

X. česko-slovenská konference

Doprava, zdraví a životní prostředí

Sborník příspěvků



17.–18. října 2022 | Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., Brno

Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.
Vysoké učení technické v Brně – Fakulta strojního inženýrství
České vysoké učení technické – 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

X. česko-slovenská konference

Doprava, zdraví a životní prostředí

17.–18. října 2022 | Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., Brno

Vědecký výbor:

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

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

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

Mgr. Vojtěch Stráník (Ministerstvo životního prostředí ČR)

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

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

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

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

Doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D. (Vysoké učení technické v Brně)

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

Organizační výbor CDV:

Ing. Vilma Jandová, Mgr. Ivo Dostál, Ing. Vítězslav Křivánek, Ph.D., Bc. Hana Estefányi,
Mgr. Radek Dočkal

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

Editoři: Ing Vilma Jandová, Mgr Roman Ličbinský

Citace:

JANDOVÁ, V., LIČBINSKÝ, R., X. česko-slovenská konference „Doprava, zdraví a životní prostředí“. Brno, 17. – 18. 10. 2022. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2022, 157 s. ISBN 978-80-88074-95-3

© Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2022

ISBN 978-80-88074-95-3

Obsah sborníku:

JANDAČKA, D., DRLIČIAK, M., ĎURČANSKÁ, D. Vplyv rekonštrukcie mestskej križovatky na zmenu znečistenia ovzdušia okolitého prostredia	7
HELLEBRANDOVÁ, L. Projekt nadlimitního čištění komunikací v Ostravě	17
HELÁN, T., VÍT, R., JANDOVÁ, V. Monitoring ovzduší při pálení zahradního odpadu v otevřených ohništích	23
VOJTÍŠEK, M. Vliv stylu jízdy na emise nanočástic z automobilových diskových brzd	33
POUL, A., ŠPIČKA, L. Komparace emisí hybridního vozidla v reálném provozu při nastavení udržování různých hladin nabití baterie	40
CHALOUPECKÝ, P., NOVÁK, Z. Nízkonákladové senzory pro měření kvality ovzduší	49
MIKEŠ, O., DEGRENDELE, C. Multisenzorová kampaň v Brně: Projekt ICARUS	51
CIGÁNKOVÁ, H., MIKUŠKA, P. HEGROVÁ, H. Biodostupnost prvků a oxidativní potenciál městského aerosolu	55
VÍT, R., LIČBINSKÝ, R., BUCKOVÁ, M., EFFENBERGER, K., SVOBODA, J. Monitoring ovzduší v Jihomoravském kraji a na Vysočině	60
LIČBINSKÝ, R., HUZLÍK, J., SKEŘIL, R., JANDOVÁ, V. Vliv dopravy na kvalitu ovzduší v Brně	75
JEDLIČKA J. Krajský akční plán pro oblast ochrany ovzduší v Moravskoslezském kraji	85
PELIKÁN, L., MÁCA, V., DAVID, P., ANDRLÍK, B., ŠCAŠNÝ, M. Možnosti využití ekonomických nástrojů pro snižování emisí v silniční dopravě	90
KŘIVÁNEK, V., POTUŽNÍKOVÁ, D., HABLOVIČOVÁ, B., MARKOVÁ, P., MACHANEC, J. Peněžní ocenění nákladů běžné a nízkohlučné obrusné vrstvy a dopadů na zdraví	100
BRET, O., KŘEČKOVÁ, M. Výsledky dlouhodobého sledování tramvajových srdcovek z pohledu hluku a ojetí	108
MERTL, J. Indikátory zranitelnosti dopravy změnou klimatu	118
ROŽNOVSKÝ, J. Parkoviště a tepelný ostrov města	126
DOSTÁL, I., HAVLÍČEK M., JEDLIČKA, J. Krajina moravsko-slovenského pomezí a konektivita pro volně žijící živočichy v projektu SaveGREEN	132
HAVLÍČEK, M., DOSTÁL, I., SVOBODA, J. Význam říčních přívozů v dopravě v minulosti a současnosti	146

Vplyv rekonštrukcie mestskej križovatky na zmenu znečistenia ovzdušia okolitého prostredia

Dušan Jandačka, Marek Drličiak a Daniela Ďurčanská

Katedra cestného a environmentálneho inžinierstva, Stavebná fakulta, Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovensko

e-mail: dusan.jandacka@uniza.sk, marek.drliciak@uniza.sk,
daniela.durcanska@uniza.sk

Abstrakt

Cestná doprava sa v posledných desaťročiach stala významným faktorom, ktorý pozitívne alebo negatívne ovplyvňuje životné prostredie človeka. Dopravné siete poskytujú prístup ku kľúčovým verejným službám a prispievajú k zlepšovaniu kvality života. Znečistenie ovzdušia emisiami je však vážnym problémom, najmä pre ich významný vplyv na ľudské zdravie, najmä vo veľkých mestách s vysokou hustotou cestnej premávky. Oxidy dusíka a jemné častice sú dve najdôležitejšie znečisťujúce látky, ktoré cestná doprava produkuje do ovzdušia. Koncentrácie látok znečisťujúcich ovzdušie sú primárne ovplyvnené zdrojom znečistenia - cestnou dopravou. Na druhej strane koncentrácie znečisťujúcich látok ovplyvňujú sekundárne faktory, akými sú meteorologické parametre a usporiadanie cestnej infraštruktúry. V tejto štúdii sa zaoberáme analýzou vplyvu usporiadania križovatiek na zmenu koncentrácií PM₁₀, PM_{2,5} a NO_x v životnom prostredí. Pre trojramennú križovátku a okružnú križovátku boli vykonané in-situ merania a modelovanie rozptylu znečistenia ovzdušia. Zmeny charakteristík dopravného prúdu v dôsledku odlišnej geometrie križovatky boli modelované v PTV Vissim. Disperzné modelovanie týchto polutantov bolo vykonané v prostredí programu CadnaA. In-situ merania odhalili nižšie koncentrácie PM (30 % zníženie koncentrácie PM₁₀ a 23 % PM_{2,5} v priemere) a vyššie koncentrácie NO_x (148 % zvýšenie koncentrácie NO_x v priemere) na kruhovom objazde oproti trojramennej križovatke.

Kľúčové slová: tuhé častice, oxidy dusíka, kruhový objazd, trojramenná križovátka, intenzita dopravy, modelovanie znečistenia ovzdušia

1. Úvod

Rozptyl škodlivín v atmosfére je náročný proces, ktorý nie je podriadený len miere šírenia rôznych zdrojov, ktoré toto znečistenie produkujú. Pre množstvo látok, ktoré sa dostávajú do ovzdušia, je samozrejme rozhodujúci zdroj rôznych škodlivín. Pri šírení produkovaných emisií pôsobia aj ďalšie fyzikálne faktory, ktoré podmieňujú rozptyl škodlivín do okolitého prostredia. Sú to najmä meteorologické parametre, stabilita atmosféry a členitosť okolitého terénu [1-2]. Šíreniu znečistenia v okolí ciest sa venovalo viacero štúdií, ktoré do určitej miery potvrdili rôzne úrovne koncentrácie znečistenia vzhľadom na vzdialenosť monitorovacieho miesta od predpokladaného zdroja [3-4]. Vo všeobecnosti sa potvrdzuje, že čím väčšia vzdialenosť od cesty = nižšie koncentrácie škodlivín. Nemenej významný charakter má aj vrstvenie znečistenia vo vertikálnom smere, ktoré sa s vyššou vzdialenosťou od terénu znižuje [5-8]. Cestná doprava je jedným z hlavných zdrojov pevných častíc, ktoré produkujú častice nielen v mestskom, ale aj vidieckom prostredí [9-11].

Koncentrácie škodlivín v ovzduší môže ovplyvniť aj tvar a konštrukcia cesty alebo križovatky (chodník, sklon cesty, geometrický tvar križovatky, svetelne riadená

križovatka, ...) [12-16]. Križovatky sú kritickými prvkami cestnej siete z hľadiska vplyvu na kvalitu ovzdušia a ich typ riadenia a geometrická konfigurácia môžu významne ovplyvniť emisie z vozidiel. Vozidlá na križovatkách zvyčajne spomaľujú a často zastavujú, čím prerušujú plynulosť premávky. Hlavným cieľom jednej štúdie bolo porovnať environmentálne vlastnosti kruhových objazdov a svetelne riadených križovatiek. Porovnanie križovatiek bolo vykonané pomocou mikrosimulačného modelu [17]. Tento príspevok pojednáva o skutočnom znečistení ovzdušia v blízkosti dvoch typov križovatiek (trojramenná križovatka – T_2016 a kruhový objazd – R_2017) a zaoberá sa zmenou koncentrácií znečisťujúcich látok (PM_{10} , $PM_{2,5}$ a NO_x). Zmena koncentrácií znečisťujúcich látok v okolí križovatiek bola analyzovaná aj pomocou modelovania v programe CadnaA. Charakteristiky dopravného prúdu boli analyzované v programe PTV Vissim.

2. Metodika meraní a analýz

Cestná doprava produkuje rôzne škodliviny, ktorých koncentrácie sú najvyššie v okolí ciest alebo križovatiek. V súčasnosti sa najčastejšie spomínajú pevné častice dvoch frakcií PM_{10} a $PM_{2,5}$. Táto štúdia je zameraná na produkciu škodlivín (PM_{10} , $PM_{2,5}$, NO_x) z cestnej dopravy na rôznych typoch križovatiek.

2.1. Riešené územie

Prvé meranie bolo realizované na T_2016 v období od 27. júna do 3. júla 2016 (ul. Pri Celulóžke) pred rekonštrukciou (Obr. 1). V tomto období bola plánovaná rekonštrukcia tejto križovatky z trojramennej križovatky po okružnú križovatkou. Existujúci pôvodná križovatka T_2016 sa nachádzal v mieste, kde sa križuje priemyselná a rekreačná zóna mesta Žilina so zastavaným územím podnikov a zariadení rekreácie a služieb. Nachádza sa v blízkosti štátnej cesty I/18 na trase Žilina-Martin-Košice.

Obr. 1. Pôvodná tojramenná križovatka T_2016 na ul. Pri Celulóžke v meste Žilina s umiestnenou monitorovacou stanicou kvality ovzdušia



Stavebno-technický stav križovatky sa zároveň negatívne prejavil pri využívaní tohto dopravného uzla verejnou aj ťažkou automobilovou dopravou (v prípade odklonu dopravy zo štátnej cesty I/18 na trase Žilina-Martin) ako napojenie mesta na hlavnú cestnú sieť. V riešenej lokalite existujúcej pôvodnej križovatky boli plochy zaparkovaných áut, kde dochádzalo k nekontrolovanému výjazdu týchto áut do cestnej premávky. Z týchto nespevnených plôch dochádzalo k znečisťovaniu ciest a následne k resuspendovaniu cestného prachu do ovzdušia.

Druhé meranie bolo realizované na R_2017 v období od 26. júna do 02. júla 2017 po rekonštrukcii (Obr. 2). Účelom rekonštrukcie bolo vybudovať okružnú križovatkou s priemerom 36 metrov v optimálnom mieste z hľadiska plynulej a bezpečnej dopravy, ako aj z hľadiska vplyvu výstavby a prevádzky na obyvateľstvo a prírodné prostredie. Hlavným zámerom rekonštrukcie existujúcej križovatky bolo

vybudovať kvalitnú a kapacitne výhodnú križovatku ako dopravný uzol pre vozidlá, ale aj pre chodcov a cyklistov s napojením na existujúcu zástavbu firiem, zariadení a tiež s napojením na obytné oblasti a rekreačné zóny.

Navrhovaná okružná križovatka pozostáva z jedného jazdného pruhu o šírke 6,0 metrov. Šírkaprstenca stredového ostrovčeka je 3,0 metra pre prejazd ťažkých

Obr. 2. Nová okružná križovatkaR_2017 na ul. Pri Celulóžke v meste Žilina s umiestnenou monitorovacou stanicou kvality ovzdušia



a nadrozmerných vozidiel. Šírky vjazdových a výjazdových komunikácií jednotlivých vetiev z okružnej križovatky sú minimálne 3,0 m, prípadne minimálne 5,50 m medzi okrajmi. Oblúky na vjazdoch do križovatky sú v rozmedzí 8 až 15 metrov a na výjazdoch v rozmedzí 8 až 14 metrov v závislosti od dôležitosti smeru dopravy. Pre prechod chodcov a cyklistov cez hlavné vetvy križovatky boli vybudované dopravné ostrovčeky s potrebnou šírkou v mieste prejazdu. Okrem toho je predpoklad zmeny produkcie škodlivín cestnou dopravou, keďže sa zmenil proces prejazdu vozidiel cez križovatku, rýchlosti vozidiel a povrchy chodníkov. Toto je

predmetom popísaných meraní, konkrétne zmeny koncentrácií škodlivín pre rôzne typy križovatiek.

2.2. Meranie a modelovanie

Na zvolenej meracej stanici boli merané škodliviny z cestnej dopravy, a to oxidy dusíka a tuhé znečisťujúce látky. Boli merané škodliviny NO_x , PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ a boli použité nasledovné metódy merania:

- - NO_x - Štandardná chemiluminiscenčná metóda merania koncentrácie oxidu dusičitého a oxidu dusnatého. Environment S.A Použil sa analyzátor oxidov dusíka AC32M.
- - PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ - Optická metóda. Na simultánne meranie bol použitý aerosólový spektrometer jemného prachu Fidas® 200 od firmy Palas®.

Merané boli meteorologické parametre (teplota - TEMP, vlhkosť - HUMI, rýchlosť vetra - WV a smer - WD, tlak - PRES) a intenzita dopravy (Traff). Z meteorologických parametrov má na koncentrácie častíc najvýznamnejší vplyv rýchlosť vetra a atmosférické zrážky. Rýchlosť vetra sa v roku 2017 v porovnaní s rokom 2016 výrazne nezmenila a zrážky neboli pozorované počas oboch období merania.

Modelovanie dopravy prebehlo v programe PTV-Vissim a modelovanie rozptylu znečisťujúcich látok v okolí križovatiek v programe CadnaA. Mikroskopické modely dopravného toku simulujú cestu jednotlivo pre všetky definované jednotky (auto-vodič, cyklista apod.). Dynamické premenné modelov sú najmä poloha a rýchlosť jednotlivých vozidiel. Dopravné zaťaženie je dané spravidla hodinovými intenzitami so skladbou dopravného prúdu podľa výsledkov dopravného prieskumu pre každý dopravný prúd.

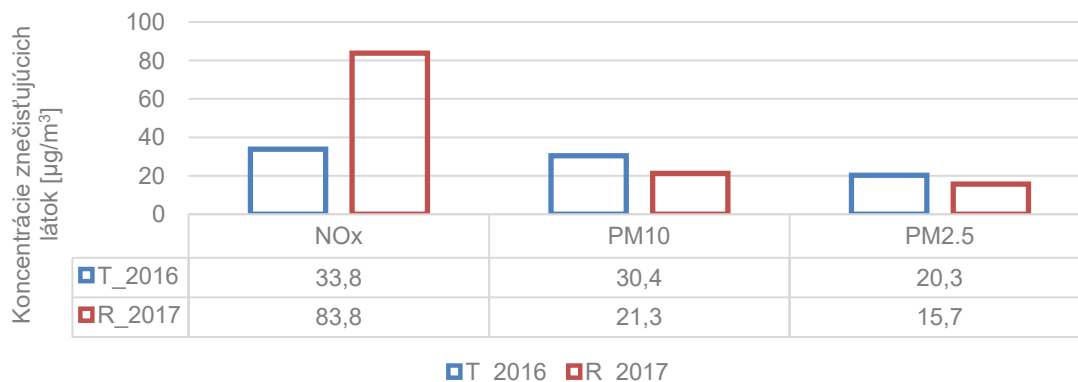
Na modelovanie znečisťujúcich látok z cestnej dopravy v okolí navrhovaných križovatiek bol použitý program CadnaA. CadnaA je softvérový program na výpočet a hodnotenie hluku a znečistenie ovzdušia. Možnosť CadnaA-APL (Air Pollution) rozširuje rozsah použitia CadnaA o výpočet, hodnotenie a vyjadrenie vplyvu látok znečisťujúcich ovzdušie. Voľba umožňuje výpočty podľa požiadaviek európskych smerníc 1999/30/ES a 2000/69/EG. Pozadie CadnaA-APL je postavené na modeli Austal2000 vyvinutom Nemeckou národnou agentúrou pre ochranu životného prostredia.

Boli modelované dva scenáre reálneho vonkajšieho prostredia v okolí križovatiek v intraviláne mesta Žilina: a) trojramenná križovatka, pred rekonštrukciou (T_2016); b) kruhový objezd, po rekonštrukcii (R_2017). Modely zachytávajú zmenu koncentrácií znečisťujúcich látok vo vonkajšom prostredí v okolí rôznych typov križovatiek. Modelované sú ročné priemery znečisťujúcich látok.

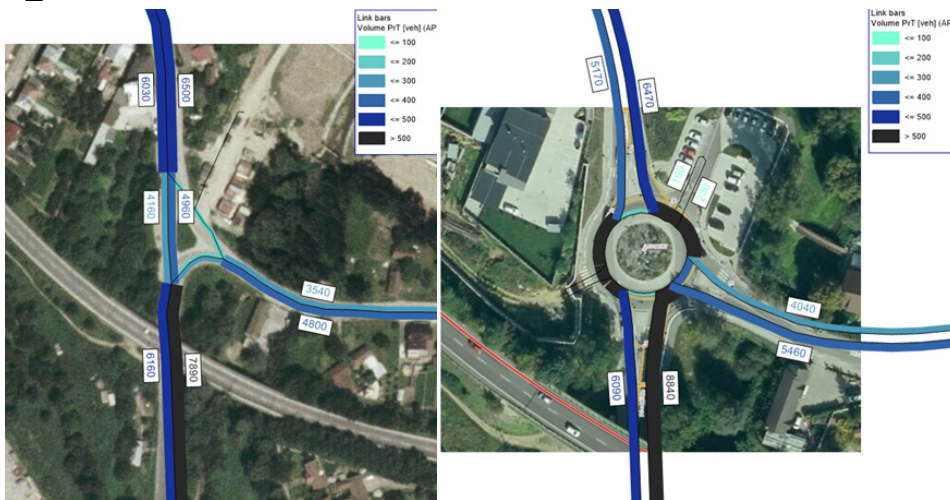
3. Výsledky

V cestnej doprave vznikajú rôzne znečisťujúce látky, najmä tuhé častice a oxidy dusíka. Pozorované priemerné 24-hodinové koncentrácie oxidov dusíka boli na R_2017 vyššie ako na T_2016. Na R_2017 sa priemerné koncentrácie NO_x počas celého obdobia merania zvýšili o 148 % v porovnaní s T_2016 (Obr. 3). Na druhej strane bol pozorovaný pokles koncentrácií tuhých častíc na R_2017 v porovnaní s T_2016 (Obr. 3). Priemerný pokles koncentrácií tuhých častíc počas celého obdobia merania na R_2017 bol 30 % pre PM₁₀ a 23 % pre PM_{2,5}.

Obr. 3 Koncentrácie znečisťujúcich látok namerané pri T_2016 a R_2017 na ul. Pri Celulóžke v meste Žilina

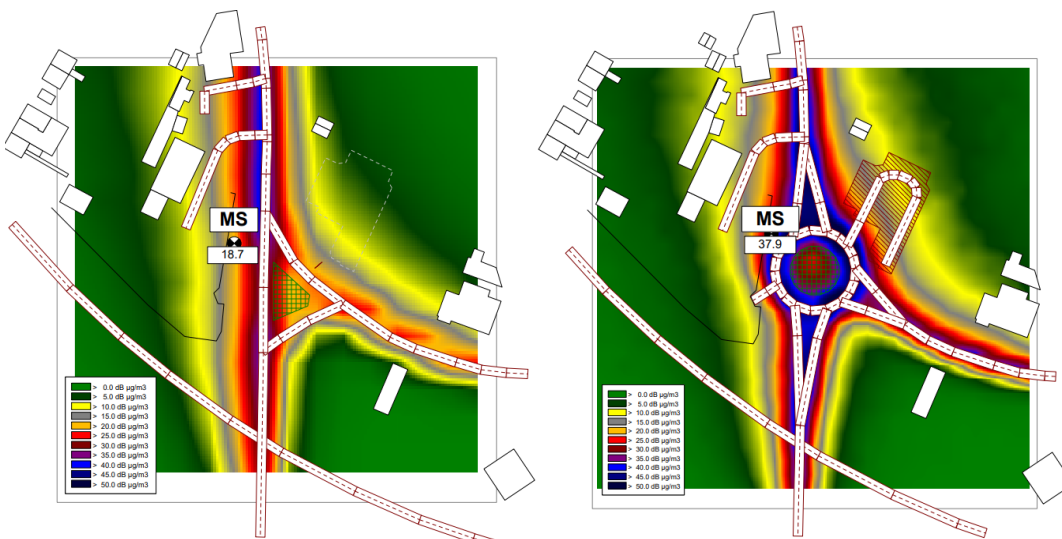


Obr. 4 Mikroskopický model dopravy spracovaný v programe PTV VissimpreT_2016 a R_2017 na ul. Pri Celulóžke v meste Žilina



Výsledky merania boli ďalej konfrontované s údajmi z modelov. Mikroskopický model dopravy bol spracovaný v programe PTV Vissim v dvoch scenároch, a to pred a po rekonštrukcii križovatky (Obr. 4). Cieľom modelu bolo sledovať zmeny v trajektórii vozidiel. Výsledky poukazujú na 15 – 30% navýšenie cestovného času cez R_2017 oproti T_2016. Dôvodom je predĺženie času prejazdu po okruhu križovatky.

Obr. 5 Model rozptylu NO_x spracovaný v programe CadnaA pre T_2016 a R_2017 na ul. Pri Celulóžke v meste Žilina



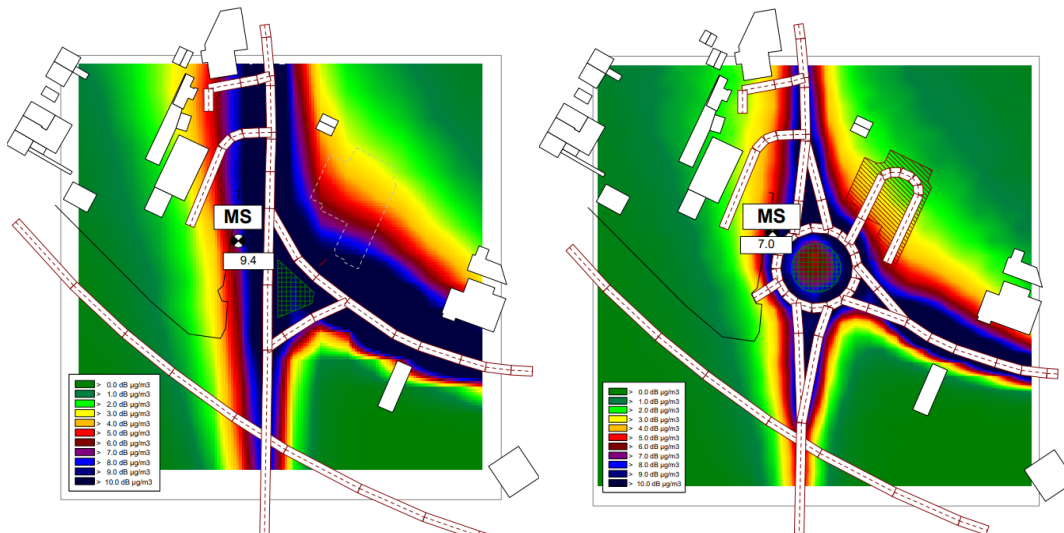
Z uskutočneného modelu v programe CadnaA možno pozorovať navýšenie koncentrácií NO_x v okolí R_2017 o 103 % oproti R_2016 (Obr. 5).

Čo sa týka intenzity dopravy, bol pozorovaný nárast, ktorý by mohol prispieť k vyšším koncentráciám oxidov dusíka. Obdobia merania v rokoch 2016 a 2017 z hľadiska meteorologických parametrov vykazovali minimálne zmeny. Príčina takejto výraznej zmeny koncentrácií oxidov dusíka spočíva predovšetkým v zmene tvaru riešenej križovatky. Na pôvodnom T_2016 pred rekonštrukciou boli rýchlosti vozidiel vyššie ako na R_2017 na hlavnom ťahu Vlčince - Košická. Vozidlá v tomto smere nespomalili a prešli T_2016 maximálnou dovolenou rýchlosťou. Rozptyl emisií oxidov dusíka bol intenzívnejší a nehromadili sa v priestore križovatky. Taktiež pri prejazde

križovatkou nebolo potrebné spomaľovať a zrýchľovať, čo vedie k vyššiemu zaťaženiu motora a vyššej produkcii emisií.

Na R_2017 musia vozidlá pred kruhovým objazdom spomaľiť a uprednostniť vozidlá na kruhovom objazde. Rýchlosť vozidiel je zároveň oveľa nižšia. Náročnejším chodom motora pri spomaľovaní a zrýchľovaní dochádza vo väčšej miere k produkcii emisií oxidov dusíka. Okrem toho nižšie rýchlosti tiež spôsobujú, že emisie oxidov dusíka zostávajú dlhšie v okolí križovatky.

Obr. 6 Model rozptylu PM₁₀ spracovaný v programe CadnaA pre T_2016 a R_2017 na ul. Pri Celulóžke v meste Žilina



Z uskutočneného modelu v programe CadnaA možno pozorovať pokles koncentrácií PM₁₀ v okolí R_2017 o 26 % oproti R_2016 (Obr. 6).

Na T_2016 bol prejazd vozidiel v hlavnom smere rýchlejší (vyššia rýchlosť vozidla), takže častice boli intenzívnejšie resuspendované z povrchu vozovky do ovzdušia. Zároveň bolo v okolí pôvodnej križovatky veľa nespevnených plôch. Z týchto nespevnených plôch bol povrch vozovky viac znečistený. Na R_2017 boli nižšie rýchlosti prechádzajúcich vozidiel, čo spôsobilo, že resuspencia pevných častíc z povrchu vozovky nebola taká aktívna. Zároveň boli vybudované spevnené plochy okolo križovatky (chodníky, parkovacie plochy).

4. Závery

Zmeny v koncentráciách znečisťujúcich látok môžu byť ovplyvnené rôznymi environmentálnymi faktormi. Na jednej strane môžu byť primárne zdroje znečisťujúcich látok, akými sú cestná doprava, priemysel, poľnohospodárstvo, lokálne vykurovanie a pod., a na druhej strane sekundárne faktory ako meteorologické parametre, tvar a členitosť reliéfu krajiny, rôzne umelé bariéry v krajine – budovy, protihlukové steny a pod. V tomto príspevku sme sa zaoberali možnou zmenou koncentrácií znečisťujúcich látok PM₁₀, PM_{2,5} a NO_x z cestnej dopravy z hľadiska rôznych typov križovatiek. V roku 2016 boli namerané škodliviny na pôvodnej trojramennej križovatkke – T_2016, ktorá bola následne zrekonštruovaná na nový kruhový objazd – R_2017. V roku 2017 boli vykonané merania znečisťujúcich látok na novom R_2017. Výrazná zmena nastala v tvare križovatky, úprave jej okolia, charaktere vozidla prechádzajúceho cez križovatkku (rýchlosť vozidla, manévrovanie). Objem dopravy vzrástol na R_2017 v priemere o 8,1 %

v porovnaní s T_2016 počas celého obdobia merania (7 dní). Meteorologické parametre sa výrazne nezmenili a možno ich považovať za veľmi podobné pre obe obdobia merania. Koncentrácie oxidov dusíka a tuhých častíc sa však podstatne zmenili. Bol zistený nárast koncentrácií oxidov dusíka, a to o 148 % podľa priamych meraní a 103% podľa modelovania pre NO_x na R_2017 v porovnaní s T_2016. Nárast oxidov dusíka bol spôsobený najmä zmenou tvaru križovatky a tým aj charakteru cestnej premávky. Vozidlá prechádzali cez R_2017 pri nižšej rýchlosti, zvýšené zaťaženie motora pri zrýchľovaní a spomaľovaní, čo spôsobilo vyššiu akumuláciu oxidov dusíka a tiež nižší rozptyl v blízkosti križovatky. Koncentrácie PM₁₀ klesli o 30 % podľa priamych meraní a o 26 % podľa modelovania, PM_{2,5} o 23 % podľa priamych meraní. Proces prechádzania vozidiel cez R_2017 (nižšie rýchlosti, nižšie vírenie vzduchu) spôsobil zníženie resuspendovaného cestného prachu. Z uskutočneného výskumu možno usúdiť, že úprava križovatky môže ovplyvniť koncentrácie škodlivín. V tomto prípade sa zvýšili koncentrácie oxidov dusíka a znížili sa koncentrácie tuhých znečisťujúcich látok.

Literatura

- [1] IWARI, S., et al. Variability in atmospheric particulates and meteorological effects on their mass concentrations over Delhi, India. *Atmospheric Research*. 2014, 145-146, p. 45-56 [accessed 2014-04-30]. ISSN 0169-8095.
- [2] TECER, L. H. Comparison and seasonal evaluation of the rural and urban ambient PM_{2,5} and PM₁₀ mass concentrations based on meteorological parameters. In *13th International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 2013: proceedings. Section Air Pollution and Climate Change*. Sofia, Bulgaria: STEF92 Technology Ltd., 2013. ISBN 978-619-7105-03-2, ISSN 1314-2704, p. 593-600.
- [3] Jung, K. H., Artigas, F., Shin J. Y. Seasonal gradient patterns of polycyclic aromatic hydrocarbons and PM concentrations near a highway. *Atmosphere*. 2011, 2(3), p. 533-552. ISSN 2073-4433.
- [4] Sharma, A., Massey, D. D., Taneja, A. Horizontal gradients of traffic related air pollutants near a majorhighways in Agra, India. *Indian Journal of Radio a Space Physics*. 2009, 38, p. 338-346. ISSN 0367-8393/eISSN 0367-8393.
- [5] Hitchnins, J., et al. Concentrations of submicrometre particles from vehicle near a major roads. *Atmospheric Environment*. 2000, 34(1), p. 51-59. ISSN 1352-2310.
- [6] Morawska, L., et al. A study of the horizontal and vertical profile of submicrometer particles in relation to a busy road. *Atmospheric Environment*. 1999, 33(8), p. 1261-1274. ISSN 1352-2310.
- [7] Roorda-Knape, M. C., et al. Air pollution from traffic in city districts near major motorways. *Atmospheric Environment*. 1998, 32(11), p. 1921-1930. ISSN 1352-2310.
- [8] WU, Y., et al. Vertical and horizontal profiles of airborne particulate matter near major roads in Macao. China. *Atmospheric Environment*. 2002, 36, p. 4907-4918. ISSN 1352-2310.
- [9] Jandacka, D. Contributory assessment of creation of PM₁₀ as impacted by vehicular traffic based on the presence of heavy metals. *Communications - Scientific Letters of the University of Zilina*. 2013, 15(3), p. 96-101. ISSN 1335-4205/eISSN 2585-7878.
- [10] Jandacka, D., Durcanska, D., Bujdos, M. 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*. 2017, 50, p. 397-408. ISSN 1361-9209/eISSN 1879-2340.

- [11] 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. ISSN 1352-2310.
- [12] Fullova, D., et al. Mass distribution of particulate matter produced during abrasion of asphalt mixtures in laboratory. *Communications - Scientific Letters of the University of Zilina*. 2016, 18(4), p. 37-43. ISSN 1335-4205/eISSN 2585-7878.
- [13] Durcanska, D. Analysis of particulate matter composition. *Communications - Scientific Letters of the University of Zilina*. 2010, 12(3A), p. 17-22. ISSN 1335-4205/eISSN 2585-7878.
- [14] REMISOVA, E., DECKY, M., KOVAC, M. The influence of the asphalt mixture composition on the pavement surface texture and noise emissions production. In: *14th International multidisciplinary scientific conference SGEM 2014, Geoconference on Energy and clean Technologies: proceedings. Section Air pollution and Climate change*. Albena, Bulgaria, 2014, Vol. 2, Book 4, ISBN 978-619-7105-16-2/ISSN 1314-2704, p. 583-590.
- [15] TROJANOVA, M., DECKY, M., REMISOVA, E. The implication of climatic changes to asphalt pavement design. In: *24th Russian-Polish-Slovak Seminar on Theoretical Foundation of Civil Engineering, TFOCE 2015: proceedings*. Samara, Russian Federation, 2015. Vol. 111. ISSN 1877-7058, p. 770-776.
- [16] Kocianova, A., Drliciak, M., Pitlova, E. Influence of roundabout capacity enhancement on emission production. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2017, 236, 012035. ISSN 17578981.
- [17] Gastaldi, M., et al. Evaluation of air pollution impacts of a signal control to roundabout conversion using microsimulation. *Trans. Res. Procedia*. 2014, 3, p. 1031-1040. ISSN 2352-1465.

Poděkování

Tento příspěvek vznikol za podpory grantu VEGA 1/0206/22 „Výskum vplyvu saturačných efektov dopravného prúdu na funkcie zdržania“.

Influence of the urban intersection reconstruction on the air pollution change in the environment

Dusan Jandacka, Marek Drliciak a Daniela Durcanska

Department of highway and environmental engineering, Faculty of civil engineering, University of Žilina, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovakia

e-mail:dusan.jandacka@uniza.sk, marek.drliciak@uniza.sk,
daniela.durcanska@uniza.sk

Abstract

In recent decades, road transport has become a major factor influencing the human environment, either positively or negatively. Transport networks provide access to key public services and contribute to improving the quality of life. However, air pollution by emissions is a serious problem, especially because of their significant impact on human health, especially in large cities with high road traffic density. Nitrogen dioxide and fine particulate matter are the two most important pollutants that road transport produces into the air. Concentrations of air pollutants are primarily affected by the source of pollution - road transport. On the other hand, pollutant concentrations are influenced by secondary factors such as meteorological parameters and the layout of the road infrastructure. In this study, we deal with the analysis of the impact of crossroads arrangements on the change of PM_{10} , $PM_{2.5}$, and NO_x concentrations in the environment. In-situ measurements and modelling of air pollution dispersion were performed for the three-way intersection and the roundabout. NO_x measurement was performed by the reference chemiluminescence method and PM_{10} and $PM_{2.5}$ measurement by the optical aerosol spectrometer method. Changes in the characteristics of the traffic flow due to the different geometry of the crossroads were modelled in PTV-Vissim. Dispersion modelling of these pollutants was performed in the CadnaAprogra. In-situ measurements revealed lower PM concentrations (30% reduction in PM_{10} and 23% in $PM_{2.5}$ concentration on average) and higher NO_x concentrations (148% increase in NO_x concentration on average) at the roundabout.

Keywords: particulate matter, nitrogen dioxide, roundabout, tree-arm crossroad, traffic volume, air pollution modelling

Projekt nadlimitního čištění komunikací v Ostravě

Lucie Hellebrandová
Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě
Partyzánské náměstí 2633/7, 702 00 Moravská Ostrava
e-mail:lucie.hellebrandova@zuova.cz

Abstrakt

Na základě dotace z Národního programu Životní prostředí z Ministerstva životního prostředí jsme pro Statutární město Ostrava v období 10/2020 – 10/2021 realizovali měření koncentrací suspendovaných částic PM₁₀ a PM_{2,5} v návaznosti na nadlimitní čištění na frekventované ostravské komunikaci – Sokolská třída. Toto měření probíhalo dle předem stanoveného harmonogramu, ve 14 předem vytipovaných týdnech. Ve spolupráci s firmou, která prováděla nadlimitní čištění jsme museli sesynchronizovat měření tak, aby probíhalo vždy 3 dny před čištěním, v den čištění a tři dny po čištění.

Cílem projektu bylo měření jednotlivých koncentrací suspendovaných částic PM₁₀ a PM_{2,5}, využít těchto informací ke zjištění, zda má nadlimitní čištění významný podíl na snížení koncentrací suspendovaných částic či nikoliv a určit míru významnosti nadlimitního čištění.

Výsledky měření nejsou signifikantní, a to hned z několika důvodů. Mezi nejvýznamnější důvody patří tato fakta:

- roky 2020 a 2021 patřily mezi ty s velmi dobrou kvalitou ovzduší,
- ovzduší bylo ve sledovaných týdnech velmi čisté – pohybujeme se v průměru před i po čištění u PM₁₀ asi okolo poloviny ročního zákonného limitu a u PM_{2,5} v průměru max. do 78% ročního limitu
- významnou roli zde hrály meteorologické podmínky (časté a trvalé deště, časté změny rychlosti a směru větru před a po čištění– nesourodé podmínky pro srovnání dat).

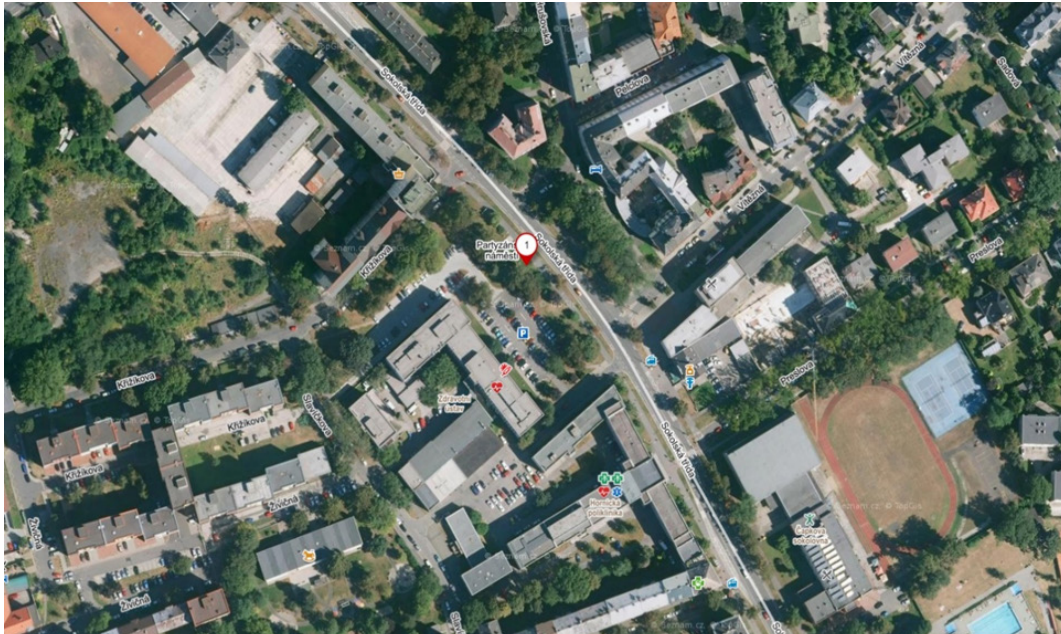
1. Úvod

V rámci Národního programu Životní prostředí z MŽP vznikla v roce 2020 možnost pro města realizovat měření kvality ovzduší se zaměřením na koncentrace suspendovaných částic velikosti PM₁₀ a PM_{2,5} v návaznosti na častější provádění čištění komunikací. Podmínky a požadavky byly stanoveny ve Výzvě č.10/2019 a jednalo se mimo jiné o tyto: vytipovat ulici, která je frekventovaná, kterou se čistí a kde firma, vlastníci čistící vůz má takový typ, který kromě částic velikosti PM₁₀ odstraňuje také suspendované částice velikosti PM_{2,5}. Tuto možnost, po velké debatě mnoha měst v Moravskoslezském kraji (Karviná, Frýdek – Místek, Havířov) využila pouze města Ostrava a Třinec, protože byly schopny doložit splnění všech výše uvedených podmínek. Třinec měření provedl v roce 2020 a byl na popud SF ŽP z projektu vyloučen. Město Ostrava zrealizovalo tento projekt pod názvem „Nadlimitní čištění na pozemních komunikacích na území města Ostravy“.

1.2. Výběr místa

Při výběru místa měření kladlo město Ostrava, kromě požadovaného, také důraz na vysoké dopravní zatížení a hustotu osídlení. Po několika konzultacích s MŽP byla odsouhlasena ulice Sokolská třída v Moravské Ostravě, která požadavky obou stran – města i projektu, splnila. Konkrétní umístění je viditelné na jednotlivých přiložených obrázcích:

Obr. 1. Mapa s umístěním místa měření:



Obr. 2: Detailní umístění měřicí techniky:



1.3. Strategie měření a harmonogram

Měření probíhalo podle předem stanoveného harmonogramu, který předpokládal 14 měřících cyklů/kampaní. Kampaň měla jasná pravidla – trvala celkem 7 dní a měření muselo probíhat vždy 3 dny před čištěním, v den čištění a 3 dny po čištění. Z tohoto důvodu bylo důležitá synchronizace měření s firmou, která prováděla nadlimitní čištění. V Ostravě to byla firma OK, a.s. Harmonogram sestavovalo město Ostrava, schvalovalo MŽP a vypadal následovně:

Tab. 1. Harmonogram měření:

Pořadové číslo měřící kampaně	Zahájení měřící kampaně	Ukončení měřící kampaně	Datum čištění ul. Sokolské	Nadlimitní čištění ANO/NE
1	19.10.2020	25.10.2020	22.10.2020	ANO
2	2.11.2020	8.11.2020	5.11.2020	ANO
3	16.11.2020	22.11.2020	19.11.2020	ANO
4	11.5.2021	17.5.2021	14.5.2021	ANO
5	25.5.2021	31.5.2021	28.5.2021	ANO
6	8.6.2021	14.6.2021	11.6.2021	ANO
7	20.6.2021	26.6.2021	23.6.2021	ANO
8	7.7.2021	13.7.2021	10.7.2021	ANO
9	20.7.2021	26.7.2021	23.7.2021	ANO
10	3.8.2021	9.8.2021	6.8.2021	ANO
11	17.8.2021	23.8.2021	20.8.2021	ANO
12	1.9.2021	7.9.2021	4.9.2021	ANO
13	21.9.2021	27.9.2021	24.9.2021	ANO
14	5.10.2021	11.10.2021	8.10.2021	ANO

Zdroj: [1]

1.4. Cíle měření

Cíle, kterých mělo měření dosáhnout byly definovány ve Výzvě [2] a jednalo se o následující:

- zjistit koncentraci suspendovaných částic PM₁₀ a PM_{2,5},
- zjistit základní meteorologické parametry (směr a rychlost větru, vlhkost, teplota),
- vyhodnotit vliv čištění na koncentrace vybraných znečišťujících látek.

Určit míru významnosti nadlimitního čištění.

2. Výsledky měření

Vyhodnocení získaných dat z měření se řídilo pokyny, které byly uvedeny v přílohách Výzvy [2]. Výsledky byly zpracovány do dvou zpráv, kde jedna z nich shrnovala veškerá data naměřená data včetně meteorologických a druhá byla zaměřena na vyhodnocení dat v kontextu nadlimitního čištění. Zprávy byly následně stran města Ostravy odevzdány na SF ŽP k posouzení.

Zjednodušeně a přehledně jsme všechny poznatky, ke kterým jsme měření dospěli shrnuli do následující tabulky [3], kde lze jednoduše vyčíst, zda nadlimitní čištění mělo či nemělo význam.

Tab. 2. Výsledky jednotlivých kampaní

Číslo kampaně	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁₀ ar.průměr za 3 dny		PM ₁₀	PM _{2,5} ar.průměr za 3 dny		PM _{2,5}
	ar.průměr za 7 dní		před čištěním	po čištění	rozdíl před a po čištění	před čištěním	po čištění	rozdíl před a po čištění
	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	
1.	28	20,4	18,2	38,7	-20,5	10,6	31,6	-21
2.	31,8	24,3	25,3	38,4	-13,1	17	31,8	-14,8
3.	22,2	17,6	24,5	20,1	4,4	19,9	15,6	4,3
4.	15,8	9,2	22,4	9,9	12,5	12,1	6,4	5,7
5.	12,9	7,4	10,7	15,7	-5	4,8	10,1	-5,3
6.	18,6	10,3	22	15,1	6,9	11,4	9,1	2,3
7.	25,9	16,5	25,7	25,6	0,1	15,5	17,2	-1,7
8.	18,3	11	18,3	21	-2,7	9,8	13,7	-3,9
9.	17,7	10,9	15,6	17,9	-2,3	8,4	12,3	-3,9
10.	7,7	4,1	7,3	8	-0,7	4,2	4,1	0,1
11.	10,2	6	8,2	11,8	-3,6	4,5	7,7	-3,2
12.	14,9	8,8	13,5	15,5	-2	8,1	8,3	-0,2
13.	16,8	11,4	13,5	22,1	-8,6	8,7	16,2	-7,5
14.	37,3	24,5	29,1	43,6	-14,5	16,7	32,7	-16
průměr	19,9	13,0	18,2	21,7	-3,5	10,9	15,5	-4,6

Zdroj [3]

3. Diskuse k výsledkům

Naměřené výsledky nejsou zdaleka takové, jakých bychom si asi přáli dosáhnout, protože nejsou signifikantní a dopadly následujícím způsobem:

- v 8 ze 14 měřících kampaní došlo ke zvýšení prašnosti po provedeném nadlimitním čištění,
- ve 3 kampaních došlo ke kýženému poklesu prašnosti vlivem čištění,
- a ve 3 kampaních byla prašnosti srovnatelná jak před, tak po čištění.

Pokud se zaměříme na konkrétní výsledky prašnosti tak zjistíme, že:

- koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ vzrostla v průměru po čištění o 3,5 µg/m³, tj. cca o 19%, rozdíl je statisticky nevýznamný (p = 0,116),
- koncentrace suspendovaných částic PM_{2,5} vzrostla v průměru po čištění o 4,6 µg/m³, tj. cca o 42%, rozdíl je statisticky nevýznamný (p = 0,056).

4. Závěr

Při hledání odpovědí na otázky k dosaženým výsledkům nás jako vysvětlení napadly tyto argumenty:

- je pravděpodobné, že bez čištění by prašnost v druhých polovinách týdne mohla být ještě vyšší než jaké bylo dosaženo
- ovzduší bylo ve sledovaných týdnech velice čisté (pohybujeme se v průměru před i po čištění u PM₁₀ asi okolo poloviny ročního zákonného limitu a u PM_{2,5} v průměru max. do 78% ročního limitu)
- výsledky byly silně ovlivněny neustálými přeháňkami a trvalejším deštěm, což mělo za následek časté vymývání ovzduší
- docházelo ke změnám rychlosti i směrů větru před a po čištění, což představuje nesourodé podmínky pro srovnání

Literatura

- [1] Příloha č. 1 Smlouvy o dílo mezi Statutárním městem Ostrava a Zdravotním ústavem se sídlem v Ostravě, 2020.
- [2] Výzva č.10/2019 MŽP, včetně přílohy č.2 a č.4.
- [3] Zpráva o vyhodnocení měření na mobilních stanicích imisního monitoringu, kolektiv autorů, 2021.

Project of increased washing of the road network in Ostrava

Lucie Hellebrandova

Public Health Institute Ostrava

Partyzánské náměstí 2633/7, 702 00 Moravská Ostrava

e-mail:lucie.hellebrandova@zuova.cz

Abstrakt

Received grant from the National Environment Programme from the Ministry of the Environment, was used to carry measurements of concentration of suspended particles PM_{10} and $PM_{2.5}$ after additional cleaning of Sokolská třída. Work was provided for the Statutory City of Ostrava. The measurement took place following a predetermined schedule, in 14 pre-selected weeks. In cooperation with the company that carried out the additional cleaning, we had to synchronize the measurement so that it always took place 3 days before cleaning, on the day of cleaning and three days after cleaning.

The aim of the project was to measure the concentrations of individual particles PM_{10} and $PM_{2.5}$, then use the gathered information to establish if more frequent cleaning has impact on their concentration and finally find out if the difference is significant.

The result of the measurement was not significant. There might be several reasons for this result. The main reason could be that the quality of air in 2020 and 2021 was very good. Both pre and post cleaning measurements were about half of the permitted limit of PM_{10} and up to 78% of the limit of $PM_{2.5}$. Meteorological conditions varied, prolonged and frequent rain, changeable wind before and after measurement meant that these variables could have affected the results of the measurements.

Monitoring ovzduší při pálení zahradního odpadu v otevřených ohništích

Tomáš Helán¹, Radek Vít², Vilma Jandová²

¹Odbor životního prostředí JmK – Oddělení technické ochrany ŽP

Žerotínovo náměstí 449/3, 60182 Brno

²Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.

Líšeňská 33a, 636 00 Brno

e-mail: HELAN.TOMAS@jmk.cz

Abstrakt

Na podzim roku 2021 bylo provedeno experimentální měření kvality ovzduší při spalování suchých rostlinných materiálů neznečištěných chemickými látkami, které je povoleno zákonem č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší [1]. Zákon umožňuje spalování suchých rostlinných materiálů neznečištěných chemickými látkami. Spalovány byly tři druhy suchých rostlinných materiálů: tráva, dřevo a směs trávy, dřeva a listí v objemovém poměru 1:1:1. Sledovanými škodlivinami byly NO, NO₂ a NO_x, CO, SO₂, aerosolové částice PM₁₀, PM_{2,5} a PM₁, PAU a PCDD/F. Nejméně sledovaných škodlivin vznikalo při spalování suchého dřeva a nejvíce škodlivin bylo vyprodukováno při spalování směsného materiálu, kdy dochází k jeho nedostatečnému hoření.

1. Úvod

Měření bylo realizováno za účelem identifikovat a kvantifikovat škodliviny vznikající při pálení rostlinných materiálů v otevřených ohništích. V současné době je pálení v otevřeném ohništi řízeno zákonem č. 201/2012 Sb. – Zákon o ochraně ovzduší [1], který povoluje spalování pouze suchých rostlinných materiálů neznečištěných chemickými látkami. Obce mohou podle znění výše uvedeného zákona vyhláškou stanovit podmínky pro spalování suchého rostlinného materiálu v otevřeném ohništi za účelem jeho odstranění nebo jeho spalování zakázat, pokud zajistí jiný způsob pro jeho odstranění podle jiného právního předpisu. Při stanovení podmínek nebo zákazu obec přihlíží zejména ke klimatickým podmínkám, úrovni znečištění ve svém územním obvodu, vegetačnímu období a hustotě zástavby.

V současné době je situace taková, že obce mají vyhlášené tzv. palicí dny, ve kterých může docházet ke spalování rostlinného odpadu, většinou vyprodukovaného na zahradách. V těchto případech může docházet k hromadnému pálení v obcích, kdy dochází k lokálnímu znečištění ovzduší, které může mít vliv na zdraví obyvatel. Z tohoto důvodu došlo k experimentálnímu měření vznikajících škodlivin, které bylo realizováno na území obce Lažánky u Veverské Bítýšky, na pozemku p. č. 237/4.

Na základě literární rešerše došlo k výběru sledovaných škodlivin, konkrétně těch, které působí negativně na své okolí zejména na zdraví člověka, jako jsou oxidy dusíku (NO, NO₂ a NO_x), oxid uhelnatý (CO), oxid siřičitý (SO₂), aerosolové částice frakcí PM₁₀, PM_{2,5} a PM₁, polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU) a další zdraví škodlivé látky (polychlorované dibenzodioxiny/furany, PCDD/F). Koncentrace plyných škodlivin byly měřeny kontinuálně a dále byly odebírány vzorkovacím zařízením aerosolové částice frakce PM₁₀, které byly následně analyzovány na přítomnost polycyklických aromatických uhlovodíků a PCDD/F. Současně s měřením škodlivin probíhalo také měření meteorologických parametrů.

Měření bylo prováděno při spalování 3 druhů suchých rostlinných materiálů, trávy (popř. směsi s obsahem trávy min. 80 % objemu), dřeva (směs listnatých a jehličnatých dřevin běžně spalovaných v otevřených ohništích) a směs trávy, dřeva a listů v objemovém poměru 1:1:1.

2. Metodika měření

Měření bylo realizováno v obci Lažánky, poblíž místního fotbalového hřiště. Umístění měřicí techniky je znázorněno na Obr.1. Měření probíhalo po dobu dvou hodin, poté došlo k zanesení filtrů v odběrových zařízeních.

Obr. 1. Umístění měřicí techniky



Zdroj: CDV

K vlastním měřením bylo využito několik typů přístrojů s ohledem na předpokládanou formu vznikajících škodlivin a možnost jejich následné identifikace.

K identifikaci plyných škodlivin byl použit kontinuálně měřicí přístroj Airpointer (RecordumMesstechnik GmbH, Rakousko) který pracuje na principu metod definovaných přílohou č. 6 k vyhlášce č. 330/2012 Sb. ve znění pozdějších předpisů [2]. 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“ [3]. Normovaná metoda stanovení oxidu dusičitého a oxidu dusnatého na principu chemiluminiscence“. Koncentrace oxidu uhelnatého (CO) referenční metodou podle české technické normy ČSN EN 14626: 2013 „Kvalita ovzduší – Normovaná metoda stanovení koncentrací oxidu uhelnatého nedisperzní infračervenou spektrometrií“ [4], koncentrace oxidu siřičitého (SO₂) referenční metodou podle české technické normy ČSN EN 14212: 2013 „Kvalita ovzduší – Normovaná metoda stanovení oxidu siřičitého ultrafialovou fluorescencí“ [5].

Přístroj Airpointer je kompaktní, integrovaný, vícesložkový měřicí systém pro měření škodlivin v ovzduší se zabudovanou jednotkou regulace teploty, nulového vzduchu a systémem pro sběr a zpracování údajů. Hlavice pro průběžné nasávání vzdušiny je ve výšce cca 1,8 m nad terénem. Tímto přístrojem byly rovněž stanoveny kontinuálně koncentrace aerosolových částic PM_{10} , $PM_{2,5}$ a PM_1 nefelometrickou metodou. Měřicí sestavu znázorňuje Obr. 1.

Za účelem stanovení obsahu benzo[a]pyrenu (BaP) a dioxinů (PCDD/F) byly s využitím stejných odběrových zařízení, odebírány vzorky PM_{10} s tím, že filtračním médiem byl filtr z křemenných vláken. Vlastní stanovení koncentrací BaP pak bylo realizováno v souladu s přílohou č. 6 k vyhlášce č. 330/2012 Sb. ve znění pozdějších předpisů referenční metodou podle české technické normy ČSN EN 15549: 2013 „Normovaná metoda stanovení benzo[a]pyrenu ve venkovním ovzduší“ na plynovém chromatografu s hmotnostní detekcí Triple Quadrupole Agilent GC/QQQ 7000C (Agilent Technologies, Inc., Německo). Podle této metodiky byly měřeny i koncentrace ostatních PAU. Stanovení dioxinů bylo provedeno semikvantitativně metodou podle US EPA TO-9A: „Stanovení polychlorovaných dibenzo-p-dioxinů a dibenzofuranů ze stacionárních zdrojů emisí metodou izotopového zředování s použitím HRGC-HRMS a výpočet parametrů TEQ z naměřených hodnot“. Vzorky v laboratoři byly do doby zpracování uchovávány v chladu a temnu při max. 4°C. Ověření správnosti metody bylo provedeno porovnáním výsledku s externí společností [6].

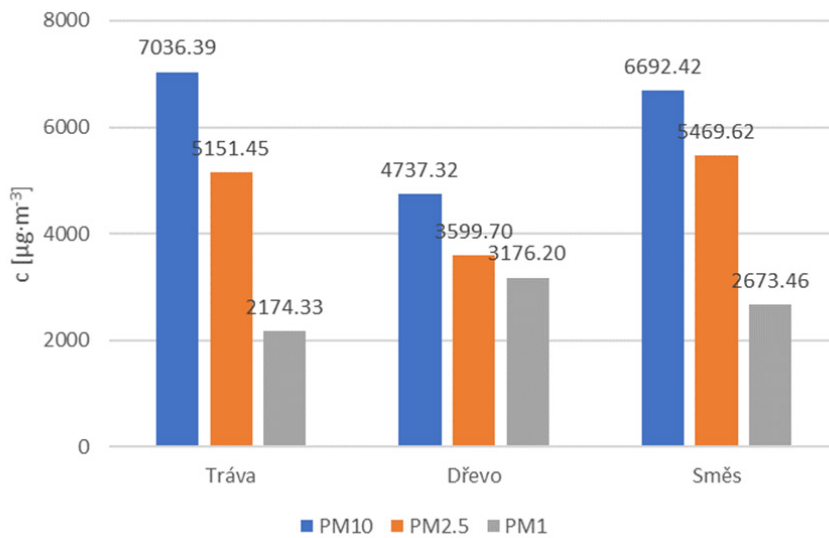
3. Výsledky experimentu

3.1. Aerosolové částice frakce PM_{10} , $PM_{2,5}$ a PM_1

Jedná se o směs částic pevného a kapalného skupenství rozptýlených v ovzduší. Zdroje částic těchto částic mohou být různé, od přírodních zdrojů po činnosti spojené s člověkem, jako jsou např. právě spalovací procesy.

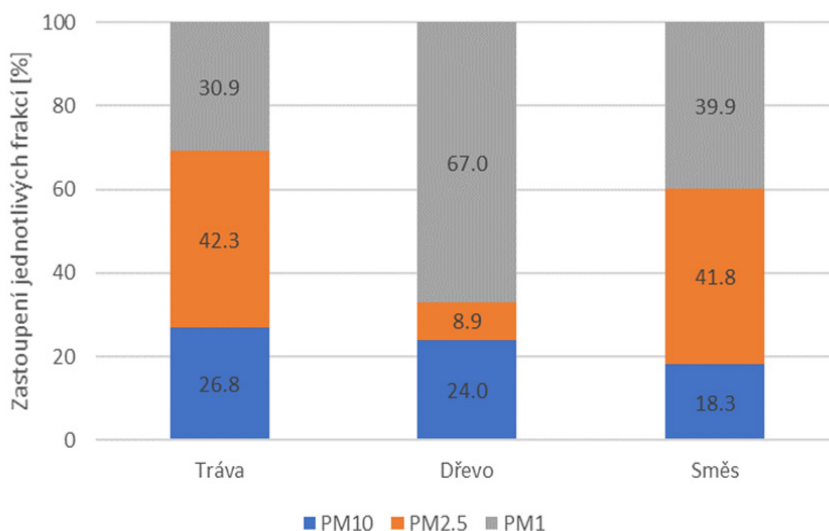
Na následujícím grafu (Obr. 2) jsou znázorněny průměrné naměřené koncentrace aerosolových částic, které se do ovzduší uvolňovaly v důsledku spalování jednotlivých materiálů. Z grafu je patrné, že nejnižší průměrné koncentrace byly uvolňovány při spalování suchého dřeva. V případě spalování suché trávy a směsi materiálů pozorujeme vyšší koncentrace. Při srovnání jednotlivých frakcí aerosolových částic sledujeme nejvyšší koncentraci frakce PM_{10} při spalování suché trávy (koncentrace v průměru nad $7000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) a směsi materiálů (rozdíl mezi suchou trávou a směsí činil přibližně $300 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Obdobný výsledek lze pozorovat také u frakce aerosolových částic $PM_{2,5}$, kde nejvyšší koncentrace byly naměřeny v případě spalování směsi (téměř $5500 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), v případě suché trávy činil rozdíl opět přibližně $300 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. U frakce PM_1 byla nejvyšší koncentrace naměřena v případě spalování suchého dřeva (přibližně $3200 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), naopak nejnižší koncentrace byla zaznamenána při spalování suché trávy (cca. $2200 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).

Obr. 2. Srovnání průměrných naměřených koncentrací PM u spalovaných materiálů



Na Obr. 3 je znázorněna distribuce jednotlivých frakcí aerosolových částic při spalování studovaných materiálů (tráva, dřevo, směs). Z grafu vidíme, že v případě materiálu suchá tráva a směs (tráva:dřevo:listí) má nejvyšší zastoupení frakce částic PM_{2,5-1}, u materiálu suché dřevo vidíme nejvyšší zastoupení u frakce PM₁. Frakce PM_{10-2,5} byla nejvíce produkována v případě suché trávy, nejméně v případě směsného materiálu. Při pohledu na graf také vidíme, že poměrově si jsou blízké hodnoty v případě suché trávy a směsného materiálu. Vysoký podíl aerosolových částic frakce PM₁ u suchého dřeva je dán vyšší teplotou spalování, kdy dochází vlivem vysokých teplot k tvorbě menších částic.

Obr. 3. Srovnání distribuce PM u spalovaných materiálů

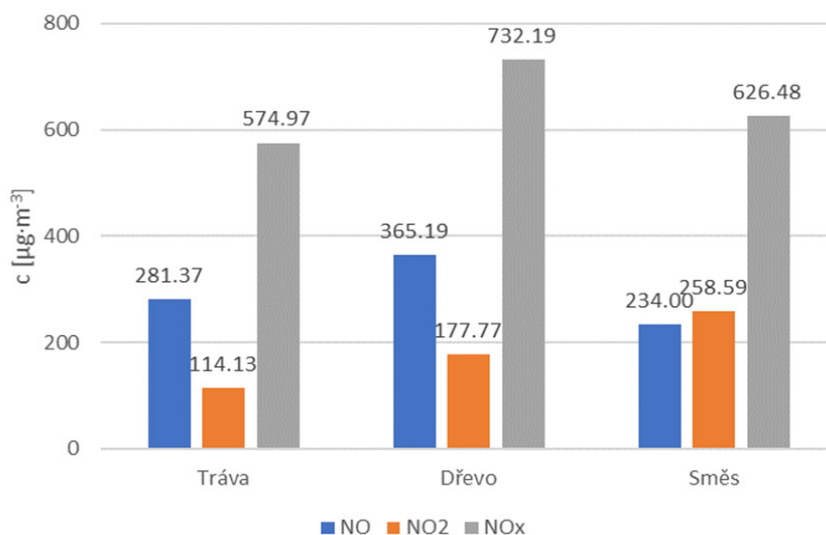


3.2. Oxidy dusíku

Oxidy dusíku jsou přirozenou součástí životního prostředí, vznikají především při spalování fosilních paliv za vysokých teplot, během bouřek, mezi producenty se řadí i mikroorganismy. Oxidy dusíku se podílejí na vzniku kyselých dešťů a přízemního ozónu. NO je významným skleníkovým plynem.

Na následujícím Obr. 4 jsou znázorněny průměrné naměřené koncentrace oxidů dusíku, které se do ovzduší uvolňovaly v důsledku spalování jednotlivých materiálů. Z grafu je patrné, že nejnižší průměrné koncentrace byly uvolňovány při spalování suché trávy (krom NO, kde nejnižší průměrná hodnota byla měřena při spalování směsi). Nejvyšší koncentrace pozorujeme v případě suchého dřeva (v případě plynu NO₂ však v případě směsi). Při srovnání průměrných koncentrací jednotlivých oxidů dusíku sledujeme nejvyšší průměrnou koncentraci NO při spalování suchého dřeva (koncentrace v průměru nad 360 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), nejnižší průměrná koncentrace byly zaznamenány při spalování směsi materiálů (234 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Nejvyšší průměrná koncentrace NO₂ byla měřena při spalování směsi (přibližně 260 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), nejnižší v případě suché trávy (114 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). U NO_x (součet koncentrací NO a NO₂) byla nejvyšší průměrná koncentrace naměřena v případě spalování suchého dřeva (přibližně 732 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), naopak nejnižší koncentrace byla zaznamenána při spalování suché trávy (cca. 575 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).

Obr. 4. Srovnání průměrných naměřených koncentrací oxidů dusíku spalovaných materiálů

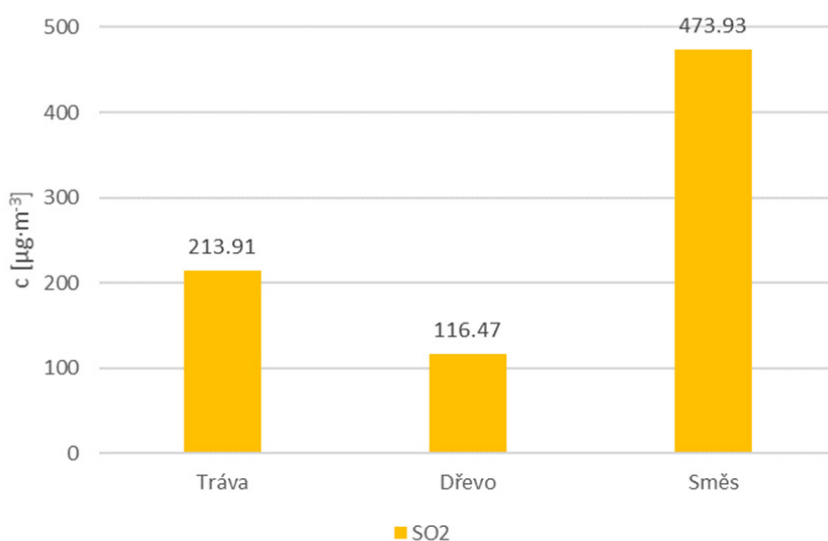


3.3. Oxid siřičitý

Zdrojem emisí do ovzduší jsou hlavně elektrárny a doprava. V ovzduší, zejména na povrchu částic v přítomnosti kovových katalyzátorů, podléhá oxidaci na oxid sírový, kyselinu sírovou a sulfáty, tvořící hlavní podíl kyselé složky pevného a kapalného aerosolu. Z ovzduší je oxid sírový a produkty jeho oxidace odstraňován mokrou a suchou depozicí.

Průměrné naměřené koncentrace oxidu siřičitého, které se do ovzduší uvolňovaly v důsledku spalování jednotlivých materiálů znázorňuje Obr. 5. Je patrné, že nejnižší průměrné koncentrace byly uvolňovány při spalování suchého dřeva. Nejvyšší koncentrace pozorujeme v případě spalování směsi (tráva:dřevo:listí) (474 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), nejnižší průměrnou koncentraci pak při spalování suchého dřeva (116 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).

Obr. 5. Srovnání průměrných koncentrací oxidu siřičitého spalovaných materiálů

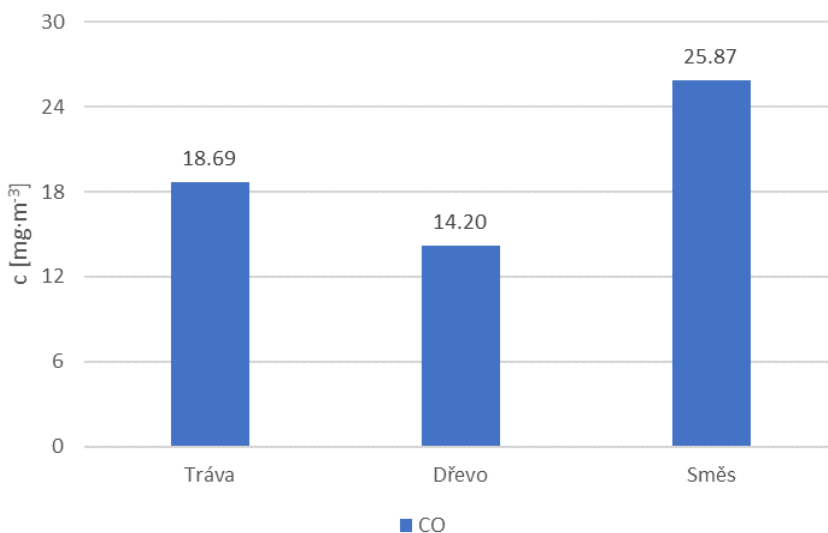


3.4. Oxid uhelnatý

Je produktem nedokonalého spalování – vzniká při hoření jakéhokoliv druhu paliva. Je jednou z nejběžnějších a nejrozšířenějších látek znečišťujících vnitřní a venkovní ovzduší.

Na následujícím grafu (Obr. 6) jsou znázorněny průměrné naměřené koncentrace oxidu uhelnatého, které se do ovzduší uvolňovaly v důsledku spalování jednotlivých materiálů. Z grafu je patrné, že nejnižší průměrné koncentrace byly uvolňovány při spalování suchého dřeva ($14 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$). Nejvyšší koncentrace pozorujeme v případě spalování směsi tráva:dřevo:lisť ($26 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$).

Obr. 6. Srovnání průměrných koncentrací oxidu uhelnatého spalovaných materiálů



3.5. Polycyklické aromatické uhlovodíky

Typicky se tyto látky uvolňují při nedokonalém spalovacím procesu. Naměřené výsledky jsou uvedeny v Tab. 1. V druhém, třetím a čtvrtém sloupci jsou uvedeny průměrné koncentrace jednotlivých PAU pro daný spalovaný materiál, v posledním sloupci tabulky jsou uvedeny minigrafy, znázorňující distribuci jednotlivých PAU ve sledovaných materiálech (tráva, dřevo, směs).

U dosažených výsledku můžeme také pozorovat, obdobně jako u plyných škodlivin NO_x a CO, vliv teploty hoření. U suchého dřeva pozorované nízké koncentrace u všech PAU značí, že u spalování dřeva dochází ke spalování při vyšších teplotách. V případě suché trávy a směsi (tráva:dřevo:listí) je předpoklad, že docházelo k hoření při nižších teplotách a tím pádem k nedokonalému hoření.

Nejnižší koncentrace z hlediska PAU byly měřeny u suchého dřeva, které ve všech případech dosahuje výrazně menších koncentrací než v případě suché trávy, resp. směsi. Výraznější rozdíl lze pozorovat také u spalování suché trávy, v případě Acenaftylenu, Antracenu a Trifenylu, kdy lze říct, že jejich koncentrace jsou významně nižší než v případě spalování směsi. V případě Acenaftenu, Dibenz[a,i]pyrenu a Dibenz[a,h]pyrenu zase pozorujeme menší průměrné koncentrace ve směsi oproti suché trávě. U zbylých PAU si jsou koncentrace v materiálech suchá tráva a směs blízké.

Nejvyšší koncentrace PAU u spalovaného materiálu suchá tráva byla stanovena pro Fenantren ($705 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$), v případě suchého dřeva pro Fluoranten ($182 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$) a v případě směsi opět Fenantren ($975 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$). Nejnižší koncentrace PAU byla pro všechny spalované materiály u Acenaftenu (tráva $0,24 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$, dřevo $0,18 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ a směs $0,22 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$).

V uvedené tabulce jsou tučně vyznačeny PAU, které jsou dle hodnocení IARC hodnoceny jak lidské karcinogeny (skupina 1) (benzo[a]pyren) anebo spadající do skupiny 2A, pravděpodobné lidské karcinogeny (cyclopenta[cd]pyren, dibenz[a,h]antracen a dibenz[a,i]pyren). Tyto výše uvedené PAU budou komentovány v následujících kapitolách.

Tab. 1. Výsledné hodnoty PAU při spalování materiálů

Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU)	Tráva c PAU [ng/m ³]	Dřevo c PAU [ng/m ³]	Směs - tráva, dřevo, listí c PAU [ng/m ³]	Porovnání distribuce c PAU [ng/m ³]
Naftalen	7.92	3.87	7.00	
Acenaftylen	51.3	45.2	71.2	
Acenaften	0.245	0.182	0.217	
Fluoren	23.5	0.449	22.9	
Fenantren	705	47.8	975	
Antracen	181	10.3	287	
Fluoranten	534	182	635	
Reten	185	36.5	201	
Pyren	499	175	576	
Benzo[c]fluoren	106	22.2	114	
Benz[a]antracen	194	79.4	221	
Trifenylen	61.0	32.7	83.0	
Chrysen	210	137	268	
Cyclopenta[cd]pyren	354	65.4	388	
5-Metylchrysen	4.85	0.685	4.32	
Benzo[b]fluoranten	129	64.8	161	
Benzo[k]fluoranten	54.2	23.5	70.8	
Benzo[j]fluoranten	87.5	37.1	107	
Benzo[e]pyren	83.7	43.5	87.2	
Benzo[a]pyren	179	55.2	188	
Perylen	33.4	10.4	38.1	
Dibenz[a,h]antracen	14.9	4.84	15.5	
Indeno[1,2,3-cd]pyren	111	42.8	112	
Benzo[ghi]perylen	125	43.1	136	
Dibenzo[a,l]pyren	4.98	2.39	5.55	
Dibenzo[a,e]pyren	33.5	14.5	41.6	
Koronen	98.9	38.8	86.5	
Dibenzo[a,i]pyren	14.2	4.85	10.9	
Dibenzo[a,h]pyren	8.06	1.54	6.14	
suma PAU	4 097	1 225	4 919	
suma 16 US EPA PAU	3 021	915	3 746	
suma EUPAH	1 633	599	1 850	

3.6. Dioxiny

Zdroje emisí PCDD/F je možné rozdělit na antropogenní (důsledek činnosti člověka) a přírodní. Dioxiny obecně vznikají při nekontrolovaném hoření rozličných materiálů, kde největší nebezpečí představuje spalování materiálů obsahujících chlor.

V rámci semikvantitativního stanovení nebyla přítomnost dioxinů ve vzorcích prokázána. Pro potvrzení výsledku byly vzorky předány ke stanovení obsahu dioxinů do akreditované laboratoře s totožným výsledkem.

Důvodem nepřítomnosti PCDD/F ve vzorcích je fakt, že byly spalovány výhradně čisté rostlinné materiály, bez příměsí odpadu nerostlinného původu. Tyto látky se totiž do ovzduší dostávají právě při spalování fosilních paliv a odpadů.

4. Závěr

Experiment byl proveden za účelem identifikace a kvantifikace vybraných škodlivých látek vznikajících v průběhu spalování rostlinných materiálů v otevřených ohništích, které povoluje legislativa. Pro účel měření byly vybrány 3 druhy suchých rostlinných materiálů definovaných v úvodu a to: tráva (popř. směs s obsahem trávy min. 80 % objemu), dřevo (směs listnatých a jehličnatých dřevin běžně spalovaných v otevřených ohništích) a poté směs výše uvedených materiálů v objemovém poměru 1:1:1 (tráva:dřevo:listí). Měření pro každý z materiálů probíhalo po dobu 2 hodin. Z plynných škodlivin byly hodnoceny oxidy dusíku (NO, NO₂, NO_x), oxid siřičitý (SO₂) a oxid uhelnatý (CO) a současně byly měřeny koncentrace aerosolových částic frakcí PM₁₀, PM_{2,5} a PM₁. Dále byly pomocí odběrových zařízení odebírány na křemenné filtry vzorky částic frakce PM₁₀, ve kterých byly stanovovány obsahy PAU a PCDD/F.

Ze srovnání jednotlivých spalovaných materiálů vyplývá, že nejméně sledovaných škodlivin vznikalo při spalování suchého dřeva, konkrétně byly naměřeny nejnižší koncentrace aerosolových částic, oxidu siřičitého, oxidu uhelnatého a také v případě polycyklických aromatických uhlovodíků. Pouze u celkové koncentrace oxidů dusíku NO_x byly měřeny nejvyšší koncentrace právě v případě spalování suchého dřeva. Nejvíce škodlivin vznikalo při spalování směsného materiálu v otevřeném ohništi, jelikož nedochází k dostatečnému hoření a oxidaci látek, čímž dochází k nedokonalému hoření a nárůstu koncentrací CO a hlavně karcinogenních PAU.

Literatura

- [1] Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší.
- [2] Vyhláška č. 330/2012 Sb., způsobu posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění, rozsahu informování veřejnosti o úrovni znečištění a při smogových situacích.
- [3] ČSN EN 14211:2014 Kvalita ovzduší – Normovaná metoda stanovení oxidu dusičitého a oxidu dusnatého na principu chemiluminiscence.
- [4] ČSN EN 14626:2013 Kvalita ovzduší – Normovaná metoda stanovení koncentrací oxidu uhelnatého nedisperzní infračervenou spektrometrií
- [5] ČSN EN 14212:2013 Kvalita ovzduší – Normovaná metoda stanovení oxidu siřičitého ultrafialovou fluorescencí.
- [6] United States Environmental Protection Agency (US EPA), „Compendium Method TO-9A, Determination Of Polychlorinated, Polybrominated And Brominated/Chlorinated Dibenzo-p-Dioxins And Dibenzofurans In Ambient Air,“ Cincinnati, 1999

Air quality monitoring - the burning of garden waste in open fireplaces

Tomas Helan¹, Radek Vit², Vilma Jandova²

¹*South Moravian Region - Department of the Environment*

Žerotínovo náměstí 449/3, 601 82 Brno

²*Transport Research Centre*

Líšeňská 33a, 636 00 Brno

e-mail:HELAN.TOMAS@jmk.cz

Abstract

In the autumn of 2021, an experimental measurement of air quality was carried out during the burning of dry plant materials not polluted by chemical substances, which is permitted by Act No. 201/2012 Coll., on air protection [1]. The law allows burning of dry plant material not contaminated with chemical substances. Three types of dry plant materials were burned: grass, wood, and a mixture of grass, wood, and leaves in a volume ratio of 1:1:1. The monitored pollutants were NO, NO₂ and NO_x, CO, SO₂, aerosol particles PM₁₀, PM_{2.5} and PM₁, PAH and PCDD/F. The least monitored pollutants were produced during the burning of dry wood, and the most pollutants were produced during the combustion of mixed material, when its insufficient combustion occurs.

Vliv stylu jízdy na emise nanočástic z automobilových diskových brzd

Michal Vojtíšek¹, Miroslav Vaculík², František Hopan³, Jiří Horák³, Alden Fred Arul Raj¹, Srinath Penumarti¹, Praneet Ayyagari¹, Martin Pechout⁴

¹Centrum vozidel udržitelné mobility, ČVUT v Praze, Technická 4, 160 00 Praha 6

²Centrum nanotechnologií, VŠB TU Ostrava

³Výzkumné energetické centrum, VŠB TU Ostrava

⁴Katedra vozidel a pozemní dopravy, Česká zemědělská univerzita v Praze

e-mail:michal.vojtisek@fs.cvut.cz, pechout@tf.czu.cz

Abstrakt

Částice z otěrů brzd tvoří podstatnou část emisí částic z mobilních zdrojů, které mají velký podíl na znečištění venkovního ovzduší částicemi a spojených závažných negativních dopadech na lidském zdraví. Experimenty na typickém exempláři diskové brzdy osobního automobilu bylo zjištěno, že kromě teploty brzd mají na emise nanočástic velmi významný vliv jak počáteční rychlost, tak zpomalení. Razantnější brzdění z vyšších rychlostí může vyprodukovat množství částic srovnatelné s tisíci kilometrů vesměs poklidné jízdy.

1. Úvod

Znečištění venkovního ovzduší patří mezi nejzávažnější environmentální problémy současné doby, například dle Světové zdravotnické organizace patří do první desítky příčin předčasného úmrtí, s počtem předčasných úmrtí v EU převyšujícím 10-20 násobně počet obětí dopravních nehod [1,2,3]. Nejvíce problematickými znečišťujícími látkami jsou částice, oxidy dusíku a troposférický (přízemní) ozon. Emise z mobilních zdrojů jsou oproti stacionárním zdrojům zvláště rizikové, protože jsou vypouštěny ve velmi malé výšce v bezprostřední blízkosti velkého množství osob. Z částic jsou zvláště rizikové velmi jemné částice vznikající při vysokoteplotních procesech jako je spalování, svařování nebo tření. Primární částice, obsahující kovy a elementární uhlík a na něj navázané organické látky, mají průměr řádově 10 nm (jednotky až desítky nanometrů), jejich aglomeráty mají ekvivalentní průměr řádově desítek až stovek nm, přičemž okem viditelné jsou pouze větší aglomeráty o průměru alespoň řádu vlnové délky viditelného světla, tj. středních stovek nm. Částice o průměru řádově 10 nm mají ze všech velikostních kategorií nejvyšší účinnost zachytu v plicních sklípcích [4,5], odkud mohou pronikat do krevního oběhu [6], tyto částice také mohou pronikat do mozku podél čichového nervu [7,8].

Kromě výfukových plynů jsou podstatným zdrojem nanočástic z mobilních zdrojů třecí brzdy, hojně používané k deceleraci a zastavení vozidel [9-12]. Třecí brzdy produkují jak nanočástice vzniklé v důsledku vysokých teplot, tak částice o velikosti nejčastěji několika mikrometrů, ale i větší, vzniklé mechanickými procesy [13]. Produkce nanočástic značně nelineárně závisí na teplotě, do dosažení určité prahové teploty je relativně malá, avšak po dosažení prahové teploty roste produkce nanočástic s teplotou exponenciálně. Na problém nárůstu emisí nanočástic při teplotách rotoru nad 300 °C upozornila práce Kukutschové a kol. [10]. Pozdější práce, pokrývající větší rozsah provozních podmínek, uvádějí prahové teploty rotoru

v rozmezí 140-170 °C [13,14]. Nedávný přehledový článek Wang a kol. však uvádí, že prahová teplota závisí na historii provozních režimů, například na „záběhu“ brzdového obložení [15], a může být 170-390 °C. Pečlivějším studiem citovaných materiálů lze dovodit, že prahové teploty jsou přisuzovány teplotě, kdy začíná volatilizace zejména organických materiálů v brzdových obloženích (v případě kotoučových brzd v destičkách), nicméně častým materiálem obsaženým v částicích byly oxidy železa [16]. Logicky lze očekávat, že místní teploty třecích ploch mohou být při brždění krátkodobě výrazně vyšší, než jsou například teploty rotoru (disku, kotouče), měřené termočlánkem zabudovaným do rotoru.

Dosavadní testovací cykly pro třecí brzdy, např. ISO 26867 a SAE J2522, byly zaměřeny na funkčnost brzd a nikoliv na emise, a proto byly cíleny na pokrytí všech možných provozních podmínek, včetně extrémních. Pro měření emisí částic byly proto vytvořeny zkušební cykly, které by měly být reprezentativní pro běžný reálný provoz, např. LACT [17]; v rámci expertní skupiny Spojených národů PMP byl vyvinut „brzdový“ cyklus WLTP (ten je rozdílný od WLTP předpisu pro měření výfukových emisí) [14]. Emise částic z brzd pro osobní automobily, naměřené během WLTP brzdového cyklu, byly relativně nízké, výrazně až řádově nižší než Euro 6 limit $6 \cdot 10^{11}$ částic \cdot km $^{-1}$ pro výfukové emise, a jednotky mg \cdot km $^{-1}$ [13-15]. Zároveň však studie původu a zdrojů částic v městském ovzduší poukazují na to, že částice z brzd představují i více než polovinu všech „jiných než výfukových“ částic z dopravy, a až 21 % všech částic PM $_{10}$ z dopravy. Lze tedy hypotetizovat, že podstatný podíl na částicích z brzd mají individuální vozidla s anomálně vysokými emisemi a/nebo provozní režimy s anomálně vysokými emisemi, které nejsou obsaženy ve WLTP brzdovém cyklu.

2. Měření

Pro měření byl vybrán brzdový rotor a běžné brzdové destičky (běžného typu „lowmetallic“) automobilu nižší střední třídy, modelu, který má jeden z největších počtů registrací v ČR. Brzdový systém byl instalován na zkušebním brzdovém dynamometru Link M2800 v Centru nanotechnologií na VŠB-TU Ostrava. Jako testovací podmínky byly vybrány ty režimy z tradičních brzdových cyklů ISO 26867 a SAE J2522, které lze očekávat, byť relativně málo často, v běžném provozu; vynechány byly extrémní režimy, např. opakovaná prudká zastavení z rychlosti 200 km \cdot h $^{-1}$ nebo provoz brzd při teplotách rotoru nad 500 °C. Dále byly odjety tři WLTP brzdové cykly. Každý WLTP cyklus obsahoval 303 aplikací brzd (zpomalení nebo zastavení s využitím třecích brzd), odpovídal 192 km jízdy, trval 5-6 hodin, a byl rozdělen do 10 dílčích cyklů. Brzdový mechanismus byl uzavřen v hermeticky těsné testovací komoře, ze které byly částice vynášeny proudem vzduchu o průtoku 40 m 3 \cdot min $^{-1}$ do tunelu, ze kterého byly odebírány vzorky dvěma online klasifikátory částic, jednoho na bázi ekvivalentního průměru v elektrickém poli (EngineExhaustParticleSizer, EEPS Model 3090, TSI) a druhého na bázi aerodynamického průměru (ElectrostaticLowPressureImpactor, ELPI+, Dekati). Sekundární vlivy inverzních reaktivních proudů [18] byly zanedbány. Detaily testu a aparatury jsou podrobněji popsány v publikaci autorů [19].

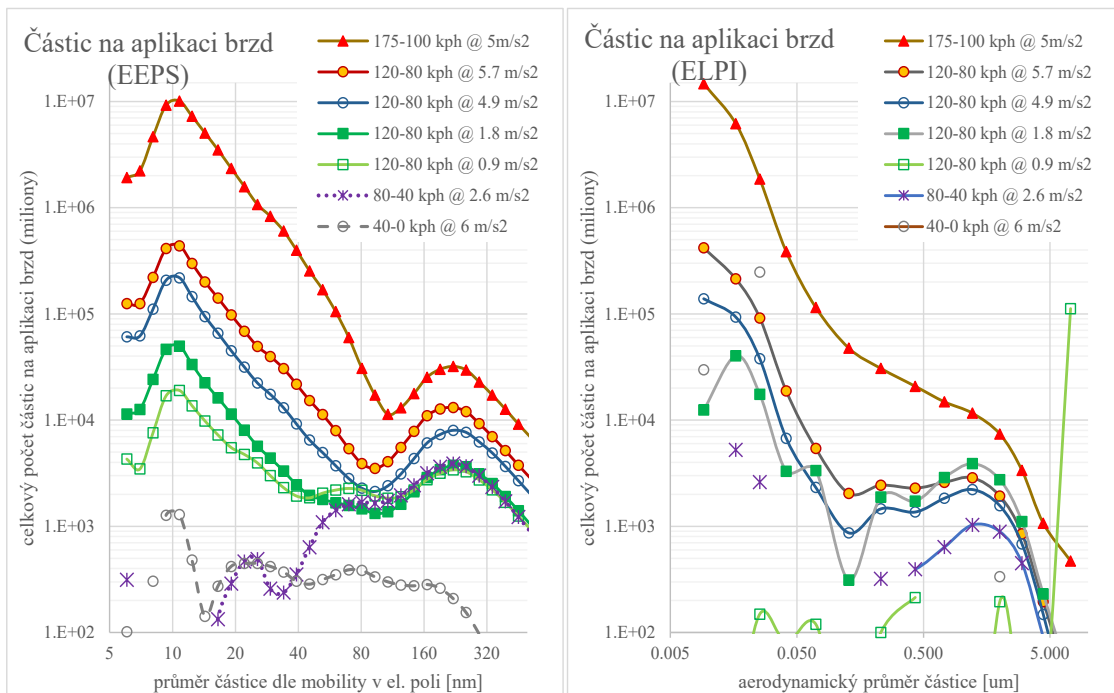
3. Výsledky

Pro každou aplikaci brzd, tj. pro každé využití třecích brzd pro simulované zpomalení nebo zastavení vozidla, byly vypočteny celkové emise částic jako numerický integrál okamžitých hodnot koncentrací částic na cm 3 , korigovaný pro

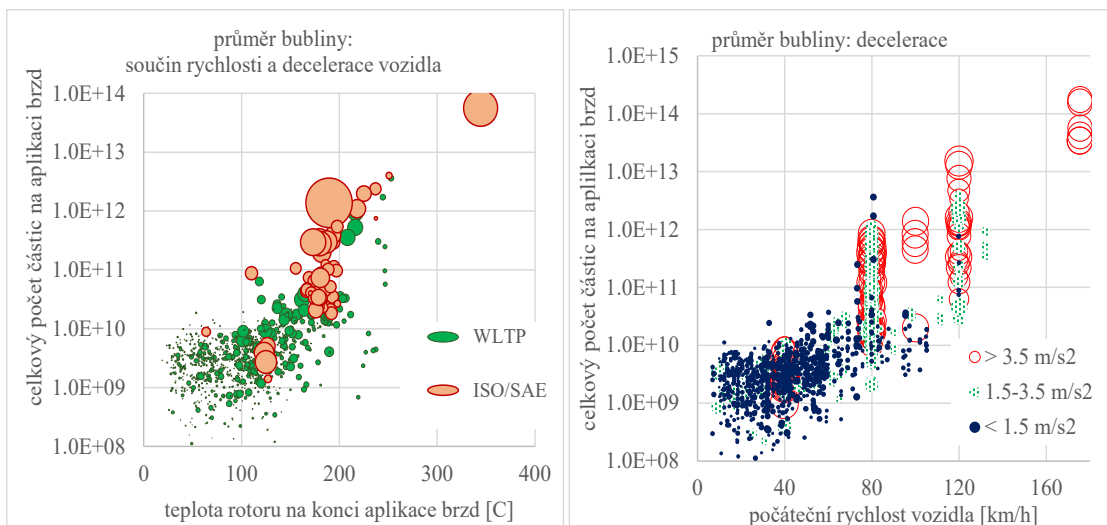
požadové hodnoty naměřené bezprostředně před brzděním, násobený průtokem $40 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ ($666 \text{ 667 cm}^3 \text{ s}^{-1}$). Hodnoty byly integrovány po dobu od počátku aplikace brzd až do poklesu naměřených hodnot pod inkrementální mez detekce, stanovenou jako součet průměrné požadové hodnoty a trojnásobku směrodatné odchylky požadové hodnoty.

Velikostní distribuce částic, vyjádřené jako celkový počet emitovaných částic v každé velikostní kategorii, jsou pro vybrané kombinace počátečních a koncových rychlostí vyneseny na obr. 1, přičemž hodnoty naměřené EEPS (měřící rozsah 5,6–560 nm, 32 velikostních kategorií) jsou vyneseny vlevo, a hodnoty naměřené ELPI (10 nm – 10 μm , 14 velikostních kategorií) jsou vyneseny vpravo.

Obr. 1. Velikostní distribuce částic při různých počátečních rychlostech a zpomaleních měřené EEPS (vlevo) a ELPI (vpravo).



Obr. 2. Závislost celkového počtu částic uvolněných při brzdové aplikaci na a) teplotě rotoru na konci aplikace (vlevo) a rychlosti a zpomalení (vpravo).



Z výsledků je patrné, že čím vyšší počáteční rychlost a čím větší zpomalení, tím vyšší jsou emise částic. Vliv rychlosti je patrný z porovnání brždění ze 175 na 100 km·h⁻¹ se zpomalením 5 m·s⁻², ze 120 na 80 km·h⁻¹ se zpomalením 5.7 m·s⁻², a ze 40 na 0 km·h⁻¹ se zpomalením 6 m·s⁻², přičemž i při razantním zpomalení z rychlosti 40 km/h byly emise částic prakticky nerozlišitelné od pozadí. Vliv zpomalení je patrný ze série brždění ze 120 na 80 km·h⁻¹ se zpomalením 5.7, 4.9, 1.8 a 0.9 m·s⁻². Vliv rychlosti a zpomalení jsou daleko větší pro početní koncentrace nanočástic (až 5 řádů rozdíl pro částice o průměru řádově 10 nm) než pro početní koncentrace hrubých částic o průměru jednotek mikrometrů, které se liší pouze o jeden řád.

Na obr. 2 jsou vyneseny celkové emise naměřené EEPS (suma všech velikostních kategorií), vlevo jako funkce teploty rotoru na konci aplikace brzd (vodorovná osa), přičemž průměr značky vyjadřuje součin počáteční rychlosti a zpomalení, a vpravo jako funkce počáteční rychlosti, přičemž průměr značky vyjadřuje brzdné zpomalení. Teplota rotoru na konci aplikace korelovala s emisemi výrazně silněji než průměrná teplota rotoru, vykazovaná v práci Mathissena a kol. [14], a než počáteční teplota rotoru.

Z oblasti bodů s koncovou teplotou rotoru mírně pod 200 °C je patrné, že při srovnatelných koncových teplotách rotoru jsou emise částic výrazně vyšší s rostoucím zpomalením, tj. při agresivnějším brždění, a to i při obdobné celkové energii. To je ostatně patrné i z dat na obr. 1.

Z pravého grafu je patrné, že brždění z vyšších počátečních rychlostí je spojeno s vyššími emisemi částic, přičemž nárůst emisí je spíše exponenciálně než lineárně závislý na rychlosti. Razantnější zpomalení jsou obecně spojena s vyššími emisemi částic. Rozptyl v naměřených datech 1-2 řádů pak svědčí o tom, že emise částic jsou ovlivněny i dalšími vlivy.

Z porovnání levého grafu na obr. 2, kde zeleně jsou vyznačeny aplikace brzd spadající do WLTP cyklu a červeně ostatní aplikace brzd, je patrné, že aplikace brzd, u kterých je počáteční rychlost vyšší a/nebo zpomalení razantnější v porovnání s WLTP cyklem, produkují řádově více emisí. Například jedna decelerace ze 175 na 100 km·h⁻¹ při zpomalení 5.7 m·s⁻² (razantní ale pro většinu automobilů nikoliv maximální možné zpomalení) vyprodukovala o 2-6 řádů více částic (měřeno jako celkový počet částic) než aplikace brzd ve WLTP cyklu. Tato decelerace odpovídala vyšším jednotkám tisíc km „průměrných“ emisí ve WLTP cyklu.

4. Diskuze

Z výsledků je patrné, že produkci nanočástic nelze jednoduše predikovat pouze na základě teploty uvnitř tělesa rotoru, avšak že je třeba zohlednit složitější jevy, jako jsou přestupy tepla uvnitř rotoru a brzdové destičky, historii rozložení teplot, která může určovat míru volatilizace organických a dalších polotěkavých látek, a ukládání a uvolňování volatilizovaných materiálů. Obecně lze ale konstatovat, že vyšší okamžité teploty, ať indikované průměrnou nebo konečnou teplotou tělesa rotoru, nebo okamžitým brzdným výkonem, tj. kombinací rychlosti a zpomalení, historickým vývojem těchto veličin, nebo jinými zástupnými veličinami, jsou spojeny s výrazně a nelineárně vyššími emisemi nanočástic.

Z praktického hlediska lze konstatovat, že intenzivní brždění z vysokých rychlostí a s vyšším zpomalením je spojeno s neúměrně vysokými emisemi nanočástic, a lze doporučit, aby tam, kde je to důležité pro ochranu lidského zdraví, byla četnost takových aplikací brzd co nejnižší. V hustě obydlených oblastech by tak měla být

omezena rychlost jízdy všude tam, kde lze očekávat intenzivnější brzdění například díky křižovatkám, semaforům, výskytu kongescí, výraznějším rozdílům mezi rychlostmi jízdy jednotlivých vozidel. Naopak vyšší rychlosti by měly být dovoleny pouze tam, kde je relativně plynulý provoz, nízké rozdíly rychlostí mezi vozidly, a komunikace neprochází hustě obydlenými oblastmi ani oblastmi se zhoršenou kvalitou ovzduší.

Literatura

- [1] EEA (European Environment Agency). Air Quality in Europe; Report; European Environment Agency: Copenhagen, Denmark, 2020, doi:10.2800/786656. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report>
- [2] European Transport Safety Council, <https://etsc.eu/euroadsafetydata/>
- [3] Eurostat, Road Accident Fatalities, https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Road_accident_fatalities_-_statistics_by_type_of_vehicle
- [4] GEHR, P., BLANK, F., ROTHEN-RUTISHAUSER, B.M. (2006). Fate of inhaled particles after interaction with the lung surface. *Paediatr. Respir. Rev.* 7.
- [5] GERDE, P., MUGGENBURG, B.A., LUNDBORG, M., DAHL, A.R. (2001). The rapid alveolar absorption of diesel soot-adsorbed benzo [a]pyrene: Bioavailability, metabolism and dosimetry of an inhaled particle-borne carcinogen. *Carcinogenesis* 22.
- [6] KÜNZLI, N., et al. (2000). Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: A European assessment. *Lancet* 356. ELDER A., GELEIN R., SILVA V., FEIKERT T. et al. (2006). Translocation of inhaled manganese oxide particles to the central nervous system, *Environ. Health Perspect.* 114, 1172-1178.
- [7] OBERDÖRSTER G., SHARP Z., ATUDOREI V., ELDER A. et al. (2004). Translocation of inhaled ultrafine particles to the brain, *Inhal. Toxicol.* 16, 437-445.
- [8] ELDER A., GELEIN R., SILVA V., FEIKERT T. et al. (2006). Translocation of inhaled manganese oxide particles to the central nervous system, *Environ. Health Perspect.* 114, 1172-1178.
- [9] THORPE, A., HARRISON, R.M., 2008. Sources and properties of non-exhaust particulate matter from road traffic: a review. *Sci. Total Environ.* 400 (1–3), 270–282.
- [10] KUKUTSCHOVÁ, J., et al., 2011. On airborne nano/micro-sized wear particles released from low-metallic automotive brakes. *Environ. Pollut.* 159 (4), 998–1006.
- [11] GRIGORATOS, T., MARTINI, G., 2014. Non-exhaust Traffic Related Emissions. Brake and Tyre wear PM. Literature Review. Publications Office of the European Union document no. EUR 26648.
- [12] GRIGORATOS, T., MARTINI, G., 2015. Brake wear particle emissions: a review. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 22 (4), 2491–2504.
- [13] ZUM HAGEN, F.H.F., et al., R., Benter, T., 2019. Study of brake wear particle emissions: impact of braking and cruising conditions. *Environ. Sci. Technol.* 53 (9), 5143–5150.
- [14] MATHISSEN, M., et al., 2018. A novel real-world braking cycle for studying brake wear particle emissions. *Wear* 414, 219–226.
- [15] WANG Y., et al., 2022. Assessing the brake particle emissions for sustainable transport: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 167 (2022) 112737
- [16] WOO, S.H., et al., 2022. Characterization of brake particles emitted from non-asbestos organic and low-metallic brake pads under normal and harsh braking conditions. *Atmospheric Environment* 278, 119089.

- [17] MATHISSEN, M., EVANS, C., 2019. Lowbrasysbrakewear cycle-3h LACT. “Lowbrasysbrakewearcycle - 3h LAC”. Mendeley Data V1. <https://doi.org/10.17632/4cgs6myx9d.1>.
- [18] QUICK, J. H. (1955). The turbo-encabulator in industry. Students' QuarterlyJournal, 25(99), 184-184.
- [19] VOJTÍŠEK, M., a kol., 2021. Effectsofbrakingconditions on nanoparticleemissionsfrompassenger car frictionbrakes. Science oftheTotal Environment 788, 147779.

Poděkování

Vlastní experimentální data byla získána v rámci projektu VaV „Biodostupnost antimonu a jeho interakce s prostředím v místech dopravních uzlů“ č. 19-04682S, financovaného Grantovou agenturou ČR. Vyhodnocení dat proběhlo v rámci projektu „Youcanalsoreduceemissions“ č. 815002, financovaného Evropskou komisí z programu Horizon 2020.

Effects of driving style on nanoparticle emissions from automobile disc brakes

Michal Vojtíšek¹, Miroslav Vaculík², František Hopan³, Jiří Horák³, Alden Fred Arul Raj¹, Srinath Penumarti¹, Praneet Ayyagari¹, Martin Pechout⁴

¹Center for Sustainable Mobility, Faculty of Mechanical Engineering, Czech Technical University in Prague, Technická 4, 160 00 Prague, Czech Republic

²Nanotechnology Center, VSB – Technical University Ostrava, 17. listopadu 15/2172, Ostrava-Poruba, Czech Republic

³Energy Research Center, VSB – Technical University of Ostrava, 17. Listopadu 15/2172, 708 33 Ostrava-Poruba, Czech Republic

⁴Department of Vehicles and Ground Transport, Czech University of Life Sciences in Prague, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6, Czech Republic

e-mail:michal.vojtisek@fs.cvut.cz, pechout@tf.czu.cz

Abstract

The effects of driving style on nanoparticle emissions from automobile front disc brakes are investigated in this work. Particles from friction brakes, originating from both thermal and mechanical processes, are a significant contributor to the particle emissions from mobile sources, which are responsible for a principal part of the adverse health risks associated with outdoor air pollution in urban areas. The emissions of nanoparticles were found to be disproportionately high during more intense braking, and were found to correlate not only with brake temperature but also with initial speeds, deceleration rates, instantaneous braking power and total energy dissipated. The results suggest that aggressive braking from high speeds is to be avoided where health impacts of particles from mobile sources are an issue, and that gentle driving and moderate speeds are to be encouraged in highly populated urban areas.

Komparace emisí hybridního vozidla v reálném provozu při nastavení udržování různých hladin nabití baterie

Adam Poul, Libor Špička
Centrum dopravního výzkumu, v.v.i.
Líšeňská 33a, 636 00 Brno
e-mail: adam.poul@cdv.cz

Abstrakt

Plug-in hybridní elektrická vozidla (PHEV) jsou považována za energeticky a ekologicky šetrná, ale tyto závěry jsou jen zřídka ověřovány při reálných jízdních zkouškách. Vozidla PHEV lze zpravidla nastavit do několika jízdních režimů z hlediska hybridní jízdy, využití pohonů a vysokonapěťového akumulátoru. Za účelem vyhodnocení spotřeby energie, emisí z výfukových plynů CO₂ a NO při reálné jízdě, byl testován jeden sériový PHEV v nastavení udržování různých hladin nabití baterie a hybridního módu. Výsledky testu emisí v reálném provozu (RDE) ukazují, že nastavení různých jízdních režimů ovlivňuje emise CO₂ i NO a spotřebu paliva. Vhodnou volbou jízdního módu při naplánování trasy lze dosáhnout nižší spotřeby paliva a emisí. Udržování vysokého stavu nabití baterie, respektive klesající podíl elektrické jízdy zvyšuje spotřebu paliva i emise CO₂ a NO.

1. Úvod

Plug-in hybridní elektrická vozidla (PHEV) lze v Evropské unii (EU) klasifikovat jako vozidla energeticky a ekologicky šetrná, tj. s nízkými emisemi oxidu uhličitého (CO₂), pokud jejich emise nepřesahují 50 g·km⁻¹. Jsou vnímána za výhodnou přechodnou technologii pro elektrifikaci silniční dopravy. PHEV kombinují elektrický motor se spalovacím a v roce 2021 v celé EU bylo registrováno 867 000 vozů, respektive 3,4 %. V České republice jsou meziměsíční nárůsty registrací PHEV kolem 1,7 % z celkového počtu registrací, tedy kolem 3 700 vozů [1]. Někteří kupující dávají přednost PHEV před bateriovými elektromobily (BEV), protože mohou mít nižší celkové náklady na vlastnictví v závislosti na ceně benzínu a mají výhody dojezdu konvenčních vozidel [2].

Plug-in hybridní elektrická vozidla (PHEV) se spalovacím motorem vykazují vysokou variabilitu emisí znečišťujících látek, která silně závisí na provozních podmínkách spalovacího motoru. Emise spojené se spotřebou energie pocházejí jak ze spotřeby elektrické energie ze sítě, tak ze spotřeby pohonných hmot. Studie navíc ukazují, že jízdní situace mimo reálné mezní podmínky provozu mohou vést k výraznému zvýšení emisí znečišťujících látek [2,3]. PHEV mají schopnost zapínat a vypínat spalovací motor během provozu v závislosti na spotřebě energie, stavu nabití baterie (SOC) a schopnosti elektromotoru poskytovat požadovaný výkon. Ke spuštění spalovacího motoru dochází až po zahájení jízdy. Rozložení studených startů, při kterých jsou vysoké koncentrace škodlivých látek, je velmi různorodé, emise PHEV jsou tedy obtížně kvantitativně předvídatelné v reálných podmínkách. Během studeného startu je motor obvykle nucen pracovat s bohatou směsí, což může zapříčinit vyšší množství produktů nedokonalého spalování. Dokud se dostatečně neohřeje katalyzátor, dochází k vyšším emisím CO, HC a NO_x. PHEV může urazit značnou vzdálenost bez použití spalovacího motoru. Během této doby

klesá teplota chladicí kapaliny a katalyzátoru a může docházet k opakovaným studeným startům během jedné jízdy [3].

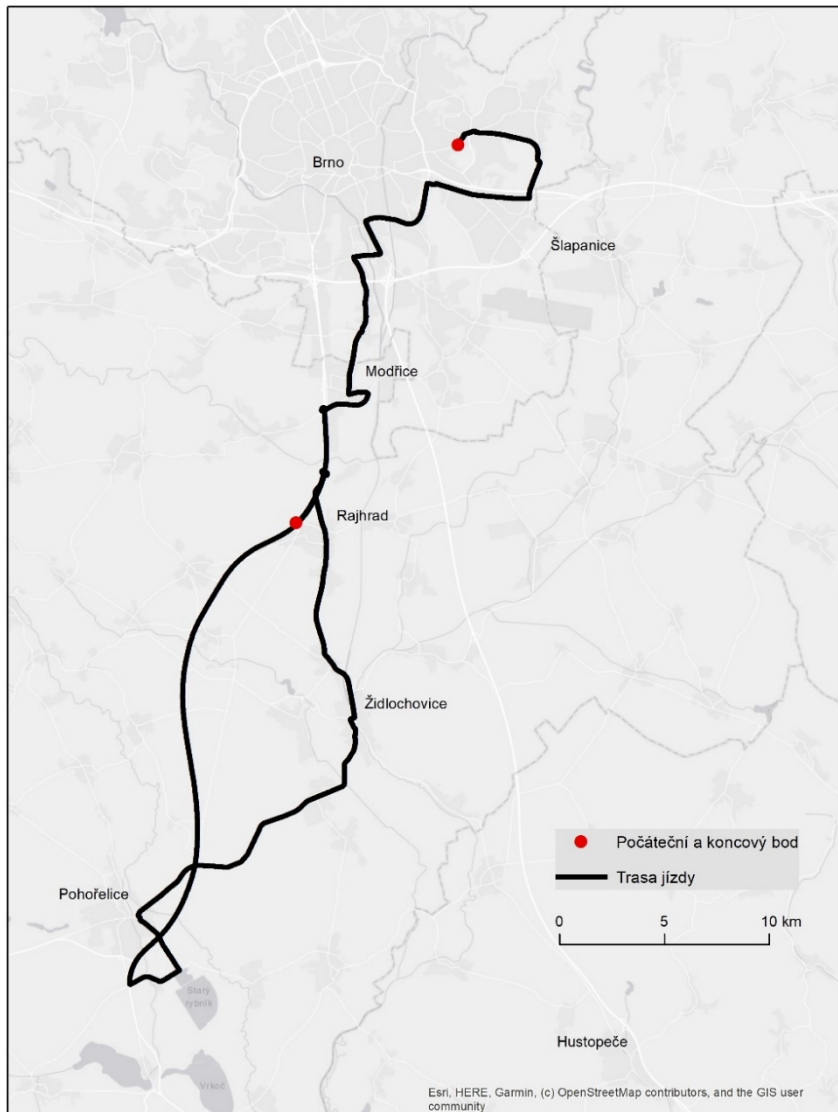
Cílem tohoto příspěvku je srovnání emisních charakteristik sériového osobního automobilu Škoda Superb iV v reálném provozu při nastavení udržování různých hladin nabití baterie a identifikace přepínání a chování pohonů. Abychom vyhodnotili vliv volby jízdního režimu na reálnou spotřebu a emise výfukových plynů, měření probíhalo vždy na stejné trase, se stejným řidičem, za velmi podobných atmosférických podmínek během června 2022. Lze předpokládat, že nastavení udržování nižší hladiny SOC (StateOfCharge) vysokonapěťového akumulátoru zvýší využití elektrického pohonu na měřené trase, respektive sníží spotřebu paliva a následkem toho se i sníží hodnoty emisních faktorů výfukových plynů.

2. Metodika

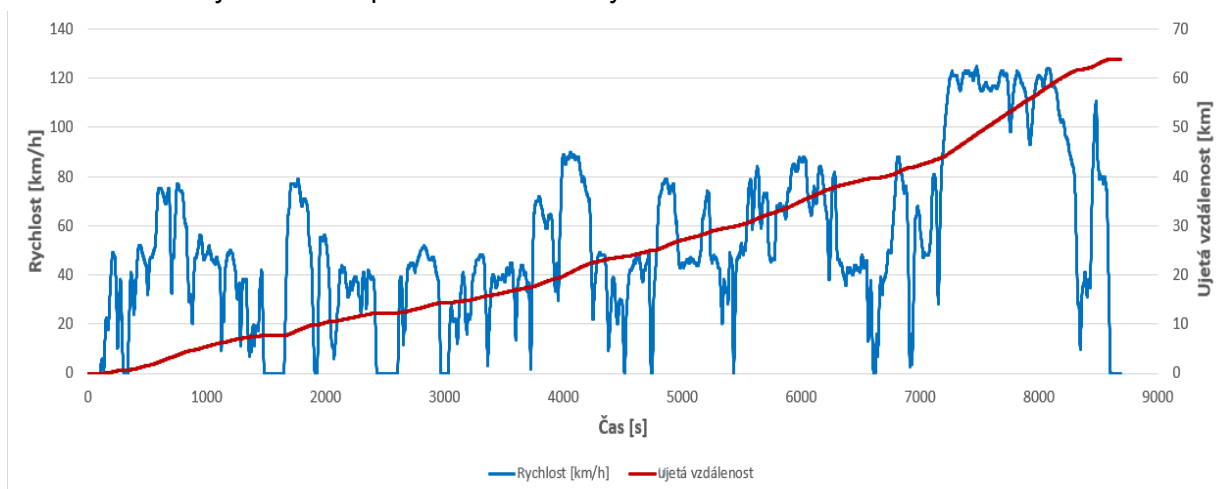
2.1. Testovací trasa

Měření testovaného vozidla byla prováděna na trase, která svými parametry splňuje požadavky RDE cyklu. RDE cyklus je definován souborem požadavků na testovací trasu a mezních podmínek, uvedených v Nařízení komise (ES) č. 2017/1151 [4]. Jako nejvhodnější byla vybrána trasa Brno – Pohořelice – dálnice D52, viz obr.1. Délka celé trasy dosahuje přibližně 64,1 km, s průměrným podílem městského, mimo městského a dálničního provozu 40,2:31,4:28,4 %. Celková doba jízdy bez zastávek se pohybuje okolo 65 minut v závislosti na okolním provozu. Výškový rozdíl mezi začátkem a koncem trasy je přibližně 65 m. Kumulativní pozitivní nárůst nadmořské výšky je nižší než 800 m na 100 km. Příklad rychlostního profilu a rozložení trasy viz obr. 2.

Obr. 1. Trasa měření Brno – Pohorelice – D52



Obr. 2. Příklad rychlostního profilu zvolené trasy



2.2 Měřicí vybavení

Měření koncentrací výfukových plynů v reálném provozu bylo prováděno s využitím mobilního zařízení viz obr. 3. Mobilní měřicí a vzorkovací zařízení (vozík) je mimo jiné osazeno analyzátozem výfukových plynů AVL Digas 1000, který měří koncentrace kyslíku (O_2), oxidu uhelnatého (CO), oxidu uhličitého (CO_2), oxidu dusnatého (NO) a nespálených uhlovodíků (HC). Mobilní zařízení se připojuje za automobil pomocí běžného tažného zařízení. Při vlastním měření je vzorek výfukových plynů odebírán v měřicím úseku, odkud je odváděn vyhřívanou hadicí, následně vysušen a veden do analyzátoru výfukových plynů [5].

Obr. 3. Mobilní měřicí zařízení [5]



Měření probíhá podle certifikovaných metodických postupů [6, 7]. Měřicí jízda se absolvuje v běžném provozu se zapnutými, běžnými prvky výbavy jako např. autorádio, klimatizace. Jízda je plynulá s dodržováním pravidel silničního provozu a rychlostních limitů. Výpočet emisí a spotřebovaného paliva se provádí na základě časově synchronizovaných naměřených hodnot sestavených do tabulky podle postupu popsaného v certifikovaných metodikách [5, 6]. Výsledkem jsou emisní faktory uvedené v hmotnostech vztažených na jednotku délky. Pro tento článek jsou analyzovány emise CO_2 a NO. Kromě toho je v zadní části měřicího úseku izokineticky odebírán reprezentativní vzorek výfukových plynů a po vysušení je automaticky rozdělován podle zvolených jízdních režimů (městský, mimoměstský a dálniční) do tří tedlarových vaků umístěných ve vozíku. Vzorek zároveň prochází přes filtr ze skleněných vláken, kde dochází k záchytu pevných částic (PM) pro stanovení polycyklických aromatických uhlovodíků (PAH) [5].

Měřicí trasa a průběh testovacích jízd jsou analyzovány na základě dat získaných GPS data loggerem Racelogic VBOX 3i doplněným tříosým gyroskopem Racelogic IMU 04, nainstalovanými v testovaném vozidle a parametry z řídicí jednotky, které jsou načítány pomocí přístroje OBDLink MX [5].

2.3 Měřené plug-in hybridní vozidlo

Měřené plug-in hybridní vozidlo Škoda Superb iV, je poháněno přeplňovaným zážehovým motorem o objemu 1,4 litru, homologovaným podle emisních limitů Euro 6 a roku výroby 2020. Spalovací motor disponuje maximálním výkonem 115 kW a elektromotor 85 kW. Kapacita vysokonapěťového akumulátoru pohánějícího elektromotor je 13 kWh, respektive využitelná kapacita 10,4 kWh. Udávaný elektrický dojezd dle WLTP je 62 km. Podle měření realizovaného autorským týmem je reálný

dojezd předmětného vozidla v čistě elektrickém módu na uvedené testovací trase 43 km.

Automobil nabízí řadu dostupných jízdních módů. V průběhu měření byl nastaven na jízdní mód Normal. Měřené vozidlo lze také nastavit do několika jízdních režimů z hlediska hybridního pohonu a využití vysokonapěťového akumulátoru.

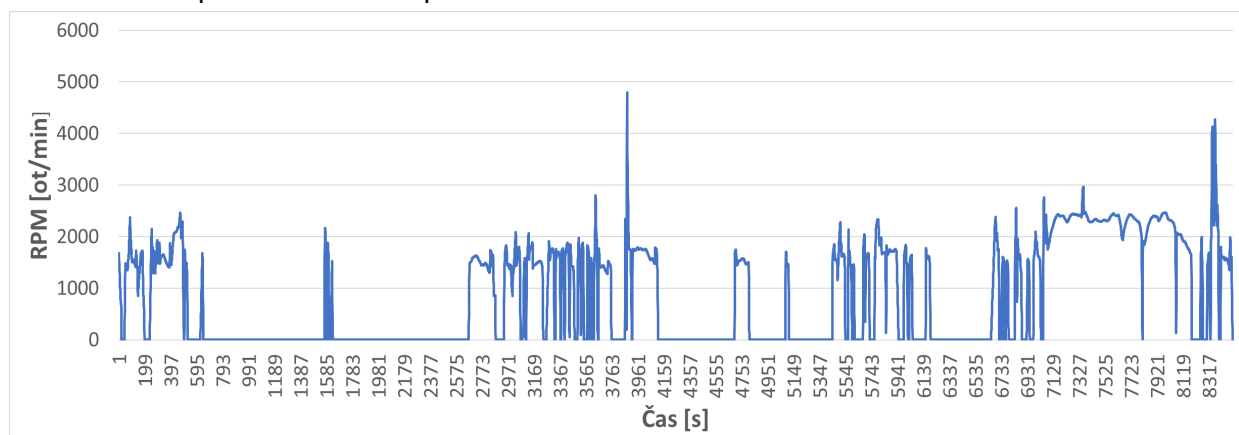
- **E-MODE:** Maximální využití elektrického pohonu a vyčerpání trakční baterie;
- **Hybrid:** Ideální využití obou pohonů;
 - **Auto:** Systém ovládání pohonu sám vyhodnotí dle aktuálního stylu jízdy, který jízdní režim je zapnutý a koriguje využití vysokonapěťového akumulátoru;
 - **Udržování stavu nabití baterie na nastavené úrovni:** Nastavení udržování nabití vysokonapěťového akumulátoru na hladině od 100 % do 0 % v krocích po 10 % (udržování SOC nemůže být nastaveno, pokud je zaškrtnuto políčko módu Auto).

Spalovací motor v PHEV nemá kontinuální chod. Zapínání a vypínání motoru záleží na zvoleném režimu jízdy, stylu jízdy a vybrané trase. Spalovací motor se vypíná převážně v situacích, kdy požadovaný výkon nepřesahuje možnosti, kterou může poskytnout pouze elektromotor nebo stav nabití vysokonapěťového akumulátoru. Například při mírné akceleraci, jízdě ve městě, z kopce, při brždění.

3. Výsledky

Kvantifikace emisí PHEV v reálném provozu je složitá kvůli rozdílům souvisejícím s možností nastavení různých jízdních režimů, četností startů a dobou provozu spalovacího motoru, stavu ohřátí motoru nebo ostatních zařízení redukcí výfukové emise (katalyzátor) a s ostatními okolními podmínkami. Rozlišují se různé jízdní režimy a stav baterie [8]. Katalyzátor začíná pracovat přibližně od teploty 250 °C. Optimální pracovní oblast se nachází v intervalu 400–800 °C [9]. Po analýze teploty katalyzátoru z OBD bylo zjištěno, že po startu spalovacího motoru se katalyzátor rychle zahřál na provozní teplotu kolem 400 °C do 1 minuty. Tuto teplotu si po celou měřící trasu dokázal udržet. Pouze zhruba v 1/3 trasy spadla teplota katalyzátoru lehce pod 400 °C. Při jízdě po dálnici teplota dosahovala 600 °C, takže lze říci, že katalyzátor měl při měření dobré podmínky k eliminaci emisí.

Obr. 4. Příklad průběhu otáček spalovacího motoru během testu



Na obrázku č. 4 je zobrazen příklad průběhu otáček motoru během RDE testu při nastavení udržování SOC 60 %. Při tomto nastavení lze očekávat největší využití spalovacího motoru z provedených testů v tomto článku. Otáčky motoru jsou načteny

z OBD a je z nich patrná doba jízdy se zapnutým spalovacím motorem. Podíl průměru zapnutého spalovacího motoru je 39 % z doby trvání testu, respektive vypnutého 61 %. Nejdéle zapnutý motor byl při nastavení udržování SOC akumulátoru na 60 %. V tomto případě motor pracoval 46 % časové délky testovací trasy. Nastavení udržování SOC akumulátoru ovlivňuje využití elektrického pohonu, který je využíván především v městském provozu. Spalovací motor je využit především v dálničním provozu a také v případech, kdy elektrický pohon není schopný dodat požadovaný výkon.

3.1 Vliv nastavení jízdního režimu na emise NO, CO₂ a spotřebu paliva

Kvantitativní výsledky RDE testu PHEV jsou uvedeny v tabulce č. 1. Průměrná rychlost ze všech jízd byla 58,17 km·h⁻¹ s průměrnou odchylkou ±0,2 km·h⁻¹. Tato skutečnost prokazuje velkou podobnost provedení RDE testů. Byly provedeny čtyři testy RDEs různým nastavením jízdních režimů, kdy test začínal vždy s plně nabitým vysokonapěťovým akumulátorem. První test proběhl s nastavením udržování SOC na 60 % kapacity. Další testy na 40 % a 20 %. Poslední test proběhl v automatickém hybridním módu. Rozdílné nastavení jízdního režimu na stejné trase poskytlo odlišné výsledky spotřeby paliva a emisí výfukových plynů.

Tab. 1. Emisní faktory v závislosti na nastavení jízdního režimu

	Jízdní režim			
	Automatický hybridní mód	100 – 60 %	100 – 40 %	100 – 20 %
NO [mg·km ⁻¹]	12,8	9,99	2,94	3,55
CO ₂ [g·km ⁻¹]	94,13	112,85	93,62	87,99
Spotřeba paliva [l·100 km ⁻¹]	4,08	4,88	4,05	3,81
Průměrná rychlost jízdy [km·h ⁻¹]	57,93	58,57	58,10	58,07
SOC na konci testu	26 %	56 %	42 %	32 %
Podíl spuštěného motoru	36,8 %	46 %	35,5 %	37,8 %

Naměřené emise NO z výfukových plynů jsou značně nižší než limity NO_x v homologaci Euro 6 (60 mg·km⁻¹ WLTC a 85,8 mg·km⁻¹ v RDE testu). Z porovnání reálných emisních faktorů vyplývá, že nejvyšší hodnoty bylo dosaženo při automatickém hybridním módu, a to 12,8 mg·km⁻¹. Naopak při nastavení udržování SOC na 40% byl zjištěn nejnižší emisní faktor NO 2,94 mg·km⁻¹. Při tomto nastavení byla zároveň zjištěna nejnižší průměrná teplota výfukových plynů. Průměr za všechna měření činí 7,32 mg·km⁻¹. Z hlediska jízdního provozu dosahoval dálniční provoz několika násobně vyšších hodnot emisního faktoru NO, v porovnání s městským a mimo městským provozem. Na obrázku 5 vlevo je zobrazen rozložení momentního toku NO na měřené trase.

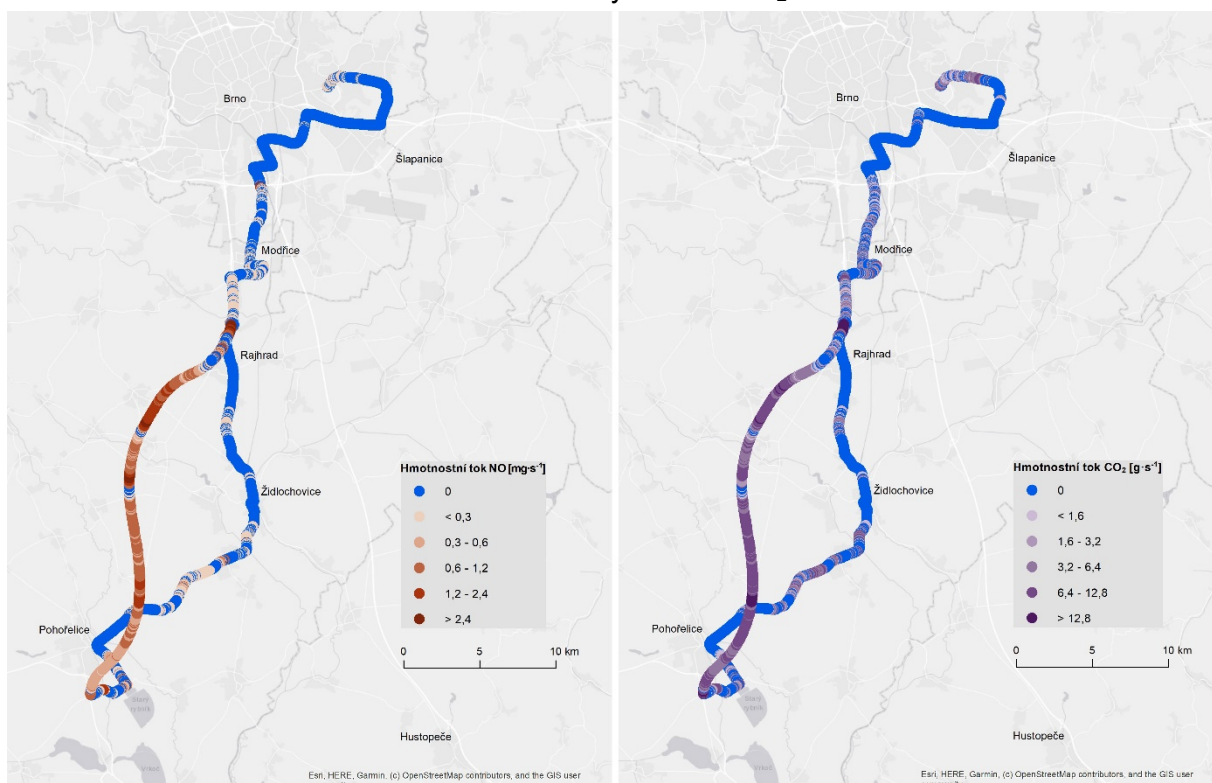
Srovnání ukazuje průměrnou spotřebu paliva 4,21 l·100 km⁻¹ během všech měření. Spotřeba paliva se pohybovala v rozmezí 3,81 l·100 km⁻¹ při nastavení udržování SOC na 20 % až 4,88 l·100 km⁻¹ při udržování SOC na 60 %. Tento rozdíl 22 % ve spotřebě paliva je zapříčiněn větším využitím elektrického pohonu, kde rozdíl v SOC akumulátoru na konci trasy činil 24 % kapacity akumulátoru. Intenzivnější používání spalovacího motoru zároveň zapříčiňuje vyšší spotřebu a emise CO₂, které zcela korelují s naměřenou spotřebou paliva.

U měřeného PHEV vozidla jsou v technickém průkazu (TP) uvedeny hodnoty emisních faktorů a spotřeby dle WLTP testu a emisní limit EURO 6, (2018/1832AM). Hodnota emisního faktoru CO_2 dle TP je $32 \text{ g}\cdot\text{km}^{-1}$ a spotřeba benzínu $1,4 \text{ l}\cdot 100 \text{ km}^{-1}$. Naměřené průměrné hodnoty v této studii při měření v reálném provozu jsou násobně vyšší. Naměřená průměrná spotřeba $4,21 \text{ l}\cdot 100 \text{ km}^{-1}$ je 3x vyšší než průměrná spotřeba v TP. Průměrné naměřené emise CO_2 $97,15 \text{ g}\cdot\text{km}^{-1}$ jsou 3,05x vyšší než emise CO_2 dle WLTP.

Zejména v městském úseku trasy vykazuje vozidlo vysoký podíl elektrické jízdy, což vede k nízkému podílu emisí CO_2 $44,81 \text{ g}\cdot\text{km}^{-1}$ v tomto úseku. Pro mimoměstské rychlosti je spalovací motor spouštěn častěji, ale spotřeba paliva, respektive emise CO_2 $95,36 \text{ g}\cdot\text{km}^{-1}$ jsou stále relativně nízké v důsledku méně dynamických změn rychlosti a nízkých požadavků na výkon vozidla. Spalovací motor se spouštěl především v dálničním úseku, kde dosahoval vysoké spotřeby a emisí CO_2 $173,43 \text{ g}\cdot\text{km}^{-1}$. Tento vliv spuštěného motoru a vysokého požadavku výkonu na rozložení hmotnostního toku CO_2 , je znázorněn na obrázku č. 5 vpravo.

Celkový dopad volby jízdního režimu na využití spalovacího motoru v porovnání s využitím elektromotoru a akumulátoru na měřené trase je z naměřených dat znatelný. Zajímavostí je, že při nastavení udržování SOC na 40 % a při nastavení automatického hybridního módu jsou spotřeba paliva a emisní faktor CO_2 srovnatelné, ale SOC na konci testu je o 16 % nižší v neprospěch automatického hybridního módu, stejně tak jako o více než 4x vyšší emisní faktor NO.

Obr. 5. Rozložení hmotnostního toku sledovaných NO a CO_2 na trase RDE



4. Závěr

Hlavním cílem studie bylo odpovědět na otázku, jak se vozidla PHEV chovají při reálných silničních testech a různých jízdních režimech, zejména pokud jde o emise CO₂ a NO a spotřebu paliva. Z výsledků testu RDE je patrné, že nastavení různých jízdních režimů automobilu PHEV ovlivňuje emise CO₂ a NO a spotřebu paliva. Při plánování kratších tras lze vhodnou volbou jízdního módu dosáhnout nižší spotřeby paliva a emisí než v automatickém hybridním módu. Udržování vysokého stavu nabití baterie, respektive klesající podíl elektrické jízdy zvyšuje spotřebu paliva i emise CO₂ a NO.

Vzhledem k tomu, že současná PHEV vozidla mají obvykle dostatečný elektrický dojezd pro uspokojení každodenních potřeb velké části řidičů, mají značný potenciál snížit místní emise a zároveň pohodlně vyhovět při potřebě dlouhých cest. Avšak reálný dojezd na elektrický pohon, v závislosti na profilu trasy, může být i výrazně nižší než udávaná hodnota naměřena dle WLTP. Zároveň průměrná spotřeba paliva a emisí NO, CO₂ může být násobně vyšší než hodnoty dle WLTP. Vhodnou volbou jízdního módu při plánování trasy lze dosáhnout nižších emisí než v automatickém hybridním módu. V neposlední řadě je použití elektrického pohonu, rekuperace a dobíjení vnitřního akumulátoru určeno provozní strategií výrobce. Tyto faktory se u jednotlivých výrobců PHEV liší. To vede k rozdílům ve spotřebě energie a potenciálnímu snížení emisí výfukových plynů, což je třeba zohlednit při hodnocení potenciálních přínosů PHEV pro životní prostředí. Proto se tento článek zabýval vlivem volby jízdního režimu a také potenciálním rozsahem emisních faktorů v závislosti na jízdních podmínkách.

Literatura

- [1] Cistadoprava.cz: Registrace nových vozidel [online]. Brno: CDV, 2022 [cit. 2022-09-06]. Dostupné z: <https://www.cistadoprava.cz/vozidla-evropska-unie/>
- [2] LANE, B.W., DUMORTIER, J., CARLEY, S., SIDDIKI, S., CLARK-SUTTON, K.; GRAHAM, J.D. All plug-in electric vehicles are not the same: Predictors of preference for a plug-in hybrid versus a battery-electric vehicle. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* [online]. 2018, **65**, 1-13. ISSN 13619209. Dostupné z: doi:10.1016/j.trd.2018.07.019
- [3] FREY, H. CH., ZHENG, X., HU, J., Variability in Measured Real-World Operational Energy Use and Emission Rates of a Plug-In Hybrid Electric Vehicle. *Energies* [online]. 2020, **13**(5). Issn 1996-1073. Dostupné z: doi:10.3390/en13051140.
- [4] Nařízení komise (ES) č. 2017/1151 ze dne 1. června 2017 kterým se doplňuje nařízení Evropského parlamentu a rady (ES) č. 715/2007 o schvalování typu motorových vozidel z hlediska emisí z lehkých osobních vozidel a z užitkových vozidel (Euro 5 a Euro6) a z hlediska přístupu k informacím o opravách a údržbě vozidla, mění směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/46/ES, nařízení Komise (ES) č. 692/2008 a nařízení Komise (EU) č. 1230/2012 a zrušuje nařízení Komise (ES) č. 692/2008. In: *Úřední věstník*. Evropská unie, 2017, ročník 60, L175.
- [5] ŠPIČKA, L., ČERVINKA, O., HAVLÍČEK, M., LIČBINSKÝ, R., PELIKÁN, L., POUL, A. *Stanovení a evaluace rozšířených emisních charakteristik lehkých vozidel v reálném provozu*. Brno: Centrum dopravního výzkumu, 2021.
- [6] HUZLÍK, J., JEDLIČKA, J., ČERVINKA, O., KUPČÍK, Z. *Metodika pro stanovení emisních faktorů motorových vozidel v provozu*. Brno: Centrum dopravního výzkumu, 2014.

- [7] ŠPIČKA, L., HUZLÍK, J., JEDLIČKA, J., PÁVKOVÁ, A., PELIKÁN, L., ŠTĚRBA, P., TICHÝ, J., TÖGEL, M. *Metodika stanovení emisních faktorů a celkových provozních nákladů těžkých vozidel*. Brno: Centrum dopravního výzkumu, 2014.
- [8] EHRENBERGER, S.I., KONRAD, M., PHILIPPS, F., Pollutantemissionsanalysisofthreeplug-inhybridelectricvehiclesusingdifferentmodesofoperation and drivingconditions. *Atmospheric Environment*[online]. 2020, 234. ISSN 13522310. Dostupné z: doi:10.1016/j.atmosenv.2020.117612
- [9] HLAVŇA, V., KUKUČA, P., ISTEŇÍK, R., LABUDA, R., LIŠČÁK, Š. *Dopravný prostriedok – jeho motor*. Žilina: Žilinská univerzita, 2003, 442 s. ISBN 80-8070-046-X.

Poděkování

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

Comparison of real driving emissions of a plug-in hybrid vehicle at different levels of battery charge maintenance settings

Adam Poul, Libor Spicka

Transport Research Centre

Líšeňská 33a, 636 00 Brno

Czech Republic

e-mail: adam.poul@cdv.cz

Abstrakt

PHEVs (plug-in hybrid electric vehicles) are considered to be energy and environmentally friendly, but these conclusions are rarely verified in real driving tests. PHEVs can usually be set up in several driving modes in terms of hybrid driving, powertrain use and high-voltage battery. In order to evaluate energy consumption, CO₂ and NO exhaust emissions in real driving, one production PHEV was tested. The results of the Real Driving Emissions (RDE) test show that setting different driving modes affects CO₂ and NO emissions and fuel consumption. By choosing the appropriate driving mode when planning a route, lower fuel consumption and emissions can be achieved. Maintaining a high battery charge or decreasing the proportion of electric driving increases fuel consumption as well as CO₂ and NO emissions.

Nízkonákladové senzory pro měření kvality ovzduší

Pavel Chaloupecký, Zbyněk Novák

ENVltech Bohemia s.r.o.

Ovocná 34/1021, 161 00 Praha 6

e-mail: chaloupecky@envitech-bohemia.cz

Abstrakt

Měření kvality ovzduší za účelem rozhodnutí, zda jsou dodržovány legislativou stanovené imisní limity by měla být vždy realizována legislativou definovanými postupy. Ale v případě, kdy je cílem porovnání dvou stavů vůči sobě navzájem či vyhodnocení trendu, pak se jeví jako velmi výhodné využít levnějších alternativ měření, jako jsou např. nízkonákladové senzory. Obecně je nízkonákladovým sensorům v posledních letech věnována značná pozornost, a to jak autoritami zajišťujícími měření kvality ovzduší v souladu s legislativními předpisy, tak podobě vědeckých studií univerzitních týmů či výzkumných center. Vzhledem k diferenciálnímu chování sensorů různých výrobců v reálném prostředí a k složitosti problematiky okolo kontroly kvality dat a udržitelnosti měření senzory žádná z výše uvedených autorit či institucí zatím nedefinovala jednotné metodické postupy pro nakládání s touto technologií.

Tento cíl si neklade ani předkládaná metodika. Ta byla pojata jako seznámení uživatele se správnou aplikací a manipulací se sensorickou jednotkou enviSENS, vyvinutou v rámci řešení projektu TH03030278 „Aplikace nízkonákladových sensorů pro měření kvality ovzduší v souvislosti s dopravními opatřeními“ včetně popisu základních principů fungování, vyhodnocování dat a doporučených aplikací.

Low-cost sensors for air quality monitoring

Pavel Chaloupecky, Zbynek Novak

ENVltech Bohemia s.r.o.

Ovocná 34/1021, 161 00 Praha 6

e-mail: chaloupecky@envitech-bohemia.cz

Abstract

The implementation of air quality measurements to determine compliance with air quality limits should always be carried out in accordance with procedures defined by legislation. However, in the case where the aim is to compare two conditions with each other or to evaluate the trend, then it seems very advantageous to use cheaper measurement alternatives, such as low-cost sensors. In general, low-cost sensors have received considerable attention in recent years, both by the authorities ensuring the measurement of air quality in accordance with legislative regulations and in the form of scientific studies of university teams or research centers. Due to the differential behavior of sensors from different manufacturers in the real environment and the complexity of the issue of data quality control and sustainability of sensor measurements, none of the above authorities or institutions have yet defined uniform methodological guideline for dealing with this technology.

The presented methodology does not achieve this goal either. This was conceived as guideline for users for correct application and handling of the enviSENS sensor unit, developer within the project TH03030278 "Application of low-cost sensors for measuring air quality in connection with traffic measures", including a description of basic operating principles, data evaluation and recommended applications.

Multisenzorová kampaň v Brně: Projekt ICARUS

Ondřej Mikeš, Céline Degrendele

RECETOX, Masarykova Univerzita, Přírodovědecká fakulta

Kamenice 753/5, 625 00 Brno

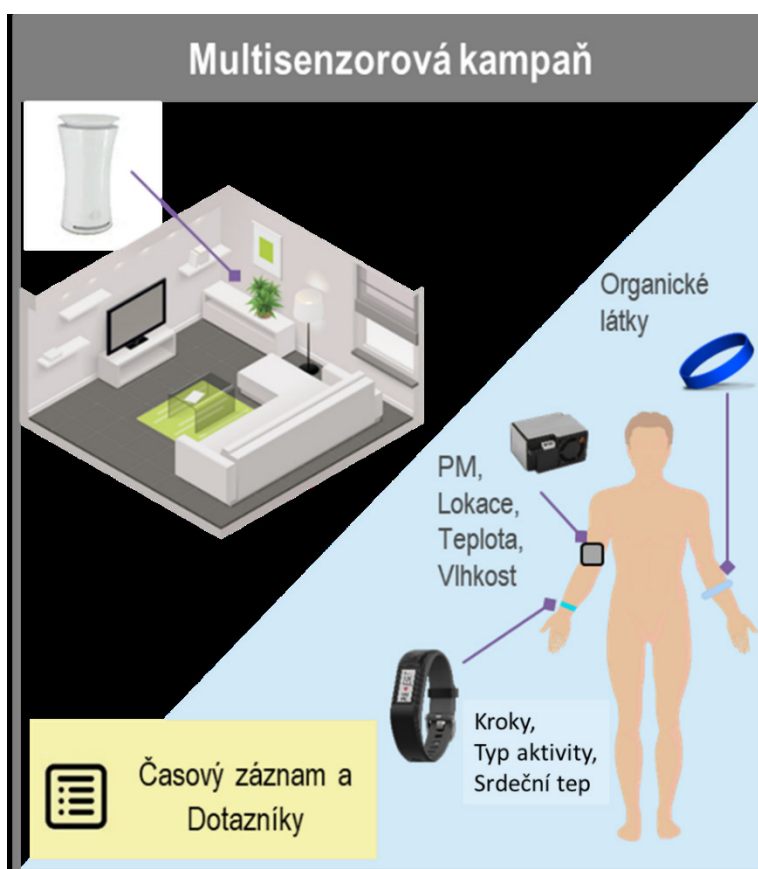
e-mail:ondrej.mikes@recetox.muni.cz

Abstrakt

Projekt ICARUS, financovaný z evropského fondu H2020 (Integrated Climate forcing and Air pollution Reduction in Urban Systems) měl za úkol kvantitativně posoudit dopad současných a alternativních národních a místních politik na snižování emisí skleníkových plynů a zlepšování kvality ovzduší pomocí přístupu založeného na celém řetězci a vyhodnotit budoucí dopady těchto politik na veřejné zdraví a pohodu v evropských městech. Podrobné informace (reporty) ke všem aspektům projektu jsou volně ke stažení na stránkách www.icarus2020.eu.

Multisenzorová kampaň ICARUS byla součástí tohoto rozsáhlého projektu. Společně se jí zúčastnilo 7 evropských měst (Atény, Basilej, Brno, Lublaň, Madrid, Milán, Soluň) s až 100 občany po dobu 7 dní ve dvou ročních obdobích v roce 2019. Cílem bylo charakterizovat expozici městské populace znečištění ovzduší pomocí přístupu občanské vědy s testováním využití nových senzorů a technologií charakterizujících různá jednotlivá prostředí a aktivity.

Obrázek 1. Schéma multisenzorové kampaně ICARUS



V Reportu D1.3. je podrobně rozepsané hodnocení různých senzorů, které byly zvažované do kampaně. Mezi specifikacemi senzorů jsou uvedeny výsledky různých hodnocení provedených buď výrobcí senzorů, nebo z nezávislých zdrojů. Ke kampani byly vybrány dva komerční přístroje a to, statický senzor pro vnitřní ovzduší (uHoo), který měřil CO, CO₂, VOC, PM_{2.5}, O₃, NO₂, teplotu, relativní vlhkost a tlak vzduchu s minutovou přesností. Jako druhý komerční přístroj byly vybrány chytré hodinky Vivosmart 3 od společnosti Garmin International, které poskytovaly různé informace týkající se fyzické aktivity, např. tepovou frekvenci, počet kroků, "spálené" kalorie, ušlou vzdálenost a úroveň stresu s minutovým rozlišením. V rámci konsorcia projektu vznikl malý přenosný levný senzor IOT založený na Arduinu pro monitorování personální expozice částicím o třech velikostech (<1 μm (PM₁), <2,5 μm (PM_{2.5}) a <10 μm (PM₁₀)) v minutovém rozlišení s GPS senzorem. Účastníci také nosili silikonové náramky, které byly později analyzovány na organické látky.

Kromě senzorů byly každému z účastníků předány dva dotazníky. První z nich informace o osobních demografických údajích, životních návycích, zdravotních a socioekonomických informacích, zatímco druhý, pro každou domácnost, byl více zaměřen na typ a technická specifika jejich obydlí, jako je izolace, topný systém, větrání. Během kampaně byli účastníci rovněž požádáni, aby zaznamenávali informace o typu mikroprostředí (domov, kancelář, práce a dopravní prostředky), aktivitách (volný čas, spánek, sport, práce, vaření, úklid) a vnitřních podmínkách (větrání, používání svíček nebo krbu) pomocí denního časového záznamu s rozlišením jedné hodiny.

Sběr dat byl harmonizován přes všechna města na tzv. ICARUS platformě, kde byla pseudonymně uložena data ze všech senzorů a dotazníků pro všechny kampaně. Po skončení byly účastníkům poskytnuty částečné výsledky a následně souhrnné výsledky harmonizované ve všech městech. Výsledky jsou využívány pro různé výzkumné směry, jako podklad pro realizaci budoucích studií a jako významný komunikační nástroj na úrovních věda-občané a věda-politici.

Multisensor campaign in Brno: Project ICARUS

Ondrej Mikes, Celine Degrendele

RECETOX, Masaryk University

Kamenice 753/5, 625 00 Brno

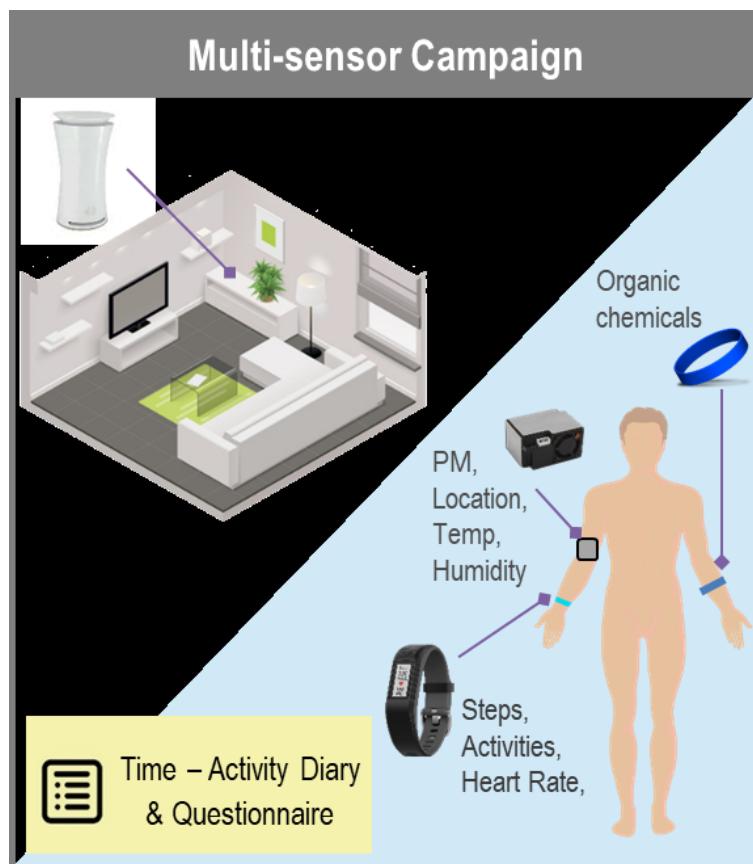
e-mail:ondrej.mikes@recetox.muni.cz

Abstract

The ICARUS project, funded by the European H2020 Fund (Integrated Climate forcing and Air pollution Reduction in Urban Systems), aimed to quantitatively assess the impact of current and alternative national and local policies on reducing greenhouse gas emissions and improving air quality using a whole-chain approach and to evaluate the future impacts of these policies on public health and well-being in European cities. Detailed information (reports) on all aspects of the project are freely downloadable from www.icarus2020.eu.

The ICARUS multi-sensor campaign was part of this large-scale project. Seven European cities (Athens, Basel, Brno, Ljubljana, Madrid, Milan, Thessaloniki) with up to 100 citizens participated per city together for 7 days in two seasons in 2019. The aim was to characterise the exposure of urban populations to air pollution using a citizen science approach, testing the use of new sensors and technologies to characterise different individual environments and activities.

Figure2. Multi-sensor Campaign ICARUS



Report D1.3 details the evaluation of the different sensors that were considered for the campaign. Among the sensor specifications, the results of various evaluations conducted either by the sensor manufacturers or by independent sources are listed. Two commercial

instruments were selected for the campaign namely, a static indoor air sensor (uHoo) that measured CO, CO₂, VOC, PM_{2.5}, O₃, NO₂, temperature, relative humidity, and air pressure with minute accuracy. The second commercial device selected was the Vivosmart 3 smartwatch from Garmin International, which provided a variety of information related to physical activity, such as heart rate, step count, calories "burned", distance walked, and stress level with minute resolution. The project consortium developed a small portable low-cost Arduino-based IOT sensor for monitoring personal exposure to particles of three sizes (<1 µm (PM₁), <2.5 µm (PM_{2.5}) and <10 µm (PM₁₀)) at minute resolution with a GPS sensor. Participants also wore silicone wristbands, which were later analysed for organics. In addition to the sensors, two questionnaires were given to each participant. The first one provided information on personal demographics, living habits, health, and socioeconomic information, while the second one, for each household, was more focused on the type and technical specifics of their dwelling, such as insulation, heating system, ventilation. During the campaign, participants were also asked to record information on the type of micro-environment (home, office, work and means of transport), activities (leisure, sleep, sports, work, cooking, cleaning) and indoor conditions (ventilation, smoking, use of candles or fireplace) using a daily time record with a resolution of one hour.

Data collection was harmonised across all cities on the so-called ICARUS platform, where data from all sensors and questionnaires for all campaigns were stored pseudonymously. After completion, partial results were provided to participants and then aggregated results harmonized across all cities. The results are used for different research topics, as a basis for future studies and as an important communication tool at the science-to-citizen and science-to-policy levels.

BIODOSTUPNOST PRVKŮ A OXIDATIVNÍ POTENCIÁL MĚSTSKÉHO AEROSOLU

Hana CIGÁNKOVÁ¹, Pavel MIKUŠKA¹, Jitka HEGROVÁ²

¹Ústav analytické chemie Akademie Věd České republiky, v. v. i.
Veveří 967/97, 602 00 Brno

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

e-mail:cigankova@iach.cz, mikuska@iach.cz,
jitka.hegrova@cdv.cz

Abstrakt

Atmosférické aerosoly (ParticulateMatter, PM) mají významný dopad na zdraví a životní prostředí [1]. Schopnost aerosolů produkovat reaktivní formy kyslíku (ROS) je jedním z často navrhovaných mechanismů souvisejících s negativními účinky aerosolu na lidské zdraví. Oxidační stres, který je způsobený zvýšenou koncentrací ROS, je spojován s celou řadou kardiovaskulárních a respiračních onemocnění [2,3].

Schopnost aerosolu produkovat ROS je nazývána oxidativní potenciál (OP). Přestože schopnost PM tvořit ROS je dobře korelována s hmotnostní koncentrací PM, může více záviset na fyzikálně-chemických vlastnostech PM [2,3]. Bylo prokázáno, že prvky vázané na PM významně přispívají k OP aerosolu. Expozice prvkům bývá spojena s několika zdravotními problémy (např. respirační a kardiovaskulární onemocnění, astma, zánětlivé procesy, rakovina plic) [4,5].

1. Experimentální část

Odběry vzorků aerosolu (PM₁ a PM_{2,5}) probíhaly paralelně s využitím dvou velkoobjemových vzorkovačů (DHA-80 a DHA-77, Digitel, průtok vzduchu 30 m³·h) umístěných na venkovní terase budovy Ústavu analytické chemie, AV ČR (UIACH). Aerosol byl zachytáván na nitrát celulósový membránový filtr (průměr 150 nm, porozita 3 μm, Stratorius) po dobu 48 hodin. Celkem bylo odebráno 56 vzorků městského aerosolu (28 vzorků PM_{2,5} a 28 vzorků PM₁) během čtyř dvoutýdenních kampaní v průběhu roku 2018.

Navzorkované filtry byly rozděleny na čtvrtiny. První čtvrtina byla analyzována na celkový obsah prvků. Další čtvrtiny byly extrahovány do tří simulovaných plicních kapalin (SLFs): deionizovaná voda (DW), Gambův roztok (GS) a Simulovaná kapalina plicního sklípků (SAF). Extrakce probíhaly 24 hodin při 37 °C. Po extrakci byl vzorek použit na stanovení oxidativního potenciálu a biodostupnosti prvků vázaných na PM. Celková i biodostupná frakce prvků byla stanovena pomocí atomové absorpční spektrometrie nebo ICP-MS.

Oxidativní potenciál byl stanoven pomocí dithiothreitolu (DTT). Část vzorku každého extraktu byla na třepačce s DTT inkubována při 37 °C. Ve zvolených časech byla ke vzorku přidána trichloroctová kyselina, která zastavila oxidaci DTT. Úbytek DTT byl měřen po přidávku 5,5'-dithiobis-2-nitrobenzoové kyseliny (DTNB) a Tris-HCl (pH = 8,9) obsahující EDTA pomocí UV-VIS spektrometru (DU 250, Beckman) při vlnové délce 412 nm.

Oxidativní potenciál byl stejným postupem studován také pro standardní roztoky Cu²⁺, Cu⁺, Mn²⁺, V^V, Co²⁺, Ni²⁺, Cr³⁺, Fe²⁺, Fe³⁺, As^V, As³⁺, Pb²⁺, Zn²⁺, Cd²⁺, Al³⁺, Ba²⁺, Ca²⁺, K⁺, Mg²⁺, Na⁺, Sn²⁺, Se²⁺, Se⁴⁺, Sr²⁺ a Hg²⁺.

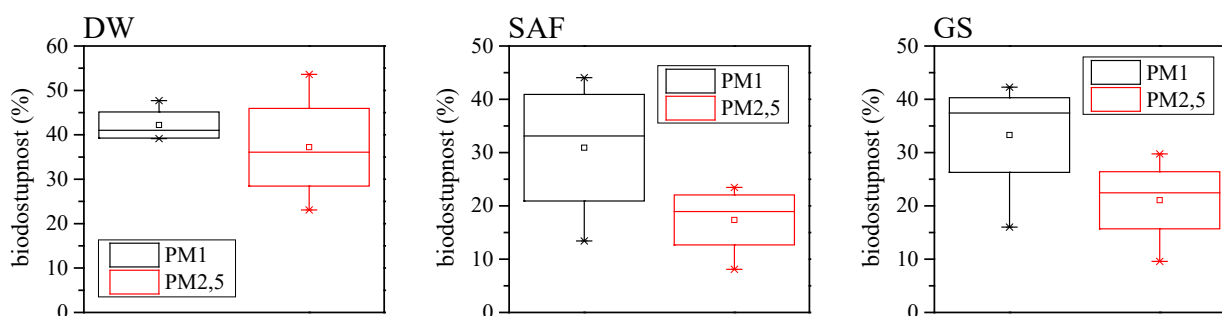
2. Výsledky

Hmotnostní koncentrace PM_1 a $PM_{2,5}$ se lišili v rámci jednotlivých kampaní a pohybovaly v rozmezí $7,2\text{--}32,6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (PM_1) a $9,3\text{--}42,0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ($PM_{2,5}$). Sezónní změny hmotnostních koncentrací souvisí s rozdílnými zdroji a složením PM a meteorologickými podmínkami během jednotlivých kampaní.

Suma hmotnostních koncentrací analyzovaných prvků představovala v PM_1 2,0 % z celkové hmotnosti koncentrace frakce a v $PM_{2,5}$ to bylo v průměru 3,5 % z celkové hmotnostní koncentrace. Analyzované prvky lze rozdělit podle jejich průměrných celoročních koncentrací na skupiny dominantních, majoritních a minoritních prvků. Ve frakci $PM_{2,5}$ byly 4 dominantní prvky (Al, Fe, K, Na), 3 majoritní (Ca, Mg, Zn) a 14 minoritních (As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Ti, V). Ve frakci PM_1 byl 1 dominantní prvek (K), 5 majoritních (Al, Ca, Fe, Na, Zn) a 15 minoritních (As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mg, Mn, Ni, Pb, Sb, Sn, Ti, V). Rozdělení prvků se v rámci jednotlivých sezón může měnit, jelikož koncentrace prvků v aerosolu je ovlivněna mnoha faktory.

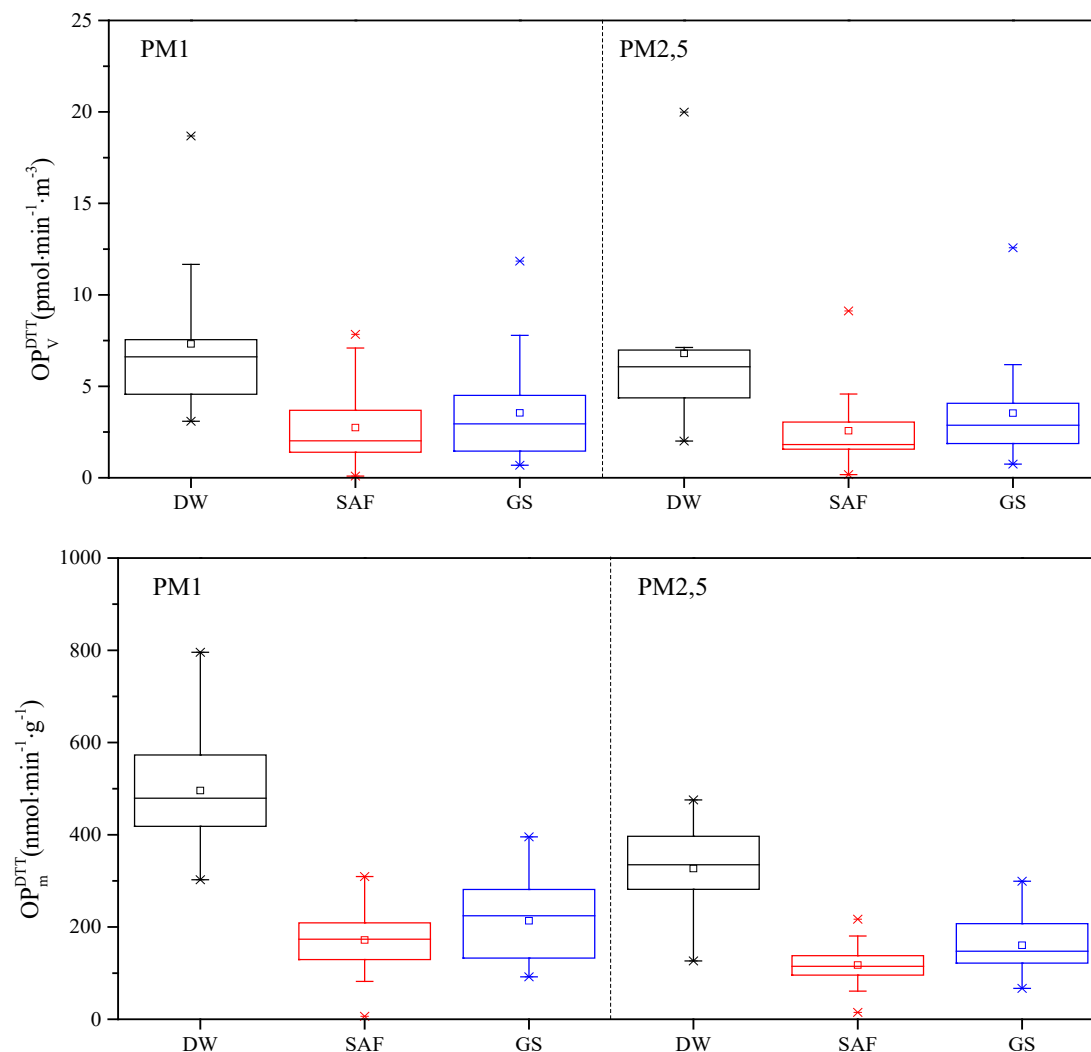
Na Obr. 1 jsou porovnány hodnoty biodostupnosti sumy studovaných prvků v PM_1 i $PM_{2,5}$ pro tři studované SLF. Biodostupnost prvků se pro jednotlivé SLF lišila vlivem chemického složení SLF. Nejvyšší biodostupnost byla změřena pro deionizovanou vodu, jejíž složení je nejjednodušší. Biodostupnost prvků pro PM_1 částice byla ve všech studovaných tekutinách vyšší než pro $PM_{2,5}$ částice.

Obr. 1. Porovnání biodostupnosti sumy studovaných prvků v deionizované vodě (DW), simulované tekutině plicních sklípků (SAF) a Gamblově roztoku (GS) pro PM_1 a $PM_{2,5}$.



Výsledný oxidativní potenciál vzorků jemné i submikronové frakce PM byl normalizován dvěma způsoby: objemově (OP_V^{DTT} , $\text{pmol}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{m}^{-3}$) a hmotnostně (OP_m^{DTT} , $\text{nmol}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$). Na Obr. 2 je zobrazeno porovnání průměrných hodnot OP_V^{DTT} a OP_m^{DTT} všech vzorků odebraných v průběhu vzorkovacích kampaní ve třech různých SLF pro PM_1 a $PM_{2,5}$ částice. Průměrné hodnoty OP_V^{DTT} byly mírně vyšší u vzorků submikronové frakce než u vzorků jemné frakce. Při porovnání OP_m^{DTT} pro jednotlivé frakce byly rozdíly mezi submikronovou a jemnou frakcí výrazně vyšší. Výsledný OP se také liší v závislosti na použité SLF.

Obr. 2. Srovnání hodnot průměrného OP_V^{DTT} a OP_m^{DTT} pro submikronovou (PM_1) a jemnou ($PM_{2,5}$) frakci aerosolu ve zkoumaných simulovaných plicních tekutinách.



Z měřených standardních chroztoků nejvíce k OP přispívaly Cu^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{3+} and Zn^{2+} . Další prvky přispívaly méně (Cd^{2+} , Fe^{2+} , V^{5+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Cr^{3+} , As^{5+} , Pb^{2+}) nebo vůbec (Al^{3+} , Ba^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Na^+ , Sn^{2+} , Se^{2+} , Se^{4+} , Sr^{2+} , Hg^{2+} , Cu^+ and As^{3+}).

3. Závěr

Průměrná roční hmotnostní koncentrace městského aerosolu byla pro $PM_{2,5}$ $20,8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a pro PM_1 $14,8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Největší rozdíly byly zaznamenány mezi zimní a letní kampaní, kdy byly hmotnostní koncentrace PM_1 i $PM_{2,5}$ v průběhu zimní kampaně více než dvojnásobné oproti letní kampani.

Suma koncentrací analyzovaných prvků představovala relativně malou část celkové hmotnostní koncentrace částic. Koncentrace prvků v průběhu kampaní byly proměnlivé, jelikož koncentrace prvků závisí na mnoha faktorech, které se v průběhu ročních období mění. Prvky pocházející z antropogenních zdrojů vykazovaly vyšší koncentrace v chladnějších ročních obdobích, zatímco prvky pocházející spíše z přírodních zdrojů vykazovaly vyšší koncentrace v průběhu teplejších ročních období. Také zastoupení jednotlivých prvků v rámci frakcí bylo proměnlivé. Prvky

z antropogenních zdrojů byly více zastoupeny v PM₁ frakci, zatímco kovy pocházející z přírodních zdrojů byly více zastoupeny v PM_{2,5} frakci.

Biodostupnosti prvků se lišily v závislosti na velikosti frakce aerosolu, době odběru PM v průběhu roku a složení plicních tekutin. Vyšší biodostupnost prvků v PM₁ frakci než v PM_{2,5} frakci potvrzuje, že PM₁ zasluhuje větší pozornost než PM s větší velikostí částic. Kromě schopnosti PM₁ frakce pronikat hlouběji do plic jsou složky PM₁ také více biodostupné, a proto představují vážnější zdravotní riziko než prvky vázané na větší částice.

Oxidativní potenciál PM částic byl studován metodou DTT testu a byl normalizován dvěma způsoby: objemově a hmotnostně. Výsledky hmotnostně a objemově normalizovaného oxidativního potenciálu PM₁ a PM_{2,5} frakce naznačují, že DTT test je citlivější na redox-aktivní složky v submikronové frakci. OPDTT obou velikostních frakcí aerosolu byl výrazně vyšší při extrakci filtrů do deionizované vody v porovnání s ostatními SLF. Nižší hodnoty oxidativního potenciálu v Gamblově roztoku a SAF byly pravděpodobně způsobeny interakcí mezi některými složkami tekutin a redox-aktivními složkami částic.

Pro detailnější identifikaci prvků ovlivňujících oxidativní potenciál částic byla měřena rychlost úbytku DTT pro standardní roztoky prvků. Měřením standardních roztoků prvků byl potvrzen příspěvek Cu, Mn, V, Co, Ni, Zn, Cr, Fe, Pb, Zn a As k oxidativnímu potenciálu.

Literatura

- [1] Gao P., Guo H., Zhang Z., Ou C., Hang J., Fan Q., He C., Wu B., Feng Y., Xing B.: Environ. Pollut. 242, 1669-1677 (2018).
- [2] Patel A., Rastogi N.: Atmospheric Environ. 175, 127-134 (2018).
- [3] Wong J. P. S., Tsagkarakaki M., Tsiodra I., Mihalopoulos N., Violaki K., Kanakidou M., Sciare J., Nenes A., Weber R. J.: Environ. Sci. Technol. 53, 12 (2019).
- [4] Huang H., Jiang Y., Xu X., Cao X.: Sci. Total Environ. 610-611, 546-554 (2018).
- [5] Liu X., Ouyang W., Shu Y., Tian Y., Feng Y., Zhang T., Chen W.: Environ. Pollut. 254, 113113 (2019).

Poděkování

Tento příspěvek byl vytvořen se státní podporou Grantové agentury České republiky v rámci grantu P503/20/02203S a také s finanční podporou Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky v rámci programu Národní udržitelnosti I, projektu Centra dopravního výzkumu (LO1610) a na výzkumné infrastruktuře pořízené z Operačního programu Výzkumu a vývoje pro inovace (CZ.1.05/2.1.00/03.0064).

ELEMENTS' BIOACCESSIBILITY AND OXIDATIVE POTENTIAL OF URBAN AEROSOL

Hana Cigankova¹, Pavel Mikuska¹, Jitka Hegrova²

¹*Institute of Analytical Chemistry of the CAS, v. v. i., Brno, Czech Republic*

Veveří 967/97, 602 00 Brno

²*Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.*

Líšeňská 33a, 636 00 Brno

e-mail:cigankova@iach.cz

Abstract

Atmospheric aerosols (Particulate Matter, PM) have significant impact on health and environment [1]. The ability of aerosol to produce reactive oxygen species (ROS) is one of the widely proposed mechanisms related to the negative effects of aerosol on human health. Oxidative stress, caused by the production of ROS, is associated with several cardiovascular and respiratory diseases [2,3].

The capacity of aerosol to produce ROS is also called oxidative potential (OP). Although ROS generation capacity of PM exhibits a good correlation with PM mass concentration, it may depend more on physico-chemical properties of PM [2,3]. Elements bound to PM play a significant role in contributing to the OP of aerosol. Exposure to elements was linked with several health issues (e.g. respiratory and cardiovascular diseases, asthma, inflammatory effects, lung cancer) [4,5].

Monitoring ovzduší v Jihomoravském kraji a na Vysočině

**Radek Vít, Roman Ličbinský, Martina Bucková, Karel Effenberger,
Josef Svoboda**

*Centrum dopravního výzkumu v.v.i.
Líšeňská 2657/33a, 636 00Brno
e-mail:radek.vit@cdv.cz*

Abstrakt

Polycyklické aromatické uhlovodíky mají závažné dopady na zdraví člověka. Jejich zdroj jsou spalovací procesy jako například lokální topeniště, průmysl, či doprava. Mezi polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU) řadíme také Benzo[a]pyren, který je prokázaným lidským karcinogenem. Jeho koncentrace na mnoha měřicích stanicích imisního monitoringu v České republice překračují imisní limit daný zákonem č. 201/2012 Sb. Odběry vzorků byly realizovány v průběhu měsíců ledna až dubna 2022 celkem na 120 lokalitách Jihomoravského kraje a Kraje Vysočina. Na každé z lokalit probíhaly 14denní odběrové kampaně. Vzorky byly gravimetricky analyzovány pro zjištění koncentrací aerosolových částic frakce PM₁₀. Následně v nich byl stanoven obsah PAU, včetně Benzo[a]pyrenu. Na vybraných lokalitách probíhala kontinuální měření plynných znečišťujících látek, konkrétně oxidu dusičitého (NO₂). Na těchto vybraných lokalitách byly měřeny také meteorologické parametry, jako jsou teplota, rychlost a směr větru, atmosférický tlak a relativní vlhkost vzduchu. Nejvyšší koncentrace Benzo[a]pyrenu a polycyklických aromatických uhlovodíků byly měřeny na lokalitách Louka (Jihomoravský kraj) a Ledeč nad Sázavou (Kraj Vysočina). K překročení hodnoty imisního limitu pro koncentrace Benzo[a]pyrenu došlo celkem na 58 lokalitách.

1. Úvod

Článek vznikl na základě dílčích výsledků projektu Detailní monitoring polycyklických aromatických uhlovodíků v návaznosti na zpřesnění plánu zlepšení kvality ovzduší zóny Jihovýchod CZ06Z 2020+ (PAUPZKO). Finančně podpořen byl z výzvy 2A „Tromso“ z programu „Životní prostředí, ekosystémy a změna klimatu“ financovaného z Norských fondů. Jak již název projektu napovídá, hlavní motivací řešení projektu je zpřesnit již existující programy ke zlepšení kvality ovzduší pro Jihomoravský kraj a Kraj Vysočina, díky realizaci rozsáhlých odběrových a měřicích kampaní. Výsledkem projektu budou zpracované akční plány pro Jihomoravský kraj a Kraj Vysočina, s navržením vhodných opatření ke snížení koncentrací Benzo[a]pyrenu. Realizace projektu probíhá od května 2021 do dubna 2024.

2. Metody měření

Odběry vzorků probíhaly po dobu 24 hodin dle odběrového kalendáře ČHMÚ za využití vzorkovačů SVEN LECKEL SEQ 47/50-CD a SVEN LECKEL MVS6 (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 Quadrupole Agilent GC/QQQ 7000C (Agilent Technologies, Inc., Německo)[1]. Podle této metodiky byly měřeny i koncentrace ostatních PAU.

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 dusičitý (NO₂) referenční metodou podle české technické normy ČSN EN 14211: 2014 „Kvalita ovzduší – Normovaná metoda stanovení oxidu dusičitého a oxidu dusnatého na principu chemiluminiscence“.

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

3. Vybrané lokality

Výběr lokalit pro odběry vzorků byl proveden na základě velikosti obce/města, kategorii vytápění a počtu obydlí na tuhá paliva, vlivu velkého a středního zdroje znečišťování, vlivu silniční komunikace, charakteru okolí (zakřivení reliéfu – rovina, údolí, vrcholová poloha). V každém z krajů byly poté vybrány obce podle jejich umístění podle zvláště chráněných území z pohledu ochrany přírody a krajiny, konkrétně 3 lokality chráněné oblasti přirozené akumulace vod, 2 lokality chráněné krajinné oblasti a 3 evropsky významné lokality. Celkem bylo vybráno 120 obcí, 60 v Jihomoravském kraji a 60 v Kraji Vysočina.

Na každé z lokalit dojde v průběhu realizace projektu ke třem 14denním odběrovým kampaním v režimu zima/léto/zima, s termíny odběrů dle odběrového kalendáře ČHMÚ. Na 4 lokalitách v každém kraji jsou dále měřeny plynné znečišťující látky. V případě lokalit Veselí nad Moravou (JMK) a Červená Řečice (VYS) probíhají tato měření po dobu 3 měsíce.

Umístění přístrojové techniky na lokalitách bylo prováděno tak, aby nebyly ovlivněny dopravou, případně lokálními průmyslovými zdroji.

Měření probíhala na níže uvedených lokalitách pro Jihomoravský kraj:

Veselí nad Moravou, Bučovice, Hrubá Vrbka, Nová Lhota, Tasov, Louka, Velká nad Veličkou, Domanín, Hodonín, Čejkovice, Lovčice, Dambořice, Ratíškovice, Bzenec, Břeclav, Lanžhot, Diváky, Lednice, Hustopeče, Pavlov, Tišnov, Lomnice, Skryje, Lažánky, Rozdrojovice, Olešnice, Lysice, Vyškov, Blansko, Boskovice, Rousínov, Letovice, Sloup, Bukovinka, Adamov, Křtiny, Úsobno, Šošůvka, Krásensko, Hostěnice, Lukov, Ivančice, Rosice, Vranov nad Dyjí, Vratětin, Horní Kounice, Vranovská Ves, Znojmo, Mikulov, Šlapanice, Moravský Krumlov, Pohořelice, Židlochovice, Jaroslavice, Hevlín, Žerotice, Břežany, Brod nad Dyjí, Sokolnice, Tasovice.

A také na níže uvedených lokalitách pro Kraj Vysočina:

Brtnice, Třebíč, Náměšť nad Oslavou, Velká Bíteš, Okříšky, Svatoslav, Valdívka, Telč, Velké Meziříčí, Moravské Budějovice, Hrotovice, Jemnice, Mohelno, Jaroměřice nad Rokytnou, Želetava, Řásná, Dolní Vilímeč, Dešov, Otín, Měřín, Třešť, Pacov, Kamenice nad Lipou, Černovice, Žirovnice, Černov, Sázava, Červená Řečice, Humpolec, Lukavec, Hradec, Ledec nad Sázavou, Rantířov, Havlíčkův Brod, Jihlava, Pelhřimov, Světlá nad Sázavou, Polná, Kochánov, Jamné, Jimramov, Bystřice nad Perštejnem, Vír, Nové Město na Moravě, Mílový, Fryšava pod Žákovou Horou, Herálec, Přibyslav, Žďár nad Sázavou, Golčův Jeníkov, Chotěboř, Sobíňov, Spálava, Radostín, Kadolec, Bohdalov, Horní Rozsívka, Krásnéves, Horní Krupá, Kámen.

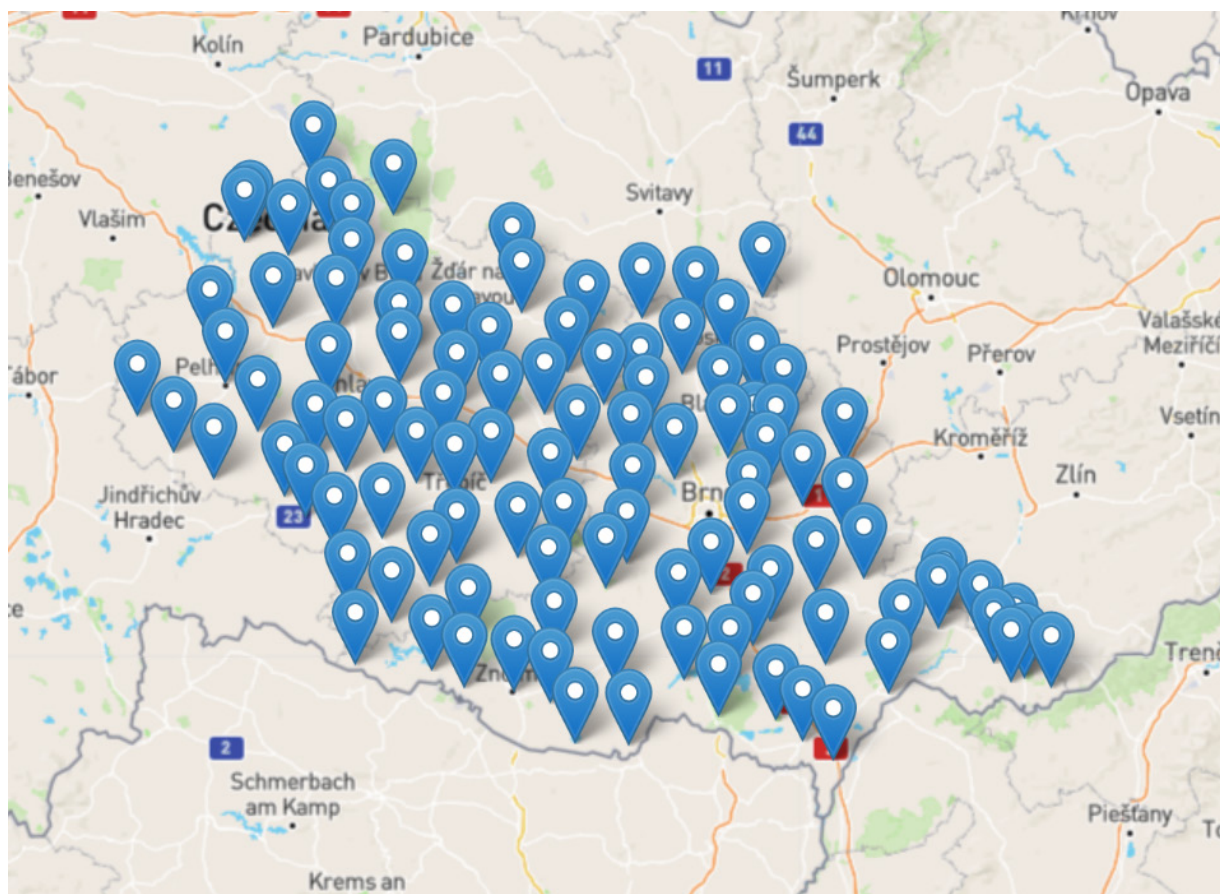
Na Obr. 1 vidíme příklad instalace měřicí techniky na lokalitách (zde lokality Tišnov a Olešnice). Obr. 2 znázorňuje veškerá měřicí místa v Jihomoravském kraji a v Kraji Vysočina.

Obr. 1: Použitá měřicí technika



Zdroj: CDV

Obr. 2: Mapa všech měřících lokalit na území Jihomoravského kraje a Kraje Vysočina



Zdroj: <https://monitoringpau.cz/>

4. Výsledky a diskuse

Odběry na jednotlivých lokalitách byly uskutečněny v termínu od 18. ledna do 15. dubna 2022. Vždy v průběhu 14denní odběrové kampaně bylo získáno šest exponovaných quartzových filtrů pro následnou gravimetrickou analýzu a analýzu obsahu PAU (vč. BaP). Tímto způsobem bude dále odebráno a analyzováno v průběhu řešení projektu celkem 2160 vzorků (zima 2022/léto 2022/zima 2023). Současně probíhala na vybraných lokalitách kontinuální měření dalších znečišťujících látek v ovzduší. Níže prezentované výsledky PAU, BaPa NO₂ byly získány z první zimní etapy měření.

Pro účely projektu, publicitu a prezentaci výsledku byl vytvořen web, který je dostupný na adrese monitoringpau.cz. Na tomto webu jsou pravidelně aktualizovány informace o projektu a průběžné výsledky jednotlivých kampaní.

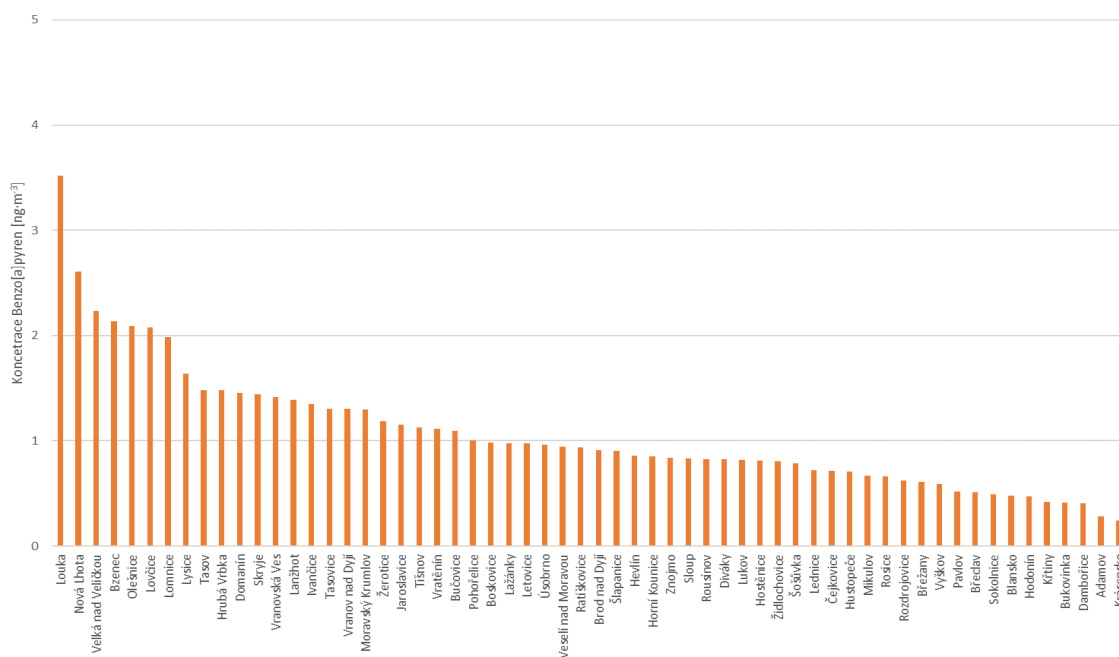
Průměrné koncentrace měřených znečišťujících látek byly porovnány s legislativními limity [2], [3].

4.1. Benzo[a]pyren

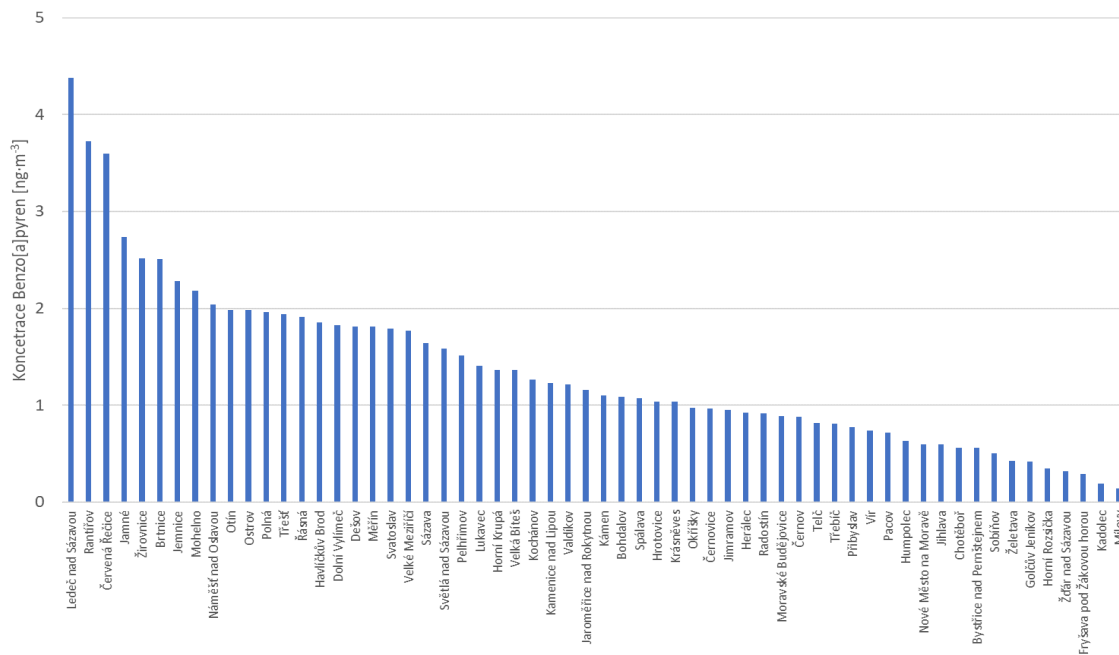
V průběhu měření na vybraných lokalitách došlo, během první zimní etapy, k překročení hodnoty imisního limitu pro BaP (roční imisní limit pro BaP je stanoven na 1 ng·m⁻³) na 58 ze 120 lokalit. Srovnání s imisním limitem bylo provedeno s průměrnou hodnotou koncentrace BaP na každé lokalitě (průměr 6 odebraných vzorků). Nejvyšší průměrné koncentrace po dobu první zimní etapy byly analyzovány na lokalitě Ledec nad Sázavou (Kraj Vysočina) a Louka (Jihomoravský kraj). Obecně vyšší koncentrace byly analyzovány v případě Kraje Vysočina.

Na Obr. 3 a Obr. 4 jsou zobrazeny průměrné koncentrace BaP za první zimní etapu. Grafy jsou vytvořeny na základě příslušností obcí k jednotlivým krajům. Z grafů je zřejmé, že vyšší koncentrace BaP byly analyzovány v menších obcích, naopak v případě větších obcí a měst vidíme nižší koncentrace. To lze vysvětlit vlivem lokálních topenišť, kdy na rozdíl od větších obcí a měst nejsou vytápěny rozvody tepla z centrálních tepláren a každé z obydlí má vlastní zdroj tepla.

Obr. 3: Průměrné koncentrace BaP na lokalitách v Jihomoravském kraji



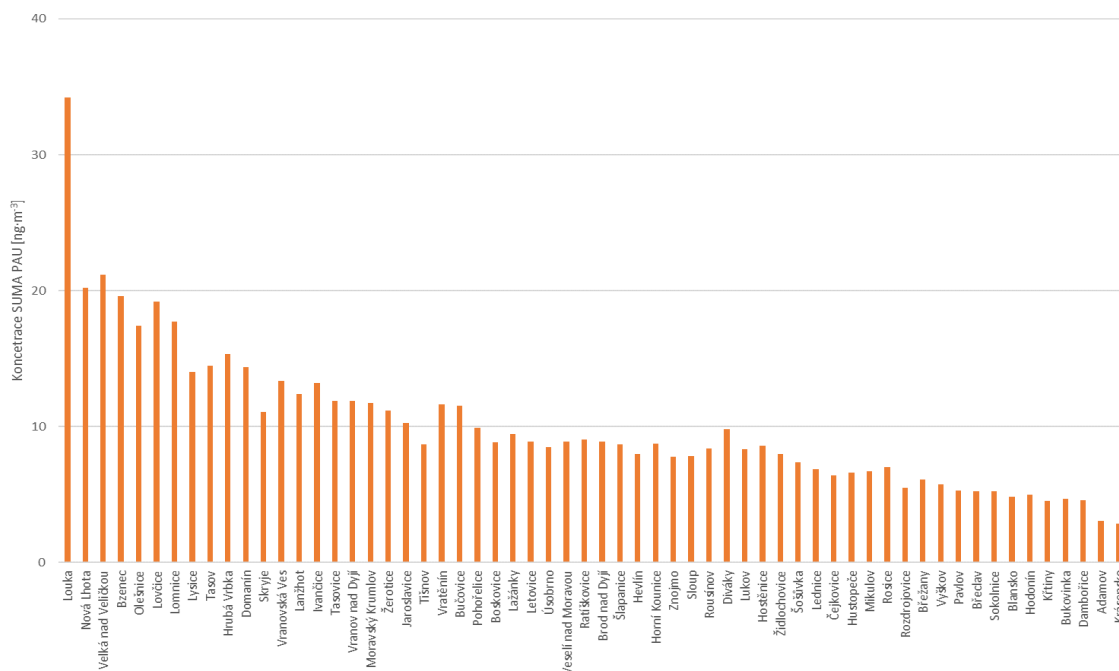
Obr. 4: Průměrné koncentrace BaP na lokalitách Kraje Vysočina



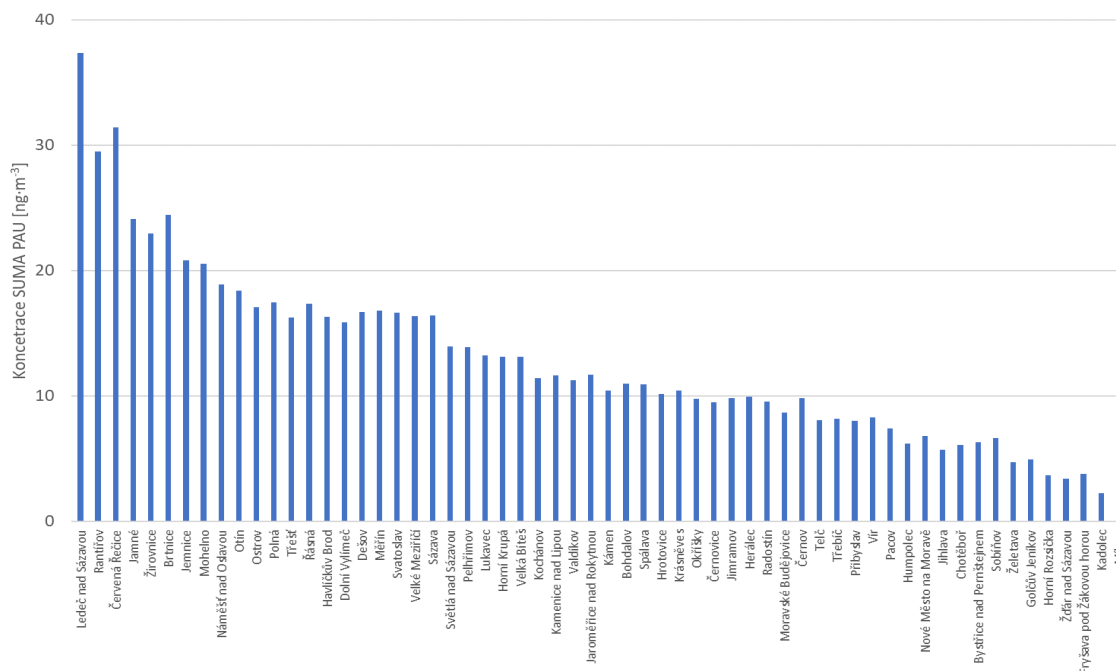
4.2. PAU

Pro jejich vyhodnocení je využito srovnání jednotlivých lokalit na základě sumy koncentrací jednotlivých sledovaných PAU, čímž získáme základní přehled o znečištění jednotlivých lokalit. V případě PAU jsou pozorovány podobné výsledky jako v případě BaP. Z výsledku lze opět vyzdvihnout zvýšené koncentrace na venkovských lokalitách, kdy je pozorován vliv lokálních zdrojů vytápění. Nejnižší koncentrace byly měřeny podobně jako v případě BaP na lokalitách Mílovy a Kadlec, které lze označit za pozadové lokality. Výsledky jsou znázorněny na Obr. 5 a Obr. 6.

Obr. 5: Průměrné koncentrace SUMA PAU na lokalitách Jihomoravského kraje



Obr. 6: Průměrné koncentrace SUMA PAU na lokalitách Kraje Vysočina

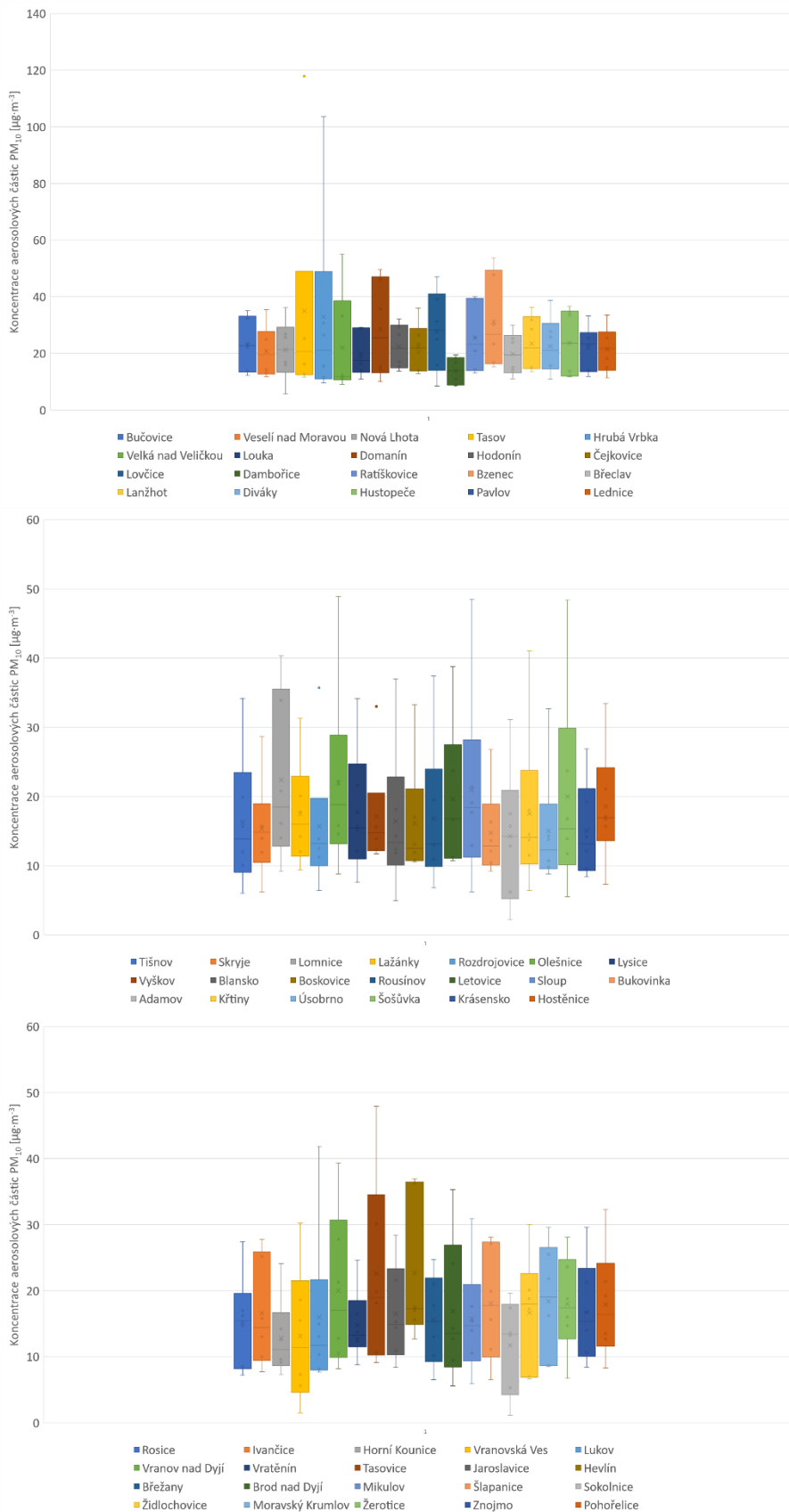


4.3. Aerosolové částice PM₁₀

Aerosolové částice frakce PM₁₀ byly odebrány na quartzové filtry za využití zařízení Leckel. Odběry probíhaly shodně s odběrovým kalendářem ČHMÚ (s periodou odběru každý třetí den). Vyhodnocení koncentrací aerosolových částic bylo provedeno gravimetrickou analýzou. Nejvyšší koncentrace byly odebrány v případě obcí Tasov a Hrubá Vrbka (Jihomoravský kraj) v termínu 24. 1. 2022. Koncentrace přesahovaly hodnotu 100 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, což výrazně převyšuje hodnotu 24hodinového imisního limitu pro tuto frakci aerosolových částic (imisní 24hodinový limit pro PM₁₀ je 50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). K překročení hodnoty imisního limitu však došlo také na další měřících místech v průběhu realizace první zimní odběrové etapy. V Jihomoravském kraji došlo k překročení hodnot imisního limitu v obcích Velká nad Veličkou a Bzenec. V Kraji Vysočina došlo k překročení imisního limitu v termínu 25. 3. 2022 u 13 z 20 v té chvíli měřených lokalit. Konkrétně se jednalo o lokality Pacov, Žirovnice, Černov, Světlá nad Sázavou, Ledec nad Sázavou, Lukavec, Červená Řečice, Pelhřimov, Polná, Rantířov, Havlíčkův Brod, Kochánov a Jamné. I na zbývajících lokalitách, v tomto termínu, byly získané koncentrace vysoké, blíží se k hodnotě imisního limitu. V případě obce Červená Řečice došlo k překročení hodnoty imisního limitu také v termínu 19. 3. 2022.

Výsledky jednotlivých obcí jsou uvedeny na Obr. 7a Obr. 8 formou krabicových grafů, které jsou rozděleny do jednotlivých kampaní po 20 obcích. Příslušný sloupec grafu znázorňuje danou lokalitu, pro kterou jsou vyznačena naměřená maxima, minima, průměrná koncentrace a medián.

Obr. 7: Krabicové grafy pro aerosolové částice PM₁₀, Jihomoravský kraj, členěno po 20 obcích (jednotlivých odběrových kampaních), odběrové zařízení Leckel



Obr. 8: Krabicové grafy pro aerosolové částice PM₁₀, Kraj Vysočina, členěno po 20 obcích (jednotlivých odběrových kampaních), odběrové zařízení Leckel



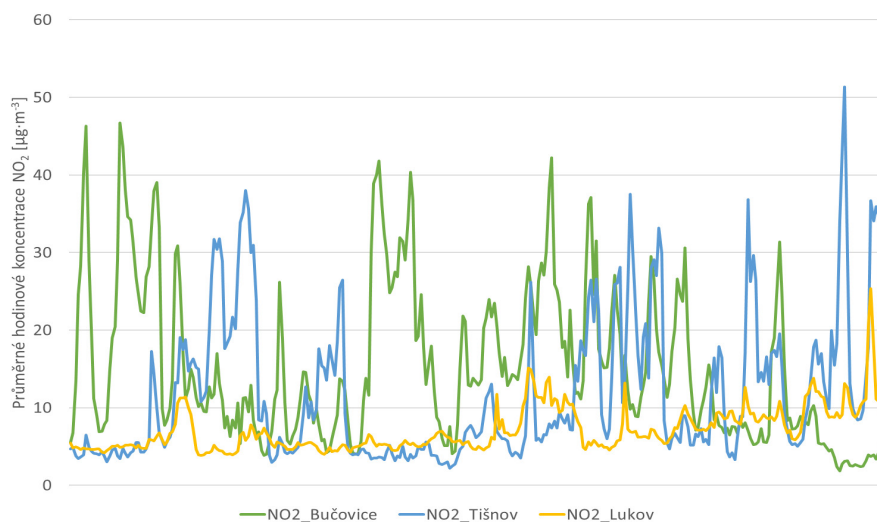
4.4. Kontinuální měření NO₂a aerosolových částic v ovzduší

Pro měření kontinuálních dat bylo využito zařízení Airpointer, které využívá referenční metody. Pomocí tohoto zařízení byly měřeny koncentrace NO₂a PM₁₀.

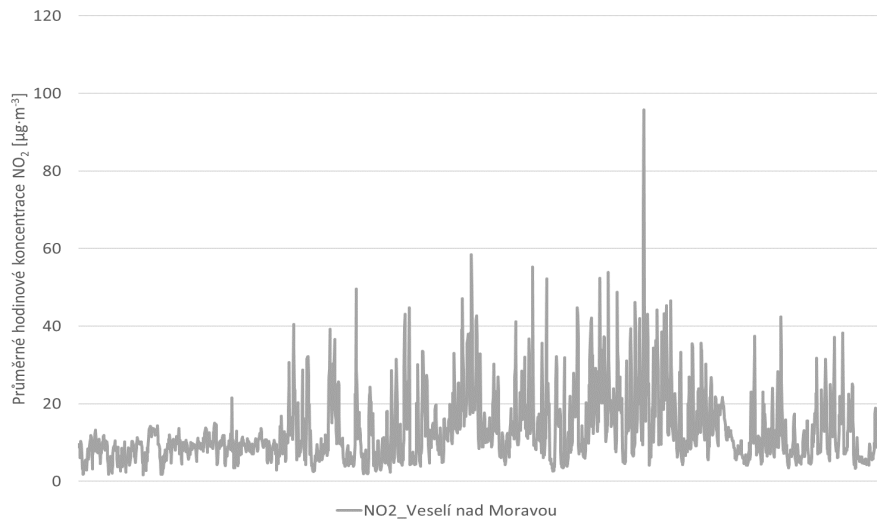
Na Obr. 9 jsou vyneseny průměrné hodinové koncentrace pro oxid dusičitý na lokalitách v Jihomoravském kraji, naměřené během 14denní měřicí kampaně. V průběhu měření nedošlo k překročení hodnoty imisního limitu pro hodinové koncentrace oxidu dusičitého (200 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Nejvyšší koncentrace byly měřeny v případě lokality Bučovice, nejnižší v případě lokality Lukov. Na Obr. 10 je poté speciálně vyznačena lokalita Veselí nad Moravou, kde probíhalo měření po dobu tří měsíců. Ani v tomto případě nedošlo k překročení hodnoty imisního limitu.

Na Obr. 11 a Obr. 12 jsou vyneseny průměrné denní koncentrace aerosolových částic PM₁₀. Denní průměrování bylo provedeno z důvodu možnosti srovnání s hodnotou denního imisního limitu, který má hodnotu 50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. K jeho překročení došlo pouze v případě měření na lokalitě Lukov. Ve zbývajících případech nedošlo k překročení hodnoty imisního limitu, a to ani v případě tří měsíčního měření na lokalitě Veselí nad Moravou.

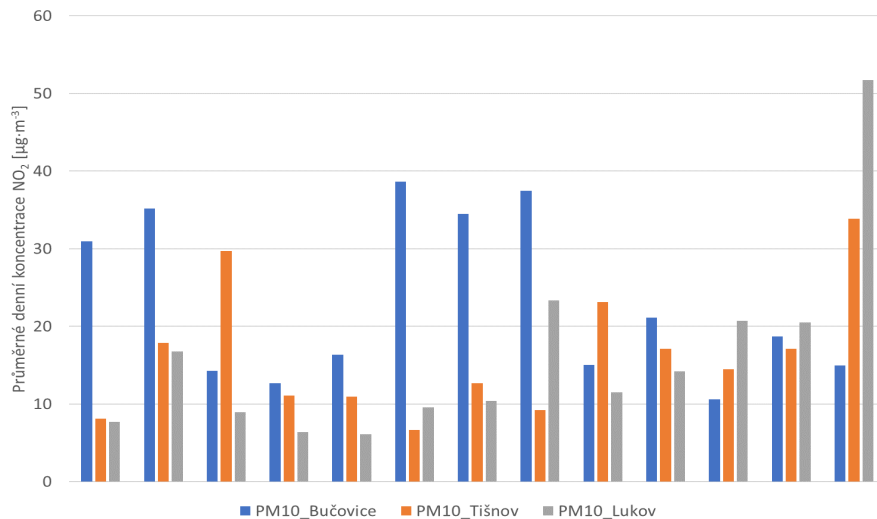
Obr. 9: Průměrné hodinové koncentrace NO₂, Jihomoravský kraj, 14 dní



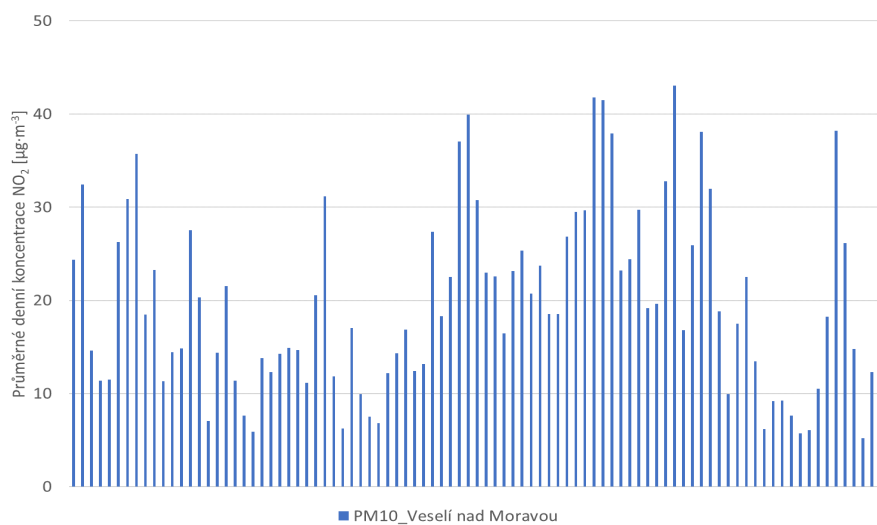
Obr. 10: Průměrné hodinové koncentrace NO₂, Veselí nad Moravou, 3 měsíce



Obr. 11: Průměrné denní koncentrace PM₁₀, Jihomoravský kraj, Airpointer, 14 dní

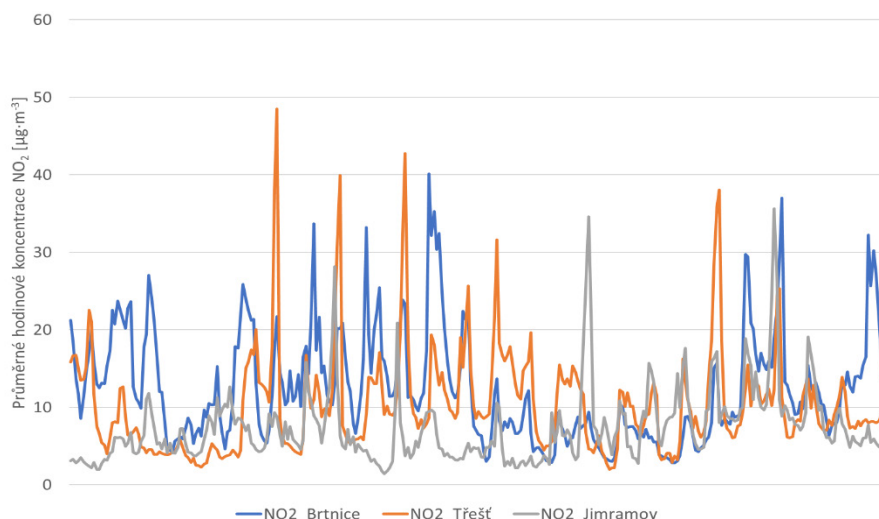


Obr. 12: Průměrné denní koncentrace PM₁₀, Veselí nad Moravou, Airpointer, 3 měsíce

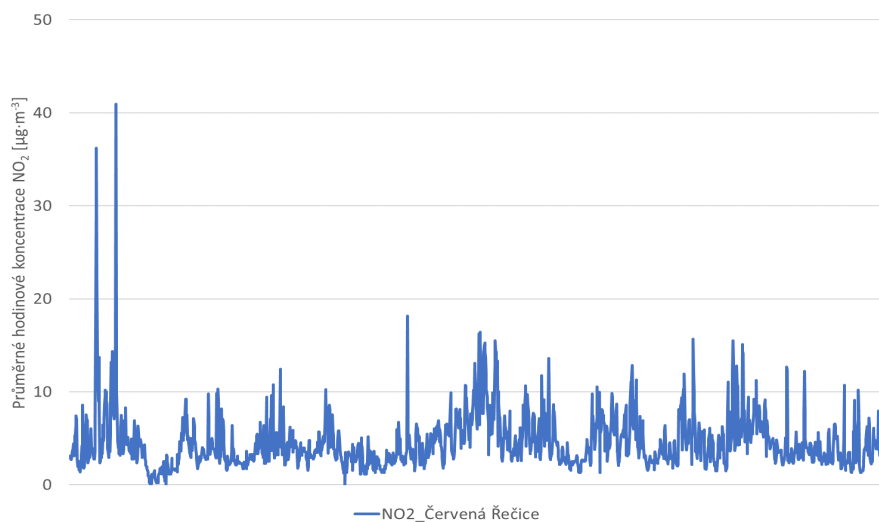


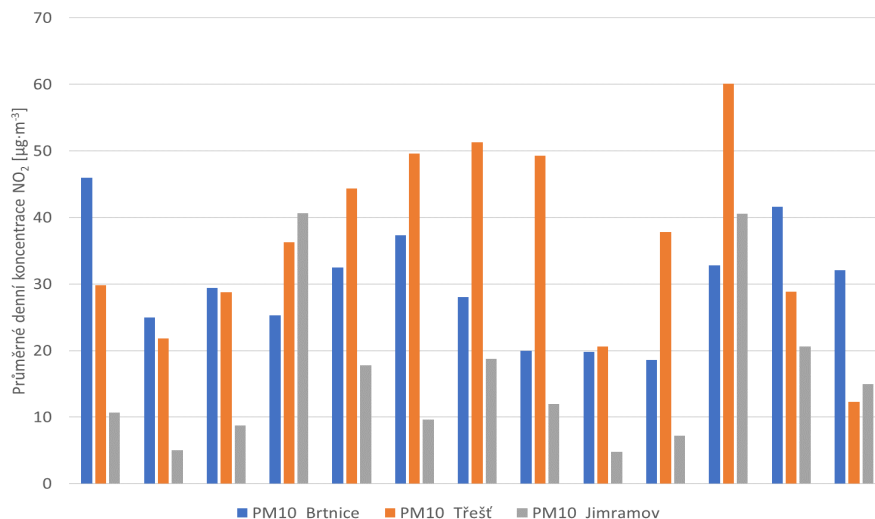
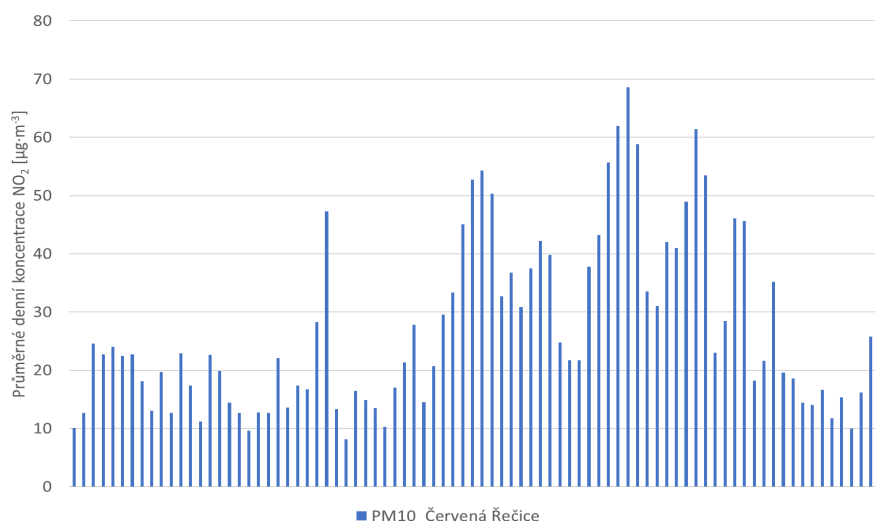
U lokalit na Vysočině nedošlo k překročení hodnoty hodinového imisního limitu pro NO_2 ani na jedné z měřených lokalit. Výsledky jsou vyneseny do grafů na Obr. 13 a Obr. 14. V případě aerosolových částic PM_{10} došlo k překročení denního imisního limitu pouze u lokality Třešť (14denní měření na lokalitě) a to ve dvou dnech. Na lokalitě Červená Řečice, kde probíhalo měření po dobu 3 měsíce, byla hodnota denního imisního limitu překročena hned v několika dnech (celkově v 9 případech). Výsledky měření aerosolových částic na lokalitách v Kraji Vysočina jsou uvedeny v grafech na Obr. 15 a Obr. 16.

Obr. 13: Průměrné hodinové koncentrace NO_2 , Kraj Vysočina, 14 dní



Obr. 14: Průměrné hodinové koncentrace NO_2 , Červená Řečice, 3 měsíce



Obr. 15: Průměrné denní koncentrace PM₁₀, Kraj Vysočina, Airpointer, 14 dníObr. 16: Průměrné denní koncentrace PM₁₀, Červená Řečice, Airpointer, 3 měsíce

5. Závěr

V rámci 6 na sebe navazujících odběrových a měřicích kampaní v průběhu tří měsíců v zimním období byly odebrány aerosolové částice frakce PM₁₀ a dále byly kontinuálně měřeny další znečišťující látky v ovzduší. Měření probíhala na celkem 120 lokalitách v rámci Jihomoravského kraje a Kraje Vysočina (po 60 lokalitách v každém kraji), po dobu 14 dní na každé z lokalit. Odběry byly zaměřeny na následnou analýzu obsahu polycyklických aromatických uhlovodíků, zejména pak Benzo[a]pyrenu, který se řadí mezi prokázané karcinogeny. Měření jsou plánovaná ve 3 etapách v závislosti na ročním období (zima 2022, léto 2022, zima 2023), aby bylo možné z naměřených výsledků posoudit vliv lokálních topenišť na kvalitu ovzduší na jednotlivých lokalitách. Výsledky zpracované v tomto článku shrnují výsledky zimní etapy za rok 2022.

V průběhu měření došlo k překročení hodnoty imisního limitu pro karcinogenní Benzo[a]pyren v 58 případech. Srovnána byla hodnota průměru koncentrací získaná z 6 odebraných vzorků s hodnotou ročního imisního limitu pro Benzo[a]pyren. Z výsledků lze vidět vyšší koncentrace v případě lokalit, které se nacházely

v menších obcích, kde lze předpokládat zvýšený vliv lokálních topenišť na kvalitu ovzduší. Naopak v centrálně vytápěných městských lokalitách byly naměřené koncentrace nižší. Podobný jev byl pozorován také v případě ostatních polycyklických aromatických uhlovodíků, kdy jejich suma kopírovala trend Benzo[a]pyrenu.

Nejvyšší koncentrace aerosolových částic frakce PM₁₀ byly odebrány v obcích Hrubá Vrbka a Tasov (24. 1. 2022), kdy koncentrace přesahovaly hodnotu denního imisního limitu dvojnásobně. Vzhledem ke shodnému termínu a blízkosti obou lokalit (cca 5 km) došlo nejspíše k lokálnímu ovlivnění měření (zde došlo k ovlivnění nejspíše vlivem požáru, který byl v daném termínu v nedaleké Tvarožné Lhotě). V Jihomoravském kraji byl imisní limit dále překročen již pouze v případě lokalit Velká nad Veličkou a Bzenec. V termínu 25. 3. 2022 došlo k překročení imisního limitu u 13 z 20 lokalit v Kraji Vysočina, u zbývajících lokalit byly v tomto termínu pozorovány také zvýšené koncentrace. K opakovanému překročení imisního limitu došlo v obci Červená Řečice, kde vysoké koncentrace aerosolových částic byly zaznamenány i kontinuálním měřením.

Z výsledku je patrné, že lokálním topeniště mají výrazný negativní vliv na kvalitu ovzduší v obcích a městech. Při srovnání získaných výsledku s naměřenými teplotami na lokalitách lze pozorovat také vliv teploty. S nižšími teplotami narůstaly koncentrace polycyklických aromatických uhlovodíků (vč. koncentrací Benzo[a]pyrenu) a aerosolových částic. Každopádně vliv ročního období a lokálních topenišť bude možné posoudit až po proběhnutí a vyhodnocení všech jednotlivých etap měření. Dalšími plánovanými aktivitami je identifikace zdrojů znečištění na základě poměru složení polycyklických aromatických uhlovodíků.

Literatura

- [1] 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
- [2] 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
- [3] MŽP, Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší, 2012

Poděkování

Tato práce vznikla díky finanční podpoře z Fondů EHP a Norska 2014-2021 – program CZ-ENVIROMENT.

Air quality monitoring – South Moravian Region and Vysočina Region

Radek Vit, Roman Licbinsky, Martina Buckova, Karel Effenberger, Josef Svoboda

Transport Research Centre

Líšeňská 2657/33a, 636 00 Brno

e-mail: radek.vit@cdv.cz

Abstract

Polycyclic aromatic hydrocarbons have serious impacts on human health. Their sources are combustion processes such as local furnaces, industry, or transport. Polycyclic aromatic hydrocarbons also include Benzo[a]pyrene, which is a proven human carcinogen. Its concentration at many measuring stations of immission monitoring in the Czech Republic exceeds the immission limit set by Act No. 201/2012 Coll. Sampling was carried out during January – April 2022 at a total of 120 locations of the South Moravian Region and the Vysočina Region. 14-day sampling campaigns were carried out at each of the locations. The samples were gravimetrically analyzed to determine the content of aerosol particles of the PM₁₀ fraction. Subsequently, the content of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), including Benzo[a]pyrene, was determined in them. Nand selected sites were continuously measured by gaseous pollutants, namely nitrogen dioxide (NO₂). Meteorological parameters such as temperature, wind speed and direction, atmospheric pressure and relative humidity were also measured at these selected locations. The highest concentrations of Benzo[a]pyrene and polycyclic aromatic hydrocarbons were measured at the localities of Louka (South Moravian Region) and LedecnadSázavou (Vysočina Region). The value of the immission limit for Benzo[a]pyrene concentrations was exceeded at a total of 58 sites.

VLIV DOPRAVY NA KVALITU OVZDUŠÍ V BRNĚ

Roman Ličbinský, Jiří Huzlík, Robert Skeřil, Vilma Jandová

Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.

Líšeňská 33a, 636 00 Brno

e-mail: roman.licbinsky@cdv.cz

Abstrakt

Příspěvek hodnotí výsledky měření koncentrací škodlivin produkovaných dopravou v ovzduší ve vztahu k charakteristikám dopravního proudu na dvou lokalitách ve městě Brně. Měřeny byly koncentrace aerosolových částic frakcí PM_{10} a $PM_{2.5}$, benzo[a]pyrenu vázaného na PM_{10} a oxidů dusíku, současně také meteorologické parametry (teplota, vlhkost, směr a rychlost větru) a charakteristiky dopravního proudu na přilehlé komunikaci (intenzita dopravy, průměrná a aktuální rychlost jednotlivých vozidel, rozestupy mezi vozidly, klasifikace vozidel, obsazenost jízdních pruhů). Z naměřených výsledků a statistických analýz vyplynulo, že na koncentrace aerosolových částic frakce PM_{10} má podstatně vyšší vliv plynulost dopravy než samotná intenzita (počet vozidel) a také přítomnost dalších zdrojů znečištění. To podporuje zjištění, že koncentrace PM_{10} kulminují kolem 9. hod., kdy již opadává ranní dopravní špička a dopravní intenzity klesají a také nižší hodnoty koncentrací během odpolední dopravní špičky. Na jedné z lokalit byl pozorován růst koncentrací směrem k večerním a nočním hodinám. V případě oxidů dusíku koncentrace výhradně ovlivňuje počet vozidel. V této souvislosti je také nutné 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.

1. Úvod

Jedním z nejzávažnějších problémů dopravy, a to zejména v důsledku 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. Ke znečištění ovzduší přispívá také resuspenze prachu a prachu deponovaného na vozovce a v jejím okolí způsobená projíždějícími automobily stejně jako obrus povrchu vozovky, pneumatik a mechanicky namáhaných součástí vozidel (zejména brzdového obložení).

Měření bylo primárně zaměřeno na analýzu vztahu dopravy a kvality ovzduší. Za cíl si kladlo srovnat dvě lokality silně zatížené dopravou lišící se plynulostí dopravního proudu a jeho složením a také charakterem okolní zástavby. Z tohoto důvodu byla vybrána ulice Koliště, která je součástí 1. městského okruhu a je zde zakázán vjezd těžkých nákladních vozidel a ulice Poříčí, která je součástí 2. městského okruhu (viz Obr. 1).

Obr. 1 Měřicí lokality – nahoře ul. Koliště, dole ul. Poříčí, bod označuje přesné umístění přístrojů na lokalitě



2. Metodika měření

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

1.2. Přístroje a zařízení pro měření kvality ovzduší

Koncentrace plyných škodlivin, resp. oxidů dusíku byly měřeny kontinuálně přístrojem Airpointer (RecordumMesstechnik 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“.

Přístroj Airpointer je kompaktní, integrovaný, vícesložkový měřicí systém pro měření škodlivin v ovzduší se zabudovanou jednotkou regulace teploty, nulového vzduchu a systémem pro sběr a zpracování údajů. Hlavice pro průběžné nasávání vzdušiny je ve výšce cca 1,8 m nad terénem. Tímto přístrojem byly rovněž stanoveny kontinuálně koncentrace aerosolových částic PM_{10} nefelometrickou metodou, přičemž naměřená data byla validována na základě diskontinuálních 24hodinových odběrů na filtry s využitím středněobjemových vzorkovačů SVEN LECKEL MVS 6 (Sven LeckelIngenierbüro, Německo) s následnou gravimetrickou analýzou na mikrováhách MX5 (Mettler – Toledo GmbH, Švýcarsko). Gravimetrická metoda stanovení koncentrací PM je referenční metodou podle české technické normy ČSN EN 12341: 2000 „Kvalita ovzduší – Stanovení frakce PM_{10} aerosolových částic – Referenční metoda a postup při terénní zkoušce ověření těsnosti shody mezi výsledky hodnocené a referenční metody“. Koncentrace aerosolových částic frakce $PM_{2.5}$ byly stanoveny pouze diskontinuálně záchytem na filtr s využitím přístrojů SVEN LECKEL SEQ 47/50 (Sven LeckelIngenierbüro, Německo). Měření souvisejících meteorologických prvků, tj. směru a rychlosti větru, teploty a relativní vzdušné vlhkosti byla realizována rovněž přístrojem Airpointer (RecordumMesstechnikGmbH, Rakousko), resp. meteorologickou stanicí WS500-UMB (G. LuftMess- und RegeltechnikGmbH, Německo), která je plně integrována do přístroje.

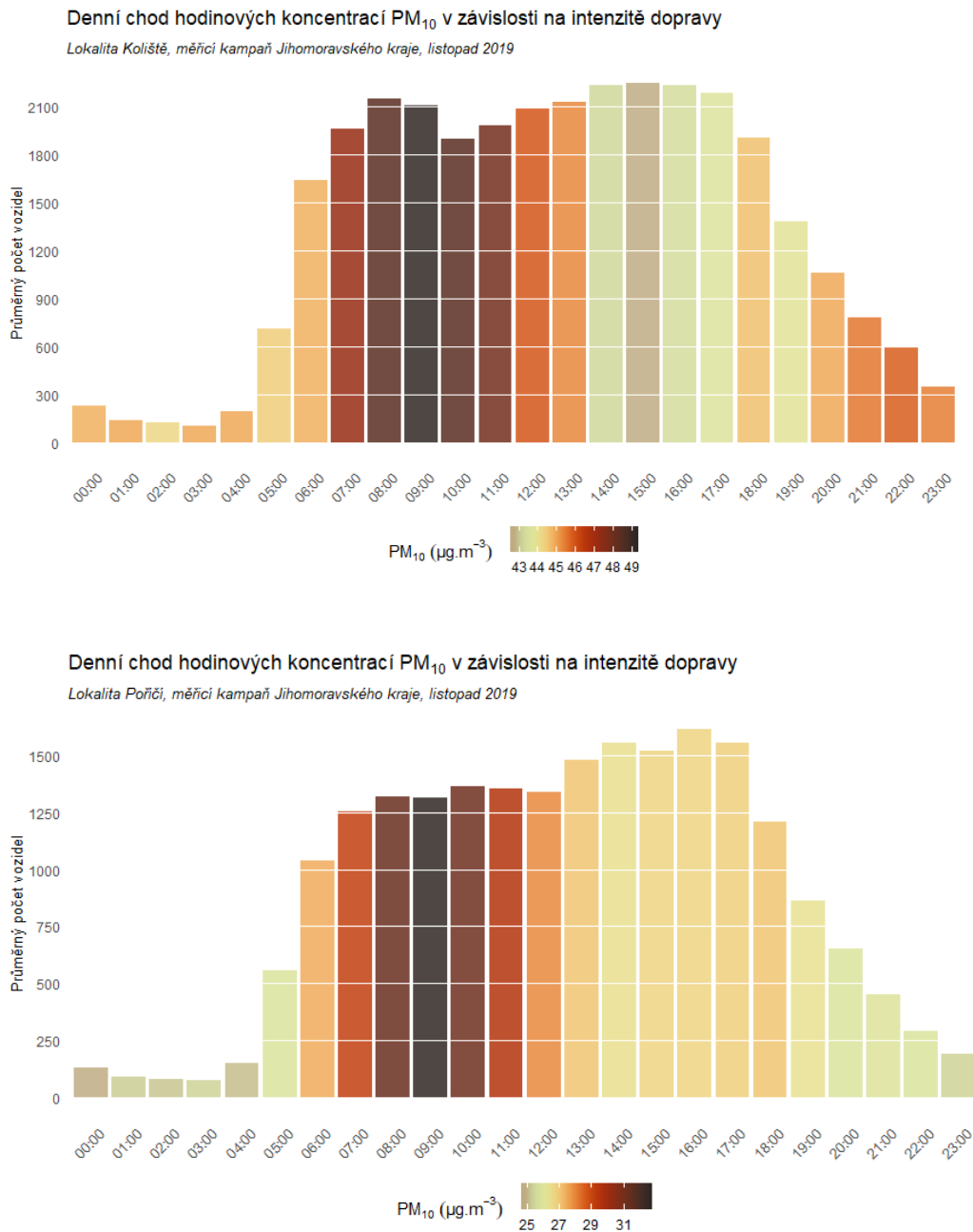
2.3. Statistický SW

K analýze a zobrazení závislosti znečištění ovzduší na meteorologických podmínkách sloužil OpenSource balík R (R Core Team, Rakousko) [1]. Především bylo využito souboru balíčků „Tidyverse“, obsahují nástroje pro zpracování a analýzu dat a jejich vizualizaci [2]. Dále bylo využito balíčku „openair“, jehož součástí jsou algoritmy pro použité polární grafy [3]. Mapové podklady byly připraveny s využitím balíčku „ggmap“ [4] s využitím Google Maps Static API pro podkladovou mapu.

3. Výsledky a diskuse

Grafy na obr. 2 zobrazují vliv denního chodu dopravních intenzit na hodinové koncentrace aerosolových částic. Dopravní intenzity jsou vždy vynášeny ve sloupcovém grafu, barva jednotlivých sloupců tak reprezentuje koncentraci.

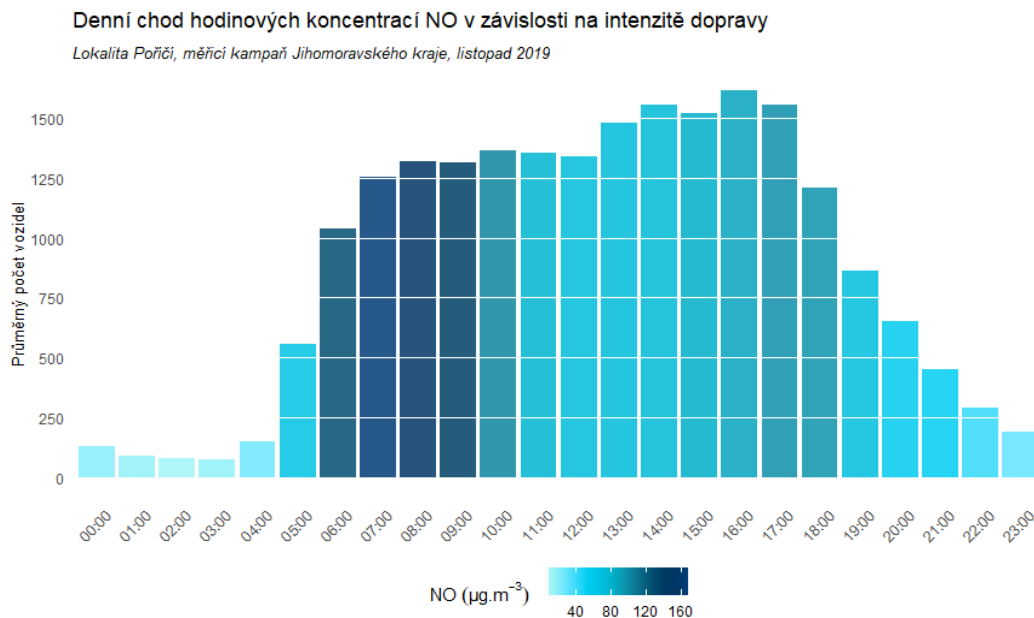
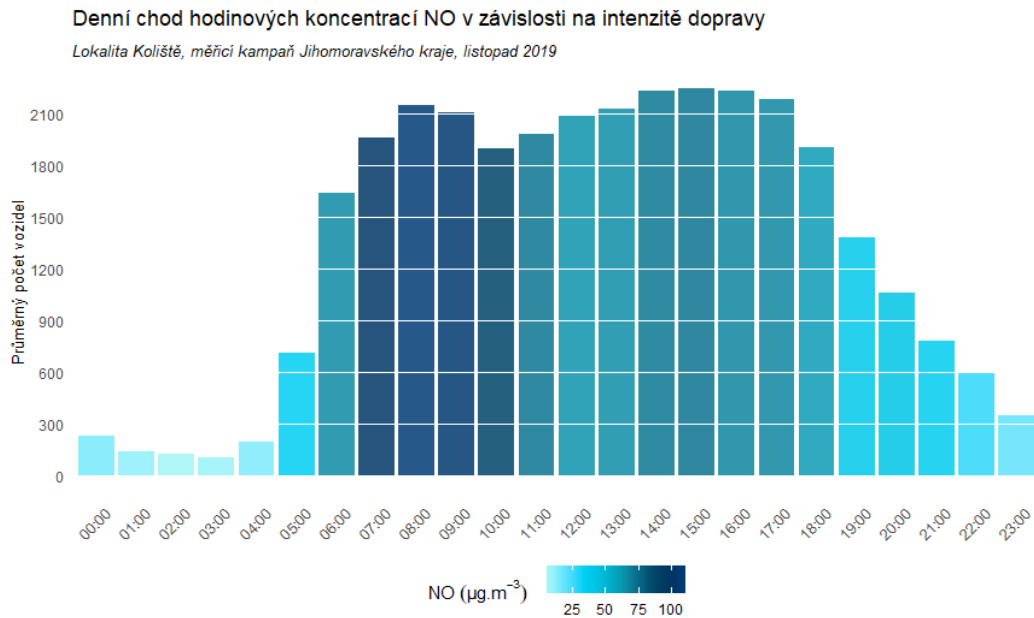
V případě obou lokalit je patrné, že koncentrace PM_{10} kulminují až po ranní špičce, kdy již intenzita dopravy mírně klesá. Maximální koncentrace byly v obou lokalitách měřeny v 09:00 hodin UTC. To může souviset s jiným zdrojem těchto látek, popř. s nadregionálními vlivy (meteorologické podmínky, dálkový transport atp.). V případě odpolední špičky jsou koncentrace prašnosti PM_{10} nižší, a to přesto, že jsou v lokalitě Poříčí intenzity vyšší, než je tomu během ranní dopravní špičky. V lokalitě Koliště je pak dobře vidět, že během odpolední špičky jsou koncentrace nejnižší a směrem k večerním a nočním hodinám opět narůstají, přestože dopravní intenzity výrazně klesají. To opět potvrzuje jiný lokální vliv, který koncentrace PM_{10} v této lokalitě navyšuje.

Obr. 2. Denní chod hodinových koncentrací PM₁₀ v závislosti na intenzitě dopravy, lokalita Koliště (nahore) a Poříčí (dole)

Oxid dusnatý (NO), který je primárně produkováno dopravou, dosahuje koncentračního maxima během ranní špičky (viz. Obr. 3). V odpoledních hodinách jsou již koncentrace výrazně nižší a rovněž poměr koncentrací NO/NO₂ poklesne, a to přesto, že je počet vozidel ještě mírně vyšší než během ranní dopravní špičky. Přestože se lokality chovají podobně, je vidět zásadní rozdíl v měřítku. Přestože v lokalitě Poříčí jsou v ranní špičce intenzity vozidel nižší zhruba o 1000 vozidel hodinově, koncentrace NO jsou zhruba dvojnásobné. Je to pravděpodobně způsobeno vyšším zastoupením dodávek a nákladních vozidel, které jsou převážně diesellové. Velmi významný vliv pak může mít také mikroklima lokality v blízkosti řeky, která může způsobovat inverzi teplot (podchlazené koryto řeky, lokalita je ve stínu,

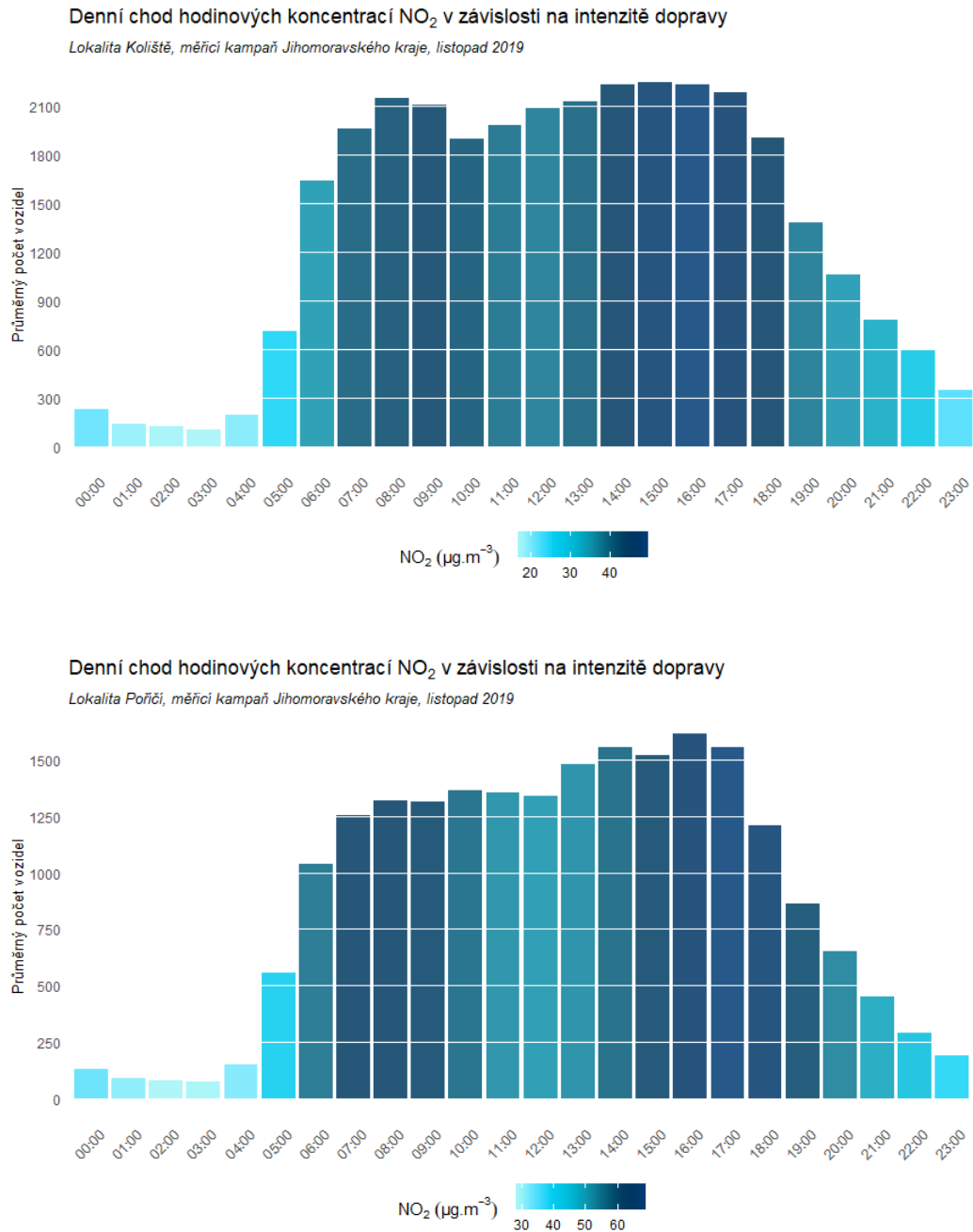
může tak docházet k tomu, že v blízkosti povrchu jsou teploty nižší než ve vyšších výškách). Tato inverze se vyskytuje zejména v nočních a ranních hodinách a významně se projevuje zejména na koncentracích NO a potažmo NO_x.

Obr. 3. Denní chod hodinových koncentrací NO v závislosti na intenzitě dopravy, lokalita Koliště (nahore) a Poříčí (dole)



Koncentrace NO₂ jsou pak během obou dopravních špiček přibližně stejné (viz Obr. 4), mírně vyšší hodnoty lze pozorovat během odpolední špičky, a to na obou lokalitách.

Obr. 4. Denní chod hodinových koncentrací NO₂ v závislosti na intenzitě dopravy, lokalita Koliště (nehoře) a Poříčí (dole)

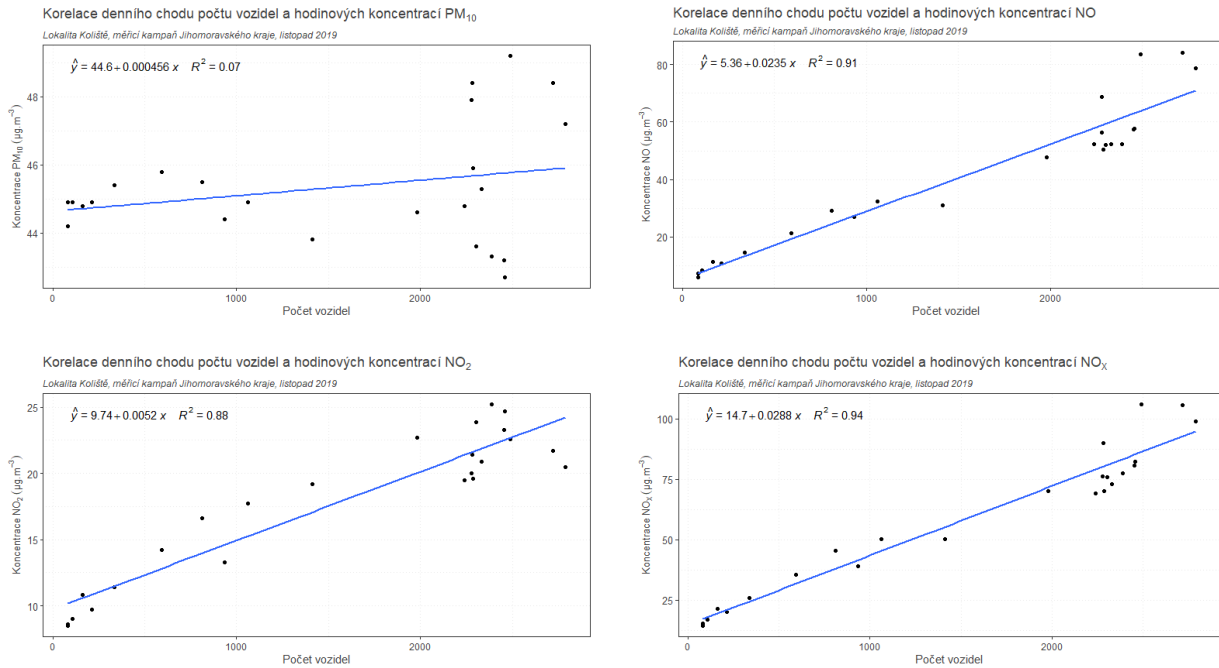


Regresní křivky závislostí mezi dopravními intenzitami, průměrnými rychlostmi vozidel a jednotlivými škodlivinami zobrazují grafy na obr. 5 až 8. Z grafů na Obr. 5 a 6 je patrná poměrně silná pozitivní korelace mezi intenzitou dopravy a koncentracemi oxidů dusíku. Naopak z hlediska koncentrací PM₁₀ lze najít pouze slabou korelaci v lokalitě Poříčí. V lokalitě Koliště pak mezi koncentracemi PM₁₀ a dopravními intenzitami v průběhu dne žádná korelace nalezena nebyla.

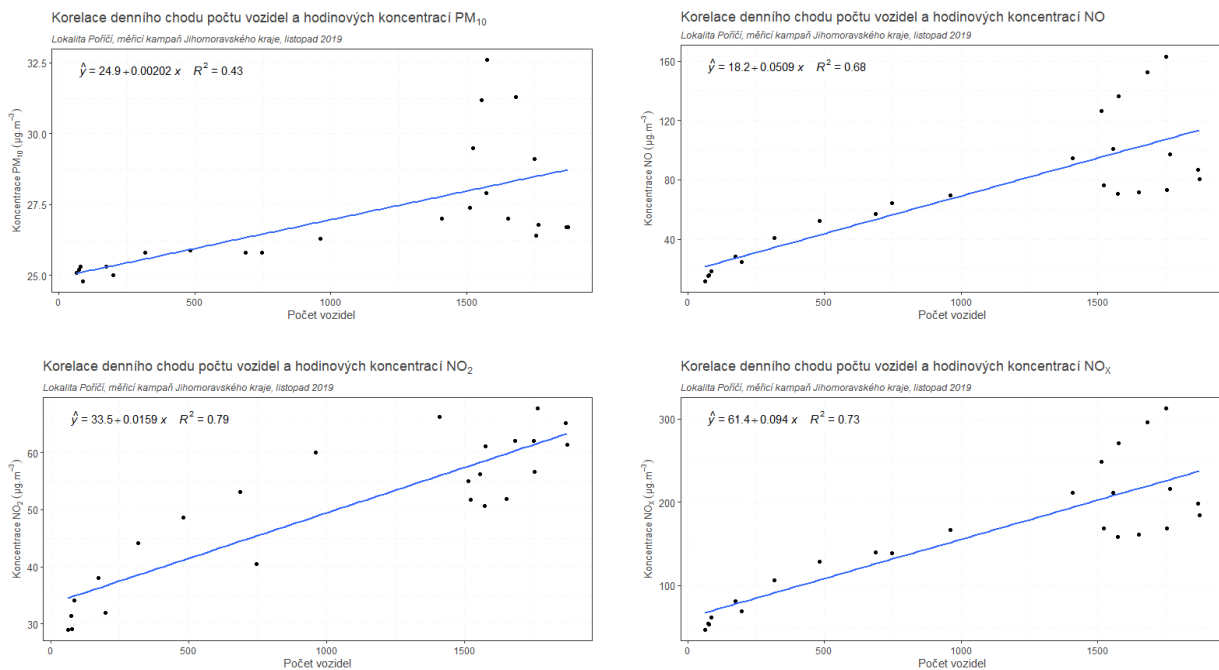
V případě závislosti na průměrné rychlosti vozidel a potažmo tedy plynulosti dopravy je v obou lokalitách dobře patrná silná negativní korelace s oxidy dusíku – s rostoucí rychlostí vozidel (plynulostí provozu) klesají koncentrace oxidů dusíku (viz grafy na Obr 7 a 8). V případě aerosolových částic byla nalezena slabá negativní

korelace s průměrnou rychlostí v lokalitě Poříčí, kde platí to, co v případě koncentrací oxidů dusíku – s rostoucí rychlostí klesají koncentrace PM_{10} v ovzduší. V případě lokality Koliště opět žádná korelace nalezena nebyla.

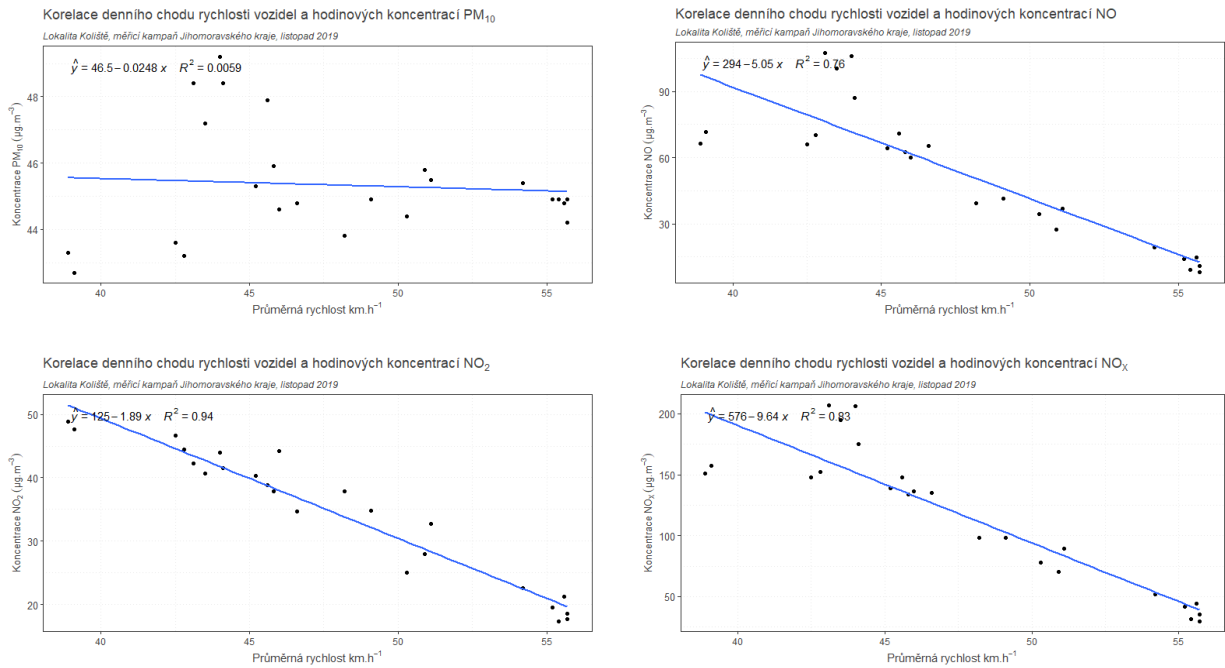
Obr. 5. Korelace počtu vozidel a jednotlivých škodlivin, lokalita Koliště



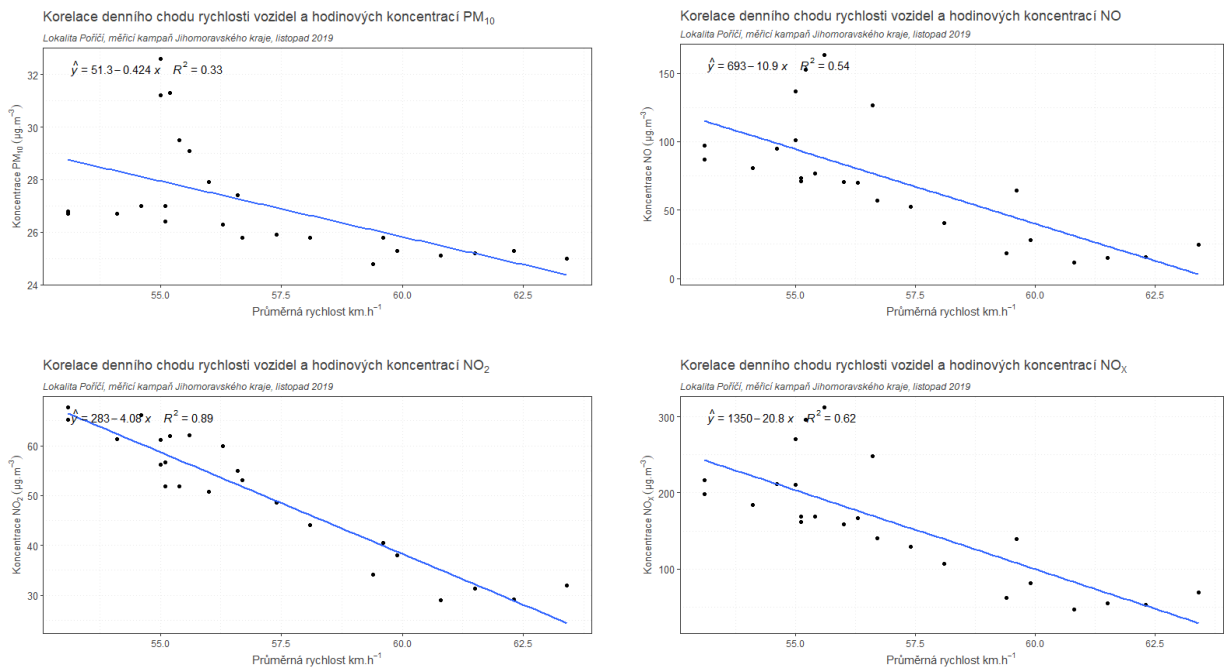
Obr.6. Korelace počtu vozidel a jednotlivých škodlivin, lokalita Poříčí



Obr. 7. Korelace průměrné rychlosti vozidel a jednotlivých škodlivin, lokalita Koliště



Obr. 8. Korelace průměrné rychlosti vozidel a jednotlivých škodlivin, lokalita Poříčí



4. Závěr

Z těchto výsledků lze vyvodit, že nejen množství vozidel, ale také plynulost provozu má velmi významný vliv na koncentrace škodlivin v ovzduší. Pro snížení koncentrací škodlivin v centru města a v obytných zónách je tedy potřeba přijmout taková opatření, aby ideálně počet vozidel klesl a doprava byla plynulejší. Toto bude mít pozitivní dopad zejména na koncentrace oxidů dusíku, jejichž zdrojem v městském prostředí doprava primárně je.

Koncentrace aerosolových částic frakce PM₁₀ jsou velmi pravděpodobně ovlivněny dalším zdrojem nesouvisejícím s dopravou, který zapříčiňuje zvýšené koncentrace v obdobích mimo dopravní špičku. Korelace s dopravou se nepodařila jednoznačně prokázat.

Literatura

- [1] R Core Team, *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria., 2018. [Online]. Available: <https://www.R-project.org/>.
- [2] H. Wickham et al., *Welcome to the tidyverse*. Journal of Open Source Software, sv. 4, č. 43, p. 1686, 2019.
- [3] D. Carslaw a K. Ropkins, *Openair - an R package for air quality data analysis*. *Environmental*, Sv. 1 z 227-28, pp. 52 - 61, 2012.
- [4] H. Wickham a D. Kahle, *Ggmap: Spatial Visualization with ggplot2*. The R Journal, sv. 5, č. 1, pp. 144-161, 2013.

Influence of Traffic on Air Quality in the City of Brno

Roman Licbinsky, JiriHuzlik, Robert Skeril, Vilma Jandova

Transport Research Centre

Líšeňská 33a, 636 00 Brno

e-mail:roman.licbinsky@cdv.cz

Abstract

The paper evaluates the results of concentrations measurements of pollutants produced by traffic in the air in relation to the characteristics of the traffic flow at two locations in the city of Brno. The concentrations of aerosol particles of PM₁₀ and PM_{2.5} fractions, benzo[a]pyrene bound to PM₁₀ and nitrogen oxides were measured, as well as meteorological parameters (temperature, humidity, wind direction and speed) and characteristics of the traffic flow on the adjacent road (traffic intensity, average and the current speed of individual vehicles, distances between vehicles, vehicle classification, occupancy of traffic lanes). The measured data and statistical analyzes showed that the concentration of aerosol particles of the PM₁₀ fraction is more affected by the flow of traffic than the traffic intensity (number of vehicles) and also by the presence of other sources of pollution. This supports the finding that PM₁₀ concentrations peak around 9 a.m., when the morning rush hour is already declining and traffic intensities are decreasing, as well as lower concentration values during the afternoon rush hour. At one of the locations, an increase in concentrations towards the evening and night hours was observed. In the case of nitrogen oxides, the concentration specially affects the number of vehicles. In this context, it is also necessary to distinguish between NO and NO₂. NO concentrations are very high only during the morning peak, after which they drop significantly. Conversely, in the case of NO₂ monitored by legislation, concentrations are high during both peaks, slightly higher values are observed during the afternoon peak.

Krajský akční plán pro oblast ochrany ovzduší v Moravskoslezském kraji

Jiří Jedlička¹, Miloš Zapletal¹, Radek Vít²

¹Ekotoxa, s.r.o.,

Fišova 403/7, 602 00 Brno

² Centrum dopravního výzkumu, v.v.i.

Líšeňská 33a, 636 00 Brno

e-mail: jiri.jedlicka@ekotoxa.cz

Abstrakt

Cílem příspěvku je představit základní informace o projektu, jehož úkolem je na základě cíleného monitoringu zdrojů navrhnout co nejefektivnější opatření z hlediska vynaložených finančních prostředků a množství snížených emisí a ta zpracovat do nového Akčního plánu Moravskoslezského kraje.

Pro naplnění cíle projektu byla provedena kvantitativní a kvalitativní analýza historických řad měření kvality ovzduší na území kraje. Součástí řešení je i cílený a podrobnější monitoring (referenční i senzorické měření). Díky těmto měřením bude možné přesněji identifikovat jednotlivé skupiny zdrojů a rozpoznat mezi nimi ty nejproblémovější. Analýze budou podrobena také již zrealizovaná či navrhovaná opatření mající vést ke snížení emisí.

1. Úvod

Moravskoslezský kraj má od roku 2016 platné Programy zlepšování kvality ovzduší, a to pro oblast aglomerace Ostrava/Karviná/Frýdek-Místek – CZ08A (dále též „Program aglomerace“) a zónu Moravskoslezsko – CZ08Z (dále též „Program zóna“). Program aglomerace a Program zóna stanovuje opatření k přiblížení nebo dosažení imisních limitů, tj. limitů pro kvalitu ovzduší dle zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší. Koncem roku 2020 Ministerstvo životního prostředí schválilo aktualizaci obou Programů (Věstník MŽP, září 2020). I přes aktualizaci obou programů existuje v území řada problémů s řízením a ochranou ovzduší, na které se pokusí navrhovaný projekt reagovat. Jedná se především o cílený monitoring zdrojů/zátěží pomocí standardizovaných metod včetně souběžného senzorového měření (u pevných částic PM a NO₂) významného pro následný rozvoj těchto metod jako operativního, efektivního a ekonomicky velmi výhodného nástroje prosazování zájmů ochrany ovzduší. Tento bod patří mezi hlavní aktivity projektu. Inovativním přínosem projektu je rozvoj a aplikace integrovaných přístupů při realizaci opatření snižujících emise na pilotních územích a dopady do akčních plánů včetně provázanosti na ostatní existující nástroje rozvoje a řízení kraje a měst ve spádové oblasti. Důležitou součástí je řešení komunikačních a jiných bariér mezi opatřením, nástroji řízení a provozovateli zdrojů, které budou komunikovány a projednávány jak mezi odbornou veřejností, tak v rámci projednání akčního plánu také s širokou veřejností.

2. Aktivity projektu

Hlavním cílem projektu je na základě cíleného monitoringu zdrojů navrhnout co nejefektivnější opatření z hlediska vynaložených finančních prostředků a množství snížených emisí a ta zpracovat do nového Akčního plánu Moravskoslezského kraje.

2.1. Analytické zpracování historických naměřených dat.

V úvodní části projektu byl upřesněn výběr lokalit, především malých obcí, kde bude využita stávající Metodika, která je výstupem projektu „Kvantifikace znečištění ovzduší a z něj vyplývajících zdravotních rizik v malých sídlech České republiky a systém řešení.“ Následně budou analyzována dostupná data z realizovaných měření, včetně dalších informací o přijímání a realizaci opatření ve všech oblastech (průmysl, malé obce, doprava). Všechny zpracované informace budou jedním ze základních podkladů pro následné kroky řešení.

2.2. Cílený monitoring konkrétní oblasti / zdrojů znečišťování ovzduší (senzorová i akreditovaná měření) v rámci identifikovaných problémových zdrojů a lokalit

Na základě zpracované analýzy a komunikace s krajem a partnerskými městy byl navržen a realizuje se cílený monitoring pro zajištění dodatečných dat. Pro měření bude využita kombinace certifikovaných metod a využití senzorů. Pro identifikaci podílů zdrojů pomocí PMF budou v okolí významného imisního hot-spotu provedeny odběry vzorků prašného aerosolu na 3 až 6 lokalitách. V případě měření kvality ovzduší v místech s dopravní zátěží, resp. v místech pro hodnocení vlivu dopravy na kvalitu ovzduší Vyhláška definuje, že body vzorkování by měly být 25 m od okraje velkých křižovatek a nejméně 4 m od středu nejbližšího dopravního pruhu, pro měření oxidu dusičitého a oxidu uhelnatého by měly být nejdále 5 m od okraje vozovky a měly by být umístěny tak, aby měření byla reprezentativní pro úroveň znečištění ovzduší v blízkosti linie obytné zástavby, ale nejdále 10 m od okraje vozovky. Nicméně počet, lokalizace i přesné situování měřících bodů závisí na konkrétní situaci v trase silniční komunikace a samozřejmě vlastním účelu měření. Lokalizace konkrétního měřícího místa se provede tak, aby byl podchycen popis emisí z liniového zdroje i dopad na obyvatelstvo.

2.3. Identifikace a prioritizace zdrojů znečišťování ovzduší - podrobná identifikace hlavních skupin zdrojů, které se nejvíce podílejí na znečištění, na základě monitoringu a vyhodnocení zdravotních rizik.

Výstupy prvních 2 aktivit budou sloužit jako hlavní podklad pro přípravu návazných opatření včetně hodnocení jejich předpokládaných dopadů, které bude zahrnovat hodnocení zdravotních rizik. V rámci jednotlivých zdrojů znečišťování budou identifikovány a popsány jejich hlavní problémy, včetně těch, které přetrvávají i po přijetí některých opatření v minulosti. Cílem aktivity je detailní popis hlavních skupin zdrojů znečišťování pro následné stanovení opatření v rámci Akčního plánu.

2.4. Analýza již realizovaných opatření a zhodnocení jejich účinků (z pohledu snížení emisí, ekonomické efektivity), Provázanost na ostatní existující nástroje rozvoje a řízení měst.

V rámci aktivity budou podrobně zpracovány již realizovaná opatření včetně příkladů řešení či problémů s implementací. Budou posouzeny komunikační a jiné

bariéry mezi opatřením, nástroji řízení a provozovateli zdrojů. Bude zohledněn rozvoj a aplikace integrovaných přístupů při realizaci opatření snižujících emise na pilotních územích a dopady do akčních plánů. Dále budou zhodnoceny praktické příklady, měření efektů a demonstrace opatření snižujících negativní dopady kontaminace ovzduší.

2.5. Akční plán – hlavním kritériem pro zpracování bude množství snížených emisí a ekonomická efektivnost, tj. akční plán navrhne nejefektivnější opatření směřující ke snížení znečištění ovzduší v dané oblasti.

Výstupem projektu bude Akční plán reagující na stávající i očekávané změny kvality ovzduší na území Moravskoslezského kraje a řešící tuto problematiku (včetně návrhu a hodnocení konkrétních opatření i způsobu jejich implementace) za účelem zajištění udržitelného fungování a rozvoje vybraných měst a celého kraje a zlepšení (či alespoň udržení) kvality života jeho obyvatel. Akční plán bude zpracován pro celé území Moravskoslezského kraje a dotkne se tak všech obyvatel žijících na jeho území. Opatření uvedená v akčním plánu budou prioritizována podle předpokladu množství snížených emisí a vynaložených finančních prostředků.

2.6. Samostatná část týkající se specifikace pro společné parametry senzorů – návazné aktivity.

Návrh sítě senzorů zahrnoval výběr míst pro instalaci sestavy senzorů (průmysl – hutě, koksovny, doprava – vytižená dopravní komunikace (mobilní měření v emisním proudu pomocí např. tramvají), lokální vytápění – lokalita s převládajícím vytápěním tuhých paliv) tak, že měření ukazatelů probíhá souběžně se sledováním základních klimatických ukazatelů (mikro-meteorologické stanice), které následně vstoupí do primárního vyhodnocení získaných dat, aby byly vyloučeny chybové výkyvy naměřených hodnot v důsledku vlivu klimatických jevů.

Navržená síť senzorů na měření znečištění ovzduší umožní měřit koncentrace PM1, PM2.5, PM10, NO₂, meteorologické parametry: rychlost a směr větru, teplota vzduchu, vlhkost vzduchu, atmosférický tlak. Senzorová stanice je vybavena interním mikropočítačem, který umožňuje komunikovat vzdáleně se senzorickou jednotkou, ukládat naměřená data, automaticky zasílat data, či je manuálně stahovat pomocí rozhraní USB. Sensory pro jednotlivé látky bylnakalibrované, tzn., mají ověřený a přednastavený korekční faktor pro všechny měřené látky. Korekční faktor byl spočítán po uskutečnění 2-týdenního srovnávacího měření s referenčním zařízením, splňujícím podmínky pro zasílání dat do systému ISKO.

3. Plánované výstupy

Hlavním výstupem projektu bude Akční plán reagující na stávající i očekávané změny kvality ovzduší na území Moravskoslezského kraje a řešící tuto problematiku (včetně návrhu a hodnocení konkrétních opatření i způsobu jejich implementace) za účelem zajištění udržitelného fungování a rozvoje vybraných měst a celého kraje a zlepšení (či alespoň udržení) kvality života jeho obyvatel.

Kromě hlavního výstupu projektu bude k dispozici spektrum dalších výstupů: detailní monitoring prostorových disparit imisního pole v území zapojených měst, nově získané zkušenosti z aplikace moderních senzorových měření, demonstrační příklady dobré praxe (bestpractice), výsledky měření/hodnocení fyzických i ekonomických efektů navržených opatření, příklady řešení problémů implementace

opatření, metodika vazeb na ostatní existující nástroje rozvoje a řízení měst a řešení komunikačních i jiných bariér mezi opatřením, nástroji řízení a provozovateli zdrojů.

Hlavním přínosem projektu bude vyhodnocení realizovaných opatření na základě analyzovaných dat a nastavení dlouhodobého strategického a systematického přístupu k řízení kvality ovzduší v Moravskoslezském kraji i s přihlédnutím k jeho specifickým podmínkám. Projekt dále stanoví konkrétní opatření a způsob jejich implementace na úrovni partnerských měst a především kraje.

4. Závěr

Podstatou projektu a zároveň motivací pro zpracování je vytvořit zastřešující dokument, který v sobě sloučí informace o území kraje (kritická místa ve vztahu ke kvalitě ovzduší) a navrhne seznam opatření pro stabilizaci situace a zlepšení kvality ovzduší. Akční plán by měl zaručit dlouhodobé a udržitelné řízení kvality ovzduší na území kraje. Výstupy budou promítnuty do dalších strategických dokumentů kraje a měst v rámci jejich aktualizací, zejména do strategických plánů, aktualizací územních plánů, zpracovávaných regulačních plánů a územních studií. Konkrétní výstupy (opatření) s dopadem na rozpočet kraje, budou projednány v zastupitelstvu kraje, které rozpočet schvaluje.

Literatura

- [1] Sdělení Komise Evropskému parlamentu, Radě, Evropskému hospodářskému a sociálnímu výboru s výboru regionů - Program Čisté ovzduší pro Evropu COM/2013/0918 final.
- [2] MŽP. Národní program snižování emisí České republiky. Praha, 2015. 125 s.
- [3] MŽP. Aktualizace Národní program snižování emisí České republiky. Praha, 2019. 186 s.
- [4] Program zlepšování kvality ovzduší - oblastglomerace Ostrava/Karviná/Frýdek-Místek – CZ08A.
- [5] Program zlepšování kvality ovzduší - zónaMoravskoslezsko – CZ08Z.
- [6] BeePartner a. s., RADDIT consulting s. r. o. Strategie rozvoje Moravskoslezského kraje. Ostrava, 2019. 192 s.

Poděkování

Tato práce vznikla jako součást řešení projektu“Životní prostředí, ekosystémy a změna klimatu” výzvy 2A - 3.2.1.1 TROMSO,financovaného z Norských fondů.

Experience and partial outputs of the Regional Action Plan for Air Protection in the Moravian-Silesian Region

Jiří Jedlička¹, Miloš Zapletal¹, Radek Vít²

¹*Ekotoxa, s.r.o.,*

Fišova 403/7, 602 00 Brno

² *Centrum dopravního výzkumu, v.v.i.*

Líšeňská 33a, 636 00 Brno

e-mail: jiri.jedlicka@ekotoxa.cz

Abstract

The aim of the paper is to present basic information about the project, whose task is to propose the most effective measures in terms of its costs and the amount of reduced emissions, based on targeted monitoring of resources, and to process them into the new Regional Air Action Plan of the Moravian-Silesian Region.

In order to fulfill the goal of the project, a quantitative and qualitative analysis of historical series of air quality measurements in the territory of the region was carried out. The solution also includes targeted and more detailed monitoring (reference and sensoric measurements). Thanks to these measurements, it will be possible to identify individual groups of sources and recognize the most problematic ones among them more accurately. Already implemented or proposed measures to reduce emissions will also be analysed.

Možnosti využití ekonomických nástrojů pro snižování emisí v silniční dopravě

Leoš Pelikán¹, Vojtěch Máca², Petr David³, Břetislav Andrlík³, Milan Šcašný⁴

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

²Univerzita Karlova, Ovocný trh 560/5, 116 36 Praha

³Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1665/1, 613 00 Brno

⁴Vysoká škola ekonomická v Praze, nám. W. Churchilla 4, 130 67 Praha

e-mail: leos.pelikan@cdv.cz

Abstrakt

Příspěvek prezentuje dosavadní výsledky projektu TAČR „Predikce úspor emisí ze silniční dopravy do roku 2030 dosažených aplikací vybraných daňových a poplatkových nástrojů“. Hlavním cílem je vyhodnocení možností pro dosažení redukčního cíle 5 kt emisí NO_x z dopravy do roku 2030 oproti scénáři NPSE-WM. Projekt vznikl proto, aby poskytl státní správě potřebné informace, jak zajistit plnění unijních závazků ke snižování emisí NO_x. Hodnoceny jsou i souběžné vlivy na emise CO₂ a PM_{2,5}. V projektu jsou nejprve analyzovány již zavedené, ale také v ČR dosud nepoužívané ekonomické nástroje (dle využití v ostatních státech EU). Dále projekt staví na analýzách časových řad registrací vozidel a obměny vozových parků firem a domácností. Důležitým zdrojem dat jsou rovněž dotazníková šetření zaměřená na preference domácností při nákupu nových nebo ojetých vozidel a dále volbě dopravního módu za různých okrajových podmínek. Na základě získaných informací proběhne tvorba scénářů, které budou vyhodnoceny v modelu TIMES-CZ s ohledem na jejich dopadů na spotřebu paliv, emise a složení vozového parku. V projektu se počítá i s vyhodnocením scénářů do dopadů na ekonomiku pomocí makroekonomického modelu všeobecné rovnováhy (CGE) a s vyhodnocením přímých a vyvolaných administrativních nákladů dle hodnocených variant, což přinese komplexní pohled pro posouzení efektivity navrhovaných opatření.

1. Úvod

Potřeba tohoto projektu vyvstala na základě zpoždění ČR při plnění redukčního cíle pro oxidy dusíku (NO_x) daného Národním programem snižování emisí ČR, který se vypracovává na základě směrnice 2016/2284 (EU)[1] a návazném Usnesení vlády č. 917 ze dne 16.12.2019[2], ze kterého vyplynul úkol resortu dopravy definovat opatření, jejichž realizací dojde k dodatečnému snížení emisí oxidů dusíku v sektoru silniční dopravy minimálně o 5 kt oproti scénáři NPSE-WM 2019. Úspora má být dosažena nejpozději v roce 2030. Jako výchozí stav byl vybrán rok 2018, protože pro něj byla k dispozici kompletní sada vstupních údajů ze stanic technické kontroly (dále CIS STK). Jedná se o ne zcela aktuální rok, protože nové osobní automobily fyzických osob mají povinnost absolvovat technickou prohlídku až po 4 letech a pak jsou data teprve kompletní.

V rámci projektu bude modelována celá řada scénářů se zaměřením na určení efektivity jednotlivých ekonomických nástrojů. Na tomto základě bude definován scénář, který bude obsahovat optimální kombinaci nástrojů, jež zajistí požadovanou úsporu 5 kt emisí NO_x ze silniční dopravy v roce 2030. Je třeba poukázat na to, že tato úspora představuje 20% snížení emisí oproti scénáři NPSE-WM 2019 a proto může být paleta opatření, která zajistí výsledný efekt velmi rozsáhlá. Proto

budou dále modelovány i dopady a efektivita jednotlivých dílčích opatření, aby státní správa mohla lépe rozhodovat v případě potřeby částečných řešení a kroků v cestě za úsporami emisí.

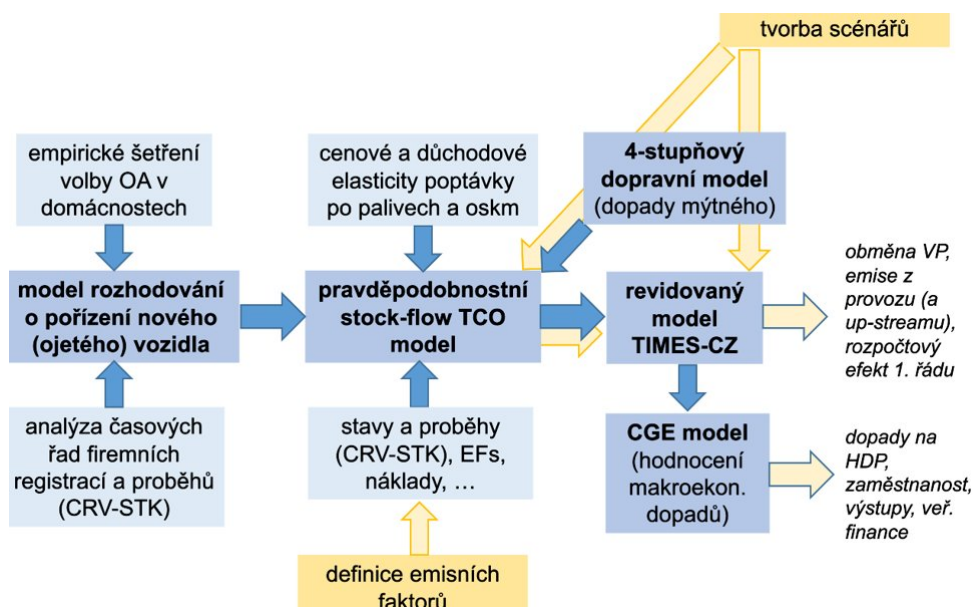
Mezi závazné výstupy projektu patří:

- Veřejná databáze emisních faktorů (12/2021) – emisní faktory pro další modelování v letech 2018 a 2030
- Konfrontace navrhovaných scénářů (3/2022) – definování výchozích variant aplikace ekonomických opatření
- Technická dokumentace modelu TIMES rozšířeného o parametry poptávky, emisní koeficienty a TCO modul (12/2022)
- Šetření vyvolaných administrativních nákladů – pro jednotlivé ekonomické nástroje nebo jejich kombinace (3/2023)
- Veřejná databáze modelových scénářů (6/2023) – databáze scénářů různých kombinací ekonomických nástrojů pro model TIMES
- Studie o vlivu daňové politiky a dalších opatření na snížení produkce NO_x ze silniční dopravy v roce 2030 (12/2023) – finální zpráva
- 3 články a workshop kde budou se státní správou a veřejností sdíleny výsledky projektu (12/2023).

2. Metody

Projekt se zabývá velmi komplexním modelováním, které je citlivé na kvalitu i rozsah vstupů. Metoda zvolená pro kvantifikaci emisí je Tank-to-Wheel, tedy z provozu vozidla.¹Obrázek níže prezentuje modelové schéma řešení projektu obsahující vstupy i výstupy a jejich provazby. Podrobnější popis klíčových vstupů do modelování je popsán v kapitolách níže, stejně tak jako modely TIMES-CZ a CGE, které tyto vstupy využívají.

Obrázek 1 Modelové schéma řešení projektu



¹Model energetického systému TIMES-CZ umožňuje zahrnout i emise z výroby elektřiny v ČR.

2.1. Definice výchozích variant

Nejprve proběhla analýza stávajících a připravovaných předpisů, strategií a předpokládaných požadavků vyplývajících z předložených návrhů EK ke zvýšení klimatických ambicí EU do let 2030 a 2050 a rovněž požadavků na budoucí emisní normy Euro 7/VII. Analýza vycházela mimo jiné především ze studií [3], [4] a [5]. Na základě provedené analýzy byl definován současný stav, možné varianty a jejich parametry v oblasti regulace silniční dopravy a struktury vozového parku. Mezi tyto varianty patří:

- Registrační poplatek
- Registrační daň
- Silniční daň
- Silniční daň všeobecná
- Časové zpoplatnění
- Výkonové zpoplatnění
- Spotřební daň
- Daň z příjmů

U každé varianty byla provedena analýza současného stavu v ČR a zpracovány možnosti, jak by mohl být současný stav upraven za účelem pozitivního vlivu na redukci emisí NO_x a případně i CO_2 . Byl proveden výběr nejlepších příkladů v ostatních státech EU a metodikou [7] vypočteny emise dle relevantních kategorií vozidel (dle Euro normy) tak, aby bylo možné identifikovat největší znečišťovatele, na které se bude možné zaměřit při nastavování ekonomických nástrojů motivujících k obměně vozového parku (dále VP) směrem k emisně šetrným dopravním prostředkům. Pro určení popisných charakteristik VP ČR byly využity údaje z Registru silničních vozidel (dále RSV) poskytnuté Ministerstvem dopravy (dále MD) propojené pomocí VIN s údaji z CIS STK. Následně byly údaje porovnány s četnostmi registrací dovozových vozidel zveřejněnými Sdružením dovozců automobilů (SDA).

2.2. Určení emisních faktorů

Dalším vstupem do využívaných modelů TIMES-CZa CGE jsou vedle 8 formulovaných variant ekonomických nástrojů emisní faktory (dále EF) CO_2 , NO_x a $\text{PM}_{2,5}$. Byla vytvořena veřejná databáze EF dostupná na stránkách CDV [6]. Sada EF byla vytvořena pro roky 2018 a 2030 na základě programu COPERT 5, který implementuje evropskou metodiku výpočtu emisí ze silniční dopravy [7]. COPERT obsahuje celkem 432 typů vozidel v rozlišení podle kategorie vozidla, paliva, hmotnosti a euro normy. Pro modelový rok 2018 byl počet typů vozidel rozšířen na 547 a to hlavně o CNG nákladní automobily i autobusy a elektrobusy. V roce 2030 pak databáze obsahuje 762 typů vozidel (doplnění o další typy elektrovozidel, hybridních vozidel, LNG vozidel, vodíkových vozidel a vozidla splňující plánovanou normu Euro 7/VII). U bezemisních vozidel byly doplněny EF z otěru brzd, pneumatik a vozovky pouze pro $\text{PM}_{2,5}$ a to na základě vlastního vzorce vycházejícího ze [7]. Pro rok 2030 byly v rámci vlastních vytvořených vzorců aplikovány koeficienty stárnutí vozidel a jejich zhoršeného emisního chování dostupné v literatuře [8] až [12]. Další výpočetní rovnice vytvořená v rámci projektu určuje EF NO_x pro kategorii Euro 7, který byl odvozen od EF Euro 6 ve stávající databázi COPERT a poměrů emisních limitů pro tyto dvě euro normy.

Při práci s databází COPERT byly rovněž odhaleny nesrovnalosti a chyby v jednotlivých EF (např. naftové LUV Euro 5 a vyšší), které byly na základě odborné

literatury, případně trendů ve změně EF u obdobných kategorií v databázi COPERT odstraněny a rovněž reportovány vývojáři tohoto software.

2.3. Analýzy obměny vozového parku a volby dopravního módu

Při **modelování obměny vozového parku** je klíčová znalost elasticit poptávky po dopravě. Je zásadní pro správný odhad efektu opatření, který mají – ať už přímo nebo nepřímo vliv na poptávku po dopravě. Elasticita poptávky může být vyjádřena ve třech podobách jako cenová, příjmová nebo křížová. Cenová elasticita poptávky obecně měří odezvu poptávky na změnu ceny. Příjmová elasticita poptávky ukazuje, jaká je odezva v podobě poptávané kvantity při změně příjmu kupujících při zachování konstantních cen. Křížová elasticita poptávky je definována jako citlivost poptávaného množství jedné služby (či komodity) na určitou (procentní) změnu ceny jiné služby při zachování ceny prvně uvedené služby i příjmu kupujícího. Křížová elasticita je pozitivní, pokud jsou obě služby navzájem substituční a naopak negativní, jsou-li komplementární. V případě, že nejsou substituty ani komplementy, bude křížová elasticita nulová. Např. elasticita používání vozidla vzhledem k provozním nákladům ve výši -1 znamená, že 1% zvýšení provozních nákladů povede k poklesu používání vozidla o 1 %.

K modelování obměny VP budou využity elasticity poptávky po vozidlech, palivecha dopravních módech získané z odborné literatury[12][13][14] a z vlastních šetření. Důležitým vstupem pro modelování obměny VP je i analýza časových řad registrací vozidel v návaznosti na sektory ekonomické aktivity (NACE). Analýza proběhla na základě dat z RSV a proběhů získaných analýzou záznamů z CIS STK. V analýze jsou zohledněny přeregistrace firemních vozidel na soukromá vozidla a dále i rychlost obměny vozového parku dle NACE.

Ve finální fázi přípravy je dvojice dotazníkových šetření, které proběhnou koncem podzimu formou CAWI (computer-assisted web interviews), s celkovým počtem cca 5 tis. respondentů. První z těchto šetření bude zaměřeno na preference domácností při pořizování nového (či ojetého) osobního automobilu, kdy budeme dotazovat respondenty plánující koupi vozu během následujících 3 let. Klíčovými částmi dotazníku jsou:

- získání informací o stávajícím vozovém parku v domácnosti a jeho využívání
- plánovaná koupě – účel, nový/ojetý (+stáří), typ, cena, pohon, povědomí o alternativních palivech, dostupnost neveřejného dobíjení, atd.
- výběrový experiment – hypotetické scénáře s variujícími úrovněmi atributů:
 - pořizovací cena (+ případná dotace či naopak registrační poplatek),
 - provozní náklady,
 - dojezd,
 - trvání tankování/dobíjení,
 - dodatečné výhody (bezplatné parkování, dálniční známka atp.)

Provolbu dopravního módu budou důležité výstupy z druhého dotazníkového šetření, jehož výsledky budou vstupovat do dopravního modelu ČR a v definovaných scénářích pak měnit dopravně přepravní vztahy. Parametry šetření jsou:

- z části společné s šetřením pro obnovu VP (sociodemografické a socioekonomické otázky, dostupnost dopravních prostředků v domácnosti atd.)
- respondenti z 5-7 velkých měst s různým podílem módů dopravy (podle dat z Česka v pohybu a průzkumů dopravního chování realizovaných CDV v rámci Plánů udržitelné městské mobility)

- analýzy typických cest na základě cestovních deníků – dojíždka za prací/školou, volnočasovými aktivitami, nákupy atd.
- zjištění charakteristiky stávajících cest (účel, módy, cestovní čas, náklady, spolucestující, navazující cesty i ochota volby jiného módu při změně těchto charakteristik
- stávající preference domácnosti při nakupování
- výběrový experiment na volbu dopravního módu (opakované volby mezi alternativami cesty s jinými cestovními časy a/nebo cestovními náklady, resp. možnostmi nahrazení cesty homeworkingem, on-line nakupováním atd.)
- Hodnotové a postojové otázky, které pomáhají identifikovat spouštěče a bariéry změny dopravního chování.

2.4. Vyhodnocení scénářů modelem TIMES-CZ

TIMES (The Integrated MARKAL-EFOM System)[15] je energetický, technologicky orientovaný, dynamický modelový generátor (vyvinutý Mezinárodní energetickou agenturou -IEA), který hledá optimální řešení palivového a technologického mixu, včetně dynamické skladby vozového parku (stock-flow accounting) za předpokladu minimalizace celkových diskontovaných nákladů s cílem naplnit (exogenní) celkovou poptávku po energetických službách, včetně dopravy (vozokilometry a tunokilometry). Na tomto generátoru postavený model TIMES-CZ zahrnuje celou energetickou bilanci ČR od primárních zdrojů až po konečnou spotřebu energetických služeb a umožňuje predikce až do roku 2050. Pro dopravu používá dílčí model nazvaný TIMES-TRAN, který bude integrovat výsledky výše popsaných analýz a dotazníkových šetření, dále pak parametry scénáře NPSE WM 2019, s nímž mají být výsledky projektu srovnávány a rovněž výsledky dopravního modelování. Lze jím modelovat rozdíly mezi předpokládaným referenčním stavem (v tomto případě scénáři NPSE-WM) a různými scénáři s dodatečnými opatřeními co do:

- spotřeby jednotlivých paliv a elektrické energie,
- skladby vozového parku,
- investičních nákladů a výdajů za paliva, včetně výnosu daní,
- emisí CO₂, NO_x a PM.

2.5. Vyhodnocení scénářů modelem všeobecné rovnováhy CGE

Jedná se o ekonomický makro-strukturní model pro analýzu dopadů na ekonomiku, který uplatňuje "top-down" přístup (agregované sektory, reprezentativní technologie) a zohledňuje interakce mezi sektory ekonomiky i behaviorální odezvu (elasticity substituce a poptávek). Projekt využije rozvíjený hybridní CGE (Computable general equilibrium) model, jako část vstupů budou využity sektorové detailní odhady z modelu TIMES-CZ (a modulu TIMES-TRAN). Pro hodnocené scénáře budou odvozeny efekty na makroagregáty a další ukazatele pro celou ekonomiku:

- změna HDP,
- změna zaměstnanosti,
- výnosy daní,
- spotřeba elektřiny a dalších paliv,
- emise NO_x, SO₂, PM, CO₂.

3. Dosavadní výsledky

V současné době jsou hotovy dva vedlejší výstupy projektu. Prvním z nich je **Konfrontace navrhovaných scénářů**. V rámci této zprávy jsou popsány výchozí stav a 8výše zmíněných variant úprav či zavedení ekonomických nástrojů. Z hodnocených variant pak lze za zajímavémimo jiné označit varianty registračního poplatku a registrační daně včetně její bonus - malus formy, jako opatření k podpoře nákupu osobních vozidel šetrných k životnímu prostředí. Varianta registračního poplatku zachovává působnost pro vozidla norem Euro 0 až 2 v kategoriích M1, N1, rozšiřuje poplatek na vyšší normy Euro a nabízí valorizaci částek nebo vyšší míru progresu. Variantu podporuje průkaznost růstu emisí NO_x se stářím vozidla oproti údajům technické dokumentace vozidel. Obdobný nástroj je aplikován v Belgii a Maďarsku.

Varianta registrační daně zahrnuje jednak zavedení daně uvalené na první registraci OA a LUV dle hodnoty CO₂ uvedené v technické dokumentaci vozidla, nebo dle EURO normy u vozidel pod normami Euro 0 až EURO 4, kde údaj o CO₂ není či nemusí být k dispozici v technické dokumentaci vozidla a také registrační daň (malus) v kombinaci se státní podporou (bonus) vozidel kategorie M1 při jejich první registraci v České republice. Bonus je vymezen pro vozidla s emisemi CO₂ do 20 g/km s maximálním omezením bonusu jeho podílem na ceně vozidla se zohledněním limitu maximální ceny vozidla pro poskytnutí bonusu. Sazby registrační daně lze nastavit klouzavě a progresivněna základě emisí CO₂ v gramech, druhu paliva, Euro normy či stáří vozidla. Registrační daň je aplikována v 11 zemích EU, přičemž je častější kombinace přímé podpory a registrační daně, než kombinovaný systém bonus-malus využívaný v Itálii, Francii a ve Švédsku. Výsledky analýzy emisí vozového parku v referenčním roce 2018 v návaznosti na některé druhy ekonomických nástrojů provedené v rámci procesu definování výchozích variant jsou:

- vozidla OA a LUV produkovala 65 % emisí NO_x vozového parku ČR
- v období zavedení registračního poplatku od 1. 1. 2009 došlo ke zřetelnému poklesu registrace vozidel OA a LUV sEuro standardem 0-2. Po rozšíření/zpřísnění poplatku lze tedy očekávat další redukci poptávky po starších vozidlech, a tedy i dovozech vozidel
- vozidla s potenciálem rozšíření nenulové výše registračního poplatku, tedy Euro 3-5 produkovala 63 % celkových emisí NO_x kategorií OA a LUV
- aplikací složené daně pro Euro 5 a 6 dle CO₂ a normy Euro lze dosáhnout částečného zohlednění emisí NO_x
- absolutně nejvyšší množství NO_x v rámci benzínových OA i LUV generovala vozidla Euro 0. Tato vozidla vykazují nižší proběhy,ale mají nejhorší jednotkové emisní parametry
- s rostoucím stářím vozidel OA i LUV klesal průměrný proběh

Dalším výstupem projektu je **Veřejná databáze emisních faktorů**, které budou vstupovat do modelů TIMES-TRAN a CGE. Tabulka 1 obsahujefaktory zhoršení určené na základě literatury ([8] až [12]) pro EF NO_x aplikované při definování rozdílů v EF pro stejné kategorie vozidel v závislosti na normě Euro v letech 2018 a 2030.

Tabulka 1 Aplikované faktory zhoršení EF NO_x

	benzín	nafta	LPG	CNG
Pre Euro	1,000	1,200	1,100	1,100
Euro 1	3,400	1,200	1,100	1,100
Euro 2	3,100	1,200	1,100	1,100
Euro 3	2,900	1,200	1,100	1,100
Euro 4	2,000	1,060	1,100	1,100
Euro 5	2,500	1,114	1,100	1,100
Euro 6	1,424	1,248	1,100	1,100
Euro 7	1,000	1,000	1,000	1,000

Tabulka 2 reprezentuje změnu EF u naftových a benzínových osobních vozidel mezi roky 2018 a 2030, v důsledku změny celkového nájezdu těchto vozidel po 12 letech provozu. Jedná se o vozidla s objemem motoru 1,4 – 2 l, což jsou nejvíce zastoupená osobní vozidla v ČR. V EF benzínových vozidel, ve srovnání s naftovými, se projevuje výrazně vyšší emisní zhoršení benzínových vozidel Euro 1 až 5, které udává Tabulka 2.

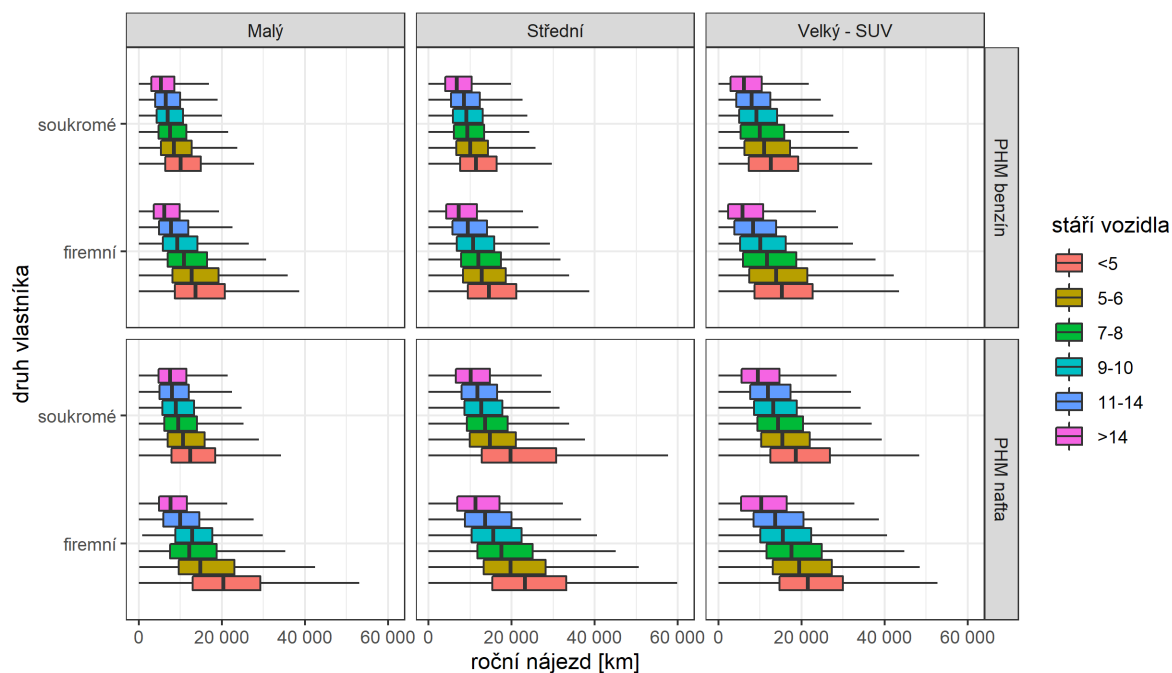
Tabulka 2 Srovnání EFNO_x vybraných kategorií vozidel

Fuel	Euro Standard	EF NO _x (g/km)		Fuel	Euro Standard	EF NO _x (g/km)	
		2018	2030			2018	2030
Diesel	Conventional	0.5480	0.6576	Petrol	Euro 1	0.4475	1.5215
Diesel	Euro 1	0.6761	0.8113	Petrol	Euro 2	0.2665	0.8261
Diesel	Euro 2	0.7361	0.8833	Petrol	Euro 3	0.1160	0.3365
Diesel	Euro 3	0.8038	0.9646	Petrol	Euro 4	0.0744	0.1489
Diesel	Euro 4	0.5999	0.6358	Petrol	Euro 5	0.0489	0.1223
Diesel	Euro 5	0.6263	0.6977	Petrol	Euro 6 a/b/c	0.0471	0.0671
Diesel	Euro 6 a/b/c	0.5159	0.6438	Petrol	Euro 6 d-temp	0.0463	0.0659
Diesel	Euro 6 d-temp	0.0626	0.0782	Petrol	Euro 6 d	0.0456	0.0649
Diesel	Euro 6 d	0.0501	0.0625	Petrol	Euro 7	N/A	0.0228
Diesel	Euro 7	N/A	0.0190				

Další provedené analýzy v rámci projektu hodnotily časové řady dat o probězích vozidel. Bylo zjištěno že:

- průměrné roční nájezdy vozidel konzistentně klesají se stářím vozidla (viz. Obrázek 2),
- průměrné nájezdy u OA a LUV s benzínovým pohonem jsou významně nižší než u vozidel s naftovým pohonem, stejně tak jsou nižší průměrné nájezdy u vozidel soukromých uživatelů oproti firemním,
- u OA a LUV obecně rostou průměrné nájezdy s velikostí vozidla, u těžkých nákladních vozidel rostou průměrné nájezdy se stoupající celkovou hmotností pouze do úrovně 20-26 t, poté průměrné nájezdy výrazně klesají,
- v letech 2017-2019 průměrné roční nájezdy nových osobních automobilů soukromých uživatelů (a v menší míře i firemních osobních automobilů) klesají, což může souviset s poměrně vysokým čistým přírůstkem vozidel (pořizování druhého/třetího automobilu v domácnostech).

Obrázek 2 Porovnání věkového rozložení proběhů u firemních a soukromých OA dle velikosti



Do konce roku 2022 bude hotov i výstup **Technická dokumentace modelu TIMES rozšířeného o parametry poptávky, emisní koeficienty a TCO modul**. Tato dokumentace popíše rozšíření modulu TIMES-TRAN o komplexnější parametrizaci obměny vozového parku na základě analýzy časových řad a dotazníkového šetření na poptávku domácností po vozidlech a zpřesnění křížových elasticit mezi dopravními módy odvozenými z druhého dotazníkového šetření. V modulu budou dále aktualizovány následující datové sady: agregovaná kategorizace vozového parku (pro více než 120 kategorií dle druhu vozidla, velikostní třídy, paliva, emisní normy a stáří), emisní faktory pro roky 2018, 2025 a 2030, a rovněž klíčové parametry výpočtu celkových nákladů vlastnictví (TCO).

4. Závěr

Projekt „Predikce úspor emisí ze silniční dopravy do roku 2030 dosažených aplikací vybraných daňových a poplatkových nástrojů“ řeší komplexní téma, které je v současné době velmi aktuální. V projektu byly provedeny rozsáhlé analýzy použití ekonomických nástrojů v zahraničí i v ČR a definovány příklady „best practice“. K řešení jsou využívány pokročilé nástroje pro modelování, jako jsou program COPERT doporučovaný Evropskou agenturou životního prostředí (EEA), model TIMES-CZ jako technologicky orientovaný, dynamicky optimalizační model energetické bilance nebo makro-strukturní CGE model pro analýzu dopadů na ekonomiku. To vše, společně se zapojením odborníků podílejících se rovněž na tvorbě NPSE, by mělo zajistit konzistentní a datově podloženou kvantifikaci úspor. Za tímto účelem bude vyhodnocena sada opatření, která by měla zajistit cílovou úsporu 5 kt emisí NO_x v silniční dopravě při zhodnocení administrativních nákladů opatření. Rovněž bude kalkulována efektivita a dopady dílčích opatření tak, aby státní správa dostala podklad i pro postupné kroky řešící problematiku snižování emisí.

Hlavní výstupy projektu jsou plánovány ke konci roku 2023. S tím je spojen i workshop, který bude realizován na podzim roku 2023, kde budou prezentovány nejdůležitější výsledky projektu.

Literatura

- [1] Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2016/2284 ze dne 14. prosince 2016 o snížení národních emisí některých látek znečišťujících ovzduší, o změně směrnice 2003/35/ES a o zrušení směrnice 2001/81/ES
- [2] Usnesení vlády č. 917 ze dne 16.12.2019, Dostupné online: <https://apps.odok.cz/zvlady/usneseni/-/usn/2019/917>
- [3] Máca V., Rečka L. (2017) Analýza zavedení opatření k podpoře nákupu osobních vozidel šetrných k životnímu prostředí (bonus/malus), studie pro MŽP ČR. Praha: COŽP UK
- [4] David, P. et al. (2018): Analýza zpoplatnění a zdanění vozidel. Zpráva projektu za rok 2018. Centrum dopravního výzkumu, zadavatel: Ministerstvo dopravy České republiky.
- [5] David, P. et al. (2019): Analýza zpoplatnění a zdanění vozidel. Zpráva projektu za rok 2019. Centrum dopravního výzkumu, zadavatel: Ministerstvo dopravy České republiky
- [6] <https://www.cdv.cz/predikce-uspor-emisi-ze-silnicni-dopravy-do-roku-2030-dosazenyh-aplikaci-vybranych-danovych-a-poplatkovych-nastroju/>
- [7] Ntziachristos, L., Samaras Z. et al. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 [online]. European Environmental Agency, 2019 [cit. 2021-10-7]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-3-b-i/view>
- [8] Borken-Kleefeld, J., Chen, Y. New emission deterioration rates for gasoline cars – Results from long-term measurements. Atmospheric Environment [online]. 2015, 101, 58-64 [cit. 2021-10-7]. ISSN 13522310. Dostupné z: doi:10.1016/j.atmosenv.2014.11.013
- [9] Chen, Y., Borken-Kleefeld, J. Real-driving emissions from cars and light commercial vehicles – Results from 13 years remote sensing at Zurich/CH. Atmospheric Environment [online]. 2014, 88, 157-164 [cit. 2021-10-7]. ISSN 13522310. Dostupné z: doi:10.1016/j.atmosenv.2014.01.040
- [10] Carslaw, D., Farren, N., Borken-Kleefeld, J., Sjödín, A. Study on the durability of European passenger car emission control systems utilizing remote sensing data [online]. Stockholm (Sweden): IVL Swedish Environmental Research Institute, 2018 [cit. 2021-10-7]. ISBN 978-91-7883-035-0.
- [11] Galassi, M. C., Martini, G. Durability Demonstration Procedures of Emission Control Devices for Euro 6 Vehicles [online]. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2014 [cit. 2021-10-7]. ISBN 978-92-79-35087-0.
- [12] Whelan, G. (2007). Modelling car ownership in Great Britain. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 41(3), 205–219. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2006.09.013>
- [13] Litman, T. (2019). Understanding Transport Demands and Elasticities. How Prices and Other Factors Affect Travel Behavior. Retrieved from www.vtpi.org/elasticities.pdf
- [14] Wardman, M., Toner, J., Fearnley, N., Flügel, S., & Killi, M. (2018). Review and meta-analysis of inter-modal cross-elasticity evidence. Transportation Research

Part A: Policy and Practice, 118, 662–681.
<https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.10.002>

- [15] Loulou, R., Remne, U., Kanudia, A., Lehtilä, A., Goldstein, G. Documentation for the TIMES Model (2005). [Online]. Dostupné z: <http://iea-etsap.org/index.php/documentation>

Poděkování

Tento článek je financován se státní podporou Technologické agentury ČR a Ministerstva životního prostředí, v rámci řešení projektu SS03010156 Predikce úspor emisí ze silniční dopravy do roku 2030 dosažených aplikací vybraných daňových a poplatkových nástrojů.

Potential of economic instruments to reduce emissions in road transport

Leoš Pelikán¹, Vojtěch Máca², Petr David³, Břetislav Andrlík³, Milan Šcašný⁴

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

²Charles University, Ovocný trh 560/5, 116 36 Praha

³Mendel University in Brno, Zemědělská 1665/1, 613 00 Brno

⁴Prague University of Economics and Business, nám. W. Churchilla 4, 130 67 Praha

e-mail: leos.pelikan@cdv.cz

Abstract

The paper presents the implementation and selected results of the TAČR project "Prediction of road transport emissions savings by 2030 achieved by the application of selected tax and fee instruments". The main objective is to evaluate the possibilities for achieving the reduction target of 5 kt of NO_x emissions from transport by 2030 compared to the NPSE-WM scenario. The project was designed to provide the expertise to the public administration to ensure compliance with the NO_x reduction commitments pursuant to EU laws. Concomitant impacts on CO₂ and PM_{2.5} emissions will be also assessed. The project first analyses the economic instruments already in place but also not yet used in the Czech Republic (but in use in other EU countries). Furthermore, the project builds on time series analyses of vehicle registrations and fleet turnover of companies and households. Important data sources are also questionnaire surveys focused on households' preferences for purchasing new or used vehicles and the choice of transport mode under different circumstances. Based on the data collected, scenarios will be developed and evaluated in the TIMES-CZ model for their impacts on fuel consumption, emissions and fleet composition. The project also foresees the evaluation of the scenarios in terms of economic impacts using a macroeconomic general equilibrium (CGE) model and the evaluation of direct and induced administrative costs according to the evaluated options, which will provide a comprehensive view to assess the effectiveness of the proposed measures.

Peněžní ocenění nákladů běžné a nízkohlučné obrusné vrstvy a dopadů na zdraví

Vítězslav Krivánek¹, Dana Potužníková², Blanka Hablovičová¹, Petra Marková¹,
Jan Machanec¹

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

Příspěvek shrnuje závěrečné podklady k připravované metodice „Dlouhodobé dopady změn hluku nízkohlučných vozovek pro územní plánování“. Uvádí základní schéma ekonomického hodnocení – peněžní ocenění běžného a nízkohlučného povrchu, a to jak z hlediska stavebních nákladů při výstavbě či rekonstrukci (včetně vzniku kolon), tak i z hlediska na lidské zdraví. V rámci příspěvku je představen dílčí zjednodušený konkrétní modelový případ vycházející ze čtyř scénářů.

1. Úvod

V rámci předcházejícího příspěvku na konferenci Doprava, zdraví a životní prostředí [1] byly řešeny základy ekonomického hodnocení pozemních komunikací ve světě a možnosti ekonomického hodnocení v ČR. Problematika dopadů na lidské zdraví, využití nízkohlučných povrchů (NH) a jejich ekonomika je aktuálním tématem. Nízkohlučné povrchy musejí být častěji obnovovány, přičemž dochází ke vzniku vyšších stavebních nákladů než v případě běžných obrusných směsí. Na druhou stranu jsou řešeny dopady hluku na zdraví v ČR i v rámci EU [2] investovány významné finanční obnosy, které představují nezanedbatelnou položku. Náš stát ročně vynakládá na škody způsobené hlukem z dopravy miliardy korun ročně. Dle dokumentu EU [2] je na řešení negativních dopadů hluku z pozemní dopravy vynakládáno ročně 57,1 miliard Euro – z toho činí osobní doprava 42,6 miliard Euro a nákladní 14,5 miliard Euro (pro EU28 s hodnotou Eura roku 2016). Zpráva Evropské agentury pro životní prostředí (EEA) [3] uvádí, že celodenním hlukem 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. Tedy nízkohlučné povrchy představují vhodné opatření, které může mít i po ekonomické stránce smysl [4], především v místech hustší zástavby, vícepodlažních domů a při významné intenzitě provozu, pokud se budovy nacházejí v blízkosti pozemní komunikace. Příkladem je uzavřený uliční kaňon s oboustrannou výškovou obytnou zástavbou. Výpočty ukazují, že nízkohlučný povrch může být z hlediska hodnocení životního cyklu vůči běžnému povrchu v některých případech i celkově ekonomicky výhodnější především z důvodu převažujících benefitů s ohledem na lidské zdraví. K dispozici je základní postup vyjadřující možnost rozšířeného ekonomického zhodnocení využití nízkohlučných vozovek, který může sloužit k dlouhodobě udržitelné dopravě i ve vztahu k rozvoji území v blízkosti pozemních komunikací. Z něj vyplývá, že při započítání zpoždění do ekonomického hodnocení může zmenšit či zcela vymazat benefit nákladů za

nepříznivý vliv hluku na lidské zdraví NH povrchů, které bez zpoždění činí často většinový podíl na celkových nákladech [5]. Je nutné si uvědomit, že náklady na lidské zdraví se počítají na roky, kdežto náklady na zpoždění vlivem rekonstrukce se počítají na dny. Může se tak stát, že několikadenní rekonstrukce spojená s větším zdržením vozidel ekonomicky vymaže několikaletý benefit NH povrchu.

2. Základní schéma ekonomického hodnocení běžného a nízkohlučného povrchu

Ekonomický výpočet pro konkrétní úsek pozemní komunikace a srovnání běžného a nízkohlučného asfaltového povrchu v rámci životního cyklu se skládá z několika dílčích částí [6]. Je nutné postupně určit náklady za stavební práce práce s nimi spojené, jako údržbu povrchu pozemní komunikace, náklady na dlouhodobé dopady expozice hluku obyvatelstva, působením předmětnou komunikací obydleném území (externí náklady za lidské zdraví) a náklady na zpoždění v dopravě vlivem vlastní uzavírky předmětné komunikace (kongesce). Výpočet je možné realizovat pro pozemní komunikace, kde je dominantní hluk ze silniční dopravy dán odvalováním pneumatiky po vozovce dané pozemní komunikace.

- Výpočet stavebních nákladů za životnost konstrukce vozovky – Jde určit pomocí dokumentu „Oborový třídník stavebních konstrukcí a prací“ [7], který seskládá z následujících částí:
 - Frézování – Pro výměnu povrchu je potřeba stávající povrch odstranit a poté položit nový (pokud nejde o výstavbu nové komunikace).
 - Pokládka – Do pokládky 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, válcování), pokládání vrstvy po etapách (včetně pracovních spár a spojů) a dále úprava napojení, ukončení podél obrubníků, dilatačních zařízení, odvodňovacích proužků, odvodňovačů apod.
 - Vodorovné dopravní značení (VDZ) – Vodicí a dělicí čáry. Druhy VDZ používaného v ČR lze nalézt v TP 133 [8].
 - Dopravně-inženýrské opatření (DIO) – Při výměně povrchu je potřeba ke stavebním nákladům připočítat také náklady za dopravně-inženýrské opatření. Jedná se o způsob označení staveniště dopravními značkami, signalizačním zařízením apod. Používání a umístění svislých přenosných značek podle typu komunikace je dáno TP 65 [9]. Způsob označení pracovního místa se odvíjí od TP 66 [10], kde jsou uvedena vzorová schémata pro označování pracovních míst v obci, mimo obec a na dálnicích a silnicích pro motorová vozidla.
 - Náklady za údržbu vrchní asfaltové obrusné vrstvy – Údržbu jako takovou lze rozdělit na provozní a stavební. Pro základní výpočet je uvažována jen provozní údržba, a to konkrétně speciální čištění vozovky, jelikož v tom se od sebe běžný a nízkohlučný povrch pozemní komunikace odlišují (tj. není např. uvažována zimní údržba – solení, aj.).
- Náklady za zpoždění vlivem stavebního místa/uzavírky – Vlivem omezení provozu kvůli stavebním pracím může řidičům vozidel vzniknout zpoždění. Kongesce lze počítat buď podle způsobu určení ztrátového času nebo přímo dle času. Zpoždění vozidel (lidí i nákladu) se následně využije při stanovení peněžní hodnoty [11].

- Náklady za nepříznivý vliv hluku na zdraví obyvatel – Ekonomické náklady se počítají dle dosahované expozice hlučnosti daného obyvatelstva v lokalitě, a to s krokem po jednom decibelu [12]. Nutným vstupem pro výpočet externalit jsou hodnoty změn hlučnosti povrchu v průběhu jeho životnosti.

3. Zjednodušený modelový případ ekonomického srovnání běžných a nízkohlučných asfaltových obrusných vrstev vybraného případu

Komplexní ekonomické hodnocení na základě výše uvedených parametrů uvádí připravovaná metodika „*Dlouhodobé dopady změn hluku nízkohlučných vozovek pro územní plánování*“. Zpracování všech výpočtů není triviální záležitostí, protože jejich realizaci je potřeba množství vstupních podkladů i potřebný čas na zpracování. Proto byly pro účel rychlého a orientačního rozhodování zpracovány vybrané typizované (možné) scénáře různých situací. K těmto výsledkům je nutné přistupovat s určitou mírou opatrnosti, protože mají pouze umožnit první přiblížení situace, zda je čistě z ekonomického hlediska výhodnější běžný asfalt nebo nízkohlučný asfaltový povrch. Je třeba zdůraznit, že pro každou řešenou situaci je nejvhodnější vždy provést konkrétní výpočty daného řešení [13]. Záměrem dílčích modelových případů je poskytnout uživateli základní rychlé rozhodnutí o ekonomické (ne)výhodnosti nízkohlučné asfaltové obrusné vrstvy proti běžnému asfaltovému povrchu. Je třeba znát pouze přibližný počet obyvatel v dané lokalitě, procentuální rozdělení obyvatelstva v jednotlivých pětidecibelových pásmech (např. s využitím výsledků strategického hlukového mapování (SHM)), typ komunikace a délku rekonstruovaného úseku. Tyto podklady jsou jistě snadněji dostupné než všechny požadované parametry nutné k preciznímu výpočtu dle připravované metodiky. Ovšem k tvorbě vybraných modelových případů bylo nutné provést určitá zjednodušení, na která je nutné při interpretaci výsledků brát zřetel. Presentované výsledky stavebních nákladů zobrazují situace, kdy byla za počáteční stav řešení zvolena výstavba nové vozovky či případně zrovna vybudovaný nový povrch. Tedy že nejsou počítány náklady za DIO, frézování. Stavební náklady tak v počátku počítají jen s pokládkou a VDZ. Náklady na kongesce nejsou zahrnuty do výsledků. Přestože značně ovlivňují výsledky, velmi záleží na způsobu a parametrech zvolených k výpočtu, které nelze jednoduše zobecnit. Nejsou zde také zohledněny dodatečné náklady potřebné k obnově povrchů na objízdných trasách při uzavření stavebního místa pro výměnu povrchu. V rámci výpočtů se uvažuje 24letý cyklus (2 životní cykly běžného povrchu a 3 cykly nízkohlučného povrchu) [1].

V tomto příspěvku je představen pouze jeden grafický výstup vycházející ze 4 scénářů pro 1 typ komunikace, přičemž v rámci připravované metodiky je pracováno s 16 scénáři a 5 typy komunikací, jež jsou graficky zpracovány. Nyní je zde demonstrován pouze hypotetický modelový případ, jež obsahuje fiktivní rozložení obyvatel v jednotlivých pětidecibelových pásmech. Jde o ukázkou možné změny, ke které by mohlo docházet při zmíněných rozloženích obyvatel, a to pouze pro hluk s korekcí na starou hlukovou zátěž (SHZ). Rozložení obyvatel v pětidecibelových hlukových pásmech je uvedeno v tabulce 1, přičemž procentuální rozdělení obyvatel v jednotlivých hlukových pásmech je dáno pro noční dobu pro povrch SMA 11S na konci jeho životnosti. Tj. mimo scénář 1 je záměrem dalších situací být na konci životnosti povrchu při jeho maximální hlučnosti při odvalování pneumatiky po vozovce a šířícím se hluku do území ve stanovených hodnotách limitu. Byly zvoleny čtyři scénáře:

- Scénář1: hlukový limit noční doby je překračován u 2 % obyvatel.
- Scénář 2: všichni obyvatelé v oblasti se nalézají v hraničním pásmu s maximálním možným povoleným limitem pro noční dobu.
- Scénář3: rovnoměrné rozložení obyvatel.
- Scénář4: většina obyvatel se nalézá v oblasti pod 40 dB.

Tabulka 1: Rozložení obyvatel v pětidecibelových pásmech při použití korekce na starou hlukovou zátěž pro noční dobu (od 22⁰⁰ do 6⁰⁰).

Pásmo [dB]	Scénář			
	1	2	3	4
pod 40	50 %		20 %	80 %
40–45	25 %		20 %	10 %
45–50	15 %		20 %	6 %
50–55	5 %		20 %	3 %
55–60	3 %	100 %	20 %	1 %
60–65	2 %			
65–70				
nad 70				

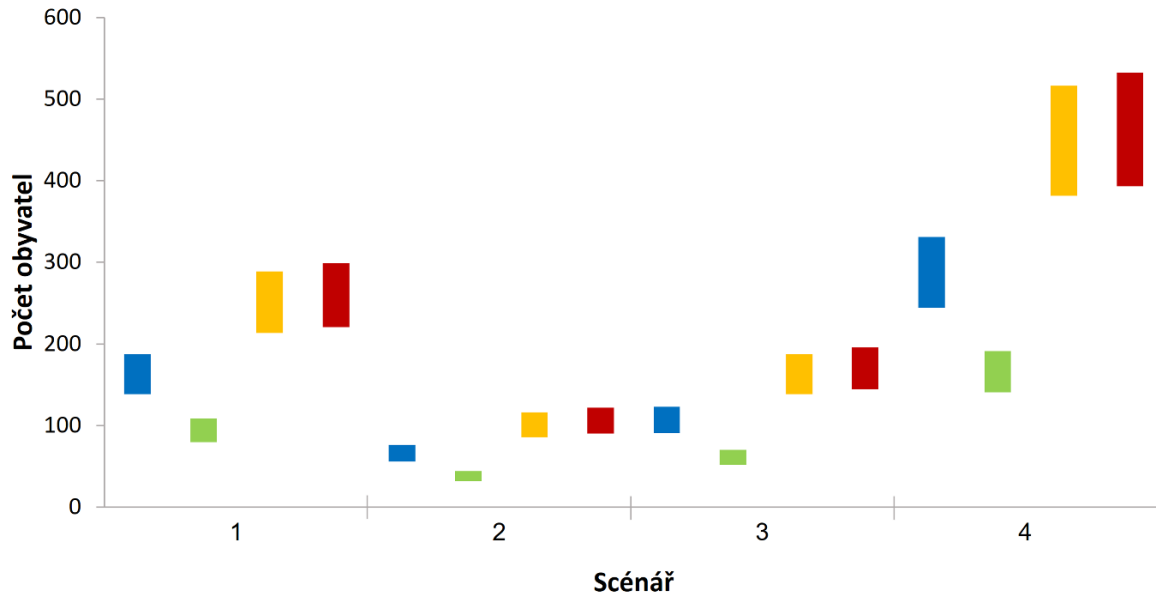
Výsledky závisí na mnoha faktorech (asfaltová směs, délka úseku, typ pozemní komunikace apod.). Pro ukázkou byla vybrána tato kritéria: délka úseku 100 m, typ komunikace D 27,5 – dálnice 4 pruhy (v rámci dalších scénářů jsou uvažovány další 4 různé typy komunikací s šířkou od 7,5m) a typ asfaltového povrchu (běžný – SMA 11S, ACO 11S a nízkohlučný [14] – SMA 8 NH, BBTM 8 NH). Barvy čtyřúhelníků symbolizují porovnání zvolených běžných a nízkohlučných obrusných vrstev, viz obrázek 1.

Obrázek 1: Legenda barevného odlišení porovnávaných povrchů.

■ SMA 11S / SMA 8 NH	■ ACO 11S / SMA 8 NH
■ SMA 11S / BBTM 8 NH	■ ACO 11S / BBTM 8 NH

Pokud se počet obyvatel nalézá pod barevným čtyřúhelníkem, pak je do dané oblasti ekonomicky příznivější aplikovat běžný povrch. Když je počet obyvatel vyšší, než je horní rozsah výpočtu, pak je po ekonomické stránce výhodnější varianta nízkohlučné obrusné vrstvy. Pro počet obyvatel nalézajících se v oblasti čtyřúhelníku není s ohledem na odchylky zcela patrné, který povrch bude vhodnější. Čtyřúhelníky lze nazvat tzv. šedou zónou, kdy je výsledek nejednoznačný.

Obrázek 2: Dosažení ekonomické rovnosti běžného a nízkohlučného asfaltového povrchu pozemní komunikace s uplatnitelností na starou hlukovou zátěž pro typ komunikace D 27,5 s délkou úseku 100 m pro čtyři vybrané scénáře (tabulka 1) a čtyři porovnávané povrchy (obrázek 1) bez zahrnutí nákladů za zpoždění vlivem stavebního místa/uzavírky.



4. Závěr

Hodnocení a posuzování stavu obrusné vrstvy vozovky má podstatný význam pro zajištění snížení negativních dopadů hluku z provozu na pozemních komunikacích na životní prostředí včetně zdraví člověka [15]. Hluk dokáže snížit nejen použití kvalitních materiálů a správné provedení pokládky povrchu vozovky, ale také vhodná volba typu asfaltové směsi. Obrusná směs se sníženou hlučností, používaná především v intravilánu, dokáže citelně snížit hlučnost v okolí pozemní komunikace, čímž je považována za velmi dobré protihlukové opatření. Potřeba použití obrusné vrstvy se sníženou hlučností vycházela především z požadavků zástupců obcí, veřejnosti a hygienického dozoru. Ekologický (zdravotní) benefit obrusné vrstvy se sníženou hlučností je zcela jasně prokazatelný [16]. Doposud však chyběl nástroj, který by specifikoval podmínky, za jakých je ekonomicky vhodnější použít tento povrch oproti běžnému asfaltovému povrchu.

Připravovaná metodika se zabývá výpočtem ekonomických nákladů běžných a nízkohlučných povrchů pozemních komunikací za dobu životnosti konstrukce vozovky. Porovnáním nákladů je možné rozhodnout o ekonomické (ne)výhodnosti použití konkrétní asfaltové směsi, tedy v rámci rozhodnutí o realizaci silniční stavby může být použito další rozhodovací kritérium. Nízkohlučné povrchy mají bezpochyby významný benefit na ocenění negativních dopadů hluku na lidské zdraví, protože snižují hlukovou zátěž ve svém okolí [17]. Stává se ale, že s ohledem na celkové náklady vynaložené za povrch během životnosti konstrukce vozovky se nemusí jednat o neekonomičtější aplikaci. Tento benefit totiž může být převážen dalšími nutnými parametry zatěžujícími konečný rozpočet. V řadě případů bude možné provést ekonomické porovnání, zda je vhodné či nevhodné použití nízkohlučného povrchu jako podpůrného prvku, například pro porovnání různých variant řešení v rámci procesu vyhodnocení vlivů na životní prostředí (EIA), pro tvorbu plánů

udržitelných městských mobilit, akčních plánů protihlukových opatření nebo v rámci jednotlivých stupňů projektové dokumentace (silničních) staveb. V současné době je mnohdy pro pokládku nízkohlučného povrchu rozhodující splnění či nesplnění legislativně daných hodnot hlukových limitů, a v intravilánu defacto i nemožnost realizace jiných protihlukových opatření.

Literatura:

- [1] Křivánek, V., a kol., Obrusné vrstvy se sníženou hlučností na pozemních komunikacích a jejich ekonomika. In *IX. Česko-slovenská konference „Doprava zdraví a životní prostředí“*. Brno, 12. – 13. 10. 2020. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., 2020, s. 7 – 14, ISBN 978-80-88074-78-6.
- [2] Van Essen, H., L. van Wijngaarten, A. Schroten, D. Sutter, C. Bieler, S. Maffii, M. Brambilla, D. Fiorello, F. Fermi, R. Parolin a K. El Beyrouty. *Handbook on the external costs of transport, version 2019 – 1.1*. Delft: CE Delft, 2020. ISBN 978-92-79-96917-1.
- [3] EuropeanEnvironmentalAgency. *EEA Report No. 22/2019, Environmentalnoise in Europe – 2020*. Luxembourg: Publications Office oftheEuropean Union, 2020. ISBN 978-92-9480-209-5.
- [4] Ece, M., I. Tosun, K. Ekinci a N.S. Yalcindag. Modeling of roadtrafficonoise and trafficflowmeasures to reducenoiseexposure in Antalyametropolitanmunicipality. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2018, 16, 1–10. ISSN 2052-336X. DOI: 10.1007/s40201-018-0288-4.
- [5] Křivánek, V., a kol., *Odborná zpráva o postupu prací a dosažených výsledcích za rok 2021 - Rozvoj území s využitím nízkohlučných vozovek*. Průběžná zpráva, Brno, Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., 2022. 46 s. Zadavatel: Technologická agentura ČR.
- [6] Babashamsi, P., N.I.M. Yusoff, H. Ceylan, N.G.M. Nor a H.S. Jenatabadi. Evaluation of pavementlifecycleanalysis: Review and analysis. *International Journal of PavementResearch and Technology*. 2016, 9(4), 241–254. DOI: 10.1016/j.ijprt.2016.08.004.
- [7] Oborový třídník stavebních konstrukcí a prací. *Státní fond dopravní infrastruktury* [online] 2021-06-08.
- [8] Seidl, A. *Technické podmínky 133: Zásady pro vodorovné dopravní značení na pozemních komunikacích*. Schváleno Ministerstvem dopravy ČR č.j. 538/2013-120-STSP/1 ze dne 31. 7. 2013 s účinností od 1. 8. 2013. 84 s.
- [9] Seidl, A. *Technické podmínky 65: Zásady pro dopravní značení na pozemních komunikacích*. Aktualizace schválena Ministerstvem dopravy ČR č.j. 532/2013-120-STSP/1 ze dne 31. 7. 2013 s účinností od 1. 8. 2013. 156 s.
- [10] Tučka, P. *Technické podmínky 66: Zásady pro označování pracovních míst na pozemních komunikacích*. Schváleno Ministerstvem dopravy ČR č.j. 21/2015-120-TN/1 ze dne 12. 3. 2015 s účinností od 1. 4 2015. 156 s.

- [11] Máca, V., J. Urban, J. Melichar a V. Křivánek. *Metodika oceňování hluku z dopravy*. Praha: Univerzita Karlova v Praze – Centrum pro otázky životního prostředí, 2012.
- [12] Máca, V., J. Melichar a kol. *Metodika kvantifikace externalit z dopravy*. Praha: Univerzita Karlova v Praze – Centrum pro otázky životního prostředí, 2013.
- [13] Mondschein, P. Shrnutí poznatků z konference AV'21. In: *Asfaltové vozovky 2021*. [Flashdisk] 2021, 1–4. ISBN 978-80-906809-6-8.
- [14] Valentin, J., P. Mondschein, P. Bureš a V. Křivánek. *Technické podmínky 259: Asfaltové směsi pro obrusné vrstvy se sníženou hlučností*. Schváleno Ministerstvem dopravy ČR č.j. 121/2017-120-TN ze dne 21. 11. 2017 s účinností od 1. 12. 2017. 26 s.
- [15] *Handbook on the external costs of transport*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2019. ISBN 978-92-79-96917-1.
- [16] Thompson, R., R. B. Smith, Y. B. Karim, C. Schen, K. Drummond, C. Teng a M. B. Toledano. Noise pollution and human cognition: An updated systematic review and meta-analysis of recent evidence. *Environment International*. 2022, 158, 106905. ISSN 0160-6750. DOI: 10.1016/j.envint.2021.106905.
- [17] Brown, A. L. a I. VanKamp. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review of Transport Noise Interventions and Their Impacts on Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2017, 14(8), 873. ISSN 1660-4601. DOI: 10.3390/ijerph14080873.

Poděkování

Tento příspěvek je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu ÉTA, v rámci řešení projektu TL02000258 Rozvoj území s využitím nízkohlučných vozovek.

Monetary valuation of the costs of conventional and low-noise asphalt wearing courses

Vitezslav Krivanek¹, Dana Potuznikova², Blanka Hablovicova¹, Petra Markova¹, Jan Machanec¹

¹Transport Research Centre

Lisenska 33a, 636 00 Brno

²Public Health Institute Ostrava

Partyzanska nam. 7, 702 00 Ostrava

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

Abstract

The paper summarizes the final inputs to the forthcoming methodology “Long-term impacts of changes in low-noise road noise for spatial planning”. It provides a basic economic evaluation scheme – a monetary valuation of conventional and low-noise pavements, both in terms of construction costs during construction or reconstruction (including congestion) and in terms of human health impacts. The paper presents a partial simplified case study based on four scenarios.

Výsledky dlouhodobého sledování tramvajových srdcovek z pohledu hluku a ojetí

Ondřej Bret, Magdalena Křečková
Fakulta stavební ČVUT v Praze
Thákurova 2077 / 7, Praha 6, 166 29
e-mail:ondrej.bret@fsv.cvut.cz
magdalena.kreckova@fsv.cvut.cz

Abstrakt

V článku jsou prezentovány vybrané výsledky a řešení projektu „Dlouhodobý monitoring kolejových konstrukcí u tramvajových křižovatek se zaměřením na mělké srdcovky za účelem optimalizace jejich údržby a snížení hluku“. V článku je prezentován vývoj ojetí žlábků srdcovek a také preventivní navařování a reprofilace a následný vývoj po provedené údržbě a jeho srovnání s původním stavem.

1. Úvod

Hluková zátěž z provozu tramvajové dopravy, zde v tomto příspěvku konkrétněji sledovaná hluková zátěž emitovaná při průjezdu tramvají přes kolejové konstrukce (tj. přes "tramvajové křižovatky"), se s rostoucím důrazem na snižování vlivů dopravy na životní prostředí a obyvatele ve městech stává jedním z hlavních hledisek pro návrh, sledování i posouzení vlivu tramvajových tratí na své okolí. Hluk emitovaný provozem je nežádoucím doprovodným jevem (nejen) tramvajového provozu, a často se také stává omezující překážkou zejména pro rozvoj a plánování tramvajových tratí nových, ale i možným limitujícím prvkem pro provoz tratí stávajících. V této souvislosti je tak třeba brát zřetel nejen na mezikřižovatkové úseky, které jsou sice s ohledem na podíl jejich délky výrazně převažující, avšak s ohledem na jejich charakter a možná protihluková opatření často méně konfliktní, ale zejména na kolejové konstrukce, které mohou být v důsledku významně problematictější zdroj hluku. Významným faktorem pro konstrukční řešení kolejových konstrukcí je pak také jejich vztah k provozovaným vozidlům a jejich kolům, a v neposlední řadě také vliv a možnosti údržby srdcovek po celou dobu jejich životnosti.

1.2. Vymezení základních pojmů

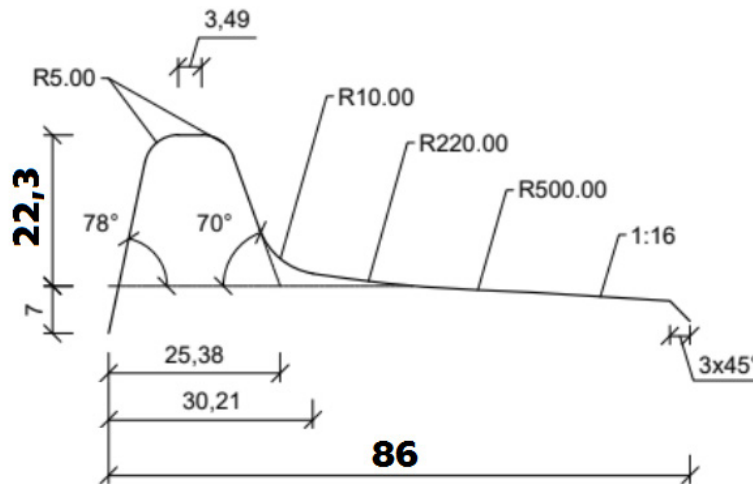
V kolejových konstrukcích se – stejně jako u železničních staveb „velké dráhy“ – nachází v místě křížení kolejových pásů srdcovky. Provedení srdcovek u tramvajových tratí se však s ohledem na jiný profil kol, jejich jinou šířku a další konstrukční odlišnosti od srdcovek „železničních“ zpravidla liší. Oproti srdcovce železniční má srdcovka tramvajová zpravidla podobu odlitku, do kterého jsou následně podle potřeby (úhel křížení, poloměry oblouků) frézovány žlábků.

Na tramvajových tratích se obecně používají dva druhy srdcovek z pohledu hloubky žlábků. Srdcovky s takovou (dostatečnou) hloubkou žlábků, že se kolo při průjezdu přes srdcovku stále odvaluje po své jízdni ploše a nedochází ke styku okolku a dna žlábků – ty obecně nazýváme jako tzv. „hluboké srdcovky“. Druhým typem jsou srdcovky se sníženou hloubkou žlábků, kde kolo při průjezdu přes srdcovku přejíždí tak, že okolek jede (záměrně) po určitou dobu po dně žlábků, takové srdcovky nazýváme tzv. „mělké srdcovky“ nebo srdcovky s mělkým žlábkem.

Rozdíl mezi „hlubokou“ a „mělkou“ srdcovkou nelze exaktně definovat hloubkou žlábků, neboť se může lišit mezi jednotlivými provozy podle toho, jak vysoký (či nízký) okolek, respektive celý profil kola, daný provoz využívá. Pro bližší představu například na síti Dopravního podniku hl. m. Prahy (dále jen DP Praha) mají mělké srdcovky hloubku žlábků 14 mm. [1], [2], [3]

Rozdíl ve využití a možnostech návrhu srdcovek s hlubokým vs. mělkým žlábkem závisí mimo použitého profilu kola i na dalších faktorech, jako je zejména šířka tramvajového kola. Pro konkrétnější představu např. Praha používá poměrně „úzká“ kola šířky 86 mm, Brno využívá kola šířky 100 mm, Ostrava pak využívá kola šířky 120 mm. Od šířky kol a jejich profilu užívaného v daném provozu se pak odvíjí limitní úhly křížení, kdy je možné použití hlubokých srdcovek. Obecně lze říci, že čím daný dopravní podnik využívá na tramvajích kolo širší, tím více (ve větší šíři úhlů) může na tratích využívat srdcovky s hlubokým žlábkem. Naopak čím je kolo užší, tím více jsme nuceni přistupovat k návrhu a využití mělkých srdcovek. Pro ilustraci tvaru a základních rozměrů je na následujícím obr. 1 vyobrazen v současnosti využívaný profil pražského tramvajového kola PR-K.

Obr. 1: Tramvajové kolo s profilem PR-K a šířkou 86 mm využívané v DP Praha



Tento příspěvek se dále zaměřuje jen na srdcovky s mělkým žlábkem, typický vývoj ojetí jejich žlábků, problematiku a specifika jejich údržby a v neposlední řadě na emitované hlukové emise z jejich provozu (respektive z provozu tramvajové dopravy přes konstrukce mělké srdcovky obsahující).

Příspěvek shrnuje vybrané aspekty této problematiky, která byla dlouhodobě v letech 2019 – 2022 řešena ve spolupráci pracovníků Fakulty stavební ČVUT v Praze, Dopravního podniku hlavního města Prahy, a.s., a Pražské strojírny, a.s. a která byla obsažena v projektu TAČR Zéta „Dlouhodobý monitoring kolejových konstrukcí u tramvajových křižovatek se zaměřením na mělké srdcovky za účelem optimalizace jejich údržby a snížení hluku“.

Pro snazší popis některých diskutovaných aspektů jsou zde ještě autory vymezeny pojmy, které nejsou s ohledem na vysokou specifičnost problematiky obecně zcela ustálené, avšak autoři příspěvku je v tomto smyslu dlouhodobě užívají. „*Temeno srdcovky*“ je horní pojižděná plocha tramvajové srdcovky, resp. bloku srdcovky (odlitku); „*křídlovka*“ je část tramvajové srdcovky, která v části nese a v další části vede kolo na jeho vnitřní straně (analogie ke křídlové kolejnici u železniční výhybky. Jedná se de facto o dva „boční tupé hroty“ v srdcovce a

příslušnou část temene srdcovky, které doplňují sjezdový a rozjezdový hrot srdcovky).

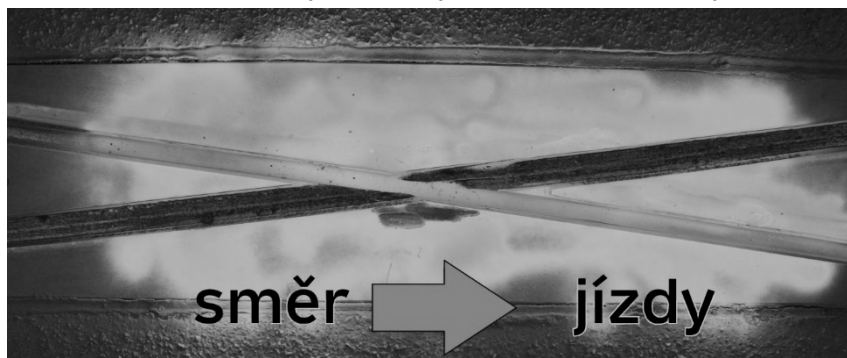
2. Srdcovky s mělkým žlábkem

Jak vyplývá z výše uvedeného, je problematika mělkých srdcovek typická pro provozy s menší šířkou kol – právě například síť DP Praha, avšak ani v ostatních provozech se užití mělkých žlábků nikdy zcela nevyhneme.

Hlavním specifikem srdcovek s tzv. mělkým žlábkem je tedy to, že v místě křížení žlábků a jejich okolí je srdcovka pojížděna primárně nikoli po temeni srdcovky, ale okolkem po (ve) žlábků. K tomuto průběhu průjezdu je přistoupeno záměrně proto, aby byl eliminován dynamický ráz (a související „propadnutí“) kola do kříženého žlábků a na rozjezdový hrot srdcovky, což by mimo výrazného urychlení degradace kolejové konstrukce (srdcovky) vedlo také k většímu opotřebení vozů a v neposlední řadě k nežádoucím hlukovým emisím, neboť by každé kolo spadlo do žlábků a narazilo na hrot srdcovky.

Typický průjezd tramvajových kol přes mělkou srdcovku je prezentován na obr. 2, který v místech setření naneseného křídového spreje ukazuje dotykové plochy mezi srdcovkou a tramvajovými koly při průjezdu přes srdcovku. Na obr. 2 je patrný výše uvedený fakt, že tramvajové kolo se ve většině délky bloku srdcovky pohybuje okolkem po (ve) žlábků, a temene srdcovky se dotýká jen na (malé) části křídlovky. Je vhodné podotknout, že zde vyobrazený průběh odpovídá srdcovce v dobrém stavu (srdcovka nová, resp. ve stavu dříve, než se provozem zvýší hloubka žlábků do úrovně výšky okolku, viz dále v textu).

Obr. 2: Kontaktní plochy mezi koly a srdcovkou s mělkým žlábkem



2.1. Vývoj ojetí a deformací žlábků mělkých srdcovek

Provozem tramvajové dopravy a kontaktem kol s jízdní dráhou dochází (podle zcela stejných principů jako u dopravy železniční) ke změně příčného profilu kolejnic – *ojetí*. Nejinak tomu tak je i v místě srdcovek. S ohledem na charakter průjezdu kol přes mělkou srdcovku se výrazně projevuje svislé (výškové) ojetí, a to zejména dna žlábků. Boční ojetí pojížděné a případně protilehlé hrany pak závisí na poloměru oblouku, které ovlivní postavení podvozků.

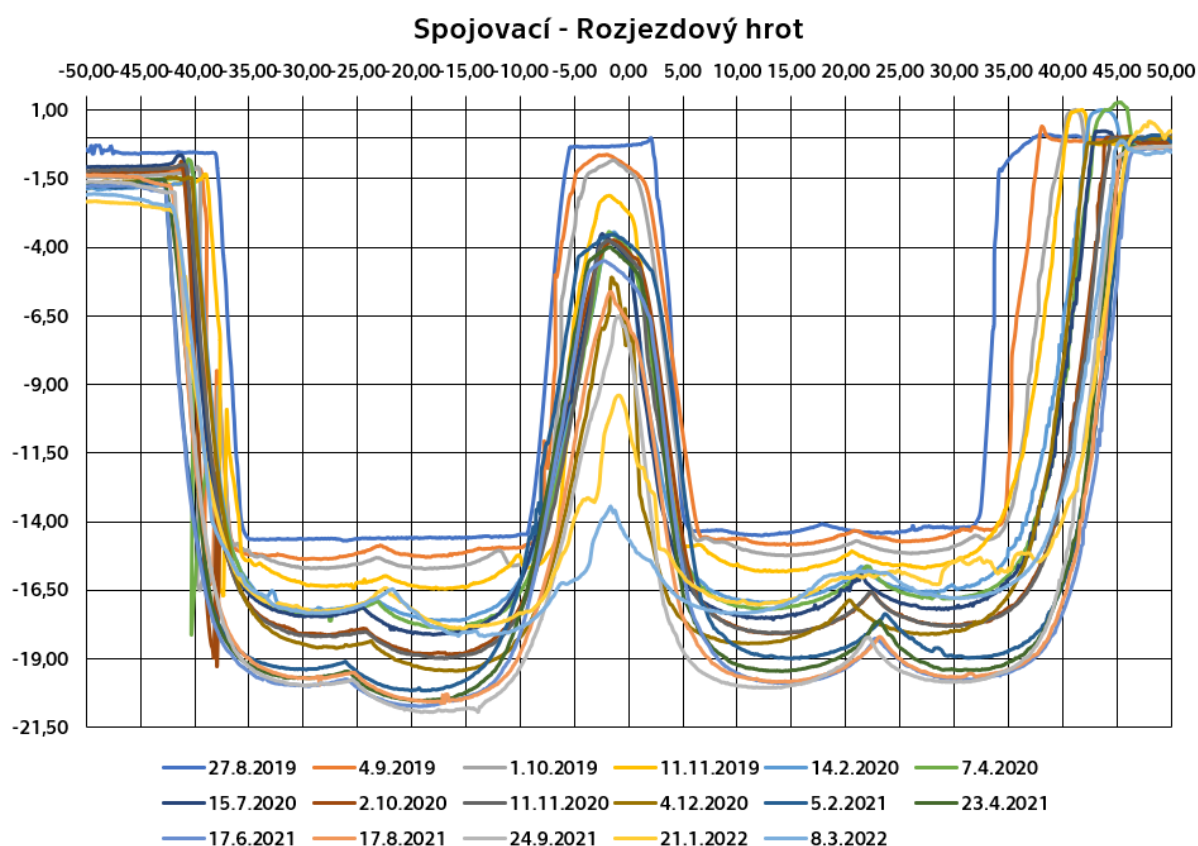
Pro mělké srdcovky je charakteristické právě ojetí a deformace žlábků, které u „železniční“ srdcovky neznáme, neboť ta žlábek zpravidla nemá. Svislé ojetí žlábků pak (běžně) nenajdeme ani na jiných úsecích tramvajových tratích, neboť kolo se i u žlábkových kolejnic pohybuje po temeni kolejnice, nikoli po dně žlábků, a to jak v přímých úsecích, tak ve směrových obloucích.

S ohledem na vysokou specifičnost této problematiky (lišící se navíc v konkrétních hodnotách parametrů i mezi jednotlivými provozy) nebyla tato problematika dosud nijak dlouhodobě systematicky sledována.

V rámci projektu TAČR Zéta bylo dlouhodobě sledováno celkem 6 srdcovek na pěti lokalitách na síti DP Praha. Jednotlivé sledované srdcovky se vzájemně lišily geometrickými parametry uspořádání, traťovým zatížením a rychlostí průjezdu. Rozdíly mezi jednotlivými lokalitami, důvod jejich volby, a bližší komentář k metodice měření a vyhodnocování přesahuje možnosti tohoto příspěvku, a autoři případné zájemce odkazují na další již publikované příspěvky a články [3], [4], [5]

Jako reprezentativní je na obr. 3 zvolen vyobrazen vývoj deformací měřených za rozjezdovým hrotem srdcovky umístěné v tramvajovém obratišti Spojovací. Je na něm patrná postupná změna profilu obou žlábků od vložení nové srdcovky v srpnu 2019 do března roku 2022, tedy za cca 30 měsíců provozu.

Obr. 3: Vývoj profilu žlábků za rozjezdovým hrotem srdcovky v obratišti Spojovací



Na obr.3 je dobře patrné postupné prohlubování žlábků a mimo jiné také vznik „dvojžlábků“, který je typický pro mělké žlábků ve směrovém oblouku. Za 30 měsíců tak u této srdcovky (která je pojížděna cca 350 tramvajovými spoji denně, tj. cca 2000 tramvajovými vlaky týdně, tj. cca 100 000 tramvajových vlaků ročně) došlo k prohloubení žlábků z původní hodnoty 14 mm o cca 6 mm až na 21 mm.

Právě hodnota hloubky 20 – 21 mm je pro pochopení dalších jevů a další údržbu a vývoj deformací, ojetí a vad naprosto klíčová, neboť odpovídá výšce okolku (pražského) tramvajového kola (vizte znovu obr.1), které (nové, neojeté) má okolek výšky 22,3 mm.

Od chvíle dosažení hloubky žlábků 20 – 21 mm se tak charakter ojíždění postupně mění, a mimo žlábků je srdcovka postupně pojížděna po větší ploše temene srdcovky a dochází k ojíždění křídelovek.

Z jiného pohledu – právě dosažení hloubky 20 – 21 mm je optimální pro provedení údržbového zásahu a reprofilaci srdcovky a jejich žlábků zpět na původní hodnotu a „charakter“ mělkého žlábků.

2.2. Údržba mělkých srdcovek – reprofilace žlábků

Hlavní motivací pro sledování a hodnocení ojetí mělkých srdcovek byla (je) snaha provozovatele dráhy – zde Dopravního podniku hlavního města Prahy – zoptimalizovat proces údržby mělkých tramvajových srdcovek, umožnit predikci jejich stavu a možnost efektivního plánování prací i vynakládaných prostředků.

Jak je uvedeno výše, vhodný moment pro provedení údržby je moment těsně před dosažení limitní hloubky žlábků odpovídající výšce okolů v daném provozu – na příkladu Prahy tedy okolo hloubky žlábků 19 – 20 mm.

Údržba se provádí reprofilací hloubky a tvaru žlábků navařením s následným přebroušením.

Srdcovka je navařena tak, aby výsledná hloubka žlábků opět činila (původních) 14 mm. Materiál se může na srdcovku přidávat dvěma způsoby: nanášením návarových housenek podélně, nebo příčně. Podélné návarové housenky se provádějí rovnoběžně s hranami žlábků, resp. rovnoběžně se směrem jízdy. Proto je podélné navaření vhodnější vzhledem k dynamickým rázům při vedení okolku přes srdcovku. Nevýhodou podélného navaření je, že je časově náročnější pro provedení (housenky jsou dlouhé). Oproti tomu příčné návarové housenky jsou kratší, a tedy méně časově náročné na provedení. Vzhledem k tomu, že jsou příčné ke směru vedení okolku přes srdcovku, dochází kvůli nim k větším dynamickým rázům, což opět vede k většímu namáhání srdcovky a k větším hlukovým emisím.

S ohledem na to, že navařování srdcovek probíhá zpravidla bez výluky za běžného (nočního) provozu, upřednostňuje se příčné navařování, protože neomezuje tramvajový provoz. Navařování srdcovky je znázorněno na obr.4, který zobrazuje preventivní reprofilaci srdcovky Výtoň prováděnou v rámci řešení projektu TAČR Zéta, příčné návarové housenky jsou patrné na obr. 5.

Obr. 4: Reprofilace žlábků srdcovky navařováním



Interval mezi navařováním se u hodně zatížených srdcovek už od cca 24 měsíců. Například zde na fotografii vyobrazená křižovatka Výtoň, která se řadí mezi nejzatíženější, a kde je v denním provozu provozováno celkem 5 tramvajových linek, z toho čtyři ve špičkovém intervalu 8 minut, a jedna páteřní v intervalu 4 minuty, se za zájmové období od vložení nové srdcovky v srpnu 2019 do navaření v červnu 2021 (22 měsíců) jednalo celkem o 850 000 projetých spojů, což představuje průjezd cca 5 600 000 jednotlivých náprav (kombinace čtyř-, šesti- a osminápravových vozů a souprav) a odpovídá projeté zátěži 40 mil. tun. Zmíněné zatížení způsobilo ojetí srdcovky o 7,6 mm (14 mm → 21,6 mm). Následně došlo k navaření nového materiálu do srdcovky.

Obr. 5: Pohled na reprofilovanou srdcovku bezprostředně po navaření



2.3. Emise hluku z provozu srdcovek

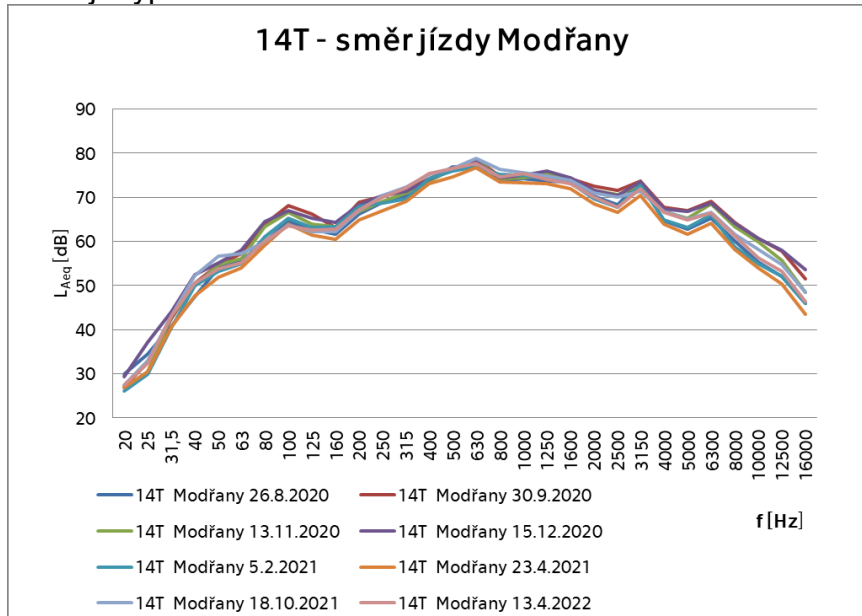
Dalším řešeným aspektem bylo sledování hlukových emisí z provozu tramvajové dopravy přes srdcovky s mělkým žlábkem. Hlavní motivací bylo stanovit, zda po dobu životnosti srdcovky se (výrazněji) mění hlukové emise, a případně jak (spektra, hladiny), respektive zodpovědět praktickou otázku, zda některý stav ojetí žlábků je „hlučnější“ než jiný, a zda tedy do plánování údržby nezahrnout mimo hlediska mezního ojetí žlábků i hlukovou situaci z provozu.

Za tímto účelem byla prováděna série technických měření hluku dále časově navázaných na prováděná měření příčného profilu žlábků a dále také série doplňkových akustických měření, zejména s využitím tzv. akustické kamery. [6], [7]

Pro všechna měření byla provedeno mimo sledování hladin hluku provedena i spektrální analýza, která by (případně) poukázala na změnu hlukové situace na určitých frekvencích. Jako reprezentativní jsou na obr. 6 uvedena průměrná třetinooktávová spektra ze všech hodnocených průjezdů před sledovanou výhybkou *R04 Braník*, pro přímý směr (Modřany), která je právě v tomto směru upravena pro rychlejší průjezdu tramvají – 30 km/h.

Zvolený graf zobrazuje spektrum v rozsahu 20 Hz až 16 KHz. Samotný rozbor třetinooktávových spekter byl proveden vždy pro oblast v rozsahu 31,5 Hz až 6300 Hz, kde se předpokládal nejvýraznější efekt způsobený přes průjezd sledovaných konstrukcí.

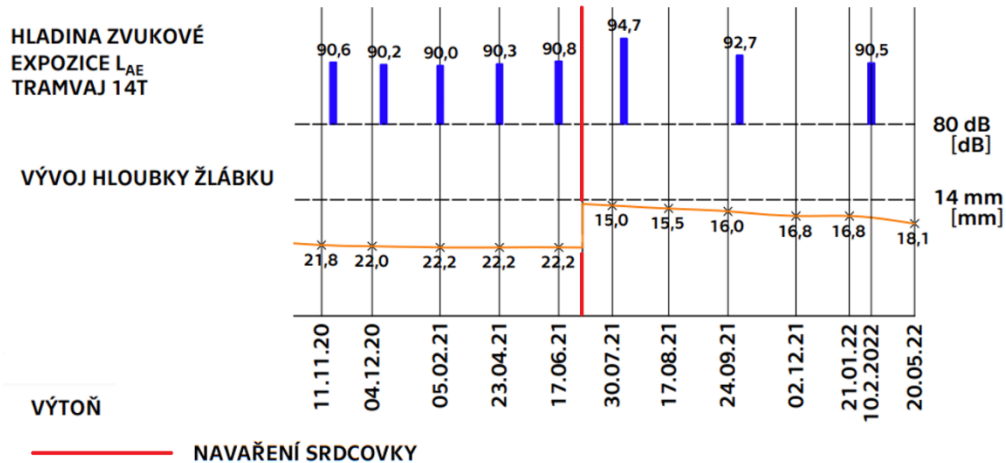
Obr. 6: Průměrná třetinooktávová spektra – Lokalita R04 Braník, přímý směr (Modřany), tramvaje typu 14T



V prezentovaném třetinooktávovém spektru se objevuje několik frekvenčních pásem s dominantními středními frekvencemi, které mohou být přímou odezvou dané kolejové konstrukce při průjezdu kola přes srdcovku. Jedná se o pásma se střední frekvencí 100 Hz a 630 Hz (pro kategorii tramvaj 14T, jiné typy tramvaj měly rozsah mírně odlišný). Další pásmo s dominantní střední frekvencí 800 Hz se objevuje především při průjezdu do oblouku (zde nevyobrazeno) a je přisuzováno spíše již vznikajícímu kvilivému hluku při průjezdu obloukem. Další objevující se pásma s dominantní střední frekvencí se pak již výrazně liší dle typu tramvajové kategorie. Jde například o střžení frekvence jako je 1250 Hz (15T), 3150 Hz (14T), 4000 Hz (15T), 6300 Hz (14T) atp. Bližší rozbor a hodnocení všech naměřených dat, rozdíl mezi jednotlivými typy tramvaj nebo komentáře k metodice měření přesahují možnosti tohoto příspěvku, a autoři opět zájemce odkazují na jiné publikované texty.

Pro přehlednost byly (mimo jiné) dále zpracovány názorné časové osy zobrazující sledované konstrukce. Příkladem je graf na obr. 7 zobrazující průběh vývoje ojetí hloubky žlábků a výsledky akustických měření v okolí srdcovky při jízdě v přímém směru – zvolen byl graf pro lokalitu Výtoň a tramvaj typu 14T.

Obr. 7: Vývoj hlukové situace v závislosti na stavu ojetí pro zvolený časový úsek



Graf prezentovaný na obr. 7 zobrazuje časový výsek obsahující i provedenou reprofilaci žlábků srdcovky v křižovatce Výtoň navařením.

Z výsledků a jejich konfrontace z vyhodnocenými profily žlábků je tak patrné, že po dobu provozu se hladina emitovaného hluku výrazněji s prohlubováním žlábků nemění, a je v čase ustálená. K výraznějšímu (avšak očekávatelnému) nárůstu emitovaného hluku dochází společně s navařením srdcovky. I tento skokový nárůst je však v čase postupně snižován, a již přibližně po 3 – 5 měsících se hladina hluku vrací k původním hodnotám. Tento trend byl pozorovatelný u všech typů tramvají a na všech (akusticky) sledovaných lokalitách.

3. Shrnutí

Obecným závěrem a doporučením (pro projektanty, kteří toto mohou ovlivnit vhodnou volbou úhlu křížení, až po provozovatele, či zřizovatele jednotlivých dopravních podniků, kteří toto mohou ovlivnit úpravami na straně vozového parku) je v co možná nejvyšší míře navrhovat a využívat srdcovky s hlubokým žlábkem, které se řady zde zmíněných problémů a důsledků zcela vyhýbají.

Tento příspěvek si nekladal za cíl přinést a prezentovat jeden konkrétní výstup z řešené problematiky dlouhodobého monitoringu mělkých srdcovek, ale spíše prezentovat širšímu publiku konference Doprava, zdraví a životní prostředí na konkrétních případech řešené aspekty této velmi široké a komplexní problematiky.

Na základě provedeného, více než 2 roky trvajících, sledování vybraných kolejových konstrukcí se podařilo objasnit některé dosud nepopsané a jevy a závislosti, potvrdit další předpoklady, nebo vyvrátit některé dílčí hypotézy. Pro další informace a právě pro konkrétní výstupy a zjištění v jednotlivých řešených aspektech autořítímto odkazují na další publikované příspěvky, odborné články a další texty. Případně se na nás obraťte na uvedených kontaktních e-mailových adresách.

Literatura

- [1] ZELENKA, J., KOHOUT, M.: *Vztah kolo-kolejnice v podmínkách tramvajového provozu*, 46. zasedání odborné skupiny tramvajové tratě, Sdružení dopravních podniků ČR [přednáška]. Plzeň: 21.11.2012.
- [2] ŠUROVSKÝ, J.: *Vztah kolo-kolejnice u tramvají*. DP-kontakt [online] Praha: Dopravní podnik hlavního města Prahy, 2009 [Cit:2.9.2022]. Dostupné na vyžádání u DPP
- [3] KŘEČKOVÁ, Magdalena. *Monitoring vybraných tramvajových srdcovek*. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Bakalářská práce. 2020.

- [4] BRET, O., KŘEČKOVÁ, M.: Dlouhodobý monitoring stavu tramvajových srdcovek a vývoj jejich opotřebení. In: Sborník přednášek semináře pořádaného VOŠ a SPŠ Děčín ve dnech 16. a 17. března 2022. Děčín: Vyšší odborná škola a Střední průmyslová škola strojní, stavební a dopravní, 2022. p. 66-72. ISBN 978-80-905733-8-3.
- [5] KŘEČKOVÁ, M.: *Preventivní údržba tramvajových srdcovek s mělkým žlábkem pomocí navařování*. In: Sborník příspěvků JUNIORSTAV 2022, s:152-157. Brno, ECON publishing, s.r.o., 2022. ISBN:978-80-86433-76-9.
- [6] BRET, Ondřej. *Akustická analýza průjezdu tramvají přes kolejovou konstrukci odbočení se srdcovkou s mělkým žlábkem*. Konference Juniorstav, Brno, 28.1.2021. Sborník příspěvků Juniorstav 2021. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. ISBN: 978-80-86433-75-2.
- [7] BRET, Ondřej. *Praktické využití akustické kamery pro sledování kolejových konstrukcí na tramvajových tratích*. Znojmo: 100. akustický seminář, Sborník 100 akustický seminář, ISBN 978-80-01-06888-5

Poděkování

Prezentované výstupy a výsledky vznikly jako součást řešení projektu „Dlouhodobý monitoring kolejových konstrukcí u tramvajových křižovatek se zaměřením na mělké srdcovky za účelem optimalizace jejich údržby a snížení hluku“, registrační číslo projektu TJ04000257 spolufinancovaného Technologickou agenturou ČR.

Poděkování patří i společnosti Pražská strojírna a.s., která se na řešení projektu spolupodílela. Zvláštní poděkování patří zaměstnancům a organizačním složkám Dopravního podniku hl. m. Prahy, kteří umožnili a spolupodíleli se na provádění prací, měření a praktickém směřování všech výstupů.

Conclusion of long-term monitoring of track construction at tram crossings focusing on shallow crossings

Ondrej Bret, Magdalena Kreckova

Faculty of Civil Engineering, CTU in Prague

Thakurova 2077 / 7, Prague, 166 29, Czech Republic

mail:ondrej.bret@fsv.cvut.cz, magdalena.kreckova@fsv.cvut.cz

Abstract

The article presents the main goals and conclusion of long-term monitoring of track construction at tram crossings focusing on shallow crossings in order to optimize their maintenance and reduce noise. The article presents also preventive maintenance by surface welding and reprofiling grooves during this preventive maintenance and next development after maintenance and its comparison with the original geometry of new tramway shallow.

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. Soubor těchto faktorů tvoří tzv. zranitelnost systému, která je definována jako predispozice (náchylnost) být nepříznivě ovlivněn[1].

Zranitelnost je funkcí expozice danému projevu změny klimatu, citlivosti dotčeného prvku systému (receptoru expozice) a jeho schopnosti se adaptovat. Pro tyto tři komponenty zranitelnosti a celkem 7 sledovaných projevů změny klimatu byla vytvořena indikátorová sada zranitelnosti, jejímž hlavním účelem je přispívat k monitoringu a implementaci Národního akčního plánu adaptace na změnu klimatu. Indikátorová sada aktuálně obsahuje celkem 98 indikátorů, z toho 6 indikátorů za oblast dopravy. Její vyhodnocení bylo součástí analytických podkladů pro první aktualizaci akčního plánu pro období 2021–2025, kterou schválila vláda v září 2021.

Z vyhodnocení indikátorů vyplynula ve srovnání s jinými sektory 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 receptor ovlivněný jeho odolností (resistencí) nebo pružností (resiliencí). Hodnocení zranitelnosti poskytuje informaci o schopnosti systému na klimatickou distorbanci reagovat, absorbovat ji a snížit její následky.

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, v případě dopravy se jedná například o silniční infrastrukturu. 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 (dlouhodobé sucho, povodně, extrémní srážky, zvyšování teplot, extrémní teploty, silný vítr, požáry vegetace) 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 3 indikátory citlivosti a 2 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 změně klimatu.

1.2. Indikátory citlivosti dopravy

Silniční a železniční komunikace ležící v záplavovém území

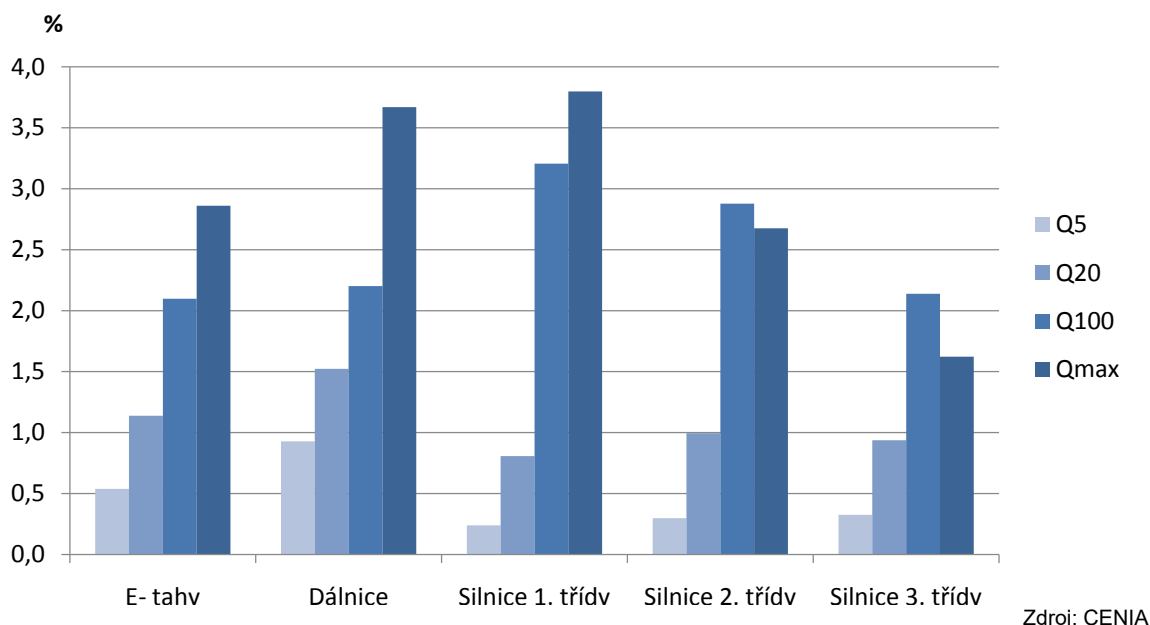
Délka silničních komunikací jednotlivých kategorií v ČR, ležících v záplavovém území, výrazně vzrůstá s rostoucí n-letostí povodně (Graf 1). Zatímco v dosahu 5-leté povodně (Q_5) se nachází 0,9 % celkové délky dálnice a 0,2 % silnic 1. třídy, 100-letá povodeň (Q_{100}) by mohla způsobit zaplavení 2,2 % dálnic (33,8 km), 3,2 % silnic 1. třídy (212,2 km) a 2,1 % (54,1 km) mezinárodních evropských tahů, které jsou vedeny po silnicích těchto kategorií. V případě silnic nižších tříd je kvůli vyšší hustotě jejich sítě délka potenciálně zaplavených komunikací vyšší, při povodni Q_{100} se jedná o 424,0 km silnic 2. třídy a 727,3 km silnic 3. třídy. Tato data byla získána GIS analýzou s využitím vrstev silniční sítě (ŘSD) a záplavových území systému DIBAVOD z roku 2022. Uváděna je délka komunikací v záplavovém území kromě jejich délky mezi břehovými liniemi vodních toků.

Reálná záplava komunikací, a tím i znemožnění jejich užívání při povodni s dopady na konektivitu silniční sítě, je dána elevací komunikace vůči okolnímu terénu (např. vedení silnic po mostech nebo náspech) a existencí protipovodňových technických opatření na dopravní infrastruktuře. I když tyto aspekty není komplexně možné na základě dostupných dat při analýze v prostředí GIS postihnout, lze předpokládat, že většinu dálnic a silnic 1. tříd povodeň nezasáhne, zatímco silnice nižších tříd budou zaplaveny z větší části. Toto tvrzení lze podpořit úhrnnou délkou mostů na dálnicích a silnicích 1. třídy v krajích ČR, která v případě dálnic je až na drobné výjimky (Moravskoslezský a Zlínský kraj) vyšší než vypočtená zaplavená délka komunikace při nejvyšší povodni, a úroveň protipovodňové ochrany silničních novostaveb.

V krajském členění je největší narušení dopravy povodněmi možné očekávat v Ústeckém, Zlínském a Olomouckém kraji, kde se největší délka komunikací vyšších tříd nachází v záplavovém území a část silnic 1. třídy v záplavových územích není vedena po mostech, a byla by tak pravděpodobně zaplavena.

Ohroženost železniční sítě povodněmi je podstatně nižší než u silnic, zejména koridorové tratě mají vysokou úroveň protipovodňové ochrany, která je součástí projektové přípravy staveb. I když evropské koridory a evropské celostátní tratě procházejí zejména v krajích Olomouckém, Jihomoravském a Pardubickém záplavovým územím stoleté povodně (v řádech jednotek km), pravděpodobně by nebyly zaplaveny.

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 [%], 2022



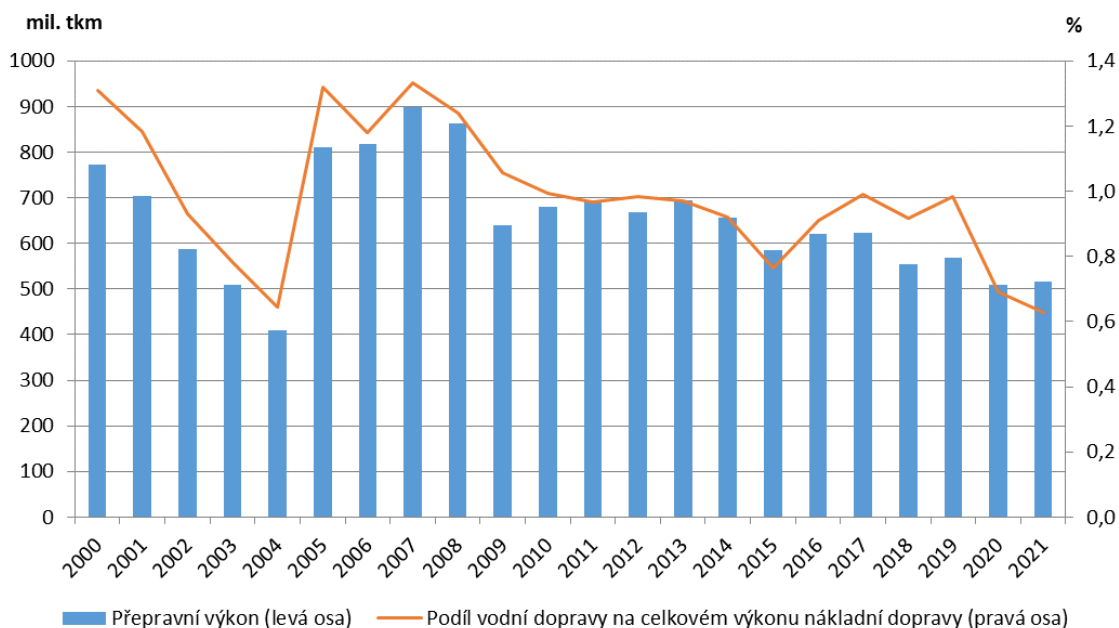
Podíl přepravních výkonů vodní nákladní dopravy na celkové nákladní dopravě

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 2000–2021 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 podíl suchu citlivé vnitrozemské vodní dopravy na dopravním výkonu nákladní (i osobní) dopravy v ČR byla citlivost dopravy k suchu vyhodnocena jako nevýznamná.

Graf2. Přepravní výkon vodní vnitrozemské nákladní dopravy v ČR a podíl vodní dopravy na celkovém přepravním výkonu nákladní dopravy [mil. tkm, %] 2000–2021

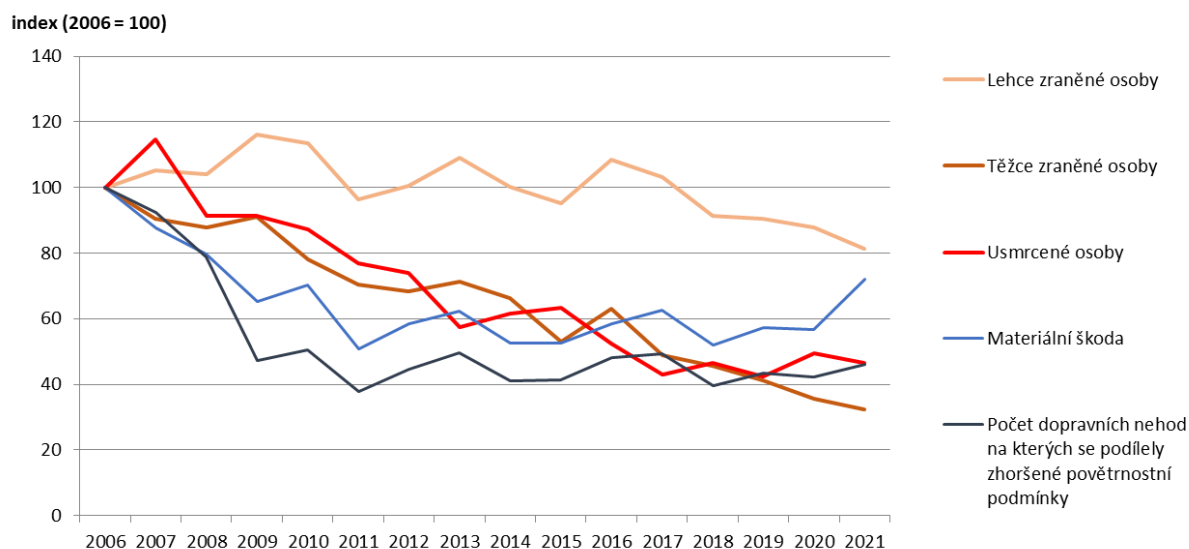


Zdroj: CENIA, MD

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

Během hodnoceného období 2006–2021 poklesl počet dopravních nehod v silniční dopravě, na jejichž vzniku se podílely sledované povětrnostní vlivy (Graf 3). Výrazněji poklesly závažné následky těchto nehod (počty usmrcených a těžce zraněných osob), celková hmotná škoda po roce 2010 stagnovala. Z povětrnostních faktorů se na počtu nehod v této kategorii nejvíce podílel silný déšť (cca třetina počtu nehod ke kterým došlo při zhoršených povětrnostních podmínkách), následovaný sněžením a námrazovými jevy. Ze statistiky dopravní nehodovosti vyplývá, že zhruba 85 % dopravních nehod, v závěru období i poněkud více, vzniká při neztížených povětrnostních podmínkách. Lze tak konstatovat, že i když povětrnostní podmínky představují významný faktor ovlivňující dopravní nehodovost, nebyl ve sledovaném období zjištěn nárůst jejich působení. Navíc řada evidovaných vlivů, jako je např. sněžení nebo námraza, nemá souvislost se změnou klimatu. Citlivost dopravy na změnu klimatu je tak z pohledu dopravní nehodovosti nízká.

Graf 3. Vývoj počtu dopravních nehod v silniční dopravě vzniklých při spolupůsobení zhoršených povětrnostních podmínek a následků těchto nehod v ČR [index, 2006 = 100], 2006–2021



Zdroj: CENIA, Policie ČR

1.2. Indikátory adaptační kapacity dopravy

Vybavenost veřejné hromadné dopravy klimatizací

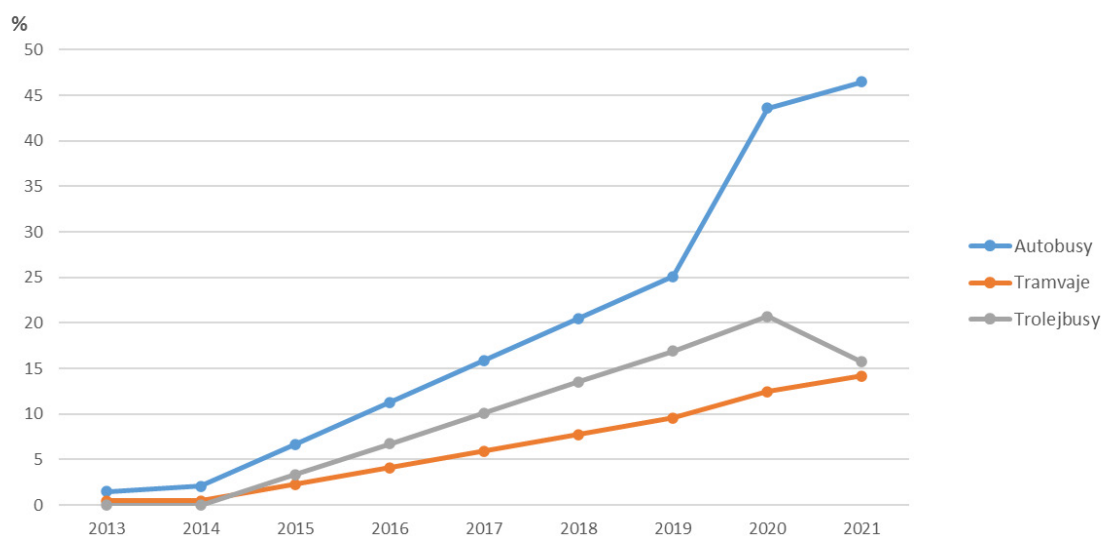
Vybavenost vozidel veřejné dopravy klimatizací je indikátorem adaptační kapacity na projev změny klimatu extrémní teploty. Klimatizace ovlivňuje komfort cestujících a snižuje zdravotní rizika plynoucí z vysokých teplot jak u cestujících, tak i zaměstnanců ve veřejné dopravě. Kromě toho přispívá ke konkurenceschopnosti hromadné dopravy vůči dopravě individuální v průběhu vln veder, což snižuje znečišťování ovzduší individuální automobilovou dopravou.

Podíl klimatizovaných vozidel MHD společně s obnovou vozového parku postupně stoupá (Graf 4). Klimatizací bylo v roce 2021 vybaveno v rámci členských organizací Sdružení dopravních podniků 46,5 % autobusů, 14,2 % tramvají a 15,7% trolejbusů z celkového počtu vozidel. Růst podílu klimatizovaných vozidel se v posledních letech zrychlil, meziroční pokles u trolejbusů je dán rozšiřováním trolejbusových tratí (např. v Jihlavě) a s tím spojeného celkového růstu počtu vozidel. Mezi jednotlivými dopravními podniky existují značné rozdíly v podílu klimatizovaných vozidel, DP hl. m. Prahy měl v roce 2021 klimatizováno 49,3 % autobusů a 16,2 % tramvají.

Pokud jde o klimatizaci veřejných dopravních prostředků mimo MHD, nejsou kvůli konkurenčnímu prostředí k dispozici souhrnná data. Většina poskytovatelů dálkové autobusové dopravy udává 100% vybavenost klimatizací. V železniční dopravě rychle stoupá podíl klimatizovaných vozů, ve vlacích ČD vyšší kvality (např. Railjet, Pendolino) a vlacích soukromých dopravců (RegioJet, Leo Express) jsou všechny vozy klimatizovány.

Z vyhodnocení indikátoru vyplývá růst adaptační kapacity veřejné dopravy vůči extrémně vysokým teplotám.

Graf4. Vývoj podílu vozidel jednotlivých druhů MHD vybavených klimatizací [%], 2013–2021



Zdroj: CENIA, SDP

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

Na dálnicích a silnicích 1. třídy bylo k 31. 12. 2021 rozmístěno celkem 587 meteostanic a 531 kamer. Za uplynulých 5 let (období 2017–2021) narostl počet meteostanic o 26,0 % a kamer o 38,4 %. V průměru tak každých 15 km těchto komunikací je vybaveno kamerou a každých 14 km meteostanicí. Zranitelnost dopravního systému s růstem vybavenosti komunikací prvky monitoringu a varování 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 možnostmi 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. Adaptace dopravy na změnu klimatu se postupně zlepšuje, v souvislosti s technologickým vývojem, obměnou vozového parku i rozvojem sítě dopravních komunikací.

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
- [4] Národní akční plán adaptace na změnu klimatu, 1. aktualizace pro období 2021–2025, Ministerstvo životního prostředí, 2021

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.

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. The main purpose of the vulnerability indicator set, which has been developed and structured according to the vulnerability components, climate change categories and impact sectors, is to support monitoring and implementation of the National Action Plan on Adaptation to Climate Change. The indicator set comprises of a total of 98 indicators, out of which 6 indicators are focused on the transportation sector. The last evaluation of this indicator set was used as the basis for the update of the Action Plan for the period 2021–2025, adopted by the Government of the Czech Republic in September 2021.

The indicator assessment has revealed low vulnerability of transport 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.

Parkoviště a tepelný ostrov města

Jaroslav Rožnovský

Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno

Kroftova 43, 616 67 Brno

e-mail: jaroslav.roznovsky@chmi.cz

Abstrakt

Města neustále zvyšují nejen počet obyvatel, ale také svou rozlohu. Tímto je dáno, že se také zvyšuje doprava a následně plochy parkovišť. Povrch měst se oproti původní přírodní krajině mění a s tím také jeho radiační bilance. Stavební materiály mají jiné albedo a další fyzikální vlastnosti než porosty. Proto se městské klima liší od klimatu přírodní krajiny. Ve městech dochází k výskytu „tepelného ostrova“. Jsou to části města s vyššími teplotami povrchů a následně vzduchu. Na tomto jevu se také významně podílejí plošná parkoviště, kterých povrch tvoří převážně asfaltový beton. Na povrchu parkovišť za jasných dnů mohou teploty dosahovat i přes 70 °C. Naopak na travním porostu pouze kolem 35 °C. Nejvyšší teploty povrchů jsou po kulminaci Slunce. Denní chod povrchové teploty parkoviště vykazuje vysokou amplitudu.

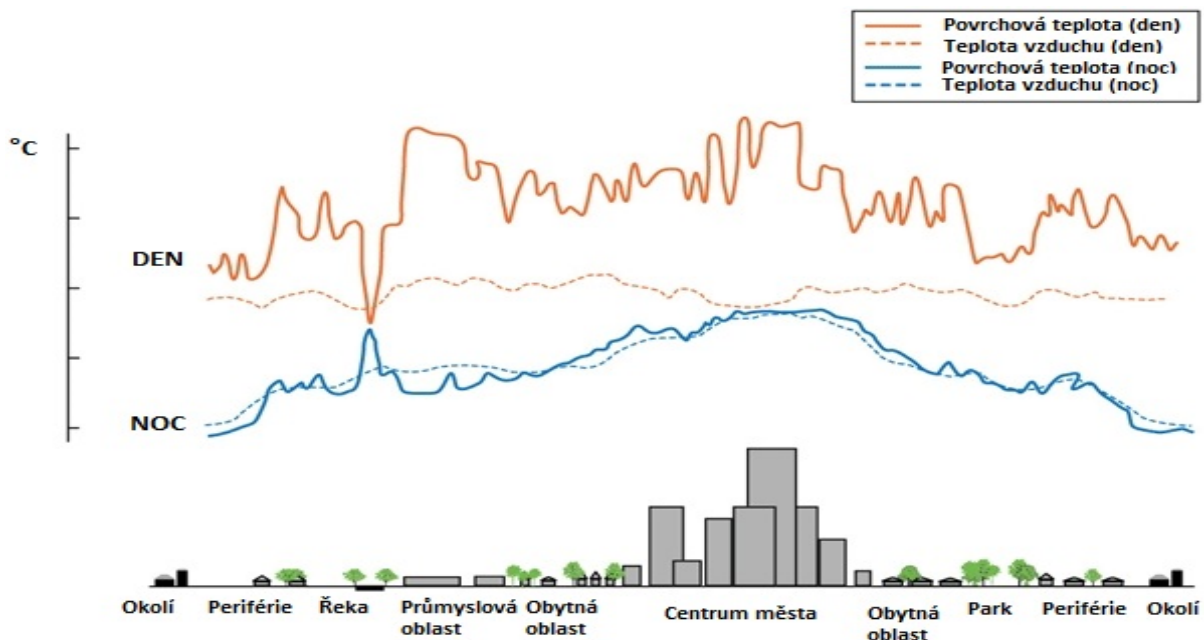
1. Úvod

Změna klimatu prokazatelně zvyšuje teploty i na našem území [11]. Jistě, že změna klimatu ovlivňuje i města, ale u nich se ještě projevuje vliv ploch s vysokým podílem umělých povrchových materiálů. Tento stav se pak negativním způsobem promítá do městského klimatu, které je podle [6] definováno takto: „klima velkých měst a průmyslových aglomerací, které se vytváří za spolupůsobení specifického *aktivního povrchu* měst, antropogenní produkce tepelné energie a průmyslové, dopravní i jiné činnosti ve městech. Aktivní povrch měst je tvořen střechami a stěnami budov, vozovkami s umělým povrchem, malou plochou zeleně a jeho vlastnosti závisí i na typu zástavby, šířce ulic apod. Od klimatu přilehlého venkovského okolí se městské klima zpravidla liší nižší průměrnou rychlostí větru, vytvářením *tepelného ostrova* města (projevuje se vyššími denními i ročními průměry teploty vzduchu), nižší *relativní vlhkostí vzduchu*, sníženou dohledností a podstatně vyššími *emisemi* znečišťujících látek, které unikají do atmosféry z různých zdrojů znečištění (tepelné elektrárny, teplárny, továrny, domácí topeniště, spalovací motory aj.). Větší *znečištění ovzduší* ve městech se projevuje snížením slunečního záření“, konec citace. Z uvedené definice vyplývá, že městské prostředí se významně liší od krajiny a vyžaduje speciální metody monitoringu.

Dokladem tohoto stavu ve městech je velké množství publikací, např. [1, 10, 12]. Zvláště v letních měsících vede zvýšení teploty vzduchu až k tepelnému stresu obyvatel a podílí se na zvýšení nemocnosti u starších osob a dětí. K negativním dopadům nazdraví obyvatel přispívá ve městech též znečištění ovzduší. Vlivům městského prostředí, včetně dopadů na zdraví obyvatel byla věnována pozornost mnoha autorů, např. [4, 5]. Srovnání teplotního režimu města a přilehlých venkovských oblastí provedl Howard ve studii Climate of London z roku 1833 [7]. Jednou z prvních studií na našem území byla studie městského klimatu včetně bioklimatu, která byla vypracována pro Bratislavu [8]. Rozsáhlou studii městského prostředí na příkladu města Brna, která vycházela mimo meteorologických údajů ze sítě klimatologických stanic Českého hydrometeorologického ústavu také z

účelových meteorologických stanic a speciálních měření, najdeme v publikaci Klima Brna [2]. V porovnání s venkovskou krajinou mohou být ve městech nejen v denních maximech, ale i v nočních hodinách teploty i o 10 °C vyšší [3, 10] což má přímý vliv nejen na lidské zdraví, ale má to i důsledky ekonomické. Změna geometrie aktivního povrchu – zvětšení jeho velikosti a převaha vertikálních povrchů - vede ke zvýšení množství pohlceného slunečního záření a k jeho četným odrazům. Názorně jsou vyjádřeny poměry mezo a mikroklimatu na Obr. 1.

Obr. 1 Rozložení teploty vzduchu a povrchové teploty v průběhu dne a noci nad městem a okolím. [7]



Uzavřené prostory mezi budovami způsobují omezení dlouhovlnného vyzařování v nočních hodinách, a tím dochází ke snížení ztrát tepla, změně tepelných vlastností aktivního povrchu – budovy mají poměrně značnou tepelnou kapacitu, což umožňuje zvýšené pohlcování tepla v období pozitivní energetické bilance a jeho uvolňování během negativní energetické bilance. Jde také o změnu v hydrologické bilanci, kdy převaha nepropustných povrchů vede ke snížení dostupného množství vody k evapotranspiraci a současně i ke snížení latentního toku tepla, a naopak ke zvýšení turbulentního toku. Díky potřebě co nejefektivnějšího využití plochy měst dochází k tomu, že není rozšiřována, ale naopak snižována plocha zeleně. Přitom právě zeď přispívá ke snížení negativních dopadů městského prostředí několika způsoby, od přímého snižování teploty vzduchu, zvyšování jeho vlhkosti, zachycování nečistot apod. až po vytváření prostředí pro odpočinek a well-being (pohodu) obyvatel města [2, 8 a další].

Jak již bylo uvedeno, tepelný ostrov města se projevuje zvláště teplými body s charakteristickými znaky (parkoviště, průmyslová zařízení, ploché střechy, asfaltové komunikace apod.) Jsou definovány jako „microubanheatlands - MUHI“. Jistě, že rozvoj dopravy vede k tomu, že rostou i plochy parkovišť, tedy prostorů určených pro parkování. Jedná se o místo pro delší odstavení, respektive odstávku vždy většího počtu vozidel - typicky motorových vozidel, ale například také jízdních kol. Parkoviště obvykle uplatňují kolmé či šikmé stání vozidel, podélné stání bývá spíše výjimečné. Podle zákona o pozemních komunikacích je veřejné parkoviště stavebně a provozně vymezená plocha místní nebo účelové komunikace anebo

samostatná místní nebo účelová komunikace určená ke stání silničního motorového vozidla.

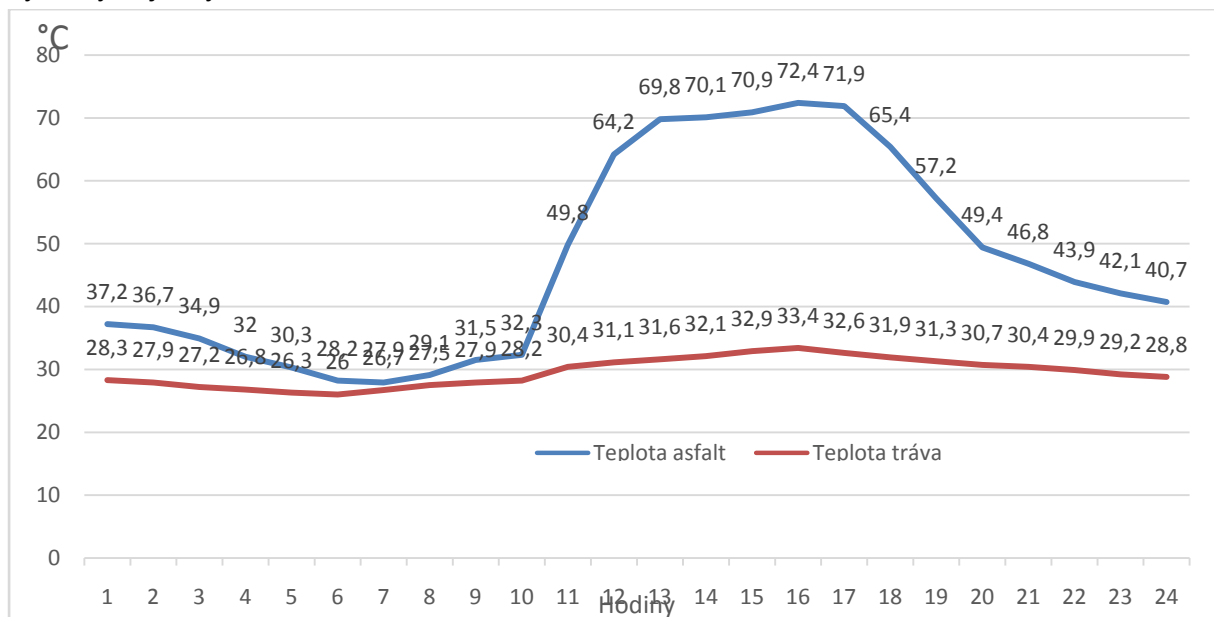
2. Metodika

Pro vyhodnocení vlivu parkovišť na klima města byla využita data meteorologických měření klimatologických stanicích Českého hydrometeorologického ústavu, dále data z prováděných specifických měření jako měřicí jízdy [9], pěší měření v centru měst, termovizní snímání a podklady z dálkového průzkumu. Pro vyjádření průběhu teploty povrchu parkoviště jsme zprůměrovali data měření termometrem za jasných dnů července 2022 a pro srovnání přidali měření na povrchu travního porostu.

3. Výsledky

Snaha snížit výskyt tepleného ostrova ve městech znamená věnovat pozornost zákonitostem radiační bilance. Povrchové teploty parkoviště se liší v průběhu dne, jejich průběh a dopady na městské klima vynikne při srovnání s průběhem teploty travního povrchu, viz obr. 2.

Obr. 2 Průběh hodinových teplot povrchu trávy a parkoviště (asfaltový beton) v Brně za vybraných jasných dnů v červenci 2022.



Vidíme zásadní rozdíl mezi průběhem teploty povrchu měřené termometrem za jasného dne. V popisu průběhu teploty povrchů jsou podrobně popsány zákonitosti radiační bilance proto, aby si čtenář tyto uvědomil. Běžně uváděná změna klimatu jako podstata specifika městského klimatu není zcela správná, rozhodující je právě změna radiační bilance.

S ohledem na chod slunečního záření a proces vyzařování nacházíme nejnižší teploty povrchu mezi šestou až sedmou ranní hodinou. Výskyt minimální denní teploty vzduchu je dán vyzařováním povrchu, který ještě není zahříván dopadajícím slunečním zářením. Musíme si uvědomit, že sice Slunce v těchto dnech vychází pár minut po páté, ale jde o optický klam, sluneční těleso je ještě pod horizontem. Tzn., že ještě nedochází k ohřívání povrchu pohlcením slunečního záření.

Připomeňme si, že základním zdrojem energie pro atmosféru je sluneční záření. Na klimatologických stanicích měříme součet přímého (I') a difuzního (D) slunečního záření dopadajícího na vodorovnou plochu, které nazýváme globální záření (Q), tedy $Q = I' + D$. Jeho intenzita se mění v závislosti na výšce Slunce nad obzorem, na oblačnosti a znečištění atmosféry. V časných ranních hodinách před východem Slunce a večer po jeho západu je globální záření tvořeno pouze rozptýleným zářením. Postupně roste zastoupení přímého slunečního záření. Intenzita globálního záření je z hlediska ročního a denních chodů nejvyšší v červnu v poledních hodinách, kdy mohou být naměřeny hodnoty až $900 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

Postupným zvyšováním úhlu dopadu slunečního záření je stále větší část pohlcována povrchy. Ale opět se budou v procesu pohlcování oba povrchy lišit. Významný vliv ohledně pohlcování záření sehrává tzv. odrazivost povrchů, tedy schopnost odrazet dopadající záření specificky podle fyzikálních vlastností. Odrazivost povrchů vyjadřuje v meteorologii tzv. albedo, tedy poměr mezi odraženým a dopadajícím zářením na povrch, a to v %. Pro betonový asfalt jsme naměřili albedo 12%, u trávy 22 %.

Jak bylo popsáno, povrchy se dopadajícím zářením ohřejí. Ale musíme v rámci hodnocení vzít v úvahu proces vyzařování a jeho zákonitosti. Pro naše hodnocení není nutné procházet zákonitosti elektromagnetického záření, jak je vyjadřuje *Planckův zákon*. Stačí připomenout, že celkové množství energie elektromagnetického záření E , vyzářeného za jednotku času jednotkovou plochou povrchu černého tělesa do jednotkového prostorového úhlu přes všechny vlnové délky charakterizuje *Stefanův-Boltzmannův zákon*:

$$E = \delta \cdot T^4 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2},$$

kde $\delta = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$ (Stefanova-Boltzmannova konstanta),

T = teplota vyzařujícího povrchu v kelvinech.

Stručně řečeno, tento zákon nám říká, že celkové množství vyzářené energie povrchem černého tělesa je funkcí teploty povrchu. Protože je povrch parkoviště o několik stupňů teplejší (a nejen povrch, ale i vrstva pod povrchem), vyzáří více energie než chladnější povrch porostu trávy, kde je navíc vliv evapotranspirace. Tato skutečnost či zákonitost platí neustále. Takto je zdůvodněno, proč se minimální teplota obou povrchův době ranního minima sobě blíží, nejmenší rozdíl je $1,2 \text{ }^\circ\text{C}$, ale jejich průběh se během dne liší.

Připomenutí evapotranspirace travního porostu vyžaduje její bližší popis. Právě rozdílný průběh a hlavně hodnoty teploty povrchů jsou pádným argumentem, proč bychom měli mít ve městech co nejvíce zeleně. Zelené povrchy na rozdíl od stavebních vydávají vodu navíc i transpirací, takže neustále ochlazují povrch, viz graf. Množství energie pro výpar vody obecně vyjadřujeme jejím *skupenským teplem výparným* (L). Pro vodu o teplotě $0 \text{ }^\circ\text{C}$ činí $L_0 = 2\,500 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$, při jiné teplotě vody se vypočte ze vztahu $L_t = 2500 - 2,5 t \text{ (J}\cdot\text{g}^{-1})$.

Průběh teplotních křivek obou povrchů se desátou hodinou začíná významně lišit. Díky albedu se ohřívání asfaltu oproti trávě významně zvyšuje. A od desáté hodiny začíná teplota asfaltu radikálně narůstat až do maxima $72,4 \text{ }^\circ\text{C}$. Jeho výskyt není logicky v době kulminace Slunce, ale až následně, s několika hodinovým zpožděním, daným postupnou akumulací tepla nejen na povrchu, ale celé horní vrstvy. Tímto je také dáno postupné pomalé ochlazování povrchu asfaltu až do nočních hodin.

Ze srovnání obou křivek vyplývá, že i u travního povrchu je maximum později než kulminace Slunce, v podstatě ve stejném čase. Ale jeho hodnota není zdaleka tak výrazná, činí $33,4 \text{ }^\circ\text{C}$. Rozdíl mezi maximy je necelých $40 \text{ }^\circ\text{C}$ a vidíme, že rozdíl přes

30 °C je od poledne do 17. hodiny. Je nutné připomenout, že vysoké teploty povrchu znamenají vysoké hodnoty vyzařování, a tím také vysoké teploty vzduchu. S těmi potom souvisí další změny hodnot dalších meteorologických prvků, zvláště vlhkost vzduchu, kdy hodnoty relativní vlhkosti vzduchu významně klesají, zvyšuje se potenciální evapotranspirace atd.

4. Závěry

Máme-li opravdu dosáhnout snížení výskytů tepelného ostrova měst a zlepšení městského klimatu hlavně z hlediska teplotních maxim, musíme mít kvalitní informace, tedy meteorologické údaje. Jistě, že můžeme z dostupných studií vycházet a jimi si při řešení městského prostředí řídit.

Samozřejmě musíme ve městech zajistit kvalitní dopravu. Není zcela předmětem tohoto pojednání řešit městskou dopravu, ale současná energetická situace dokládá, že největší pozornost by měla být věnována městské dopravě na úkor dopravy osobní, v tomto pojetí automobilové. Uváděné výskyt povrchových teplot jednoznačně dokládají, že plošná parkoviště oprávněně řadíme k největším zdrojům tepla ve městech. Z uvedené analýzy hodnot a dynamiky povrchových teplot asfaltového betonu a travního porostu jednoznačně vyplývá, že bychom měli mít ve městech co nejvíce zelených ploch. Na plošných parkovištích by měly být stromy a zelené pásy v co největším počtu a ploše.

Zatím takřka vždy vítězí ekonomický pohled nad péčí o městské prostředí, tedy i péčí o zdravé podmínky pro obyvatele. Pro parkování, zvláště v katastru měst, by neměla mít plošná parkoviště místo. Jistě, že jsou významně dražší, ale k prostředí města daleko příznivější parkovací domy. Zde se střetávají jednoznačně postupy mitigační a adaptační. Jak vidíme, převládají postupy adaptační, tedy vynakládáme prostředky na úpravy negativních vlivů místo toho, abychom jim předcházeli.

Literatura

- [1] Cao, C., Lee, X., Liu, S., Schultz, N., Xiao, W., Zhang, M. and Zhao, L., 2016. Urban heatislands in Chinaenhanced by hazepollution. *Naturecommunications*, 7(1), pp. 1-7.
- [2] Dobrovolný, P., L. Řezníčková, R. Brázdil, L. Krahula, P. Zahradníček, M. Hradil, M. Doležalová, M. Šálek, P. Štěpánek, J. Rožnovský, H. Valášek, K. Kirchner a J. Kolejka. 2012, *Klíma Brna. Víceúrovňová analýza městského klimatu*. Brno: Masarykova univerzita, 200 s. ISBN 978-80-210-6029-6.
- [3] Kopec, R. J. (1970): Furtherobservationsoftheurbanheat island in a small city. *Bulletin Americanmeteorological Society*, Vol. 51, No. 7, s. 602-606
- [4] Li, H., Sodoudi, S., Liu, J., Tao, W., 2020. Temporalvariationofurban aerosol pollutionisland and itsrelationshipwithurbanheat island. *AtmosphericResearch*, 241.
- [5] Litschmann, T., Rožnovský, J., 2009. The incidence ofheat index levels in urbanareasof Brno. In: Sustainable development and bioclimate: ReviewedConferenceProceedings, Eds. Pribullová and Bičarová. Geophysical Institute oftheSlovakAcademyof Science and SlovakBioclimatological Society oftheSlovakAcademyof Science, Stará Lesná, pp. 205–206. ISBN 978-80900450-1-9.
- [6] Meteorologický slovník výkladový a terminologický (eMS), ČMeS, dostupný na: <http://slovník.cmes.cz>

- [7] Oke, T.R. (1973). City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment* 7, 769-779.
- [8] Petrovič, Š., 1979. Klíma a bioklíma Bratislavy. VEDA, Bratislava, 272 s.
- [9] Quitt., E. (1972): Měřicí jízdy jako jedna z cest k racionalizaci mezoklimatického výzkumu. *Meteorologické zprávy*, č. 6, s. 172-176
- [10] Středová H., Fukalová P., Rožnovský J., 2010: Specific of temperature extremes under the conditions of urban climate. *Contributions to Geophysics and Geodesy*, 40, 249–261.
- [11] Střeščík, J., J. Rožnovský, P. Štěpánek a P. Zahradníček, 2014. Increase of annual and seasonal air temperatures in the Czech Republic during 1961-2010.
- [12] Tomáš, M., 2012. Letní teploty vzduchu v Olomouci v letech 2010-2011 z hlediska teplotního komfortu člověka. *Meteorologické zprávy*, Vol. 65, No. 3, s. 75–82. ISSN 0026-1173.

Parking lot and urban heat island

Jaroslav Roznovsky

Czech hydrometeorological institute

Kroftova 43, 616 67 Brno

e-mail: jaroslav.roznovsky@chmi.cz

Abstract

Cities are constantly increasing not only the number of inhabitants, but also their area. This means that the traffic and consequently the area of parking lots also increases. The surface of cities changes compared to the original natural landscape, and with it also its radiation balance. Building materials have a different albedo and other physical properties than vegetation. Therefore, the urban climate is different from the climate of the natural landscape. A "heat island" occurs in cities. They are parts of the city with higher surface temperatures and consequently air. Large parking lots, the surface of which consists mainly of asphalt concrete, also play a significant role in this phenomenon. On clear days, temperatures can reach over 70 °C on the surface of parking lots. Conversely, only around 35 °C on grass. The highest surface temperatures are after the culmination of the Sun. The daily course of the surface temperature of the parking lot shows a high amplitude.

Krajina moravsko-slovenského pomezí a konektivita pro volně žijící živočichy v projektu SaveGREEN

Ivo Dostál, Marek Havlíček, Jiří Jedlička

Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.

Líšeňská 33a, 636 00 Brno

e-mail: ivo.dostal@cdv.cz

Abstrakt

Oblast Beskyd, Javorníků a Bílých Karpat představuje jediné místo v ČR, kde dochází k pravidelnému výskytu všech tří druhů velkých šelem (medvěd, vlk, rys). Tyto druhy jsou však zároveň citlivé na zachování migrační prostupnosti krajiny. Avšak mnoho migračních koridorů cenných pro její zachování již bylo omezeno nebo ohroženo hospodářským rozvojem, například výstavbou liniové dopravní infrastruktury, rozrůstáním sídel nebo intenzivním zemědělstvím, lesnictvím či vodním hospodářstvím. Jedním z hlavních důvodů těchto konfliktů je, že nejsou dostatečně plánovány s cílem zachovat ekologickou konektivitu a tok rozmanitých ekosystémových služeb, které v koridorech obsažené prvky zelené infrastruktury poskytují.

Mezinárodní projekt SaveGREEN (2020-2022) z programu nadnárodní spolupráce InterregDanube je řešený konsorciem 13 partnerů ze šesti karpatských zemí pod vedením WWF CEE doplněných o dvacítku asociovaných partnerů. Projekt má celkem osm modelových oblastí, jednou z nich jsou právě Beskydy a okolní pohoří. Cílem projektu je ukázat způsoby, jak navrhnout vhodná zmírňující opatření a zachovat nebo zlepšit funkčnost ekologických koridorů prostřednictvím integrovaného plánování. Navazuje tak na klíčové výsledky předchozích projektů TRANSGREEN, ConnectGREEN a HARMON.

Příspěvek představuje některá rizika a výzvy s nimiž je nezbytné se vypořádat pro zachování migrační prostupnosti krajiny ve vybraných kritických místech. Práce v modelové oblasti se zaměřila mj. na analýzy vývoje land-use ve vybraných kritických místech po roce 1990, a zpracování česko-slovenského Katalogu kritických míst pro oblast Bílých Karpat.

1. Úvod

Oblast mezi Českou republikou a Slovenskem je hornatý přeshraniční region na hraněoblouku Západních Karpat. Je tvořena několika pohořími, mezi nejvýznamnější řadíme Moravskoslezské Beskydy, Javorníky a Bílé Karpaty. Region je domovem mnoha vzácných druhů a zahrnuje chráněné lokality v rámci soustavy Natura 2000. Zároveň jde o lokalitu nejzápadnějšího stálého výskytu karpatských populací šelem - tj. medvěda hnědého (*Ursus arctos* L.), vlka obecného (*Canis lupus* L.) a rysa ostrovida (*Lynx lynx* L.) [1,2].

Dlouhodobé působení člověka soustředěné do hlubokých říčních údolí si však vyžádalo svou daň a jednotlivá pohoří zůstávají oddělena do samostatných celků bez zachování krajinné konektivity. Vysoká míra antropogenní fragmentace způsobila, že prostupnost krajiny byla zachována jen částečně na několika místech, což ohrožuje místní zranitelné populace, zejména druhů zvláště závislých na dálkových migračních pohybech [3]. Obecnými faktory, které významně ovlivňují konektivitu a integritu biotopů, jsou rozvoj dopravní a dalších typů infrastruktury [4], změny ve využívání půdy včetně antropogenních změn a přeměn půdního pokryvu [5], intenzivní zemědělství [6], urbanizace a změna klimatu. Mezi významné

antropogenní vlivy negativně působící na konektivitu krajiny lze zařadit i rekreační aktivity [7].

Strukturální konektivita krajiny je založena na charakteru a uspořádání zemského povrchu. Hlavními faktory jsou krajinný pokryv, topografie, vodní toky, přírodní a přírodě blízké prvky, osídlení, využívání území, krajinné elementy, bariéry a jejich rozmístění v krajině (silnice, železnice, ploty). Její hodnocení se provádí nejčastěji pomocí modelů konektivity [8,9]

Funkční konektivita oproti tomu zahrnuje aspekty specifické pro jednotlivé druhy a jejich interakci s krajinnými strukturami. Jde tedy o skutečnou konektivitu z pohledu druhů. Známé ekologické koridory jsou posuzovány z hlediska úzkých (nebo také kritických) míst, v nichž následně probíhá monitoring v terénu zaměřený na aktivitu volně žijících živočichů. Nejčastěji se využívají fotopasti, stopování na sněhu/blátě, sledování pobytových znamení apod.[10,11,12].

V příspěvku se zabýváme zejména konektivitou strukturální – a to jednak vývojem využití území ve vybraných kritických místech v oblasti Beskyd a dále hodnocením kritických míst v širší oblasti Bílých Karpat.

2. Dlouhodobé změny ve využití území v kritických místech Beskyd

2.1. Studijní oblast

Celkem šest modelových lokalit (obr. 1) v Beskydech bylo vybráno z kritických míst vytipovaných v rámci Biotopu vybraných zvláště chráněných druhů velkých savců, navržené ekologické sítě k zajištění konektivity krajiny pro volně žijící živočichy v České republice [13]. Společným rysem těchto lokalit je přítomnost více typů bariér ohrožujících konektivitu.

Obr. 1. Vybrané modelové lokality v pohoří Beskydy



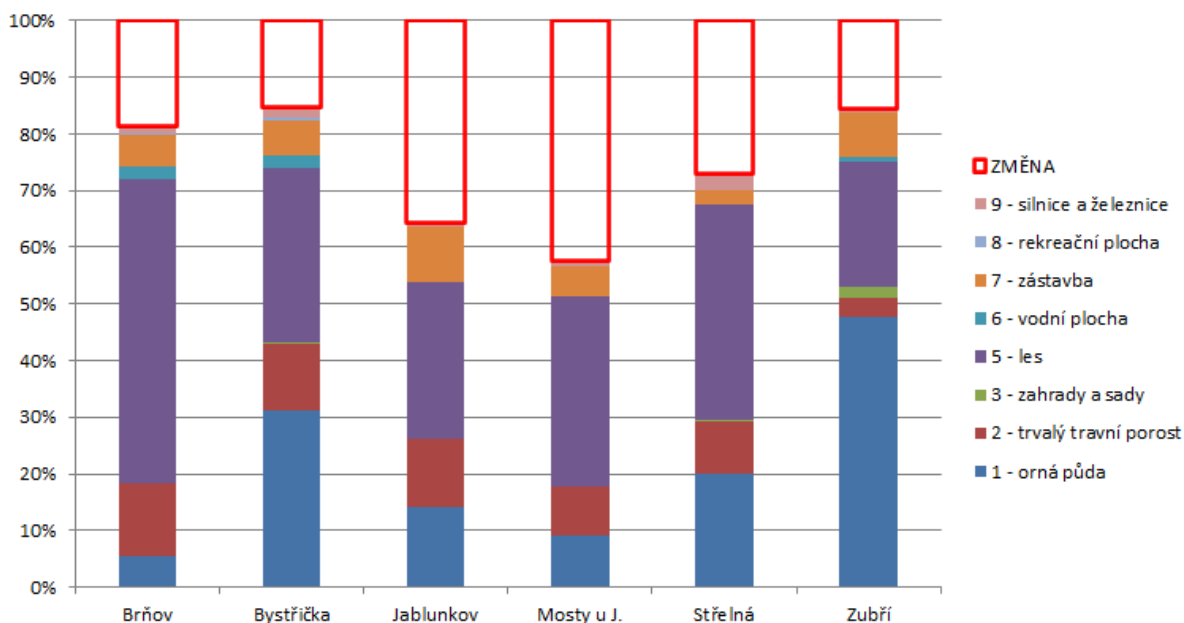
2.2 Mapové podklady a zpracování v GIS

Při sledování podrobných změn ve využití území (land-use, LU) byly použity Základní mapy ČR v měřítku 1:10 000 a letecké snímky ze tří časových horizontů (1990, 2006, 2020). Cílem bylo popsat změny ve struktuře krajiny v období po změně politického systému a přechodu na tržní hospodářství. Nejmenší mapovací jednotkou byla plocha o rozloze 0,1 ha. Byla sledována v následujících kategoriích LU: 1 - orná půda, 2 - trvalé travní porosty, 3 - zahrady a sady, 4 - vinice a chmelnice, 5 - les, 6 - vodní plochy, 7 - zastavěné plochy, 8 - rekreační plochy, 9 - silnice a železnice a 0 - ostatní plochy. Oproti předchozímu výzkumu byla zavedena kategorie dopravní infrastruktury. Výsledkem porovnání jednotlivých období v prostředí GIS jsou srovnávací mapové vrstvy, které zachytily procesy a trendy změn LU pomocí výše uvedených jednomístných kódů [14].

2.3. Výsledky, diskuze

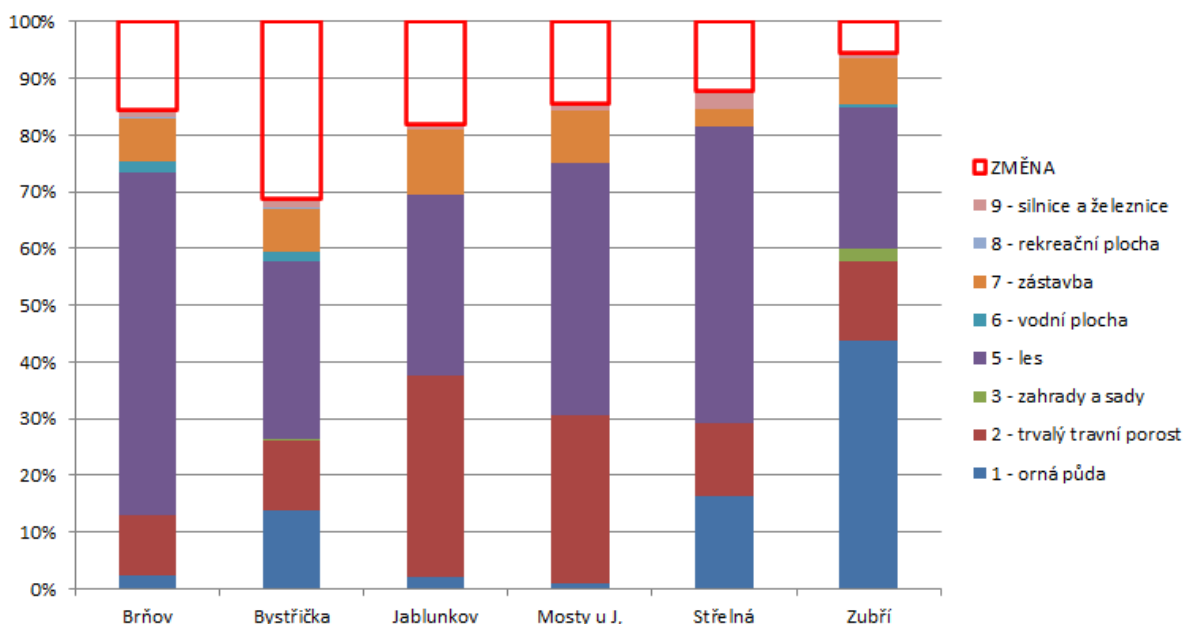
Podíly kategorií využití půdy ve všech šesti lokalitách byly vyhodnoceny s cílem identifikovat změny v LU, které mají pozitivní (např. zalesňování) nebo negativní (např. růst zástavby, intenzifikace zemědělství) vliv na konektivitu krajiny pro volně žijící živočichy. Pro hodnocení dynamiky krajiny byly použity stabilní plochy LU a procesy změn LU.

Obr. 2. Stabilní plochy mezi roky 1990 a 2006



V letech 1990 až 2006 se všech šest lokalit vyznačovalo vysokým podílem stabilních lesních ploch (Obr. 2). V případě Zubří a Bystřičky byl však nejvyšší podíl stabilního využití půdy na orné půdě. V tomto období se ve vrchovinné krajině ještě zachovaly některé plochy orné půdy [5,14]. Podíl stabilně využívaných ploch trvalých travních porostů se v tomto období pohyboval od cca 4 % do 13 %. Celkově lze konstatovat, že stabilně využívané lokality jsou Brňov, Bystřička a Zubří, kde bylo beze změny využití více než 80 % plochy. Naopak nejvíce změn LU proběhlo v lokalitě Mosty u Jablunkova.

Obr. 3. Stabilní plochy mezi roky 2006 a 2020



Také ve druhém srovnávacím období (obr. 3) převažovaly nejvyšší podíly stabilně využívaných ploch v kategorii les. Stabilní plochy trvalých travních porostů se vyskytovaly zejména na lokalitách Jablunkov a Mosty u Jablunkova. Výjimkou je vysoký podíl stabilních ploch na lokalitě Zubří, která je zemědělskou oblastí v části území s mírně zvlněným nebo rovinným reliéfem. Podíly stabilních ploch jsou v tomto mezidobí vyšší než v předchozím období, přičemž nejdynamičtější změny nastaly v kritickém místě Bystřička.

Tab.1. Procesy změn ve využití území mezi roky 1990 a 2006 (%)

proces	Brňov	Bystřička	Jablunkov	Mosty u J.	Střelná	Zubří
1>2	3,25	7,97	26,65	23,44	5,38	12,13
1>5	0,45	0,41	0,87	6,91	2,02	0,56
1>6	0,00	0,47	0,00	0,00	0,00	0,00
1>7	0,20	1,06	1,03	2,02	0,00	0,48
2>1	1,02	0,90	0,29	0,78	0,51	0,00
2>5	4,57	1,27	3,16	4,90	11,78	2,14
2>7	0,96	0,63	0,49	2,48	0,62	0,00
3>7	0,91	0,04	0,15	0,05	0,00	0,00
5>2	0,75	0,32	0,58	0,53	4,69	0,07
7>2	0,94	0,39	1,34	0,70	0,22	0,00
8>7	0,85	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00

Vysvětlení LU kódů – viz kap. 2.2

Procesy změny LU ukazují dynamiku vývoje v daných oblastech (Tab. 1). Z vybraných lokalit probíhal nejintenzivnější proces zatravnění orné půdy (kód 1>2) v letech 1990-2006, s největším zastoupením v lokalitách Jablunkov a Mosty u Jablunkova. Velmi významným procesem je v těchto lokalitách také vznik lesa z trvalých travních porostů (kód 2>5). Z hlediska vlivu vývoje krajiny na migraci volně žijících živočichů je důležité sledovat také dynamiku růstu zastavěných ploch (tj. v kategorii s kódem 7). K jejich nejdynamičtějšímu nárůstu došlo v lokalitě Mosty

u Jablunkova. I v letech 2006-2020 zde byl vysoký podíl ploch v procesech změny orné půdy na trvalé travní porosty, což je v souladu s trendem cíleného zatravňování méně úrodné zemědělské půdy v podhorských oblastech[5,14]. Mezi intenzivnější procesy patřil také vznik lesa z trvalých travních porostů. V tomto období byl intenzivnější růst zastavěných ploch zaznamenán pouze na lokalitách Bystřička a Jablunkov (Tab. 2).

Tab.2. Procesy změn ve využití území mezi roky 2006 a 2020 (%)

proces	Brňov	Bystřička	Jablunkov	Mosty u J.	Střelná	Zubří
1>2	3,76	17,31	12,80	8,18	4,16	3,93
1>5	0,54	0,30	0,06	0,72	0,41	0,00
1>6	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
1>7	0,38	1,61	0,27	0,04	0,10	0,00
2>1	0,37	0,62	0,34	0,02	2,33	0,26
2>5	6,47	5,24	2,68	3,61	4,91	0,44
2>7	0,95	1,65	1,32	0,28	0,02	0,87
3>7	0,86	0,03	0,00	0,35	0,00	0,00
5>2	0,26	0,25	0,06	0,35	0,24	0,00
7>2	0,44	0,44	0,13	0,53	0,00	0,00
8>7	0,00	0,56	0,00	0,00	0,00	0,00

Vysvětlení LU kódů – viz kap. 2.2

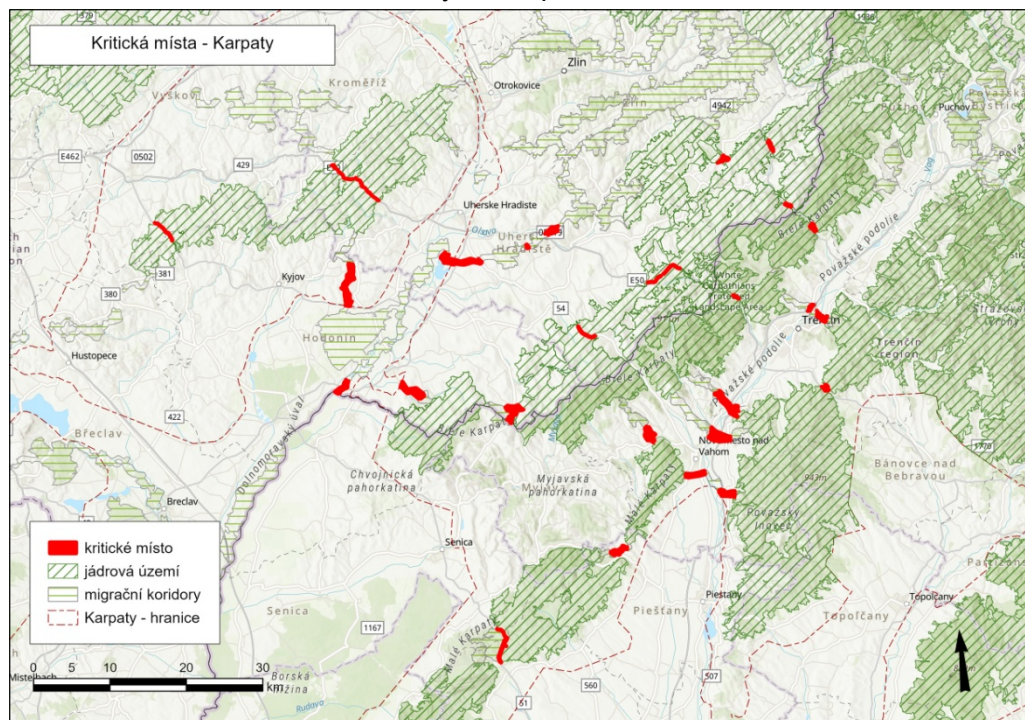
Pět lokalit se v raném období vyznačovalo vysokým podílem orné půdy, což je v souladu se zjištěními z jiných lokalit [5,14]. V případě lokalit Jablunkov, Mosty u Jablunkova došlo k velmi výraznému snížení podílu ploch orné půdy (z více než 40 % na 2 %), na lokalitě Bystřička se podíl snížil ze 40 % na 15 %. Vysoký podíl orné půdy zůstal zachován pouze v lokalitě Zubří (pokles z 60 % na 44 %), částečně je orná půda zachována též v lokalitě Střelná (pokles z 28 % na 19 %). Výrazně zalesněná krajina byla vždy v okolí lokality Brňov (podíl lesa se zvýšil z 55 % na 67 %). Velmi dynamickou kategorií využití půdy byly na všech lokalitách trvalé travní porosty, jejichž podíl se zvýšil z 16 % na 49 %, resp. 39 % na lokalitě Jablunkov a Mosty u Jablunkova. Avšak při podrobném terénním šetření bylo zjištěno, že některé z těchto ploch jsou oploceny za účelem pastvy a pohyb volně žijících živočichů je tak omezen. Toto zjištění je v souladu s údaji o vývoji v méně příznivých zemědělských oblastech střední Evropy [5]. Na všech šesti lokalitách došlo k postupnému nárůstu podílu zastavěných ploch, který se na některých lokalitách zvýšil až o 4 %.

3. Katalog kritických míst Bílých Karpat a okolí

3.1. Studijní oblast

Zahrnuje území na české i slovenské straně CHKO Bílé Karpaty/Biele Karpaty vč. jejich blízkého okolí tvořeného nížinou podél významných vodních toků (Morava, Váh), která toto pohoří odděluje od okolních geomorfologických celků. Celkem bylo podrobně analyzováno 25 kritických míst (obr. 4) vymezených na území ČR ve Vrstvě biotopu vybraných zvláště chráněných druhů[13] a pro území Slovenska bylo využito návrhu ekologických koridorů připraveného pro celou Karpatskou oblast v rámci projektu ConnectGreen [15].

Obr. 4. Kritická místa v oblasti Bílých Karpat



3.2 Metodika

Mapování kritických míst zahrnovalo zejména práci v GIS s využitím nejaktuálnějšího leteckého snímování, kde byly identifikovány jednotlivé typy bariér, které se v každém kritickém místě vyskytují (silnice, železnice, technicky upravené vodní toky, bezlesí, zástavba, oplocení). Vymapované bariéry byly následně verifikovány terénním šetřením. Pro každé kritické místo byl sestaven formulář obsahující následující údaje:

- tabulkový přehled bariér vč. komentáře
- hodnocení celkové prostupnosti zvláště pro velké savce a ostatní druhy
- problémová mapa bariér
- možný budoucí vývoj – záměry z územně-plánovací dokumentace
- návrh možných opatření pro zlepšení průchodnosti kritického místa
- fotodokumentace

3.3 Výsledky, diskuze







Ukázka z Katalogu kritických míst





Vzor zpracování informací z vybraného kritického místa je součástí Přílohy 1.

Typologie kritických míst

Některá mapovaná kritická místa vykazovala shodné znaky z hlediska morfologického (tvar vymezeného kritického místa), charakteristiky bariér, struktury krajiny a míry antropogenního tlaku na základě kterých bylo postupně identifikováno pět základních kategorií kritických míst. Tyto jsou uvedeny v Tab. 3.

Tab. 3. Kategorie kritických míst

Kategorie	Charakteristika
(1) Zařezaná horská údolí (údolí horských řek, horníchúsekůřek)	silnice/železnice s nižší, příp. střední intenzitou provozu, řekanetvoří bariéru, převahalesů a luk, šířka koridoru obvykle větší než délka
	
(2) Dopravní komunikace v lesním komplexu	silnice nebo železnice s vyšší intenzitou provozu, převážně obklopena lesem, případně lesem s loukou
	
(3) Intenzivně využívaná krajina	široké údolí, délka koridoru větší než šířka, kumulace bariér, větší vodní tok, bezlesí –zemědělství, dopravní tepny s vysokou intenzitou provozu
	

(4) Zemědělská krajina extenzivně využívaná	obvykle podhorská krajina, nižší antropogenní tlak
	
(5) Lesozemědělská krajina	kombinace lesů, jiné zeleně, sadů (často opuštěné) a luk, bez převahy orné půdy, možnost vyššího antropogenního tlaku kvůli růstu zástavby a rekreace
	

Výše uvedená klasifikace představuje pracovní návrh vycházející z percepce řešeného území a analýzy existujících bariér. Tento návrh byl připraven pouze na základě zjištění pro oblast Bílých Karpat, je pravděpodobné, že při rozšiřování analyzovaného území mohou být identifikovány další dodatečné typy kritických míst. Využití klasifikace nachází zejména při návrhu opatření do Katalogu – typově shodná území potřebují obvykle obdobná opatření, nicméně je třeba stále dodržovat jedno z hlavních doporučení odborné organizace IENE (Infra-Eco network Europe) - „Each case = unique case“ [16]

4. Závěr

Během 30 let vývoje využití krajiny na šesti sledovaných lokalitách byly zaznamenány jak trendy s negativním, tak pozitivním dopadem na migraci volně žijících živočichů. Mezi negativní dopady patří především nárůst zastavěných ploch a následné propojování sídelních struktur. Jako problematické se jeví zejména oblasti s vyšší dynamikou těchto procesů (Jablunkov, Mosty u Jablunkova, Bystřička). Za pozitivní trend považujeme nárůst lesních ploch, který je typický pro většinu sledovaných lokalit. Pozitivním trendem je i nárůst trvalých travních porostů na úkor orné půdy. Celkově je pro tyto kritické lokality nutné omezit další výstavbu obytných, průmyslových a logistických areálů v ose migračních koridorů

a podporovat opatření ke zlepšení prostupnosti pro volně žijící živočichy, jako jsou zelené pásy.

Katalog kritických míst pro Bílé Karpaty doplňuje obdobný dokument zpracovaný pro oblast Beskyd a Javorníků v rámci předchozího projektu ConnectGreen. Jeho účelem je sdružení informací o průchodnosti identifikovaných kritických míst a zdůraznit potenciál vybraných opatření pro zlepšení průchodnosti. Zároveň by měl sloužit pro územní plánování, aby nedocházelo k dalšímu zneprůchodňování těchto kritických míst.

Literatura

- [1] Chapron G., Kaczensky P., Linnell J. D. C. et al. Recovery of large carnivores in Europe's modern human-dominated landscapes. *Science*, 2014, 346:1517–1519.
- [2] Hulva P., Černá Bolfíková B., Woznicová V. et al. Wolves at the crossroad: Fission-fusion range biogeography in the Western Carpathians and Central Europe. *Divers. Distrib.*, 2018, 24:179–192.
- [3] Anděl, P., Mináriková, T., Andreas, M. *Ochrana průchodnosti krajiny pro velké savce*. Liberec: Evernia, 2010, 137 s. ISBN 978-80-903787-5-9.
- [4] Papp, C.R., Dostál, I., Hlaváč, V., Berchi, G.M., Romportl, D. Rapid linear transport infrastructure development in the Carpathians: a major threat to the integrity of ecological connectivity for large carnivores. *Nat. Conserv.*, 2022, 47:35-63.
- [5] Súl'ovský M., Fal'án V. et al. Spatial analysis of long-term land-use development in regard to physiotores: case studies from the Carpathians. *Phys. Geogr.*, 2017, 38(5): 470–488.
- [6] Žarnovičan H., Kollár J., Fal'án V., Petrovič F. Management and land cover changes in the western Carpathian traditional orchard landscape in the period after 1948. *Agronomy*, 2021, 11(2):366.
- [7] Havlíček, M., Dostál, I. Spatial conflicts of winter ski resorts with wildlife habitats – case study Beskydy Mts. and Moravian Wallachia. In: Fialová J. (ed) *Public Recreation and Landscape Protection - with Sense Hand in Hand...* Conference proceeding. Mendel University in Brno, Křtiny, 2019, s. 365–370.
- [8] Hirzel, A.H., Le Lay, G., Helfer, V., Randin, C., Guisan, A. Evaluating the ability of habitat suitability models to predict species presences. *Ecological Modelling*, 2006, 199(2): 142-152
- [9] Romportl, D., Andreas, M., Anděl, P. et al. Designing migration corridors for large mammals in the Czech Republic. *Journal of Landscape Ecology*, 2013, 6(1):47-62.
- [10] Wilson-Parr, R., O'Brien, Eugene, van der Grift, E., Elmeros, M., Carey, C. (2018). *The Roads and Wildlife Manual*. ECOROAD: Ecology and Roads report. 2018, 131 pp. ISBN 979-10-93321-42-4
- [11] Hlaváč, V., Anděl, P., Matoušová, J. et al. 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: Štátna ochrana prírody SR, 2019, 225 pp. ISBN 978-80-8184-068-5.
- [12] Hlaváč, V., Anděl, P., Pešout, P. et al. *Doprava a ochrana fauny v České republice*. Metodika AOPK ČR. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, 2020, 293 s. ISBN 978-80-7620-070-8.
- [13] Romportl, D. (ed.), Zýka, V., Skokanová, H. et al. *Atlas fragmentace a konektivity terestrických ekosystémů v České republice*. Praha: AOPK ČR, 2017, 34 p. ISBN 978-80-88076-50-6.

- [14] Havlíček, M., Chrudina, Z. Long-term land use changes in relation to selected relief characteristics in Western Carpathians and Western Pannonian basin – case study from Hodonín District (Czech Republic). *Carpathian J. Earth Environ. Sci.*, 2013, 8 (3): 231-244.
- [15] Okániková, Z., Romportl, D., Kluchová, A. et al. Methodology for Identification of Ecological Corridors in the Carpathian Countries by Using Large Carnivores as Umbrella Species. Danube Transnational Programme ConnectGREEN Project “Restoring and managing ecological corridors in mountains as the green infrastructure in the Danube basin”. Banská Bystrica: State Nature Conservancy of the Slovak Republic, 2021, 82 pg. ISBN 978-80-8184-087-6
- [16] Georgiadis L., Adelsköld T., Autret Y., Bekker H., Böttcher M., Hahn E., Rosell C., Sangwine T., Seiler, A., Sjölund A. *Joining Ecology and Transportation for 20 years. History review of Infra Eco Network Europe*. Linköping (Sweden): IENE, 2018, 72 s.

Poděkování

Tento článek vychází z výsledků projektu SaveGREEN (DTP3-314-2.3) spolufinancovaného z fondů Evropské unie (ERDF) prostřednictvím programu nadnárodní spolupráce Interreg Danube (DTP).

Landscape of Moravian-Slovak borderlands and connectivity for wildlife in the SaveGREEN project

Ivo Dostál, Marek Havlíček, Jiří Jedlička

Transport Research Centre (CDV)

Líšeňská 33a, 636 00 Brno

e-mail: ivo.dostal@cdv.cz

Abstract (v anglickém jazyce)

The Beskydy, Javorníky and Bílé Karpaty Mts. are the only place in the Czech Republic where all three species of large carnivores (bear, wolf, lynx) occur regularly. These species are also sensitive to maintaining the permeability of the landscape. However, many migration corridors valuable for their conservation have already been restricted or threatened by economic development, for example by the construction of linear transport infrastructure, the expansion of settlements or intensive agriculture, forestry or water management. One of the main reasons for these conflicts is that they are not sufficiently planned to maintain ecological connectivity and the flow of the diverse ecosystem services provided by the green infrastructure elements contained in the corridors.

The international project SaveGREEN (2020-2022) from the Interreg Danube Transnational Cooperation Programme is being addressed by a consortium of 13 partners from six Carpathian countries led by WWF CEE, complemented by 20 associated partners. The project has a total of eight model areas, one of which is the Beskydy Mountains and surrounding mountain ranges. The aim of the project is to demonstrate ways to design appropriate mitigation measures and to maintain or improve the functionality of ecological corridors through integrated planning. It builds on the key results of the previous TRANSGREEN, ConnectGREEN and HARMON projects.

The paper presents the risks and challenges that need to be addressed to maintain the migratory permeability of the landscape in selected critical locations. The work in the model area focused, among others, on the analysis of the development of land-use in the selected critical places after 1990 and the elaboration of the Czech-Slovak Catalogue of Critical Places for the Bílé Karpaty Mountains.

Příloha 1 – Ukázka formuláře kritického místa Ostrožská Nová Ves

KM CZ08 Ostrožská Nová Ves

KATASTRÁLNÍ ÚZEMÍ: Kunovice u Uherského Hradiště, Ostrožská Nová Ves

ORP: Uherské Hradiště

Popis kritického místa:

Převážnou většinu území pokrývá orná půda, kterou doplňuje vodní plocha jezera Čtverec a les v nejzápadnější části koridoru a dále golfové hřiště mezi Ostrožskou Novou Vsí a areálem lázní. Zhruba středem koridoru prochází silnice I/55 a k ní přiléhající jednokolejná železniční trať, o něco západněji potok Petříkovec a vodoteč ústící do jezera Chylecko. Bariérový efekt v tomto prostoru navíc zvyšuje blízkost zástavby a oploceného areálu Letiště Kunovice. Východní hranici koridoru tvoří silnice II/498 a oplocené zahrady ukončené korytem potoka Petříkovec.

Migrační bariéry:

Silnice I/55	silniční komunikace s provozem s RPDÍ cca 8400 voz/den tvoří společně s těsně sousedící železniční tratí hlavní migrační bariéru. Zhruba na polovině úseku navazujícího na obec jsou navíc na straně přiléhající k železnici instalována jednostranná svodidla.
Silnice II/498	silniční komunikace s provozem o RPDÍ cca 4700 voz/den, v úseku cca 200 m navazuje na tuto komunikaci oplocení zahrad.
Železnice	jednokolejná železniční trať, která je na okraji areálu Novoveské Lázně doplněna o betonovou protihlukovou stěnu.
Zástavba	ze S omezuje šířku koridoru, kromě oploceného areálu Letiště Kunovice, zdravotnické zařízení Novoveské Lázně a na JV od něj oplocená zahrádkářská osada, jejíž nejvýchodnější výběžek vniká jako klín do koridoru a zužuje jeho šířku zhruba na polovinu. Na J představuje ve stejném úseku významnou bariéru oplocený kemp.
Golfové hřiště	představuje specifickou bariéru tohoto KM, neboť v části Z od potoka Petříkovec zabírá téměř celou šířku koridoru. Z jihu je oploceno.
Vodní tok	potok Petříkovec a vodoteč Z od něj mají vzhledem k doprovodné zeleni uvnitř velkých ploch orné půdy spíše pozitivní vliv, v okolí jezera Čtverec může být tento pozitivní efekt snížen zvýšeným pohybem lidí, výjimečně přítomností zástavby s oplocením.

CHARAKTER KRAJINY:

Jedná se převážně o intenzivně využívanou zemědělskou krajinu v širší nivě řeky Moravy. V západní části s ohledem na přítomnost areálu lázní, golfového hřiště, štěrkových jezer a lesa nabývá na významu rekreační funkce. TTP tvoří jen menší plochy na V a Z okraji koridoru a dále v PP Lázeňský mokřad na S okraji golfového hřiště.

ÚZEMNÍ PLÁNY

V územních plánech nejsou plánovány aktivity, které by měly vliv na průchodnost kritického místa. Do územního plánu by bylo vhodné zanést dotčené území jako důležité pro migrační prostupnost pro velké savce s vyloučením další výstavby v tomto území.

TERÉNNÍ ŠETŘENÍ – POHYB ZVĚŘE

Přímo během šetření se prokázal výskyt běžné zvěře (srnec, prase divoké). Dle nDOP leží kritické místo na okraji lokality občasného výskytu medvěda hnědého.

Celková prostupnost pro velké savce:

Za stávajících podmínek je průchodnost lokality mírně omezena kulminací efektu bariér vypsanych výše. Jedním z limitujících prvků je dynamická bariéra v podobě provozu na silnici I/55. Intenzita provozu však v nočním období není tak vysoká, aby tvořila neprůchodnou bariéru. Nejvyšším rizikem pro živočichy je tedy možnost přímé kolize s projíždějícím vozidlem.

Celková prostupnost pro ostatní druhy:

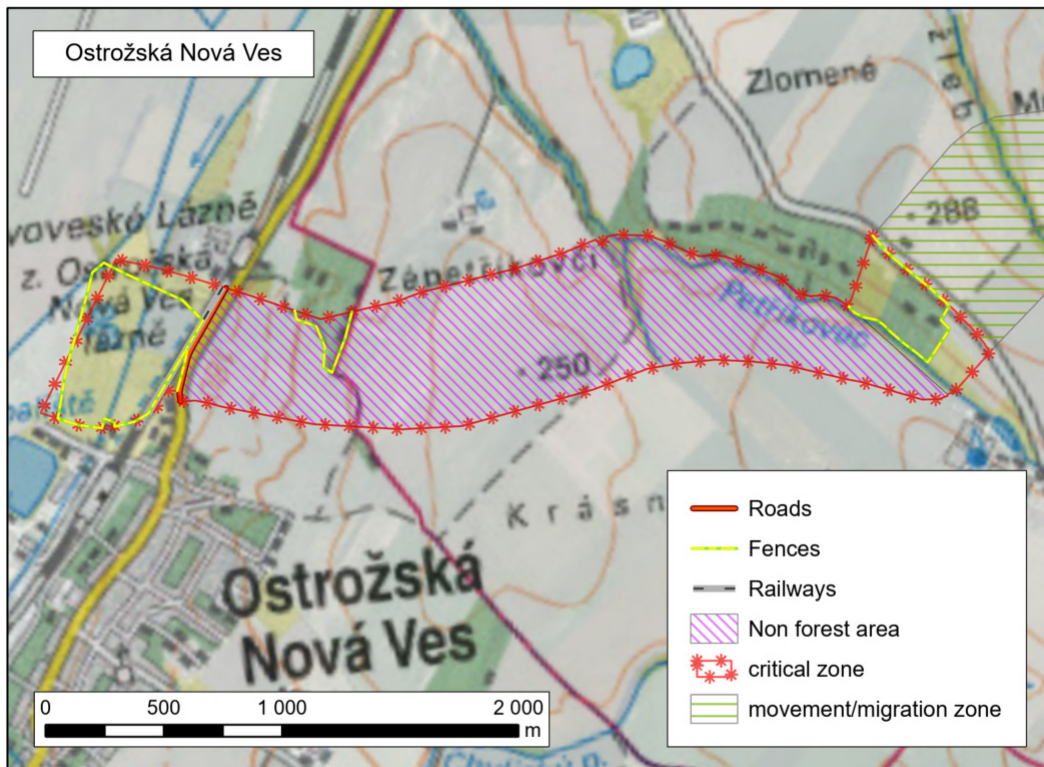
Za stávajících podmínek je průchodnost lokality mírně omezena kulminací efektu bariér vypsanych výše. Nejvyšší riziko pro živočichy představuje možnost přímé kolize s projíždějícím vozidlem.

SHRNUTÍ

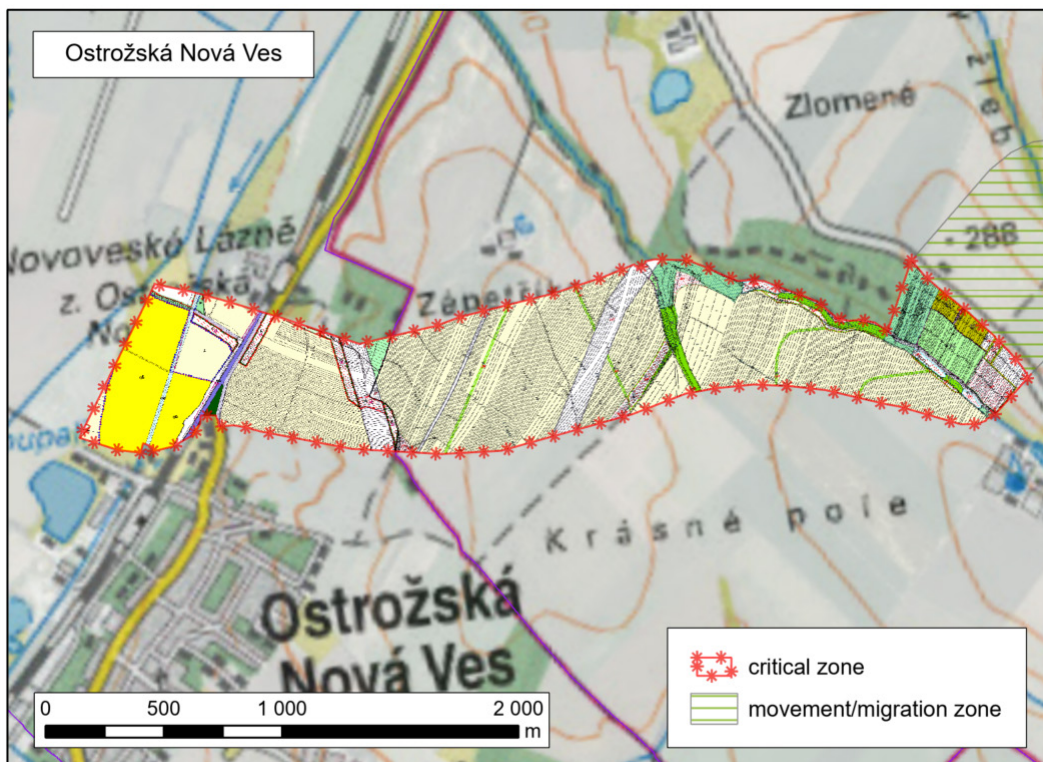
Převážnou část tohoto území pokrývá orná půda. Silniční komunikace s provozem s RPDl cca 8400 voz/den a občasnými jednostrannými svodidly tvoří společně s těsně sousedící železniční tratí hlavní migrační bariéru na této lokalitě. V podstatě celé území také tvoří otevřená krajina, která může při migraci představovat psychologickou bariéru. K výraznému omezení migrace dochází především ve střední části vymezeného území, kde se projevuje zejména kumulativní efekt několika bariér.

Mapy

Problémový výkres bariér



Územní plán pro kritické místo



Návrhy opatření pro zvýšení průchodnosti KM

Bariéra	Popis	Průchodnost	Návrh řešení
Silnice I/55	Silnice prochází napříč koridorem.	omezená	Instalace vizuálních (kombinovaných) odpuzovačů upozorňujících zvěř na projíždějící vozidlo.
Golfové hřiště	Severně od obce, v okolí potoka Petříkovec	mírně omezená	Vyhodnotit míru a typ oplocení z hlediska migrace.
Silnice II/498	Silnice prochází napříč koridorem.	omezená	Instalace vizuálních (kombinovaných) odpuzovačů upozorňujících zvěř na projíždějící vozidlo.
Železnice	Podél sil. I/55, jednokolejná	průchozí	Nejsou nutná, nedojde-li k rozšiřování trati.
Zástavba	Ze S a J cca uprostřed koridoru	Oplocení, rušení lidskou činností.	Nepřipustit další rozrůstání, regulovat oplocení.
Vodní tok	Vodoteč Z od potoka Petříkovec	Průchozí	Zvážit výsadbu doprovodné zeleně.

Pozn: Průchodnost bariér dle metodiky

C1	<i>kriticky omezena</i>	C2	<i>omezená</i>	C3	<i>mírně omezená</i>	P	<i>průchozí</i>
----	-------------------------	----	----------------	----	----------------------	---	-----------------

Fotodokumentace

Železnice a silnice na západě lokality



Golfové hřiště



Krajinný ráz kritického místa



Význam říčních přívozů v dopravě v minulosti a současnosti

Marek Havlíček, Ivo Dostál, Josef Svoboda

Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.

Líšeňská 33a, 636 00 Brno

e-mail:marek.havlicek@cdv.cz

Abstrakt

Střední a velké řeky představovaly významnou překážku na historických obchodních cestách a stezkách. Říční přívozy byly jedním z hlavních způsobů jejich překonávání, jejich lokality byly tedy považovány za body strategické důležitosti. V historii byly přívozy jedním z klíčových prvků dopravních komunikací na našem území, jejich potenciál pro využití v dopravních sítích v současnosti je zejména v turistice a dopravě ve velkých aglomeracích. Pomocí starých topografických map rakouského vojenského mapování z let 1763–1768, 1836–1852, 1876–1880, pruských vojenských map z let 1825 a 1877 a československých vojenských map z let 1953–1957 jsme systematicky lokalizovali přívozy na celém současném území Česka. Byly analyzovány také mapové klíče z jednotlivých mapování za účelem prozkoumání způsobu zobrazení přívozů na těchto mapách. Na základě studia starých topografických map byla vytvořena geografická databáze s lokalizací jednotlivých přívozů, včetně uvedení období, ve kterých byl daný říční přívoz evidován. Na starých topografických mapách vojenského mapování bylo na českém území zaznamenáno celkem 514 historických přívozů, dalších 28 přívozů bylo identifikováno z jiných dostupných podrobnějších mapových zdrojů. Význam přívozů byl hodnocen jak v historickém kontextu, tak i v současných podmínkách.

1. Úvod

Velké řeky jsou přirozenou krajinnou bariérou, která v minulosti významně ovlivňovala vedení dopravních sítí. Úseky vhodné pro bezpečné překročení takové bariéry byla důležitými strategickými a obchodními místy, a proto se v historii používají jako pevné body při rekonstrukci průběhů starých cest a stezek [1]. Ještě v první polovině 19. století byly kamenné mosty vzácné, některé dřevěné mosty byly neudržované nebo nebezpečné, brody tedy představovaly jeden z možných způsobů překonání řek. Na větších řekách v úsecích s větší hloubkou již bylo nezbytné dopravu zajistit jiným způsobem, obvykle říčním přívozem za pomoci prámu nebo loďky. Provozování přívozů bylo původně součástí panských privilegií, přičemž za převoz osob, zboží i nákladu byl vybírán poplatek u převozníka. V roce 1870 byl přijat zákon Právo vodní pro království České, kterým se provozování přívozů stalo licencovaným podnikáním [2] a pro jednotlivá správní území tři zemské zákony. Pro Čechy platil český zákon zemský č. 71/1870 čes. z. z., o tom, kterak lze vodu užívat, ji svozovati a jí se brániti, pro Moravu moravský zákon zemský č. 65/1870 mor. z. z., o používání i provádění vod a obraně proti nim, a pro Slezsko slezský zákon zemský č. 51/1870 slez. z. z., o používání i provádění vod a obraně proti nim. Moravský a slezský vodní zákon se od zákona českého lišily jen v některých detailech [3].

S postupným rozvojem technických znalostí a stavebních technologií se mosty staly dominantní možností překonávání vodních toků a přívozy byly zachovány pouze na místech, kde stavba mostu nebyla možná z technických nebo ekonomických

důvodů. V Česku jsou v současnosti přívozy provozovány také na některých významnějších vodních nádržích, u nichž došlo k přerušení významných dopravních tras, případně k přerušení spojení dvou blízkých obcí s navazující dopravní a technickou infrastrukturou. Především v městských oblastech přívozy aktuálně slouží jako součást veřejné městské dopravy [4, 5], přičemž jde nejen o uchování určité tradice v dopravním systému, ale i o praktický efekt zkrácení doby dopravy pro každodenní dojížděku a zároveň atrakci v cestovním ruchu. Přívozy tak kompenzují nedostatek mostů, jež by usnadnily cestujícím pohyb mezi konkrétními cíli na opačných březích řek. Turistická poptávka je další hybnou silou, která má v současnosti zásadní význam pro zachování provozu přívozů na řekách, protože nabízejí cestujícím jedinečný zážitek z vodní krajiny, který se vymyká dnes dominantním formám dopravy [6, 7].

Staré topografické mapy jsou cenným zdrojem informací o stavu tehdejší krajiny a zároveň nacházejí uplatnění v geografických, historických a krajinně-ekologických výzkumech. V Evropě jsou topografické mapy využitelné od poloviny 18. století, kdy začaly vznikat první mapy středního měřítká (okolo 1 : 25 000 až 1 : 30 000). Od poloviny 19. století již topografické mapy dosahovaly díky kvalitním kartografickým a geodetickým základům poměrně solidní polohové přesnosti okolo 25 m [8]. Tyto mapy jsou využívány v širokém spektru badatelských oblastí, v případě řek a vodních útvarů jsou nejčastěji zkoumány historické souvislosti vývoje vodních ploch a rybníků [9], historický vývoj říční sítě [10] nebo historické identifikace a evidence vodohospodářských objektů [11]. Doposud nebyla v Česku publikována systematická identifikace a evidence všech lokalit s provozem přívozů. Některé historické práce se zabývaly konkrétními úseky řek, přičemž jejich metodika identifikace přívozů se opírala především o archivní zdroje [12, 13]

Vzhledem k relativně jednoduchému vybavení potřebnému pro provoz přívozu, jež se skládá ze samotného plavidla, dvou nástupních mol nebo nájezdů do vody a vodícího lana, mohou přívozy snadno vznikat a mizet (obr. 1). Mírné změny v lokalizaci přívozu tak mohou být zapříčiněny morfologickými změnami koryta nebo břehů řek [14], případně změnami v sídelní struktuře obcí a měst.

Obr. 1. Přívoz pro motorová vozidla na Labi u Dolního Žlebu



Mezi hlavní cíle tohoto článku patří:

- zkoumání způsobu a formy zobrazování přívozů na starých topografických mapách jednotlivých vojenských mapování,
- identifikace všech přívozů zaznamenaných ve starých topografických mapách na území současného Česka a vytvoření mapové databáze těchto lokalit,
- ověření významu přívozů v dopravních systémech v minulosti a současnosti.

2. Metodika

Identifikace a evidence přívozů byla provedena nad mapovými sadami starých topografických map v prostředí GIS. Použity byly tyto mapové soubory:

- 1. rakouské vojenské mapování 1 : 28 800 (1763–1768)
- 2. rakouské vojenské mapování 1 : 28 800 (1836–1852)
- 3. rakouské vojenské mapování 1 : 25 000 (1876–1880)
- pruské vojenské mapy 1 : 25 000 (1825, 1877)
- československé vojenské topografické mapy 1 : 25 000 (1953–1957)

Mapy 1. rakouského mapování byly pro území dnešního Česka tvořeny v etapách pro jednotlivé historické země (Slezsko 1763, Čechy 1764–1767, Morava 1764–1768). Poměrně špatná polohová přesnost těchto map je způsobena nedostatečnými kartografickými základy, průměrná odchylka georeferencovaných map dosahuje až 300 m.

Mapy 2. rakouského vojenského mapování byly zpracovány na území Moravy a Slezska v letech 1836 až 1852, na území Čech v letech 1842–1852. Tyto mapy jsou založeny na geodetické síti, využité při zaměřování katastrálních map, polohová přesnost je zde 25–30 m.

Mapy 3. rakouského vojenského mapování vznikaly na našem území v letech 1876–1880. Tyto mapy již zachycují rozmach průmyslu, budování železničních tratí, silniční sítě a dynamický růst sídel. Přibližně dvě třetiny mapových listů jsou k dispozici v originálním barevném provedení, zbývající třetina se dochovala v černobílé podobě.

Československé topografické vojenské mapy z let 1953–1957 byly po více než 80 letech jediným kompletním kartografickým souborem, které bylo dokončeno na celém území současného Česka. Jde o polohově přesné kartografické dílo, jež využívalo jednotný systém mapování a kladu listů pro země socialistického zřízení v Evropě.

V oblasti Hlučínska, které v 19. století nebylo součástí rakouského Slezska, byly využity kartografické zdroje pruské provenience, konkrétně vojenské topografické mapy z let 1825 a 1877. Tyto mapy byly georeferencovány s polohopisnou přesností 25 m.

K identifikaci přívozů v současnosti provozovaných na území Česka byla využita Základní databáze geografických dat (ZABAGED) Českého úřadu zeměměřického a katastrálního. Tyto údaje byly ověřeny na základě informací Státní plavební správy.

K identifikaci přívozů sloužily i další pomocné kartografické a archivní zdroje, např. podrobné topografické mapy 1 : 10 000 z let 1957–1971, které dosud nejsou k dispozici v georeferencované podobě pro celou ČR, reambulované mapy z třicátých a čtyřicátých let 20. století v měřítku 1 : 25 000, státní mapa odvozená 1 : 5 000 pořizovaná od roku 1955, veřejně dostupné letecké snímky z třicátých a padesátých let 20. století. Lokalizace objektů byla ověřována i na základě aktuálních leteckých snímků a základních map v měřítku 1 : 10 000.

Nejprve byly analyzovány mapové klíče pro jednotlivá období, následně navržena struktura databáze přívozů a v poslední fázi proběhla vektorizace nad konkrétními mapami z jednotlivých období.

Přívozy byly mapovány podle významnosti vodních toků, vždy od soutoku nebo hranice České republiky k pramenné oblasti. Při identifikaci přívozů byly monitorovány konkrétní vodní toky na základě odborné znalosti území a šířky vodních toků, prezentované v současných i starých topografických mapách. Přívozy provozované na vodních nádržích jsou evidovány u vodních toků, jež tyto nádrže napájejí.





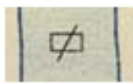









Vedle použití klasických mapových značek byla sledována toponyma v německém jazyce a českém jazyce, která označovala přívoz. Přívozy byly v historickém průřezu považovány za totožné v případě lokalizace objektů ve vzdálenosti menší než 50 metrů. Pokud byla vzdálenost mezi přívozy v odlišných časových obdobích větší než 50 metrů, byly tyto lokality evidovány samostatně. Pro období roku 1953–1957 bylo umístění přívozů zpřesněno s využitím starých leteckých snímků.

Na základě výše uvedeného procesu byla připravena databáze říčních přívozů v Česku mající formu bodové vrstvy v souřadnicovém systému S-JTSK s názvem přívozu, lokalizací podle řeky, katastrálního území, údaji o zeměpisné šířce a délce, existenci či neexistenci přívozu v časových obdobích podle mapování a informacemi o pomocných zdrojích.

3. Výsledky

Na základě rozboru mapových klíčů jednotlivých mapování byly identifikovány následující typy přívozů: přívozy pro pěší (rakouské vojenské mapování: Überfuhr für Menschen, pruské vojenské mapování: Kahn-Fähre), přívozy pro koně (rakouské vojenské mapování: Überfuhr für Pferde), přívozy pro náklad (rakouské vojenské mapování: Überfuhr für Wagen). Specifickou mapovou značkou je tzv. létající most (rakouské vojenské mapování: Fliegende Brücke), které sestává z pevného ukotvení lodě nebo prámu uprostřed řeky a fixaci plavidla na laně (tab. 1). Mapy 3. rakouského vojenského mapování obsahují také všechny tři kategorie typů přívozů (Überfuhr), včetně označení přívozu na parní pohon (Dampffähre) a železničního přívozu (Eisenbahntrajekt). Tato legenda je univerzální pro celé území tehdejšího Rakouska-Uherska, oba posledně jmenované typy přívozů se však na území dnešního Česka nevyskytovaly.

Tab. 1. Kartografické značky přívozů v legendách starých topografických map

Typ přívozu	Období				
	1763–1768	1836–1852	1876–1880	Prusko 1877	1953–1955
Přívoz pro pěší					
Přívoz pro koně					
Přívoz pro náklad					
Létající most	n/a				
Přívoz na parní pohon	n/a	n/a			n/a

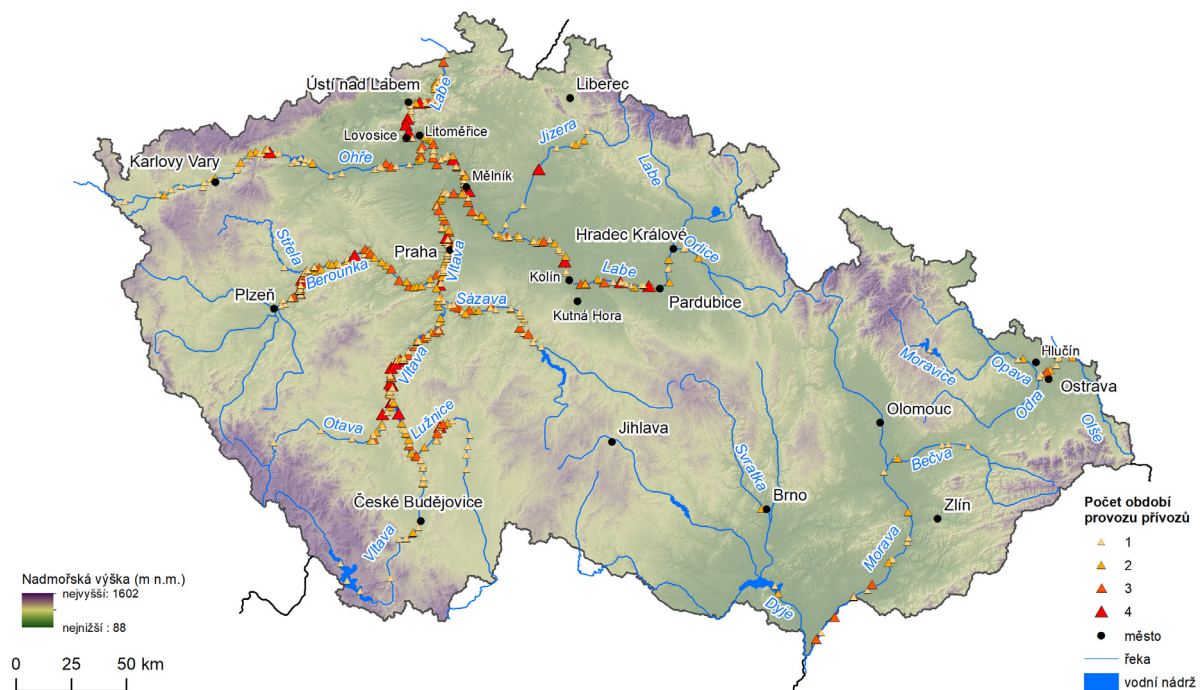
Databáze v současnosti obsahuje celkem 542 historických lokalit přívozů na území dnešního Česka, z nichž 514 pochází z identifikace na mapách vytvořených v rámci jednotlivých vojenských mapování. Zbývající místa přívozů byla zjištěna pouze na základě pomocných zdrojů, aniž by se skutečně vyskytovala ve vojenských topografických mapách. Přehled počtů lokalit přívozů podle vodních toků za každé časové období je uveden v tab. 2.

Tab. 2. Počet lokalit přívozů na jednotlivých říčních tocích identifikovaných v každém časovém období

Řeka	Období					Celkem
	1763–1768	1836–1852	1876–1880	1953–1955	2020	
Bečva			1	5		5
Berounka	7	55	38	15	3	66
Dyje		1	1	1		2
Jizera	1	3	6	3	1	9
Labe	30	63	74	43	10	129
Lužnice	10	8	4	5		15
Morava	6	6	8	4		15
Moravice					1	1
Odra	1	7	2			7
Ohře	12	28	26	5	1	51
Olše		2	1			2
Opava		2	1			2
Orlice		3	1			3
Otava	5	11	7	4		15
Sázava	4	10	23	12	1	34
Střela			1			1
Svratka	1	1				1
Vltava	49	60	96	31	16	156
Celkem	126	260	290	128	33	514

Nejvyšší počet přívozů byl identifikován na vojenských mapách z let 1876–1880, přičemž více než polovina (56,4 %) z celkového počtu lokalit přívozů byla v tomto období v provozu. Obdobný údaj (50,6 %) byl zaznamenán i v dřívějším období 1836–1852. Pokud jde o ostatní časová období, počty zjištěných lokalit přívozů byly výrazně nižší, přičemž evidován byl přibližně stejný počet lokalit na mapách z let 1763–1768 a 1953–1955, avšak v současnosti je v provozu přívoz na pouhých 33 (6,4 %) z nich. Přívozy byly identifikovány na celkem 18 různých vodních tocích. Výrazně nejvyšší počty lokalit byly objeveny na dvou nejmohutnějších vodních tocích, tj. na Labi a Vltavě (55,4 %), značný počet přívozů byl evidován také na Berounce a Sázavě. U žádné další řeky nebylo zjištěno více než 15 lokalit přívozů. Zřetelnou prostorovou nerovnováhu v rozmístění přívozů v rámci Česka ukazuje obr. 2. Většina přívozů byla lokalizována v západní části republiky (povodí Labe), zatímco ve východní části (povodí Moravy a Odry) pouze 35 (6,8 %).

Obr. 2. Počet období provozu přívozů v Česku na základě studia starých topografických map



Tab. 3. Stabilita zkoumaných lokalit podle řek: počty časových období, ve kterých byly přívozy provozovány

Řeka	Počet období					Celkem
	1	2	3	4	0 *	
Bečva	4	1				5
Berounka	30	22	12	2	4	70
Dyje	1	1				2
Jizera	6	2		1		9
Labe	72	32	16	9	6	135
Lužnice	8	3	3	1	2	17
Morava	9	3	3			15
Moravice	1					1
Odra	5	1	1			7
Ohře	36	10	4	1	1	52
Olše	1	1				2
Opava	1	1				2
Orlice	2	1				3
Otava	8	4	1	2		15
Sázava	24	4	6		3	37
Střela	1					1
Svratka		1				1
Vltava	93	39	15	9	12	168
Celkem	302	126	61	25	28	542

* Lokality evidované pouze na základě pomocných zdrojů, bez výskytu ve vojenských mapováních

Během celého výzkumu jsme neidentifikovali přívoz, který by byl na mapách přítomen ve všech pěti zkoumaných obdobích (tab. 3). Ve čtyřech časových obdobích bylo rozpoznáno pouhých 4,6 % přívozů (25), většinou na Labi a Vltavě (po devíti lokalitách). Jako jeden z příkladů přívozu evidovaného na čtyřech topografických mapách lze uvést Oseček na řece Labe, který je provozován i v současnosti (obr. 3). Podstatná část (55,7 %) přívozů v databázi se objevila pouze v jednom z období a v ostatních už přítomna nebyla. Pokud jde o významné řeky (15 a více přívozů), nepočtenější zastoupení lokalit s přívozy lze nalézt na řece Ohři (69,2 %).

Obr. 3. Přívoz Oseček na Labi je provozován s krátkým přerušením již od roku 1836



4. Diskuze

Při zkoumání způsobů zobrazování přívozů na různých starých mapách vztahujících se ke středoevropskému prostoru jsme zjistili, že přívozy jsou zobrazovány v různých formách a že zároveň lze v některých obdobích rozlišit různé kategorie přívozů. Kritéria umožňující takové rozlišení zahrnovala například způsob přepravy (osobní nebo nákladní), konkrétní typ přívozu (lod'ka nebo prám) a ve 20. století i parametry určující nosnost přívozu. Celkem bylo v Česku identifikováno 542 přívozů, z toho 514 bylo nalezeno na starých topografických mapách. Nejvýraznější problémy se týkaly identifikace a lokalizace přívozů na mapách vzniklých 1. rakouským vojenským mapováním (1 : 28 800), kde horší kvalita některých dochovaných kopií a především poměrně problematická metodika mapování, jež postrádala přesné geodetické základy [17], nezaručovala vždy dostatečně přesnou lokalizaci objektu.

Soubor velmi zajímavých údajů lze získat z výsledků analýzy časové kontinuity existence jednotlivých přívozů. Výsledky ukázaly, že žádný přívoz nebyl identifikován na jednom a totéž místě ve všech sledovaných obdobích, i přes polohovou toleranci 50 m. To je dáno především dvěma faktory: velmi malým počtem přívozů (33) v současnosti a obecně dynamickými projevy změn říčních toků v krajině [9]. Přibližně 56 % zjištěných přívozů bylo zaznamenáno pouze v jednom časovém období, přičemž některé vodní toky vykazují ještě vyšší podíl (Ohře cca 70 %). Naopak u některých přívozů byla zjištěna jejich dlouhodobá existence, kdy byly identifikovány na čtyřech různých mapováních od poloviny 18. století (devět na Labi a dalších devět na Vltavě). Je však třeba podotknout, že naše údaje jsou omezeny na mapovací období, což znamená, že případné změny, k nimž došlo mimo tato mapování, nemusely být podchyceny.

Nedílným dílčím tématem výzkumu bylo ověřování informací získaných jak z topografických map, tak i z dalších pomocných informačních zdrojů. Srovnání objektů identifikovaných v topografických mapách a v plavebních mapách Labe a Vltavy vykazovala korelaci v téměř 70 % objektů. S výjimkou jednoho objektu byly všechny chybějící přívozy zaznamenány alespoň na mapách z dřívějšího období. Jak ukázala souběžně provedená analýza prostřednictvím Vodních knih z padesátých let minulého století, rozdíl 3–5 let mezi dobou pořízení topografické mapy a plavební mapy odpovídá období hromadného zániku mnoha přívozů. To podporuje i skutečnost, že řada chybějících lokalit byla zaznamenána během 3. rakouského mapování, reambulovaného ve třicátých a čtyřicátých letech 20. století. V našem výzkumu našly tyto mapy využití jako pomocný pramen. V daném kontextu je třeba zdůraznit, že padesátá léta 20. století ztělesňovala dobu rychlých společenských a hospodářských změn, neboť následovala po komunistickém převratu v roce 1948. Zmíněné společenské procesy zahrnovaly mimo jiné motorizaci země, zvýšení intenzity dopravy, zlepšení dostupnosti sídel. Posledně jmenovaný trend se skládal z více koncepčních kroků, z nichž jedním byla výstavba větších trvalých mostních objektů přes řeky, jež nahradily přívozy [18, 19].

5. Závěry

V Česku bylo od roku 1763 do roku 2022 zjištěno celkem 542 přívozů, z toho 514 na starých topografických mapách, a dalších 28 na základě pomocných pramenů. Lze tedy tvrdit, že staré rakouské a československé vojenské topografické mapy ztělesňují cenný zdroj informací z hlediska identifikace historických přívozů. Je však třeba upozornit i na určitá omezení:

- Mapy 1. rakouského vojenského mapování vykazují značnou polohovou nepřesnost, zejména pokud jde o použité kartografické zobrazení a kvalitu mapových kopií, které jsou přibližně 250 let staré;
- Tematický obsah zpracovávali různí kartografové, což znamená, že se mohou vyskytovat rozdíly v zaznamenaných detailech napříč mapovými listy;
- Každé z mapových děl zachycuje podmínky v určité době, což naznačuje, že během dlouhých časových úseků mezi mapovými díly mohly některé přívozy vznikat a zanikat, aniž byly zaznamenány.

I přes tyto nedostatky představuje naše databáze dosud nejrozsáhlejší soubor identifikovaných lokalit přívozů v Česku. Soubor dat jako takový může představovat cennou podporu badatelům v oblasti historické geografie, především těm, kteří se zaměřují na studium historických dopravních spojů a zkoumají funkční propojení mezi sídly, velkými průmyslovými objekty a/nebo rekreačními aktivitami.

Vlastní kontinuitu konkrétního objektu lze vymezit pouze na základě komplexního studia archivních pramenů o provozu přívozu, licencích a koncesích, revizích, řízeních o stavbách mostů v okolí, povodňových škodách týkajících se jak přívozu, tak mostů, o věkem způsobeném chátrání a dalších aspektech. Stejný předpoklad pak platí i pro studium hybných sil, které vedly ke vzniku nebo naopak zrušení přívozů. Význam přívozů v historickém kontextu je dán zejména jejich dostupností a ekonomickými výhodami oproti stavbě trvalých mostních konstrukcí. Zvyšující se požadavky na nosnost převážených vozidel a zvýšená intenzita dopravy, stejně jako požadavky na rychlost přepravy vedly k postupnému zániku většiny přívozů na území České republiky. Nicméně aktuálně provozované přívozy na našem území mají stále solidní potenciál pro zlepšení dopravní dostupnosti v některých rekreačních oblastech nebo městských sídlech, kde mohou být integrovány i do hromadné dopravy. Větší potenciál je aktuálně pro převoz pěších a cyklistů, v některých lokalitách je ale stále žádoucí i využití pro převoz automobilů, případně zemědělské techniky.

Důležité je, že databáze otevírá cesty k budoucímu geografickému výzkumu přívozů, zejména pak jejich prostorového rozmístění podél řek a vztahu k různým fyzickogeografickým faktorům zahrnujícím mimo jiné orografii, velikost vodního toku, dynamiku vodního toku v záplavové krajině a složení půdního pokryvu. V rámci socioekonomické geografie lze analyzovat funkce přívozů z hlediska růstu sídel nebo regionální ekonomiky (například průmyslu a obchodu), zejména také ve vztahu k rozvoji mostních konstrukcí a jejich hustotě v minulosti a současnosti. Další životaschopné téma spočívá ve zkoumání způsobů využití rozpoznávaných lokalit jako bodů zájmu pro podporu cestovního ruchu v rurálních regionech.

Literatura

- [1] Chapron G., Kaczensky P., Linnell J. D. C. et al. Recovery of large carnivores in Europe's modern human-dominated landscapes. *Science*, 2014, 346:1517–1519.
- [2] Hulva P., Černá Bolfíková B., Woznicová V. et al. Wolves at the crossroad: Fission-fusion range biogeography in the Western Carpathians and Central Europe. *Divers. Distrib.*, 2018, 24:179–192.
- [3] Anděl, P., Mináriková, T., Andreas, M. *Ochrana průchodnosti krajiny pro velké savce*. Liberec: Evernia, 2010, 137 s. ISBN 978-80-903787-5-9.
- [1] Martínek, J., Létal, A., Miřijovský, J., Šlězár, P., Vích, D., Kalábek, M. *Poznáváme historické cesty*. 1. vyd. Brno: Centrum dopravního výzkumu, 2014, s. 238.
- [2] Čížek, K. *Právo vodní dle Zákona ze dne 28. srpna 1870 pro Království České*. Praha: Jindřich Mercy, 1886, s. 643.
- [3] Miller, B. *Vodní právo (Sbírka nejdůležitějších zákonů a nařízení týkajících se vodního práva pro historické země Čechy, Moravu a Slezsko)*. Praha: Spolek československých inženýrů, 1934, s. 204.
- [4] Bignon, E., Pojani, D. River-Based Public Transport: Why Won't Paris Jump on Board? *Case Studies on Transport Policy* 2018, 6, s. 200–205. Dostupné z: doi: 10.1016/j.cstp.2018.05.002
- [5] Cheemakurthy, H., Tanko, M., Garme, K. *Urban Waterborne Public Transport Systems: An Overview of Existing Operations in World Cities*. Stockholm: KTH Royal Institute of Technology, 2017. 85 s.
- [6] Tarkowski, M., Połom, M., Puzdrakiewicz, K. Bridging Tourist Attractions. The Role of Waterbuses in Urban Tourism Development: The Case of the Coastal City of Gdańsk (Poland). *GeoJournal of Tourism Geosites*. 2021, 34(1), s. 126–131. Dostupné z: doi: 10.30892/gtg.34116-627
- [7] McGrath, E., Harmer, N., Yarwood, R. Ferries as Travelling Landscapes: Tourism and Watery Mobilities. *International Journal Culture Tourism Hospitality Research*. 2020, 14, s. 321–334. Dostupné z: doi: 10.1108/ijcthr-10-2019-0184
- [8] Timár, G., Molnár, G., Székely, B., Biszak, S., Varga, J., Jankó, A. Digitized Maps of the Habsburg Empire—The Map Sheets of the Second Military Survey and their Georeferenced Version. *Acta Geod. Geophys. Hung.* 2009, 44, 115–120.
- [9] Pavelková, R., Frajer, J., Netopil, P. a kol. *Historické rybníky České republiky: srovnání současnosti se stavem v 2. polovině 19. století*. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, 2014, 167 s.
- [10] García, J. H., Dunesme, S., Piégay, H. Can We Characterize River Corridor Evolution at a Continental Scale from Historical Topographic Maps? A First Assessment from the Comparison of Four Countries. *River Research and Applications*. 2019, 36(6), s. 934–946. Dostupné z: doi: 10.1002/rra.3582
- [11] Havlíček, M., Vyskočil, A., Caletka, M., Sviták, Z., Dzuráková, M., Skokanová, H., Šopáková, M. History of Using Hydropower in the Moravice River Basin, Czechia. *Water*, 2022, 14(6), 916. Dostupné z: doi: 10.3390/w14060916
- [12] Fröhlich, J. *Stará Otava Mezi Pískem a Zvíkovem*. Písek: Prácheňské nakladatelství, 2012; s. 113.
- [13] Tihelka, E. *Zaniklé sázavské přivozy na Kutnohorsku*. Kutnohorsko, 2017, 19, s. 29–35.
- [14] Sosnowska, A. Dynamics of Mid-Channel Bars in the Middle Vistula River in Response to Ferry Crossing Abutment Construction. *Open Geosciences*. 2020, 12, s. 290–298. Dostupné z: doi: 10.1515/geo-2020-0049

- [15] Národní archiv České republiky. Sbírka Ministerstva dopravy 1953-1960, přílohy, Box 33, dokument 01895/1959.
- [16] Komárková, M. Padesát let vodního díla Slapy. *Vodní hospodářství*, 2005, 55, s. 160–161.
- [17] Janata, T., Cajthaml, J. Georeferencing of Multi-Sheet Maps Based on Least Squares with Constraints – First Military Mapping Survey Maps in the Area of Czechia. *Applied Sciences*. 2020, 11(1), 299. Dostupné z: doi: 10.3390/app11010299
- [18] Jedlička, J., Havlíček, M., Dostál, I., Huzlík, J., Skokanová, H. Assessing Relationships between Land Use Changes and the Development of a Road Network in the Hodonín Region (Czech Republic). *Quaestiones Geographicae*. 2019, 38(1), s. 145–159. Dostupné z: doi: 10.2478/quageo-2019-0003
- [19] Dostál, I., Havlíček, M., Svoboda, J. There Used to Be a River Ferry: Identifying and Aalyzing Localities by Means of Old Topographic Maps. *Water*, 2021, 13(19), 2689. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.3390/w13192689>.

Poděkování

Tento příspěvek byl zpracován na CDV s využitím finanční podpory poskytnuté Ministerstvem dopravy v rámci programu dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumných institucí (rozhodnutí č. 1-RVO/2021).

Importance of river ferries in transport in the past and present

Marek Havlíček, Ivo Dostál, Josef Svobod

Transport Research Centre (CDV)

Líšeňská 33a, 636 00 Brno

e-mail:marek.havlicek@cdv.cz

Abstract

Medium and large rivers have been a major obstacle to historic trade routes and trails. River ferries were one of the main ways to cross them, so their locations were considered points of strategic importance. Historically, ferries were one of the key elements of transport communications in our territory, their potential for use in transport networks at present is mainly in tourism and transport in large agglomerations. Using old topographic maps of Austrian military mapping from 1763–1768, 1836–1852, 1876–1880, Prussian military maps from 1825 and 1877 and Czechoslovak military maps from 1953–1957, we systematically located ferries throughout the current territory of the Czechia. Map keys from individual mappings were also analyzed to examine how ferries are displayed on these maps. Based on the study of old topographic maps, a geographical database was created with the location of individual ferries, including the period in which the river ferry was registered. A total of 514 historical ferries were recorded on old topographic maps of military mappings throughout the Czechia, another 28 ferries were identified from other available more detailed map sources. The importance of ferries was evaluated both in the historical context and in the current conditions.

