrov města, většinou autory uváděný v největším rozsahu pro centrální husté zástavby, není kompaktní. V částech, kde jsou uzavřené plochy mezi vysokými budovami, stín těchto budov sehrává určitou „ochlazující“ funkci. Na výskytu tepelného ostrova se významně podílí průmyslové zóny sousedící s městy a nákupní střediska s mnoha hektarovými parkovišti, často bez zeleně. Na těchto plochách jsou v době výskytu letních teplotních maxim měřeny povrchové teploty až k 70 °C. Obdobné teploty mají karoserie, zvláště aut tmavé barvy.

Je nutné zdůraznit, že z části lze vysoké teploty snižovat rozšiřováním ploch zeleně, tedy stromořadími kolem vozovek a výsadbou stromů se širokými korunami na parkovištích. Jistě, že z pohledu teploty vzduchu jsou optimem podzemní parkoviště nebo alespoň parkovací domy.

Literatura

- [1] Beranová, R., Huth, R. (2003): Pražský tepelný ostrov za různých synoptických podmínek. Meteorologické zprávy, č. 5, s. 137 - 142
- [2] BRÁZDIL, R., 1979, Statistické hodnocení srážkových poměrů města Brna. Scripta Facultatis Scientiarum Naturalium Universitatis Purkynianae Brunensis, Geographia, 9 (2), s. 75-100.
- [3] DOBROVOLNÝ, P. et al., 2012: Klima Brna: Víceúrovňová analýza městského klimatu. 1. vyd. Masarykova univerzita, Brno 200 s.
- [4] DOBROVOLNÝ, P., KRAHULA, L., 2012: Vliv geometrie zástavby na pole teploty vzduchu a intenzitu tepelného ostrova města na příkladu Brna, Meteorologické Zprávy, 65, 2, s. 51-57.
- [5] HINKEL, K. M. et al. (2003): The urban heat island in winter at Barow, Alaska. Int. Journal of Climatology, 23, s. 1889-1905
- [6] KOPEC, R. J. (1970): Further observations of the urban heat island in a small city. Bulletin American meteorological Society, Vol. 51, No. 7, s. 602-606
- [7] KRATZER, A. (1937): Das Stadtklima. Friedrich Wieweg und Sohn, Braunschweig, 184 s.
- [8] LIPINA, P., ŽIDEK, D., 2014: Návod pro pozorovatele meteorologických stanic. Metodický předpis ČHMÚ č. 13. 2. vyd. ČHMÚ, Praha, 98 s.
- [9] LITSCHMANN, T., ROŽNOVSKÝ, J., 2005: Příspěvek ke studiu městského klimatu v Brně. In: 13th International Poster Day Transport of Water, Chemicals and Energy in the System Soil-Crop Canopy-Atmosphere. Bratislava, 10. 11. 2005, p. 331–342, ISBN 80-85754-13-4
- [10] LITSCHMANN, T., ROŽNOVSKÝ, J., 2009. The incidence of heat index levels in urban areas of Brno. In: Sustainable development and bioclimate: Reviewed Conference Proceedings, Eds. Pribullová and Bičarová. Geophysical Institute of the Slovak Academy of Science and Slovak Bioclimatological Society of the Slovak Academy of Science, Stará Lesná, pp. 205–206. ISBN 978-80900450-1-9.
- [11] OKE, T. R. (2006): Towards better scientific communication in urban climate. Theoretical and Applied Climatology, 84, č. 1-3, s. 179-190.
- [12] PETROVIČ, Š., 1979: Klíma a bioklíma Bratislavy. VEDA, Bratislava, 272 s.
- [13] Quitt., E. (1972): Měřící jízdy jako jedna z cest k racionalizaci mezoklimatického výzkumu. Meteorologické zprávy, č. 6, s. 172-176

- [14] ROŽNOVSKÝ, J., STŘEDOVÁ H. a T. STŘEDA. Meteorologické extrém, zdroj bezpečnostního rizika. In: Týden vědy a inovací pro praxi a životní prostředí: Odpadové fórum & Aprochem & Průmyslová ekologie, 6.-8. března 2018, Hustopeče. [CD]. Praha: České ekologické manažerské centrum, 2018. ISBN 978-80-85990-12-6.
- [15] STŘEŠTÍK, J., J. ROŽNOVSKÝ, P. ŠTĚPÁNEK A P. ZAHRADNÍČEK. Změna klimatologických podmínek ve vybraných regionech ČR v období 1961–2017. In: ROŽNOVSKÝ, J. a T. LITSCHMANN (eds). *Sborník abstraktů z mezinárodní konference „Hospodaření s vodou v krajině“, Třeboň 13.–14. 6. 2019.* Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2019, s. 29. ISBN 978-80-87577-88-2.
- [16] VOOGT, J.A. (2002): Urban heat island. In.: Encyclopedia of global environmental change, s. 660-666, ISBN 0-471-97796-9
- [17] Zahradníček, P., P. Štěpánek, J. Meitner, J. Rožnovský a P. Skalák. Projekce klimatické změny ve městě Brně. In: ROŽNOVSKÝ, J. a T. LITSCHMANN (eds). *Sborník abstraktů z mezinárodní konference „Hospodaření s vodou v krajině“, Třeboň 13.–14. 6. 2019.* Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2019, s. 42. ISBN 978-80-87577-88-2.

Poděkování

Tato práce vznikla jako součást řešení projektu „Stanovení metod hodnocení městského klimatu, zvláště tepelného ostrova, určení postupů a návrh opatření pro omezení negativních dopadů meteorologických extrémů na obyvatele a životní prostředí, zejména ve velkých městských aglomeracích, č. VH20202021052“, financovaného Ministerstvem vnitra ČR.

Transportation and Urban Heat Island

Jaroslav Rožnovský

*Czech Hydrometeorological Institute,
Kroftova 43, Brno 616 67, Czech Republic
e-mail: jaroslav.roznovsky@chmi.cz*

Abstract

The term urban heat island has become part of meso- and microclimatological studies. Many studies prove that different radiation balance in urban areas leads to not just higher air temperatures, but such extremes are also undesirable for the local urban population. Number of people living in urban areas constantly increases and cities are now a significant landscape element. The original landscape surfaces are being transformed into urban artificial ones, with significantly reduced green areas. These artificial surfaces are partly also related to transportation. Significant effect on radiation balance in cities play parking lots, consisting of their actual surface as well as the parked vehicles. On sunny days surface temperatures of parking lots can reach over 60 °C, in case of dark-colored parked cars over 70 °C. Planning of the transportation system including the position of parking lots should also take into account this effect on urban climate.

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

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

Editoři: Vilma Jandová, Roman Ličbinský

Počet stran: 116

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

ISBN 978-80-88074-78-6

